

**Institute of Solid State Physics  
University of Latvia**



**ABSTRACTS**  
**of the 32<sup>nd</sup> Scientific Conference**

**February 17 – 19, 2016  
Riga**

LU Cietvielu fizikas institūta 32. zinātniskā konferences tēzes latviešu un angļu valodā.  
Konference veltīta Voldemāra Fricberga – Segnetoelektriķu un pjezoelektriķu fizikas  
problēmu laboratorijas dibinātāja 90. gadadienai

Atbildīgais redaktors: Dr. phys. Anatolijs Šarakovskis.

Salikums: Līga Klēbaha.

Salikts LU Cietvielu fizikas institūtā, Ķengaraga ielā 8, Rīgā, LV-1063

Konferencē ir paredzētas 11 sekcijas:

- Segnetoelektriskie materiāli
- Optiskās īpašības un defekti materiālos
- Fotonika un organiskie materiāli
- Mērījumu tehnoloģijas, iekārtas un prototipi
- Stenda referāti
- Kodolfizika
- Materiālu struktūra un nanomateriāli
- Ūdeņraža materiāli un enerģētika
- Teorija un modelēšana
- Valsts pētījumu programmas IMIS<sup>2</sup> rezultātu apspriešana
- Valsts pētījumu programmas IMIS<sup>2</sup> rezultātu apspriešana – stenda referāti

Referātu tēzes sekcijās ir sakārtotas to nolasīšanas secībā.

**17. februāris**

**SEGNETOELEKTRISKIE  
MATERIĀLI**

**PROFESORS VOLDEMĀRS FRICBERGS - SEGNETOELEKTRĪBAS  
ZINĀTNISKĀS SKOLAS IZVEIDOTĀJS LATVIJĀ**

Andris Šternbergs

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Fizikas zinātņu doktora Profesora Voldemāra Fricberga (1926-1982) vārds ir viennozīmīgi saistāms ar segnetoelektrības zinātniskās skolas izveidošanu Latvijā. Prof. V.Fricbergs vienādi labi orientējās eksperimentā un teorijā, fizikā un ķīmijā. Viņš ir licis pamatus un izveidojis jaunu virzienu segnetoelektrisko cieto šķīdumu izpētē. Prof. V.Fricbergs parādīja arī keramisko cieto šķīdumu pētīšanas būtiskas priekšrocības. Ķīmiskā sastāva variēšana, kas daudzos gadījumos ir praktiski neiespējama segnetoelektrisko monokristālu audzēšanā dara keramiskos cietos šķīdumus ērtus dažādu fizikālo parādību, it sevišķi fāžu pāreju dabas izpētē. Izplūdušo (difūzo) fāžu pāreju skaidrošanai Prof. V.Fricbergs ieteica izmantot priekšstatus par polarizācijas termiskajām fluktuācijām, un izveidoja to aprakstam teoriju, balstītu uz anharmoniskā oscilatora modeli. Šos darbus pamatoti varam uzskatīt par tagad tik plaši pazīstamo segnetoelektrisko relaksoru tematikas aizsākumu. 1968. gadā Prof. V.Fricbergs nodibināja Segnetoelektriķu un Pjezoelektriķu Fizikas problēmu Laboratoriju, kura 1978. gadā iekļāvās LU CFI, Prof. Fricbergam kļūstot par Institūta Direktora vietnieku zinātniskajā darbā. Prof. V.Fricbergs bija lielisks organizators un skolotāju zinātniskās pētniecības laukā, erudīts un talantīgs mācību spēks Universitātē, un tieši viņa lekcijās daudzi talantīgi studenti izvēlējās savu nākamo zinātniskā darba virzienu. Prof. V.Fricbergs bija plaši atpazīts speciālists un autoritāte ārvalstu zinātnieku aprindās.

**PROFESSOR VOLDEMARS FRICBERGS – THE FOUNDER OF  
THE RESEARCH SCHOOL OF FERROELECTRICITY IN LATVIA**

Andris Sternberg

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Professor Dr.phys. Voldemars Fricbergs (1926-1982) was the founder of a scientific school of ferroelectricity in Latvia. Prof. V.Fricbergs was equally competent in experiment and theory, in physics and chemistry. He introduced and created a new trend in research of ferroelectric solid solutions. Prof. Fricbergs also showed a significant benefit of research of ceramic solid solutions. Modification of chemical composition, which in many cases is practically impossible in case of ferroelectric single crystal growing, make ceramic solid solutions convenient for study of various physical phenomena, in particular, for study of peculiarities of phase transitions. For interpretation of diffuse phase transitions Prof. V.Fricbergs suggested to describe the thermal fluctuations of polarization, and set up the theory, based on anharmonic oscillator model. These studies can be regarded as sound outset of today well-known and progressing field of ferroelectric relaxors. In 1968 Prof. V.Fricbergs founded the Problem Laboratory of Physics of Ferroelectrics and Piezoelectrics, which in 1978 joined the ISSP UL. Prof. V. Fricbergs became the Deputy Director for research at the Institute. Prof. V.Fricbergs was a great organizer, erudite and talented teacher at the University, and during his lectures many talented students make a choice for their future research way. Prof. V.Fricbergs was well recognized expert and authority in the local and international scientific community.

**PROFESORS VOLDEMĀRS FRICBERGS (24.06.1926. – 02.08.1982.) – 90**

Jānis Jansons

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*



Voldemārs Fricbergs ir viens no pirmajiem otrās paaudzes LU sagatavotajiem fiziķiem. Viņa akadēmisko izglītību sekmējuši pirmās paaudzes fiziķi L. Jansons, A. Jansone, A. Apinis, J. Čudars I. Everss, V. Šmēlings. Viņš bija izcili apdāvināts, īsā laikā pēc Universitātes beigšanas uzgāja jaunu virzienu cietvielu fizikā – segnetoelektriķu fiziku, izveidoja šī novirziena laboratoriju un savu segnetoelektriķu skolu, kas kļuva pazīstama visā pasaulē.

Voldemārs piedzima Rīgā 1926. gada 24. jūnijā grāmatveža Jāņa un šuvējas Jevdokijas Fricbergu ģimenē kā trešais un pēdējais bērns. No 1933. līdz 1938. gadam mācījās Rīgas pilsētas 47. pamatskolā, pēc tam iestājās Rīgas pilsētas 1. vidusskolā. Tajā viņš mācījās līdz 1944. gadam. Kad 1944. gada vasarā vācu okupācijas vara izsludināja jauniešu mobilizāciju, Voldemārs neieradās uz iesaukumu, bet slēpās no žandarmiņiem pie brāļa Aleksandra Talsu aprīņķi Strazdē. Tur viņš palīdzēja brālim farmaceitam strādāt Strazdes aptiekā. Pēc vācu okupācijas beigām 1945. gada maijā Voldemārs iestājās Latvijas Valsts universitātes (LVU) sagatavošanas kursos, kur nokārtoja kā eksterns vidusskolas beigšanas eksāmenus. Jāatzīmē, ka viņam visas atzīmes gatavības apliecībā bija teicamas [1].

Tā paša gada rudenī V. Fricbergs iestājās LVU Fizikas un matemātikas fakultātē, lai studētu fiziku. Tā kā tēvs no 1942. gada bija kļuvis par invalīdu (daļēji paralizēts) un saņēma nelielu pensiju, un māte arī nebija darba spējīga, studiju laikā V. Fricbergam bija grūti materiālie apstākļi. Tomēr viņš ļoti sekmīgi mācījās, piedalījās Studentu zinātniskās biedrības (SZB) organizēšanā un darbā, bija LVU SZB padomes sekretārs. Viņš bija arī kursa vecākais. 1947. gadā iestājās komjaunatnē un pēc gada tika ievēlēts par fakultātes komjaunatnes pirmorganizācijas sekretāru.

Pēc ļoti sekmīgo studiju pabeigšanas 1950. gadā, V. Fricbergs tika pieņemts darbā par asistentu Eksperimentālās fizikas katedrā (EFK). Uz viņa iesnieguma ar lūgumu ieskaitīt darbā katedras vadītājs L. Jansons uzrakstījis: “Iesniegumu silti atbalstu! Asistents Eksperimentālās fizikas katedrai nepieciešams!” Tā sākās

V. Fricberga akadēmiskā darbība. Sākumā ar studentu praktisko un laboratorijas darbu vadīšanu [2].

1952. gada novembrī V. Fricbergs iestājās aspirantūrā LVU Fizikas un matemātikas fakultātē. Līdztekus viņš bija komjaunatnes Kirova rajona komitejas loceklis. 1953. gada jūlijā tika uzņemts par Padomju Savienības Komunistiskās partijas biedru. Partijas biļete bija nepieciešama, lai augšana netiktu bremsēta no partijnieku puses, kā tas, piem., bija ar doc. L. Jansonu, kas līdz mūža beigām bija tikai katedras vadītāja vietas izpildītājs.

Aspiratūras teorētisko daļu V. Fricbergs sekmīgi beidza 1955. gada oktobrī un tika ieskaitīts par vecāko pasniedzēju EFK. Viņš turpināja aspirantūrā aizsāktos pētījumus par fotojutīgu kristālu (KCl un ZnS) elektriskām īpašībām. Iegūtos rezultātus V. Fricbergs apkopoja fizikas un matemātikas zinātņu kandidāta disertācijā. Bet tieši tajā pašā laikā zinātniskos žurnālos tika publicēti Ļeņingradas un Vācijas federatīvās republikas zinātnieku līdzīgu pētījumu analogiski rezultāti. Sakarā ar to V. Fricbergs savu disertācijas darbu aizstāvēšanai neiesniedza. Stingrs zinātniskās ētikas normu ievērošanā viņš turpināja būt visu savu mūžu gan attiecībā pret sevi, gan pret saviem nākamajiem audzēkņiem [3].

V. Fricbergs turpināja strādāt EFK par vec. pasniedzēju un veidoja Dielektriķu fizikas laboratoriju. Ķīmijas fakultātē Silikātu tehnoloģijas katedrā E. Freidenfelds ar kolēģi A. Apsīti sāka sintezēt jaunus cietvielu materiālus: segnetokeramiku un pjezokeramiku. Tos viņi kausēja krāsnīs Laboratoriju ēkas pagrabstāvā Kronvalda bulvārī 4. Viņi 1956. gadā sazinājās ar V. Fricbergu, kas darbojās tās pašas ēkas ceturtajā stāvā Dielektriķu laboratorijā, nolūkā, lai fiziķi izpētītu šo jauno materiālu elektrofizikālās īpašības, sevišķi dielektrisko caurlaidību atkarībā no temperatūras un citiem faktoriem. Šī sadarbība Dielektriķu fizikas laboratorijā uzsāka jaunu pētniecības virzienu: segnetoelektriķu un pjezoelektriķu fiziku. Jau 1957. gadā LZA Vēstis Nr. 7 (120) tika nopublicēti pirmie rezultāti par CaO-BaO-TiO<sub>2</sub> sistēmas keramikas dielektriskajām īpašībām; autori A. Apsītis, E. Freidenfelds un V. Fricbergs.

Dielektriķu laboratorija 1960. gadā sakarā ar Rīgas Politehniskā institūta atjaunošanu tika pārcelta no Kronvalda bulvāra 4 uz telpām Raiņa bulvāra 19 un tika pārdēvēta par Cietvielu fizikas laboratoriju. Iegūto materiālu struktūras pētījumos iesaistījās J. Kručāns ar rentgendifraktometrijas metodes pielietošanu. V. Fricbergas no iegūtiem eksperimentālajiem rezultātiem attapīgi secināja, ka pētītie cietie šķīdumi raksturojas ar izplūdušām (difūzām) segnetoelektriskām fāžu pārejām. To skaidrošanai viņš ieteica izmantot priekšstatus par polarizācijas termiskām fluktuācijām. Tāds fāžu pārejas modelis tika izstrādāts 1961. gadā kopā ar teorētiķi B. Rolovu, vēlāko Teorētiskās fizikas katedras vadītāju un profesoru. Visus šos pētījumu rezultātus V. Fricbergs apkopoja disertācijas darbā, to aizstāvēja 1962. gada 1. martā Ļeņingradas valsts universitātē un kā pirmais Latvijā ieguva fizikas un matemātikas zinātņu kandidāta grādu segnetoelektriķu fizikā. 1965. gada 16. oktobrī viņš ieguva arī docenta nosaukumu eksperimentālajā fizikā. Ar labi pārdomātām un rūpīgi sagatavotām lekcijām, kā arī ar emocionālu un iedarbīgu izklāsta veidu V. Fricbergs piesaistīja specializēties segnetoelektriķu fizikā daudzus studentus. Labākie no viņiem pēc FMF absolvēšanas sāka strādāt V. Fricberga vadībā Cietvielu fizikas laboratorijā [4].

V. Fricbergs 1962. gada 10. aprīlī tika apstiprināts kā konkursā ievēlēts par LVU Fizikas un matemātikas fakultātes dekānu. Šajā amatā viņš nostrādāja līdz 1966. gada 14. martam, līdztekus lasot lekcijas un vadot līdzstrādnieku darbus Cietvielu fizikas laboratorijā.

Doc. V. Fricberga vadībā tika sākti perovskita struktūras segnetoelektrisko cieto šķīdumu kompleksie pētījumi. Mērķis bija noskaidrot ķīmiskā sastāva ietekmi uz

keremisko segnetoelektriķu kristālisko struktūru un tās iespaidu uz vielas fizikālajām īpašībām, to skaitā uz fāžu pārejas veidu. Lai iegūtu vajadzīgos materiālus, 1960. gadu otrajā pusē tika izveidota sava ķīmiķu tehnologu-inženieru grupa (I. Veismane, D. Šitca, A. Dobre, A. Kalvāne, K. Karlsons, A. Tupulis, R. Lapsiņš) un iekārtota „krāšņu telpa” paraugu sintēzei. Ar V. Fricberga laboratoriju labi sadarbojās J. Kručāna rentgenstruktūranalīzes grupa (V. Freimanis, vēlāk arī L. Šebanovs, I. Brante, B. Labrence), kas bija izvietojusies stāvu zemāk. Komplekso pētījumu veikšanai tika izstrādātas jaunas eksperimentālās metodes, lai tiktu mērīti:

- termiskie raksturlielumi kā siltumvadāmība, siltumietilpība (K. Bormanis, A. Simanovskis);
- dielektriskie parametri supraaugstfrekvenču (SAF) diapazonā (A. Broks, Z. Tunkuns, vēlāk arī Z. Takere, R. Oļehnoviča);
- reversīvā dielektriskā nelinearitāte (G. Grīnvalds, vēlāk arī A. Gajevskis);
- polarizācijas dinamika (A. Krūmiņš, A. Bulis);
- elastiskie parametri ar ultraskaņas metodēm (G. Grīnvalds, I. Perro, vēlāk arī A. Rubulis);
- elektromehāniskie parametri, elektrostrikcija (E. Puriņš);
- dielektriskās īpašības zem augsta hidrostatiskā spiediena (P. Fricbergs).

Fāžu pārejas īpatnības segnetoelektriskos monokristālos, kā arī keramiskās plānās plāksnītēs un atsevišķos graudos, izmantojot optiskās metodes (spontānā dubultlaušana, gaismas izkliede) kombinācijā ar rentgenstruktūras metodēm, sāka pētīt J. Zvirgzds, vēlāk arī J. Zvirgzde un P. Kāpostiņš. Segnetoelektrisko fāžu pāreju teorētiskai analīzei piesaistījās arī T. Romanovskis.

Līdztekus doc. V. Fricbergs noorganizēja arī radioelektroniku grupa (G. Nesaule, M. Logins, A. Režeps, M. Dreimanis, E. Šitcs, A. Brants, vēlāk arī A. Viesturs, J. Popovs). Tā būvēja mēraparatūru un pildīja laboratorijas pirmos līgumdarbus. No 1966. līdz 1968. gadam tika izgatavotas piecas kompleksās iekārtas segnetoelektriķu dielektrisko un polarizācijas raksturlielumu mērīšanai.

Pirmo komplicēto tehnoloģisko līgumdarbu izpildīja ķīmiķu tehnologu grupa kopā ar fiziķiem. Tika izgatavoti liela izmēra pjezocilindri, veicot to efektīvu polarizēšanu un elektromehānisko parametru optimizēšanu. Turpmāko līgumdarbu pasūtītāji bija elektromehāniskie rūpniecības uzņēmumi gan Latvijā, gan arī Maskavā, Ļeņingradā u. c.

Doc. V. Fricberga rosināti tika uzsākti pirmie mēģinājumi, lai iegūtu un izpētītu segnetoelektriskās plānās kārtiņas (V. Šepeļevs, L. Šebanovs) un segnetoelektriskās biežās kārtiņas un kompozītus (A. Šternbergs, U. Iljins). Mēģināja segnetoelektriskās kārtiņas izmantot informācijas ierakstam (līgumdarbs ar Viļņas Elektrogrāfijas zinātniski pētniecisko institūtu).

V. Fricberga vadītais zinātniskais kolektīvs pagājušā gadsimta sešdesmitajos gados bija veicis samērā lielu un nozīmīgu pētniecisko darbu. To novērtēja segnetoelektriķu pētnieki gan Padomju Savienībā, gan arī ārvalstīs. Šajā sakarā VI Vissavienības konferenci par segnetoelektriķiem nolēma rīkot Rīgā, LVU 1968. gada 15. – 18. maijā. Tajā piedalījās vairāk kā 300 zinātnieki no sešām republikām, kā arī pārstāvji no Vācijas, Čehoslovākijas un Polijas.

Konferencē mūsu segnetoelektriķu pētnieku ziņotie rezultāti ieguva plašu ievērību un atzinību. Tas bija kā labs iemesls, lai tā pašā gada 1. oktobrī uz Eksperimentālās fizikas katedras Cietvielu fizikas laboratorijas pamatiem tiktu nodibināta LVU Segnetoelektriķu un pjezoelektriķu fizikas problēmu laboratorija (SPFPL). To noorganizēja un turpmāk uzņēmās vadīt doc. V. Fricbergs.

Jaunā doc. V. Fricberga vadītā SPFPL pakāpeniski kļuva par vienu no PSRS vadošajiem centriem segnetoelektrisko cieto šķīdumu fizikālo parādību pētījumos. Laboratorijas līdzstrādnieki veica aptverošu un sistemātisku zinātniskās pētniecības

darbu. Paši sintezēja un mērķtiecīgi meklēja jaunus segnetoelektriskos materiālus, tos izpētīja un noskaidroja praktiskās lietošanas iespējas.

Īpašs posms prof. V. Fricberga zinātniskajā darbībā sākās, kad viņš, pateicoties savai intuīcijai un plašajam redzes lokam, paredzēja, ka nākotnē būtisku nozīmi iegūs caurspīdīgā segnetoelektriskā keramika. Atgriežoties no II starptautiskās konferences segnetoelektriķu fizikā, kas notika Kioto pilsētā Japānā 1969. gadā, viņš pārliecināja savus līdzstrādniekus sākt arī caurspīdīgu segnetoelektriķu keramiku sintēzi un pētniecību. Viņa vadībā šo materiālu iegūšanas sastāvdaļas un caurspīdīgo keramiku sintēzes tehnoloģiju izstrādāja A. Dobre, M. Dambekalne, M. Antonova, M. Līviņš, O. Balodis, A. Brants, I. Brūveris, I. Priedniece, I. Krupska, L. Rāviņa, I. Siliņš, A. Dirba. Optiskās, elektrooptiskās, nelineāri optiskās, akustiskās, termiskās īpašības un fotoinducētās un elektroniskās parādības caurspīdīgajā keramikā pētīja A. Šternbergs, U. Iljins, V. Dimza, G. Liberts, A. Krūmiņš, A. Kapenieks, M. Ozoliņš, T. Romanovskis, M. Šmite, Ē. Klotiņš, A. Sproģis, M. Strīpnieks, I. Perro, J. Harja. Atsevišķa grupa nodarbojās ar materiālu fāžu struktūras analīzi, kurā ietilpa L. Šebanovs, I. Brante, P. Kāpostiņš, kā arī cita grupa ar mikrostruktūras optiskiem pētījumiem – J. Zvirgzds, A. Spūle, O. Cīrule, A. Plaude, I. Klotiņa. Ar neitronu aktivācijas analīzi nodarbojās I. Popova [3, 4].

Šis auglīgais zinātniskās darbības periods doc. V. Fricbergam noslēdzās ar doktora disertācijas “Fizikālās parādības perovskita tipa segnetoelektriskajos cietajos šķīdumos” aizstāvēšanu Tartu valsts universitātē un doktora grāda piešķiršanu 1976. gada 23. jūnijā, kā arī ar profesora zinātniskā nosaukuma iegūšanu 1977. gada 25. novembrī. Tā bija jauna robežlīnija – pirmais zinātņu doktors un pirmais profesors segnetoelektriķu fizikā Latvijā [3, 4]. Ar LPSR Augstākās padomes prezidija dekrētu 1979. gada 7. februārī par nopelniem fizikas zinātņu attīstībā un augsti kvalificētu speciālistu sagatavošanā prof. V. Fricbergam tika piešķirts LPSR Nopelniem bagātā zinātnes darbinieka goda nosaukums.

1970. gadu sākumā LVU Pusvadītāju fizikas problēmu laboratorija (PFPL) sāka būvēt jaunu laboratoriju ēku Ķengaraga ielā 8. Projekts bija vērienīgs, tāpēc jaunajā ēkā bija daudz telpu, ko viena pati PFPL sākumā nebija spējīga apgūt. PFPL vadība prof. V. Fricbergam piedāvāja savu SPFPL pārcelt arī uz Ķengaraga jauno ēku. Prof. V. Fricbergs ne bez svārstīšanās, lai nepazaudētu savas laboratorijas patstāvību, un pēc strikta solījuma, ka patstāvība tiks noteikti saglabāta, piekrita šim solim. Tā arī viņa laboratorijas darbinieki sāka aktīvi piedalīties jaunās laboratoriju ēkas būvniecībā. Ēku nodeva ekspluatācijā 1975. gada 30. jūnijā. Prof. V. Fricberga SPFPL pārcēlās uz jaunajām telpām Ķengaragā. Sākumā jauno ēku, uz kuru pārcēlās arī Pusvadītāju fizikas katedra, nodēvēja par Mācību un zinātnisko kompleksu. Tās vadībai tika izveidota Apvienotā padome, par kuras priekšsēdētāju nozīmēja PFPL vadītāju J. Zaķi, bet par vietnieku – SPFPL vadītāju V. Fricbergu.

SPFPL bija ieguvusi plašas telpas (600 kvadrātmetri) laboratorijām un kabinetiem ēkas 4. stāvā un segnetoelektriķu sintēzes iekārtu telpas 1. stāvā. Darbs turpinājās ar jaunu sparū un daudziem jauniem darbiniekiem un studentiem. Ar kopējām pūlēm dažu gadu laikā Mācību un zinātniskais komplekss pārtapa 1978. gada 24. martā par LVU Cietvielu fizikas institūtu (CFI) ar vairākām nodaļām, no kurām viena bija Segnetoelektriķu fizikas nodaļa, par kuras vadītāju pēc vēlēšanām apstiprināja prof. V. Fricbergu 1978. gada 26. jūlijā. Viņš tika nozīmēts ar 1. septembri arī par CFI direktora vietnieku zinātniskajā darbā sabiedriskā kārtā [2].

Jaunajā mītnē prof. V. Fricberga vadībā tika aizsākts darbs par sarežģīta sastāva oksīdu pētīšanu un iegūšanas apstākļu ietekmi uz materiālu fāžu sastāvu. Šajā materiālu grupā izpaudās t. s. relaksoru īpašības. Tika arī iegūti oriģināli caurspīdīgās keramikas sastāvi un par tiem iegūtas izgudrojumu autorapliecības. Praktiskajā laukā tika izveidoti gaismas modulatori un slēdži, vadāmie transparenti un ciparu indikatori



uz ar lantānu modificētas svina cirkonāta titanāta keramikas bāzes. Segnetoelektriķu fizikas nodaļas kolektīvs izveidojās par vienu no vadošajiem centriem caurspīdīgas segnetokeramikas pētījumos. Tāpēc 1982. gada aprīlī tam uzticēja organizēt pirmo starpresoru semināru par tēmu "Caurspīdīgas segnetokeramikas izstrāde, izpēte un lietošana". Par semināra organizācijas komitejas priekšsēdētāju iecēla prof. V. Fricbergu.

V. Fricbergs zinātniskos meklējumus vienmēr veica, sadarbojoties ar vadošajiem speciālistiem segnetoelektriķu pētniecībā Vissavienībā un arī ārzemēs. Viņš darbojās trijās Vissavienības mēroga zinātniskās padomēs, kas koordinēja zinātniskās pētniecības darbus: "Segnetoelektriķu un dielektriķu fizika" PSRS ZA, būdams šīs padomes biroja loceklis, "Pusvadītāju materiālu zinātnes fizikāli ķīmiskie pamati" PSRS ZA, "Segneto- un pjezoelektrisko materiālu iegūšana un izmantošana" PSRS Ministru padomes Valsts zinātnes un tehnikas komitejā. Prof. V. Fricbergs bija arī LPSR ZA Fizikas institūta zinātnisko grādu piešķiršanas specializētās padomes loceklis [3].

Par V. Fricberga vadītā kolektīva darba rezultātiem tika ziņots un tos apsprieda daudzās Vissavienības un starptautiskās konferencēs par segnetoelektriķiem. Sākot ar 1969. gadu viņš bija organizācijas komitejas loceklis visās PSRS notiekošās konferencēs un semināros par segnetoelektību. 1979. gadā viņu uzaicināja piedalīties starptautiskā simpozija organizēšanā par segnetoelektriķu izmantošanu Mineapolisē, ASV. 1981. gadā prof. V. Fricbergs uzstājās ar pārskata referātu V Starptautiskajā segnetoelektriķu konferencē ASV. Viņš nodibināja zinātniskus kontaktus ar Vācijas, Čehoslovākijas, Polijas, Dienvidslēvijas, ASV, Japānas, Francijas un citu valstu zinātniekiem.

Savus zinātniskos darbus prof. V. Fricbergs apkopojis vairāk nekā 150 publikācijās un 5 izgudrojumu autoraplēcībās. Viņa vadībā izstrādātas un aizstāvētas 12 disertācijas fizikas un matemātikas zinātņu kandidāta grāda iegūšanai: J. Kručāns (1964), A. Krūmiņš (1971), A. Broks (1974), J. Zvirgzds (1975), J. Zvirgzde (1977), G. Grīnvalds (1977), U. Iljins (1978), A. Šternbergs (1978), M. Ozoliņš (1979), L. Šebānovs (1979), I. Perro (1982), G. Liberts (1982) [3].

Prof. V. Fricbergs prata apvienot zinātnisko, pedagoģisko, organizatorisko un sabiedrisko darbu. Viņš mācēja popularizēt fizikas zināšanas presē, radio un televīzijā. Vienmēr viņam bija jauneklīgs, radošs nemiers un mērķa sasniegšanas izjūta. Viņš vienmēr sekoja visiem sasniegumiem savā specialitātē un prata atrast un izvirzīt sev un līdzstrādniekiem kvalitatīvi jaunas problēmas pētniecības darbā. Viņš bija atsaucīgs un iejūtīgs kolēģis, skolotājs un vadītājs, kas ļoti daudz darīja, atdodams visus savus spēkus zinātnei, pie tam ar patiesu atbildības sajūtu. Viņam arī patika sabiedriskie pasākumi un jautrība. Prof. V. Fricbergu gan Universitātē, gan visur citur ļoti cienīja.

Milzīgā darba slodze V. Fricbergam nepagāja bez sekām. Viņu sāka mocīt hipertoniya un tās blaknes. Atkārtots infarkts 1982. gada 2. augustā traģiski pārargri dzēsa prof. V. Fricberga dzīvību. Universitātes Lielajā aulā 6. augustā no viņa atvadījās liels skaits pavadītāju un izvadīja uz Pirmajiem Meža kapiem. Tur viņu apbedīja blakus vecākiem netālu no Baltajiem krustiņiem blakus Aktieru kalniņam. No šī laika LVU CFI Segnetoelektriķu fizikas nodaļa nes profesora Voldemāra Fricberga vārdu.

**Vēres:**

1. LU Arhīvs, Voldemāra Fricberga studenta lieta, 5. apr., 1627. l., 41 lp.
2. LU Arhīvs, Voldemāra Fricberga darbinieka lieta, 7. apr., 7557. l., 140 lp.
3. Profesors Voldemārs Fricbergs: Personālais bibliogrāfiskais rādītājs / Sast. I. Zīle. – Rīga: P. Stučka LVU, 1983. – 86 lpp.
4. Šternbergs A. Segnetoelektriķu fizika. – LU CFI Vēstures lasījumi 1998. gada 25. februārī, referāta teksts 23 lpp., LU CFI atsevišķs izdevums.

**LUMINESCENCE AR  $\text{Er}^{3+}$  DOPĒTOS  
 $0.4\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3-(0.6-x)\text{SrTiO}_3-x\text{PbTiO}_3$  CIETAJOS ŠĶĪDUMOS**

Marija Dunce, Ēriks Birks, Anatolijs Šarakovskis, Jurgis Grūbe,  
Maija Antonova, Andris Šternbergs  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Iepriekš esam parādījuši, ka  $0.4\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3-(0.6-x)\text{SrTiO}_3-x\text{PbTiO}_3$  ( $0.4\text{NBT}-(0.6-x)\text{ST}-x\text{PT}$ ) cietajos šķīdumos līdz ar PT koncentrācijas palielināšanos no  $x=0,00$  līdz  $x=0,25$  notiek pakāpeniska pāreja no relaksoru uz klasisko segnetoelektrisko stāvokli, izejot cauri dažādiem starpstāvokļiem. Rentgenstaru difrakcijas pētījumi parādīja, ka šīs materiālu grupas sastāviem, kas atrodas relaksoru stāvoklī, ir raksturīga tetragonālās fāzes un kubiskās fāzes koeksistence. Savukārt Ramana spektri, kas ir jutīgi pret lokālo simetriju kristalogrāfiskajā režģī, ir maz atkarīgi no tā, vai konkrētais sastāvs atrodas relaksoru vai segnetoelektriskajā stāvoklī. Šī darba mērķis ir noskaidrot polārā stāvokļa ietekmi uz luminiscenci ar  $\text{Er}^{3+}$  dopētos  $0.4\text{NBT}-(0.6-x)\text{ST}-x\text{PT}$  cietajos šķīdumos, salīdzinot sastāvus ar relaksoru un segnetoelektrisko stāvokli. Ierosinot ar 980 nm ( $^4\text{I}_{15/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{F}_{7/2}$ ) novērotas izteiktas augšpārveidotas luminiscences joslas zaļajā ( $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$  un  $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ) un sarkanajā ( $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ) spektra daļā. Sastāviem ar lielākām PT koncentrācijām novērots izteikts otrās optiskās harmonikas signāls pie 490 nm. Luminiscences spektri un arī dzišanas kinētikas ir pētīti sastāviem ar dažādām PT un  $\text{Er}^{3+}$  koncentrācijām.

**LUMINESCENCE IN  $\text{Er}^{3+}$ -DOPED  
 $0.4\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3-(0.6-x)\text{SrTiO}_3-x\text{PbTiO}_3$  SOLID SOLUTIONS**

Marija Dunce, Eriks Birks, Anatolijs Sarakovskis, Jurgis Grube,  
Maija Antonova, Andris Sternberg  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Previously we have shown that a gradual transfer from relaxor to classical ferroelectric state, passing various intermediate states, occurs in  $0.4\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3-(0.6-x)\text{SrTiO}_3-x\text{PbTiO}_3$  ( $0.4\text{NBT}-(0.6-x)\text{ST}-x\text{PT}$ ) solid solutions upon increasing of PT concentration from  $x=0,00$  to  $x=0,25$ . X-ray diffraction patterns have indicated that coexistence of tetragonal and cubic phases is characteristic to the compositions of this group of materials, which are in the relaxor state. Whereas Raman spectra, which are sensitive to a local symmetry in a crystallographic lattice, only weakly depend on the fact if a particular composition is in relaxor or in ferroelectric state. The aim of this work is to find out what is the influence of ferroelectric ordering on luminescence properties in  $\text{Er}^{3+}$ -doped  $0.4\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3-(0.6-x)\text{SrTiO}_3-x\text{PbTiO}_3$  solid solutions, comparing compositions in the relaxor and the ferroelectric states. Upon excitation at 980 nm ( $^4\text{I}_{15/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{F}_{7/2}$ ), well-expressed up-conversion luminescence bands were observed in the green ( $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$  and  $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ) and in the red ( $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ) part of spectrum. For the compositions with higher PT concentrations a pronounced second optical harmonic signal was observed at 490 nm. Luminescence spectra and decay kinetics are studied for the compositions with different PT and  $\text{Er}^{3+}$  concentrations.

This work has been supported by the National Research Program in the framework of project "Multifunctional Materials and composites, photonics and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>)".

## **Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> CIETO ŠĶĪDUMU STRUKTŪRA UN DIELEKTRISKĀS ĪPAŠĪBAS**

Reinis Ignatāns, Ēriks Birks, Marija Dunce, Aina Plaude, Maija Antonova, Andris Šternbergs  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> un cietie šķīdumi uz tā bāzes ir vieni no perspektīvajiem materiāliem, kurš varētu aizvietot industrijā plaši lietotos svinu saturošos segnetoelektriskos materiālus. Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> struktūras saistība ar tā fizikālām īpašībām vēl joprojām raisa diskusijas, lai arī savienojums ir atklāts 1961. gadā.

Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> cieto šķīdumu sistēmā pat pie salīdzinoši nelielām kalcija titanāta koncentrācijām dominē tīram CaTiO<sub>3</sub> atbilstošā fāze ar telpisko grupu *Pnma*.

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> cietajos šķīdumos, tiek piedāvāts modelis nepolarizēta Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> kristāliskai struktūrai pie istabas temperatūras kā divu fāzu – nepolārās *Pnma* un polārās *R3c* – maisījums. Šāds modelis ļauj izvairīties no lielām režģa parametru atšķirībām romboedriskai (*R3c*) fāzei polarizētā stāvoklī un nepolarizētā stāvoklī, kā arī tas ļauj paskaidrot dielektrisko caurlaidību līknēs novēroto no elektriskā lauka frekvences atkarīgo plecu.

Identificētas anomālijas dielektriskās caurlaidības līknēs, kas atbilst fāzu pārejai starp *Pnma* un *P4bm* fāzēm.

## **STRUCTURE AND DIELECTRIC PROPERTIES OF Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> SOLID SOLUTIONS**

Reinis Ignatans, Eriks Birks, Marija Dunce, Aina Plaude, Maija Antonova, Andris Sternbergs  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> and solid solutions based on it are one of the most perspective materials to substitute lead containing ferroelectric materials widely used in industry. Connection between Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> structure and its physical properties is discussed even nowadays, although this compound was discovered in 1961.

In Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> solid solutions even with low calcium titanate concentrations dominant phase is with space group *Pnma* just as in pure CaTiO<sub>3</sub>.

Based on results obtained from Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> system, a model for non-poled Na<sub>0.5</sub>Bi<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> crystalline structure at room temperature is proposed as a two phase mixture - non-polar *Pnma* and polar *R3c*. This model avoids large discrepancies between rhombohedral phases (*R3c*) lattice parameters in poled and non-poled states also it gives explanation for the appearance of the frequency-dependent shoulder in dielectric permittivity graphs.

Dielectric anomalies have been identified which correspond to phase transition between *Pnma* and *P4bm* phase.

## RADIĀCIJAS INDUCĒTĀ OPTISKĀ ABSORBCIJA PLZT KERAMIKĀ

Donāts Millers, Krišjānis Šmits, Mārtiņš Vanks, Larisa Grigorjeva, Reinis Ignatāns,  
Vilnis Dimza

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Iedarbojoties ar paātrinātiem elektronu kūļa impulsiem vai arī ar rentgenstariem PLZT keramikā inducēta optiskā absorbcija spektra apgabalā no 1,2 eV līdz 2,9 eV. Inducētā optiskā absorbcija saistīta ar jonizējošā starojuma iedarbībā radīto elektronu un caurumu lokalizāciju uz keramikā esošajiem defektiem, kā arī iespējams retzemju jona  $\text{La}^{3+}$  tuvumā. Inducētā optiskā absorbcija pētīta apstarojot PLZT keramiku pie dažādām temperatūrām apgabalā no 90 K līdz 670 K. Pie 300 K un augstākām temperatūrām novērojama galvenokārt īsi dzīvojoša inducētā optiskā absorbcija, savukārt pie 90 K novērojama stabila, ilgi dzīvojoša inducētā optiskā absorbcija. Inducētās optiskās absorbcijas kinētiku izmaiņas norāda, ka PLZT keramikā ir gan sekli gan arī dziļi enerģētiskie līmeņi, kuros iespējama jonizējošā starojuma ģenerēto lādiņnesēju lokalizācija. Iegūto rezultātu analīze, kurā izmantoti arī literatūrā atrodamie ar EPR metodi iegūti dati, liek domāt, ka inducēto optisko absorbciju vismaz daļēji nosaka pamatvielas jonu lādiņu stāvokļu maiņa. Iespējams, ka šāda lādiņu stāvokļu maiņa pamatvielas joniem dod ieguldījumu materiāla elektriskās polarizācijas procesā.

## RADIATION INDUCED OPTICAL ABSORPTION IN THE PLZT CERAMICS

Donats Millers, Krisjanis Smits, Martins Vanks, Larisa Grigorjeva, Reinis Ignatans,  
Vilnis Dimza

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

The optical absorption was induced in PLZT ceramics under accelerated electron beam pulses as well as under X-ray irradiation. This absorption covers spectral range within 1.2 and 2.9 eV. The band electrons and holes were generated in PLZT under ionizing radiation and trapping of these charge carriers by defects in ceramics as well as in surrounding of  $\text{La}^{3+}$  ion results in optical absorption appearance. The induced optical absorption was studied in PLZT ceramics irradiated at different temperatures within range 90 – 670 K. The short-lived induced absorption was dominant at 300 K and higher temperatures, however the changes of this absorption kinetics and observed stable (long living) induced optical absorption at 90 K suggested that there are involved shallow and deep levels in charge carriers trapping. The analysis of both results obtained and data of ESR experiments found in literature suggested that the induced optical absorption, partially at least, determine the recharging of host ions. It is possible that the change of charge state of host ions could contribute in PLZT ceramics polarization processes.

The financial support of LSC Grant Nr. 302/2012 is greatly acknowledged.

**17. februāris**

**OPTISKĀS ĪPAŠĪBAS UN  
DEFEKTI MATERIĀLOS**

**Veltīta magnētisko pētījumu pamatlicēja Dagestānā,  
Krievijas Zinātņu akadēmijas korespondētājlocekļa  
Ibragimhana Kamilova 80 gadu jubilejai**

**Dedicated to 80-year anniversary of Ibragimhanam  
Kamilov – the founder of magnetic research in  
Dagestan, Russian Academy of Sciences**

## EIROPIJA LUMINISCENCES CENTRU KVANTU EFEKTIVITĀTE OKSIFLUORĪDU STIKLOS UN STIKLA KERAMIKĀS

Uldis Rogulis<sup>1</sup>, Meldra Ķemere<sup>1</sup>, Stefan Schweizer<sup>2,3</sup>, Franziska Steudel<sup>3</sup>, Sebastian Loos<sup>2</sup>,  
Charlotte Rimbach<sup>2</sup>, Reinis Ignatāns<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Department of Electrical Engineering, South Westphalia University of Applied Sciences*

<sup>3</sup>*Fraunhofer Application Center of Inorganic Phosphors, Branch Lab IMWS*

Tika pētīta fotoluminiscence un kvantu efektivitāte ar eiropija joniem aktivētos oksifluorīdu stiklos un stikla keramikās ar sastāvu  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZnF}_2\text{-SrF}_2$  (SAZS) un  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-CaF}_2$  (SACC).  $\text{Eu}^{3+}$  fotoluminiscences spektrā stiklos dominē elektriskā dipola pārejas, kuras stiklos ir raksturīgas zemas simetrijas apkārtnē. Turpretī,  $\text{SrF}_2$  saturošās stikla keramikās,  $\text{Eu}^{3+}$  luminiscencē dominējošās ir magnētiskā dipola pārejas, un  $\text{Eu}^{3+}$  centriem ir novērota augstākas simetrijas apkārtnē. Augstākā  $\text{Eu}^{3+}$  fotoluminiscences kvantu efektivitāte novērota pie 464 nm ierosmes viļņa garuma SACC stiklos (70%), SAZS stiklos- 64%. Sākotnējos stiklos ir novērota vienīgi trīsvērtīgo eiropija jonu  $\text{Eu}^{3+}$  luminiscence, savukārt, stikla keramikās pieaug  $\text{Eu}^{2+}$  jonu luminiscences intensitāte.

## QUANTUM EFFICIENCY OF EUROPIUM LUMINESCENCE CENTRES IN OXYFLUORIDE GLASSES AND GLASS-CERAMICS

Uldis Rogulis<sup>1</sup>, Meldra Kemere<sup>1</sup>, Stefan Schweizer<sup>2,3</sup>, Franziska Steudel<sup>3</sup>, Sebastian Loos<sup>2</sup>,  
Charlotte Rimbach<sup>2</sup>, Reinis Ignatans<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Department of Electrical Engineering, South Westphalia University of Applied Sciences*

<sup>3</sup>*Fraunhofer Application Center of Inorganic Phosphors, Branch Lab IMWS*

Photoluminescence (PL) spectra and quantum efficiency of Eu-doped  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZnF}_2\text{-SrF}_2$  (SAZS) and  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-CaF}_2$  (SACC) oxyfluoride glasses and glass-ceramics have been investigated. In the  $\text{Eu}^{3+}$  PL spectra of the glasses the electric dipole transitions are dominant, which are characteristic for low symmetry environment of glasses. On the contrary, in the  $\text{Eu}^{3+}$  photoluminescence of the  $\text{SrF}_2$  containing glass ceramics the magnetic dipole transitions are dominant, a higher symmetry environment of  $\text{Eu}^{3+}$  centres has been observed. The quantum efficiency is the highest for the  $\text{Eu}^{3+}$  photoluminescence at the excitation wavelength of 464 nm for the SACC glasses (70%), and 64% for the SAZS glasses. In the glasses, initially only the trivalent  $\text{Eu}^{3+}$  luminescence has been observed, whereas, in the glass-ceramics the luminescence of divalent europium  $\text{Eu}^{2+}$  rises.

The project of the Baltic-German University Liaison Office was supported by the German Academic Exchange Service (DAAD) with funds from the Foreign Office of the Federal Republic Germany.



## PLATZONU MATERIĀLA $\text{LiGaO}_2$ LUMINISCENCES ĪPAŠĪBAS

Laima Trinklere, Baiba Bērziņa, Valdis Korsaks, Anatolijs Truhins  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

$\text{LiGaO}_2$  (LGO) ir kristāls ar vurtcīta struktūru un 5.6 eV platu aizliegto zonu. Kristāliskā režģa parametri ļauj šo materiālu lietot kā pamatni ZnO heteroepitaksijā. Liela izmēra augstas kvalitātes LGO kristāli tika nesen izgatavoti Taivānā. Mēs pētām šo materiālu fotoluminiscences (PL) un termoluminiscences (TL) īpašības.

PL spektru LGO veido vairākas luminiscences joslas, kas pie 10 K atrodas pie 280, 325, 520 un 700 nm. Luminiscences josla pie 280 nm ierosinās ar UV gaismu pie 197 nm, 325 nm josla – pie 212 nm, 520 un 700 nm joslas – pie 250 nm. Ja temperatūra paaugstinās rajonā 10-300 K, tad visām luminiscences joslām ir novērojama spektra sarkanā nobīde un intensitātes samazināšanās. Īpaša uzmanība tika veltīta 280 nm joslas izpētei. Tika noskaidrots, ka ierosinošās gaismas intensitātes izmaiņas rada 280 nm joslas maksimuma nobīdi, kā arī izmaina tās intensitātes atkarību no temperatūras. TL tika pētīta divos temperatūru rajonos: 10-300 K un 300-600 K. Zemo temperatūru TL līknei galvenie maksimumi ir pie 120 un 170 K, bet TL luminiscences spektrs sastāv no 325, 520 un 700 nm joslām. Augsto temperatūru TL līknei ir novērojams maksimums pie 600 K ar luminiscenci 500-800 nm rajonā.

Iegūtie PL un TL spektrālo un kinētisko īpašību pētījumi  $\text{LiGaO}_2$  ļauj izdarīt secinājumus par luminiscences procesiem un mehānismiem šajā materiālā.

## LUMINESCENCE PROPERTIES OF WIDE BANDGAP MATERIAL $\text{LiGaO}_2$

Laima Trinkler, Baiba Berzina, Valdis Korsaks, Anatolij Trukhin  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

$\text{LiGaO}_2$  (LGO) is a crystal with wurtzite-type structure and a direct band gap at 5.6 eV used as a lattice-matching substrate for ZnO heteroepitaxy. Recently large size high quality LGO material was produced in National Sun Yat-Sen University in Taiwan. In the present work material's characterisation is done by means of photoluminescence (PL) and thermoluminescence (TL) measurements.

The PL spectrum of LGO contains several emission bands at low temperature centred at 280, 325, 520 and 700 nm. The 280 nm emission band is excited at 197 nm, the 325 nm band – at 212 nm, 520 and 700 nm bands – at 250 nm. With temperature rise in 10-300 K range all emission bands reveal red spectral shift and decrease of intensity. For the 280 nm band it was found that variation of excitation intensity affects position of the emission band and its thermal behaviour. TL was studied in two temperature regions: 10-300 K and 300-600 K. The low-temperature TL curves contain the main peaks at 120 and 170 K, while TL emission spectra contain the same emission bands as PL except the 280 nm band. The high-temperature TL reveals a very strong peak around 600 K in the 500-800 nm spectral region centred at 700 nm.

The spectral and kinetic properties of PL and TL of  $\text{LiGaO}_2$  allow proposal about origin of luminescence processes in this material.

The financial support of Taiwan-Latvia-Lithuania project “Nonpolar ZnO thin films: growth-related structural and optical properties” is greatly acknowledged.

## ERBIJA JONU AUGŠUPPĀRVEIDOTĀ LUMINISCENCE BĀRIJU SATUROŠĀ OKSIFLUORĪDU STIKLA KERAMIKĀ

Guna Kriekē, Anatolijs Šarakovskis  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Bārija fluorīdu saturošas stikla keramikas ir perspektīvi materiāli augšuppārveidotajai luminiscencei, jo  $\text{BaF}_2$  raksturīga zema fononu enerģija, kas samazina bezizstarojuma pārejas, un tas veido cietos šķīdumus ar visiem retzemju joniem.

Šajā pētījumā sintezēti  $\text{Na}_2\text{O-NaF-BaF}_2\text{-YF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{:ErF}_3$  sistēmas stikli ar atšķirīgu  $\text{BaF}_2$  koncentrāciju. Stikla keramikas iegūtas izotermiskā apstrādē.

Bārija fluorīda pievienošana alumosilikātu stikliem veicina  $\text{Ba}^{2+}$  saturošu tetragonāli un romboedriski deformētu fluorīta tipa savienojumu kristalizāciju. Šajos materiālos novērojama efektīva augšuppārveidotā luminiscence. Zaļās luminiscences efektivitāte ir lielāka salīdzinājumā ar  $\beta\text{-NaYF}_4$  saturošām stikla keramikām. Augstā augšuppārveidotā luminiscences efektivitāte saistīta ar samazinātu šķērsrelakāciju efektivitāti, palielinātiem attālumiem starp erbijs joniem, kā arī ar erbijs jonu atrašanos zemas simetrijas apkārtnē.

Šajā darbā pirmo reizi iegūta caurspīdīga stikla keramika ar tetragonāliem un romboedriskiem  $\text{Ba}^{2+}$  saturošiem nanokristāliem, kā arī raksturota šo materiālu augšuppārveidotā luminiscence.

## UP-CONVERSION LUMINESCENCE OF ERBIUM IN BARIUM CONTAINING OXYFLUORIDE GLASS CERAMIC

Guna Kriekē, Anatolijs Sarakovskis  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Barium fluoride containing glass ceramics are promising materials because the low phonon energy of the lattice reduces the non-radiative transitions and  $\text{BaF}_2$  has high solubility of all rare earth ions.

In this study glasses with general composition of  $\text{Na}_2\text{O-NaF-BaF}_2\text{-YF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{:ErF}_3$  containing various amount of  $\text{BaF}_2$  were prepared. The glass ceramics were obtained after isothermal heat treatment.

Introduction of barium fluoride in aluminosilicate glasses favors the crystallization of  $\text{Ba}^{2+}$  containing tetragonally and rhombohedrally distorted fluorite type compounds. These materials exhibit efficient upconversion luminescence. The efficiency of green luminescence is higher than in  $\beta\text{-NaYF}_4$  containing glass ceramics. The high efficiency of upconversion luminescence is caused by decreased cross-relaxation rate, increase in the distance between erbium ions and incorporation of erbium ions in cationic positions with low local symmetry.

In this study for the first time transparent glass ceramics with rhombohedral and tetragonal  $\text{Ba}^{2+}$  containing nanocrystals has been prepared. The upconversion luminescence of these materials has been characterized.

This work was supported by National Research program IMIS<sup>2</sup>



## **Gd<sup>3+</sup> LOKĀLĀ STRUKTŪRA CaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub> UN NaLaF<sub>4</sub> KRISTALĪTUS SATUROŠĀS STIKLA MATRICĀS**

Andris Antuzevičs, Meldra Ķemere, Edgars Elsts, Reinis Ignatāns  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Ar retzemju joniem aktivētas stikla keramikas ir daudzsoļi kompozītmateriāli pielietojumiem optiskās ierīcēs. Šajā darbā tiek pētīta luminiscences centru lokālā struktūra stikla keramikās, izmantojot magnētiskās rezonanses spektroskopijas metodes un Gd<sup>3+</sup> piejaukumus kā paramagnētiskas zondes.

Pētāmie materiāli ir stikla keramikas, kas satur CaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub> un NaLaF<sub>4</sub> kristalītus ar 0.1 mol% Gd<sup>3+</sup>. Paraugu struktūra tiek pētīta ar diferenciālās termālās analīzes (DTA), rentgenstaru difrakcijas (XRD) un elektronu paramagnētiskās rezonanses (EPR) spektroskopijas metodēm.

Stiklu paraugu EPR mērījumos redz nesakārtotas vides Gd<sup>3+</sup> spektru, taču stikla keramiku EPR spektros ir sīkstruktūra, kas raksturīga konkrētajam kristalītam.

Referātā tiks apriests, kādai Gd<sup>3+</sup> lokālai struktūrai atbilst iegūtie EPR spektru parametri.

## **Gd<sup>3+</sup> LOCAL STRUCTURE IN GLASS MATRICES CONTAINING CaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, BAF<sub>2</sub> AND NaLaF<sub>4</sub> CRYSTALLITES**

Andris Antuzevics, Meldra Kemere, Edgars Elsts, Reinis Ignatans  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Glass ceramics doped with rare-earth ions are promising composite materials for applications in optical devices. In this work the local structure of luminescence centres in glass ceramics is studied using magnetic resonance spectroscopy methods and Gd<sup>3+</sup> impurities as paramagnetic probes.

The studied materials are glass ceramics containing CaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub> and NaLaF<sub>4</sub> crystallites with 0.1 mol% Gd<sup>3+</sup>. The sample structure is investigated with differential thermal analysis (DTA), X-ray diffraction (XRD) and electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy methods.

The EPR measurements of the glass samples show the Gd<sup>3+</sup> spectrum of disordered environment, however in glass ceramics the EPR spectra have fine structure characteristic to the specific crystallite.

In this study we will discuss the local structure of Gd<sup>3+</sup> from the EPR parameters.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/1 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

## LUMINISCENTO ĪPAŠĪBU IZPĒTE AR Eu AKTIVĒTIEM ALUMĪNIJA OKSĪDU PĀRKLĀJUMIEM UZ ALUMĪNIJA

*Aleksejs Zolotarjovs, Anete Krūmiņa  
Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Alumīnija oksīda pārklājumus plaši pielieto metāla aizsargāšanai no ķīmiskās, termiskās un mehāniskās iedarbības. Mūsu pētījumos pirmo reizi apskatīta iespējamā pārklājumu luminescento īpašību pielietošana. Šādu labi spīdošo luminescento pārklājumu izveidei būtu labas praktisko pielietojumu iespējas.

Pētījumu laikā izveidoti nanoporaini (poru diametrs 300-500nm, pārklājuma biezums ~ 1-2 μm) alumīnija oksīda pārklājumi uz alumīnija virsmas ar Plazmas Elektrolītisko Oksidēšanu (PEO). Pētījumā apskatītas šo poru aizpildīšanas metodes un tām sekojošo tālāku oksidāciju luminescenta pārklājuma iegūšanai.

Pārklājumu luminescentās īpašības pētītas izmantojot fotoluminescences metodi izmantojot iHR-320 luminescences un TRIAX 320 ierosmes monohromatorus (Horiba), kur luminescences ierosmei izmatotas deitērija un ksenona lampas, kā arī NdYAG 266nm lāzers, bet luminescences detektēšanai FEP 928P (Hamamatsu).

Pārklājumos novērota Eu<sup>3+</sup> jona luminescence un pētītas Eu joslu spektrālā sadalījuma/intensitātes izmaiņas atkarībā no pārklājuma izveides parametriem, nanocaurumu struktūru, kā arī Eu uznešanas procesa veidu un parametriem.

## A STUDY OF LUMINESCENCE PROPERTIES OF EU DOPED ALUMINA COATINGS ON ALUMINIUM

*Aleksejs Zolotarjovs, Anete Krūmiņa  
Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Aluminium oxide coatings are widely used for protecting metal surface from chemical, thermal and mechanical deformation. Our research team was the first to report the possibility to use luminescent properties of such coatings for various practical applications.

Nanoporous alumina coatings (pore diameter 300-500nm, layer thickness ~ 1-2 μm) were prepared on aluminium surface using Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) process. The ways to fill these pores with luminophores as well as further surface modification methods in order to acquire luminescent coatings are studied during the present research.

The luminescent properties of coatings are mostly studied using photoluminescence technique. The iHR-320 luminescence and TRIAX 320 excitation monochromators (Horiba) were used. For the excitation the 266nm NdYAG laser, deuterium or xenon lamps were used, detection was performed with 928P (Hamamatsu) PMT tube.

The luminescence of Eu<sup>3+</sup> ion was observed in coatings, the correlation between Eu line spectral distribution/intensity and coating preparation parameters, the structure of nanopores as well as the doping method and its parameters was analysed.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/21 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

## AIN UN hBN PULVERU SKĀBEKĻA SENSORA ĪPAŠĪBAS

Paula Jankovska, Valdis Korsaks, Laima Trinklere, Jānis Kristaps Valjonoks, Baiba Bērziņa  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Platzonu materiālos AlN un hBN tika novērota skābekļa gāzes jutīga luminiscence. AlN un hBN pulveriem ar nanoizmēra gan arī lielāku graudu struktūru spektrālā rajonā ap 400 nm tika novērota luminiscences josla ar izteiktu fononu sīkstruktūru (zilā luminiscence), un šo luminiscenci var radīt gan eksitonu procesi, gan arī tieša defektu ierosināšana ar ultravioleto gaismu, kas atbilst diviem spektra rajoniem ap 260 nm un 330 nm. Šo luminiscenci ietekmē paraugu aptveroša skābekļa gāze, kas samazina tās intensitāti. Veiktie spektrālie pētījumi ļauj secināt, ka hBN materiālā par zilo luminiscenci varētu būt atbildīgi F centri, ko veido slāpekļa vakances ar satvertiem elektroniem. Šajā gadījumā defekti, kas atrodas tuvu materiāla virsmai, sadarbojas ar apkārtņē esošu skābekļa gāzi.

AlN un hBN materiāliem tika pētītas skābekļa gāzes jutību raksturojošās zilās luminiscences īpašības. Tika pētītas: *i*) materiāla gāzes jutība (zilās luminiscences intensitāšu attiecība materiālam atrodoties vakuumā un skābekļa gāzē); *ii*) mērījumu atkārtojamība; *iii*) skābekļa jutības graduēšanas līkne, iegūta pie dažādām skābekļa koncentrācijām gāzu maisījumā.

## OXYGEN GAS SENSING PROPERTIES OF AlN AND hBN POWDERS

Paula Jankovska, Valdis Korsaks, Laima Trinkler, Janis Kristaps Valjonoks, Baiba Berzina  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Oxygen gas sensing luminescence in wide band gap materials AlN and hBN was observed. It was found that in AlN and hBN powders with nanosize and bulk structured grains, there is a phonon-structured luminescence around 400 nm (blue luminescence - BL), which can be excited either through exciton processes or by direct defect excitation with ultraviolet light from two spectral regions around 260 nm and 330 nm. This luminescence is sensitive to oxygen gas surrounding the material, resulting in quenching of luminescence intensity. From the results of spectral characterization of hBN material it follows, that the F-centers, formed from the nitrogen vacancies with trapped electrons, could be the possible defects responsible for the BL. In this case the defects, which are close to the material surface, are interacting with environmental oxygen gas.

BL characteristics demonstrating oxygen gas sensing properties of AlN and hBN materials were investigated. They are: *i*) gas sensing parameter of material (ratio of BL intensity measured, when sample is in vacuum or in oxygen gas), *ii*) repeatability of measurements, *iii*) oxygen sensitivity graduation curve obtained at different oxygen gas concentrations in gas mixture.

Financial support by National research program IMIS<sup>2</sup> is highly appreciated



**17. februāris**

**FOTONIKA UN ORGANISKIE  
MATERIĀLI**

## ELEKTRISKĀ UN MAGNĒTISKĀ LAUKA IETEKMES IZPĒTE UZ HOLOGRĀFISKO IERAKSTU AZOSAVIENOJUMU MOLEKULĀRAJĀS KĀRTIŅĀS

Andris Ozols, Pēteris Augustovs, Elmārs Zariņš, Valdis Kokars  
*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte*

Praktiski nozīmīgā iespēja vadīt informācijas hologrāfisko ierakstu ar ārēju elektrisku vai magnētisku lauku balstās attiecīgi uz elektrooptiskajiem un magnetooptiskajiem efektiem. Ja gaismas starojuma frekvence ir tuva vielas rezonanses frekvencei, šie efekti var kļūt jūtami. Abos gadījumos caurlaidības hologrāfiskie režģi ar 2.0 μm periodu tika ierakstīti un nolasīti ar 632.8 nm He-Ne lāzera gaismu. Tika izmantotas *s-s*, *p-p*, *L-L*, *L-R* ieraksta polarizācijas. Pastāvīgs elektriskais lauks ar 17 kV/cm intensitāti tika pielikts perpendikulāri režģa līnijām 0.2 mm attālumā no kārtiņas (ZWK-2TB, WE-3, ZWK-3, IWK-2D) virsmas. Tika mērīta pašdifrakcijas efektivitātes (SDE) atkarība no laika. Elektriskais lauks tika pārslēgts arī ekspozīcijas laikā. Kļūdu robežās (1-5%) elektriskā lauka ietekme uz SDE netika novērota. Pastāvīgs magnētiskais lauks ar indukciju 0.15 T tika pielikts paralēli režģa līnijām. Šajos eksperimentos tika pētīts tikai labākais paraugs IWK-2D ar *s-s* un *p-p* polarizācijām. Konstatēts, ka SDE palielinās *s-s* gadījumā par 1.9%, bet samazinās *p-p* gadījumā par 4.9%. Savukārt ieraksta enerģijas abos gadījumos samazinājās par attiecīgi 1.9% un 9.1%. Diemžēl šie rezultāti ir kļūdu robežās (15-20%).

## ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD EFFECT STUDIES ON THE HOLOGRAPHIC RECORDING IN AZOCOMPOUND MOLECULAR FILMS

Andris Ozols, Pēteris Augustovs, Elmārs Zariņš, Valdis Kokars  
*Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

Practically significant possibility to steer the holographic information recording by external electric or magnetic field is based on electrooptic and magneto optic effects. If the frequency of light irradiation is close to the resonance frequency of a material, these effects can become observable. In both cases transmission holographic gratings with 2.0 μm period have been recorded by 632.8 nm He-Ne laser light. Recording beam polarizations were *s-s*, *p-p*, *L-L* and *L-R*. 17 kV/cm dc electric field was applied perpendicularly to the grating fringes at the distance of 0.2 mm from the film (ZWK-2TB, WE-3, ZWK-3, IWK-2D) surface. Recording time dependence of self-diffraction efficiency (SDE) was measured in each case. Electric field was also switched off and on during the exposure. No effect of electric field was found within the measurement accuracy (1-5%). 0.15 T dc magnetic field was applied parallel to grating fringes. In these experiments only the best sample IWK-2D was studied with *s-s* and *p-p* polarizations. It was found that SDE increases by 1.9% in the *s-s* case whereas it decreases by 4.9% in the *p-p* case. Recording energy decreased in both cases by 1.9% and 9.1%, respectively. Unfortunately, these results are within experimental errors (15-20%).

The financial support of Latvian State Programme "Multifunctional materials and composites, photonics and nanotechnologies. Project 1: Photonics and materials for photonics" is greatly acknowledged.

## HOLOGRĀFISKĀS LITOGRĀFIJAS IESPĒJAS

Jānis Teteris

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Referātā tiek apskatīta hologrāfiskās litogrāfijas principi, tiek dots salīdzinājums ar klasiskās optiskās litogrāfijas tehnoloģijām. Darbā apskatīts pašreizējais stāvoklis „tiešā” optiskā ieraksta organisko un neorganisko fotorezistu izstrādē un izmantošanā materiālu virsmas strukturēšanas tehnoloģijās.

Izmantojot immersijas hologrāfisko litogrāfiju ir iespējams iegūt difrakcijas režģus ar periodu ~150 - 250 nm. Apskatīta iespēja uz šādu režģu bāzes izgatavot pirmās kārtas DFB (distributed feedback) lāzeru rezonatorus 500-700 nm apgabalā.

## POSSIBILITIES OF HOLOGRAPHIC LITHOGRAPHY

Janis Teteris

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

In this report the holographic lithography will be discussed and its comparison with conventional optical lithography technologies will be done. The present state of research and practical application of direct recording photoresists based on photoinduced mass displacement both in organic and inorganic compounds has been examined.

By means of immersion holographic lithography the surface relief gratings with a period of ~150 – 250 nm can be fabricated. A possibility to produce the DFB (distributed-feedback) lasers, operating in the spectral range of 500-700 nm will be reported.

## **TIEŠĀ IERAKSTA FOTOREZISTA IZSTRĀDE UZ EPOKSĪDA POLIMĒRA BĀZES**

Jelena Mīkelsone, Jānis Teteris  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Šajā darbā tiek pētīta difraktīvo optisko elementu (DOE) izstrādes iespēja uz azo-epoksīda polimēriem tiešā hologrāfiskā ieraksta laikā. Šajos materiālos azo-savienojums tiek saistīts ar epoksīdu, veidojot polimēru. Azo-epoksīdu polimēru priekšrocība ir ne tikai vienkārša un lēta sintēze, bet arī tāda, ka materiālā masas transports nav apgrūtināts ar materiāla lielo polimerizācijas pakāpi.

Uz epoksīdiem bāzētu polimēru laikā tiek izmantoti videi draudzīgi šķīdinātāji un materiāli. Šajā darbā tiek meklētas paraugu izgatavošanas metodes, lai iegūtu optiski viendabīgu liela izmēra rezistu. Iegūtos rezistos tiek pētīta virsmas reljefa veidošanās atkarībā no vairākiem parametriem – ierakstošo staru intensitātes, polarizācijas.

## **DEVELOPMENT OF EPOXY POLYMER BASED PHOTORESIST FOR DIRECT HOLOGRAPHIC RECORDING**

Jelena Mīkelsone, Janis Teteris  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

In this work development of diffractive optical elements (DOE) in azo-epoxy polymers during direct holographic recording is studied. In this material azo-compound is covalently attached to epoxy forming polymer. Advantage of azo-epoxy polymer is simple and cheap synthesis, low polymerization index, thus mass transport is not inhibited.

For synthesis of epoxy based polymers environmental friendly solutions and materials are used. In this research we are looking for sample preparation methods allowing to obtain optically uniform resist. In prepared resists surface relief formation during direct holographic recording is studied.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/22 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.



## DWK-1TB MOLEKULU OPTISKĀS UN PASTIPRINĀTAS SPONTĀNĀS EMISIJAS ĪPAŠĪBAS POLIMĒRA MATRICĀ

Aivars Vembris

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Organiskie cietvielu lāzēri paver jaunus pielietojumus, jo tie ir maza izmēra, zemas ražošanas izmaksas un savietojamības ar mikroelektroniku. Šādus lāzērus būtu iespējams pielietot komunikācijā, sensoros, medicīnā u.c.

Organisko cietvielu lāzēru izveidošanai ir nepieciešama sistēma, kurai piemīt pastiprinātā spontānā emisija. 4-(dicianometilēne)-2-metil-6-(4-dimetilaminostiril)-4H-pirans (DCM) ir viena no populārākām lāzēru krāsvielām, tomēr to pielietošana organiskos cietvielu lāzēros ir ierobežota saistībā ar spēcīgu starpmolekulāro mijiedarbību, kura dzēš fotoluminiscenci. DWK-1TB molekula ir DCM atvasinājums, kur DCM molekulai ir pievienotas tritiloksietila grupas, kas samazina starpmolekulāro mijiedarbību līdz ar to uzlabojot vielas optiskās īpašības.

Šajā prezentācijā tiks apskatītas optiskās un pastiprinātās spontānās emisijas īpašības viesu-saimnieka sistēmai ar dažādu koncentrāciju DWK-1TB molekulām polimēra matricā.

Pastiprinātā spontānā emisija tika ierosināta ar 532 nm lāzera gaismu. Impulsa garums bija 10 ns ar atkārtotās frekvenci 10Hz. Apstarotais laukums bija līnija ar izmēriem 4x0.4 mm<sup>2</sup>. Gaismas emisija tika novērota parauga malā.

Pētījums ir finansiāli atbalstīts Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Studentu un Jauno zinātnieku projekta Nr SJZ2015/12 ietvaros.

## OPTICAL AND AMPLIFIED SPONTANEOUS EMISSION PROPERTIES OF DWK-1TB MOLECULES IN POLYMER MATRIX

Aivars Vembris

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Organic solid state laser could be perspective in communication and medicine due to low cost, easy production and compatible with microelectronics.

One of the well-known red light emitting laser dyes is 4-(dicyanomethylene)-2-methyl-6-(4-dimethylaminostyryl)-4H-pyran (DCM). High intermolecular interaction limits DCM molecule application in solid state organic lasers. DWK-1TB is the same DCM molecule with two bulky trytloxyethyl groups, which reduce interaction between molecules thus improve optical properties.

Optical and amplified spontaneous emission properties of DWK-1TB molecules in polymer matrix will be discussed in the presentation.

Ekspla 310 series laser at 532 nm with repetition rate 10Hz and pulse duration 10 ns was used as light source for amplified spontaneous emission measurements. The irradiation area on surface of the sample was stripe form with dimension 4x0.4 mm<sup>2</sup>. Light emission was measured at the edge of the sample.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/12 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

## MIKROSTRUKTŪRAS VEIDOŠANA PIRAMILIDĒNA ATVASINĀJUMU SATUROŠĀS SU-8 KĀRTIŅĀS

Jūlija Pervenecka, Aivars Vembris, Edgars Nitišs, Elza Liniņa  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Organisko cietvielu lāzeru radīšanai ir nepieciešama vide, kurai piemīt pastiprinātā spontānā emisija un kurā ir izveidoti rezonatori. Viss biežāk organisko pusvadītāju lāzeros tiek pielietoti vertikālie Fabri-Pero, mikro-gredzena vai mikro-diska rezonatori, vai arī planārie Fabrī-Pero viļņvadi.

Iepriekš veiktie pētījumi ar savienojumu DWK-1TB parādīja, ka tie ir perspektīvi organisko cietvielu lāzeru aktīvās vides veidošanai. Sajaucot šo savienojumu ar dažādiem polimēriem, tika iegūta nepieciešamā viesu-saimnieka sistēma. (piemēram, PMMA (Poli(metil metakrilats)) un PVK (poli-(N-vinil karbazols)) matricas)

Litogrāfija ir viens no veidiem, kā iegūt nepieciešamo struktūru. Piemēram, sajaucot DWK-1TB ar SU-8 un izšķīdinot tos ar GBL, tiek iegūts šķīdums, no kura ar rotējoša diska metodi tiek pagatavotas plānas kārtiņas, no kurām savukārt ar litogrāfijas palīdzību, tiek iegūtas nepieciešamās mikrostruktūras (mikro-diska rezonatori).

Šajā darbā tiks apskatīts SU-8/ DWK-1TB mikrostruktūru veidošanas iespējas ar litogrāfijas palīdzību.

Šis darbs ir tapis valsts pētījuma projekta “Daudzfunkcionālie Materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijas” (IMIS<sup>2</sup>) ietvaros

## PREPARATION OF MICROSTRUCTURE IN PIRAMILIDEN DERIVATIVES CONTAINING SU-8 FILMS

Jūlija Pervenecka, Aivars Vembris, Edgars Nitišs, Elza Liniņa  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Solid-state laser consist from medium with amplified spontaneous emission and resonator. Vertical Fabry-Perot microcavity, microring resonator, microdisk resonator and Planar Fabry-Perot waveguide are the most common used resonators in organic semiconductor lasers.

DWK-1TB was shown as perspective compound as laser dye in organic solid-state laser. Active medium was obtained by mixing these compounds with a variety of polymers. (for example, PMMA (Poly (methyl methacrylate)) and PVK (poly- (N-vinyl carbazole)) matrices)

Lithography is one of the ways to obtain the necessary structure. For example, mixing DWK-1TB with SU-8 and dissolving them with GBL necessary solution was obtained. Thin films were prepared by spin-coating method, which were used for lithography.

In this work formation of SU-8/ DWK-1TB microstructure by lithography will be discussed.

This work was supported by National Research program “Multifunctional Materials and composites, photonics and nanotechnology” (IMIS<sup>2</sup>)

## **ROBEŽVIRSMAS STARP DIVĀM ORGANISKAJĀM VIELĀM PĒTĪŠANA AR FOTOEMISIJAS KVANTU IZNĀKUMA SPEKTROSKOPIJAS METODI**

Raitis Grzibovskis, Aivars Vembris  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Līdz šim aktīvi pētīti ir tikai enerģētiskie līmeņi atsevišķām organiskajām vielām vai arī šo līmeņu nobīde organiskās vielas un metāla robežvirsmā. Ja elektroniskā ierīce tiek veidota no vairākiem organisko vielu slāņiem, ir svarīgi iegūt informāciju par elektronu pārnesei starp šiem materiāliem. Tas ir šī pētījuma mērķis.

Šajā darbā pētītas polimēra P3HT un fullerēna atvasinājuma PCBM plānās kārtiņas.

Tika veidoti divu veidu paraugi: 1) tilpuma heteropārejas paraugi, kas iegūti no šķīduma; 2) slāņaini paraugi, kur PCBM ar termisko iztvaicēšanu vakuumā tiek uzneests uz P3HT kārtiņas. Pirmajā gadījumā tika mainīta vielu masu attiecība, otrajā gadījumā tika mainīts PCBM slāņa biezums.

Iegūtajiem paraugiem tika pētītas fotoemisijas kvantu iznākuma spektrālās atkarības robežās no 4-6,5eV.

Tiks prezentētas iegūtās sakarības starp enerģijas līmeņiem un to izmaiņām pētītajās plānajās kārtiņās.

Pētījums ir finansiāli atbalstīts Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Studentu un Jauno zinātnieku projekta Nr.SJZ2015/20 ietvaros.

## **STUDY OF INTERFACE BETWEEN TWO ORGANIC COMPOUNDS USING PHOTOEMISSION YIELD SPECTROSCOPY METHOD**

Raitis Grzibovskis, Aivars Vembris  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Up to now there have been studied energy levels of separate organic compounds or shift of these levels at the interface between organic compound and metal. If electronic device is made of several layers of organic compounds it is necessary to obtain information about electron transfer between these materials. That is the aim of the research.

In this work we have studied thin films of polymer P3HT and fullerene derivative PCBM. Two types of samples were obtained: 1) bulk heterojunction samples obtained from solution; 2) planar samples where PCBM is deposited on top of the P3HT layer using thermal deposition in vacuum. In the first case we changed mass ratio of studied compounds while in the second case we changed thickness of the deposited PCBM layer.

Photoemission yield spectral dependence was obtained from 4-6.5eV.

Obtained results of the energy level values and their changes in thin films will be presented.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr.SJZ2015/20 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.



**17. februāris**

**MĒRĪJUMU TEHNOLOĢIJAS,  
IEKĀRTAS UN PROTOTIPI**

**ORGANISKO MATERIĀLU PLĀNO KĀRTIŅU TERMOELEKTRISKO  
ĪPAŠĪBU PĒTĪJUMI INFRASARKANĀ STAROJUMA SENSORU  
LIETOJUMIEM**

Kaspars Pudžs

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Attīstoties modernajām tehnoloģijām, aizvien vairāk pieaug nepieciešamība pēc efektīviem, ātrdarbīgiem un lētiem infrasarkanajiem sensoriem. Līdz šim izmantotie neorganiskie materiāli ir ar augstu siltumvadītspēju, kas liedz tos izmantot plānās kārtiņās, turklāt tie ir efektīvāki augstās temperatūrās, kā arī to pieejamība ir ierobežota, kas sadārdzina sensoru izmaksas.

Tā kā organiskajiem materiāliem ir lielas Zēbeka koeficienta vērtības, kas sasniedz 1,8mV/K, tad šādu materiālu plāno kārtiņu tehnoloģijas paver potenciālu iespēju organisko materiālu plānās kārtiņas izmantot termoelektriskos sensoros, piemēram, lāzera stara pozīcijas noteikšanai.

Vieni no potenciāli sensoros pielietojamiem organiskajiem materiāliem ir metālu ftalocianīni. Līdz šim metālu ftalocianīni ir intensīvi pētīti gāzu sensoru pielietojumiem.

Šajā darbā tiks atspoguļots līdz šim Studentu un Jauno zinātnieku projektā Nr. SJZ2015/13 paveiktais: plāno organisko kārtiņu Zēbeka koeficienta mērījumi, elektriskās vadāmības mērījumi un struktūras pētījumi.

Pētījums ir finansiāli atbalstīts Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Studentu un Jauno zinātnieku projekta Nr. SJZ2015/13 ietvaros.

**STUDY OF THERMOELECTRIC PROPERTIES OF ORGANIC THIN  
FILMS FOR INFRA-RED RADIATION SENSOR APPLICATION**

Kaspars Pudžs

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

There is an increasing need for effective, high-speed and low-cost infrared sensors with the development of modern technology. So far used inorganic materials have high thermal conductivity, which prevents their use in thin films, and they are more effective at high temperatures, as well as their availability is limited, which raises the cost of the sensor.

Organic materials have high Seebeck coefficient values that can reach 1,8mV/K. Thin films of such materials offers the possibility of using them in thermoelectric sensors, such as for laser beam position determination.

One of the potential organic material for sensors application is a metal phthalocyanine. So far the metal phthalocyanine is intensively studied for gas sensor applications.

In this work the results of Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/13 will be shown: Seebeck coefficient of thin organic films, electrical conductivity measurements and structural studies.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/13 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

**“Z-SCAN” METODES IEVIEŠANA NELINEĀRI OPTISKO MATERIĀLU  
DIVFOTONU ABSORBCIJAS UN OPTISKĀ KERRA KOEFICIENTA  
NOTEIKŠANAI**

Arturs Bundulis, Edgars Nitišs, Jānis Busenbergs, Mārtiņš Rutkis  
*Latvijas Universitātes Cietvielu Fizikas institūts*

Strauji attīstoties optisko tehnoloģiju pielietojumiem telekomunikāciju nozarē, palielinās interese par organisko materiālu izmantošanu opto-optiskās iekārtās. Šādu ierīču ieviešanai praksē būtu nepieciešama labāka izpratne par organisko molekulu nelineāri optiskajiem (NLO) efektiem. Kā piemērus var minēt divfotonu absorbciju un Kerra efektus, kuri ir jāņem vērā, veidojot iekārtas optiskā signāla modulēšanai, datu saglabāšanai un jaudas kontrolēšanai. Kerra koeficienta un divfotonu absorbcijas koeficienta noteikšanai tika ieviesta “z-scan” metode.

Realizējot “z-scan” metodi, izmantojot nanosekundžu impulsu lāzeri, ir jāņem vērā termālās fokusēšanās efekts. Precīzai NLO efektu analīzei tika izmantots pikosekundžu impulsu lāzers.

Darbā tika pētīti dimethylaminobenziliden-1,3-indandiona (DMABI) dažādu atvasinājumu divfotonu absorbcijas un Kerra efekti, kā arī to pielietojums optiskā signāla vājināšanai.

Pētījums ir finansiāli atbalstīts Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Studentu un Jauno zinātnieku projekta Nr. SJZ2015/16 ietvaros.

**IMPLEMENTATION OF Z-SCAN METHOD FOR DETERMINATION OF  
NON-LINEAR OPTICAL MATERIAL TWO-PHOTON ABSORPTION AND  
OPTICAL KERR COEFFICIENTS**

Arturs Bundulis, Edgars Nitiss, Janis Busenbergs, Martins Rutkis  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

The rapid development of optical technologies for telecommunications sector has created a growing interest on the usage of organic materials in opto-optical devices. Implementation of such devices into practice requires a better understanding of non-linear optical (NLO) effects of organic molecules. Examples include two-photon absorption and Kerr effect, which must be taken into account when designing equipment for optical signal modeling, data storage and power controlling. To determine the optical Kerr coefficient and the two-photon absorption coefficient the “z-scan” method was implemented.

Thermal lensing effects must be taken into account while carrying out “z-scan” method using nanosecond pulsed laser. For accurate NLO effect analysis picosecond pulsed laser was used.

In this study we will analyze two-photon absorption and Kerr effect of dimethylaminobenziliden-1,3-indandions (DMABI) various derivatives and their application for optical limiting.

The financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/16 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

## PORTATĪVS HROMAMETRS UZ ARDUINO MIKROKONTROLERA BĀZES

Varvara Zavjalova<sup>1,2</sup>, Māris Ozoliņš<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes fizikas nodaļa*

<sup>2</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Pēdējā laikā arvien populārāki kļūst dažādi sensori un tehniskie risinājumi, kuri izmanto mikrokontrolerus ar relatīvi vienkāršu vadības organizāciju. Tas attiecas arī uz krāsu selektīvu trihromātisko pusvadītāju sensoru TCS230, kura programmēšana un vadība var tikt realizēta ar *Arduino* tipa interfeisa palīdzību. Izstrādātā un aprobētā iekārta ļauj ar 12-bitu krāsu izšķiršanu iegūt *raw* sākuma datus, lai noteiktu izstarojošu un atstarojošu stimulu trihromātiskās krāsu koordinātas. Sensors standartā tiek apgādāts ar gaismas diožu apgaismošanas avotiem. Kalibrētai gaismas krāsu uztverei apgaismojuma daļa ir tikusi pārstrādāta, un pielietota optiskā lēcu fokusēšanas adapteru sistēma redzes lauka ierobežošanai. Kalibrēšana notiek ar datu apstrādi datorā, kaut gan ierīce ar ierobežotām kalibrācijas iespējām darbināma arī autonomā režīmā. Iekārta dotā brīdī tiek izmantota pārtikas produktu kontrolei, un paredzēts vēlāk to izmantot arī redzes zinātnes pielietojumos.

## PORTABLE CHROMA METER USING ARDUINO INTERFACE

Varvara Zavjalova<sup>1,2</sup>, Maris Ozolinsh<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Optometry and vision science, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Recently it is becoming more popular a variety of sensors and technical solutions that use microcontrollers with a relatively simple management organization. This applies also to the trichromatic color selective semiconductor sensor of type TCS230 which programming and management can be realized with the help of *Arduino* type interface. Developed and approved by authors facility allows to register stimuli with the 12-bit color resolution that allows to obtain *raw* input data to determine the emitting and reflective stimuli trichromatic color coordinates. The sensor is equipped with a standard LED lighting sources. In order to obtain calibrated perception of colors the lighting part has been modified, and the focusing lens optical adapter system is applied for limiting the field of vision. Calibration takes place with the processing of data on portable computer, although the device with reduced calibration facilities can be operated in stand-alone mode. The device is used in a given time to monitor the quality of foodstuff, however it is intended to use it later in vision science applications.



## INTERESANTI REZULTĀTI IMPEDANCES MĒRĪJUMU GAITĀ. NOSKAIDROTS.

Raul Land<sup>1</sup>, Paul Annus<sup>1</sup>, Mart Min<sup>1</sup>, Alberts Kristiņš<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tallinas Tehnoloģiskās universitātes Tomasa Johana Zēbeka elektronikas nodaļa.

<sup>2</sup> Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

Veicot mērījumus, nevēlamas blakusparādības viegli var izkropļot rezultātus. Dažos gadījumos to var nepamanīt un tas var novest pie nepareiziem secinājumiem. Pasīvo shēmu kompleksās impedances mērījumos negatīvas reālās daļas parādīšanās bieži ir viena no tām.

Lai gan pasīvām ķēdēm teorētiski tas nav iespējams, tomēr to var izskaidrot ar parazitiskām saitēm no apkārtējās vides uz pētāmo shēmu. Var teikt, ka parazitiskās saites ir izpētītas un modelētas, tomēr, kā bieži notiek, uzdevums nebija tik vienkāršs un radās daudz kļūdu.

Tika izpētīti divi parazitisko saišu veidi – induktīvais un kapacitatīvais. Induktīvās saites izpēte šķita cerīgāka, jo oriģinālais komponents ar „sliktu uzvedību” bija vienkārša stieples spole. Kapacitatīvā saite sākotnēji tika noraidīta modelēšanas kļūdu dēļ. Kad eksperimentos ar induktīvo saiti neizdevās pārliecinoši izskaidrot realitātē esošās parādības, kapacitatīvās saites koncepcija vēlreiz tika pārvērtēta. Parazitiskās saites parasti izplatās ap objektu. Tomēr analīze parādīja, ka iedarbība no tām ir spēcīgāka mērāmās impedances vidusdaļā un tāpēc reālā parazitiskā saite tika aizvietota ar kondensatoru no izpētāmās impedances centra pret zemi, lai veiktu modelēšanu un analīzi. Tā kā modelēšanas un reālo mērījumu gala rezultāti saskanēja, tad ar pārliecību var secināt, ka parazitiskā kapacitatīvā saite tiešām bija galvenais kļūdu avots un tā tika pareizi noteikta. Papildus tiek piedāvāta formula, kura ļauj prognozēt mērījumu kļūdas parādīšanos un tās lielumu, tajā skaitā ar negatīvu reālo daļu. Eksperimentiem tika izmantots precīzs pilnās impedances mērītājs Wayne Kerr 6500P.

## INTERESTING RESULTS DURING IMPEDANCE MEASUREMENT. SOLVED.

Raul Land<sup>1</sup>, Paul Annus<sup>1</sup>, Mart Min<sup>1</sup>, Alberts Kristiņš<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Thomas Johann Seebeck Department of Electronics, Tallinn University of Technology

<sup>2</sup> Institute of Solid State Physics, University of Latvia

Unwanted side effects can easily distort the results while conducting measurements. In some cases they may remain unseen, and can lead to wrong conclusions. Appearance of negative real part during measurement of the complex impedance of passive circuits is often one of them. While theoretically impossible for passive circuits it can be explained with parasitic coupling of the circuits under investigation. Said parasitic coupling was investigated and modeled. As it often happens the task was not easy and many errors were present. Two coupling options were investigated, inductive and capacitive. Inductive coupling seemed more appealing, since the original “ill behaving” component was simple wirewound inductor. Capacitive coupling was rejected at first due to mistakes made during modeling. When the experiments with inductive coupling failed to explain the real life phenomena convincingly capacitive coupling concept was revisited. Typically the parasitic coupling is spread around the object. Nevertheless the analysis shows that the impact from it is strongest near the center of the measurable impedance, and therefore the real spread coupling was replaced with single capacitor from the center of the impedance under investigation to the ground for the modeling and analysis. As the final results from modeling and real life measurements coincided well it can be assumed with certainty that the underlying parasitic capacitive coupling was indeed the main cause of errors, and was identified correctly. In addition closed form formula is proposed enabling to predict appearance and magnitude of the measurement error, including negative real part. Wayne Kerr6500P precision impedance meter was used during the experiments.



**17. februāris**

**STENDA REFERĀTI**

**CAMART<sup>2</sup> —  
IESPĒJU PLATFORMA GAN STUDENTAM, GAN UZŅĒMĒJAM**

Līga Grīnberga, Anatolijs Šarakovskis, Mārtiņš Rutkis, Andris Anspoks, Andris Ozoliņš,  
Andris Šternbergs  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts (LU CFI) kopā ar Zviedrijas kolēģiem no Karaliskā tehnoloģiju institūta (KTH) un Acreo Swedish ICT ir izveidojuši konsorcijs, lai pilnveidotu esošo LU CFI ekselences centru, izmantojot Apvārsnis 2020 ‘*Teaming*’ uzsaukumā atbalstīto projektu CAMART<sup>2</sup>.

Projekta mērķi, pirmkārt, ir, apvienojot visu trīs partneru zināšanas un prasmes, attīstīt zinātniskās pētniecības, izglītības un tehnoloģiju pārneses vidi, radot augsta līmeņa atvērtā tipa laboratorijas LU CFI. Otrkārt, izveidot ilgtermiņa sadarbību rūpniecisko pētījumu veikšanai starp LU CFI un uzņēmējiem Baltijas jūras reģionā. CAMART<sup>2</sup> būs iespēju platforma studentiem zināšanu papildināšanai un eksperimentu veikšanai jaunizveidotajās laboratorijās savu akadēmisko mērķu sasniegšanai, kā arī izdevība iekļauties ar rūpniecisko izpēti saistītos pētījumos un iegūt eksperimentāli tehniskas iemaņas, kuras ir nepieciešamas konkrētajam uzņēmējam. Savukārt uzņēmējiem šī platforma sniegs pieeju eksperimentālajai infrastruktūrai nepieciešamo mērījumu veikšanai, atbalstu inovatīvu ideju pārbaudei un uzņēmuma darbinieku apmācībai nepieciešamo eksperimentu veikšanai, kā arī iespēju piesaistīt jau sagatavotus speciālistus savās pētniecības laboratorijās.

**CAMART<sup>2</sup> —  
A PLATFORM OF OPPORTUNITIES FOR STUDENTS AND  
ENTREPRENEURS**

Līga Grīnberga, Anatolijs Šarakovskis, Martins Rutkis, Andris Anspoks, Andris Ozoliņš,  
Andris Sternberg  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Institute of Solid State Physics of University of Latvia (ISSP UL) together with Royal Institute of Technology (KTH) and Acreo Swedish ICT are involved in new consortium for upgrading of the existing Centre of Excellence under H2020 “*Teaming*” project — CAMART<sup>2</sup>. The aim of CAMART<sup>2</sup> is to combine the knowledge and skills of all three partners for developing research, education and technology transfer environment and creating high-level open-type laboratories at the ISSP UL, as well as to establish a long-term industrial research cooperation between ISSP UL and entrepreneurs in the Baltic Sea region. CAMART<sup>2</sup> platform will give an opportunity for students to supplement the knowledge and to perform experiments in the newly created laboratories to achieve their academic goals. On the other hand there will be an opportunity to engage in industrial research and obtain technical skills, which are necessary to the entrepreneurs. In turn for entrepreneurs, this platform will provide access to the necessary infrastructure for experimental measurements, support for assessment of innovative ideas and training required to conduct the experiments, as well as the opportunity to attract already prepared specialists to their research laboratories.

## O UN $V_{Fe}$ MIJIEDARBĪBAS *ab initio* APRĒĶINI *fcc*-Fe REŽĢĪ

Aleksejs Gopejenko<sup>1</sup>, Jurijs Žukovskis<sup>1</sup>, Pavel V. Vladimirov<sup>2</sup>, Jevgenijs Kotomins<sup>1</sup>,  
Jurijs Mastrikovs<sup>1</sup>, Vladimir A Borodin<sup>3</sup> un Anton Möslang<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu Fizikas Institutūts  
<sup>2</sup>Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Angewandte Materialien  
<sup>3</sup>NRC “Kurchatov Institute”

ODS tēraudus ar  $Y_2O_3$  piemaisījumiem var izmantot kā strukturālo materiālu nākotnes termiskās sintēzes reaktoriem. Tie ļauj palielināt nākotnes kodolsintēzes reaktoru darba temperatūru uz apmērām  $100^\circ C$  (līdz  $650^\circ C$  un augstāk).  $Y_2O_3$  ir visbiežāk izmantots un stabils oksīds tēraudu pastiprināšanai, tāpēc ka tās kušanas temperatūra ir augstāk nekā tīrā tēraudā. Tas varētu spēlēt nozīmīgu lomu oksīda nanodaļiņu ODS tēraudos veidošanā. Neskatoties uz to, ka tika veikti vairāki eksperimentālie tēraudu pētījumi, ir svarīgi arī saprast mehānismus, kā  $Y_2O_3$  nanodaļiņas tiek veidotas tēraudā.

Visiem aprēķiniem tiek izmantota plakānu viļņu blīvuma funkcionālu teoriju (DFT) metode. Tika izpētīti Y, O un  $V_{Fe}$  vakanču vienkāršie punktveida defekti, kā arī to migrāciju trajektorijas un klasterizācijas iespējas. Piemēram, tika aprēķinātas O- $V_{Fe}$  mijiedarbības *fcc* Fe režģī dažādos attālumos. Relaksācijas laikā skābekļa atoms tiek iebīdīts par  $0.7 \text{ \AA}$  no  $O_{Fe}$  pozīcijas astoņskaldņu centra  $O_{oct}$  virzienā. Šī konfigurācija ir  $0.5 \text{ eV}$  enerģētiski izdevīgākā salīdzinot ar  $O_{oct}$  konfigurāciju, ar  $1.5 \text{ eV}$  migrācijas barjeru. Vislielākā saites enerģija ( $1.18 \text{ eV}$ ) starp O un  $V_{Fe}$  tika atrasta 2NN attālumam starp abiem defektiem. Iepriekš dabūtu rezultātu  $O_{Fe}$  aizvietotājiem *fcc* Fe režģī pārbaudīšanai, papildus aprēķini tika veikti.

### *Ab initio* CALCULATIONS OF O AND $V_{Fe}$ INTERACTION IN *fcc* Fe LATTICE

Aleksejs Gopejenko<sup>1</sup>, Yuri Zhukovskii<sup>1</sup>, Pavel V. Vladimirov<sup>2</sup>, Eugene Kotomin<sup>1</sup>,  
Yuri Mastrikov<sup>1</sup>, Vladimir A Borodin<sup>3</sup>, and Anton Möslang<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia  
<sup>2</sup>Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Angewandte Materialien  
<sup>3</sup>NRC “Kurchatov Institute”

ODS steels with  $Y_2O_3$  precipitates are planned to be used as structural materials in the future thermal synthesis reactors. This allows increasing of the operating temperature for future fusion and advanced fission reactors by  $100^\circ C$  up to  $650^\circ C$  or even higher. The most commonly used material for the strengthening of RAFM steels was found to be  $Y_2O_3$  as one of the most stable oxides with melting temperature higher than melting temperature of the steels which might play significant role in the formation of oxide nanoparticles in (ODS) steels.

A lot of experimental investigations have been performed on ODS steels so far, however, it is important to understand the mechanism of the  $Y_2O_3$  nanoparticle formation in steel.

Plane wave density functional theory (DFT) method has been used in all our calculations. Parameters of Y, O, and  $V_{Fe}$  single point defects have been considered as well as their migration trajectories and clusterization possibilities. For example, O- $V_{Fe}$  interactions in *fcc*-Fe lattice have been calculated for different inter-defect distances. During the relaxation oxygen atom is shifted from  $O_{Fe}$  position towards octahedral center  $O_{oct}$  by  $0.7 \text{ \AA}$ . The latter configuration is  $0.5 \text{ eV}$  energetically more favorable as compared to  $O_{oct}$  configuration. The migration barrier between both positions is  $1.5 \text{ eV}$ . The largest binding energy between O interstitial and  $V_{Fe}$  vacancy has been estimated to be  $1.18 \text{ eV}$  when both defects are located at 2NN distance. In order to improve precision of the earlier obtained results for  $O_{Fe}$  substitute, additional calculations have been performed.

This work has been carried out within the framework of the EUROfusion Consortium and has received funding from the Euratom research and training programme 2014-2018 under grant agreement No 633053.

## CuO LOKĀLĀS DINAMIKAS EXAFS PĒTĪJUMI

Aleksandrs Rumjancevs, Aleksejs Kuzmins  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Vara monoksīds tiek izmantots kā bāze kuprāta augsttemperatūras supravadītājiem [1], kā arī tiek plaši pielietots nanostrukturētā veidā [2]. CuO parāda antiferomagnētiskās īpašības zem 230 K [3] un ir labi piemērots vara-skābekļa saišu saspiežamības [1] un lādiņa sakārtošanas [4] parādību pētīšanai. Kristāliskam vara oksīdam ir monoklīna struktūra, kas sastāv no CuO<sub>6</sub> oktaedriem. Jana-Tellera efekta dēļ CuO<sub>6</sub> oktaedri ir stipri deformēti tādā veidā, ka varš ir koordinēts ar četriem tuvākajiem skābekļa atomiem, kuri veido planāru kvadrātu.

Šajā darbā mēs izmantojām rentgenabsorbcijas spektroskopiju (EXAFS), lai izpētītu CuO atomu lokālās dinamikas temperatūras atkarību no 10 K līdz 300 K. Cu K-malas EXAFS signāls no tuvākajiem kaimiņiem (četriem skābekļa atomiem) nesatur daudzkārtējas izkliedes ieguldījumu, kas ļāva mums iegūt informāciju par vidējo kvadrātisko relatīvo nobīdi (MSRD) tuvākajam Cu-O pārim, kā arī novērtēt efektīvo saites stipruma konstanti, izmantojot Einšteina modeli.

## EXAFS STUDY OF LOCAL DYNAMICS IN CuO

Aleksandrs Rumjancevs, Alexei Kuzmin  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Copper monoxide (CuO) is a prototype compound for high-T<sub>c</sub> superconducting cuprates [1] and is widely used in nanostructured form [2]. CuO orders antiferromagnetically below 230 K [3] and is well suited to study compressibility of copper-oxygen bonds [1] and the charge ordering phenomenon [4]. Bulk CuO has monoclinic structure built up of CuO<sub>6</sub> octahedra strongly distorted by the Jahn-Teller effect, so that four nearest oxygen atoms form square planar coordination of copper.

In this study we have applied extended x-ray absorption fine structure (EXAFS) spectroscopy to study the local dynamics in CuO as a function of temperature from 10 K to 300 K. The analysis of the Cu K-edge EXAFS from the nearest group of four oxygen atoms, which is free from any multiple-scattering contributions, allowed us to extract information on the mean-square relative displacement (MSRD) factor for the nearest Cu-O atom pairs and to estimate their effective bond strength constant, using the Einstein model.

[1] H. Ehrenberg, J.A. McAllister, W.G. Marshall, J.P. Attfield, *J. Phys.: Condens. Matter* 11, (1999) 6501.

[2] Q. Zhang, K. Zhang, D. Xu, G. Yang, H. Huang, F. Nie, C. Liu, S. Yang, *Prog. Mater. Sci.* 60 (2014) 208.

[3] A. Rebello, Z.C.M. Winter, S. Viall, J.J. Neumeier, *Phys. Rev B* 88 (2013) 094420.

[4] X.G. Zheng, C.N. Xu, Y. Tomokiyo, E. Tanaka, H. Yamada, Y. Soejima, *Phys. Rev. Lett.* 85 (2000) 5170.

## MAGNĒTISKĀS REZONANSES SPEKTROSKOPIJAS PĒTĪJUMI BaY<sub>2</sub>F<sub>8</sub> KRISTĀLĀ

Andris Antuzevičs<sup>1</sup>, Andris Fedotovs<sup>1</sup>, Dzintars Bērziņš<sup>1</sup>, Uldis Rogulis<sup>1</sup>, Reinis Ignatāns<sup>1</sup>,  
Sonia Baldochi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Nuclear and Energy Research Institute, University of Sao Paulo*

BaY<sub>2</sub>F<sub>8</sub> ir monoklīnas C<sub>2h</sub><sup>3</sup> stuktūras kristāls ar ļoti zemu fononu enerģiju (~ 350 cm<sup>-1</sup>), tādēļ tam ir plašas pielietojuma iespējas VUV scintilatoros un cietvielu lāzeros. Šajā darbā tiek pētīts neaktivēts BaY<sub>2</sub>F<sub>8</sub> kristāls ar elektronu paramagnētiskās rezonanses (EPR) un optiski detektējamām magnētisko rezonansu (ODMR) metodēm. EPR mērījumos istabas temperatūrā redz piejaukuma radītu līniju grupu plašā magnētiskā lauka diapazonā. EPR spektru leņķiskās atkarības iecina par paramagnētiskā centra mijiedarbību ar spēcīgu kristālisko lauku. Rekombinatīvās luminiscences spektros pēc apstarošanas ar rentgenstariem zemās temperatūrās redz leņķiski atkarīgu ODMR signālu pie g ~ 2. Referātā tiks apspriesti iegūtie eksperimentālie rezultāti un iespējamie defekta modeļi.

## MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY STUDIES IN BaY<sub>2</sub>F<sub>8</sub> CRYSTAL

Andris Antuzevičs<sup>1</sup>, Andris Fedotovs<sup>1</sup>, Dzintars Berzins<sup>1</sup>, Uldis Rogulis<sup>1</sup>, Reinis Ignatans<sup>1</sup>,  
Sonia Baldochi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Nuclear and Energy Research Institute, University of Sao Paulo*

BaY<sub>2</sub>F<sub>8</sub> is a monoclinic C<sub>2h</sub><sup>3</sup> structure crystal with a low phonon energy (~ 350 cm<sup>-1</sup>), therefore, it has potential application in VUV scintillators and solid state lasers. In this work an undoped BaY<sub>2</sub>F<sub>8</sub> crystal is studied with electron paramagnetic resonance (EPR) and optically detectable magnetic resonance (ODMR) methods. EPR measurements at room temperature show a group of lines in a wide magnetic field range caused by an impurity. The EPR spectra angular dependences indicate an interaction between the paramagnetic centre and a strong crystalline field. In recombinative luminescence spectra after irradiation with X-rays at low temperatures an ODMR signal at g ~ 2 with angular dependence is visible. In this study the experimental results and possible defect models will be discussed.

## ZnO:Ir PLĀNO KĀRTIŅU SVĀRSTĪBU SPEKTRI

Jevgēnijs Gabrusenoks, Mārtiņš Zubkins, Georgijs Čikvaidze, Juris Purāns, Aina Plaude  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

ZnO:Ir plānās kārtiņas tika iegūtas uz Si un Ti pamatiņiem ar reaktīvo DC magnetrona izputināšanas metodi. Pamatiņi izputināšanas laikā atradās pie istabas un 300°C temperatūras. Tika veikti iegūto kārtiņu pētījumi ar XRD, Ramana un FTIR metodēm.

XRD pētījumi parāda, ka ZnO kārtiņas ar nelielu Ir koncentrāciju ir ar kristāla c-ass orientāciju perpendikulāri pamatiņam. Tīra ZnO FTIR spektru 580cm<sup>-1</sup> un 410cm<sup>-1</sup> LO un TO svārstību joslas nobīdās uz 635cm<sup>-1</sup> un 465cm<sup>-1</sup> priekš kārtiņām ar 20% Ir koncentrāciju. ZnO:Ir plānās kārtiņās ir novērojama jauna 720cm<sup>-1</sup> Ramana josla.

Darbā ir veikta Ab initio svārstību spektru modelēšana.

## VIBRATIONAL SPECTRA OF ZnO:Ir THIN FILMS

Jevgēnijs Gabrusenoks, Mārtiņš Zubkins, Georgijs Čikvaidze, Juris Purans, Aina Plaude  
*Institute of Solid State Physics University of Latvia*

ZnO:Ir thin films on Si and Ti substrates were deposited by reactive DC magnetron sputtering at room and 300°C temperature. Properties of films were investigated as a function of iridium concentration in the films by XRD, Raman and FTIR techniques.

XRD measurements show that light doped ZnO thin films with Ir are oriented in the c-axis direction. Frequency of LO and TO vibrational modes shifts from 580cm<sup>-1</sup> and 410cm<sup>-1</sup> for undoped ZnO to 635cm<sup>-1</sup> and 465cm<sup>-1</sup> for 20at% Ir doped ZnO respectively. Raman spectra of Ir doped ZnO films show new features with strong band at 720cm<sup>-1</sup>.

Ab initio calculations were used to model vibrational frequencies.



## ABSORBCIJAS SPEKTRI UN STRUKTŪRAS ĪPATNĪBAS CINKA-IRĪDIJA OKSĪDA PLĀNĀS KĀRTIŅĀS

Vera Skvorcova, Ņina Mironova-Ulmane, Mārtiņš Zubkins, Roberts Kalendarevs,  
Georgijs Čikvaidze, Juris Purāns  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Caurspīdīgi elektrovadoši n-tipa oksīdi (TCOs) ir labi izpētīti. Toties p-tipa materiāli joprojām nav labi pārzināti. Interesi izraisa jauna materiālu klase – p-tipa cinka oksīds ar irīdiju, jo tam piemīt dažas svarīgas elektroniskās struktūras īpašības. Lai novērtētu iespējamās zaudējumus, kas rodas ierīcēs uz šo materiālu pamata, jāveic materiālu struktūras analīze.

Darbā tika pētīti irīdija jonu absorbcijas spektri cinka-irīdija oksīda plānās kārtiņās ar dažādām irīdija atomu koncentrācijām. Kārtiņas tika uzklātas ar reaktīvo DC magnetrona izsmidzināšanu.

Absorbcijas spektri UV-redzamajā spektrālā diapazonā ietver trīs platas joslas ar maksimumiem: 240, 446, 710 nm un tuvajā infrasarkanā un infrasarkanā rajonā parāda divas platas joslas ar maksimumiem pie 1100 un 3330 nm. Lai izskaidrotu absorbcijas spektru, ir nepieciešams Zn-Ir-O plānās kārtiņas sadalīt pa koncentrācijas diapazoniem. ZnO materiālā pie irīdija koncentrācijas mazāk par 10% un IrO<sub>2</sub> pie cinka koncentrācijas mazāk par 10 %, metāla joni tiek novēroti kā izolēti joni, pāri vai sarežģītāki centri. Pie irīdija koncentrācijām 10-90 % irīdija jonu izvietojumu Zn-Ir-O plānās kārtiņās var izskaidrot ar špineļa un olivīna struktūru.

## ABSORPTION SPECTRA AND STRUCTURE PECULIARITIES OF ZINC-IRIDIUM OXIDE THIN FILMS

Vera Skvortsova, Ņina Mironova- Ulmane , Martins Zubkins, Roberts Kalendarevs,  
Georgijs Chikvaidze, Juris Purans  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Transparent conductive oxides (TCOs) of n-type have been extensively studied. However, the field of p-type conductors is still well investigated yet. A new class of p-type zinc oxides with iridium has attracted attention due to some remarkable features of their electronic structure. Analysis of the structure of these materials is needed to assess possible losses in the performance of devices built on their basis.

Paper presents results of the absorption spectra investigation of zinc-iridium oxide thin films. Zinc-iridium oxide thin films were deposited by reactive DC magnetron sputtering on various substrates. Iridium concentration was controlled by iridium amount on the zinc target erosion zone and oxygen to argon ratio.

The absorption spectra in the visible range contain three broad bands with maxima: 240, 446, 710 nm and in near infrared and infrared regions exhibit two broad bands with maxima in the vicinity of 1100 nm and 3330 nm.

To interpret absorption spectra it is necessary to distinguish several concentration ranges of Zn-Ir-O thin films. In ZnO at iridium concentration less than 10 % and in IrO<sub>2</sub> at zinc concentration less than 10 %, metal ions occur as isolated ions, pairs and more complex centres. The spinel and olivine structures are considered to explain the arrangement of iridium ions in Zn-Ir-O films when the iridium concentration is between 10-90 %.

## MAGNĒTISKAIS CIRKULĀRAIS DIHROISMS AR RETZEMJU ELEMENTIEM AKTIVĒTĀS OKSIFLUORĪDU STIKLA KERAMIKĀS

Andris Fedotovs, Uldis Rogulis, Meldra Ķemere, Dzintars Bērziņš  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Ar magnētiskā cirkulārā dihroisma (MCD) metodi ir izmērīti gaismas absorbcijas spektri ar 1% RE1 =  $\text{Eu}^{3+}$  un 1% RE2 diaktivētās oksifluorīdu stikla keramikās ar  $\text{CaF}_2$  kristāliskās fāzes piejaukumu, (kur RE2 =  $\text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Gd}^{3+}$ ). Izpētot MCD spektru atšķirības stikla un stikla-keramiku paraugos, tika noteikts, vai retzemju jons, iebūvējoties kristāliskajā matricā, maina lādiņa stāvokli, vai nē. Nosakot MCD spektru intensitāšu temperatūras atkarību pie 4.2 K un 1.5 K, tika noskaidrots, vai novērotais dihroisms ir paramagnētisks vai diamagnētisks.

Stikla-keramiku paraugos ar  $\text{Gd}^{3+}$  piejaukumu pie 310 nm novērotajai MCD joslai tika izmērīts optiski detektētās magnētiskās rezonanses (ODMR) signāls, kurš ir raksturīgs Gd kubiskai apkārtnei, kas liecina par  $\text{Gd}^{3+}$  jona iebūvēšanos  $\text{CaF}_2$  kristālītos [1].

## MAGNETIC CIRCULAR DICHROISM IN RARE EARTH ACTIVATED OXYFLUORIDE GLASS CERAMICS

Andris Fedotovs, Uldis Rogulis, Meldra Kemere, Dzintars Berzins  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

The absorption spectra has been measured with magnetic circular dichroism (MCD) techniques in oxyfluoride glass-ceramics diactivated with 1% RE1 =  $\text{Eu}^{3+}$  and 1% RE2, (where RE2 =  $\text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Gd}^{3+}$ ), containing  $\text{CaF}_2$  crystalline phase. After comparing differences in the MCD spectra in glasses and in glass-ceramics change in the charge state of rare earth ion due to its incorporation in crystalline phase was determined. From the temperature dependence of intensities in the MCD spectra measured at 4.2 K and 1.5 K paramagnetic or diamagnetic nature of the magnetic dichroism was concluded.

The optically detected magnetic resonance (ODMR) resonance has been observed in the oxyfluoride glass-ceramics samples doped with  $\text{Gd}^{3+}$  ions. Magnetic resonance signal was observed at 310 nm MCD band, which indicates to  $\text{Gd}^{3+}$  ion in the cubic crystalline environment [1].

[1] A. Fedotovs, A. Antuzevics, U. Rogulis, M. Kemere, R. Ignatans, *J. Non-Cryst. Solids*, **429** (2015), 118-121.

## AR EIROPIJU UN DISPROZIJU KOAKTIVĒTU OKSIFLUORĪDU STIKLU LUMINISCENCE

Jānis Sperga, Meldra Ķemere, Uldis Rogulis, Jurgis Grūbe  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Ar retzemju joniem aktivēti oksifluorīdu stikli un stikla keramikas tiek uzskatīti par perspektīviem fotonikas materiāliem oksifluorīdu zemās fononu enerģijas dēļ. Aktivatoru pāris-  $\text{Eu}^{3+}$  un  $\text{Dy}^{3+}$  - var tikt izmantots baltās gaismas luminoforos. Dotā pētījuma ietvaros tiek pētīta abu aktivatoru-  $\text{Eu}^{3+}$  un  $\text{Dy}^{3+}$  - luminiscence, aktivatoru savstarpējā mijiedarbība un enerģijas pārnese mehānismi starp aktivatoru joniem.

Darba gaitā tika sintezēti caurspīdīgi oksifluorīdu  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-CaF}_2$  stikli, kas aktivēti ar  $\text{Eu}^{3+}$  un  $\text{Dy}^{3+}$  joniem (koncentrācija  $\approx 1\text{mol}\%$ ). Aktivatoru savstarpējās mijiedarbības pētīšanai tika izvēlētas dažādas aktivatoru  $\text{Dy}^{3+} : \text{Eu}^{3+}$  koncentrāciju attiecības (1:0, 1:1, 1:0.5, 0:1).

Paraugiem izmērīti fotoluminiscences spektri, fotoluminiscences ierosmes spektri, kā arī fotoluminiscences dzišanas kinētikas, izmantojot ierosinošo gaismu 300-480 nm robežās.

Novērots, ka paraugos, kuri satur abus aktivatorus,  $\text{Eu}^{3+}$  ierosmes spektrā parādās nelieli maksimumi pie raksturīgajiem  $\text{Dy}^{3+}$  ierosmes viļņa garumiem (350 nm, 453 nm), tāpat novērota arī  $\text{Dy}^{3+}$  luminiscences intensitātes samazināšanās vismaz par 50%, ja paraugs satur arī  $\text{Eu}^{3+}$  jonus. Arī luminiscences dzišanas kinētikās vērojamas atšķirības, kas, kopā ar jau minētajiem secinājumiem, liecina par enerģijas pārdevi no  $\text{Dy}^{3+}$  uz  $\text{Eu}^{3+}$  joniem pētītajā materiālā.

## LUMINESCENCE OF EUROPIUM AND DYSPROSIUM CO-DOPED OXYFLUORIDE GLASSES

Janis Sperga, Meldra Kemere, Uldis Rogulis, Jurgis Grube  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Oxyfluoride glasses and glass-ceramics doped with RE ions are considered as prospective photonic materials due to the low phonon energy of oxyfluorides. Activator pair –  $\text{Dy}^{3+}$  and  $\text{Eu}^{3+}$  - can be used in white light luminophores. In the present work, we have investigated luminescence of two ions ( $\text{Eu}^{3+}$  and  $\text{Dy}^{3+}$ ), the interaction and energy transfer mechanisms between both activator ions.

Transparent oxyfluoride glasses with composition  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-CaF}_2$ , co-doped with  $\text{Eu}^{3+}$  and  $\text{Dy}^{3+}$  (concentration  $\sim 1\text{ mol}\%$ ), have been synthesized. In order to investigate the interaction between the activator ions, different concentration ratios of activators  $\text{Dy}^{3+} : \text{Eu}^{3+}$  (1:0, 1:1, 1:0.5, 0:1) were chosen.

The photoluminescence spectra and photoluminescence excitation spectra were measured, as well as photoluminescence decay kinetics, using the excitation range 300-480 nm.

In the co-doped samples, the excitation spectra of  $\text{Eu}^{3+}$  show excitation peaks at the characteristic excitation wavelengths of  $\text{Dy}^{3+}$  (350 nm and 453 nm). Luminescence spectra show that emission intensity of  $\text{Dy}^{3+}$  ions in co-doped samples is much lower with respect to  $\text{Dy}^{3+}$  single-doped sample. Furthermore, a changes in luminescence decay curves are also observed. These findings indicate, that an energy transfer from  $\text{Dy}^{3+}$  to  $\text{Eu}^{3+}$  ions occur in the investigated samples.

## **Pr<sup>3+</sup> LUMINESCENCE OKSIFLUORĪDU STIKLĀ UN NaLaF<sub>4</sub> SATUROŠĀ OKSIFLUOROĪDU STIKLA KERAMIKĀ**

Girts Zāģeris, Jurgis Grūbe, Anatolijs Šarakovskis, Guna Krieķe  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Ar retzemju elementiem aktivēti oksifluorida stikli un stikla keramikas ir interesanti luminiscējošie materiāli, kas pēc ķīmiskā sastāva ir vienādi, bet optiskās īpašības atšķiras, jo retzemju elementu iebūvēšanās mehānismi stiklā un stikla keramikā ir atšķirīgi, līdz ar to arī luminiscences procesi stiklā un stikla keramikā ir dažādi.

Darba gaitā sintezēti oksifluorīda stikli ar atšķirīgām prazeodīma koncentrācijām – 0.01 mol%, 0.1 mol% un 1 mol%, katras koncentrācijas paraugu pagatavojot līdzīgās temperatūrās. Iegūtie stiklu paraugi pēc atdzesēšanas tika atkārtoti karsēti dažādās temperatūrās, lai iegūtu NaLaF<sub>4</sub> saturošus stikla keramikas paraugus.

Gan stikla, gan stikla keramikas paraugiem tika mērīti luminiscences spektri istabas un zemajā temperatūrā (15 K), tāpat tika iegūtas luminiscences kinētikas dažādām luminiscences joslām. Pētot iegūtos datus, var konstatēt, ka luminiscences mehānismi stiklā un stikla keramikā ir atšķirīgi, turklāt tie ir atkarīgi no prazeodīma koncentrācijas paraugā. Apkopojot rezultātus, tiek spriests par mehānismiem, kas nosaka luminiscences procesus stiklā un stikla keramikā un kā šos mehānismus ietekmē prazeodīma koncentrācija.

## **Pr<sup>3+</sup> LUMINESCENCE IN OXYFLUORIDE GLASS AND OXYFLUORIDE GLASS CERAMIC CONTAINING NaLaF<sub>4</sub>**

Girts Zāģeris, Jurgis Grūbe, Anatolijs Šarakovskis, Guna Krieķe  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Rare-earth activated oxyfluoride glass and glass ceramics are interesting luminescent materials which chemical compositions are identical, but luminescence properties are different. The mechanisms that determine how rare-earth ions fit into the crystallographic lattice and, subsequently, how processes of luminescence are different for glass and glass ceramic materials.

Oxyfluoride glass samples with various concentrations of praseodymium were obtained – 0.01 mol%, 0.1 mol% and 1 mol%, with each of these samples being created under similar circumstances. Afterwards, the glass samples were heated once more in different temperatures in order to obtain glass ceramic samples containing NaLaF<sub>4</sub> crystalline phase.

Luminescence spectra both for glass and glass ceramic samples were measured at room temperature as well at low (15 K) temperature. Luminescence kinetics of various luminescence bands were also obtained. The accumulated data allows to conclude that the mechanisms behind luminescence in glass and glass ceramic are indeed different, and they are dependent on the concentration of the rare-earth ion in a given sample. Based on experimental results praseodymium concentration impact on luminescence processes in glass and glass ceramics will be discussed.

This work was supported by National Research program IMIS<sup>2</sup>

## LUMINESCENCES RAKSTURĪPAŠĪBAS ZnO NANOPULVEROS UN KERAMIKĀS

Larisa Grigorjeva, Faina Muktepavela, Krišjanis Šmits, Aleksejs Zolotarjovs,  
Donats Millers

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

ZnO monokristāli, nanopulveri, pārklājumi, keramikas pēdejā laikā tiek plaši pētīti sakarā ar šo materiālu iespējām pielietot, piemēram, elektrodiem saules baterijās, gaismas avotos, scintillatoros, varistoros un citur.

ZnO nanopulveri var tikt sintezēti ar dažādām metodēm (hidrotermiskā, metāliskā cinka oksidēšana, tvaiku kondensēšana izmantojot elektronu kūli, lāzerstarojumu, saules starojumu un citām). Šie nanopulveri atšķiras ar nanokristālu morfologiju, graudu izmēriem, aglomerācijas procesu efektivitāti, stehiometriju, pašvielas defektu koncentrāciju. Attiecīgi keramiku sacepināšanas procesi un to luminescentās īpašības ir atkarīgas no izvēlāta nanopulvera īpašībām.

Tika apkopoti luminescences pētījumi dažāda tipa nanopulveros un keramikās, kuras sacepinātas no šiem nanopulveriem. Pētīta keramiku sacepināšanas procesu ietekme uz defektu luminescenci, šo keramiku termostimulētā luminescence un luminescences dzišanas kinētikas.

## LUMINESCENCE PROPERTIES OF ZnO NANOPOWDERS AND CERAMICS

Larisa Grigorjeva, Faina Muktepavela, Krišjanis Šmits, Aleksejs Zolotarjovs,  
Donats Millers

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

The ZnO single crystals, nanopowders, coatings, ceramics were studied due to their different applications, for example as transparent electrodes in solar cells, light emitters, scintillators, varistors and elsewhere.

ZnO nanopowders can be synthesized by different methods (hydrothermal, zinc oxidation, vapor condensation using electron beam, laser irradiation, focused solar energy and so on). These nanopowders have different morphologies, grain sizes, the effectivity of agglomeration processes, stoichiometry and native defect concentrations. Respectively, the processes of ceramics sintering and the luminescence properties of ceramics depends on used nanopowders properties.

The luminescence studies of different nanopowders and ceramics prepared from these nanopowders were presented. The ceramic sintering processes effects to defect luminescence, the thermostimulate luminescence and luminescence decay processes were studied and compared for different types of ceramics.

The financial support of IMIS<sup>2</sup> Project and ERA-NET RUS projects are greatly acknowledged.

## LUMINESCENTO PĀRKLĀJUMU IZVEIDE IZMANTOJOT PLAZMAS ELEKTROĶĪMISKO OKSIDĒŠANAS (PEO) METODI

Anete Krūmiņa, Aleksejs Zolotarjovs  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Alumīnija mehāniskās un ķīmiskās īpašības var uzlabot ar dažādiem piemaisījumiem (alumīnija sakausējumi) un tā virsmas modifikācijām (galvanizācijā, elektroķīmiska pārklājuma uznešana, pulverkrāsošana u.c.). Šajā darbā tiek pētīta europija jonu uznešana uz alumīnija, un tai sekojošu plazmas elektroķīmisko oksidāciju, tādējādi iegūstot mehāniski izturīgu pārklājumu ar Eu jona luminiscenci.

Ar PEO metodi uz alumīnija parauga virsmas izveido dažāda blīvuma nanocaurumus, kuros elektroķīmiski ienes  $\text{Eu}^{3+}$  jonus. Pētījumā apskatītas šo pārklājumu oksidēšanas iespējas mainot PEO parametru uzstādījumus un elektrolīta sastāvu, lai iegūtu pārklājumu ar intensīvāko luminiscenci.

Pētītas pārklājumu luminiscento īpašību izmaiņas atkarībā no PEO parametriem. Pārklājumu morfoloģija un jonu iebūvēšanos tajos apskatīta izmantojot skenējošo elektron mikroskopu (SEM).

Pētījumā analizēta dažādu parametru -  $\text{Eu}^{3+}$  jonu koncentrācijas, nanocaurumu diametra, oksidācijas intensitātes - ietekme uz pārklājuma kvalitātes un luminiscences īpašībām.

## LUMINESCENT COATING PREPARATION BY PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION (PEO) METHOD

Anete Krumina, Aleksejs Zolotarjovs  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Mechanical and chemical properties of aluminium can be enhanced by several methods like impurities (aluminium alloys) or surface modification (plating, electrochemical plating, powder coating, etc.). In this work europium ion incorporation in aluminium by plasma electrochemical oxidation method is studied, thereby obtaining luminescent coating that is mechanically resistant.

Nanopores with various densities are created on aluminium surface by PEO method and then are electrochemically filled with  $\text{Eu}^{3+}$  ions. Various oxidation methods are studied by changing PEO parameter settings and electrolyte composition with goal to create coating with most intense luminance.

The luminescent properties of coatings are studied using photoluminescence technique. Nanostructures and their modification with Eu ions were observed by scanning electron microscopy (SEM).

In this study the effect of electrolyte composition,  $\text{Eu}^{3+}$  ion concentration, nanopore structure and oxidation intensity on luminescence is studied.

## OPTIMĀLĀS Er, Yb UN Nb KONCENTRĀCIJAS ZrO<sub>2</sub> NANOKRISTĀLOS INTENSĪVAI AUGŠUP-PĀRVEIDOTAJAI LUMINISCENCEI.

Dāgs Olšteins<sup>1</sup>, Dzidra Jankoviča<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

<sup>2</sup>Rīgas Tehniskās Universitātes Neorganiskās ķīmijas institūts

Augšup-pārveidotajai luminiscencei ZrO<sub>2</sub> materiālā varētu būt vairāki perspektīvi pielietojumi, jo šis materiāls ir ķīmiski stabils un nav toksisks, attiecīgi labi izmantojams biomarkēšanā un biosensoros, taču ZrO<sub>2</sub> augšup-pārveidotās luminiscences kvantu iznākums ir zemāks salīdzinot ar fluorīda materiāliem. LU CFI veiktie pētījumi parāda ka papildus aktivējot cirkonija dioksīdu ar Nb luminiscences intensitāte var tikt palielināta desmitiem reižu, kas padara šo materiālu daudz interesantāku praktiskiem pielietojumiem.

Šī pētījuma mērķis ir noskaidrot optimālās aktivatoru (Er, Yb un Nb) savstarpējās koncentrācijas maksimālai augšup-pārveidotās luminiscences intensitātei. Tādēļ sintezēti nanokristālu paraugi pēc Sol-Gel metodes, tie atkārsēti dažādās temperatūrās, lai pārbaudītu graudu izmēru ietekmi uz luminiscences intensitāti.

Iegūtas luminiscences intensitātes atkarības no Er, Yb un Nb koncentrācijas pie dažādām ierosmēm.

Pētījuma rezultātā iegūti ZrO<sub>2</sub> paraugi ar ievērojami intensīvāku augšup-pārveidoto luminiscenci.

## OPTIMAL Er, Yb AND Nb CONCENTRATIONS FOR UPCONVERSION LUMINESCENCE IN ZrO<sub>2</sub> NANOCRYSTALS

Dags Olsteins<sup>1</sup>, Dzidra Jankovica<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Solid State Physics, University of Latvia

<sup>2</sup> Institute of Inorganic Chemistry, Riga Technical University

ZrO<sub>2</sub> as a host for upconversion luminescence is very attractive, due to its chemical stability and non-toxic properties. Therefore zirconia based materials could potentially be used as biomarkers and biosensors. However, the quantum outcome of upconversion luminescence in ZrO<sub>2</sub> is lower than that of fluorides. ISSP UL research shows that co-doping ZrO<sub>2</sub> with Nb can increase the intensity of luminescence dozens of times, making the material more attractive for practical applications.

The aim of this research is to determine the optimal concentrations of dopants (Er, Yb and Nb) for maximum upconversion luminescence intensity.

The samples were prepared using the Sol-Gel method and annealed in different temperatures to check the effect of grain size on the intensity of luminescence. A correlation between the intensity of luminescence and the concentration of dopants was found for different luminescence excitations types.

Ultimately samples of ZrO<sub>2</sub> with a greater intensity of upconversion luminescence were acquired.

## MODIFICĒTAS KĀLIJA-NĀTRIJA NIOBĀTA KERAMIKAS DIELEKTRISKĀS ĪPAŠĪBAS ZEMO FREKVENČU DIAPAZONĀ

Kārlis Bormanis<sup>1</sup>, Anver I. Burkhanov<sup>2</sup>, Ilze Smeltere<sup>1</sup>, Maija Antonova<sup>1</sup>, Anna Kalvane<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

<sup>2</sup>Volgogradas Valsts Arhitektūras un Inženieru Universitāte

Kālija-nātrijs niobāta cietie šķīdumi ierindojami starp perspektīvākiem bezsvina segnetoelektriskiem materiāliem.

Ar ciet-fāžu reakciju metodi sintezēts cietais šķīdums  $(K_{0,5}Na_{0,5})(Nb_{1-x}Sb_x)O_3$  ar  $x=0,05$  (KNN-5) un izgatavoti keramiski paraugi; pētītas dielektriskās īpašības atkarībā no elektriskā lauka intensitātes, starojuma iedarbības un priekšvēstures.

Nepolarizētai KNN-5 keramikai, apstarotai ar mazjaudīgu UV starojumu ( $\lambda=405$  nm;  $0,2$  W/cm<sup>2</sup>) pētītas īsslēguma foto-strāvas. Pēc starojuma ieslēgšanas/izslēgšanas foto-strāvas intensitāte samazinās eksponenciāli, kas norāda uz starojuma inducētā telpas lādiņa relaksatora dabu un foto-voltaisko efektu KNN-5 keramikā. Konstatēts, ka pēc 50 min. infra-zemfrekvences sinusoidālā lauka iedarbības maksimālā foto-strāva samazinās, kas saistāms ar telpas lādiņa izzušanu.

Infra-zemo frekvenču dielektriskie pētījumi veikti uzņemot histerēzes cilpas pie dažādiem sinusoidālā lauka un UV starojuma iedarbības laikiem. Termodinamiski stabilizētam paraugam, palielinot nobīdes lauku, pieaug dielektriskās caurlaidības dispersija.

## DIELECTRIC PROPERTIES OF POTASSIUM-SODIUM NIOBATE CERAMICS AT LOW FREQUENCIES

Kārlis Bormanis<sup>1</sup>, Anver I. Burkhanov<sup>2</sup>, Ilze Smeltere<sup>1</sup>, Maija Antonova<sup>1</sup>, Anna Kalvane<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia

<sup>2</sup>Volgograd State Architectural and Engineering University

Studies of electrical properties of ferroelectric potassium-sodium niobate ceramics of  $(K_{0,5}Na_{0,5})(Nb_{1-x}Sb_x)O_3$  (KNN-x) at  $x=0.05$  (KNN-5) synthesised by conventional solid state reactions with admixture of 0.5mol%  $MnO_3$  subjected to extended exposure to constant temperature, electric field and radiation are reported.

The photocurrent excited by low-intensity ( $0.2$  W/cm<sup>2</sup>) UV ( $\lambda = 405$  nm) radiation has been measured in a shortcut circuit of unpolarised sample irradiated through perforated electrode. The infra-low frequency dielectric response is studied by Sawyer-Tower techniques used to record polarisation loops under sinusoidal field of constant amplitude  $E$  of different duration. The observed exponential decline of photocurrent is assumed pointing to relaxation of the space charge emerging in KNN-5 at irradiation as in other ferroelectrics. The photocurrent observed not diminishing to zero is ascribed to photovoltaic effect known in light-sensitive ferroelectrics. The decrease of photocurrent maximum found after 50 min under infra-low frequency sinusoidal field is ascribed to destruction of the space charge.

Behaviour of polarisation loops after different numbers of cycles of the sinusoidal electric field  $E$  is presented. A considerable rise of the dispersion of dielectric permittivity is observed at increasing  $E_{\text{max}}$  after the samples are held at constant temperature and constant bias field.



## MODIFICĒTA LITIJA NIOBĀTA MONOKRISTĀLU AUDZĒŠANA UN ĪPAŠĪBAS

Kārlis Bormanis<sup>1</sup>, Mikhail Palatnikov<sup>2</sup>, Nikolay Sidorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

<sup>2</sup> Krievijas ZA Kolas Zinātniskā Centra I.V.Tananajeva Ķīmijas Institūts

Pētīti liela izmēra ( $\varnothing > 80\text{mm}$ ) modificētu (2,9–5,8 mol.% MgO; 4-9 mol.% ZnO) litija niobāta ( $\text{LiNbO}_3$ ) monokristālu audzēšanas apstākļi, noteikti dielektriskie un optiskie parametri, optimizēta augstvērtīgu optisko kristālu ieguve.

Konstatēts, ka optiski un kompozicionāli viendabīgākus bezdefektu  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  kristālus iespējams izaudzēt no litija niobāta kausējuma ar cinka koncentrāciju 5,4–6,8 mol.%. Kvalitatīvākie monokristāli iegūti no kausējuma ar 6,12 mol.% ZnO; pie 6,8 mol.% ZnO vērojamas būtiskas struktūras un ar to saistīto fizikāli-ķīmisko parametru izmaiņas.

Katjonu  $\text{Zn}^{2+}$  un  $\text{Mg}^{2+}$  rādus izmēri atšķiras maz, taču  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  un  $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$  fizikālās īpašības atšķiras būtiski: ar Zn modificētie  $\text{LiNbO}_3$  kristāli ir ļoti jūtīgi uz cinka koncentrācijas izmaiņām un ar to tie principiāli atšķiras no  $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$  sistēmas. No  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  kausējumiem ar dažādu cinka koncentrāciju, kuriem būtiski atšķiras fizikāli-ķīmiskās īpašības, iespējams iegūt  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  kristālus ar vienādu cinka koncentrāciju, bet dažādu iekšējo struktūru.

Monodomenizētos  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  kristālos, pieaugot unipolaritātei, vērojamas lēcienveida anomālijas vadāmības  $\sigma(T)$  un dielektriskās caurlaidības  $\epsilon(T)$  atkarībā no temperatūras un pjezomoduļa  $d_{333}$  pieaugums.

## GROWTH AND PROPERTIES OF MODIFIED LITHIUM NIOBATE SINGLE CRYSTALS

Kārlis Bormanis<sup>1</sup>, Mikhail Palatnikov<sup>2</sup>, Nikolay Sidorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Solid State Physics, University of Latvia

<sup>2</sup> I.V. Tananaev Institute of Chemistry, Kola Scientific Center, RAS

A study of conditions under which large  $\text{LiNbO}_3$  single crystals of diameter over 80 mm are obtained from melt over a wide range of admixture concentrations (2.9 – 5.8 mol.% MgO; 4 - 9 mol.% ZnO) is reported.

Optically and compositionally homogeneous perfect  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  crystals have been grown from melt of admixture content within the range 5.4 - 6.8 mol.% ZnO the best characteristics being shown by  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  single crystals grown from melt of 6.12 mol.% ZnO. A significant change of the structure and properties is observed in crystals grown from melt containing > 6.8 mol. % ZnO.

$\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  crystals of the same admixture concentration and different structures have been grown from melts of different Zn admixture concentration. The  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  system is sensitive to zinc concentration in the melt, which makes it completely different from the  $\text{LiNbO}_3\text{:Mg}$  system. Proximity of the ion radii of  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  cations is not significant enough to assume the two melt-crystal systems having similar behaviour.

The rise of unipolarity in single-domain  $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$  crystals is accompanied by anomalies on  $\sigma(T)$  and  $\epsilon(T)$  curves and a significant increase of the value of piezomodulus  $d_{333}$ .

## NBT CIETO ŠĶĪDUMU MODIFICĒŠANA DIELEKTRISKO ĪPAŠĪBU UZLABOŠANAI

Dana Koniševska<sup>1</sup>, Ēriks Birks<sup>2</sup>, Māris Kundziņš<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rīgas Juglas vidusskola

<sup>2</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

Pēdējo gadu laikā aktuāls temats ir bezsvina segnetoelektrisko materiālu pētījumi ar nolūku atrast konkurētspējīgus aizvietotājus elektroniskajā rūpniecībā plaši izmatotajiem svīnu saturošajiem perovskīta materiāliem. Pētījuma mērķis ir sintezēt un izpētīt īpašības ar vairāku veidu piejaukumiem modificētai nātrija - bismuta titanāta keramikai (NBT), lai iegūtu kondensatoru materiālus ar minimālu dielektriskās caurlaidības temperatūras atkarību plašā temperatūras diapazonā. Dažādos tehnoloģiskos režīmos tika sintezēti vairāku sastāvu paraugi:

$0,864(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,45}\text{Er}_{0,05})\text{TiO}_3-0,056\text{BaTiO}_3-0,08\text{NaNbO}_3$

$0,864(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,4}\text{Er}_{0,1})\text{TiO}_3-0,056\text{BaTiO}_3-0,08\text{NaNbO}_3$

$0,96[0,7(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5})\text{TiO}_3-0,3\text{Sr}_{0,7}\text{Bi}_{0,2}\text{TiO}_3]-0,04\text{NaNbO}_3$

$0,7(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,45}\text{Er}_{0,05})\text{TiO}_3-0,3\text{Sr}_{0,7}\text{Bi}_{0,2}\text{TiO}_3$

Iegūtajiem paraugiem izmērīts blīvums, veikta rentgenstruktūranalīze, keramikas lūzuma virsmas pētītas ar skanējošo elektronu mikroskopu, veikti dielektriskie mērījumi intervālā 20°C - 400°C.

Ir noteikta erbija un nātrija niobāta ietekme uz pētīto materiālu dielektriskajiem parametriem. Vislabākie rezultāti tika iegūti, modificējot NBT-SBT cietos šķīdumus ar nātrija niobātu.

## OPTIMIZATION OF DIELECTRIC PROPERTIES IN NBT CONTAINING COMPOUNDS

Dana Koniševska<sup>1</sup>, Ēriks Birks<sup>2</sup>, Māris Kundziņš<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rīga Jugla Secondary school

<sup>2</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia

Research of lead-free ferroelectric materials is actual, looking for competitive replacements of widely used in electronic manufacturing lead containing perovskites. The present study is devoted to synthesis and study of structure and dielectric properties of modified sodium bismuth titanate, which could be appropriate as material for capacitor production with reduced dependence of dielectric permittivity on temperature. Using various parameters of sintering the following compositions were sintered:

$0,864(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,45}\text{Er}_{0,05})\text{TiO}_3-0,056\text{BaTiO}_3-0,08\text{NaNbO}_3$

$0,864(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,4}\text{Er}_{0,1})\text{TiO}_3-0,056\text{BaTiO}_3-0,08\text{NaNbO}_3$

$0,96[0,7(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,5})\text{TiO}_3-0,3\text{Sr}_{0,7}\text{Bi}_{0,2}\text{TiO}_3]-0,04\text{NaNbO}_3$

$0,7(\text{Na}_{0,5}\text{Bi}_{0,45}\text{Er}_{0,05})\text{TiO}_3-0,3\text{Sr}_{0,7}\text{Bi}_{0,2}\text{TiO}_3$

Density measurements, x-ray analysis, SEM pictures and dielectric properties in temperature range 20°C-400°C were provided. The role of Erbium and sodium niobate on dielectric properties is determined. The best results were obtained, modifying NBT-SBT solid solutions with sodium niobate.

## **POLARIZĀCIJAS HISTERĒZES TEMPERATŪRAS ATKARĪBAS PLZT 8/65/35 KERAMIKĀ LEĢĒTĀ AR 3d ELEMENTIEM**

Lelde Kundziņa, Māris Kundziņš, Kārlis Kundziņš, Māris Līviņš, Maija Antonova,  
Aina Plaude, Vilnis Dimza.

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Polarizācijas histerēzes pētījumi  $ABO_3$  tipa segnetoelektriķos var dot vērtīgu informāciju par mikroskopiskajiem polarizācijas procesiem. Īpaša tēma ir polarizācijas procesu izmaiņas, leģējot  $ABO_3$  ar 3d elementiem. Sastopami bieži vien pretrunīgi dati un, attiecīgā interpretācija.

Runājot par mūsu darbā pētāmo objektu PLZT 8/65/35 + 3d (Mn, Fe, Co, Cu) elektrooptisko keramiku, jāsecina, līdz šim pārsvarā ir realizēti mērījumi vājos elektriskos laukos, t.i., tika uzņemtas kompleksās dielektriskās caurlaidības frekvenču, temperatūras un tml. atkarības. Tika konstatēts, ka, ja PLZT 8/65/35 nelegētā stāvoklī uzrāda tipisku *relaxor* uzvedību, tad leģēšana izsauc būtiskas novirzes no *relaxor* uzvedības.

Pašreizējā darba gaitā tika pētītas polarizācijas histerēzes cilpas  $P(E)$  pie dažādiem laukiem 1-30kV/cm. Temperatūras diapazons: no  $-50^{\circ}\text{C}$  līdz  $+100^{\circ}\text{C}$ . Tika variētas elektriskā lauka frekvences: a)  $P(E)$  tika mērītas kvazistatiskā limita režīmā uzliekot trīsstūrveida spriegumu ar mainīgu periodu 1-16 min. diapazonā; b) 50Hz maiņsprieguma režīmos. Rezultātā var iegūt būtiski atšķirīgas  $P(E)$  cilpas, kā piemēram: 1) lineāras, nepilnīgas (*minor*) un piesātinātas (*saturated*); 2) taisnstūrveida (kā segnetoelektriķos); 3) dubultas (kā antisegnetoelektriķos); 4) iežņaugtas (*constricted*).

Tiek diskutēti polarizācijas izmaiņas noteicošie mikromehānismi.

## **POLARISATION HYSTERESIS AND THERMAL DEPENDENCES IN PLZT8/65/35 CERAMICS CONTAINING ADMIXTURES OF 3d ELEMENTS**

Lelde Kundziņa, Māris Kundziņš, Kārlis Kundziņš, Māris Līviņš, Maija Antonova,  
Aina Plaude, Vilnis Dimza.

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Studies of polarisation hysteresis in  $ABO_3$  ferroelectrics provide valuable information concerning microscopic polarisation mechanisms the changes of which caused by admixtures of 3d elements are of particular interest. Rather often the available data and interpretations are controversial.

Speaking of the objects of the presented studies – PLZT 8/65/35 + 3d (Mn, Fe, Co, Cu) electro-optical ceramics, so far the measurements of the complex dielectric permeability as function of frequency, temperature, etc. have been made mainly under low electric field intensities. It has been observed that pure PLZT 8/65/35 exhibits distinctive relaxor behaviour while substantial deviations are witnessed in modified compounds.

Presently reported are studies of polarisation loops  $P(E)$  at field intensities from 1 to 30 kV/cm at temperatures from  $-50^{\circ}\text{C}$  to  $+100^{\circ}\text{C}$  the frequencies of the electric field being varied to cover: a) the quasi-static limit under triangular voltage of periods between 1 and 16 min and b) 50 Hz AC voltage providing different shapes of  $P(E)$ , such as 1) linear, minor and saturated; 2) rectangular loops characteristic to classic ferroelectrics; 3) double loops similar to anti-ferroelectrics and 4) constricted loops. The possible micro-mechanisms of the changes of  $P(E)$  shapes are discussed

**AR AKCEPTORIEM AKTIVĒTU BaZrO<sub>3</sub> UN SrTiO<sub>3</sub>  
KATODLUMINISCENCES ĪPAŠĪBU SALĪDZINOŠIE PĒTĪJUMI**

Volodimir Savchyn<sup>1</sup>, Olena Aksimentyeva<sup>1</sup>, Halyna Klym<sup>2</sup>, Ivan Karbovnyk<sup>2</sup>, Edgars Elsts<sup>3</sup>,  
Jānis Jansons<sup>3</sup>, Anatoli Popov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Ivana Franko Lvovas Nacionālā Universitāte*

<sup>2</sup> *Lvovas Politehniskā Valsts universitāte*

<sup>3</sup> *Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Bārija cirkonātam (BaZrO<sub>3</sub>), kā ABO<sub>3</sub> tipa savienojumam arī piemīt kubiskā perovskītu tipa struktūra.

Sakarā ar tīra un aktivēta BaZrO<sub>3</sub> sevišķajām fizikālajām īpašībām, tas ir piemērots pielietojumiem elektrokeramikas nozarē, ugunsizturīgiem materiāliem, kā arī hibrīdu luminescentiem materiāliem [1,2].

Šajā darbā ar akceptoriem aktivētam BaZrO<sub>3</sub>, proti Ba(Zr<sub>0.94</sub>Y<sub>0.06</sub>)O<sub>3-δ</sub>, kas iegūts no Maksa Planka Institūta Štutgartē, tika pētītas katodluminescences īpašības temperatūrā no 78K līdz 300 K un salīdzinātas ar tādos pašos apstākļos ierosinātiem (10 keV) diviem citiem materiāliem: iepriekš daudz pētīto perovskītu SrTiO<sub>3</sub> un kālija bromīdu KBr - tīru un aktivētu ar In (Tl) joniem.

**COMPARATIVE STUDIES OF CATHODOLUMINESCENCE PROPERTIES  
OF ACCEPTOR-DOPED BaZrO<sub>3</sub> AND SrTiO<sub>3</sub>**

Volodimir Savchyn<sup>1</sup>, Olena Aksimentyeva<sup>1</sup>, Halyna Klym<sup>2</sup>, Ivan Karbovnyk<sup>2</sup>, Edgars Elsts<sup>3</sup>,  
Jānis Jansons<sup>3</sup>, Anatoli Popov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Ivan Franko National University of Lviv*

<sup>2</sup> *Lviv Polytechnic National University*

<sup>3</sup> *Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

As an ABO<sub>3</sub>-like compound, Barium zirconate (BaZrO<sub>3</sub>) also has a cubic perovskite-type structure.

Due to its singular physical properties, both pure and doped BaZrO<sub>3</sub> are attractive for applications in the electroceramics industry, special refractory as well as hybrid luminescent materials [1,2].

In current work, cathodoluminescence properties of the acceptor-doped BaZrO<sub>3</sub>, namely Ba(Zr<sub>0.94</sub>Y<sub>0.06</sub>)O<sub>3-δ</sub> obtained from Max-Planck-Institute Stuttgart, have been studied at temperatures from 78 K to 300 K and compared with at the same condition excited (10 keV) two other materials: well-studied perovskite SrTiO<sub>3</sub> and potassium bromide KBr - pure and In(Tl) ion doped.

1. Aksimentyeva, O. I., et al. "Modification of Polymer-Magnetic Nanoparticles by Luminescent and Conducting Substances." *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 590.1 (2014): 35-42.

2. Aksimentyeva, O., et al. "Effect of polymer matrix on the structure and luminescence properties of barium zirconate nanocrystals." *Chemistry of metals and alloys* 6, № 3-4 (2013): 177-182.

Financial support from Latvian National Research Program IMIS<sup>2</sup> (2014–2017) is gratefully acknowledged.

**KARSĒTU Na-Al-Si STIKLA ŠĶIEDRAS AUDUMU MASAS ATGŪŠANAS  
KINĒTIKA ATMOSFĒRĀ AR DAŽĀDĀM MITRUMA UN CO<sub>2</sub>  
KONCENTRĀCIJĀM**

Ēvalds Pentjušs, Andrejs Lūsis, Jevgēņijs Gabrusenoks, Jānis Balodis, Gunārs Bajārs  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Karbonizētas Na-Al-Si stikla šķiedras auduma masa pēc auduma izkarsēšanas vismaz pirmo 0,25 h laikā ( $t$ ) aug atbilstoši ( $R^2 > 0,999$ ) izteiksmei [1]

$$A(t) = A_0 - A_1 \exp(-t/t_1) - A_2(-t/t_2) \quad (1)$$

kurā  $t_1$  un  $t_2$  ( $t_1 < t_2$ ) ir laika konstantes,  $A_0$ ,  $A_1$  un  $A_2$  - masas konstantes. Dotajā darbā, salīdzinot masas atgūšanas laika atkarības istabas vidē ar paaugstinātu RH (līdz 70%) un CO<sub>2</sub> koncentrāciju (1500 ppm), parādīts, ka formulas (1) pirmā eksponente raksturo CO<sub>2</sub> un otrā - ūdens absorbciju šķiedru karbonāta čaulās. CO<sub>2</sub> masa ( $A_1$ ) sasniedz līdzsvaru ar vidi jau 0,25 h intervāla sākumā ( $t_1 = 0,005-0,015$  h). Ūdens absorbcija ir daudz lēnāka ( $t_2 = 0,14-0,9$  h) un 0,25 h laikā nesasniedz līdzsvarotu ar vidi masu  $A_2$  (0,04—0,4 mg/cm<sup>2</sup>). Masas augšana pēc 0,25 h paliek lēnāka par izteiksmes (1) paredzēto. Ūdens kristalizācija sākas ar masas augšanu. Izteiksmes (1) konstantes un kristalizācija atkarīgi no izkarsēšanas temperatūras, vides RH un CO<sub>2</sub> koncentrācijas. Rezultātā masas-laika atkarības var ļoti atšķirties.

**MASS RECOVERY KINETICS OF HEATED Na-Al-Si GLASS FABRIC IN  
ATMOSPHERES WITH DIFFERENT HUMIDITY AND CO<sub>2</sub>  
CONCENTRATION**

Evalds Pentjušs, Andrejs Lūsis, Jevgēņijs Gabrusenoks, Janis Balodis, Gunars Bajars  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Carbonated Na-Al-Si fabrics at least during 0,25 h after heating regain its mass following ( $R^2 > 0,999$ ) relation [1]

$$A(t) = A_0 - A_1 \exp(-t/t_1) - A_2(-t/t_2) \quad (1)$$

where  $t_1$  and  $t_2$  ( $t_1 < t_2$ ) are time and  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  - mass constants. There are compared the regains of mass in atmospheres containing different RH and CO<sub>2</sub> concentrations in this work. It is concluded that first exponent characterize absorption of CO<sub>2</sub> and second one water in carbonated shell of glass fibres. Mass of CO<sub>2</sub> ( $A_1$ ) reaches equilibrium with environment at the beginning of 0,25 h interval ( $t_1 = 0,005-0,015$  h). Absorption of water is much slower ( $t_2 = 0,14-0,9$  h) and during 0,25 h equilibrium is not reached. Mass gain after 0,25 h is much slower as it predicts by relation (1). Water crystallization begins with new mass rise. Constants of relation (1) and crystallization depend on treatment temperature and RH and CO<sub>2</sub> concentration of environment. Authors acknowledge the Latvian National Research Program IMIS<sup>2</sup> for financial support.

[1] Pentjušs E, Lūsis A, Bajars G and Gabrusenoks J 2013 *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **49** 012044 doi:10.1088/1757-899X/49/1/01/012044

**GRAFĒNA/TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> KOMPOZĪTU ELEKTROFORĒTISKA IEGŪŠANA UN FIZIKĀLI-KĪMISKO ĪPAŠĪBU SALĪDZINĀJUMS LI-JONU BATERIJU PIELIETOJUMAM**

Jānis Mateuss, Kaspars Kaprāns, Anna Dorondo, Gunārs Bajārs, Gints Kučinskis,  
Jānis Kleperis  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Darbā izstrādāta metode divu metālu oksīdu (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> un TiO<sub>2</sub>) kompozītmateriālu ar grafēna oksīdu (GO) kārtiņu elektroforētiskai uzklāšanai. Veikta iegūto kompozītmateriālu kārtiņu elektroķīmisko īpašību izpēte un dati apkopoti sekojošā tabulā. TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/reducēta GO kompozītmateriāls uzrādīja augstu gravimetrisko lādiņietilpību un izcilas ciklējāmības spējas, saglabājot 100% no sākotnējās gravimetriskās lādiņietilpības pēc 100 uzlādes-izlādes cikliem.

**GRAPHENE/TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> COMPOSITE ELECTROPHORETIC DEPOSITION AND COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS FOR USE IN LI-ION BATTERIES**

Jānis Mateuss, Kaspars Kaprāns, Anna Dorondo, Gunārs Bajārs, Gints Kučinskis,  
Jānis Kleperis  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Electrophoretic deposition method to obtain composite thin films of two metal oxides (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub>) in combinations with graphene oxide (GO) are elaborated in current work. Electrochemical characteristics of composite films have been studied and results are showed in the table below.

**Specific gravimetric capacities of obtained composite thin films**

Nr.	1	2	3	4	5	6
Metal oxide, which was used in combination with reduced graphene oxide	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>
Reduction temperature	700 °C	x	x	x		
	500 °C				x	x
Electrophoresis parameters	15V/cm, 5min	15V/cm, 5min	15V/cm, 5min	15V/cm, 5min	15V/cm, 5min	15V/cm, 5min
Sample mass	0,5 mg	0,3 mg	0,8 mg	0,11 mg	0,20 mg	0,18 mg
Specific capacity	116 mAh·g <sup>-1</sup>	39 mAh·g <sup>-1</sup>	93 mAh·g <sup>-1</sup>	775 mAh·g <sup>-1</sup>	232 mAh·g <sup>-1</sup>	985 mAh·g <sup>-1</sup>
Specific current	20 mA·g <sup>-1</sup>	30 mA·g <sup>-1</sup>	50 mA·g <sup>-1</sup>	125 mA·g <sup>-1</sup>	1000 mA·g <sup>-1</sup>	110 mA·g <sup>-1</sup>

TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/reduced GO composite showed high specific capacity and excellent cycling ability maintaining 100% specific capacity after 100 charge-discharge cycles. Authors acknowledge the Latvian Council of Science Cooperation Project No.666/2014 for financial support.

## VARA OKSĪDA FOTOELEKTRODA STABILIZĀCIJAS MEHĀNISMI

Martins Vanags, Artis Volkovs, Janis Kleperis  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Ūdens fotoelektrolīzes šūnā CuO, kā fotoelektroda, būtisks trūkums ir tā stabilitāte. Vairākos darbos CuO fotoelektroda stabilitāte tiek uzlabota ar dažādu citu jonu piejaukumiem [1,2]. Mērķis mūsu pētījumiem ir pierādīt, ka fotoelektrolīzes laikā, mainot līdzsprieguma komponentes vērtību, var palielināt CuO pārklājuma noturību. Ar elektroforēzes metodi uz nerūsējošā tērauda pamatnes tiek uzklāta Cu<sub>2</sub>O kārtiņa, kas pēc tam tiek apdedzināta pie 450 °C vienu stundu. Struktūras un morfoloģijas pētījumi ar XRD un SEM attiecīgi rāda, ka pēc apdedzināšanas dominē CuO fāze, tātad apdedzināšanas procesā Cu<sub>2</sub>O transformējās par CuO fāzi. Fotoelektroķīmiskajos mērījumos noskaidrots, ka maksimālā fotostrāva ir pie -500 mV (attiecībā pret SCE). Savukārt pie -50 mV tumsas strāva ir ar pretēju polaritāti. Mērot fotostrāvu pie -500 mV, tā samazinājās 1 stundas laikā par 40%. Savukārt, kad fotostrāvu mēra režīmā citā režīmā (10 sekundes paraugu apgaismo pie -500mV un pēc tam 10 sekundes to tur tumsā pie -50 mV), fotostrāva 1 stundas laikā būtiski nemainīja savu vērtību, bet pēc 5 stundām tā bija samazinājusies tikai par 5%. Darbā skaidroti iegūtie rezultāti.

## STABILIZATION MECHANISMS OF CuO PHOTOELECTRODE

Martins Vanags, Artis Volkovs, Janis Kleperis  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Major drawback of CuO as photoelectrode in water photo electrolysis cell is its stability. In several research works the stability of CuO photoelectrode is enhanced with adding different impurities [1,2]. The aim of our research is to demonstrate that changing the DC component value during photoelectrolysis can increase the resilience of CuO coating. Cu<sub>2</sub>O layer is coated on stainless steel substrate with electrophoretic method, and after annealed at 450 °C for one hour. Structure and morphology of coatings are studied by XRD and SEM respectively; it is established that during annealing dominate CuO phase, so the firing process characterizes with transforming of Cu<sub>2</sub>O into CuO phase. Photo-electrochemical measurements showed that the maximum photocurrent is obtained at -500 mV (with respect to reference electrode SCE). At -50 mV the dark current of CuO coating changes to the opposite polarity. Measurements of photocurrent stability at -500 mV indicate the decrease by 40% in 1 hour. Nevertheless, when photocurrent is measured with another mode (illuminates the sample at -500mV - 10 seconds, darkness at -50 mV - 10 seconds), photocurrent did not significantly change its value during 1 hour, but after 5 hours it had fallen by 5% . Results are explained in report.

### References:

1. H. Tang, M. A. Matin, et all. J. Electronic Materials, 2012, 41, 11, pp 3062-3067.
2. U. Shaislamova et all. Intern. J. Hydrogen Energy, 41, 4, 2016, pp. 2253–2262.

The financial support of National Research Program LATENERGI is greatly acknowledged.

**RADIĀCIJĶĪMISKI ŠĶĒRSSAISTĪTU DAUDZSLĀŅU OGLEKĻA  
NANOCAURULĪŠU - POLIOLEFĪNU NANOKOMPOZĪCIJU STRUKTŪRAS  
IZPĒTE UN MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU NOVĒRTĒJUMS**

Ričards Kovaldins<sup>1</sup>, Ingars Reinholds<sup>2</sup>, Gunta Ķizāne<sup>1</sup>, Jānis Zicāns<sup>3</sup>, Jevgēņijs Gabrusenoks<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Ķīmiskās fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultāte*

<sup>3</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Neorganiskās ķīmijas institūts*

<sup>4</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Dažādi pētījumu, liecina par oglekļa nano-caurulīšu (ONC) ietekmi uz polimēru materiāla mehāniskajām īpašībām, oksidēšanās procesu samazināšanu un šķērssaistīšanās reakciju pieaugumu, apstarotiem kompozītmateriāliem.

Pētījumā novērtētas ar paātrinātiem elektroniem apstarotas vidēja blīvuma polietilēna (PE) kompozīcijas ar daudzslāņu ONC pildvielu. Paraugi apstaroti līdz absorbētajām dozām 150-1000 kGy. Raksturotas kompozītu mehāniskās īpašības. Tika pielietota FTIR IS spektrometrija, trans-vinil un ketonu saišu noteikšanai; Raman spektrometrija, lai raksturotu ONC oglekļa atomu svārstības kompozītu struktūrā. Raksturota parauga kristāliskuma pakāpe, izmantojot Rentgena staru difraktometriju un noteikts gelfrakcijas saturs.

Dažādu paraugu, struktūras izpēte, liecina par ONC pozitīvu ietekmi uz materiāla mehāniskajām īpašībām, rezistenci pret oksidēšanos un šķērssaistīšanās reakciju pieaugumu.

**STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTY ANALYSIS OF  
RADIOCHEMICALLY CROSS-LINKED MULTI-LAYERED CARBON  
NANOTUBE – POLIOLEFINNANOCOMPOSIT MATERIAL**

Ričards Kovaldins<sup>1</sup>, Ingars Reinholds<sup>2</sup>, Gunta Kizane<sup>1</sup>, Janis Zicans<sup>3</sup>, Jevgenijs Gabrusenoks<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Chemical Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Department of Chemistry, University of Latvia*

<sup>3</sup>*Institute of Polymer Materials, Riga Technical University*

<sup>4</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

There have been many publications, indicating that carbon nano-tubes (CNT) have a significant effect on mechanical properties, reduction of oxidation and increase in cross-linking reactions, of different irradiated composite materials.

A study of average density polyethylene (PE), multi-layer CNT composite materials, irradiated by electron beam, has been conducted. Different samples were prepared, each irradiated with absorbed dose from 150 – 1000kGy. Mechanical properties were observed via stretching of sample. FTIR spectrometry was used to identify trans-vinyl and ketone active groups. Raman spectrometry was used to observe carbon bond oscillations in CNT. Degree of crystallinity was characterized, by using X-ray diffraction and further defined by gel fraction identification.

Structural observation, of different samples, indicated that CNT have an effect on improving mechanical properties, resistance to oxidation, and the likelihood of cross-linking reactions.



## **DIVERTORA MATERIĀLU MODIFICĒŠANAS IETEKME UZ KODOLDEGVIELAS UZKRĀŠANOS JET KODOLSINTĒZES REAKTORĀ**

Mihails Halitovs<sup>1</sup>, Gunta Ķizāne<sup>1</sup>, Jari Likonen<sup>2</sup>, Nicolas Bekris<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Ķīmiskās fizikas institūts*

<sup>2</sup>*VTT Technical Research Centre of Finland*

<sup>3</sup>*Karlsruhe Institute of Technology, ITEP-TLK*

Oglekļa kompozītmateriāliem raksturīga augsta tritija caurspiešanās spēja un afinitāte. Lai mazinātu kodoldegvielas uzkrāšanos kodolsintēzes iekārtās, divertora materiāli tiek modificēti. Volframa pārklājumi tiek izmantoti kā viens no efektīvākajiem veidiem, lai mazinātu tritija uzkrāšanos. Pētījumā izvērtēta pārklājumu modificēšanas efektivitāte un rezultāti paredzēti ITER kodolsintēzes reaktora divertora ķieģeļu materiālu uzlabošanai.

Pētījumā veikta tritija uzkrāšanās salīdzināšana dažādu JET kodolsintēzes iekārtas divertora ķieģeļu paraugos. Analizēti paraugi ar vienādu izvietošanu divertorā. Analizētajiem paraugiem bija 20–200 μm W pārklājums ar Mo starpslāni.

Nemodificētiem materiāliem bez pārklājuma īpatnējā virsmas aktivitātē ir vidēji  $10^7 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ , bet aktivitāte tilpumā  $\sim 10^4 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ . Novērots, ka volframa pārklājumi samazina tritija uzkrāšanos gan uz virsmas, gan arī tilpumā. Īpatnējā virsmas aktivitāte paraugiem ar pārklājumu samazinās līdz  $10^5 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ , bet tilpumā – līdz  $10^3 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Volframa pārklājumu efektivitāte ir mainīga atkarībā no parauga novietojuma un saskares ar plazmu. Viennozīmīgi var secināt, ka materiālu modificēšana ar pārklājumiem ir efektīva, lai samazinātu tritija uzkrāšanos divertora materiālos.

## **THE INFLUENCE OF DIVERTOR MATERIAL MODIFICATION ON THE ACCUMULATION OF FUSION FUEL IN JET FUSION DEVICE**

Mihails Halitovs<sup>1</sup>, Gunta Ķizāne<sup>1</sup>, Jari Likonen<sup>2</sup>, Nicolas Bekris<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*University of Latvia, Institute of Chemical Physics*

<sup>2</sup>*VTT Technical Research Centre of Finland*

<sup>3</sup>*Karlsruhe Institute of Technology, ITEP-TLK*

Due to high tritium permeability and affinity, carbon fibre composites of divertor materials have been modified to prevent the excess fusion fuel storage in the fusion devices. Tungsten coating for fusion device divertor tiles is used as material to limit tritium inventory into the carbon fibre composite materials. The effect of coating modification is evaluated in the research and results are meant to be used for the improvement of ITER fusion device divertor tiles.

A comparison of tritium accumulation in various JET fusion device divertor tiles is made. Certain samples of same positioning in the fusion device were analysed. The samples of tiles analysed had 20 – 200 μm W coating with Mo interlayer.

As initial uncoated samples show a surface activity of up to  $10^7 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$  and a bulk activity of  $\sim 10^4 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ , tungsten coating modifications decrease the tritium accumulation both on the surface and in the bulk. The surface activity can be decreased to  $10^5 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$  and bulk activity – to  $10^3 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ .

The tungsten coating modification efficiency varies depending on the sample positioning and direct plasma interaction. Though without any doubt the coating modifications are efficient in reducing the tritium accumulation in divertor material.

## INVERSAIS PEROVSKĪTA $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ SAULES ELEMENTS, KAS IZGATAVOTS AR ZEMO TEMPERATŪRU TEHNOLOĢIJU

Anastasija Ivanova<sup>1</sup>, Igors Kaulačs<sup>1</sup>, Gunta Šlihta<sup>1</sup>, Modris Roze<sup>2</sup>, Jānis Grabis<sup>3</sup>, Laura Rozenberga-Voska<sup>3</sup>, Andrejs Tokmakovs<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Fizikālās Enerģētikas institūts

<sup>2</sup>Rīgas Tehniskā universitāte

<sup>3</sup>Rīgas Tehniskās universitātes Neorganiskās ķīmijas institūts

<sup>4</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

Tiek prezentēts planārais perovskīta  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  ( $x \sim 0,03$ ) saules elements, kas iegūts ar divpakāpju interdifūzijas metodi [1] un/vai ar korejiešu 2015. gada decembrī atklāto vienpakāpes metodi [2], kurā vispirms iegūst perovskīta sauso pulverveida masu vairākkārtīgi skalojot izopropanolā un centrifugējot. Pēc žāvēšanas šo vielu šķīdina DMF, pievienojot 10% HI koncentrētu šķīdumu ūdenī un klāj ar rotācijas pārklāšanas metodi. Paraugs tiek veidots uz ITO pārklātas stikla virsmas inversā konfigurācijā (p-i-n), kur par caurumu transportieri (p) un elektronu blokatoru izmantojam PEDOT:PSS vai polimēru poly-TPD. Kā elektronu transportieri (n) un caurumu blokatoru izmantojam šķīstošo fullerēna atvasinājumu PCBM, kas tālāk vakuumā pārklāts ar 50 nm biezu  $\text{C}_{60}$  kārtiņu, kurai vakuumā uzneš Ag elektrods. Pētītas iegūto šūnu īsslēguma fotostrāvas ārējās kvantu efektivitātes (EQE) spektrālās atkarības, EQE atkarība no gaismas intensitātes  $10^9$  fot/cm<sup>2</sup>·s līdz  $10^{15}$  fot/cm<sup>2</sup>·s diapazonā, kā arī fotostrāvas voltampērraksturlīknes  $\sim 5 \cdot 10^{-7}$  mbar vakuumā *in situ*, neizņemot paraugu no vakuumkambars pēc elektroda uznešanas.

## INVERTED $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ SOLAR CELL BY LOW TEMPERATURE TECHNOLOGY

Anastasija Ivanova<sup>1</sup>, Igors Kaulačs<sup>1</sup>, Gunta Šlihta<sup>1</sup>, Modris Roze<sup>2</sup>, Jānis Grabis<sup>3</sup>, Laura Rozenberga-Voska<sup>3</sup>, Andrejs Tokmakovs<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physical Energetics

<sup>2</sup>Riga Technical University

<sup>3</sup>Institute of Inorganic Chemistry, Riga Technical University

<sup>4</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia

We present planar perovskite  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$  ( $x \sim 0,03$ ) solar cell prepared by two step interdiffusion method [1] and/or by new one step method [2], where dry powder of perovskite was obtained by repeated centrifugation and washing in isopropanol. After drying this substance is dissolved in DMF with adding 10% HI water solution and spin coated on substrate. Cell is built using inverted conformation (p-i-n) where hole transporter (p) and electron blocking layer is PEDOT:PSS or polymer poly-TPD. For electron transport and hole blocking layer (n) is used soluble fullerene derivative PCBM covered in vacuum by 60 nm thick  $\text{C}_{60}$  layer. As top electrode thermally evaporated Ag in vacuum is used.

The main photovoltaic characteristics have been investigated *in situ* in the same vacuum camera without breaking the vacuum.

[1] Xiao, Z.; Bi, C.; Shao, Y.; Dong, Q.; Wang, Q.; Yuan, Y.; Wang, C.; Gao, Y.; Huang, J. *Energy Environ. Sci.* **2014**, *7*, 2619-2623

[2] Heo, J.H.; Im, S.H. doi: 10.1039/C5NR08458J

The financial support of IMIS<sup>2</sup> project is greatly acknowledged.

**BENZOLA UN TOLUOLA DAUDZUMA IETEKME UZ POLIMĒRA-NANOSTRUKTURĒTA OGLEKĻA KOMPOZĪTA SENSOREFEKTU BENZĪNA TVAIKOS**

Santa Stepīna, Gita Šakale, Māris Knite

*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un Lietišķās Ķīmijas fakultātes Tehniskās Fizikas institūts*

Iepriekšējos eksperimentos tika pārbaudīts polimēra-nanostrukturēta oglekļa kompozīta (PNOK) sensorefekts dažādos benzīna tvaikos. Rezultātos tika apkopota informācija arī par benzīna procentuālo sastāvu, no kuras izrietēja, ka vairāk kā 10% no benzīna sastāda toluols. Benzīna sastāvam ir noteikti ierobežojumi un normas, kā piemēram Latvijā noteikts, ka benzola saturs benzīnā nedrīkst pārsniegt 1%. Tāpēc nepieciešami padziļināti pētījumi par to kā šīs atsevišķās sastāvdaļas ietekmē PNOK sensorefektu benzīna tvaikos un vai ir iespējams ar šo eksperimentu novērtēt aptuveno toluola vai benzola daudzumu benzīnā.

Kā PNOK matricas materiāls tika izmantots etilēna-vinilacetāta kopolimērs (EVA; sigma Aldrich), kura polārā/nepolārā daba dod iespēju detektēt gan polārus, gan nepolārus organiskos šķīdinātājus. Kā elektrovadošā pildviela tika izmantotas oglekļa nanodaļiņas (CB; PRINTEX-XE).

Apkopojot rezultātus, tika izdarīti secinājumi par benzola un toluola daudzuma ietekmi uz PNOK sensorefektu benzīna tvaikos.

**BENZENE AND TOLUENE CONTENT INFLUENCE ON POLYMER-NANOSTRUCTURED CARBON COMPOSITE SENSOREFFECT IN GASOLINE VAPOURS**

Santa Stepina, Gita Sakale, Maris Knite

*Institute of Technical Physics, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

Polymer-nanostructured carbon composite (PNCC) sensoreffect in gasoline vapours has been researched in previous works. Results showed information about gasoline content, in which more than 10% of gasoline content is toluene. In Latvia and other countries there are allowed norms of content in gasoline. For benzene it is below 1%. That is why there is need for more detailed research in this area to determine how benzene and toluene content influence PNCC sensoreffect on gasoline vapors.

As matrix material for PNCC was used ethylene vinyl acetate copolymer (EVA; Sigma Aldrich) which polar/non-polar nature allow to detect polar as well as non-polar organic solvent vapour. As electroconductive nanoparticle was used carbon nanoparticles (CB; PRINTEX-XE).

Based on the experimental results the benzene and toluene content influence on PNCC sensoreffect in gasoline vapours is discussed.

## ELEKTROFORĒTISKĀ NOGULSNĒŠANĀ IEGŪTU TITĀNA DIOKSĪDA-VOLFRAMA TRIOKSĪDA PUSVADĪTĀJU STRUKTŪRA, ABSORBCIJAS UN FOTOSTRĀVAS MĒRĪJUMI

Mārcis Rublāns<sup>2</sup>, Gunārs Bajārs<sup>1</sup>, Andrejs Lūsis<sup>1</sup>, Ēvalds Pentjušs<sup>1</sup>,  
Jānis Balodis<sup>1</sup>, Jevgēņijs Gabrusenoks<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

<sup>2</sup>Latvijas Universitātes Fizikas un Matemātikas fakultāte

TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> pārklājumi tika iegūti ar elektroforētiskās nogulsnešanas metodi 5 līdz 20 minūtes uz 3x3 cm tērauda pamatnes, izmantojot elektriskā lauka intensitāti no 50 līdz 100 V/cm. Dispersijas vide tika sagatavota no HCl vai no benzoscābes šķīduma izopropanolā, kur tika pievienoti metāla oksīdi. Izgulsnētās kārtiņas tika karsētas 60 °C temperatūrā 2 stundas un pēc tam rūdītas pie 500 °C arī 2 stundas.

Izmantojot rentgenstaru difrakciju, tika iegūta fāzes struktūra un kristālu izmēri TiO<sub>2</sub> plānajās kārtiņās. Rentgenstaru fluorescences tika izmantota, lai noteiktu WO<sub>3</sub> daudzumu plānajās kārtiņās. Virsmas morfoloģija tika analizēta ar skenējošo elektronu mikroskopu.

Optiskās īpašības (absorbcijas koeficients, aizliegtās zonas platumi) dažāda biezuma TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> paraugiem tika iegūti UV-redzamās gaismas diapazonā.

Fotostrāvas mērījumi iegūtajiem pārklājumiem tika novērtēti atkarībā no TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> daudzuma attiecības.

## STRUCTURE, OPTICAL AND PHOTOCURRENT MEASUREMENTS OF TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> COMPOSITES PREPARED BY ELECTROPHORETIC DEPOSITION

Mārcis Rublāns<sup>2</sup>, Gunārs Bajārs<sup>1</sup>, Andrejs Lūsis<sup>1</sup>, Ēvalds Pentjušs<sup>1</sup>,  
Janis Balodis<sup>1</sup>, Jevgēņijs Gabrusenoks<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia

<sup>2</sup>Faculty of Physics and Mathematics, University of Latvia

TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> coatings were prepared by electrophoretic deposition 5 to 20 min on 3x3 cm steel substrates using electric field intensity ranges from 50 to 100 V/cm. Dispersion medium was prepared from either HCl or benzoic acid solution in isopropanol where the metal oxides were added. Deposited films were heated in 60 °C for 2 h and then annealed at 500 °C for 2 h.

The phases and crystalline sizes of obtained TiO<sub>2</sub> thin films were determined by X-ray diffraction. X-ray fluorescence was used to establish WO<sub>3</sub> content in thin films. Surface morphologies were analysed by scanning electron microscopy.

Optical properties (absorption coefficient, bandgap) for different thickness TiO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub> thin films was determined in UV-visible light range.

Photocurrent properties of obtained coatings were assessed in dependence on TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> content ratio.

Authors acknowledge the Latvian National Research Program IMIS<sup>2</sup> for financial support.

## DIVU SAVSTARPĒJI NEŠĶĪSTOŠU ŠĶĪDRUMU TERMOĶĪMISKĀ BATERIJA LIEKĀ SILTUMA ENERĢIJAS SAVĀKŠANAI

Jānis Kleperis<sup>1</sup>, Jānis Bērziņš<sup>2</sup>, Pēteris Lesničenoks<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts;*

<sup>2</sup> *SIA "SPEED"*

Termoelektrība ir sen zināma un vēl joprojām ļoti aktīva pētniecības joma, kas aptver dažādas zinātņu jomas: fiziku, fizikālo ķīmiju, elektroķīmiju, inženierzinātnes. Viens no populārākiem termoelektrības potenciāliem pielietojumiem ir siltuma pārpalikumu savākšana ražošanā un arī sadzīvē, un aptver jaudas no dažiem mikrovatiem līdz kilovatiem. Termoelektrību iegūst dažādās sistēmās, galvenokārt kontaktējot diviem dažādiem metāliem, pusvadītājiem, pat šķidrumiem. Klasiskais Zēbeka efekts, kas izpaužas, kontaktējot diviem materiāliem ar atšķirīgiem ķīmiskajiem potenciāliem, tiek paplašināts uz sistēmām, kur kontaktē materiāli ar atšķirīgiem elektroķīmiskajiem potenciāliem.

Mūsu darbā pētīta divu savstarpēji nešķīstošu šķidrumu sistēma, kas aprakstīta Latvijas patentā LV12930 (B) - J.Bērziņš, U.Siliņš (2003) Termoelektiskais pārveidotājs. Spraugā starp diviem elektrodiem atrodas divi savstarpēji nešķīstoši šķidrumi, un vienu no elektrodiem dzesējot, bet otru sildot, tiek novērota kontaktpotenciālu starpība. Tā ir atkarīga no sistēmas ģeometriskās orientācijas, temperatūru starpības, bet īsslēguma strāvu nosaka šķidrumu jonu vadītspējas. Tiek meklētas iespējas optimizēt termoelektrisko pārveidotāju pielietojumiem siltuma savākšanai no lielām virsmām (siltuma centrāles, saules kolektori uc).

## Thermo-Chemical Battery from Insoluble Liquids for Collection of Waste Heat

Jānis Kleperis<sup>1</sup>, Janis Berzins<sup>2</sup>, Peteris Lesnichenoks<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Solid State Physics, University of Latvia;*

<sup>2</sup> *Ltd SPEED*

Thermoelectricity has long been known and is still be active research area, covering various science branches: physics, physical chemistry, electrochemistry, and engineering. One of the most popular potential application field of thermoelectricity is the collection of waste heat from different industrial and household processes, and covers power region from a few kilowatts to microwatts. Thermoelectricity is obtained from various systems, mostly when two different metals, semiconductors, even liquids are in contact. Classical Seebeck effect manifested when two materials with different chemical potentials are contacting, and now is being expanded to mixed systems where materials with different chemical and electrochemical potentials are presented.

In our research the system consisting from two mutually insoluble liquids described in the Latvian patent LV12930 (B) (J.Bērziņš, U.Siliņš (2003) Thermoelectric converter) is investigated. The two insoluble liquids are placed in the gap between two electrodes, one is heated, and other – cooled; potential difference between electrodes are registered with data logger and PC. It is found that value of potential difference depends not only from electrode materials, but also from the geometric orientation of system, and obviously the temperature differences; the short-circuit current is determined by ionic conductivity of liquids. An aim of research is optimization of the thermoelectric converter for applications to collect low temperature gradient waste heat from large surfaces (district heating, solar collectors, etc.).

## NANOSTRUKTURĒTA TiO<sub>2</sub> IZMANTOŠANA OGLEKĻA DIOKSĪDA REDUCĒŠANAI

Ieva Grauduma<sup>1</sup>, Ainārs Knoks<sup>2</sup>, Jānis Kleperis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes fizikas un matemātiskās fakultāte

<sup>2</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

Globālā sasilšana ir viena no galvenajām vides problēmām, ar ko cilvēce mūsdienās saskaras. Ogļskābā gāze (CO<sub>2</sub>) ir būtisks klimata pārmaiņu iemesls, jo tā sastāda lielu daļu no siltumnīcas efekta gāzēm, kas uzkrājas atmosfērā. Pēdējos gados tiek pievērsta īpaša uzmanība cilvēces radītā CO<sub>2</sub> piesārņojuma ierobežošanai un atjaunojamu enerģijas ieguves veidu meklējumiem. Liels potenciāls ir CO<sub>2</sub> fotokatalītiskai reducēšanai un pārveidošanai par degvielu, izmantojot saules gaismu. Tā ir sarežģīta reakcija, kur vajadzīgi optimāli apstākļi, materiāli un to struktūras. Viena no daudzsološām opcijām ir titāna dioksīda nanocaurulītes. Līdz ar nanotehnoloģiju attīstību pēdējās desmitgadēs ir veikti daudz pētījumu par šīm struktūrām un to pielietojumu fotokatalīzei.

Darbā tiek audzētas titāna dioksīda nanocaurulītes ar anodēšanas metodi, plānots apskatīt arī tādas pārklājuma ieguves iespējas kā elektroforētiska uzklāšana no TiO<sub>2</sub> nanodaļiņu pulvera un magnetrona plazmas izputināšana. Pārklājumiem tiek mērīti dažādi fizikālie parametri – struktūra (XRD), morfoloģija (SEM), foto-eds, īsslēguma fotostrāva, u.c. Tiek veidots arī reaktors, lai pārbaudītu iegūto materiālu fotokatalītiskās spējas UV gaismas un ūdens tvaiku klātbūtnē reformēt CO<sub>2</sub> par metānu un/vai citiem ogļūdeņražiem.

## NANOSTRUCTURED TITANIA FOR REDUCTION OF CARBON DIOXIDE

Ieva Grauduma<sup>1</sup>, Ainars Knoks<sup>2</sup>, Janis Kleperis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Latvia faculty of physics and mathematics

<sup>2</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia

Global warming is one of the main environmental problems mankind is facing nowadays. Greenhouse gases mostly consists of Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) which therefore is responsible for climate change. Because of the climate change focused attention on reducing of CO<sub>2</sub> pollution produced by mankind created industry and search for renewable energy sources have grown. Big potential is found in CO<sub>2</sub> photocatalytic reduction and turning into fuel, using sunlight. It is complicated reaction which needs optimal environment, materials and their structures. One of the best options is TiO<sub>2</sub> nanotubes. With development of nanotechnologies in the past decades there is made lots of research about those structures and their use in photocatalysis.

In this work TiO<sub>2</sub> nanotubes are made by anodization method, it's also planned to try electrophoretic deposition of TiO<sub>2</sub> powder and magnetron plasma sputtering method. Different parameters of obtained coatings are measured: structure (XRD), morphology (SEM), open circuit photovoltage and photocurrent, etc. The reactor is built to check photocatalytic ability of the materials to convert CO<sub>2</sub> into methane in the presence of UV light and water vapor.

Acknowledgements. Authors acknowledge National Research Program IMIS<sup>2</sup> and Project No 666 from Latvian Council of Science.

## FIZIKĀLO UN FOTOELEKTROĶĪMISKO ĪPAŠĪBU PĒTĪJUMI AR MAGNETRONA IZPUTINĀŠANAS METODI IEGŪTAM TITĀNA DIOKSĪDAM

Elizabete Laiviņa<sup>1</sup>, Klaudija Gauja<sup>1</sup>, Jānis Kleperis<sup>2</sup>, Mārtiņš Zubkins<sup>2</sup>, Ainārs Knoks<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Rīgas Franču licejs*

<sup>2</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Ņemot vērā augošo globālās sasilšanas ietekmi un enerģijas atkarību no fosilajiem avotiem, zinātnieki visā pasaulē meklē alternatīvus enerģijas resursus, lai samazinātu fosilo kurināmo patēriņu, tātad samazinātu oglekļa pēdu. Viens no potenciālajiem risinājumiem esošā CO<sub>2</sub> piesārņojuma samazināšanai ir foto-aktīvu materiālu izmantošana, kuri gaisu un ūdeni attīrītu Saules gaismas ietekmē. Par perspektīvu materiālu šī uzdevuma veikšanai zinātnieku vidū tiek uzskatīti plāni titāna dioksīda (TiO<sub>2</sub>) pārklājumi.

Viens no efektīvākajiem plānslāņa pārklājumu iegūšanas veidiem ir magnetronā uzputināšana, kurā var iegūt precīzi regulētu pārklājuma biezumu, sastāvu, caurspīdību, vadītspēju. Šajā darbā ar magnetronās uzputināšanas metodi tika iegūts TiO<sub>2</sub> pārklājums uz ITO pamatnes. Iegūto paraugu fizikālās īpašības tiek noteiktas pētot morfoloģiju ar skenējošo elektronu mikroskopu un profilometru, savukārt fotofizikālās īpašības - nosakot optisko aizliegto zonu un īsslēguma strāvu.

## PHYSICAL AND PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF MAGNETRON SPUTTERED TITANIUM DIOXIDE

Elizabete Laivina<sup>1</sup>, Klaudija Gauja<sup>1</sup>, Janis Kleperis<sup>2</sup>, Martins Zubkins<sup>2</sup>, Ainars Knoks<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Riga French Lyceum*

<sup>2</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Growing threat of global warming and high energy dependency on fossil fuels, scientists all around the world have been searching for alternative energy sources to reduce the use of fossil fuels in order to reduce carbon imprint. To achieve higher results in water and air purification, materials with high photocatalytic activity are necessary.

One of effective ways of producing thin films is magnetron sputtering, which allows production of films with regulated thickness and composition. In this work titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) on ITO was synthesized using magnetron sputtering method. The physical properties of obtained samples were determined. Morphology with scanning electron microscope and profilometer, while the photo-physical properties were studied determining optical absorption spectrum and photoelectric properties in the three electrode cell measurements of photo-potential, short-circuit, and photo-current.

Acknowledgements. Authors acknowledge National Research Program IMIS<sup>2</sup> and Project No 666 from Latvian Council of Science.

**REAKTORS UN METODIKA GĀZU SORBCIJAS/DESORBCIJAS  
PĒTĪJUMIEM DAŽĀDIEM MATERIĀLIEM AR PVT (SIEVERTA) METODI  
TEMPERATŪRU INTERVĀLĀ +/-200 °C**

Pēteris Lesničenoks<sup>1,2</sup>, Līga Grīnberga<sup>1</sup>, Jānis Straumēns<sup>1</sup>, Jānis Kleperis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Cietvielu Fizikas Institūts;*

<sup>2</sup> *Rīgas Tehniskās Universitātes Materiālzinātnes un Lietišķās Ķīmijas Fakultāte*

Izstrādāta metodika pētījumiem gāzu desorbcijai un adsorbcijai/absorbcijai dažādos pulverveida materiālos, izmantojot oriģinālu kameru, kurā iespējams nodrošināt paraugu mērījumus temperatūru intervālā +/-200 °C. Reaktors konstruēts un izgatavots LU CFI, lai veiktu pētījumus paraugiem tilpumu intervālā 35 līdz 80 mm<sup>3</sup> pēc Sieverta metodes principa, izmantojot nemainīga tilpuma kameras spiedienu salīdzināšanai. Lielāku tilpumu pulverveida paraugu mērījumi ļauj samazināt spiediena izmaiņu noteikšanas kļūdas, kas raksturīgas, darbojoties ar maziem paraugu daudzumiem. Arī iespēja izvēlēties vienādus tilpumus pulverveida paraugiem un materiāla pārsvēšana pirms un pēc mērījumiem ļauj paaugstināt mērījumu precizitāti. Mēriekārtu veido reaktors, tā temperatūras kontroles sistēma (SIA "KeramServiss"), membrānas un turbomolekulārais sūkņi, masspektrometrs, 500 ml gāzes balons, divi spiediena sensori (pie reaktora un pie rezerves gāzes balona), datu logeris spiediena un temperatūras reģistrēšanai un divi datori. Sildīšanas procesu iespējams veikt lineārā režīmā, ko šobrīd nevar teikt par dzesēšanas procesu, tādēļ uzrakstīts arī algoritms spiediena un temperatūras laika grafiku linearizācijai spiediena-temperatūras līknē. Iespējams novērtēt dažādu pulverveida paraugu raksturīgās gāzu sorbcijas/desorbcijas temperatūras, kinētiku un sorbēto/desorbēto gāzes apjomu pēc spiediena izmaiņām.

**REACTOR AND METODICS FOR GAS SORPTION/DESORPTION  
RESEARCH IN VARIOUS MATERIALS WITH PVT (SIEVERT'S) METHOD  
IN TEMPERATURE INTERVAL +/-200 °C**

Peteris Lesnicenoks<sup>1,2</sup>, Liga Grinberga<sup>1</sup>, Janis Straumens<sup>1</sup>, Janis Kleperis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Solid State Physics, University of Latvia;*

<sup>2</sup> *Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga technical University*

We have developed methodics for gas sorption measurements at temperatures +/-200 °C in powder type samples with volume 35 – 80 mm<sup>3</sup>. This can be done using Sievert's method – constant volume canister to compare pressures. Large volume powder samples allow to limit pressure difference measurement errors, which can be present using small samples. Also the option to use similar volumes and reweighing of samples allow to limit measurement errors. Measurement device consists of reactor chamber itself, temperature control system (Keramserviss LTD), membrane and turbomolecular pumps, massspectrometer, 500ml reserve gas cylinder, two pressure sensors (at the reactor chamber and at the reserve 500ml gas chamber), data logger for pressure and temperature registration and two computers. Heating process can be done linearly.

Acknowledgement: Authors acknowledge financial support from National Research Program IMIS<sup>2</sup>.



## OGLES NANOSTRUKTŪRU ELEKTRODU UN MEMBRĀNAS MATERIĀLA PĒTĪJUMI PIELIETOJUMAM SUPERKONDENSATOROS

Madara Zvīne<sup>1</sup>, Anna Januškeviča<sup>1</sup>, Pēteris Lesničenoks<sup>2,3</sup>, Gatis Tauriņš<sup>4</sup>, Jānis Kleperis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Rīgas Franču Licejs*

<sup>2</sup> *Rīgas Tehniskās Universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte;*

<sup>3</sup> *Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts;*

<sup>4</sup> *SIA "KeramServiss"*

Līdz ar 2-dimensionāla oglekļa alotropiskās modifikācijas - grafēna - atklāšanu 2004.gadā, tika aizsākti arī dažādi tā pielietojumu pētījumi elektronikā. Vienslāņa grafēns ir dārgs, un pielietojumos elektrodiem uzrāda mazu tilpuma enerģētisko ietilpību.

Pētījuma mērķis ir iegūt vairākslāņu grafēnu un pārbaudīt tā pielietojamību superkondensatorā. Darba gaitā tika pētīti elektroķīmiskās eksfoliācijas procesā iegūtā grafēna pulvera (tīra un ar Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> un Li<sup>+</sup> piemaisījumiem) elektrodu darbību superkondensatoros. Pētīti vispiemērotākie elektrolīti (NaCl, LiPF<sub>6</sub>, KOH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>Cl ar koncentrāciju 1M). Ar Ramana spektroskopiju, AFM un SEM metodēm tika pētīta iegūto grafēna daļiņu struktūra un morfoloģija. Izveidotajiem superkondensatoriem veikta to parametru - impedances, potenciālu starpības, uzlādes un izlādes līkņu un kapacitātes mērījumi.

## RESEARCH OF CARBON NANOSTRUCTURE ELECTRODES AND MEMBRANE MATERIALS APPLICATION FOR SUPER CAPACITORS

Madara Zvīne<sup>1</sup>, Anna Januškeviča<sup>1</sup>, Pēteris Lesničenoks<sup>2,3</sup>, Gatis Tauriņš<sup>4</sup>, Jānis Kleperis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Riga French Lycée;*

<sup>2</sup> *Materials Science and Applied Chemistry Faculty, Riga Technical University;*

<sup>3</sup> *Institute of Solid State Physics, University of Latvia;*

<sup>4</sup> *Ltd "KeramServiss"*

In the year of 2004, after Prof Andre Geim's and Prof Konstantin Novoselov's discovery of 2-dimensional carbon allotropic modification – graphene, multiple researches concerning the possible use of this material in the field of electronics were begun. The goal of this research is to obtain multiple layer graphene and test its utilization in a super capacitor. Electrochemically exfoliated graphene powder's electrodes (clean and also with Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Li<sup>+</sup> impurities) work in super capacitors and the most appropriate electrolytes were searched (NaCl, LiPF<sub>6</sub>, KOH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>Cl with the concentration of 1M). With Raman spectroscopy, AFM and SEM methods, graphene particles' structure and morphology were investigated. For the created super capacitors there were several measurements made such as impedance, potential difference, the charge and discharge curves and capacitance measurements.

Acknowledgement: Authors acknowledge financial support from Project No666 of Latvian Science Council.

## DAŽĀDAS FORMAS OGLES NANOMATERIĀLU PĒTĪJUMI ANODAM UN KATODAM LITIJA JONU BATERIJĀ

Valters Liberts Muzikants<sup>1</sup>, Gints Kučinskis<sup>2</sup>, Mīks Krišjānis Jurjāns<sup>1</sup>, Gunārs Bajārs<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Rīgas Franču Licejs;*

<sup>2</sup> *Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Litija jonu baterijas jau plaši tiek lietotas gan elektrotransportā, gan portatīvos mobilos pielietojumos. Taču šobrīd tirgū esošā, vairākkārtīgi uzlādējamā litija jonu baterija ir ar būtiskiem trūkumiem – tai ir neliels izlādes-uzlādes ciklu skaits (tikai vairāki simti), strauja lādiņietilpības zušana pazeminātās temperatūrās. Tādēļ zinātnieku laboratorijās visā pasaulē tiek meklēti risinājumi katoda un anoda materiāliem, kā arī separatoram un elektrolītam, lai novērstu augstāk minētos trūkumus. Ogles nanomateriālu piedevas katodam litija jonu baterijā palielina elektrovadītspēju, savukārt anodam dažādu veidu ogles var tikt veiksmīgi izmantotas kā pamatviela. Darbā izveidoti trīs dažādu veidu baterijas modeļi, mainot katoda elektrovadošās ogles piedevu (acetilēna kvēpi “Carbon Black” (CB) un divi dažādi no Latvijas koksnes (alkšņa) KĶI sintezēti paraugi ar atšķirīgiem poru izmēriem). Izveidoti divu dažādu veidu baterijas modeļi ar diviem dažādiem anodmateriāliem (darba gaitā sintezēts daudzslāņu grafēns (FLG), un komerciālas grafīta pārslas). Baterijām tika izmērītas uzlādes un izlādes līknes un voltampērlīknes. No šiem mērījumiem tika aprēķināta lādiņietilpība, noteiktas baterijas uzlādes-izlādes īpatnības un secināts, ka katods ar CB elektrovadošo piedevu un FLG anods ir ar augstāko lādiņietilpību no pētītajiem paraugiem.

## CARBON NANOMATERIAL USE IN LITHIUM ION BATTERIES FOR CATHODE AND ANODE CREATION

Valters Liberts Muzikants<sup>1</sup>, Gints Kucinskis<sup>2</sup>, Mīks Krisjanis Jurjans<sup>1</sup>, Gunars Bajars<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Riga French Lyceum;*

<sup>2</sup> *Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Lithium ion batteries are already widely used for both electric transport and portable applications. However, rechargeable lithium-ion batteries currently existing in the market, are with deficiencies - small number of full discharge-charge cycles (only several hundred), rapid decrease of charge capacity at low temperatures (in winter time). Therefore, scientists around the world are doing researches how to improve the cathode and anode materials in order to prevent the above-mentioned disadvantages. Carbon nanomaterial additives in the cathode increase electro-conductivity, but in an anode ent kinds of carbon materials can be successfully used as the active material in anode. In this work three different model batteries were created, utilizing various carbon additives (Carbon Black (CB) and two different samples from Latvian State Institute of Wood Chemistry (synthesized from alder wood pellets) with high pore volumes. Two different model batteries were created with distinctive anode materials ( multilayer graphene (FLG) synthesized during this work and commercially available graphite flakes (GF)). Volt-ampere and charge-discharge curves were measured and the specific energy capacity of each sample was calculated and the behavior of charging-discharging cycles explained. It was concluded that the cathode with CB as an additive and the anode from FLG are with the highest energy density of all samples studied.

Acknowledgement: Authors acknowledge financial support from Project No666 of Latvian Council of Science.

## **PORAINU PĀRKLĀJUMU UZNEŠANA PAAUGSTINĀTĀ DARBA SPIEDIENĀ**

Virgīnija Liepiņa, Matīss Mišels-Piešiņš  
*Sidrabe*

Darbā tiek apskatīta pārklājumu uznešana paaugstinātā darba spiedienā un šādā veidā uznestu kārtiņu izmantošanas iespējas un fizikālās īpašības. Literatūras avotos atrodama informācija liecina par to, ka, izmantojot paaugstinātu darba spiedienu, iespējams iegūt pārklājumu ar lielāku porainību, kā arī mainās materiāla fāzu sadalījums, kas, atšķirīgu fizikālo īpašību dēļ, kā piemēram, optiskā caurlaidība, aizliegtās zonas platums, elektrovadāmība, hidrofilitāte un citas, paver dažādas pielietojumu iespējas. Pētījumi ir balstīti uz magnetronu izsmidzināšanas metodes īpašību izpēti nereaktīviem un reaktīviem izsmidzināšanas procesiem. Darbā apskatīts tehniskais risinājums paaugstināta darba spiediena iegūšanai, t.i. tāds magnetronu izsmidzināšanas darba spiediens kas ir lielāks par 10 mTorr, kas netiek tipiski izmantots nedz pētnieciskos, nedz rūpnieciskos pielietojumos, kā arī uz organiskām pamatnēm paaugstinātā darba spiedienā uznestas titāna oksīda kārtiņas un apskatīta to struktūra.

## **THE DEPOSITION OF POROUS THIN FILMS IN INCREASED WORKING PRESSURE**

Virginija Liepina, Matīss Misels-Piesins  
*Sidrabe*

This work examines reactive magnetron sputtering of thin films in increased working pressure and the applications and physical properties of the obtained films. It is known that increased working pressure results in thin films with higher porosity, as well as changing the material phase distribution and physical properties, such as optical transmission, restricted zone width, electric conductivity, wettability and others, thus expanding the application options. The research is based on magnetron sputtering methods and examining the characteristics of reactive and nonreactive sputter processes. Technical solution to obtain a high operating pressure - a magnetron sputter working pressure greater than 10 mTorr, which is not typically used for research or industrial applications – is offered. Titanium oxide thin films have been sputtered in increased working pressure on organic substrate and the structure of the obtained films has been examined.

## PIEKĻUVES KONTROLE AR IS ATSLĒGĀM

Irina Gvardina, Alberts Kristiņš, Jānis Melderis  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Piekļuves kontrole ar IS atslēgām pamatā paredzēta vārtu un barjeru vadībai autotransporta iebraukšanas vietās. Kompakts vadības breloks infrasarkanajā (IS) diapazonā izstaro kodētu signālu plūsmu, kuru uztver IS signālu nolasītājs.

Brelokā var tikt ieprogrammēts kods, līdzīgs *EmMarin 125 kHz Proxy* kartēm vai arī kāds cits. Uztvērējs saņemto IS kodu pārveido elektriskajos signālos un, izmantojot *Wiegand 26* protokolu, nodod informāciju tālāk jebkuram atbilstoša veida piekļuves sistēmas kontrolierim.

Breloka signālus var noraidīt caur automašīnas stiklu, tādējādi neprasot loga atvēršanu. IS signālu nolasītājam paredzēta iespēja pieslēgt arī parastos *Proxy* karšu lasītājus, tādā veidā nodrošinot piekļuves iespējas gan ar breloku, gan ar *Proxy* kartēm.

## ACCESS CONTROL WITH IR KEYS

Irina Gvardina, Alberts Kristins, Janis Melderis  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Access control with IR keys is designed for automatic gate and barriers control of parking management systems. Compact key fob emits a coded signal flow of infrared (IR) range, which is detected by IR signal receiver.

Key fob can be programmed with a code, similar with *EmMarin 125 kHz Proxy* card or with someone else. Receiver converts the received IR code in electrical signals and by application of the *Wiegand 26* protocol forward the information to the access system controller of every suitable type.

The key fobs signals can be transmitted through a car window without window opening. IR signal reader provides the possibility to connect also the normal *Proxy* card readers, thus ensuring access by both key fobs and the *Proxy* cards.

**18. februāris**

**KODOLFIZIKA**

## EIROPAS ITER ŽIROTRONA PROJEKTĒŠANAS UN KONSTRUĒŠANAS PAŠREIZĒJAIS STĀVOKLIS

Oļģerts Dumbrājs

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

ITERa elektronu ciklotronu karsēšanas un strāvas dzīšanas iekārta sastāv no 24 žirotroniem. Eiropa piegādās 6 žirotronus, Indija 2, Japāna 8, Krievijas federācija 8. Žirotronu frekvence ir 170 GHz, impulsa garums līdz pat 3600 sekundēm. Kopējā mikroviļņu jauda, kas tiks injicēta plazmā, būs lielāka par 20 megavatiem. F4E programma virzas uz priekšu sekmīgi. Eiropas žirotronu projektēšana novērtēta atzinīgi. Eiropas žirotronu konsorcijs, kura sastāvā ieiet vairākas Eiropas kodolplazmas sintēzes laboratorijas (KIT – Vācijā, CRPP - Šveicē, HELLAS – Grieķijā, CNR - Itālijā, USTUTT- Vācijā, **CFI – Latvijā**), un Francijas kompānija Thales Electron Devices, konstruē un pārbauda īsu impulsu žirotronu. Pagājušā gada rudenī tika pabeigts arī garu impulsu (ilgāk par dažām minūtēm) žirotrona rūpnieciskais prototips. Aprīlī sapulcē, kurā piedalījās visas darbā iesaistītās organizācijas un ITERa pārstāvji, tika atzīmēts, ka visi darbi noris ļoti sekmīgi, un ka uzbūvētais žirotrons ģenerē augstas kvalitātes mikroviļņus, kuru jauda pārsniedz 1 megavatu. Galīgā žirotrona tehniskās konstrukcijas validācija paredzēta šā gada pirmajā pusē.

### PRESENT STATUS OF DESIGN, DEVELOPMENT AND VALIDATION OF THE EUROPEAN GYROTRON FOR ITER

Oļģerts Dumbrājs

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

The Electron Cyclotron Heating and Current Drive system developed for ITER is made of 24 Gyrotrons. Europe is responsible for delivering 6 gyrotrons, India 2 gyrotrons, Japan 8 gyrotrons, and The Russian Federation 8 gyrotrons. Gyrotrons will be operating at 170 GHz, with pulse lengths up to 3600 s and injecting more than 20 MW of microwave power into the plasma. F4E's work on the gyrotron is progressing well and the EU design of the gyrotron has been pre-validated. In collaboration with the European Gyrotron Consortium (which consists of several European Fusion Laboratories, namely KIT - Germany, CRPP - Switzerland, HELLAS - Greece, CNR - Italy, and USTUTT- Germany, and **ISSP - Latvia** as third parties) and Thales Electron Devices, a French company, fabrication and testing is being done on short-pulse gyrotrons. In parallel, a long pulse Continuous-Wave industrial prototype, which will produce a radiofrequency wave of longer duration of several minutes, has been delivered during last autumn. The meeting was held in April and attended by representatives from F4E, EGYC, TED and ITER IO. The results which were presented during the meeting have been highly encouraging – all activities are considered to be fully successful and the short-pulse gyrotron is producing an exceptionally good output beam of more than 1 MW. The second milestone, which is the full validation of the gyrotron technical design, is expected during the first half of 2016.

The financial support from F4E/GRT/553 and LU ISSP EGYC D 21346 grants is greatly acknowledged.

**$^{186}\text{Re}$  KODOLA IEROSINĀTO LĪMEŅU STRUKTŪRAS PĒTĪJUMI**

Tamāra Krasta<sup>1</sup>, Jānis Bērziņš<sup>1</sup>, Lubova Simonova<sup>1</sup>, Michael Jentschel<sup>2</sup>, Waldemar Urban<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Institute Laue-Langevin*

<sup>3</sup>*Faculty of Physics, University of Warsaw*

Darbs prezentē nepāra-nepāra kodola  $^{186}\text{Re}$  ( $Z=75$ ,  $N=111$ ) ierosināto līmeņu struktūras pētījumu rezultātus.  $^{185}\text{Re}(n_{\text{th}},\gamma)^{186}\text{Re}$  reakciju pavadošie  $\gamma$ -spektri tika izmērīti ar augstas izšķiršanas kristāldifrakcijas spektrometru GAMS5 (ILL) enerģijas intervālā no 100 keV līdz 2 MeV. Iegūto pirmās, otrās un trešās atstarošanas kārtas spektru analīze ļāva noteikt enerģijas un intensitātes vairāk nekā 500  $\gamma$ -līnijām, kas pieder  $^{186}\text{Re}$ . Iegūtie dati ļāva verificēt un papildināt iepriekš zināmo [1]  $^{186}\text{Re}$  kodola līmeņu shēmu. Tāpat tika ņemti vērā arī (p,d) reakcijas mērījumu rezultāti [2].  $^{186}\text{Re}$  kodola līmeņu struktūra tika interpretēta aksiāli-simetriskā divu kvazidaļiņu plus rotatora modeļa ietvaros izmantojot protona orbītas 5/2[402], 9/2[514] un neitrona orbītas 1/2[510], 3/2[512], 7/2[503], 9/2[505], 11/2[615].  $^{186}\text{Re}$  kodola līmeņu struktūra ir salīdzināta ar kaimiņu nepāra-nepāra kodola  $^{188}\text{Re}$  [3] līmeņu struktūru.

**STRUCTURE OF THE  $^{186}\text{Re}$  NUCLEAR LEVELS**

Tamāra Krasta<sup>1</sup>, Jānis Bērziņš<sup>1</sup>, Lubova Simonova<sup>1</sup>, Michael Jentschel<sup>2</sup>, Waldemar Urban<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Institute Laue-Langevin*

<sup>3</sup>*Faculty of Physics, University of Warsaw*

Results of the doubly-odd  $^{186}\text{Re}$  nucleus ( $Z=75$ ,  $N=111$ ) excited level structure studies are presented. The  $\gamma$ -spectra following the  $^{185}\text{Re}(n_{\text{th}},\gamma)^{186}\text{Re}$  reaction have been measured with the high-resolution crystal-diffraction spectrometer GAMS5 of ILL in the energy range from 100 keV to 2 MeV. Evaluation of spectra in the first, second, and third reflection orders allowed to determine energies and intensities of more than 500  $\gamma$ -lines assigned to  $^{186}\text{Re}$ . Obtained results made it possible to verify and to extend the earlier known level scheme of  $^{186}\text{Re}$  [1]. The results of (p,d) reaction measurements [2] also have been taken into account. Structure of the  $^{186}\text{Re}$  levels has been interpreted in terms of proton orbits 5/2[402], 9/2[514], and neutron orbits 1/2[510], 3/2[512], 7/2[503], 9/2[505], 11/2[615] using the results of theoretical calculations in the frameworks of axially-symmetric two-quasiparticle plus rotor model. The structure of  $^{186}\text{Re}$  levels is compared with that of the neighbouring doubly-odd nucleus  $^{188}\text{Re}$  [3].

[1] C.M. Baglin, NDS 99, 1 (2003)

[2] C.Wheldon et al., J.Phys.G 36, 095192 (2009)

[3] J.Bērziņš et al., Nucl.Phys. A 947, 76 (2016)

## SALASPILS KODOLREAKTORA DARBĪBAS IETEKMES UZ APKĀRTĒJO VIDI NOVĒRTĒJUMS

Daina Riekstiņa<sup>1,2</sup>, Jānis Bērziņš<sup>1</sup>, Tamāra Krasta<sup>1</sup>, Jānis Rudzītis<sup>2</sup>, Oksana Skrypnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Latvijas Universitātes Ķīmiskās fizikas institūts*

Darbā, izmantojot gamma spektrometrijas un šķidrās scintilācijas skaitīšanas metodi, mērīti mākslīgo radionuklīdu Cs-137 aktivitātes koncentrāciju līmeņi augsnes virskārtā un tritija gruntsūdeņos, kā arī kopējā beta aktivitāte lietūs un notekūdeņos Salaspils kodolreaktora (SKR) teritorijā un tā tuvākajā apkārtnē. Monitorings tika veikts kopš 1990.gada. Īpaša uzmanība ir pievērsta radionuklīdu koncentrāciju mērījumiem 2014.gada decembrī notikušās radioaktīvo ūdeņu noplūdes laikā, avārijas situācijas likvidācijas laikā, kā arī stāvokļa novērtēšanai pēc incidenta.

Iegūtie rezultāti ļauj spriest par mākslīgo radionuklīdu koncentrācijas dinamiku augsnēs un gruntsūdeņos atsevišķos gados saistībā ar konkrēto vietu. Pētījumi parāda, ka Cs-137 koncentrācijas augsnēs SKR teritorijā nepārsniedz augšņu globālā piesārņojuma līmeni ar Cs-137 Latvijā, bet tritija koncentrācijas ārpus SKR teritorijas nepārsniedz dzeramajam ūdenim pieļaujamo līmeni. Ilglaicīgā monitoringa rezultāti ļauj secināt, ka SKR darbības laikā apkārtējā vidē nonākušajiem mākslīgajiem radionuklīdiem bijusi niecīga ietekme uz SKR apkārtējo vidi un tie praktiski nav izmainījuši radioaktīvā fona līmeni.

## ASSESSMENT OF THE SALASPILS NUCLEAR REACTOR ENVIRONMENTAL IMPACT

Daina Riekstiņa<sup>1,2</sup>, Janis Berzins<sup>1</sup>, Tamara Krasta<sup>1</sup>, Janis Rudzitis<sup>2</sup>, Oksana Skrypnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics University of Latvia*

<sup>2</sup>*Institute of Chemical Physics University of Latvia*

This work presents results of the long-term environment radioactivity monitoring in the vicinity of the decommissioned Salaspils Nuclear Reactor (SNR). Data include Cs-137 contamination levels of soils, H-3 concentration in ground waters, as well as gross beta activity of sewage and rainwater drainage of SNR. The monitoring has been carried out since 1990. Especial attention is given to the radioactive pollution of water due to leakage from the special wastewater basin detected in December of 2014. The obtained results present dynamics of artificial radionuclide concentration in soils and ground waters in the vicinity of SNR related with the years and location. The Cs-137 concentration in the soils of SNR territory does not exceed the global Cs-137 fallout level in the rest of Latvia, and the tritium concentration outside SKR does not exceed the level allowed for drinking water. The results of the long-term monitoring show that the amount of radionuclides produced by SNR has little impact on the total radionuclide content in the Latvian environment.



## CĒLMETĀLU PIEMAIŠĪJUMU IETEKME UZ MODIFICĒTO LITIJA ORTOSILIKĀTA MINILODĪŠU RADIOLĪZI

Artūrs Zariņš<sup>1</sup>, Gunta Ķizāne<sup>1</sup>, Arnis Supe<sup>1</sup>, Larisa Baumannē<sup>2</sup>, Oskars Valtenbergs<sup>1</sup>,  
Regina Knitter<sup>3</sup>, Oliveris Leys<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Ķīmiskās fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Latvijas Organiskās sintēzes institūts*

<sup>3</sup>*Karsrūes Tehnoloģiju institūts*

Modificētās litija ortosilikāta ( $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ ) minilodītes ar titāna dioksīda ( $\text{TiO}_2$ ) piedevu ir izvēlētas, kā tritiju ģenerējošā keramika kodolsintēzes iekārtu blanketa zonai. Šajā pētījumā ir analizēta cēlmetālu – platīna (Pt), zelta (Au) un rodiņa (Rh), piemaisījumu ietekme uz modificēto  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  minilodīšu radiolīzi. Radiācijas defektu veidošanās un uzkrāšanās paraugos analizēta ar elektronu paramagnētiskās rezonanses metodi pēc minilodīšu apstarošanas ar paātrinātiem elektroniem ( $E=5$  MeV) līdz 12 MGy absorbētai dozai 300-345 K temperatūrā. Noteikts, ka cēlmetālu piemaisījumi ar koncentrāciju līdz pat 300 ppm būtiski neietekmē radiācijas defektu veidošanos un uzkrāšanos modificētās  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  minilodītēs.

## INFLUENCE OF NOBLE METAL IMPURETIES ON RADIOLYSIS OF MODIFIED LITHIUM ORTHOSILICATE PEBBLES

Artūrs Zariņš<sup>1</sup>, Gunta Ķizāne<sup>1</sup>, Arnis Supe<sup>1</sup>, Larisa Baumannē<sup>2</sup>, Oskars Valtenbergs<sup>1</sup>,  
Regina Knitter<sup>3</sup>, Oliveris Leys<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Chemical Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Latvian Institute of Organic Synthesis*

<sup>3</sup>*Institute for Applied Materials, Karlsruhe Institute of Technology*

Modified lithium orthosilicate ( $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ ) pebbles with additions of titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) are suggested as advanced tritium breeding ceramics for fusion devices. In this research the influence of the noble metals - platinum (Pt), gold (Au) and rhodium (Rh), on the radiolysis of the modified  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  pebbles have been analysed. Using electron spin resonance spectroscopy, the formation and accumulation of radiation-induced defects was analysed after irradiation with accelerated electrons ( $E=5$  MeV), up to 12 MGy absorbed dose at 300-345 K. It was determined that the impurities of the noble metals with a sum content of up to 300 ppm do not significantly influence the formation and accumulation of radiation-induced defects in the modified  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  pebbles.

This research of the Baltic-German University Liaison Office was supported by the German Academic Exchange Service (DAAD) with funds from the Foreign Office of the Federal Republic Germany. The research was done in the frame of the project “Investigation of changes of physico-chemical properties of fusion reactor functional materials under influence of high-energy radiation”.

## PLAZMAS IEDARBĪBAS IETEKMES MODELĒŠANA AR LIELAS JAUDAS LĀZERA STAROJUMU

Līga Avotina<sup>1,2,3</sup>, Corneliu Porosnicu<sup>2</sup>, Alina G. Ilie<sup>2</sup>, Laura Mihai<sup>2</sup>, Andrei Stancalie<sup>2</sup>,  
Dāvis Čonka<sup>1</sup>, Aurelian Marcu<sup>2</sup>, Cristian P.Lungu<sup>2</sup>, Gunta Kizāne<sup>1</sup>, Stefan Antohe<sup>3,4</sup>, Dan Sporea<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Ķīmiskās fizikas institūts,  
<sup>2</sup>Nacionālais Lāzeru, plazmas un radiācijas fizikas institūts  
<sup>3</sup>Bukarestes Universitāte, Fizikas fakultāte  
<sup>4</sup>Rumānijas Zinātņu akadēmija

Oglekļa šķiedras kompozītmateriāli (OŠK), kas satur grafitu, pārklāti ar W labās siltumvadītspējas (līdz  $\sim 250 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) [1], termiskā šoka izturības [2], nosacīti zemas kodoldegvielas aiztures dēļ ir izmantojami kodolsintēzes reaktoros par divertora materiāliem [3]. Tomēr kodolsintēzes reakciju laikā plazmas un plazmas kameras sienu mijiedarbības rezultātā notiek: Be, C un W saturošu nosēdumu slāņu, jaunu ķīmisku savienojumu veidošanās, mikrostruktūras izmaiņas, kas izraisa kodoldegvielas daudzuma samazināšanos kamerā.

Darbā augstas enerģijas plūsmu ( $10\text{-}100 \text{ MWm}^{-2}$ ) [4], kāda iespējama tokamaka veida reaktoros, modelē, apstarojot ar termojonu vakuuma loka izlādes metodi iegūtus prototipa slāņus ar dažādu viļņu garumu ns lāzera impulsiem. Apstarotos materiālus analizēja ar FT-IR un Ramana spektroskopijas metodi.

Lāzera impulsu laikā novērotas izmaiņas Be un grafīta kristālu struktūrā,  $sp^3$  hibridizēta oglekļa satūra pieaugumā atbilst lāzera radītās enerģijas Gausa sadalījumam apstarotajā laukumā. Fotoni ar lielāku enerģiju izraisa lielākas struktūras izmaiņas enerģiju apgabalā zem pārklājuma ablācijas sliekšņa.

## MODELLING OF PLASMA-WALL INTERACTIONS WITH HIGH POWER LASER IRRADIATION

Līga Avotina<sup>1,2,3</sup>, Corneliu Porosnicu<sup>2</sup>, Alina G. Ilie<sup>2</sup>, Laura Mihai<sup>2</sup>, Andrei Stancalie<sup>2</sup>,  
Davis Conka<sup>1</sup>, Aurelian Marcu<sup>2</sup>, Cristian P.Lungu<sup>2</sup>, Gunta Kizane<sup>1</sup>, Stefan Antohe<sup>3,4</sup>, Dan Sporea<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Institute of Chemical Physics, University of Latvia  
<sup>2</sup>National Institute for Laser Plasma and Radiation Physics  
<sup>3</sup>Faculty of Physics, University of Bucharest  
<sup>4</sup>Academy of Romanian Scientists, Bucharest

Carbon fiber composites (CFC), containing graphite, covered with W, due to good thermal conductivity (up to  $\sim 250 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) [1]), thermal shock resistance [2], comparably low fuel retention are suitable for use in fusion reactors, as divertor materials [3]. However, during plasma wall interactions, several effects are induced: depositions of Be, C and W coatings on plasma facing surfaces, formation of new chemical compounds, changes in microstructure, that leads to decrease of fuel amount in vacuum vessel.

In this work high energy fluxes ( $10\text{-}100 \text{ MWm}^{-2}$ ) [4] possible in tokamak reactors, are simulated by irradiating prototype coatings, made with thermionic vacuum arc technique, with ns laser pulses. Irradiated coatings are characterized by Raman and FT-IR spectroscopy.

During laser irradiation induced changes in Be and graphite crystalline structure and increase of  $sp^3$  hybridized carbon correspond to energy Gauss distribution in vicinity of irradiated area. More energetic photons seem to be more effective in inducing structural modifications below the material ablation threshold.

1. J.P.Bonal, C.H.Wu, Journal of Nuclear Materials 228 (1996) 155-161
2. V.Barbash et al., Journal of Nuclear Materials 233-237 (1996) 718-723
3. V. Riccardo et al., Fusion Engineering and Design 89 (2014) 1059-1063
4. J.Rapp et al./ Nuclear Fusion 44 (2004) 312-319

**18. februāris**

**MATERIĀLU STRUKTŪRA UN  
NANOMATERIĀLI**

## SKANDIJA FLUORĪDA LOKĀLĀS STRUKTŪRAS ANALĪZE ATKARĪBĀ NO TEMPERATŪRAS

Inga Jonāne<sup>1</sup>, Jānis Timošenko<sup>1</sup>, Aleksejs Kuzmins<sup>1</sup>, Dmitrijs Bočarovs<sup>1</sup>, Matthias Krack<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

<sup>2</sup>Paula Šerera institūts

Skandija fluorīds (ScF<sub>3</sub>) ir perovskīta tipa savienojums, kuram plašā temperatūru diapazonā (0-1100 K) ir novērota izteikta kristāliskā režģa negatīvā termālā izplešanās (NTE) [1]. Lai izprastu šo efektu, jāveic materiāla lokālās struktūras analīze atkarībā no temperatūras. Šim nolūkam var tikt izmantota Sc K-malas rentgenstarojuma absorbcijas spektru sīkstruktūras (EXAFS) metode.

EXAFS spektri satur informāciju par tādiem svarīgiem struktūras parametriem kā starpatomu attālumi, atomu svārstību amplitūdas, ķīmisko saišu stiprumi utt. Šo spektru interpretācijai var tikt izmantotas vairākas uz skaitliskajiem aprēķiniem balstītas modelēšanas metodes, kas ļauj iegūt parauga 3D struktūras modeli. Šajā darbā tiek izmantota apgrieztā Monte-Karlo metode ar evolucionārā algoritma pieeju (RMC/EA) un *ab initio* molekulārā dinamika (MD). Izmantojot MD, ir iespējams sekot atomu koordināšu izmaiņai laikā, savukārt, RMC/EA ļauj iegūt atomu "iesaldētās" konfigurācijas, kas labi apraksta eksperimentālos datus. Darbā tiek salīdzināti ar abām metodēm iegūtie rezultāti plašā temperatūru diapazonā, kā arī apspriests iespējamais NTE mehānisms.

## TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE LOCAL STRUCTURE OF SCANDIUM FLUORIDE

Inga Jonane<sup>1</sup>, Janis Timoshenko<sup>1</sup>, Alexei Kuzmin<sup>1</sup>, Dmitry Bocharov<sup>1</sup>, Matthias Krack<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia

<sup>2</sup>Paul Scherrer Institute

Scandium fluoride (ScF<sub>3</sub>) is a perovskite-type compound, which is interesting due to large negative thermal expansion (NTE) of its lattice in a wide temperature range (0-1100 K) [1]. To understand this effect, it is necessary to carry out the analysis of the local structure of the material as a function of temperature. For this purpose, we employed Sc K-edge extended X-ray absorption fine structure (EXAFS) technique.

EXAFS spectra contain information about important structural parameters as interatomic distances, amplitudes of atomic oscillations, strength of chemical bonds, etc. For advanced interpretation of the EXAFS spectra one can use several calculation-based methods, which allow one to construct a 3D structure model of the material. In this study we employ reverse Monte-Carlo method with evolutionary algorithm approach (RMC/EA) and *ab initio* molecular dynamics (MD). Using MD a time-dependent structure model can be obtained, while RMC/EA gives one "frozen" atomic configurations, which are in good agreement with the experimental data. The results obtained by both methods in a wide temperature range will be compared, and possible NTE mechanism will be discussed.

[1] B. K. Greve, K. L. Martin, P. L. Lee, P. J. Chupas, K. W. Chapman, A. P. Wilkinson, J. Am. Chem. Soc. 132 (2010) 15496.

## OKSĪDU NANODAĻIŅU VEIDOŠANĀS ODS TĒRAUDU IZGATAVOŠANAS PROCESĀ.

Arturs Cintiņš<sup>1</sup>, Andris Anspoks<sup>1</sup>, Juris Purāns<sup>1</sup>, Tim Graening<sup>2</sup>, Pavel Vladimirov<sup>2</sup>,  
Jan Hoffman<sup>2</sup>, Nerea Ordas<sup>3</sup>, Carmen Garcia-Rosales<sup>3</sup>

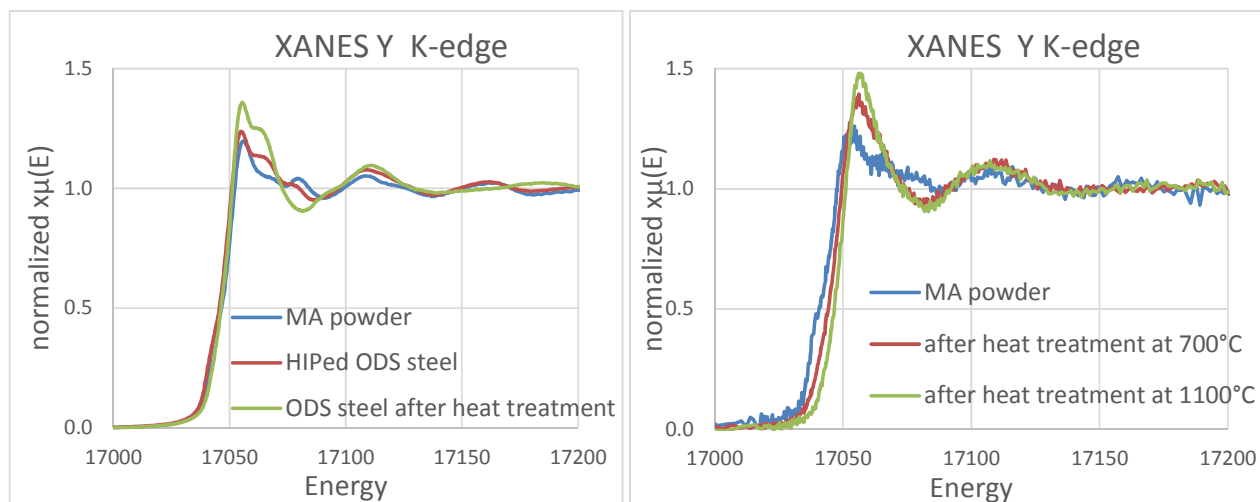
<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

<sup>2</sup>Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Materialforschung-I

<sup>3</sup>Univ Navarra, CEIT IK4, Donostia San Sebastian

Oksīdu stiprināts tērauds (ODS) ir perspektīvs kodolsintēzes reaktoru materiāls. Šajā darbā ir izpētīta Y oksīdu nanodaļiņu veidošanās ODS tērauda izgatavošanas procesā, izmantojot rentgenabsorbcijas spektroskopiju. Darbā ir izmantota rentgenabsorbcijas spektru piemalas sīkstruktūras (XANES) un rentgenabsorbcijas spektra sīkstruktūras (EXAFS) analīze.

Y K-malas XANES datu analīze deva kvalitatīvu informāciju par Y lokālo struktūru ODS matricā, un tās atkarību no apstrādes temperatūras. No EXAFS datiem mēs ieguvām lokālas struktūras parametrus un radiālās sadalījuma funkcijas rekonstrukciju. Darba rezultātā mēs atklājām kā mainās Y valances stāvoklis un lokālā struktūra, atkarībā no apstrādes temperatūras un ilguma.



## OXIDE NANOPARTICLES FORMATION IN ODS STEEL MATERIAL MANUFACTURING PROCESS.

Arturs Cintiņš<sup>1</sup>, Andris Anspoks<sup>1</sup>, Juris Purāns<sup>1</sup>, Tim Graening<sup>2</sup>, Pavel Vladimirov<sup>2</sup>,  
Jan Hoffman<sup>2</sup>, Nerea Ordas<sup>3</sup>, Carmen Garcia-Rosales<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

<sup>2</sup>Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Materialforschung-I

<sup>3</sup>Univ Navarra, CEIT IK4, Donostia San Sebastian

Oxide dispersion strengthened (ODS) steels are promising materials for fusion reactors. In this work we have studied formation of Y oxide nanoparticles in ODS steel during manufacturing process using analysis of x-ray absorption near edge structure (XANES) and extended x-ray absorption fine structure (EXAFS).

Analysis of Y K-edge XANES revealed qualitative information about dependency of local structure of Y in ODS matrix on processing temperature. From EXAFS we obtained local structure parameters and reconstructed radial distribution function for Y.

As a result, we revealed changes in Y valance state and local structure as function of processing temperature and mechanical alloying.

## ROBEŽVIRSMU PLASTIFICĒJOŠĀ LOMA AR DC MAGNETRONA IZPUTINĀŠANU IEGŪTOS OGLEKĻA/VARA NANOKOMPOZĪTU PĀRKLĀJUMOS

Roberts Zabels<sup>1</sup>, Vladimirs Kovalenko<sup>2</sup>, Pāvels Nazarovs<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

<sup>2</sup>Augsto tehnoloģiju uzņēmums SIA NACO TECHNOLOGIES

Ar augstas jaudas (>60 W/cm<sup>2</sup>) un ražības (līdz 0.17 μm/min) līdzstrāvas magnetrona izputināšanas metodi uz tērauda, silīcija un stikla pamatnēm tika iegūtas biezas (līdz 10 μm) amorfā oglekļa-vara nanokompozīta kārtiņas. ASM un SEM pētījumi parādīja, ka iegūtās kārtiņas sastāv no amorfā oglekļa (a-C) matricas, kurā ietvertas vara nanodaļiņas (izmērā <20 nm). Kārtiņu struktūra mainās no fragmentētas kolonveida pie augstākās vara koncentrācijas (ap 90 at.% Cu) līdz nesakārtotai pie paaugstināta oglekļa satura. Nanoindentēšanas mērījumi uzrādīja, ka kārtiņām piemīt pieņemama cietība (2-4 GPa), kā arī plastiskums, kas tuvojas tīra vara kārtiņai raksturīgajam. Plastiskās deformācijas zonas izpēte ap indentora nospiedumu atklāj lokalizētu bīdes zonu veidošanos, kas ir tipiski graudu robežu slīdēšanas mehānismam [1]. Galvenā šo ar varu bagāto nanokompozītu kārtiņu priekšrocība ir salīdzinoši augstais plastiskums pētītajā vara koncentrāciju diapazonā. Šie nanokompozītu pārklājumi perspektīvi pielietojumi kā cietā smērviela vai kā plastiska komponente kompleksos triboloģiskajos pārklājumos.

## INTERFACIAL PLASTICITY OF DC MAGNETRON SPUTTERED CARBON/COPPER NANOCOMPOSITE FILMS

Roberts Zabels<sup>1</sup>, Vladimir Kovalenko<sup>2</sup>, Pavel Nazarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia

<sup>2</sup>Company for advanced technologies NACO TECHNOLOGIES

Thick (up to 10 μm) amorphous carbon-copper nanocomposite films with a carbon content from 7 to 40 at.% have been deposited onto steel, silicon and glass substrates using a high power (>60 W/cm<sup>2</sup>) and high-rate (up to 0.17 μm/min) DC magnetron sputtering. The investigation by AFM and SEM confirms that the deposited films consist of copper nanograins (size < 20 nm) incorporated within the matrix of amorphous carbon (a-C). The structure of films varies from fragmented columnar at the highest copper contents (around 90 at.% Cu) to disordered at increased carbon concentrations. Nanoindentation tests show a reasonable hardness of films (2–4 GPa) with a plasticity approaching that of a pure copper film. The study of the zone of plastic deformation around indents reveals formation of localized shear bands typical for the interfacial sliding mechanism [1]. The main advantage of the copper-rich nanocomposite films is their comparatively high plasticity in the investigated range of the copper content. Such nanocomposite coatings have a potential as a solid lubricant or as a plastic component for complex tribological coatings.

**Reference:** J. Maniks et al. / Surface & Coatings Technology 276 (2015) 279–285

*Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/24 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.*

## REAKTĪVĀ MAGNETRONĀ UZPUTINĀŠANĀ IEGŪTO ZnO:Ir UN Zn-Ir-O PLĀNO KĀRTIŅU STRUKTŪRA, OPTISKĀS UN ELEKTRISKĀS ĪPAŠĪBAS

Mārtiņš Zubkins, Roberts Kalendarevs, Jevgēņijs Gabrusenoks, Aina Plaude, Kaspars Vilnis,  
Andris Āzens, Juris Purāns

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Caurspīdīgās un elektrovadošās oksīdu (TCO) plānās kārtiņas ir svarīgs elements gan informācijas (LCD, OLED, skārienjūtīgajos displejos), gan enerģijas tehnoloģijā (saules baterijās, zemas emisijas logos). Svarīgi ir izgatavot efektīvas *p*-tipa TCO plānās kārtiņas, lai attīstītu caurspīdīgo elektroniku, jo lielākā daļa TCO materiālu ir *n*-tipa pusvadītāji. Eksperimentālu un teorētisku pētījumu rezultāti rāda, ka polikristāliskas spineļa ZnIr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> plānās kārtiņas ir caurspīdīgi *p*-tipa pusvadītāji [1,2]. Šajā darbā tika pētītas fizikālās īpašības ar irīdiju leģēta cinka oksīda (ZnO:Ir) un amorfa cinka-irīdija oksīda (Zn-Ir-O) plānajām kārtiņām, kas iegūtas ar reaktīvo magnetrono uzputināšanu.

Kārtiņu struktūra tika raksturota ar XRD, FTIR un Ramana spektroskopiju. Irīdija leģēšana ZnO samazina gan plānās kārtiņas kristalizācijas pakāpi, gan pārsvara orientāciju. Kārtiņas pāriet rentgenstariem amorfā struktūrā aptuveni starp 5 - 10 at. % irīdija atkarībā no izgatavošanas temperatūras. Absorbcijas koeficients pie 550 nm palielinās lineāri līdz ar irīdija koncentrācijas pieaugumu. Nomērāma elektriskā vadāmība parādās virs 10 at. % Ir un palielinās līdz ar irīdija koncentrācijas pieaugumu. Paraugam ar 12.4 at. % Ir elektriskā pretestība ir 83 Ωcm (*n*-tips), bet paraugam ar 34.7 at. % Ir pretestība ir  $3.1 \times 10^{-2}$  Ωcm (*p*-tips).

## STRUCTURE, OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF ZnO:Ir AND Zn-Ir-O THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING

Martins Zubkins, Roberts Kalendarev, Jevgenijs Gabrusenoks, Aina Plaude, Kaspars Vilnis,  
Andris Azens, Juris Purans

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Transparent conducting oxide (TCO) thin films are important components for information (LCD, OLED, touch screens) and energy (thin film solar cells, low-emissivity windows) technologies. It is important for the development of transparent electronics to produce efficient *p*-type TCO thin films due to the fact that most of the TCO thin films are *n*-type semiconductors. Polycrystalline spinel ZnIr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> thin films are shown as transparent *p*-type semiconductors by experimental and theoretical studies [1,2]. This study investigates physical properties of iridium doped zinc oxide (ZnO:Ir) and x-ray amorphous zinc-iridium oxide (Zn-Ir-O) thin films deposited by reactive magnetron sputtering.

Structure of films was investigated by XRD, FTIR and Raman spectroscopy. Iridium dopants in the ZnO degrade both crystallinity and orientation of the thin films structure. Films become x-ray amorphous approximately in the range from 5 to 10 at. % iridium, depending on substrate temperature. Absorption coefficient at 550 nm increases linearly with the iridium concentration. Measurable conductivity appears above 10 at. % Ir and increases with the iridium concentration. Electrical resistivity of sample with 12.4 at. % Ir is 83 Ωcm (*n*-type) and  $3.1 \times 10^{-2}$  Ωcm for sample with 34.7 at. % Ir (*p*-type).

[1] Dekkers M, Rijnders G, Blank D H A 2007 Appl. Phys. Lett. **90** 021903

[2] Amini M N, Dixit H, Saniz R, Lamoen D, Partoens B 2014 Phys. Chem. **16** 2588

## 2D PĀREJAS METĀLU HALKOGENĪDU NANOKRISTĀLI

Edgars Butanovs, Boriss Poļakovs, Jānis Žideļūns, Aleksejs Kuzmins, Jeļena Butikova  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Pārejas metālu halkogenīdu materiāli pēdējos gados ir piesaistījuši pastiprinātu zinātnieku uzmanību to neparasto īpašību dēļ, kuras šiem materiāliem parādās nanomērogā. Tādu pusvadītāju materiālu kā  $WS_2$  un  $MoS_2$  divdimensiju nanostrukturās ir tiešā aizliegtā zona, salīdzinājumā ar masīva materiāliem, kuriem ir netiešā, tādējādi šādām struktūrām piemīt daudz potenciālu pielietojumu optoelektronikā, sensoros, mikroelektronikā, kā arī to struktūras un lielā īpatnējā virsmas laukuma dēļ arī nanotriboloģijā, katalīzē u.c.

Darba gaitā tika izaudzēti  $WS_2$  un  $MoS_2$  divdimensiju nanokristāli uz silīcija oksīda pamatnes, kā arī  $MoS_2$  nanokristāli uz safīra pamatnes, izmantojot ķīmisko tvaiku kondensācijas metodi pie atmosfēras spiediena. Izaudzēto nanokristālu raksturošanai tika izmantots optiskais mikroskops, skenējošais elektronu un atomspēku mikroskops, kā arī Ramana spektroskopija.  $MoS_2$  nanokristālos tika novērota fotoluminiscence ar pīķi pie 677 nm, savukārt  $WS_2$  nanokristālos ar pīķi pie 640 nm. Tika veikti secinājumi par lumiscences intensitātes atkarību no nanokristālu biezuma.

## 2D TRANSITION METAL DICHALCOGENIDE NANOCRYSTALS

Edgars Butanovs, Boris Polyakov, Janis Zideluns, Alexei Kuzmin, Jelena Butikova  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

In recent years transition metal dichalcogenide materials have attracted significant attention due to their unusual properties in nanoscale. Semiconducting material, such as  $WS_2$  and  $MoS_2$ , two-dimensional nanostructures have direct band gaps, compared to indirect band gap in their bulk counterparts, therefore such nanostructures offer numerous potential applications in optoelectronics, sensing, microelectronics, and due to their layered structure and high specific surface area also in nanotribology, catalysis etc.

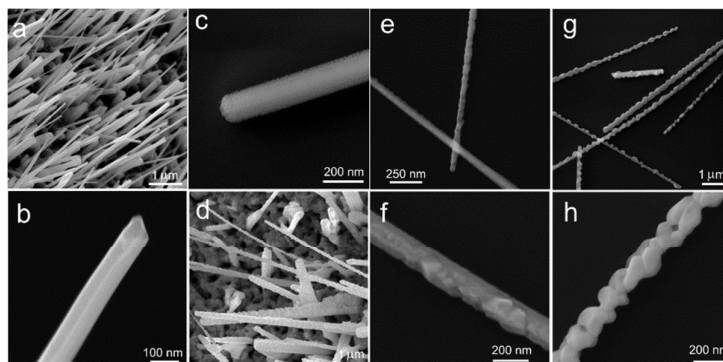
$WS_2$  and  $MoS_2$  two-dimensional nanocrystals were grown on a silica wafer and  $MoS_2$  nanocrystals on a sapphire wafer by atmospheric pressure chemical vapour deposition. Optical microscope, scanning electron and atomic force microscope, and Raman spectroscopy was used to characterize grown nanocrystals. Photoluminescence with a peak at 677 nm was measured in  $MoS_2$  nanocrystals, and with a peak at 640 nm in  $WS_2$  nanocrystals. Relation between nanocrystal thickness and photoluminescence intensity is discussed.



## NO METĀLA OKSĪDU NANOVAIDIEM VEIDOTI KODOLA-APVALKA NANOMATERIĀLI

Jānis Žideļūns, Boriss Polakovs, Edgars Butanovs, Jeļena Butikova, Aleksejs Kuzmins  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Pienācīga materiālu izvēle un kombinācija kodola/apvalka nanovados ļauj uzlabot to īpašības un ievērojami palielināt funkcionalitāti. Cietvielu ķīmiskās reakcijas starp kodola un apvalka materiāliem paaugstinātās temperatūrās ir perspektīva bet maz pētīta tēma nanomateriālu jomā. Šajā pētījumā heterostrukturēti CuO/CuWO<sub>4</sub> kodola/apvalka nanovadi tika veidoti ar līdzstrāvas magnetronu putināšanas palīdzību uz CuO nanovadiem uzputinot amorfu WO<sub>3</sub> kam sekoja to termāla apstrāde gaisā. Nanovadu augšana, morfoloģija un iekšējā atomu struktūra tika pētīta izmantojot skenējošo (SEM) un caurejošo starojuma (TEM) elektronu mikroskopus. CuWO<sub>4</sub> apvalka veidošanās ap CuO nanovada kodolu tika apstiprināta ar mikro-Ramana spektroskopijas palīdzību.



SEM attēli: CuO nanovadi uz vara folijas(a), CuO nanovadi lielākā palielinājumā (b), ar WO<sub>3</sub>-pārklāti CuO NW (c), kodola-apvalka CuO/WO<sub>3</sub> nanovadi karsēti 650°C (d), kodola-apvalka CuO/WO<sub>3</sub> nanovadi karsēti 450°C (e, f), kodola-apvalka CuO/WO<sub>3</sub> nanovadi karsēti 650°C (g, h)

## METAL OXIDE NANOWIRE BASED HYBRID CORE-SHELL NANOMATERIALS

Janis Zideluns, Boriss Polakovs, Edgars Butanovs, Jelena Butikova, Aleksejs Kuzmins  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Proper combination of materials in core-shell nanowires allows to improve their properties, and significantly enhance their functionality. Solid state chemical reaction between core and shell materials at elevated temperatures is perspective but scarcely explored topic in nanomaterial science. In this study heterostructured CuO/CuWO<sub>4</sub> core/shell nanowires were produced by DC magnetron sputtering of amorphous WO<sub>3</sub> on CuO nanowires followed by thermal treatment in air. Evolution of nanowires morphology and internal atomic structure upon heating was studied by scanning and transmission electron microscopy. The formation of CuWO<sub>4</sub> shell around CuO nanowire core was confirmed by micro-Raman spectroscopy.



**18. februāris**

**ŪDENRAŽA MATERIĀLI UN  
ENERĢĒTIKA**

## **PĒTNIECĪBAS VIRZIENI ŪDEŅRAŽA ENERĢĒTIKAS MATERIĀLU LABORATORIJAI 2016.-2024. GADIEM**

Jānis Kleperis, Līga Grīnberga, Jūlija Hodakovska, Mārtiņš Vanags, Georgijs Čikvaidze,  
Jānis Kļaviņš, Pēteris Lesničenoks, Ainārs Knoks  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Laboratorija ir izaugusi no Pusvadītāju materiālu daļas Cietvielu jonikas laboratorijas 1998. gadā kā Gāzu sensoru un sensoru sistēmu laboratorija. 2005. gadā pētniecības akcenti no gāzu sensoriem un sensoru sistēmām pārvietojās uz ūdeņradi, un 2011. gadā laboratorijā nostiprinājās Ūdeņraža enerģētikas materiālu pētniecība. Turpmākajos gados pētniecības virzieni paplašinās, un šobrīd skatoties uz nākotni tos var definēt tā:

- Jauni materiāli un inovatīvas tehnoloģijas pielietojumiem alternatīvajā enerģētikā; prototipi pašpietiekamām transporta un energoapgādes sistēmām ar inovatīvas enerģijas iegūšanas un uzkrāšanas iekārtām un atjaunojamiem resursiem. Dibināt "spin-off" uzņēmumu prototipu pavairošanai un ieviešanai pie LU CFI;
- Jauni materiāli un inovatīvas tehnoloģijas vides piesārņojuma samazināšanai un monitoringam - sadarbībā ar uzņēmējiem un Rīgas domi realizēt pilotprojektus par kaitīgo izplūdes gāzu samazināšanu automašīnām, gaisa attīrīšanu ielās, izmantojot inovatīvus materiālus un tehnoloģijas;
- Sabiedrības un jauniešu izziņas veicināšana par oglekļa mazietilpīgu un vidi saudzējošu energoresursu un tehnoloģiju pielietojumiem transportā un enerģētikā.

## **RESEARCH DIRECTIONS 2016-2024 OF HYDROGEN ENERGY MATERIALS LABORATORY**

Janis Kleperis, Liga Grinberga, Julia Hodakovska, Martins Vanags, Janis Klavins,  
Peteris Lesnicenoks, Ainars Knoks  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

The laboratory has grown from a Solid State Ionics laboratory of Department of Semiconductor Materials in 1998 as Gas Sensor and Sensor Systems laboratory. In 2005, the research highlights moved to hydrogen and strengthened in 2011 in the Laboratory of Hydrogen Energy Materials. In the subsequent years research directions expanded and currently looking to the future can be defined next:

- New materials and innovative technologies in alternative energy; prototypes of self-sufficient transport and energy supply systems with innovative energy production and storage facilities based on renewable resources. To establish a "spin-off" company at the ISSP for multiplication and implementation of a prototypes;
- New materials and innovative technologies air pollution monitoring pollution reduction - in collaboration with entrepreneurs and the Riga City Council to carry out pilot projects on reduction the harmful exhaust gases for cars on streets; air pollution reduction directly in streets, using innovative materials and technologies;
- Cognitive promotion of public and young people about the low/zero carbon and environmentally friendly energy sources and technologies for applications in transport and stationary energy supply – activities like Solar Cup, book/e-portal/courses for study renewable energy resources and technologies.

The financial support of National Research Programs LATENERGI and IMIS<sup>2</sup> as well as Project No666 from Latvian Science Council is greatly acknowledged.

## SULFONĒTA POLI(ĒTER-ĒTER-KETON)A UN NAFIONA KOMPOZĪTMATERIĀLA DOPĒŠANA AR HIGROSKOPISKIEM OKSĪDIEM

Jūlija Hodakovska<sup>1</sup>, Staņislavs Ložkins<sup>1,2</sup>, Jānis Kleperis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Rīgas Tehniskās Universitātes, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte*

Polimēru izmantošana degvielas šūnās izvirza virkni prasību pret materiālu, piemēram, augsta protonu vadāmība un laba ķīmiskā izturība. Komerciāli ražoti tiek polimēri uz tetrafluoretilēna (teflons) bāzes, kas ir mugurkauls, un dažādiem ogļūdeņraža ķēžu sānu atzarojumiem, piemēram, Nafion<sup>®</sup>. Lai novērstu dažus komerciālo materiālu trūkumus, turpinās modificētu tetrafluoretilēna polimēra un uz citu atomu ķēžu balstīto polimēru pētījumi. Viens no tādiem trūkumiem, kas jārisina, ir protonu pārnese atkarība no absorbētā ūdens daudzuma, kas iztvaiko pie darba temperatūrām virs 60 °C, ja gāzes mitrināšanas sistēmā rodas problēmas. Šī jautājuma risinājumi var būt daudzveidīgi: no ūdens aizvietošanas ar jonus vadošiem šķidrums līdz pat modificēšanai ar dažādiem higroskopiskiem savienojumiem.

Darbā ir sintezēti un pētīti paraugi, kas sastāv no diviem polimēriem (Nafion un poli(ēter-ēter-keton)s) un neorganiska oksīda nanodaļiņām. Neorganisko materiālu izvēle ir balstīta uz to higroskopiskuma; divu polimēru kompozītmateriālam to struktūras atšķirību dēļ arī varētu būt uzlabota protonu vadāmība pie darba temperatūrām un pazemināta mitruma.

## SULFONATED POLY (ETHER-ETHER-KETONE) AND NAFION COMPOSITE DOPING WITH HYGROSCOPIC OXIDES

Jūlija Hodakovska<sup>1</sup>, Staņislavs Ložkins<sup>1,2</sup>, Janis Kleperis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

There are several requirements for materials used in fuel cells, e.g. high proton conductivity and good chemical stability. Commercially produced polymers (e.g. Nafion<sup>®</sup>) mostly are based on tetrafluorethylene (Teflon<sup>®</sup>) as backbone with different side branches. This type of materials has several drawbacks, and to improve performance of fuel cells polymers are modified and new ones are synthesized for further research.

One of the existing problems for materials is proton conductivity dependence on amount of absorbed water, which evaporates at working temperatures above 60 °C in case of failures in humidifying system. To prevent it, several possibilities are used such as replacing water by ionic liquids, doping with hygroscopic compounds etc.

In this work materials from sulfonated poly(ether-ether-ketone) and Nafion doped with inorganic oxide nanoparticles were synthesized and physio-chemical properties determined. Inorganic compound are chosen accordingly its hygroscopicity, also mixing two polymers (adding Nafion to SPEEK) could have good influence on proton conductivity in case of low humidity.

The financial support of National Research Program LATENERGI (2014-2017) is greatly acknowledged.

## NAFIONA POLIMĒRA MODIFICĒŠANA AR HIGROSKOPISKIEM ALUMĪNIJA UN SILĪCIJA OKSĪDU NANOPULVERIEM IZMANTOŠANAI DEGVIELAS ŠŪNĀ

Stanislavs Ložkins<sup>1,2</sup>, Jūlija Hodakovska<sup>2</sup>, Jānis Kleperis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rīgas Tehniskās Universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte;

<sup>2</sup> Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

Protonus vadoša Nafiona membrāna ir izplatītākais komerciālais materiāls, ko pielieto kā elektrolītu protonus vadošas membrānas degšūnā. Tai piemīt visaugstākā protonvadītspēja, salīdzinot ar citiem protonus vadošu polimēru analogiem, taču šim materiālam ir daži trūkumi, tajā skaitā zema protonu vadāmība pie pazemināta relatīvā mitruma.

Darbā ir apskatīta iespēja uzlabot Nafiona membrānu īpašības, dopējot polimēru ar oksīdu nanopulveriem, kuriem piemīt izvēlētas īpašības. Tika sintezēti paraugi ar 3% neorganiskās komponentes daļu polimērā attiecībās  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2=1:1$ ;  $1:3$ ;  $3:1$ . Abi oksīdi ir higroskopiski, taču alumīnija oksīdam ir raksturīga spēja saglabāt saistīto ūdeni pie augstākām temperatūrām, salīdzinot ar silīcija oksīdu. Sintezētajiem paraugiem tika pētīta protonu vadāmība pie 100% un zem 10% relatīva mitruma, termiskās īpašības un ūdens absorbcijas izmaiņas, salīdzinājumā ar tīru Nafiona polimēru un paraugiem, kuros piedeva ir tikai viens no oksīdiem. No iegūtajiem rezultātiem tiek secināts, ka paraugam Nafiona polimērs ar  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2=3:1$  piemīt labākā īpašību attiecība.

## NAFION POLYMER MODIFICATION WITH HYGROSCOPIC ALUMINA AND SILICA NANOPOWDERS FOR APPLICATION IN FUEL CELLS.

Stanislavs Lozkins<sup>1,2</sup>, Julija Hodakovska<sup>2</sup>, Janis Kleperis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga Technical University

<sup>2</sup> Institute of Solid State Physics, University of Latvia

Proton conducting membrane Nafion is the most popular commercial material, which is used as electrolyte in proton exchange membrane fuel cell. This membrane has better proton conductivity in comparison with other proton conducting polymer analogues, however have some drawbacks too, for example, low proton conductivity at low relative humidity (RH).

In this work a possibility to improve the membrane properties by doping polymer matrix with nanopowder oxides having the required characteristics is studied. The samples with 3% of non-organic component part in polymer with a ratio of  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2 = 1:1$ ;  $1:3$ ;  $3:1$  were synthesized. Both oxides are hygroscopic; however alumina is characterized by the ability to retain water at higher temperatures, compared with silica. Proton-conductivity at 100% and below 10% RH, thermal properties and water absorption ability were studied and compared with pure Nafion polymer and samples with one of the oxide additive. From obtained results it is concluded that samples of Nafion with  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2 = 3:1$  has the best relation of observed properties.

The financial support from National Research Program LATENERGI (2014-2017) is greatly acknowledged.

## TITĀNA DIOKSĪDA ALOTROPISKĀS MODIFIKĀCIJAS, KRISTALĪTU IZMĒRI UN FOTOAKTIVITĀTE

*Ainārs Knoks, Līga Grīnberga, Jānis Kleperis  
Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Šodienas sabiedrība pat ne vienu dienu nevar iztikt, neizmantojot lietas, kuras satur titāna dioksīdu. Titāns ir devītais izplatītākais elements Zemes garozā, un katru gadu vismaz 6 miljoni tonnu tā oksīds tiek pārdots farmācijas un kosmētikas industrijai, plastmasu un papīru ražotājiem un citur kā baltais pigments. Pēc titāna dioksīda ( $\text{TiO}_2$ ) fotokatalītisko īpašību atklāšanas 20. gadsimta sākumā, tikusi veikta dažāda veida  $\text{TiO}_2$  sintēze un izpēte. Ir noskaidrots, ka dabā pastāv vairākas alotropiskās modifikācijas: anatāzs, rutilis un brukīts. Dažādās fāzes atšķiras ar struktūru, raksturīgu kristalītu formu un izmēriem, fotofizikālajām īpašībām. Piemeklējot optimālus parametrus un sintēzes metodi iespējams iegūt vēlamu materiālu ar relatīvi zemām izmaksām. Elektroķīmiskā anodēšanas procesā ir samērā vienkārši variējami sintēzes parametri.

Šajā darbā tiek sintezēts  $\text{TiO}_2$  pārklājums uz metāla folijas elektroķīmiskā anodēšanas procesā. Variējot anodēšanas un paraugu pēcapstrādes parametrus tiek iegūtas dažādu modifikāciju  $\text{TiO}_2$ . Fāžu sastāvs un kristalītu izmēri tiek noteikti ar rentgenstaru difrakciju. Fotoaktivitātes noteikšanai tiek lietotas fotopirmsprieguma, Isslēguma fotostrāvas un citas foto-elektroķīmiskās izpētes metodes. Balstoties uz iegūtiem rezultātiem tiek noteikts alotropisko modifikāciju sastāvs un kristalītu izmēru ietekme uz  $\text{TiO}_2$  fotoaktivitāti.

## ALOTROPIC MODIFICATION, CRYSTALINITY AND PHOTOACTIVITY OF TITANIUM DIOXIDE

*Ainars Knoks, Liga Grinberga, Janis Kleperis  
Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

In the modern public life is not the day when we will not use titanium dioxide. Titania is the naturally occurring oxide of titanium, the ninth most abundant element in the Earth's crust. About 6 million tons of  $\text{TiO}_2$  is sold every year and as white pigments applied in medicine to make-up products, in plastics, in paper and so on. With discovery of photocatalytic properties of titanium dioxide since the early part of the 20th century, intensive research of  $\text{TiO}_2$  and its properties have been done. Three allotropic modifications, anatase, rutile, and brookite are known, and all of them can be synthesized too, requiring different synthesis parameters. Electrochemical anodization allows synthesis of necessary anatase  $\text{TiO}_2$  with accessible way of influence on initial parameters. Accessible variation of initial parameters can provide relatively low cost synthesis of materials.

In this work  $\text{TiO}_2$  is synthesized using electrochemical anodization with various parameters to gain multiple allotropic modifications. Morphology is studied with scanning electron microscopy, crystallinity and modification structure is investigated with x-ray diffraction. Photoactivity of  $\text{TiO}_2$  is determined using photo electrochemical methods such as photocurrent measurements.

Acknowledgement. Authors acknowledge National Research Program IMIS<sup>2</sup>.

## OGLEKĻA NANOSTRUKTŪRAS UN CITI MATERIĀLI ŪDEŅRAŽA SENSORAM

Pēteris Lesničenoks<sup>1,2</sup>, Jānis Kleperis<sup>2</sup>, Māris Knite<sup>3</sup>, Līga Grīnberga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup> *Rīgas Tehniskās Universitātes Materiālzinātnes un Lietišķās Ķīmijas Fakultāte*

<sup>3</sup> *RTU Tehniskās Fizikas Institūts*

Ūdeņradis kā nozīmīgs reaģents ķīmiskajā rūpniecībā tiek plaši lietots jau no 19. gadsimta beigām, kā degviela autotransportā – kopš 19. gadsimta sākuma, un kā energonešējs transportā un stacionārajā energoapgādē kopš 20. gadsimta beigām. Jebkurš no šiem pielietojumiem saistīts ar eksploziju risku, jo ūdeņradis koncentrāciju intervālā 4-75 tilp.% kopā ar gaisu veido sprāgstošo gāzi, tādēļ tik nozīmīga ir ūdeņraža noplūžu savlaicīga detektēšana. Ūdeņraža sensorikā tiek izmantoti pārsvarā 5 veidu sensori, no kuriem gandrīz visos nepieciešama augsta enerģijas pievadīšana darba temperatūru nodrošināšanai, vai dārgmetāli kā katalizatori sensoru konstrukcijā vai izmantoto materiālu tilpumā, kuri maina savas īpašības, tādējādi detektējot ūdeņradi pēc pretestības vai krāsu izmaiņas. Šīs tehnoloģijas, lai arī diezgan jutīgas, taču ir dārgas un neefektīvi izmanto Pt un Pd, kā arī citus ne pārāk izplatītus elementus, kurus būtu iespējams izmantot citur. Jauns pētījumu virziens, pie kura strādā zinātnieki visā pasaulē, ir ūdeņraža sensori uz grafēnu un citu oglekļa nanostruktūru bāzes, kas ļauj atbrīvoties no kvantitatīvas dārgmetālu izmantošanas un izmantot tikai to nanopārklājumus ātrai un kvalitatīvai ūdeņraža gāzes detektēšanā. Ogles nanostruktūru klājumiem piemīt arī lokanības funkcija, kas ir nozīmīga valkājamam un pārnēsājamam tehnoloģiju attīstībā, kur ūdeņradis – dēļ savas augstās energoietilpības, turpinās ienākt. Darbā tiek pētīta pašu sintezētā vairākslāņu grafēna mijiedarbība ar ūdeņradi pielietojumam sensoros.

## CARBON NANOSTRUCTURES AND OTHER MATERIALS FOR HYDROGEN SENSOR

Peteris Lesnicenoks<sup>1,2</sup>, Janis Kleperis<sup>2</sup>, Maris Knite<sup>3</sup>, Liga Grinberga<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Solid state physics, University of Latvia;*

<sup>2</sup> *Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga technical University;*

<sup>3</sup> *Institute of Technical Physics, Riga technical University*

Hydrogen as an important reagent in chemical manufacturing is used since 19<sup>th</sup> century, as fuel in auto transportation since the beginning of 19<sup>th</sup> century and in stationary energy delivery since 20<sup>th</sup> century. Hydrogen sensing usually uses 5 type sensor systems in whom, usually, large amount of precious metals are needed. Also high energy demands for system temperature can be used somewhat efficiently. Colour change or more usual – resistance change is observed in these sensors, but large volumes of Pt or Pd are used for precise sensing. Hydrogen sensors using graphene and other type carbon nanostructures can rid ourselves of volumetric platinum usage and move towards nanolayers or surface decorating for fast and reliable gas sensing. Also important is the function of flexibility which can be achieved using nanostructures – in an age when wearable and mobile hydrogen energetics are an ever-closer everyday reality.

Acknowledgement: Authors acknowledge financial support from Project No666 of Latvian Science Council.



## IZŠĶĪDUŠO GĀZU MĒRĪJUMI TIEŠĀ KATODA TUVUMĀ IMPULSA ELEKTROLĪZES LAIKĀ

*Artis Volkovs, Mārtiņš Vanags, Jānis Kleperis  
Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Darbā tika pētītas izšķīdušo gāzu koncentrācijas, induktīva sprieguma impulsa ūdens elektrolīzes laikā. Induktīva sprieguma impulss, elektrolīzes šūnā raksturojas ar ātri augošu sākuma fronti (līdz  $1\mu\text{s}$ ) un relatīvi lēnu izlādi (līdz  $25\mu\text{s}$ ). Šāds impulsa raksturs jau iepriekš autoru darbos aprakstīts un saistīts ar šūnas ģeometriskā kondensatora uzlādes procesa atdalīšanu no elektriskā dubultslāņa uzlādes un lādiņu pārnese procesa. Autori izvirza sekojošu ūdeņraža un skābekļa izdalīšanās reakciju modeli: garajā impulsa izlādes astes periodā, ūdeņraža izdalīšanās reakciju (HER) nomana skābekļa izdalīšanās reakcija (OER) palielinātas  $\text{OH}^-$  jonu koncentrācijas katoda tuvumā dēļ. Šinī darbā stādīts uzdevums noteikt to eksperimentāli. Eksperimentā tika izmantota paštaisīta ūdens elektrolīzes šūna ar platīna stiepli kā katodu un anodu, un mainīgas koncentrācijas sērskābes un KOH ūdens šķīdumiem kā elektrolītu. Pie katoda tika mērīts izšķīdušā ūdeņraža un skābekļa gāzu koncentrācijas ar Klarka tipa mikrosensoriem ([www.unisense.com](http://www.unisense.com)). Gāzu mērījumos noskaidrots, ka induktīva sprieguma impulsa laikā pie katoda izdalās ne tikai ūdeņradis, bet arī skābeklis, pie kam, sārma šķīdumā skābekļa koncentrācija ir lielāka kā skābju šķīdumā. Skābekļa parādīšanās pie katoda liecina par OER norisi pie katoda impulsa laikā.

## DIRECT MEASUREMENTS OF DISSOLVED GASES NEAR THE CATHODE DURING PULSE ELECTROLYSIS

*Artis Volkovs, Martins Vanags, Janis Kleperis  
Institute of Solid State Physics, University of Latvia;*

The study investigates dissolved gas concentrations near electrodes during the electrolysis of water with inductive voltage pulses. Inductive voltage pulse in the electrolysis cell is characterized by fast-growing impulse front (up to  $1\mu\text{s}$ ) and a relatively slow discharge tail (up to  $25\mu\text{s}$ ). This type of impulse characteristics has been earlier described and associated with cell's geometric capacitor charging process separated from electric double – layer charging and charge transfer process. The authors put forward the hypothesis about hydrogen and oxygen evolution pattern in pulse electrolysis – during long discharge tail the HER is replaced by OER near the cathode due to increased  $\text{OH}^-$  ion concentration. A handmade water electrolysis cell with Pt wire electrodes was used in experiments. The concentration of dissolved hydrogen and oxygen gases near the cathode were measured with Clark-type microsensors ([www.unisense.com](http://www.unisense.com)). Gas measurements revealed that during the inductive voltage pulse, not only hydrogen but also oxygen is released near the cathode. In addition, the oxygen concentration dissolved in an alkaline solution is higher than in acid solution.

**Acknowledgement:** Authors acknowledge National Research Program LATENERGI for financial support.



**18. februāris**

**TEORIJA UN MODELĒŠANA**

## ScF<sub>3</sub> NEGATĪVĀS TERMISKĀS IZPLEŠANĀS PĒTĪJUMI IZMANTOJOT MOLEKULĀRO DINAMIKU NO PIRMAJĒM PRINCIPIEM

Dmitrijs Bočarovs<sup>1</sup>, Matthias Krack<sup>2</sup>, Aleksejs Kuzmins<sup>1</sup>, Juris Purāns<sup>1</sup>, Aleksandrs Kalinko<sup>1</sup>,  
Francesco Rocca<sup>3</sup>, Shebab Ali<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Paula Šerera institūts*

<sup>3</sup>*IFN-CNR, Fotonikas un nanotehnoloģijas institūts*

<sup>4</sup>*Suecas kanāla universitāte*

Skandija trifluorīds (ScF<sub>3</sub>) ir viens no materiāliem, kuriem piemīt negatīvā termiskā izplešanās (NTI) zem temperatūras līdz pat 1100 K [1], kas ir visnozīmīgākā starp visiem zināmajiem materiāliem ar NTI. Savukārt, pilna izpratne par mehānismiem, kuri noved pie NTI, joprojām nav iegūta. Lai labāk izprastu šo efektu, mēs tika veikti molekulārās dinamikas (MD) aprēķini no pirmajiem principiem ScF<sub>3</sub> temperatūru intervālā no 300 K līdz 1600 K. Teorētiskie MD aprēķini tika izmantoti lai iegūtu Sc K-malas rentgenabsorbcijas spektrus, izmantojot MD-EXAFS pieeju [2], un tālāk salīdzināti ar eksperimentāliem datiem. Skandija/fluora atomu svārstības anizotropijas un Sc-F saites anharmoniskas efektu lomas NTI efektā tika diskutētas.

Pētījums ir finansiāli atbalstīts Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Studentu un Jauno zinātnieku projekta Nr. SJZ2015/6 ietvaros.

## STUDY OF NEGATIVE-THERMAL EXPANSION IN ScF<sub>3</sub> USING FIRST-PRINCIPLES AB INITIO MOLECULAR DYNAMICS

Dmitry Bocharov<sup>1</sup>, Matthias Krack<sup>2</sup>, Alexei Kuzmin<sup>1</sup>, Juris Purans<sup>1</sup>, Aleksandr Kalinko<sup>1</sup>,  
Francesco Rocca<sup>3</sup>, Shebab Ali<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia,*

<sup>2</sup>*Paul Scherrer Institute,*

<sup>3</sup>*IFN-CNR, Institute for photonics and nanotechnologies*

<sup>4</sup>*Suez Canal University*

Scandium trifluoride (ScF<sub>3</sub>) exhibits strong negative thermal expansion (NTE) below ~1100 K [1], which is more pronounced than that of most known NTE materials. However, the detailed understanding of the NTE effect in ScF<sub>3</sub> is still missing. In this study we performed first-principles molecular dynamics (MD) simulations of cubic ScF<sub>3</sub> in the temperature range from 300 K to 1600 K. The obtained MD results were used to calculate Sc K-edge x-ray absorption spectra, using the MD-EXAFS approach [2], and were further compared with the available experimental data. The role of scandium/fluorine atom vibration anisotropy and Sc-F bond anharmonicity in the NTE effect will be discussed.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/6 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

[1] B. K. Greve, K. L. Martin, P. L. Lee, P. J. Chupas, K. W. Chapman, A. P. Wilkinson, *J. Am. Chem. Soc.* 132 (2010) 15496.

[2] A. Kuzmin, R.A. Evarestov, *J. Phys: Condens. Matter* 21 (2009) 055401.

## DOPĒTA UN NEDOPĒTA CĒRIJA DIOKSĪDA ĪPAŠĪBU MODELĒŠANA TILPUMA FĀZĒ

Andrejs Česnokovs<sup>1</sup>, Deniss Grjaznovs<sup>1</sup>, Marko Arrigoni<sup>2</sup>, Robert Evarestov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Maksa Planka Cietvielu pētījumu Institūts*

<sup>3</sup>*Ķīmijas fakultāte, Sanktpēterburgas Valsts Universitāte*

Cērija dioksīds ( $\text{CeO}_2$ ) ir efektīvs katalizators ar plašām pielietojšanas iespējām. Tā modelēšana no pirmajiem principiem ir saistīta ar zināmām grūtībām, kurus izsauc f-elektronu klātbūtne un to kvantu mehāniskais apraksts.

Darba gaitā ir sastādīts modelis, kurš balstās uz atomu orbitāļu lineāru kombināciju un uz eksaktās apmaiņas daļu apmaiņas-korelācijas funkcionālā. Iegūtais modelis ļauj precīzi simulēt  $\text{CeO}_2$ : tilpuma fāzes īpašības un defektu uzvedību tajā.

Modeļa sastādīšanas process ietvēra bāzes funkciju kopas optimizēšanu un dažādu apmaiņas-korelācijas funkcionāļu salīdzināšanu. Ar optimizēto modeli tika iegūtas precīzas tilpuma fāzes īpašības: režģa konstante, elastības modulis, fononu frekvences, kohēzijas enerģija, veidošanas enerģija un citas īpašības.

Iegūtais modelis precīzi reprezentē materiāla īpašības un tiks izmantots tālākiem aprēķiniem, kas ir saistīti ar virsmas un tilpuma fāzes defektu izsauktām īpašībām.

## CALCULATION OF PURE AND DOPED CERIUM DIOXIDE PROPERTIES IN BULK PHASE

Andrejs Česnokovs<sup>1</sup>, Deniss Grjaznovs<sup>1</sup>, Marko Arrigoni<sup>2</sup>, Robert Evarestov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Max Planck Institute for Solid State Research*

<sup>3</sup>*Department of Chemistry, St. Petersburg State University*

Cerium dioxide ( $\text{CeO}_2$ ) is an effective, widely-used catalyst. From *ab initio* modelling standpoint, this material is a non-trivial case, because of its f-electrons and the difficulty of their description using quantum mechanical methods.

In this work we have developed a model on the basis of linear combination of atomic orbitals and exact exchange contribution to the exchange-correlation functional. This model allows us to properly simulate  $\text{CeO}_2$ : its bulk properties and defects' behaviour therein.

The development of our model included optimization of the basis set and comparison of several exchange-correlation functionals. The optimized model led us to accurate bulk properties: lattice constant, bulk modulus, phonon frequencies, cohesive energy, heat of formation and other properties.

We demonstrate that the obtained model is suitable for precise representation of the material and it will be used in subsequent simulations of surface and bulk properties that include formation of defects.

## KORUNDA STARPMEZGLU SKĀBEKĻA ATOMU MIGRĀCIJAS TRAJEKTORIJU APRĒĶINI NO PIRMAJĒM PRINCIPIEM

Aleksandrs Platonenko, Jurijs Žukovskis, Sergejs Piskunovs, Jevģenijs Kotomins  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Radiācijas izraisītas izmaiņas korunda strukturālās un optiskās īpašībās, galvenokārt, ir saistītas ar primāriem Frenkeļa defektiem: neitrāliem un lādētiem starpmezglu atomiem  $O_i$ , kā arī skābekļa vakancēm  $V_O$  ( $F$  centriem). Atšķirībā no tām, starpmezglu atomi vēl nav labi izpētīti.

Šī pētījumā mēs veicam korunda neitrālo un lādēto starpmezglu atomu īpašību un mobilitātes periodiskus *ab initio* aprēķinus izmantojot CRYSTAL14 programmu. Tika salīdzināti neitrālo un lādēto defektu ģeometrija un migrācijas enerģijas, Malikena atomu lādiņi un elektronu blīvuma sadalījumi. Visos gadījumos starpmezglu skābekļa anjons veido saites ar alumīnija katjoniem, nevis aizņem pozīciju centrā starp sešiem tuvākiem  $O_{reg}$  anjoniem, kā tas būtu intuitīvi sagaidāms. Aprēķinātas migrācijas enerģijas ir salīdzinātas ar pieejamiem eksperimentāliem datiem.

## FIRST PRINCIPLES CALCULATIONS OF INTERSTITIAL OXYGEN ATOM MIGRATION PATHS IN CORUNDUM

Aleksandrs Platonenko, Yuri. F. Zhukovskii, Sergejs Piskunov, Eugene A. Kotomin  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

Radiation-induced changes in the structural and optical properties of corundum are mainly associated with primary Frenkel defects: neutral and charged interstitial oxygen atoms  $O_i$ , as well as oxygen vacancies  $V_O$  ( $F$ -type color centers). Unlike the latter, the former are not well studied yet.

In this study, we present results of periodic *ab initio* simulations on basic properties and mobility of the charged and neutral oxygen interstitials using the CRYSTAL14 computer code. The defect geometries and migration energies, Mulliken atomic charges and the electron density distributions for neutral and charged impurities are compared. In all the cases, oxygen interstitials form the bonds with regular Al cations in corundum lattice rather than occupy centers of octahedron consisting of six nearest  $O_{reg}$  anions as one could intuitively expect. The calculated migration energies are compared with available experimental data.

**Zr UN Ti KONCENTRĀCIJAS VARIĒŠANA PZT:  
ELEKTRONISKĀS STRUKTŪRAS APRĒĶINI NO PIRMAJĪEM  
PRINCIPIEM**

Aleksejs Gopejenko, Jurijs Žukovskis, Sergejs Piskunovs, Jevģenijs Kotomins  
*Latvijas Universitātes Cietvielu Fizikas Institūts*

PZT vai svina cirkonāta titanāts ( $\text{Pb}[\text{Zr}_{(x)}\text{Ti}_{(1-x)}]\text{O}_3$ ), ir viens no visplašāk izmantotiem pjezoelektriskiem keramikas materiāliem pasaulē pateicoties materiāla plaša pielietojuma spektram. Piemērām, šos materiālus pielieto ultraskaņu pārveidotājos, keramiskās kondensatoros, sensoros, aktuātoros, MEMS – mikroelektromehāniskās sistēmās, atmiņas ierīces, pretatstarošanas pārklājumos, elektro-optiskos modulātoros, kā arī kosmiskās programmās (pateicoties radiācijas noturībai).

Šī darbā ietvaros ir veikta PZT modelēšana no pirmajiem principiem izmantojot CRYSTAL14 datorprogrammu, lai aprēķināt materiāla strukturālās un elektroniskās īpašības. Tika veikta viļņu funkciju bažu komplektu optimizācija, aprēķinātas režģa konstantes un elastīgais modulis. Rezultāti ir salīdzināti ar citiem pētījumiem.

PZT modelēšana paredz Zr un Ti koncentrācijas variēšanu, lai izpētīt tās ietekmi uz materiāla strukturālās un elektroniskās īpašības. Atomu koncentrācija tika variēta sekojošiem vērtībām:  $x = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$ .

Pētījums ir finansiāli atbalstīts Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Studentu un Jauno zinātnieku projekta Nr. SJZ2015/11 ietvaros.

**VARIATION OF Zr AND Ti CONCENTRATION IN PZT:  
FIRST PRINCIPLES CALCULATIONS ON THE ELECTRONIC  
STRUCTURE**

Aleksejs Gopejenko, Yuri. F. Zhukovskii, Sergejs Piskunov, Eugene. A. Kotomin  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

PZT or lead zirconate titanate ( $\text{Pb}[\text{Zr}_{(x)}\text{Ti}_{(1-x)}]\text{O}_3$ ) is one of the most used piezoelectric ceramic materials in the world due to its wide variety of the applications such as ultrasonic transducers, ceramic capacitors, sensors, actuators, MEMS – microelectromechanical systems, storage devices, electro-optical modulators, as well as in space programs, due to its radiation resistance.

In the framework of the project, the modelling of PZT is performed using CRYSTAL14 computer code in order to perform the calculations of the structural and electron properties. Basis set optimisation has been performed, and then lattice constants and elastic moduli have been calculated. The results of the calculations are compared with available research data.

PZT modelling foresees variation of Zr and Ti concentrations, which has been performed in order to understand its influence on the structural and electron properties of the material. The following values of the concentration were calculated:  $x = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ , and 1.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/11 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

## MOLEKULU ELEKTROĶĪMISKĀS JONIZĀCIJAS ENERĢIJAS UN ELEKTRONTIEKSMEŠ Kvantu ĶĪMISKĀS MODELĒŠANAS METODES IZVĒLE UZ RACIONĀLU APSVĒRUMU PAMATA

Igors Mihailovs<sup>1,2</sup>, Mārtiņš Rutkis<sup>1</sup>, Valdis Kampars<sup>2</sup>, Baiba Turovska<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Lietišķās ķīmijas institūts*

<sup>3</sup>*Latvijas Organiskās sintēzes institūts*

Molekulas jonizācijas potenciāls un elektrontieksme ir svarīgi raksturlielumi, kas jāzina, lai veiksmīgi konstruētu organisko pusvadītāju ierīces. Vienmēr ir ērtāk un lētāk aplēst šos lielumus aprēķinu, nevis eksperimenta ceļā. Izvēloties starp aprēķinu metožu alternatīvām, ir jāņem vērā gan precizitāte, gan nepieciešamais resursu patēriņš, kas īpaši svarīgi struktūru sijāšanas uzdevumam.

Darbā ar faktoru analīzes metodēm tika novērtēti, kuru aprēķina parametru izvēlei ir ievērojama nozīme kvalitatīvu rezultātu iegūšanā. Konstatēts, ka adiabatiskā jonizācijas potenciāla aplēsei ļoti labi der orbitāļu enerģiju pieeja, bet elektrontieksmei noteikti jāaprēķina pilno enerģiju starpība. Polarizācijas funkcijām uz H atomiem bāzes funkciju kopā ir maza nozīme, savukārt labums no difūzo funkciju ietveršanas kopā nav lielāks par labumu no papildu funkcijām valences rajonā, kas prasa daudz mazāku aprēķina laika patēriņu. Enerģijas aprēķiniem pēc attāluma dalītais hibridfunkcionālis CAM-B3LYP ir piemērotāks par globālo hibridfunkcionāli B3LYP, kas toties dod piemērotākas ģeometrijas. Ir ārkārtīgi svarīgi ievērot šķīdinātāja polarizējošo iedarbību, tostarp spēju veidot kompleksus ar H saiti, kas ievērojami nepalielina aprēķina laiku.

## SELECTION OF RATIONAL QUANTUM CHEMICAL COMPUTATION METHOD FOR ELECTROCHEMICAL IONIZATION POTENTIAL AND ELECTRON AFFINITY OF MOLECULES

Igors Mihailovs<sup>1,2</sup>, Martins Rutkis<sup>1</sup>, Valdis Kampars<sup>2</sup>, Baiba Turovska<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Institute of Applied Chemistry, Riga Technical University*

<sup>3</sup>*Latvian Institute of Organic Synthesis*

Ionization potential and electron affinity are important properties of a molecule, knowledge of which is essential for designing organic semiconductor devices. It is always more convenient and less expensive to assess properties by calculation rather than by experiment. Selection between alternative computational methods should be based both on quality and resource consumption, especially for screening purposes.

In this work, factor analysis is used to indicate most important computational parameters. It is found that orbital energy approach works well for describing adiabatic ionization potential, but only total energy difference method is suitable to describe electron affinity. Adding diffuse functions to basis set show less positive effect than adding extra valence functions, what is far less resource-consuming; effect from polarization functions on H atoms is marginal. Range-separated hybrid functional CAM-B3LYP is appropriate to obtain energy, while global hybrid B3LYP produces better geometries. Inclusion of solvent polarizing effect is found to be essential, along with accounting for its ability to form H-bonded complexes, and on average this brings no increase in computation time.



## Y-O KOMPLEKSU MODELĒŠANA NO PIRMAJĪEM PIRNCIPIEM $\alpha$ -Fe MATRICĀ

Maksims Sokolovs, Jurijs Mastrikovs, Aleksejs Gopejenko,  
Jurijs Žukovskis, Jevgenijs Kotomins  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

ODS (angļu: *Oxide-Dispersion Strengthened*) tēraudus ar  $Y_2O_3$  piemaisījumiem ir iespējams izmantot kā strukturālo materiālu nākotnes kodolu termiskās sintēzes reaktoriem. Tika veikti vairāki eksperimentāli tēraudu pētījumi, bet  $Y_2O_3$  nanodaļiņu uzvedība pašā atomārā līmenī līdz galam nav saprasta.

Lai labāk saprastu ODS daļiņas veidošanās procesa mehānismus un kinētiku, mēs izdarījām teorētisko modelēšanu.

Mēs izmantojam DFT metodi, kas tika realizēta VASP datorkodā. Aprēķinu sākuma stadijā tika pētīti Y-O kompleksi  $\alpha$ -Fe matricā. Tika izpētītas vairākas konfigurācijas, kas sastāv no itrija un skābekļa atomiem kombinācijā vakancēm. Aprēķinu rezultātā iegūtie dati tiks izmantoti kā ievaddati tālākām kinētikas Monte Carlo simulācijām.

## AB INITIO MODELLING OF Y-O COMPLEXES IN $\alpha$ -Fe MATRIX

Maksim Sokolov, Yuri Mastrikov, Aleksej Gepeenko,  
Yuri Zhukovskii, Eugene Kotomin  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

ODS (Oxide-Dispersion Strengthened) steels with  $Y_2O_3$  are promising materials for structural applications in future nuclear fusion reactors. The great amount of experimental research has been made so far. However, many details of the  $Y_2O_3$  nanoparticles' behaviour at the very atomistic level still remain unclear.

For better understanding of the mechanics and kinetics of the ODS particle formation process we performed theoretical modelling

We applied DFT method, as implemented in the computer code VASP. The initial step was to model the Y-O complexes in the  $\alpha$ -Fe matrix. Various configurations of yttrium and oxygen solute atoms, combined with vacancies were investigated. Acquired from these calculations data will be used as an input for the further kinetic Monte Carlo simulations.



**19. februāris**

**VALSTS PĒTĪJUMU  
PROGRAMMAS IMIS<sup>2</sup>  
REZULTĀTU APSPIEŠANA**

## VALSTS PĒTĪJUMU PROGRAMMAS IMIS<sup>2</sup> OTRĀ POSMA REZULTĀTI: SASNIEGTAIS UN IZAICINĀJUMI

Andris Šternbergs

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Ir veiksmīgi noslēdzies Valsts pētījumu programmas “Daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijas IMIS<sup>2</sup>” (2014 – 2017) otrais posms.

Četru Programmas IMIS<sup>2</sup>projektu:

- "Fotonika un materiāli fotonikai";
- "Nanomateriāli un nanotehnoloģijas";
- "Nanokompozīti";
- “Nanomateriāli un nanotehnoloģijas medicīniskam pielietojumam”,

izpildē sadarbībā piedalās četru Universitāšu un sešu zinātnisko Institūtu vairāk kā 120 zinātnu doktori un 60 doktoranti.

Būtiskākie Programmas IMIS<sup>2</sup> rezultāti un problēmas tiks diskutētas šajā un sekojošās četrās projektu vadītāju prezentācijās.

## SECOND PERIOD OF NATIONAL RESEARCH PROGRAMME IMIS<sup>2</sup>: REVIEW OF PROGRESS AND CHALLENGES

Andris Sternberg

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

It's my pleasure to report on successfully completed the second period of the National Research Programme "Multifunctional materials and composites, photonics and nanotechnology - IMIS<sup>2</sup>" (2014-2017).

All four projects of IMIS<sup>2</sup> Programme:

- “Photonics and materials for photonics”;
- “Nanomaterials and nanotechnology”;
- “Nanocomposites”;
- “Nanomaterials and nanotechnologies for medical applications”;

are performed by more than 120 doctors and 60 PhD students from four Universities and six scientific Institutes.

The most significant results of the program IMIS<sup>2</sup> and challenges will be discussed in this as well as in the following four presentations by project leaders.

## VPP IMIS<sup>2</sup> PROJEKTS: 1. FOTONIKA UN MATERIĀLI FOTONIKAI

Mārtiņš Rutkis

*Latvijas Universitātes Cietvielu Fizikas institūts*

Projekta ietvaros tiek veikti gan fundamentālie, gan lietišķie pētījumi, kuri vērsti uz jaunu oriģinālu fotonikā izmantojamu materiālu un ierīču izveidi. Tie saistīti ar visām četrām fotonikas pamatjomām:

- **gaismas ģenerēšanu** (projektā: luminescentie gaismas avoti);
- **gaismas detektēšanai** (projektā: dažādu ārējo iedarbību sensori, saules baterijas);
- **gaismas plūsmu vadīšanai** (projektā: hologrāfija, elektrooptiskie modulatori);
- **gaismas pārveidošanai** (projektā: efektīvi luminofori un lāzeru materiāli).

Piedāvātajā referātā tiks apkopoti projekta 2. etapā sasniegtie rezultāti un prezentēts darba plāns projekta 3. etapam.

## NRP IMIS<sup>2</sup> PROJECT: 1. PHOTONICS AND MATERIALS FOR PHOTONICS

Martins Rutkis

*Institute of Solid State Physics of University of Latvia*

Within the framework of project basic and applied research is carried out with aim to develop novel materials and devices for photonic applications. Research covers all four basic tasks of photonics:

- **light generation** (in project: luminescent light sources);
- **light detection** (in project: sensor applications, solar cells );
- **light manipulation** (in project: holography, electro-optical modulators);
- **light conversion** (in project: effective luminophores and laser materials).

Proposed report will cover summary of achievements in project 2<sup>nd</sup> stage and discuss work plan for 3<sup>rd</sup> stage of the project.

## STARPMEZGLU SKĀBEKĻA UN HLORA PIEMAIŠĪJUMU DETEKTĒŠANA AMORFĀ SiO<sub>2</sub> AR LUMINISCENCES METODĒM

Linards Skuja<sup>1</sup>, Koichi Kajihara<sup>2</sup>, Krišjānis Šmits<sup>1</sup>, Andrejs Siliņš<sup>1</sup>, Hideo Hosono<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Tokijas Metropoles Universitāte*

<sup>3</sup>*Tokijas Tehnoloģiskais institūts*

Amorfā SiO<sub>2</sub> (a-SiO<sub>2</sub>) struktūru veido virsotnēs savienoti SiO<sub>4</sub> tetraedri. Ārpus tiem esošās "starpmezglu" telpas ir ievērojami lielākas kā kristāliskajos SiO<sub>2</sub> polimorfos. Tajās var novietoties nelielas gāzu molekulas, kuras tur tiek ar nolūku ievadītas (piem., H<sub>2</sub> - aizsardzībai pret solarizāciju), veidojas materiāla sintēzes laikā, oksidējot SiCl<sub>4</sub> (O<sub>2</sub> un Cl<sub>2</sub>), vai nokļūst no apkārtējās vides (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>).

Hlora piemaisījumi a-SiO<sub>2</sub> ir nevēlami, pasliktinot materiāla optiskās īpašības. Starpmezglu Cl<sub>2</sub> dod absorbcijas joslu pie 3.8 eV, turklāt Cl klātbūtne samazina optisko šķiedru noturību pret UV gaismu un jonizējošo radiāciju.

Šajā darbā parādīts, ka tuvajā infrasarkanajā diapazonā, paralēli starpmezglu O<sub>2</sub> fotoluminiscences (FL) detektēšanas tehnikai (0.976 eV josla) ir iespējams ar augstu jutību detektēt arī Cl<sub>2</sub> molekulas. Pie T<160 K a-SiO<sub>2</sub> novērota FL josla ar maksimumu 1.27 ± 0.04 eV, fwhm 0.4 eV un dzīves laiku 7 ms pie T=13K. FL spektrā ir novērojama raksturīga svārstību progresija ar >10 apakšjoslām, kuru savstarpējie attālumi mainās mazo enerģiju virzienā no 520 līdz 490 cm<sup>-1</sup>. Šī īpašība ļauj novēroto luminiscenci viennozīmīgi attiecināt uz starpmezglu Cl<sub>2</sub> molekulām. Var novērtēt, ka ar tās palīdzību iespējams detektēt a-SiO<sub>2</sub> <10<sup>14</sup> Cl<sub>2</sub> piemaisījumu uz 1 cm<sup>3</sup>.

## DETECTION OF INTERSTITIAL OXYGEN AND CHLORINE IN AMORPHOUS SiO<sub>2</sub> BY LUMINESCENCE TECHNIQUES.

Linards Skuja<sup>1</sup>, Koichi Kajihara<sup>2</sup>, Krišjānis Smits<sup>1</sup>, Andrejs Silins<sup>1</sup>, Hideo Hosono<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid-State Physics, University of Latvia.*

<sup>2</sup>*Tokyo Metropolitan University*

<sup>3</sup>*Tokyo Institute of Technology*

Amorphous SiO<sub>2</sub> (a-SiO<sub>2</sub>) consists of vertex-connected SiO<sub>4</sub> tetrahedra. The interstitial sites outside them are much larger in a-SiO<sub>2</sub> compared to the crystalline polymorphs of SiO<sub>2</sub>. They can accommodate small gas molecules, either intentionally loaded (e.g., H<sub>2</sub> to prevent UV-solarization), or left from manufacturing processes by oxidizing SiCl<sub>4</sub> (Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>), or entering from environment (H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>).

Chlorine impurities are detrimental to optical properties of a-SiO<sub>2</sub>. Interstitial Cl<sub>2</sub> gives rise to absorption band at 3.8eV and increases damage to optical fibers by UV-light (solarization) or by ionizing radiation.

The present work shows that in the near-infrared region, alongside the photoluminescence (PL) detection of interstitial O<sub>2</sub> (0.976 eV band), a high sensitivity detection of interstitial Cl<sub>2</sub> molecules in SiO<sub>2</sub> is possible. At T<160 K a PL band at 1.27±0.04 eV, fwhm=0.4 eV and lifetime 7ms at T=14 K was observed. The PL spectrum shows a characteristic vibrational progression with >10 sub-bands with separations decreasing from 520 to 490 cm<sup>-1</sup> towards lower energies. This feature allows to assign this PL band unambiguously to interstitial Cl<sub>2</sub>. Estimate shows that concentrations less than 10<sup>14</sup> Cl<sub>2</sub>/cm<sup>3</sup> can be easily detected.

This work was supported by Latvian government research program IMIS<sup>2</sup> and by Latvian Science Council grant 302/2012.

**ZĒMANA KOHERENČU KVANTU MEHĀNISKĀ APRAKSTA  
PILNVEIDOŠANA UN MAGNETO-OPTISKO SIGNĀLU  
EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI RUBĪDIJA UN CĒZIJA ATOMOS**

Marcis Auziņš, Andris Bērziņš, Ruvins Ferbers, Florian Gahbauers, Uldis Kalniņš,  
Linards Kalvāns, Artūrs Mozers  
*Latvijas Universitātes Lāzeru centrs*

Precīzs magneto-optisko rezonanšu formas apraksts atomos ir sarežģīts uzdevums gadījumos, kad galvenais relaksācijas mehānisms ir sadursmes un kad magnētisko apakšlīmeņu krustošanās nenulles magnētiskajā laukā notiek pie lāzera jaudām, kas atbilst nelineārās absorbcijas nosacījumiem. Pētījumu ciklā tika izmantotas jaunas pieejas, lai pilnveidotu šo procesu teorētiskos aprakstus un apstiprinātu tos ar eksperimentāliem rezultātiem, tādējādi ļaujot būtiski uzlabot vāju magnētisko lauku mērījumu precizitāti.

Lai precīzi aprakstītu signālus bija nepieciešams papildināt teorētisko modeli, uzlabojot sadursmju efektu aprakstu, kā arī uzlabojot atomu caurlidošanas relaksācijas aprakstu lāzera starā. Caurlidošanas relaksācijas apraksta uzlabojumi kļuva par stūrakmeni rezonanšu formas precīza apraksta izveidošanā, augstu lāzera jaudas blīvumu izmantošanas gadījumā. Tas savukārt ļāva detalizēti aprakstīt atomu mijiedarbību ar visplašāk izmantoto – Gausa jaudas sadalījuma profila lāzera staru. Teorētiskais modelis tika izmantots, lai aprakstītu arī ļoti jutīgo izkārtošanas pāreju uz orientāciju. Visos trīs gadījumos tika iegūti augstas precizitātes eksperimentālie signāli Rb vai Cs atomos, kas apstiprināja teorētiskā modeļa precizitāti.

**ADVANCEMENT OF QUANTUM MECHANICAL DESCRIPTION OF  
ZEEMAN COHERENCES AND EXPERIMENTAL STUDIES OF MAGNETO-  
OPTICAL SIGNALS IN RUBIDIUM AND CESIUM ATOMS**

Marcis Auzinsh, Andris Berzins, Ruvins Ferber, Florian Gahbauer, Uldis Kalnins,  
Linards Kalvans, Arturs Mozers  
*Laser Centre, The University of Latvia*

Precise description of atomic magneto-optical resonance shapes is a complicated task in cases when the dominant relaxation mechanism of atoms are collisions and when magnetic sublevel crossings take place at nonzero magnetic field at laser power densities that fulfill the nonlinear absorption conditions. In a series of performed studies we developed an advanced theoretical approach to these problems, and the theoretical calculations were confirmed by the obtained experimental results, thus allowing to improve the accuracy of weak magnetic field measurements.

In order to describe accurately the experimental signals we expanded the theoretical model by adding a more accurate treatment of collisions with the walls and clarifying the role of transit relaxation effects in moving through the laser beam. The development of the transit relaxation description became a cornerstone for a major improvement of resonance signal shape treatment at high laser radiation power. This allowed us to describe in detail the interaction between the atoms and the most commonly used laser beam with Gaussian power distribution profile. The theoretical model was also used to describe the very sensitive alignment to orientation conversion effects. In all three cases the experimental signals in Rb or Cs atoms were used as a stringent test that verified the theoretical model.

The financial support of Latvian State Research Programme (VPP) project IMIS<sup>2</sup> is greatly acknowledged.

## JAUNU FUNKCIONĀLO FRAGMENTU IZSTRĀDE MOLEKULĀRU UN DENDRIMĒRA TIPĀ ORGANISKO STIKLU IEGŪŠANAI NLO UN CITU FOTONIKAS VIRZIENU VAJADZĪBĀM

Kaspars Traskovskis<sup>1</sup>, Valdis Kokars<sup>1</sup>, Andrejs Tokmakovs<sup>2</sup>, Mārtiņš Rutkis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Lietišķās ķīmijas institūts*

<sup>2</sup>*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Pēdējās desmitgadēs organisko savienojumu pielietojums dažādos fotonikas virzienos ir strauji pieaudzis. Šī interese pamatojama ar virkni faktoru. Dotie materiāli spēj uzrādīt augstākus veiktspējas parametrus vai paver jaunus pielietojuma virzienus salīdzinājumā ar tradicionālajiem neorganiskajiem savienojumiem. Tiem pielietojamas šķīdumu tehnoloģiskās apstrādes metodes, kas ļauj samazināt iekārtu ražošanas izmaksas.

Pētījuma laikā tika izstrādāti jauni organisko savienojumu strukturālie fragmenti fotonikas vajadzībām. Uz trifenilmetāna bāzes tika iegūta virkne savienojumu, kas izmantojami kā modulāri būvbloki stiklveida fāzi veidojošu un ar šķīduma metodēm apstrādājamu materiālu iegūšanai. Iegūtie savienojumi pielietojami nelineārajā optikā (NLO), jo apjomīgie trifenilmetil- aizvietotāji samazina dipolu sadarbību starp polārajām hromoforu molekulām un atvieglo polārās kārtības iegūšanu. Tika izstrādāts jauns elektronakceptorais fragments: 1,3-bis(diciānometilidēn)indān-5 karbonskābe, kas paplašina NLO hromoforu sintēzes strukturālās pieejas un kam raksturīga negaidīta stereoselektīva reaģētspēja.

## DEVELOPMENT OF NEW FUNCTIONAL FRAGMENTS FOR SYNTHESIS OF MOLECULAR GLASSES AND DENDRIMERS FOR USE IN NLO AND OTHER PHOTONIC APPLICATIONS

Kaspars Traskovskis<sup>1</sup>, Valdis Kokars<sup>1</sup>, Andrejs Tokmakovs<sup>2</sup>, Martins Rutkis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Applied Chemistry, Riga Technical University*

<sup>2</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

During the last decades the use of organic materials in different fields of photonics has rapidly increased. This can be attributed to several factors. The materials can potentially increase performance characteristics or can show new properties if compared to traditional inorganic compounds. The applicable solution-processing techniques can significantly reduce the cost of device manufacturing.

During the research new organic structural fragments were developed for the needs of photonics. A series of triphenylmethyl based compounds was acquired that can be used as modular building blocks to acquire solution-processable molecular glasses. This approach results in materials that can be used in nonlinear optics (NLO), as bulky triphenyl groups shield dipolar interactions of polar chromophores and help to attain the polar order. A new electron acceptor fragment, 1,3-bis(dicyanomethylidene) indane-5-carboxylic acid, was developed. This compound widens the possible design choices of NLO chromophores and shows unexpected stereoselective reactivity.

This work has been supported by the Latvian State Research Program on Multifunctional Materials IMIS<sup>2</sup>.



## VPP IMIS<sup>2</sup> 2. PROJEKTS: NANOMATERIĀLI UN NANOTEHNOLOĢIJAS

Anatolijs Šarakovskis

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Projekta mērķi ir radīt pasaules līmeņa zināšanas inovatīvo un uzlaboto materiālu, viedo tehnoloģiju jomās, kas dod ieguldījumu tautsaimniecības problēmu risināšanā un iespēju konkurētspējīgu produktu radīšanai.

Projekta uzdevumi:

1. Radīt un izpētīt jaunus, pielietojamus un konkurētspējīgus plāno (nano) slāņu pārklājumus tajā skaitā grafēna nanoslāņu iegūšanu un pielietošanu.
2. Radīt un izpētīt jaunus, pielietojamus un konkurētspējīgus nanomateriālus un to pielietojumu nanotehnoloģijās.
3. Radīt un izpētīt jaunus, pielietojamus un konkurētspējīgus kvantu punktus un nanovadus elektroluminiscentiem gaismas avotiem.
4. Radīt un izpētīt nanokompozītu materiālus augsti efektīviem termoelektriskajiem ģeneratoriem nelietderīgi zaudētās siltumenerģijas rekuperācijai.

Ziņojumā tiks pastāstīts par projekta sasniegtajiem rezultātiem un plāniem 3. posmam.

## NRP IMIS<sup>2</sup> 2. PROJECT: NANOMATERIALS UN NANOTECHNOLOGY

Anatolijs Sarakovskis

*Institute of Solid State Physics University of Latvia*

The targets of the project are to achieve a world-class knowledge of innovative and advanced materials, smart technologies that contribute to the economic challenges and opportunities to create competitive products.

The tasks of the project are:

1. Synthesize and investigate properties of innovative, functional and competitive thin films (nanolayers) including synthesis and application of graphene;
2. Synthesize and investigate properties of innovative, functional and competitive nanomaterials and their application in nanotechnology;
3. Synthesize and investigate properties of innovative, functional and competitive quantum dots and nanowires for efficient electroluminescent light sources;
4. Synthesize and investigate properties of innovative nanocomposite materials for harvesting of waste energy in high performance thermoelectric generators

In the presentation the achievements of the scientific groups involved in the realization of the project will be reported and tasks in the workplan for the 3rd stage will be discussed.

## FĀŽU PĀREJA $\text{Cu}_3\text{N}$ PIE AUGSTA SPIEDIENA

Alexei Kuzmins, Andris Anspoks, Aleksandr Kalinko, Jānis Timošenko, Lucie Nataf<sup>2</sup>,  
François Baudet<sup>2</sup>, Tetsuo Irifune<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Synchrotron SOLEIL, l'Orme des Merisiers, Saint-Aubin*

<sup>3</sup>*Geodynamics Research Center, Ehime University*

Vara nitrīds ( $\text{Cu}_3\text{N}$ ) ir piesaistījis uzmanību, jo tā iespējamo pielietojumu kā materiālu optiskajā un pretestības atmiņā, optiskajā litogrāfijā, spintronikā, kā arī pielietošanai saules enerģijas pārveidotājos.

$\text{Cu}_3\text{N}$  piemīt anti- $\text{ReO}_3$  tipa struktūra, kuru veido  $\text{NCu}_6$  oktaedri. Šāda struktūra un vara nitrīda zemā sadalīšanās temperatūra (600-800 K) norāda uz fāžu pārejas iespēju pie augsta spiediena [1-3].

Šajā darbā mēs izmantojam Cu K-malas rentgenabsorbcijas spektroskopiju, lai izpētītu  $\text{Cu}_3\text{N}$  lokālas struktūras izmaiņas pie augsta (līdz 27 GPa) spiediena. Mūsu rezultāti apstiprina fāžu pārejas esamību virs 5 GPa, bet nesakrīt ar darbu rezultātiem [2-3] par augstspiediena fāzes veidu.

## HIGH-PRESSURE PHASE TRANSITION IN $\text{Cu}_3\text{N}$

Alexei Kuzmin, Andris Anspoks, Aleksandr Kalinko, Janis Timoshenko, Lucie Nataf<sup>2</sup>,  
François Baudet<sup>2</sup>, Tetsuo Irifune<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Synchrotron SOLEIL, l'Orme des Merisiers, Saint-Aubin*

<sup>3</sup>*Geodynamics Research Center, Ehime University*

Copper nitride ( $\text{Cu}_3\text{N}$ ) has attracted much attention due to its possible use in optical lithography/metallization layers, resistive random-access memory, spintronic devices, write-once read-many optical storage media and solar absorber material.

$\text{Cu}_3\text{N}$  crystallizes in the anti- $\text{ReO}_3$  type structure with the open framework built up of  $\text{NCu}_6$  octahedra. Such structure and copper nitride low decomposition temperature (600-800 K) indicate on the possibility of pressure induced modifications [1-3].

Here we present the results of room-temperature pressure-dependent (up to 27 GPa) Cu K-edge x-ray absorption spectroscopy study of local atomic structure in  $\text{Cu}_3\text{N}$ . Our results confirm the occurrence of transition above 5 GPa, but disagree with the results of Refs. [2-3] on the type of high pressure phase.

[1] J. G. Zhao, et al., Phys. Stat. Sol. (b) 243 (2006) 573.

[2] A. Wosylus, et al, Z. Anorg. Allg. Chem. 635 (2009) 1959.

[3] J.G. Zhao, et al, Solid State Commun. 150 (2010) 1521.

## NANOSTRUKTURĒTI BISMUTA HALKOGENĪDI KĀ TOPOLOĢISKI IZOLATORI UN TERMOELEKTRISKI MATERIĀLI

Donāts Erts<sup>1,2</sup>, Jana Andžāne<sup>1</sup>, Gunta Kunakova<sup>1</sup>, Margarita Baitimirova<sup>1,2</sup>, Jeļena Kosmača<sup>1</sup>,  
Floriana Lombardi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Ķīmiskās fizikas institūts, <sup>2</sup>Ķīmijas fakultāte, Latvijas Universitāte*

<sup>3</sup> *Mikrotehnoloģijas un nanozinātnes fakultāte, Čalmera Tehnoloģiskā universitāte*

Bismuta halkogenīdi ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  un  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) ir slāņveida pusvadītāji ar šauru aizliegto zonu, kuriem piemīt gan termoelektriskās, gan topoloģiskā izolatora (TI) īpašības. Šie materiāli sastāv no saistītiem kopā ar van der Vālsa spēkiem elektriski neitrāliem slāņiem, kur katru slāni veido piecas kovalenti saistītas atomu loksnes. Nanostrukturētiem bismuta halkogenīdiem novēroti palielināts topoloģiskā izolatora efekts, kā arī uzlabojas termoelektriskās īpašības.

Darbā tika izstrādāta divpakāpju bezkatalizatora tvaiku nogulsnešanas metode kristālisku  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  un  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  nanostruktūru (nanoplāksnīšu un nanovadu) sintēzei. Sintezēto struktūru TI īpašības tika pētītas ar zemu temperatūru magnetotransporta mērījumiem [1]. Termoelektriskiem mērījumiem tika veidotas  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  un grafēna/ITO elektrodu struktūras, noteiktas elektrovadošās un opto-/termoelektriskās īpašības.

**Atslēgvārdi:**  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ , nanostructures, topological insulators, termoelektriķi.

1. J. Andzane, et al. *Nanoscale*, 7, 15935, 2015

## NANOSTRUCTURED BISMUTH CHALCOGENIDES AS TOPOLOGICAL INSULATORS AND THERMOELECTRIC MATERIALS

Donats Erts<sup>1,2</sup>, Jana Andzane<sup>1</sup>, Gunta Kunakova<sup>1</sup>, Margarita Baitimirova<sup>1,2</sup>, Jelena Kosmaca<sup>1</sup>,  
Floriana Lombardi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Chemical Physics, <sup>2</sup>Department of Chemistry, University of Latvia*

<sup>3</sup> *Department of Microtechnology and Nanoscience, Chalmers University of Technology*

Bismuth chalcogenides ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  and  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) are layered narrow band gap semiconductors having both thermoelectric and topological insulator (TI) properties. These materials consist of bonded together by van der Waals forces charge-neutralized layers, where each layer is formed by five covalently bonded atomic sheets. Nanostructured bismuth chalcogenides exhibit more enhanced topological insulator effect, as well as improved thermoelectric properties.

During this work, two-stage catalyst free vapour-solid method for synthesis of crystalline  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  and  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  nanostructures (nanoplates and nanowires) is developed. Topological insulator properties of the synthesised structures were investigated by the magneto transport characterisation performed at low temperatures [1]. For the thermoelectric study, combined structures of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  and graphene/ITO electrodes were prepared, and their electric properties and opto-/thermoelectric properties were determined.

**Keywords:**  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ , nanostructures, topological insulators, thermoelectrics

1. J. Andzane, et al. *Nanoscale*, 7, 15935, 2015

## STABILIZĒTA CIRKONIJA DIOKSĪDA NANODAĻIŅU SINTĒZE UN PĀRSTRĀDE NANOMATERIĀLOS

Jānis Grabis<sup>1</sup>, Dzidra Jankoviča, Ints Šteins<sup>1</sup>, Krišjānis Šmits<sup>2</sup>, Māra Lubāne<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rīgas Tehniskā universitāte Neorganiskās ķīmijas institūts

<sup>2</sup>Latvijas Universitāte Cietvielu fizikas institūts

Stabilizēts cirkonija oksīds rod lietojumu cietao elektrolītu, katalizatoru, saules bateriju, augsttemperatūras materiālu izveidē. Tomēr tā īpašības un lietojums ir atkarīgi no daļiņu izmēriem, aktivitātes, fāžu sastāva, ko nosaka sintēzes metode.

Pētījumā attīstītas perspektīvas ar itriju (YSZ) un cēriju (CSZ) stabilizēta ZrO<sub>2</sub> nanodaļiņu sintēzes metodes – kausēto sāļu (MS) un mikroviļņu sintēzes (MW) metodes no sāļu šķīdumiem. MW sintēzi veica 150–190 °C temperatūrā 2 stundas, MS sintēzi – 400–800 °C temperatūrā 2 stundas.

Ar abām metodēm iegūtas t-ZrO<sub>2</sub> un c-ZrO<sub>2</sub> nanodaļiņas, kuru īpatnējā virsma 90–146 m<sup>2</sup>/g un kristalītu izmēri 4–14 nm.

Nanodaļiņu sablīvēšanās dzirkstsizlādes plazmas iekārtā (SPS) sākās 850 °C temperatūrā, un 1300 °C temperatūrā materiāls sasniedza maksimālo blīvumu (96–98%) atkarībā no nanodaļiņu ieguves veida.

## STABILIZED ZIRCONIA NANOPARTICLES: SYNTHESIS AND DENSIFICATION

Jānis Grabis<sup>1</sup>, Dzidra Jankoviča, Ints Šteins<sup>1</sup>, Krišjānis Šmits<sup>2</sup>, Māra Lubāne<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Riga Technical University Institute of Inorganic Chemistry

<sup>2</sup>Latvian University Institute of Solid State Physics

Stabilized zirconia nanoparticles due to their unique properties find application as solid electrolytes, gas sensors, catalysts, high-temperature corrosion resistant materials.

The aim of present work was comparison of properties and sinterability of stabilized ZrO<sub>2</sub> prepared by molten salts (MS) and microwave (MW) synthesis using Zr or Ce salts as precursors. The MW synthesis was carried out in a Masterwave BTR, Anton Paar apparatus by heating salts solution at temperature in the range of 150–190 °C during 20 min. The MS synthesis was carried out by heating mixture of the precursors at temperature in the range of 400–800 °C during one or two hours.

The prepared by the both methods YSZ crystalline nanoparticles containing 3 mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or 10 mol% CeO<sub>2</sub> consisted from t-ZrO<sub>2</sub> and c-ZrO<sub>2</sub> phase. The specific surface area of the nanoparticles prepared by MS and MW synthesis was in the range of 124–146 m<sup>2</sup>/g and 90–117 m<sup>2</sup>/g respectively in dependence on the synthesis parameters. Crystallite size of nanoparticles was in the range of 4–14 nm.

The prepared samples were densified by using spark plasma sintering (SPE-825-CE, SPS Syntex Inc.). Densification of YSZ and CSZ nanoparticles started at 850 °C and samples with finegrained microstructure with relative density of 98 and 96% respectively were obtained at 1300 °C. YSZ nanoparticles prepared by MS process had better sinterability with respect to CSZ nanoparticles prepared by MW process.

The research was supported by Latvian National Research Program IMIS<sup>2</sup>.

### 3. PROJEKTS: NANOKOMPOZĪTU MATERIĀLI

Jānis Zicāns<sup>1</sup>, Remo Merijs Meri<sup>1</sup>, Māris Knite<sup>2</sup>, Ženiņa Roja<sup>3</sup>, Juris Jansons<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes  
Polimērmateriālu institūts

<sup>2</sup>Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Tehniskās  
fizikas institūts

<sup>3</sup>Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultāte

<sup>4</sup>Latvijas Universitātes Materiālu Mehānikas institūts

Valsts pētījumu programmas IMIS<sup>2</sup> 3. projekta 2. posma ietvaros izvērtēta atsevišķu tehnoloģisko faktoru ietekme uz biodegradablu polimēru nanokompozītu struktūru un īpašībām, īstenoti pētījumi par polimēru kompozītmateriālu izstrādi uz nolietotā polietilēntereftalāta bāzes, veikti pētījumi par polioksimetilēna matricas nanokompozītu struktūru un atsevišķām ekspluatācijas īpašībām, veikti pētījumi par pjezopermitivitātes efekta palielināšanas iespējām polimēru nanokompozītu paraugos, izgatavots mehānisko svārstību enerģijas savācēja prototips, pētītas iepriekšējā etapā iegūto reducēto grafēna oksīdu saturošo polimēra nanokompozītu īpašības, turpināts strādāt pie orientētu nanodaļiņu/polimēru kompozītu iegūšanas metožu pilnveidošanas, noskaidrotas armējuma efektivitātes paaugstināšanas iespējas polimēru matricas nanokompozītos, pētītas ilglaicīgās šķīdes prognozēšanas iespējas pēc paātrināto pārbaužu rezultātiem, veikti pētījumi par oglekļa nanopildvielu funkcionalizēšanas iespējām, kā arī izstrādāti hibrīdkompozīti uz tiofēna, oglekļa nanocaurulīšu un termoplastisku polimēru matricu bāzes.

### 3<sup>RD</sup> PROJECT: NANOCOMPOSITE MATERIALS

Jānis Zicāns<sup>1</sup>, Remo Merijs Meri<sup>1</sup>, Māris Knite<sup>2</sup>, Ženiņa Roja<sup>3</sup>, Juris Jansons<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>Institute of Polymer Materials, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga  
Technical University

<sup>2</sup>Institute of Polymer Materials, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga  
Technical University

<sup>3</sup>Department of Chemistry, University of Latvia

<sup>4</sup>Institute for Mechanics of Materials, University of Latvia

During the 2<sup>nd</sup> stage of implementation of the 3<sup>rd</sup> Project within the National Research Program IMIS<sup>2</sup> influence of the selected technological factors on the structure and properties of biodegradable polymer nanocomposites is evaluated, investigations about the development of the composite materials based on recycled polyethylene terephthalate are performed, structure and selected exploitation properties of polyoxymethylene based nanocomposites are researched, investigations about increment of piezopermittivity effect in the polymer nanocomposite samples are performed, prototype for mechanical vibrations energy harvesting is developed, properties of the polymer nanocomposites, containing reduced graphene oxide, obtained in the previous stage of the project, are investigated, improvement of the methods for manufacturing of oriented nanoparticles reinforced polymer composites is continued, prediction possibilities of long-term creep characteristics from the short-term experiments is evaluated, investigations about functionalization capabilities of carbon nanofillers is evaluated, as well as hybrid composites on the bases of thiophene, carbon nanotubes and thermoplastic polymer matrices are developed.

## **POLIMĒRU NANOKOMPOZĪTU DIZAINS: IEGŪŠANA, PĀRSTRĀDE, PIELIETOJUMI**

Remo Merijs Meri, Jānis Zicāns, Tatjana Ivanova, Skaidrīte Reihmane, Aina Bernava, Juris Bitenieks, Rūta Saldābola, Rita Bērziņa, Velta Tupureina, Inese Meija, Agnese Ābele  
*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes  
Polimērmateriālu institūts*

Pētījuma cikla ietvaros veikta dažādu polimēru matricu nanokompozītu iegūšana, kā arī to struktūras un atsevišķu ekspluatācijas īpašību izvērtēšana atkarībā no nanopildvielas veida, organomodifikatora klātbūtnes, tehnoloģiskajiem iegūšanas parametriem. Noskaidrota iegūšanas temperatūras un frikcijas pakāpes ietekme uz biodegradablu termoplastiskās cietes nanokompozītu ar slāņaino silikātu nanodaļiņām struktūru, kā arī mehāniskajām un barjeras īpašībām. Veikti pētījumi par modificētas oglekļa nanopildvielas ietekmi uz termoplastisko elastomēru nanokompozītu struktūru, kā arī elektriskajām, mehāniskajām un termiskajām īpašībām. Vienlaicīgi izvērtēta oglekļa nanopildvielas ietekme uz termoplastisko elastomēru nanokompozītu izturības pret ultravioletā starojuma iedarbību uzlabošanu. Veikts plašs pētījumu cikls par anizodiametrisku nanodaļiņu ietekmi uz polioksimetilēna nanokompozītu struktūru, kā arī atsevišķām ekspluatācijas īpašībām un novērtētas šādu sistēmu praktiskās pielietojšanas iespējas. Īstenota arī kompozītmateriālu izstrāde uz nolietotā polietilēntereftalāta un dabas šķiedru bāzes, izvērtējot iegūto hibrīdsistēmu struktūru un īpašības nolūkā rast pielietojumu filtrelementu izstrādei.

Pētījums finansiāli atbalstīts no Valsts pētījumu programmas Daudzfunkcionālie Materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijaS (IMIS<sup>2</sup>) līdzekļiem

## **POLIMĒRU NANOKOMPOZĪTU DIZAINS: IEGŪŠANA, PĀRSTRĀDE, PIELIETOJUMI**

Remo Merijs Meri, Jānis Zicāns, Tatjana Ivanova, Skaidrīte Reihmane, Aina Bernava, Juris Bitenieks, Rūta Saldābola, Rita Bērziņa, Velta Tupureina, Inese Meija, Agnese Ābele  
*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes  
Polimērmateriālu institūts*

The effects of nanofiller type, organomodifier and technological parameters of manufacturing on the structure and selected exploitation properties of various polymer matrices based nanocomposites are evaluated. The effects of manufacturing temperature and friction on the structure, as well as mechanical and barrier properties of biodegradable thermoplastic starch nanocomposites with layered silicate nanoparticles are revealed. The influence of the content of modified carbon nanofiller on the structure as well as electrical, mechanical and thermal properties of thermoplastic elastomer based nanocomposites is demonstrated. Simultaneously the influence of the content of organically modified carbon nanofiller on the improvement of the resistance to ultraviolet irradiation of thermoplastic elastomere nanocomposites is evaluated. Broad investigation cycle about structure and certain exploitation properties of anisodiametric nanofillers reinforced polyoxymethylene nanocomposites is also carried out and application possibilities of such nanocomposites are evaluated. Development and characterization of composite materials on the bases of post-consumer polyethylene terephthalate and natural fibers is also carried out in order to evaluate its applicability for development of specific filtration materials.

Funding of the research by National Research Programme Multifunctional Materials and composites, photonics and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>) is acknowledged.

## **ELASTOMĒRA NANOKOMPOZĪTA PJEZOPERMITIVITĀTES EFEKTA PIELIETOŠANAS IESPĒJAS ELEKTROSTATISKAJOS ENERĢIJAS SAVĀCĒJOS**

Juris Blūms, Kaspars Ozols, Māris Knite,  
*Rīgas Tehniskā Universitāte, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte,  
Tehniskās fizikas institūts*

Šajā darbā tiek pētītas polimēra un nanostrukturētā oglekļa kompozīta izmantošanas iespējas elektrostatisko enerģijas savācēju veikspējas paaugstināšanai. Elektrostatiska enerģijas savācējos mehānisko svārstību enerģija tiek pārveidota elektriskajā, izmantojot uzlādēta kondensatora elastomēra izolatora kārtiņas deformāciju. Sprieguma paaugstināšanai elastomēra deformācijas dēļ tā dielektriskai caurlaidībai (DC) ir jāsamazinās stiepes deformācijas gadījumā.

Kondensatora paraugi ar elastomēra nanokompozīta kārtiņu tika izveidoti no poliizoprēna, elektrovadošām oglekļa nanodaļiņām un misiņa elektrodiem. Eksperimentāli tika novērots, ka spiedes un stiepes deformācijas apstākļos nanokompozīta DC samazinās. Tika arī novērots, ka DC izmaiņas ātrums nav vienāds stiepes un spiedes deformācijām. DC izmaiņas raksturs liecina par komplekso parādības mehānismu nanokompozīta slānī.

## **APPLICATION OF POLYMER/NANOSTRUCTURED CARBON COMPOSITES FOR ELECTROSTATIC ENERGY HARVESTERS**

Juris Blums, Kaspars Ozols, Maris Knite  
*Institute of Technical Physics, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga  
Technical University, Riga, Latvia*

In this work the improvement of an efficiency of electrostatic harvesters by using polymer/nanostructured carbon composites (PNC) is investigated. In electrostatic harvesters the energy of mechanical oscillations is converted into electrical energy through deformation of an insulator (dielectric) layer between plates of a charged capacitor. To increase the change of voltage during the deformation of dielectric layer between capacitor plates, its dielectric permittivity should decrease with tensile deformation.

Capacitor samples containing PNC dielectric layer were elaborated from polyisoprene, electroconductive carbon nanoparticles and brass electrodes. Tensile and compressive deformation measurements conducted on PNC samples showed, that under tensile and compressive deformation dielectric permittivity of the PNC composite is decreasing. It was also found, that the character of dielectric permittivity changes for both - tensile and compressive deformation - is different. The change of dielectric properties observed indicates about complex processes taking place in the PNC dielectric layer.

The financial support of National Research Program *Multifunctional Materials and composites, photonicS and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>) (2014 - 2017)* is greatly acknowledged.

## **ELEKTROVADOŠU TERMOPLASTISKO NANOKOMPOZĪTU IZSTRĀDE AR JONU ŠĶIDRUMU FUNKCIONALIZĒTĀM DAUDZSLĀŅU OGLEKĻA NANOCAURULĪTĒM UN TO ĪPAŠĪBU IZPĒTE**

Ingars Reinholds<sup>1</sup>, Ženija Roja<sup>1</sup>, Jānis Zicāns<sup>2</sup>, Remo Merijs Meri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultāte*

<sup>2</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Polimērmateriālu institūts*

Oglekļa nanopildvielas saturoši termoplastisko polimēru kompozītmateriāli tiek pētīti mehānisko sensoru un nosēdelementu izstrādē. Jonu šķidrums pielietojums kompozīciju izstrādē ļauj uzlabot oglekļa pildvielu izkliedi polimēra matricā un uzlabot materiāla īpašības. Darba gaitā izstrādāta ultrasonificēšanas metode elektrovadošu termoplastisko polimēru (etilēna-oktēna kopolimēru – EOK ar oktēna saturu 38 %) nanokompozīciju izveidei no EOK koncentrātiem ar daudzslāņu oglekļa nanocaurulītēm (ONC), kas modificētas ar heksadecilimidazolija jonu šķidrumu (ONC-f-JŠ). Izveidoto kompozīciju mehānisko, termisko un dielektrisko īpašību izpēte veikta plašā pildvielas diapazonā (ONC-f-JŠ saturs 0-15%). Elastības modulis kompozīcijām ar pildvielas saturu 0.5-15 m.% mainās robežās no 12 līdz 24 MPa, bet trūkšanas pagarinājums no 1000 līdz 810 %. Ir konstatēts, ka sagraušanas sprieguma un deformācijas īpašību rādītāji šīm kompozīcijām ir 1.5-2 reizes augstāki nekā EOK ar nemodificētām ONC. Elektrovadītspēja kompozīcijām pieaug no  $9.85 \times 10^{-13}$  S/cm līdz  $3.95 \times 10^{-3}$  S/cm, palielinoties JŠ-f-ONC saturam no 0 līdz 15 m.%.

## **DEVELOPMENT OF CONDUCTIVE THERMOPLASTIC NANOCOMPOSITES WITH IONIC LIQUID FUNCTIONALIZED MULTI- WALLED CARBON NANOTUBES AND ASSESSMENT OF THEIR PROPERTIES**

Ingars Reinholds<sup>1</sup>, Zenija Roja<sup>1</sup>, Janis Zicans<sup>2</sup>, Remo Merijs Meri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Chemistry, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Institute of Polymer Materials, Riga Technical University*

Thermoplastic polymer composite materials with carbon nanofillers have been researched in manufacturing mechanical sensor elements and shrinkage materials. An application of ionic liquids (ILs) allows to enhance dispersion of carbon nanofiller in polymer matrix and improve material properties. In this work an ultra-sonication method is elaborated for the manufacturing of conductive thermoplastic polymer (ethylene-octene copolymer – EOC, octene content 38%) nanocomposites from EOC master-batches with multi-walled carbon nanotubes (CNTs) modified with hexadecilimidazolium IL (IL-f-CNTs). The modulus of elasticity changes in the range from 12 MPa to 24 MPa, but the deformation at break from 1000% to 810 % with the content of filler 0.5-15 wt.% in the composites. It is determined that the indicators of stress-strain properties at break are by 1.5 to 2 times higher than those of EOC composites with unmodified CNTs. The electrical conductivity increases from  $9.85 \times 10^{-13}$  S/cm to  $3.95 \times 10^{-3}$  S/cm with an increase of IL-f-CNT filler content from 0 to 15 wt.%.

The financial support of the Latvian National Research Program IMIS<sup>2</sup> project is greatly acknowledged.



## NANOMATERIĀLI UN NANOTEHNOLOĢIJAS MEDICĪNISKAJAM PIELIETOJUMAM (VPP IMIS<sup>2</sup> PROJEKTS NR. 4)

Līga Bērziņa-Cimdiņa<sup>1</sup>, Dagnija Loča<sup>2</sup>, Jānis Ločs<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Rīgas Tehniskā universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Vispārīgās  
ķīmijas tehnoloģijas institūts

<sup>2</sup>Rīgas Tehniskā universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Rūdolfa  
Cimdiņa Rīgas Biomateriālu inovāciju un attīstības centrs

Valsts pētījumu programmas “Daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijas (IMIS<sup>2</sup>)” 4. Projekta “Nanomateriāli un nanotehnoloģijas medicīniskajam pielietojumam” mērķis ir attīstīt jaunus un uzlabotus inovatīvus materiālus medicīniskam pielietojumam, tai skaitā implantus audu aizvietošanai un atjaunošanai, balstoties uz nozares fundamentālo un lietišķo pētījumu rezultātiem un jaunākiem sasniegumiem nanotehnoloģijās. Mērķa sasniegšanai veidota starpnozaru starptautiski atzītu speciālistu komanda ar motivētiem talantīgiem jauniem zinātniekiem, vienlaikus attīstot jauno produktu ražošanas un pielietošanas tehnoloģijas, izmantojot jaunizveidoto Valsts Nozīmes Pētījumu Centru kapacitāti. Projekta gaitā tiek radīti un pētīti jauni, pielietojami un konkurētspējīgi biomateriāli - nanostrukturēti kompozītmateriāli kaulu un audu implantiem. Līdztekus tiek veidotas un eksperimentāli aprobētas jaunas optisko biosensoru sistēmas vides un pārtikas produktu kvalitātes operatīvam monitoringam, kā arī radīti un pētīti jauni, pielietojami un konkurētspējīgi nano- un mikro- nesēji zāļu mērķtiecīgam transportam.

## NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES FOR MEDICAL APPLICATIONS (NRP IMIS<sup>2</sup> PROJECT NO. 4)

Līga Berzina-Cimdina<sup>1</sup>, Dagnija Loca<sup>2</sup>, Janis Locs<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of General Chemical Engineering, Faculty of Materials Science and Applied  
Chemistry, Riga Technical University

<sup>2</sup>Rudolfs Cimdins Riga Biomaterials Innovations and Development Centre of RTU, Institute of  
General Chemical Engineering, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga  
Technical University

The aim of the National Research Programme “Multifunctional Materials and composites, photonicS and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>)” Project No. 4 “Nanomaterials and nanotechnologies for medical applications” is to develop new and improved innovative materials for medical applications, including implants for tissue replacement and regeneration considering the fundamental and applied research results in the field and the latest advances in nanotechnology industry. Within the project new, exploitable and competitive biomaterials – nanostructured composite materials for bone and tissue implants, new systems of optical biosensors for rapid microbiological quality control of food and environmental samples and exploitable and competitive nano- and micro- carriers for targeted drug transport have been developed.

This work has been supported by the National Research Programme No. 2014.10-4/VPP-3/21 “Multifunctional Materials and composites, photonicS and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>)” Project No. 4 “Nanomaterials and nanotechnologies for medical applications”.

## KAULAUDU MORFOLOĢISKS UN RADIOLOĢISKS NOVĒRTĒJUMS DZĪVNIEKIEM AR EKSPERIMENTĀLU OSTEOPOROZI

Ilze Šalma<sup>1</sup>, Māra Pilmane<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Rīgas Stradiņa universitātes Mutes, sejas un žokļu ķirurģijas katedra*

<sup>2</sup>*Rīgas Stradiņa universitātes Anatomijas un antropoloģijas institūts*

Pēc Eiropas Savienības datiem Latvijā apmēram 33% iedzīvotāji slimo ar balsta un kustības sistēmas slimībām, tādām kā osteoporoze, reimatoīdais artrīts, osteoartrīts, spondilozē. Šo slimību ārstēšana var būt gan sistēmiska, gan lokāla.

Projekta ietvaros tiek pētīti jauni multifunkcionāli materiāli un metodes kaulaudu apjoma un mehānisko īpašību pastiprināšanai – lokālai osteoporotisku kaulu ārstēšanai un osteoporozes profilaksei.

Iepriekš pētītie un klīnikā pielietotie divfāziskie kalcija fosfātu biokeramikas materiāli tiek papildināti ar stroncija joniem.

Darba gaitā dzīvniekiem tiek ierosināta eksperimentāla osteoporoze - 40 trušu mātītēm veikta abpusēja ovariectomija un metilprednizolona kurss. Izveidotā osteoporoze tiek novērtēta ar radioloģiskām un morfoloģiskām izmeklēšanas metodēm.

Pētījums izstrādāts Valsts Pētījumu programmas No. 2014.10-4/VPP-3/21 “Daudzfunkcionālie Materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijaS (IMIS<sup>2</sup>)” 4. projekta “Nanomateriāli un nanotehnoloģijas medicīniskajam pielietojumam” ietvaros.

## MORPHOLOGICAL AND RADIOLOGICAL ASSESSMENT OF BONE TISSUE IN ANIMALS WITH EXPERIMENTAL OSTEOPOROSIS

Ilze Salma<sup>1</sup>, Mara Pilmane<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Riga Stradins University, Department of Oral and Maxillofacial Surgery*

<sup>2</sup>*Riga Stradins University, Institute of Anatomy and Anthropology*

According to European Union data approximately 33% of the Latvian population is suffering from musculoskeletal system diseases such as osteoporosis, rheumatoid arthritis, osteoarthritis, spondylosis. The treatment may be systemic and local.

Within the project new multi-function materials and methods for enhancement of bone volume and mechanical properties – local treatment of an osteoporotic bone and osteoporotic prophylaxis are investigated.

Previously studied and applied at in the clinic biphasic calcium phosphate bioceramic materials are supplemented with strontium ions.

Experimental osteoporosis is initiated in 40 rabbits (bilaterally ovariectomy and course of methylprednisolone). The established osteoporosis is evaluated by radiological and morphological investigative methods.

This work has been supported by the National Research Programme No. 2014.10-4/VPP-3/21 “Multifunctional Materials and composites, photonicS and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>)” Project No. 4 “Nanomaterials and nanotechnologies for medical applications”.

## **SURFAKTĒTU MAGNETĪTA NANODAĻIŅU TERMOFORĒTISKĀ PĀRNESE PORAINĀ SLĀNĪ**

Elmārs Blūms, Viesturs Šints, Mihails Majorovs, Gunārs Kroņkalns  
*Latvijas Universitātes Fizikas institūts*

Vairākos magnētisko koloīdu potenciālajos pielietojumos, piemēram, magnētiskajā hipertermijā, svarīgu lomu spēlē nanodaļiņu difuzīvā un termodifuzīvā pārnese bioloģiskos audos. Lai novērtētu audu ietekmi uz pārnese intensitāti, darbā tika veikti nanodaļiņu difūzijas un termodifūzijas modelējoši pētījumi mehāniskā porainā vidē. Eksperimenti veikti plānā ar ferokoloīdu piesātinātā porainās vides slānī ar slēgtām robežām. Novērots, ka gan difūzijas, gan termodifūzijas koeficienti porainās vides ietekmē samazinās. Nanodaļiņu difūzijas koeficientu, acīmredzot ietekmē porainās vides turtozitate, kamēr termodifūzijas koeficienta izmaiņas porainā vidē nosaka termoosmotiskie procesi. Par to liecina nanodaļiņu Soret koeficienta samazināšanās (pat termodifuzīvās plūsmas virziena maiņa) palielinot brīvā surfaktanta koncentrāciju koloīdā.

## **TERMOPHORETIC TRANSPORT OF SURFACED MAGNETITE NANOPARTICLES IN POROUS A LAYER**

Elmars Blums, Viesturs Šints, Mihail Maiorov, Gunars Kronkalns  
*Institute of Physics, University of Latvia*

Important rule for some potential magnetic fluid applications (for example, magnetic hyperthermia) play diffusive and thermodiffusive transport of nanoparticles in biologic tissues. In order to examine the influence of tissues on the transport intensity, in present work there were performed model experiments on nanoparticle diffusion and thermodiffusion in chemically passive porous media. The measurements are performed employing a thin layer of porous media saturated with hydrocarbon based ferrocolloid. It is established that both the diffusion as well the thermodiffusion coefficients strongly decrease under the porous environment. The diffusion coefficient, obviously, depends on tortuosity of the porous media, whereas the changes in particle thermodiffusive transport are caused by originating of thermoosmotic fluxes inside the layer. An evidence of that is strong reduction of Soret coefficient (even change in particle flux direction) with increase of free surfactant concentration in the colloid.

The financial support of Latvian State Research Program IMIS-2 is greatly acknowledged.

## **PONDEROMOTORIE MAGNĒTISKIE SPĒKI MICRORHEOLOĢIJĀ UN MIKROFLUIDIKĀ**

Andrejs Cēbers, Artis Brasovs, Jānis Cīmurs, Kaspars Ērglis, Guntars Kitenbergs,  
Oksana Petričenko, Andrejs Tatuļčenkovs  
*Latvijas Universitātes Magnētisko mīksto materiālu laboratorija*

Referātā tiek atspoguļoti 2015. gada rezultāti magnētisko mīksto materiālu fizikā. Magnētisko mikrokonvekciju magnētiskā šķidrums Hele-Šou slāņos izsauc tā pašradītā magnētiskā lauka ponderomotoro spēku darbība [1]. Galvenie eksperimentālie šīs parādības pētījumu rezultāti labi atbilst teorētiskiem rezultātiem, iegūtiem Brinkmana modeļa tuvinājumā. Tajā skaitā atrasts, ka magnētisko pirkstu augšanas ātrums atkarībā no magnētiskā lauka intensitātes atbilst skaitliskiem rezultātiem, kuri iegūti Brinkmana modeļa tuvinājumā, turpretim Darsī modelis nedod dotās parādības kvantitatīvu aprakstu. Pētot mikrokonvekciju sliekšņa tuvumā noskaidrots, ka būtisku lomu spēlē gravitācijas izsuktās pretplūsmas, kuras noved pie palielinātas difūzijas frontes izsmērēšanās. Izmantojot magnētiskās microrheoloģijas metodi noskaidrota bioloģiskas izcelsmes gelu elastības atkarība no daudzvalentu katjonu koncentrācijas [2].

## **PONDEROMOTIVE MAGNETIC FORCES IN MICRORHEOLOGY AND MICROFLUIDICS**

Andrejs Cēbers, Artis Brasovs, Jānis Cīmurs, Kaspars Ērglis, Guntars Kitenbergs,  
Oksana Petričenko, Andrejs Tatuļčenkovs  
*University of Latvia, Laboratory of Magnetic soft materials*

Main results obtained in year 2015 are considered. Magnetic microconvection in Hele-Shaw cells is caused by the action of ponderomotive forces of self-magnetic field of magnetic fluid [1]. Experimental results of investigation of this phenomenon are in a good agreement with theoretical results obtained in the frame of Brinkman model. It is found that dependence of the velocity of fingers on the magnetic field strength corresponds well to numerical results obtained in the frame of Brinkman model contrary to the Darcy model which does not give good quantitative description. Investigation of microconvection near the threshold shows that important role play counter-flows caused by the action of gravity which enhance the smearing of the diffusion front.

By magnetic microrheology the dependence of elasticity of gels on concentration of multivalent cations is established [2].

1. G.Kitenbergs, A.Tatulcenkovs, K.Ērglis, O.Petrichenko, R.Perzynski and A.Cēbers. Magnetic field driven micro-convection in the Hele-Shaw cell: the Brinkman model and its comparison with experiment. *J.Fluid Mech.*, 2015, v.774, 170-191
2. A.Brasovs, J.Cimurs, K.Erglis, A.Zeltins, J.-F.Berret, A.Cebers. Magnetic microrods as tool for microrheology. *Soft Matter* – 2015, v.11, 2563-2569

**19. februāris**

**VALSTS PĒTĪJUMU  
PROGRAMMAS IMIS<sup>2</sup>  
REZULTĀTU APSPIEŠANA –  
STENDA REFERĀTI**

## **BREGA REŽĢA PARAMETRU NOTEIKŠANA DCM ATVASINĀJUMU/PVK LĀZERU IZVEIDOŠANAI**

Andris Pāvils Stikuts, Mārtiņš Narels, Aivars Vembris  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

DCM ir plaši izmantota organiska lāzeru krāsviela, taču DCM starpmolekulārā mijiedarbība pie lielām koncentrācijām veido agregātus, kas nelabvēlīgi ietekmē optiskās īpašības. Rīgas Tehniskajā universitātē tika sintezētas DWK-1, DWK-2, DWK-1TB, lai izvairītos no šī efekta. Sadalītās atgriezeniskās saites struktūra nodrošina augstu atstarošanas gaismai pie izvēlēta viļņa garuma, turklāt šo viļņa garumu var mainīt, mainot struktūras periodu. Lāzeram ar atgriezenisko sadalīto saiti raksturīga monohromātiska gaisma.

Darbā tika nomērīti biežumi ar rotējošā diska (spin-coating) metodi iegūtām plānām kārtiņām, ko veidoja dažādas koncentrācijas krāsvielas (DCM, DWK-1, DWK-2, DWK-1TB) PVK matricā. Izmantojot m-līniju (m-line) metodi tika noteikti plāno kārtiņu laušanas koeficienti pie gaismas viļņa garuma  $\lambda=632,5$  nm. Izmantojot Krāmēra – Kroniga sakarības un laušanas koeficientu pie zināma gaismas viļņa garuma, no plāno kārtiņu absorbcijas spektra tika noteikta kārtiņu laušanas koeficienta atkarība no gaismas viļņa garuma. Tika noteikts periods otrās kārtas sadalītai atgriezeniskās saites struktūrai (distributed feedback structure), kas nodrošinātu atstarotārošanos pie viļņa garuma, kas atbilst kārtiņas pastiprinātās spontānās emisijas maksimumam.

## **DETERMINATION OF BRAGG GRATING PARAMETERS FOR DCM DERIVATIVE/PVK LASERS**

Andris Pāvils Stikuts, Mārtiņš Narels, Aivars Vembris  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

DCM is a widely used organic laser dye, however, DCM intermolecular interactions at high concentrations create aggregates that negatively influence its optical properties. At Riga Technical University DWK-1, DWK-2, DWK-1TB have been synthesised to counter this effect. A distributed feedback (DFB) structure provides high reflection at a chosen wavelength. Moreover, this wavelength can be varied by changing the period of the structure. Monochromatic light is characteristic for a DFB laser.

Thickness of spin-coated thin films consisting of various concentrations of dye (DCM, DWK-1, DWK-2, DWK-1TB) in a PVK matrix were measured. Utilising the m-line method refractive indices of the thin films were determined at wavelength  $\lambda=632.5$  nm. From the absorption spectrum using Kramers-Kronig relations the refractive indices of the thin films were determined as a function of wavelength. The period of a DFB structure was determined for each film such that the light, whose wavelength coincides with the maximum of the amplified spontaneous emission spectrum of the thin film, is reflected.

## **SU-8 VIĻŅVADU PAGATAVOŠANA AR TIEŠĀ IERAKSTA LĀZERA LITOGRĀFIJAS TEHNIKU**

Elza Linīna, Edgars Nitišs, Andrejs Tokmakovs, Mārtiņš Rutkis  
*Latvijas Universitātes Cietvielu Fizikas institūts*

Gaismas viļņvadi ir integrēto optisko shēmu galvenie elementie, kas optiskajās shēmās pilda gaismas signāla pārvadīšanas funkciju. Viena no populārākajām metodēm, ko izmanto viļņvadu izgatavošanai uz dažādām pamatnēm, ir tiešā ieraksta lāzera litogrāfija. Šajā metodē gaismas viļņvadi tiek "ierakstīti" negatīvā rezistā ar fokusētu lāzera staru. Šobrīd Cietvielu Fizikas institūtā ar tiešā ieraksta lāzera litogrāfijas tehniku tiek izgatavoti optisko viļņvadu elementi no negatīva rezista SU-8. Referātā tiks demonstrēti optiskie viļņvadu elementi, kas izgatavoti ar submikrona precizitāti gan no tīra SU-8 rezista, gan arī no SU-8, kas satur nelineāri optiskus organiskus savienojumus, uz stikla pamatnes. Tiks skaidroti viļņvadu pagatavošanas soļi un to ietekme uz viļņvadu optisko kvalitāti un mehāniskajām īpašībām. Pētījums ir finansiāli atbalstīts VPP IMIS<sup>2</sup> 1. projekts "Fotonika un materiāli fotonikai" un Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Studentu un Jauno zinātnieku projekta Nr. SJZ2015/15 ietvaros.

## **PREPARATION OF SU-8 WAVEGUIDES USING THE DIRECT-WRITE LASER LITHOGRAPHY TECHNIQUE**

Elza Linina, Edgars Nitiss, Andrejs Tokmakovs, Martins Rutkis  
*Institute of Solid State Physics of University of Latvia*

Optical waveguides are the fundamental elements of optical integrated circuits and are responsible for guiding light signals in the circuits. One of the most popular methods used for the development of optical waveguides on various substrates, is the direct write laser lithography. In this method the waveguides are directly "written" into the negative resist with a focused laser beam. For several months now the Institute of Solid State physics owns this technology and various optical waveguide elements have been fabricated on SU-8 resist and tested.

In this presentation we will demonstrate the optical waveguides developed on glass substrates with a submicron precision using pure SU-8 and SU-8 doped with nonlinear optical molecules. We will report the waveguide preparation step and their influence on both optical and mechanical properties of SU-8 waveguides.

Financial support provided by NRP IMIS<sup>2</sup> 1. project "Photonics and materials for photonics" and by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/15 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

## DENDRONIZĒTU HROMOFORU SINTĒZE UN HOLOGRĀFISKAIS IERAKSTS HROMOFORUS SATUROŠĀ PARAUGĀ

Lauma Laipniece, Valdis Kampars, Andris Ozols, Pēteris Augustovs  
*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte*

Dendronu pievienošana hromofora molekulai var ievērojami mainīt materiāla īpašības. Sintezēti divi jauni dendronizēti azohromofori. Tie sastāv no 4'-[N-(2-hidroksietil)-N-metil]amino-2-(2-hidroksietoksi)-4-nitrozobenzola kodola, kura OH grupas ir esterificētas ar 3,5-dibenziloksibenzoskābi (savienojums LL75) un 3,5-bis(2,3,4,5,6-pentafluorbenziloksi)benzoskābi (savienojums LL82). Gaismas absorbcijas maksimumi CHCl<sub>3</sub> šķīdumā ir 479.1 nm savienojumam LL75 un 476.3 nm savienojumam LL82. Sagatavots trešais paraugs LL50/50, sajaucot savienojumus LL75 un LL82 ekvimolārās attiecībās.

Visiem paraugiem ir izmērītas pašdifrakcijas efektivitātes (SDE) atkarībā no ekspozīcijas laika ar *p-p* polarizētiem vienādas intensitātes 532 nm un 632.8 nm lāzeru stariem. Visu paraugu īpatnība bija ļoti ātra (<1s), gandrīz lēcienveida SDE pieaugums ekspozīcijas sākumā, kas sevišķi izteikts ir 532 nm gadījumā. Labākie hologrāfiskie parametri ir sasniegti LL50/50 paraugos pie 532 nm: SDE<sub>max</sub>=0.010%, īpatnējā ieraksta enerģija 5.1 J(cm<sup>2</sup>%). Ieraksta sākumā gaismas jutība acīmredzami ir daudz lielāka par minēto, taču tās noteikšanai ir nepieciešama lielāka laika izšķirtspēja nekā mūsu eksperimentos.

## SYNTHESIS OF DENDRONIZED CHROMOPHORES AND HOLOGRAPHIC RECORDING IN THE CHROMOPHORES CONTAINING SAMPLES

Lauma Laipniece, Valdis Kampars, Andris Ozols, Peteris Augustovs  
*Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

Attachment of dendrons to chromophore molecule can considerably change material's properties. Two new dendronized azochromophores were synthesized. They consisted of 4'-[N-(2-hydroxyethyl)-N-methyl]amino-2-(2-hydroxyethoxy)-4-nitrozobenzene core, which OH groups were esterified with 3,5-dibenzoyloxybenzoic acid (compound LL75) and 3,5-bis(2,3,4,5,6-pentafluorobenzoyloxy)benzoic acid (compound LL82). Light absorption maxima in CHCl<sub>3</sub> solution were 479.1 nm for compound LL75 and 476.3 nm for compound LL82. A third sample LL50/50 was prepared mixing compounds LL75 and LL82 together in equimolar proportions.

Self-diffraction efficiency (SDE) exposure time dependences have been measured for all samples by two equal intensity *p-p* polarized 532 nm and 632.8 nm laser beams. The distinct peculiarity of all samples was a very fast (<1s), almost jump-like initial SDE increase, especially in the 532 nm case. The best holographic parameters have been achieved in the case of LL50/50 samples at 532 nm: SDE<sub>max</sub>=0.010%, specific recording energy 5.1 J(cm<sup>2</sup>%). The initial photosensitivity, obviously, is much higher than mentioned. However, to measure it higher temporal resolution is necessary than in our experiments.



## DIMANTU SINTĒZE NO DAŽĀDIEM OĢĻŪDENĀŽU SAVIENOJUMIEM AR ĶĪMISKĀS TVAIKU IZSĒDINĀŠANAS METODI

Ēriks Elksnis<sup>1</sup>, Arturs Vīksna<sup>1</sup>, Atis Skudra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultāte

<sup>2</sup>Latvijas Universitātes Atomfizikas un spektroskopijas institūts

Mūsu pētījuma mērķis ir saistīts ar dimanta sintēzei paredzēto līdzstrāvas plazmas ķīmisko tvaiku nogulsnešanas iekārtu, kas darbojas pazeminātā spiedienā, pētniecību, izstrādi un optimizāciju, apskatot sintēzes procesus pie dažādiem spiedienu parametriem, dažādiem substrāta materiāliem, to priekšapstrādes metodēm, kā oglekļa avotu lietojot dažādus oĢļūdenāžus un to maisījumus.

Pēdējo gadu laikā dimanta sintēzes procesu nodrošināšanai ir tikušas izstrādātas un pētītas dažādas plazmas ķīmisko tvaiku nogulsnešanas metodes, kas darbojas pazeminātā spiediena apstākļos. Šīs metodes ir ļāvušas izstrādāt dažādas metodes un variācijas dimanta sintēzes procesiem, atkarībā no vēlamā iegūstamā gala produkta un tā vēlamajām īpašībām. Tomēr šos procesus ir nepieciešams labāk izprast, uzlabot un padarīt rentablākus.

Šī darba ietvaros tika izmantota 2kW līdzstrāvas plazmas izlādes iekārta ar mērķi sintezēt dimanta pārklājumus, kā arī dimanta mono kristālus no ūdenāža-ogļūdenāžu sistēmām, pētīt metanola, etanola, acetona un dažādu šo vielu maisījumu attiecību izmantošanu, kā oglekļa avotu dimanta sintēzes procesos.

## DIAMOND SYNTHESIS USING PLASMA CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION METHOD WITH DIFFERENT HYDROCARBON PRECURSORS

Ēriks Elksnis<sup>1</sup>, Arturs Vīksna<sup>1</sup>, Atis Skudra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Chemistry, University of Latvia

<sup>2</sup>Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, University of Latvia

Our work is concerned with the preparation, investigation and optimisation of low pressure DC plasma chemical vapour deposition systems for diamond synthesis at different pressure conditions on different substrate materials and substrate pre-treatment methods using different hydrocarbon precursors.

A variety of chemical vapour deposition (CVD) methods have been developed over the last years to obtain layer of diamond at low pressure. These methods have led to many applications taking advantage of the exceptional properties of a diamond. However, their properties have to be improved and operational costs reduced.

In this work we used 2kW DC plasma discharge system in order to deposit diamond films and single crystal particles from hydrocarbon-hydrogen system exploring effect of methanol, ethanol, acetone and various mixture ratios of those hydrocarbons as carbon sources in diamond synthesis process.

The financial support of IMIS<sup>2</sup> project is greatly acknowledged.

## LĀZERA STARA FOTOINDUCĒTAIS DIHROISMS $\text{As}_{45}\text{Se}_{15}\text{S}_{40}$ KĀRTIŅĀS

Everita Vīna

*Fizikas un matemātikas fakultāte, LU*

Šajā darbā tika pētīts gaismas ar viļņa garumu  $\lambda = 635 \mu\text{m}$  inducēts lineārais dihroisms plānās ( $\sim 2 \mu\text{m} < d \sim 6 \mu\text{m}$ )  $\text{As}_{45}\text{Se}_{15}\text{S}_{40}$  kārtiņās. Shēmā tika izmantota divu staru sistēma – lāzera stars tika sadalīts divās daļās, un ar polarizācijas plāksnītēm un kubiņiem tika panākta lineāra, savstarpēji perpendikulāra staru polarizācija. Spēcīgākais stars ar jaudu  $P_{\parallel} \approx 25 \text{ mW}$  bija ierosinošais stars. Vājākais, perpendikulāri polarizētais stars  $P_{\perp} \approx 60 \mu\text{W}$  tika izmantots kā nolasošais stars. Paraugu caurlaidības mērījumu rezultātu analīze ļauj secināt, ka  $\text{As}_{45}\text{Se}_{15}\text{S}_{40}$  kārtiņās novērojams, kaut arī neliels, fotoinducētais dihroisms.

## LASER BEAM PHOTOINDUCED DICHROISM IN $\text{As}_{45}\text{Se}_{15}\text{S}_{40}$ FILMS

Everita Vīna

*Faculty of Physics and Mathematics, UL*

Laser beam  $\lambda = 635 \mu\text{m}$  stimulated linear dichroism in thin  $\text{As}_{45}\text{Se}_{15}\text{S}_{40}$  films was studied. The two beam system was used - the laser beam was split in two. Using polarization plates and cubes mutually orthogonally polarization of beams was achieved. More intense beam with  $P_{\parallel} \approx 25 \text{ mW}$  as pump beam was used. The weaker, perpendicularly oriented beam with  $P_{\perp} \approx 60 \mu\text{W}$  was for recording. The analysis of achieved results suggests, that the photo-induced dichroism in  $\text{As}_{45}\text{Se}_{15}\text{S}_{40}$  films take place, although it is small enough.

## LUMINISCENCES PROCESI NaLaF<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup>

Jurģis Grūbe

*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Dažādos materiālos, kas aktivēti ar Tm<sup>3+</sup> un Yb<sup>3+</sup>, ierosinot ar infrasarkanu starojumu ir iespējams novērot augšup-pārveidoto luminiscenci ultravioletā spektra apgabalā. Augšup-pārveidotās luminiscences ierosināšana norisinās pateicoties retzemju jonu savstarpējai mijiedarbībai, kā rezultātā ierosmes enerģija no viena jona tiek pārdota tālāk otram jonam, ierosinot to stāvoklī ar lielāku enerģiju. Daudzos zinātniskajos darbos, piemēram, NaYF<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>, tiek minēts, ka, lai ierosinātu Tm<sup>3+</sup> stāvokļus ar lielāku enerģiju, no kuriem ir iespējams novērot luminiscences joslas ultravioletajā spektra apgabalā, ir nepieciešama enerģijas pārdeve starp diviem tūlija joniem. Šajā darbā tiks apskatīts, vai NaLaF<sub>4</sub> Tm<sup>3+</sup> savstarpējā mijiedarbības rezultātā ir iespējams ierosināt Tm<sup>3+</sup> stāvokļus ar lielāku enerģiju.

Darba gaitā sintezēti NaLaF<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup> paraugi ar dažādām Tm<sup>3+</sup> koncentrācijām: 0.01, 0.1, 0.5, 1 un 2 mol%.

Paraugus, ierosinot ar dažādiem ierosmes starojuma viļņa garumiem, tika novērotas Tm<sup>3+</sup> jonam raksturīgās luminiscences joslas ultravioletajā, redzamajā un infrasarkanajā spektra apgabalā. Paraugos ar dažādām Tm<sup>3+</sup> koncentrācijām tika salīdzināti luminiscences spektru un luminiscences kinētikas, lai varētu spriest par tūlija jonu savstarpējo mijiedarbību.

Apkopojot rezultātus, tika izdarīti secinājumi par Tm<sup>3+</sup> koncentrācijas ietekmi uz NaLaF<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup> materiāla optiskajām īpašībām.

## LUMINESCENCES PROCESSES IN NaLaF<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup>

Jurģis Grube

*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

In different kind of materials doped with Tm<sup>3+</sup> and Yb<sup>3+</sup> after excitation with infrared light ultraviolet up-conversion luminescence can be observed. Up-conversion excitation appears due to rare-earth interaction as result excitation energy from one ion is transfer to other ion which is excited into higher energy state. In many scientific papers, for example about NaYF<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>, there are proposed energy transfer mechanisms between thulium ions which results in excitation of Tm<sup>3+</sup> higher energy state from which ultraviolet luminescence is observed. In this work it will be shown whether in NaLaF<sub>4</sub> Tm<sup>3+</sup> interaction could leads to excitation of Tm<sup>3+</sup> higher states.

In this work NaLaF<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup> samples with 0.01, 0.1, 0.5, 1 and 2 mol% Tm<sup>3+</sup> were synthesized.

After excitation with various wavelength characteristic Tm<sup>3+</sup> luminescence bands in the ultraviolet, visible and infrared spectral regions were observed. For the samples with different Tm<sup>3+</sup> concentration luminescence spectra and luminescence decay kinetics were compared analyzed to thulium ion interaction.

Based on the experimental results the impact of Tm<sup>3+</sup> concentration on the optical properties of NaLaF<sub>4</sub>:Tm<sup>3+</sup> is discussed.

Financial support provided by Scientific Research Project for Students and Young Researchers Nr. SJZ2015/23 realized at the Institute of Solid State Physics, University of Latvia is greatly acknowledged.

## ĀTRO <sup>12</sup>C JONU RADĪTO LINEĀRO DEFEKTU IZPĒTE LiF, IZMANTOJOT NANOINDENTĒŠANU UN ATOMSPĒKU MIKROSKOPIJU

Rolands Grants, Roberts Zabels, Ilze Manika  
*Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Pētītas struktūras izmaiņas LiF monokristālos, apstarojot tos ar vieglajiem <sup>12</sup>C joniem, kuru trekos atšķirībā no smagajiem joniem neveidojas specifiskie serdes defekti. Izmantoti joni ar 5 līdz 133 MeV enerģiju un iespiešanās dziļumu no 4.2 līdz 250 μm. Pārsniedzot sliekšņa fluenci 10<sup>11</sup> joni/cm<sup>2</sup>, visos paraugos novērojams būtisks (līdz ~120%) cietības pieaugums, kas saistāms ar eksperimentos novēroto dislokāciju kustīguma samazināšanos apstarošanas radītu makrodefektu (dislokācijas u.c.) uzkrāšanās rezultātā. Dislokāciju klātbūtni gan uz apstarotās virsmas, gan uz skaldīšanas ceļā iegūtām profila virsmām apliecina struktūras pētījumi, izmantojot ķīmiskās kodināšanas un ASM metodes. Cietības izmaiņas gar jonu trajektoriju korelē ar elektronisko enerģijas zudumu izmaiņām. Apstarojot ar 133 MeV enerģijas joniem, novērots cietināšanās efekts arī apgabalā aiz jonu iespiešanās dziļuma, ko var saistīt ar līdzīgu efektu krāsu centru veidošanā un kura iespējamais cēlonis ir <sup>12</sup>C jonu kodolreakcija ar litiju, kurā rodas <sup>14</sup>C izotops un tiek emitēts β<sup>-</sup> starojums. Joniem ar zemāku enerģiju cietināšanās efekts ārpus apstarotās zonas netika novērots.

## NANOINDENTATION AND AFM STUDY OF DEPTH-DEPENDENT DAMAGE IN LiF IRRADIATED WITH SWIFT <sup>12</sup>C IONS

Rolands Grants, Roberts Zabels, Ilze Manika  
*Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

The structural change in LiF crystals irradiated with light <sup>12</sup>C ions, for which in contrast to heavy ions, tracks do not contain the specific core damage, has been investigated. For the irradiation, ions with energies of 5 to 133 MeV with corresponding ion ranges from 4.2 to 250 μm were chosen. When a threshold fluence of around 10<sup>11</sup> ions/cm<sup>2</sup> is surpassed, a substantial hardening effect (up to ~120%) can be observed in all samples. It is related to the observed reduction in dislocation mobility which occurs due to accumulation of radiation induced extended defects (dislocations, etc.). The presence of irradiation caused dislocations is confirmed by structural investigation using chemical etching and AFM on the irradiated surface as well as on profile surfaces obtained by cleaving the samples along the direction of the ion beam. In the changes of hardness along the ion track a correlation with the electronic ion energy loss can be observed. After irradiation with 133 MeV ions, hardening has been observed also beyond the ion range which can be related to a similar effect in the production of color centers, the possible cause of which might be a nuclear reaction between <sup>12</sup>C ions and lithium, the result of which is the formation of <sup>14</sup>C isotope and the emission of β<sup>-</sup> radiation. For ions with lower energies the hardening effect beyond the ion range has not been observed.

## BISMUTA SELENĪDA NANOSTRUKTURĒTO FUNKCIONĀLO PĀRKLĀJUMU SINTĒZE UZ DAŽĀDĀM PAMATNĒM UN TO PERSPEKTĪVIE PIELIETOJUMI

Margarita Baitimirova<sup>1,2</sup>, Jana Andžāne<sup>1</sup>, Gvido Pētersons<sup>1,2</sup>, Donāts Erts<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Ķīmiskās fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Ķīmijas fakultāte, Latvijas Universitāte*

Bismuta selenīds ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) ir pusvadītājs, kuram piemīt izteiktās topoloģiskā izolatora un termoelektriskās īpašības. Salīdzinot ar tilpuma materiālu, nanostrukturētajam bismuta selenīdam piemīt šīs īpašības ir izteiktākas.

Bismuta selenīda nanostrukturēti funkcionālie pārklājumi ar bezkatalizatora fizikālo tvaiku nogulsnešanas metodi tika sintezēti uz dažādām pamatnēm – stikls, indija alvas oksīds, grafēns. Atkarībā no pamatnes tipa tika iegūtas brīvi stāvošas nanolentes, pārklājumi no atsevišķām haotiski orientētām nanoplāksnītēm un lokanām nanolentēm, un pārklājumi no epitaksiāli augošām nanoplāksnītēm ar vienmērīgi izkļiedētām plāksnītēm, orientētām dažādos leņķos pret virsmu. Iegūto nanostrukturēto materiālu forma, blīvums uz virsmas, ķīmiskais sastāvs un kristāliskā struktūra tika analizēta ar SEM, AFM, EDX un TEM. Noteiktie uz grafēna sintezēto nanoplāksnīšu leņķi attiecībā pret virsmu tika salīdzināti ar galvenām stehiometriskā  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  kristallografiskām plaknēm. Tika pētīti iegūto nanostrukturēto funkcionālo pārklājumu iespējamie pielietojumi termoelektriskās ierīcēs un infrasarkanajos detektoros.

## SUBSTRATE-DEPENDENT SYNTHESIS AND APPLICATIONS OF NANOSTRUCTURED BISMUTH SELENIDE FUNCTIONAL COATINGS

Margarita Baitimirova<sup>1,2</sup>, Jana Andzane<sup>1</sup>, Gvido Petersons<sup>1,2</sup>, Donats Erts<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Chemical Physics*

<sup>2</sup>*Department of Chemistry, University of Latvia*

Bismuth selenide ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) is known as a semiconductor with pronounced topological insulator and thermoelectrical properties. In comparison with bulk material, nanostructured bismuth selenide demonstrate enhanced efficiency of these properties. In this work nanostructured bismuth selenide functional coatings were synthesized by catalyst-free solid-vapor deposition method on various substrates – glass, indium tin oxide and graphene. The coating structure depends on the substrate type and may consist of free-standing nanobelts, separate randomly oriented nanoplates and flexible nanobelts, and heteroepitaxially grown nanoplates uniformly interspersed with non-planar nanoplates. The shape, density, chemical composition and crystalline structure of elements of the synthesized nanostructured coatings were analyzed using SEM, AFM, EDX and TEM techniques. The slope angles of non-planar nanoplates of functional coatings synthesized on graphene were compared to the main crystallographic planes of XRD pattern of stoichiometric  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ . The possibility of application of the fabricated functional coatings in optoelectronic, infrared and thermoelectrical self-powering detectors was studied.

## MITRUMA IETEKME UZ $\text{Bi}_2\text{S}_3$ NANOVAĀDU VADĪTSPĒJU

Raimonds Meija<sup>1</sup>, Gunta Kunakova<sup>1</sup>, Jeļena Kosmača<sup>1</sup>, Justin D Holmes<sup>2</sup>, Donats Erts<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Ķīmiskās fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Ķīmijas fakultāte, Korkas universitāšu koledža, Īrija*

Pusvadītāju nanovadiem ir liela virsmas laukuma/tilpuma attiecība un Debaja ekranēšanas garums var būt salīdzināms ar to rādus. Tāpēc virsmas efekti nanostruktūrās var būt galvenie nanovadu elektrovadāmību ietekmējošie faktori. Šī iemesla dēļ nanostruktūras tiek virzītas kā nākotnes vides sensori, kurie ir augsta jutība virsmas attiecības dēļ un energoefektīvi pateicoties mazajam izmēram [1].

Šajā darbā mēs prezentējam porainās anodizētās alumīnija oksīda (AAO) matricās audzētu  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  nanovadu elektriskās īpašību atkarību no apkārtējās vides relatīvā mitruma. Tika noteikts, ka  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  nanovadi var mainīt savu veidu no p-tipa uz n-tipu un atpakaļ atkarībā no ūdens koncentrācijas apkārtējā vidē.

1. N.S. Ramgir, Y. Yang, M. Zacharias, Small, 6, 1705, 2010

## $\text{Bi}_2\text{S}_3$ NANOWIRE'S ELECTRICAL RESPONSE TO HUMIDITY OF AMBIENT GAS

Raimonds Meija<sup>1</sup>, Gunta Kunakova<sup>1</sup>, Jeļena Kosmaca<sup>1</sup>, Justin D Holmes<sup>2</sup>, Donats Erts<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*University of Latvia, Institute of Chemical Physics*

<sup>2</sup>*Department of Chemistry, Cork University Colledge, Ireland*

Nanostructures have been promoted as perspective active elements for various sensor applications [1]. Because of the large surface/volume ratio and Debay screening length may be comparable with their radii surface effects may play the dominant role in the overall electrical conductivity in semiconductor nanowires.

In this work we present humidity inflicted changes of  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  nanowire's electrical properties. It was found that  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  nanowires can change from p-type to n-type and vice versa depending on concentration of water in carrier gas.

1. N.S. Ramgir, Y. Yang, M. Zacharias, Small, 6, 1705, 2010

## NANOKOMPOZĪTU SINTĒZE ZnO-Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/Ag SISTĒMĀ UN TO FOTOKATALĪTISKĀ AKTIVITĀTE

Jānis Grabis, Anita Letlena, Dzintra Rašmane, Aija Krūmiņa  
*Rīgas Tehniskā universitāte, Neorganiskās ķīmijas institūts*

Īpašo elektrisko un optisko raksturlielumu dēļ cinka oksīda un cinka stanāta nanodaļiņas, kā arī to kompozīti ir plaši lietojami saules baterijās, Saules starojuma uztvērējos, fotokatalīzē organiskā piesārņojuma sadalīšanai.

Veiktā pētījuma mērķis bija izstrādāt mikroviļņu sintēzes metodiku un iegūt nanokompozītus ar dažādu komponentu sastāvu ZnO-Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/Ag sistēmā, kā arī noteikt to fotokatalītisko aktivitāti, sadalot metilēna zilā šķīdumu.

ZnO-Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/Ag sistēmas nanodaļiņas tika iegūtas no sāļu šķīdumiem mikroviļņu reaktorā (Masterwave BTR, Anton Paar) 160–180 °C temperatūrā. Iegūto nanokompozītu īpatnējā virsma bija 19–28 m<sup>2</sup>/g atkarībā no kompozītu fāžu sastāva. Oksīdu un sudraba nanodaļiņu lielums attiecīgi bija 30–60 nm un 30–70 nm. Nanopulverus veidoja tetrapodu formas un stienveidīgas cinka oksīda daļiņas un kubiskas cinka stanāta daļiņas. Sudraba daļiņas atradās uz oksīda virsmas.

Kompozītu fotokatalītiskā aktivitāte bija atkarīga no komponentu attiecības un sudraba daudzuma un kristalītu lieluma. Vislielākā fotokatalītiskā aktivitāte piemita ZnO/Ag, ZnO-Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/Ag nanokompozītiem.

## MICROWAVE SYNTHESIS OF NANOCOMPOSITES IN ZnO-Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/Ag SYSTEM AND THEIR PHOTOCATALYTIC ACTIVITY

Jānis Grabis, Anita Letlena, Dzintra Rašmane, Aija Krūmiņa  
*Institute of Inorganic Chemistry, Riga Technical University*

Zinc oxide and zinc stannate nanoparticles as well as their composites due to their attractive electrical and optical parameters are promising candidates for a wide range of application in solar cells, sensors, photocatalysis for the degradation of organic pollutants.

The aim of the present work was to prepare particulate nanocomposites with different content of the components in the ZnO-Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/Ag system by using microwave synthesis and to compare their photocatalytic activity in degradation of methylene blue solution.

ZnO-Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/Ag system nanoparticles were prepared by heating mixtures of the salt solutions in microwave reactor (Masterwave BTR, Anton Paar) at 160–180 °C. The specific surface area of the prepared nanocomposites was in the range of 19–28 m<sup>2</sup>/g in the dependence on the phase composition. Crystallite size of the oxides and Ag particles was in the range of 30–60 nm and 30–70 nm, respectively. The powders were composed of tetra-pod shaped or rod-like particles of ZnO and cubic particles of Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>. The silver particles were situated on the surface of oxides.

The photocatalytic activity depended on ratio of the components, content and crystallite size of Ag. The highest photoactivity showed ZnO/Ag, ZnO-Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/Ag.

The research was supported by Latvian National Research Program IMIS<sup>2</sup>.

## MODIFICĒTU TiO<sub>2</sub> NANOŠĶIEDRU SINTĒZE UN TO FOTOKATALĪTISKĀ AKTIVITĀTE

Reinis Drunka, Jānis Grabis, Dzidra Jankoviča, Aija Krūmiņa, Dzintra Rašmane  
*Rīgas Tehniskās universitātes Neorganiskās ķīmijas institūts*

Titāna dioksīds ir viens no šobrīd plašāk pētītajiem fotokatalizatoru materiāliem. Savu ķīmisko un fizikālo īpašību dēļ tas rod plašu pielietojumu gan enerģētikas, gan vides aizsardzības problēmu risināšanā. Tīra TiO<sub>2</sub> fotokatalītiskā aktivitāte ir pietiekami augsta tikai UV starojumā, tāpēc nepieciešams to modificēt, lai fotokatalizators būtu lietojams arī redzamās gaismas starojuma joslā. Perspektīva ir nanostrukturētu TiO<sub>2</sub> fotokatalizatoru ar lielu īpatnējo virsmas laukumu modificēšana ar cēlmetāliem, kas ievērojami ļauj uzlabot fotokatalītisko aktivitāti.

TiO<sub>2</sub> nanošķiedras iegūva 10M KOH šķīdumā, lietojot mikroviļņu sintēzes metodi. Ar zeltu modificētu TiO<sub>2</sub> nanošķiedras iegūtas izmantojot ķīmiskās izgulsnēšanas metodi. Individuālu nanovadu diametrs ir sākot no 5nm, bet nanošķiedras īpatnējās virsmas laukums sasniedz 129m<sup>2</sup>/g. Fotokatalītiskās īpašības pārbaudītas, sadalot metilēnzilā ūdens šķīdumu UV un redzamās gaismas starojumu ietekmē. Iegūtie fotokatalizatori ir ar līdz pat 48% augstāku fotokatalītisko aktivitāti UV starojumā un ar līdz 13% augstāku fotokatalītisko aktivitāti redzamās gaismas starojumā salīdzinājumā ar nemodificētām TiO<sub>2</sub> nanocaurulītēm. Augstāko fotokatalītisko aktivitāti uzrāda ar zeltu modificēti TiO<sub>2</sub> nanošķiedru paraugi, kuru sastāvā ir 4,8% zelta.

## SYNTHESIS AND MODIFICATION OF TiO<sub>2</sub> NANOFIBERS AND THEIR PHOTOCATALYTIC PROPERTIES

Reinis Drunka, Janis Grabis, Dzidra Jankovica, Aija Krumina, Dzintra Rasmane  
*Institute of Inorganic Chemistry, Riga Technical University*

Titanium dioxide is one of most widely studied photocatalyst material currently. Because of its chemical and physical properties it has a broad range of applications to solve problems in energetics and environmental protection. Photocatalytic properties of pure TiO<sub>2</sub> are high enough only under UV radiation, it must be modified to be used in a radiation zone of visible light. Nanostructured TiO<sub>2</sub> photocatalysts with high specific surface area modification with precious metal particles allows to significantly improve photocatalytic properties.

TiO<sub>2</sub> nanofibers were obtained by using microwave assisted synthesis in solution containing 10M KOH. Chemical deposition method was used to obtain gold modified TiO<sub>2</sub> nanofibers. As prepared TiO<sub>2</sub> nanofibres were with a diameter of 5nm and with specific surface area up to 129m<sup>2</sup>/g. Photocatalytic properties were tested by degradation of methylene blue solution on the influence of UV and visible light radiation. Obtained photocatalysts were with up to 48% higher photocatalytical activity under UV irradiation and up to 13% under visible light radiation with respect to pure TiO<sub>2</sub> nanofibers. Modified TiO<sub>2</sub> nanofibers containing 4.8% gold have shown the highest photocatalytic activity.

The financial support of government research program project IMIS<sup>2</sup> is greatly acknowledged.



## MAZSLĀŅU GRAFĒNA AUGŠANAS MEHĀNISMI UZ KATALIZĀTORA VIRSMAS

Valentīns Grehovs<sup>1</sup>, Janis Kalnacs<sup>1</sup>, Anatolijs Mišņevs<sup>2</sup>, Kārlis Kundziņš<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Fizikālās Enerģētikas institūts*

<sup>2</sup> *Latvijas Organiskās Sintēzes institūts*

<sup>3</sup> *Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts*

Brīvi izvietota grafēnu materiāla iegūšanai izmantota oglekļa dozēta jaukšana ar niķeļa pulveri un maisījuma izkarsēšana līdz 900 – 1000 °C, pēc tam to atdzesējot līdz istabas temperatūrai. Dzesēšanas procesa laikā izveidojies grafēna materiāla slānis iegūts, nokodinot metālu. Iegūtais grafēna materiāls pētīts ar augstas izšķiršanas transmisijas mikroskopu, skenējošo elektronu mikroskopu un rentgendifrakciju. Ar šādu metodi varēja pārvērst grafēnā lielāko daļu no izmantotā oglekļa.

Struktūras ziņā iegūtie slāņi bija nanokristāliski ar graudu izmēriem 1–10 μm.

Parādīts ka speciālā režīmā atkvēlinot katalizatora – oglekļa maisījumu grafēna augšanas mehānisms ir saistīts ar 8 – 10 nm lielu pakāpienu eksistenci uz metāla pulvera graudiem.

Skenējošās un transmisijas elektronu mikroskopijas attēlu analīze un rentgenstaru difrakcija parāda, ka ar šādu metodi iespējams iegūt grafēna materiālus ar 1 līdz 50 grafēna kārtiņām.

*Darbs veikts valsts pētījumu programmas 2014 – 2017 “Daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijas” finansējuma ietvaros.*

## FEW LAYER GRAPHENE GROW MECHANISMS ON KATALISATOR SURFACE

Valentins Grehovs<sup>1</sup>, Janis Kalnacs<sup>1</sup>, Anatolijs Mišņevs<sup>2</sup>, Kārlis Kundziņš<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Physical Energetics*

<sup>2</sup> *Latvian Institute of Organic Synthesis*

<sup>3</sup> *Institute of Solid State Physics, University of Latvia*

For graphenic carbon materials (GCM) production a special nickel-carbon powders mixture was heated in inert atmosphere to a temperature of 900–1000°C and cooled to room temperature (RT). The carbon material was extracted from the mixture and studied using scanning (SEM) and X-ray diffraction (XRD). By such preparation, a significant portion of the carbon material was transformed into GCM.

Acquired GCM was few or multilayers nanocrystalline sheets with a size of crystallites about of 1–10 nm. For special mode of annealing for Ni-C mixture, it has been shown that the mechanism of growth is associated with the grain boundaries of crystallites having a steps about 8–10 nm.

SEM and TEM images analyse and XRD measurements show, that method allowe to get graphenic materials with graphene sheet thicknesses 1 – 50 layers.

*The present research has been supported by the National Research Programme for 2014–2017 “Multifunctional Materials and Composites, Photonics and Nanotechnologies”.*

## SŪKĻVEIDA GRAFĒNA IEGŪŠANA UN ĪPAŠĪBAS

Valentīns Grehovs<sup>1</sup>, Janis Kalnacs<sup>1</sup>, Anatolijs Mišņevs<sup>2</sup>, Kārlis Kundziņš<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fizikālās Enerģētikas institūts

<sup>2</sup>Latvijas Organiskās Sintēzes institūts

<sup>3</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

Grafēna materiāla iegūšanai izmantota oglekļa dozēta jaukšana ar niķeļa pulveri un maisījuma izkarsēšana līdz 900 – 1000 °C, pēc tam to atdzesējot līdz istabas temperatūrai. Dzesēšanas procesa laikā izveidojies grafēna materiāla slānis iegūts, nokodinot metālu. Iegūtais grafēna materiāls pētīts ar augstas izšķiršanas transmisijas mikroskopu, skenējošo elektronu mikroskopu un rentgendifrakciju.

Pētījuma mērķis bija izstrādāt vienkāršu, viegli realizējamu metodi brīvi izvietota grafēna materiāla iegūšanai, sastāvoša no grafēna slāņa ar sūkļa morfologiju no dažu grafēna slāņu biezuma kristalītiem. Mērķis ir sasniegts, izmantojot speciālu atļaidināšanas režīmu un žāvēšanu sasaldējot.

Iegūtie slāņi bija dažu grafēna slāņu nanokristāliski ar grauda izmēru 1 līdz 10 nm. Elektronu mikroskopijas attēli un rentgenstaru difrakcija parāda, ka ar izstrādāto metodi var iegūt grafēna materiālu ar sūkļa morfologiju un 1 - 3 grafēna slāņu biezumu.

*Darbs veikts valsts pētījumu programmas 2014 – 2017 “Daudzfunkcionālie materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijas” finansējuma ietvaros.*

## SPONGE GRAPHENE PRODUCTION AND PROPERTIES

Valentīns Grehovs<sup>1</sup>, Janis Kalnacs<sup>1</sup>, Anatolijs Mišņevs<sup>2</sup>, Karlis Kundziņš<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physical Energetics

<sup>2</sup>Latvian Institute of Organic Synthesis

<sup>3</sup>Institute of Solid State Physics, University of Latvia

Graphenic carbon material (GCM) produced from nickel-carbon powders mixture after heating in inert atmosphere to a temperature of 900–1000°C and cooling to room temperature (RT). The carbon material was extracted from the mixture and studied using scanning (SEM) transmission electron microscopy and X-ray diffraction (XRD).

The objective of the present research was to elaborate a simple and available method for production free standing (GCM) with sponge morphology from a few graphene layers. Aim is realised by special annealing regime and freasing drying.

Acquired GCM was few layers nanocrystalline sheets with a size of crystallites about of 1–10 nm. SEM and TEM images analyse and XRD measurements show, that method allowe to get graphenic materials with sponge morphology and graphene sheet thicknesses 1 – 3 layers.

*The present research has been supported by the National Research Programme for 2014–2017 “Multifunctional Materials and Composites, Photonics and Nanotechnologies”.*

## Zn NANODAĻIŅU VEIDOŠANA ZnO KRISTĀLĀ AR Nd:YAG LĀZERA STAROJUMU: EKSPERIMENTS, MODELIS UN PIELIETOJUMS

Artūrs Medvids, Pāvels Onufrijevs, Edvīns Daukšta

*Tehniskās fizikas institūts, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte, Rīgas Tehniskā Universitāte*

Tika parādīta iespēja ar Nd:YAG lāzera starojumu vadīt ZnO kristāla elektrovadītspēju un optiskās īpašības, tādas kā: fotoluminiscence un optiskā caurlaidība. Tika novērota piekārtēja ZnO kristāla vadītspējas palielināšanās pēc apstarošanas ar lāzeru ar intensitāti  $I_{th1} = 3.2 \text{ MW/cm}^2$ . Vienlaicīgi fotoluminiscence spektros tika konstatēts brīvo eksitonu intensitātes pieaugums un dziļā līmeņa emisijas joslas intensitātes samazināšanās. Šie rezultāti liecina par ZnO kristāla kvalitātes uzlabošanos. Tas nozīmē, ka lāzera starojums ar intensitāti  $I_{th1} = 3.2 \text{ MW/cm}^2$  ir pirmais lāzera intensitātes sliekšnis, pie kura ZnO kristāla kvalitāte sāk pasliktināties. Palielinot lāzera starojuma intensitāti virs  $I_{th2} = 212.0 \text{ MW/cm}^2$ , uz apstarotas virsmas novērota plaisu veidošanās. Pie tam ZnO vadītspēja turpina palielināties un pārsniedz sākotnējo vērtību 300 reizes. Šī lāzera starojuma intensitāte ir ZnO kristāla bojājumu otrais sliekšnis. Kopējā fotoluminiscences intensitāte strauji samazinās, it īpaši ap plaisām. Turpmākā lāzera starojuma intensitātes palielināšana līdz  $I_{th3} = 290.0 \text{ MW/cm}^2$  noved pie "melnā ZnO" veidošanās uz apstarotas kristāla virsmas, ko var redzēt ar neapbruņotu aci. To izraisa Zn nanodaļiņu veidošanās ar diametru 40 nm. ZnO kristāla optisko un elektrisko īpašību izmaiņas pēc apstarošanas ar Nd:YAG lāzera starojumu var izskaidrot ar telpisku Zn starpmezglu atomu ģenerāciju un pārdali. "Melns ZnO" veidojas tādēļ, ka pie noteiktas Zn starpmezglu atomu koncentrācijas notiek to aglomerācija.

## FORMATION OF Zn NANOPARTICLES IN ZnO CRYSTAL BY Nd:YAG LASER RADIATION: EXPERIMENTS, MODEL AND APPLICATION

Artūrs Medvids, Pāvels Onufrijevs, Edvīns Daukšta

*Institute of Technical Physics, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

The increase of ZnO single crystal conductivity up to 270 times after irradiation by Nd:YAG laser was observed. At the same time, the improvement of ZnO crystal quality by laser intensity  $3.2 \text{ MW/cm}^2$  takes place. The further increase of laser intensity led to emergence of cracks on the irradiated surface of the crystal. At the laser intensity  $290.0 \text{ MW/cm}^2$  Zn nanoparticles were formed. The formation mechanism of Zn nanoparticles by the laser is explained by Thermogradient effect. According to the effect, laser radiation leads to generation and redistribution of point defects. In our case, the generation of zinc interstitials ( $Zn_i$ ) and zinc vacancies ( $V_{Zn}$ ) pairs takes place. It is explained by low formation energy of these defects in ZnO crystal in comparison to other native point defects. Therefore, it is more likely that during irradiation  $V_{Zn}$  and  $Zn_i$  are formed. The gradient of temperature field induced by laser radiation leads to redistribution of the point defects and the drift of  $Zn_i$  atoms to the irradiated surface of the sample takes place. This was proved by huge increase of electrical conductivity up to 300 times. Moreover, the topography change was not observed till laser intensity  $290.0 \text{ MW/cm}^2$ . The increase of  $Zn_i$  atoms' concentration at the irradiated surface of the sample at certain concentration leads to the agglomeration of  $Zn_i$  atoms forming Zn nanoparticles. The work was supported by Latvian National Research Programme in Materials Science (IMIS<sup>2</sup>) (2014-2017).

## ANIZODIAMETERISKAS PILDVIELAS SATUROŠU POLIMĒRU NANOKOMPOZĪTU ELASTISKO ĪPAŠĪBU MODELĒŠANA

Roberts Maksimovs<sup>1</sup>, Juris Jansons<sup>1</sup>, Tatjana Ivanova<sup>2</sup>, Remo Merijs Meri<sup>2</sup>, Jānis Zicāns<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Latvijas Universitātes Materiālu mehānikas institūts*

<sup>2</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes  
Polimērmateriālu institūts*

Dažādas formas anizodiametriskas pildvielas saturošu termoplastisku polimēru kompozītu elastiskās un šķīdes īpašības prognozētas ievērojot gan nanokompozītu, gan pašu nanodaļiņu struktūras specifiku.

Parādīts, ka nanokompozītu elastības modulis un stiprība būtiski pieaug, ievadot nelielus iepriekšminēto nanopildvielu daudzumus izvēlētās polimēru matricās.

Plastificētas cietes nanokompozītu elastības moduļa pieaugums prognozēts pielietojot kompleksas uzbūves anizodiametriskas plākšņveida nanodaļiņas saturošu daudzfāžu sistēmu elastības konstanču specifisku aprēķina algoritmu.

Polietilēna nanokompozītu elastības moduļa izmaiņas prognozētas pielietojot uz mikromehānikas teorijas balstītu matemātisko modeli, ievērojot cilindrisku nanodaļiņu izkliedes kvalitāti polimēra matricā.

Nanokompozītu šķīdes izturība pētītajā laika periodā prognozēta saskaņā ar Findleja pakāpes vienādojumu.

Pētījums finansiāli atbalstīts no Valsts pētījumu programmas Daudzfunkcionālie Materiāli un kompozīti, fotonika un nanotehnoloģijaS (IMIS<sup>2</sup>) līdzekļiem

## MODELING OF ELASTIC PROPERTIES OF ANISODIAMETRIC FILLER CONTAINING POLYMER NANOCOMPOSITE ELASTIC PROPERTIES

Roberts Maksimovs<sup>1</sup>, Juris Jansons<sup>1</sup>, Tatjana Ivanova<sup>2</sup>, Remo Merijs Meri<sup>2</sup>, Janis Zicans<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Mechanics of Materials, University of Latvia*

<sup>2</sup>*Institute of Polymer Materials, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga  
Technical University*

Elastic and creep properties of thermoplastic polymer composites reinforced with various anisodiametric nanoadditives are predicted by considering both structural hierarchy of the nanocomposites and the nanofillers itself.

It is shown that stiffness and strength of the nanocomposites significantly increase upon introduction of minor amounts of the aforementioned nanofillers into the chosen polymer matrices.

Gain in the modulus of elasticity of plasticized starch nanocomposites is predicted by applying the algorithm of stage-by-stage calculation of the elastic constants of the multiphase-systems containing anisometric plate-like nanoparticles with complex structure.

Change of the modulus of elasticity of polyethylene nanocomposites is predicted by applying the theoretical model based on micromechanics approach in consideration of distribution quality of tubular nanoparticles within the polymer matrix.

Creep resistance of the nanocomposites in the investigated time frame is predicted according to the Findley power law.

The financial support of the Latvian National Research Program IMIS<sup>2</sup> project is greatly acknowledged.

## ELEKTROSTATISKĀ LAUKA IETEKME UZ OGLEKĻA NANODAĻIŅU SUSPENSIJAS VADĀMĪBU

Māris Knite<sup>1</sup>, Velta Tupureina<sup>2</sup>, Inta Stalte<sup>1</sup>, Kaspars Ozols<sup>1</sup>, Artis Linarts<sup>1</sup>, Raimonds Orlovs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte Tehniskās fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte Polimērmateriālu institūts*

Šajā darbā pētīta līdzstrāvas elektriskā lauka ierosināta oglekļa nanodaļiņu strukturēšanās silikoneļļas suspensijās. Izgatavotas silikoneļļas suspensijas ar dažādām daudzsienu oglekļa nanocaurulīšu, elektrovadošu oglekļa kvēpu un grafēna nanoplākšņu koncentrācijām un noteiktas suspensiju elektriskās pretestības izmaiņas laikā pie dažādām elektrostatiskā lauka intensitātēm robežās no 50 V/cm līdz 250 V/cm. Ir konstatēts, ka, paralēli pieliktais elektriskais lauks ievērojami samazina suspensiju elektrisko pretestību, liecinot par elektriskā lauka izraisītu oglekļa nanodaļiņu orientēšanos lauka virzienā. Darbā aplūkota arī silikoneļļas viskozitātes ietekme uz elektriskā lauka izraisīto oglekļa nanodaļiņu orientāciju lauka virzienā. Apkopojot rezultātus, tika izdarīti secinājumi par līdzstrāvas elektriskā lauka izraisītu oglekļa nanodaļiņu orientēšanos silikoneļļas suspensijās. Iegūtie rezultāti tiks izmantoti orientētu polimēru/oglekļa nanodaļiņu kompozītu izgatavošanas tehnoloģijas izstrādei.

## INFLUENCE OF ELECTROSTATIC FIELD ON CARBON NANOPARTICLE SUSPENSION CONDUCTIVITY

Maris Knite<sup>1</sup>, Velta Tupureina<sup>2</sup>, Inta Stalte<sup>1</sup>, Kaspars Ozols<sup>1</sup>, Artis Linarts<sup>1</sup>, Raimonds Orlovs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Technical Physics, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

<sup>2</sup>*Institute of Polymer Materials, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

Direct current electrical field induced formation of an electrically conductive network in carbon nanoparticle/silicone oil suspensions were studied in this work. Suspensions with various concentrations of multi wall carbon nanotubes, conductive carbon black and graphene nanoplatelets were made and electrical resistivity change in time were determined at various electrostatic field intensities from 50 V/cm to 250 V/cm. It has been observed that electrical field significantly reduces electrical resistance of suspensions in field direction indicating that orientation of carbon nanoparticles takes place in silicone suspensions. The influence of silicone oil viscosity on electrical field induced orientation of carbon nanoparticles has been studied as well.

Based on these results the impact of electrical field induced carbon nanoparticle orientation in suspensions has been evaluated. These results will be used to produce orientated polymer/carbon nanoparticle composite manufacture.

The financial support of National program IMIS<sup>2</sup> (Y8098.1) is greatly acknowledged.

## **ĶĪMISKI OKSIDĒTA UN REDUCĒTA TERMISKI EKSFOLIĒTA GRAFĪTA, GRAFĪTA PĀRSLU UN PULVERA ĪPAŠĪBAS SALĪDZINĀJUMĀ AR KOMERCIĀLI PIEEJAMU GRAFĒNA OKSĪDU**

Astrīda Bērziņa<sup>1</sup>, Velta Tupureina<sup>2</sup>, Raimonds Orlovs<sup>1</sup>, Dmitrijs Saharovs<sup>1</sup>, Juris Bitenieks<sup>2</sup>,  
Māris Knite<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Tehniskās  
fizikas institūts*

<sup>2</sup>*Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes  
Polimērmateriālu institūts*

Grafēns ir mūsdienās plaši aprakstīts materiāls, kura lielu apjomu iegūšana ir problemātiska. Šajā darbā ir aplūkota tā iegūšana ķīmiskā ceļā no dažādas makrostruktūras grafīta izejvielām un savstarpēji salīdzinātas iegūto reducēto grafēna oksīdu īpašības.

Izmantotās grafīta izejvielas ir grafīta pārslas, pulveris un termiski eksfoliēts grafīts, kuras tika oksidētas pēc modificētas Hummera (*Hummer's*) metodes ar sekojošu reducēšanu, izmantojot nātrija borhidrīdu. Iegūto paraugu elektriskā pretestība, daļiņu izmēra sadalījums, Zeta potenciāls un Ramana spektri ir salīdzināti ar komerciāli pieejamu grafēna oksīdu, kas tika reducēts pēc tās pašas metodes.

Iegūtie rezultāti rāda, ka termiskā priekš-eksfoliācija nodrošina vislabāko grafīta slāņu atdalīšanos oksidācijas procesā, kā arī reducēšanas procesa beigās iegūst materiālu ar labāku elektrovadītspēju nekā reducētajam komerciālajam grafēna oksīdam.

## **CHEMICALLY OXIDIZED AND REDUCED THERMALLY EXFOLIATED GRAPHITE, GRAPHITE FLAKE AND POWDER PROPERTIES COMPARED TO COMMERCIALY AVAILABLE GRAPHENE OXIDE**

Astrida Berzina<sup>1</sup>, Velta Tupureina<sup>2</sup>, Raimonds Orlovs<sup>1</sup>, Dmitrijs Saharovs<sup>1</sup>, Juris Bitenieks<sup>2</sup>,  
Maris Knite<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Technical Physics, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga  
Technical University*

<sup>2</sup>*Institute of Polymer Materials, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga  
Technical University*

Graphene is a scientifically interesting material, whose bulk production to this day on is still difficult to achieve. In this work we look at its production through chemical ways using different macro-structure graphite raw materials. The resulting samples are characterized and compared between a commercially available graphene oxide.

The raw materials – graphite flakes, graphite powder and thermally exfoliated graphite are oxidized using modified Hummer's method and subsequently reduced with sodium borohydride. The acquired reduced graphene oxide samples electrical conductivity, particle size distribution, Zeta potential and Raman spectra are compared with commercially available graphene oxide, which was reduced by the same method as stated previously.

The results show that the best exfoliation in the oxidation process is achieved with thermal pre-exfoliation as well as the best electrical conductivity for the reduced sample – even better as the reduced commercially available graphene oxide.

This study has been supported by the Latvian National Research Programme in Materials Science IMIS<sup>2</sup>.

## **PORAINAS TITĀNA DIOKSĪDA KERAMISKĀS PAMATNES KAULAUDU REĢENERĀCIJAI**

Inga Narkevica, Lauma Bugovecka, Laura Stradiņa, Jurijs Ozoliņš, Līga Bērziņa-Cimdiņa

*Rūdolfa Cimdiņa Rīgas Biomateriālu inovāciju un attīstības centrs, Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūts, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte, Rīgas Tehniskā universitāte*

Kaulaudu reģenerācijā izmantotām porainām pamatnēm nepieciešams nodrošināt telpu jaunu kaulaudu ieaugšanai un vaskularizācijai, veicināt šūnu piesaistīšanos un proliferāciju, kā arī nodrošināt mehānisko stabilitāti. Tādēļ ideālam pamatnēm jābūt augsti porainām, ar trīsdimensiālu savienotu un atvērtu poru struktūru. Viens no materiāliem, ko var izmantot pamatņu iegūšanai, ir TiO<sub>2</sub> keramika, jo tā uzrāda augstākas mehāniskās īpašības salīdzinājumā ar citiem keramiskiem materiāliem, biosaderību un osteokonduktivitāti.

Pētījuma mērķis bija porainu TiO<sub>2</sub> keramisko pamatņu iegūšana un modificēšana ar potenciālu pielietojumu kaulaudu inženierijā, uzsvaru liekot uz to mehāniskajām īpašībām un mikrostruktūru. Porainās TiO<sub>2</sub> pamatnes iegūtas izmantojot replikas metodi. Analizēta TiO<sub>2</sub> šlikera iegūšanas tehnoloģijas un tālākās termiskās apstrādes ietekme uz materiāla fizikālajām īpašībām. Izmantojot replikas metodi, iegūtas porainās TiO<sub>2</sub> pamatnes ar porainību virs 85%, poru izmēru virs 100 μm un atvērtu un savstarpēji savienotu poru struktūru.

## **POROUS TITANIUM DIOXIDE CERAMIC SCAFFOLDS FOR BONE TISSUE REGENERATION**

Inga Narkevica, Lauma Bugovecka, Laura Stradina, Jurijs Ozolins, Līga Berzina-Cimdira  
*Rudolfs Cimdirins Riga Biomaterials Innovations and Development Centre of RTU, Institute of General Chemical Engineering, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

Scaffolds used for bone tissue regeneration should provide void volume for new tissue formation and vascularisation, ensure cell attachment/proliferation and they must show suitable mechanical properties in order to repair non-healing or critical size bone defects. Thus, an ideal scaffold should be three-dimensional and highly porous with an interconnected pore network. One of materials that can be used for highly porous scaffold production is TiO<sub>2</sub> ceramic due to its excellent mechanical properties compared to other ceramic materials, biocompatibility and good osteoconductivity.

The aim of present research was focused on the preparation and modification of novel tissue engineering scaffolds with suitable mechanical properties and favourable microstructure based on porous TiO<sub>2</sub> ceramic. Porous TiO<sub>2</sub> scaffolds were produced via polymer foam replica method. The impact of TiO<sub>2</sub> slurry processing parameters and thermal treatment on physical properties of obtained scaffolds was evaluated. Using replica method porous TiO<sub>2</sub> ceramic with porosity >85% and pore size >100 μm were obtained. Scaffolds showed fully open and interconnected pore structure.

This work has been supported by the National Research Programme No. 2014.10-4/VPP-3/21 “Multifunctional Materials and composites, photonicS and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>)” Project No. 4 “Nanomaterials and nanotechnologies for medical applications”.

## KALCIJA FOSFĀTU DIZAINS UN SINTĒZES OPTIMIZĀCIJA BIOMEDICĪNISKAM PIELIETOJUMAM

Līga Stīpniece, Jana Vecstaudža, Vita Zālīte, Kristīne Šalma-Ancāne, Dagnija Loča,  
Līga Bērziņa-Cimdiņa

*RTU Rūdolfa Cimdiņa Rīgas Biomateriālu inovāciju un attīstības centrs, Vispārīgās ķīmijas  
tehnoloģijas institūts, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte, Rīgas Tehniskā  
universitāte*

Nepieciešamība pēc materiāliem cilvēku dzīves kvalitātes uzlabošanai rada pieprasījumu pēc inovatīvu un funkcionālu biomateriālu izstrādes ar specifiskām īpašībām cieto audu patoloģiju profilaksei, ārstēšanai un reģenerācijai. Kalcija fosfāti (CaP), īpaši hidroksilapatīts un  $\beta$ -trikalcijs fosfāts, uzrādot lielisku bioloģisko saderību, bioaktivitāti vai bioresorbciju, raduši plašu pielietojumu kā aizvietotājmateriāli sejas un žokļu, rekonstruktīvajā ķirurģijā, zobārstniecībā un ortopēdijā. Pētījumu mērķis ir pielāgot CaP fāzu un ķīmisko sastāvu, kā arī mikrostruktūru specifiskām cieto audu bioloģijas un metabolisma prasībām.

Izmantojot modificētu ķīmiskās nogulsnešanas metodi, realizēta tādu organismam labvēlīgu neorganisko elementu kā Mg, Sr un/vai F iekļaušana CaP struktūrā, ar mērķi uzlabot šo materiālu bioaktivitāti. Veikti pētījumi nanokristālisku un amorfu CaP iegūšanas tehnoloģiju izstrādē. Izvērtēts modificētu CaP potenciāls pielietojumam zobu pastu piedevu veidā emaljas remineralizācijas procesu veicināšanai.

## OPTIMIZATION OF THE SYNTHESIS AND DESIGN OF CALCIUM PHOSPHATES FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

Līga Stīpniece, Jana Vecstaudža, Vita Zālīte, Kristīne Šalma-Ancāne, Dagnija Loča,  
Līga Bērziņa-Cimdiņa

*Rudolfs Cimdinš Rīga Biomaterials Innovations and Development Centre of RTU, Institute of  
General Chemical Engineering, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga  
Technical University*

A demand for materials to improve the quality of life concerns the innovative use of specially designed biomaterials for the repair and reconstruction of diseased or damaged hard tissues. Calcium phosphates (CaP), such as hydroxyapatite and  $\beta$ -tricalcium phosphate, are biocompatible, bioactive or bioresorbable and, thereby, considered to be promising bone replacement materials and are widely used in stomatology, cranio-maxillofacial and orthopaedic surgery. Researches goal is to select and/or combine CaP phase, chemical composition and microstructure to tailor their physicochemical properties and their stimulating effect on hard tissues regeneration for various biomedical applications.

We have designed different CaP materials containing ionic substitutions such as Mg, Sr and/or F, which have been proposed as a tool to improve biological performance of CaP. The effort of researches is also put on production and characterization of nanocrystalline and amorphous CaP. Moreover, evaluation of modified CaP for enhancement of tooth enamel remineralisation has been performed.

This work has been supported by the National Research Programme No. [2014.10-4/VPP-3/21](#) "Multifunctional Materials and composites, photonicS and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>)" Project No. 4 "Nanomaterials and nanotechnologies for medical applications".



## **BIONOĀRDĀMI KOMPOZĪTMATERIĀLI UZ POLIMĒRU UN KALCIJA FOSFĀTU BĀZES MEDICĪNISKAM PIELIETOJUMAM: IZSTRĀDES TEHNOLOĢIJAS UN RAKSTUROJUMS**

Marina Sokolova, Līga Stīpniece, Anna Vojevodova, Aleksandrs Mirošņikovs,  
Kristīne Šalma-Ancāne, Jānis Ločs, Līga Bērziņa-Cimdiņa  
*RTU Rūdolfa Cimdiņa Rīgas Biomateriālu inovāciju un attīstības centrs, Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūts, Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte, Rīgas Tehniskā universitāte*

Aktuāls biomateriālu pētniecības virziens ir radīt implantmateriālus, kas stimulētu specifisku šūnu piesaisti un audu reģenerāciju implantēšanas vietā. Līdz ar to pēdējo desmit gadu laikā neorganisku/organisku kompozītmateriālu uz kalcija fosfātu (CaP) un biosaderīgu polimēru bāzes izstrāde un īpašību izpēte, ir nozīmīgs pētniecības virziens kaulaudu inženierijā. Tādiem kompozītmateriāliem ir potenciāls pielietojums arī kontrolētas izdalīšanās lokālas zāļu, piemēram, antibiotiku, piegādes sistēmu izveidē kaulu slimību ārstēšanai.

Pētījumu mērķis ir veikt bionoārdāmu kompozītmateriālu uz biosaderīgu polimēru un CaP bāzes tehnoloģiju izstrādi, kā arī sastāva un struktūras pielāgošanu specifiskam medicīniskam pielietojumam.

Veikta dažādu CaP un biosaderīgu polimēru, piemēram, CaP/polivinilspirta, CaP/ε-polilizīna, CaP/polilaktāta, CaP/polikaprolaktona u.c., kompozītmateriālu izgatavošana un kompleksa raksturošana, ar mērķi uzlabot šo materiālu bionoārdīšanos, kontrolētas izdalīšanās lokālas zāļu piegādes sistēmu nestspēju, kā arī mehāniskās īpašības.

## **DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BIORESORBABLE COMPOSITES BASED ON POLYMERS AND CALCIUM PHOSPHATES FOR MEDICAL APPLICATION**

Marina Sokolova, Līga Stīpniece, Anna Vojevodova, Aleksandrs Mirošņikovs,  
Kristīne Šalma-Ancāne, Jānis Ločs, Līga Bērziņa-Cimdiņa  
*Rudolfs Cimdins Rīga Biomaterials Innovations and Development Centre of RTU, Institute of General Chemical Engineering, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga Technical University*

The developing field of biomaterials is focused on creation of novel implantmaterials which can provoke specific cellular responses and direct tissue regeneration. In last decade, fabrication and investigation of inorganic-organic composites based on calcium phosphates (CaP) and biocompatible polymers has attracted research interest in the field of bone tissue engineering. These composites have potential application in developing of controlled release drug delivery systems.

Research goal is to develop advantageous preparation technologies of biodegradable composites based on the CaP and biocompatible polymers, as well to adjust composition and structure of the composites for specific medical applications.

Preparation and characterization of various CaP/polymer composites, e.g., CaP/polyvinyl alcohol, CaP/ε-polylysine, CaP/polylactic acid, CaP/polycaprolactone etc. for enhanced biodegradability, drug-loading capacity, and toughness/flexibility etc. will be discussed.

This work has been supported by the National Research Programme No. [2014.10-4/VPP-3/21](#) “Multifunctional Materials and composites, photonicS and nanotechnology (IMIS<sup>2</sup>)” Project No. 4 “Nanomaterials and nanotechnologies for medical applications”.

## AR DZIRKSTELĪZLĀDES PLAZMAS SAŅĒPINĀŠANAS METODI IEGŪTAS Sb AIZVIETOTAS SnO<sub>2</sub> KERAMIKAS TERMOELEKTRISKĀS ĪPAŠĪBAS

Kristaps Rubenis, Jānis Ločs

*Rīgas Tehniskās universitātes Vispārīgās ķīmijas tehnoloģijas institūts*

Ar dzirkstelīzlādes plazmas saņemšanas metodi iespējams iegūt blīvu keramiku no grūti saņemamiem materiāliem, kā arī veidot mikrostruktūras, kuras var uzlabot materiāla termoelektriskās īpašības.

Šajā pētījumā raksturotas ar dzirkstelīzlādes plazmas saņemšanas metodi iegūtas Sn<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>O<sub>2</sub> (x = 0, 0.01, 0.03, 0.05) keramikas termoelektriskās īpašības pirms un pēc atkvēlināšanas gaisa vidē.

Ar dzirkstelīzlādes plazmas saņemšanas metodi iegūtās Sn<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>O<sub>2</sub> keramikas relatīvais blīvums visu kompozīciju gadījumā pārsniedz 90%. Sb pievienošana būtiski ietekmē saņemto paraugu mikrostruktūru un termoelektriskās īpašības. Vidējais graudu izmērs samazinās un mikrostruktūras homogenitāte pieaug, palielinoties Sb daudzumam paraugos no x = 0.01 līdz 0.05. Sb pievienošana uzlabo SnO<sub>2</sub> termoelektriskās īpašības. Tāpat atkvēlināšana gaisa vidē būtiski uzlabo ar dzirkstelīzlādes plazmas saņemšanas metodi iegūtās Sn<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>O<sub>2</sub> keramikas termoelektriskās īpašības. Augstāko termoelektrisko efektivitāti ZT ≈ 0.06 pie 1073K uzrāda Sn<sub>0.99</sub>Sb<sub>0.01</sub>O<sub>2</sub> paraugs, kurš pēc saņemšanas atkvēlināts gaisa vidē.

## THERMOELECTRIC PROPERTIES OF SPARK PLASMA SINTERED Sb SUBSTITUTED SnO<sub>2</sub> CERAMICS

Kristaps Rubenis, Janis Locs

*Institute of General Chemical Engineering, Riga Technical University*

Spark plasma sintering gives a possibility to densify difficult-to-sinter materials and allows to obtain microstructures that can enhance thermoelectric properties of the material.

In this study, we investigated thermoelectric properties of the spark plasma sintered Sn<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>O<sub>2</sub> (x = 0, 0.01, 0.03, 0.05) ceramics before and after post-sintering annealing under air.

Relative density of all spark plasma sintered Sn<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub>O<sub>2</sub> samples exceeds 90%. Sb substitution greatly affects the microstructure and thermoelectric properties of the samples. Grain size decreases and microstructural homogeneity increases with increasing Sb content in the samples from x = 0.01 to 0.05. Sb substitution enhances the thermoelectric properties of pristine SnO<sub>2</sub>. Additionally, post-annealing greatly improves the thermoelectric performance of the spark plasma sintered samples. The highest thermoelectric figure of merit of ZT ≈ 0.06 at 1073K shows the post-sintering annealed sample with composition Sn<sub>0.99</sub>Sb<sub>0.01</sub>O<sub>2</sub>.

## Saturs

<b>A</b>		Cīmurs J.....116	
Aksimentyeva O.....	52	Česnokovs A..... 93	
Ali S.....	92	Čikvaidze G..... 40, 41, 84	
Andžāne J.....	107, 125	Čonka D..... 74	
Annus P.....	33	<b>D</b>	
Anspoks A.....	36, 77, 106	Daukšta E. ....	131
Antohe S. ....	74	Dimza V. ....	12, 51
Antonova M. ....	10, 11, 48, 51	Dorondo A.....	54
Antuzevičs A.....	17, 39	Drunka R. ....	128
Arrigoni M. ....	93	Dumbrājs O. ....	70
Augustovs P. ....	22, 120	Dunce M.....	10, 11
Auziņš M. ....	103	<b>E</b>	
Avotiņa L.....	74	Elksnis Ē.....	121
Ābele A.....	110	Elsts E.....	17, 52
Āzens A. ....	79	Erts D. ....	107, 125, 126
<b>B</b>		Evarestov R. ....	93
Baitimirova M.....	107, 125	Ērglis K. ....	116
Bajārs G. ....	53, 54, 60, 66	<b>F</b>	
Baldochi S.....	39	Fedotovs A.....	39, 42
Balodis J. ....	53	Ferbers R. ....	103
Baudelet F.....	106	<b>G</b>	
Baumane L.....	73	Gabrusenoks J.....	40, 53, 56, 79
Bekris N.....	57	Gahbauers F.....	103
Bernava A. ....	110	Gauja K. ....	63
Bērziņa A. ....	134	Gopejenko A.....	37, 95, 97
Bērziņa B. ....	15, 19	Grabis J.....	58, 108, 127, 128
Bērziņa R. ....	110	Graening T.....	77
Bērziņa-Cimdiņa L. 113, 135, 136, 137		Grants R.....	124
Bērziņš A. ....	103	Grauduma I.....	62
Bērziņš Dz.....	39, 42	Grehovs V.....	129, 130
Bērziņš J.....	61, 71, 72	Grigorjeva L. ....	12, 45
Birks Ē. ....	10, 11, 50	Grīnberga L.....	36, 64, 84, 87, 88
Bitenieks J.....	110, 134	Grjaznovs D.....	93
Blūms E. ....	115	Grūbe J. ....	10, 43, 44, 123
Blūms J. ....	111	Gržibovskis R. ....	27
Bočarovs D. ....	76, 92	Gvardina I.....	68
Bormanis K.....	48, 49	<b>H</b>	
Borodin V.A.....	37	Haļitovs M.....	57
Brasovs A.....	116	Hodakovska J.....	84, 85, 86
Bugovecka L.....	135	Holmes J.D. ....	126
Bundulis A. ....	31	Hosono H.....	102
Burkhanov A.I.....	48	<b>I</b>	
Busenbergs J. ....	31	Ignatāns R.....	11, 12, 14, 17, 39
Butanovs E.....	80, 81	Ilie A.G.....	74
Butikova J. ....	80, 81	<b>C</b>	
<b>C</b>		<b>I</b>	
Cēbers A. ....	116	<b>I</b>	
Cintiņš A.....	77	<b>I</b>	





## Saturs

Vanks M.....	12	Zariņš A.....	73
Vecstaudža J.....	136	Zariņš E. ....	22
Vembris A.....	25, 26, 27, 118	Zavjalova V. ....	32
Vilnis K.....	79	Zāģeris Ģ.....	44
Vīksna A. ....	121	Zālīte V.....	136
Vīna E.....	122	Zicāns J.....	56, 109, 110, 112, 132
Vladimirov P.....	77	Zolotarjovs A.....	18, 45, 46
Vladimirov P.V.....	37	Zubkins M. ....	40, 41, 63, 79
Vojevodova A. ....	137	Zvīne M. ....	65
Volkovs A.....	55, 89	Žideļūns J. ....	80, 81
		Žukovskis J.....	37, 94, 95

### Z

Zabels R.....	78, 124
---------------	---------

## Piezīmes

## Piezīmes



## Piezīmes

## Piezīmes