

## Pārskats par Valsts pētījumu programmas

### „Modernu funkcionālo materiālu mikroelektronikai, nanoelektronikai, fotojonikai, biomedicīnai un konstruktīvo kompozītu, kā arī atbilstošo tehnoloģiju izstrāde”

izpildes gaitu

(2008.gada 1.janvāris-2008.gada 31.decembris)

**Programmas mērķis:**

**Priekšnosacījumu radīšana zinātnietilpīgas produkcijas ar augstu pievienoto vērtību - nanomateriālu, nanokompozītu un jaunas paaudzes konstruktīvo kompozītu - ražošanai Latvijas un pasaules tirgum, lietojot oriģinālas šo materiālu ražošanas tehnoloģijas.**

1. projekta “**Perspektīvie neorganiskie materiāli fotonikai un enerģētikai**” mērķis ir izstrādāt jaunus un uzlabot esošos neorganiskos materiālus modernajiem fotonikas un nanotehnoloģiju pielietojumiem, kā arī pilnveidot šo materiālu izstrādes un kontroles tehniku.

Projekta No 1 izpildes 5. posma „Darba uzdevumā” definētie uzdevumi:

1. Eksperimentāli izpētīt magneto-optiskus efektus pie nelineārās lāzeru ierosmes sārnu metālu gāzveida vidē nanoizmēra šūnās (ap 100 nm).

2. Pilnveidot iegūto efektu teorētisko aprakstu, piemērojot esošo modeli nanoizmēra objektiem ar nolūku iegūt nanoizmēra magneto-optiskus elementus uz sārnu metālu tvaiku bāzes.

3. Izpētīt gaismas emisijas procesus nanomateriālos, kas satur alumīnija nitrīda caurules.

4. Nanostrukturēto materiālu (ar nanokristālu izmēru zem 100 nm) fundamentālo īpašību izpēti lietojot luminiscento metodiku.

5. Noskaidrot pamatvielas defektu iespaidu uz elektronisko ierosinājumu migrācijas procesiem brīvos  $ZrO_2$  nanokristālos (nanopulveros).

6. Izpētīt iespēju  $ZnO$  nanokristālu leģēšanai ar retzemju elementiem un leģēšanas izraisītās luminiscences procesu izmaiņas.

7. Izmantojot daudzpakāpju cietfāzu sintēzes metodi sintezēt savienojumus sistēmās  $Li_2O - Sc_2O_3 - Y_2O_3 - ZrO_2 - P_2O_5$  uz savienojuma  $Li_3Sc_2(PO_4)_3$  bāzes, daļēji aizvietojot Sc ar Y un Zr t.i. ar kopējo formulu  $Li_{3-x}Sc_{2-x-y}YYZrX(PO_4)_3$ , kur  $x=0,1 ; 0,2 ; y= 0 ; 0,1$ . 2. Izpētīt šo savienojumu termisko stabilitāti, struktūru un elektrofizikālās īpašības - t.sk.  $Li^+$  jonu vadītspēju, izmantojot bezkontakta metodi, ar nolūku noskaidrot iespēju pielietot tos kā cietos elektrolītus (aktīvos elementus) gāzu sensoros.

8. Sintezēt kompozītmateriālus udeņraža uzglabāšanai cietā fāzē, kuros par nesējvidi kalpo pret udeņradi inerts materiāls (dažādas struktūras ogle, alumīnija oksīds, dabisko mālu

<p>struktūras un kserogeli), bet par katalizatoru - AB5 metālhidrīds un/vai niķelis. Pārbaudīt iegūto kompozītu udeņraža absorbcijas/desorbcijas spēju temperatūru intervālā 0° C-200° C, veiksmīgākiem paraugiem nosakot sastāvu, aktīvās virsmas laukumu, termogravimetriskās īpašības. Turpināt darbu pie oriģinālas konstrukcijas konteinaera udeņraža uzglabāšanai cietā vidē.</p>
<p>9. Noskaidrot skābekļa norauto saišu stiklveida silīcija dioksīdā optiskās absorbcijas raksturlielumus spektra dziļajā ultravioletajā un vakuuma ultravioletajā daļā.</p>
<p>10. Izpētīt udeņraža saites ietekmes uz hidroksilgrupu Ramana izkliedes spektriem un izvērtēt to piemērotību silanolgrupu koncentrācijas noteikšanai stiklveida silīcija dioksīdā.</p>
<p>11. Pētīt udeņraža ietekmi uz hēlija un argona augstfrekvences bezelektrodu plazmas spektroskopiskajiem un silīcija dioksīda virsmu raksturojošajiem parametriem.</p>
<p>12. Izpētīt rekombinatīvo luminiscenci, ierosinot ar ArF lāzeru PCVD silīcija dioksīda paraugos izgatavotos pie temperatūrām zemāk un augstāk par stiklošanās temperatūru Tg.</p>
<p>13. Izpētīt gaismas un mīksto materiālu (organisko un halkogenīdu amorfo plēvīšu, šķidrumu) savstarpējo mijiedarbību. Noskaidrot fotoinducēta reljefa veidošanās procesus amorfo halkogenīdu pusvadītājos un organiskos polimēros. Izvērtēt mijiedarbības procesu izmantošanas iespējas ķīmijā un nanotehnoloģijās.</p>

<p>4. Projekta 5. posmā definēto uzdevumu izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība:</p>
<p>1. Tika eksperimentāli izpētīti magneto-optiskie efekti, proti, iegūtas tumšās un gaišās rezonanses pie D<sub>1</sub> nelineārās ierosmes ar diožu lāzeru <sup>85</sup>Rb un <sup>87</sup>Rb gāzē nanoizmēra šūnā pie tvaiku slāņa biezumiem no 190 nm līdz 1500 nm.</p>
<p>2. Tika būtiski modificēts teorētiskais modelis, kā rezultātā radīta iespēja adekvāti aprakstīt procesus nanoizmēru šūnās; iegūta eksperimenta un teorijas atbilstība ļauj projektēt nanoizmēra magneto-optiskus elementus uz sārnu metālu tvaiku bāzes.</p>
<p>3. Dažādi strukturētos alumīnija nitrīda (AlN) nanomateriālos, tai skaitā nanoadatās („nanotips”), nanostieņos („nanorods”, nanopulveros un nanocaurulēs ir pētīti to spektrālie raksturojumi - fotoluminescences un tās ierosmes spektri ultravioletās un redzamās gaismas spektra rajonā. Iegūtie rezultāti ir salīdzināti ar AlN makroizmēru graudu (keramikas) atbilstošām spektrālām īpašībām. Ir konstatēts, ka gan nanomateriālos gan arī AlN makroizmēra graudos fotoluminiscenci raksturo vienas un tās pašas emisijas joslas, un nanomateriālos neparādās jaunas, tikai šiem materiāliem raksturīgas joslas. Tomēr šo emisijas joslu intensitāšu attiecība dažādiem materiāliem ir atšķirīga. Ir izdalītas luminiscences joslas, ko rada telpiskie materiāla defekti (~400 nm) un virsmas defekti (480 nm). Nanomateriālos pārsvarā ir 480 nm luminiscence. Tas ļauj prognozēt nanomateriālu iespējamo pielietojamību jaunu dozimetrisko materiālu radīšanā, jo tieši 480 nm luminiscences centri AlN samērā labi saglabā uzkrāto starojuma enerģijas daudzumu.</p>
<p>4. Nanostrukturēto materiālu (ar nanokristālu izmēru zem 100 nm) fundamentālo īpašību izpētei lietojot luminiscento metodiku ir izveidota iekārta, kura diapazonā no 200 līdz 900 nm ar augstu izšķiršanas spēju (0.1 nm) var reģistrēt emisijas spektrus. Šajā pat spektrālajā diapazonā iespējams reģistrēt luminiscences dzīšanas kinētikas ar laika izšķirtspēju līdz ~ 3 nanosekundēm (3×10<sup>-9</sup> s). Pētāmā parauga temperatūru iespējams regulēt no 10.8 K līdz 350 K. Iekārta tika izmantota pārnese procesu pētījumiem ZrO<sub>2</sub> nanokristālos, luminiscences mehānismu un luminiscences centru dabas pētījumos ZnO nanokristālos, kompozītu: polimērs – ZnO nanokristāli luminiscences pētījumu uzsākšanā (sadarbība ar RTU), kā arī salīdzinošos pētījumos: makroskopiski monokristāli un nanokristāli (ZnO, ZrO<sub>2</sub>). Pēdējie sniedza informāciju par īpašību un elektronisko procesu atšķirību makroizmēru un nanoizmēru materiālā.</p>

5. ZrO<sub>2</sub> brīvos nanokristālos (nanopulveros) galvenais pašvielas defekts ir skābekļa vakance. Skābekļa vakancu koncentrāciju ZrO<sub>2</sub> nanokristālos var mainīt atkvēlinot tos gāzu maisījumos ar dažādu skābekļa parciālo spiedienu. Pētot elektronisko ierosinājumu pārnesei no pamatvielas uz aktivatoru, konstatēts, ka skābekļa vakancu koncentrācijas pieaugums materiālā stipri samazina pārnesei procesu efektivitāti, pie kam minētās efektivitātes samazināšanās cēlonis nav elektronisko ierosinājumu radiatīva sabrukšana skābekļa vakances pirmajā koordinācijas sferā. Minētie pētījumi rāda, ka ZrO<sub>2</sub> nanokristāli ir perspektīvs daudzfunkcionāls materiāls luminiscenta skābekļa sensora izveidei, ar kuru vienlaicīgi būtu iespējams kontrolēt skābekļa koncentrāciju un sensora temperatūru.

6. Tika pētītas unikālas ZnO nanokristālu luminiscentās īpašības: subnanoseku eksitonu luminiscence, intensīva pašvielas defektu luminiscence, lāzerefekts eksitonu luminiscences apgabalā un citas. Īpaša uzmanība veltīta dopēšanas ietekmei uz šīm īpašībām, kā arī reto zemju jonu luminiscencei ZnO nanokristālos. Sintezēti ZnO nanokristāliski pulveri dopēti ar Ce, Gd joniem. Lietota kondensēšanas no gāzes fāzes (GK) metode. Luminiscences īpašības izpētītas plašā spektrālajā (1.8 -3.4 eV), laika (10 ns-10 μs) un temperatūru (12K-300K) apgabalā. Parādīts, ka aktivētos ZnO nanopulveros, kuri sintezēti ar GK metodi aktivatora luminiscences joslas nav novērojamas, un šī metode nav piemērota aktivētu ZnO nanokristālu sintēzei. Ar Gd aktivētos nanokristālos ir konstatēta vislielākā eksitonu joslas luminiscences intensitātes attiecība pret defektu joslas luminiscences intensitāti. Eksitonu luminiscences joslas dzīves laiks ir mazāks par 2 ns un pēcspīdēšanas līmenis sastāda 0.05%. Tas norāda, ka materiāls ir perspektīvs ātro scintilatoru izstrādei.

7. Atskaites periodā sintezētie jaunie cietie elektrolīti ar vispārējo formulu Li<sub>3-x</sub>Sc<sub>2-x-y</sub>Y<sub>y</sub>Zr<sub>x</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (kur x = 0.1, y = 0 vai 0.1) pieder monoklīnajai singonijai (telpiskā grupa P2<sub>1</sub>/n) ar četrām formulas vienībām telpiskajā režģī. Pētīta keramikas elektrofizikālo īpašību izmaiņa NASICON-a tipa savienojumā Li<sub>3</sub>Sc<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, daļēji aizvietojot Sc<sup>3+</sup> ar Zr<sup>4+</sup> (stehiometriskais faktors x) t.i. Li<sub>2.9</sub>Sc<sub>1.9</sub>Zr<sub>0.1</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> un tālāk Sc<sup>3+</sup> ar Y<sup>3+</sup> (stehiometriskais faktors y) t.i. Li<sub>2.9</sub>Sc<sub>1.8</sub>Y<sub>0.1</sub>Zr<sub>0.1</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

Secināts, ka Li jonu vadītspēja ( $\sigma_t$ ) aizvietošanas rezultātā ievērojami palielinās:

Savienojums	$\sigma_t$ (S·m <sup>-1</sup> ) T = 520 K	E <sub>t</sub> (eV)
Li <sub>2.9</sub> Sc <sub>1.9</sub> Zr <sub>0.1</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1.29	0.40
Li <sub>2.9</sub> Sc <sub>1.8</sub> Y <sub>0.1</sub> Zr <sub>0.1</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1.04	0.42
Li <sub>3</sub> Sc <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0.18	0.47

Iegūtos materiālus perspektīvā varētu izmantot gāzu sensoros.

Mērīšanai izmantota impedances metode pie frekvencēm 10<sup>6</sup> līdz 1.2×10<sup>9</sup> Hz un plašā temperatūru intervālā (300-600 K)

8. Atskaites periodā ir sintezēti dažādi kompozītmateriāli, sastāvoši no katalizatora LaNi<sub>5</sub> un dažādiem inertiem materiāliem – ogle un oksīdi, kas domāti ūdeņraža uzglabāšanai cietā fāzē. Veikti ūdeņraža absorbcijas/desorbcijas mērījumi pie dažādām temperatūrām un noteikts sorbcijas īpašību ziņā labākā materiāla virsmas laukums. Tiek pabeigts darbs pie ūdeņraža uzglabāšanas konteinera.

9. Izmantojot silanola grupu fotolīzi fluora vakuuma ultravioletā lāzera apstarošanas iespaidā, pirmo reizi iegūti stiklveida silīcija dioksīda paraugi, kuri satur tikai ar skābekli saistītās norautās saites, un praktiski nesatur silīcija norautās saites. Tas ļāva iegūt jaunu informāciju par skābekļa norauto saišu optisko absorbciju dziļajā ultravioletajā un vakuuma ultravioletajās

spektra daļās un parādīt, ka to raksturo kvazinepārtraukts spektrs nevis 2 atsevišķas Gausa formas joslas, kā līdz šim tika uzskatīts. Šī rezultāta praktiskā nozīme ir tā, ka tas ļauj precīzi novērtēt (parasti dominējošo) skābekļa norauto saišu ieguldījumu ultravioletās optikas solarizācijā un atdalīt absorbcijas komponentes, ko dod dažāda tipa krāsu centri.

10. Izpētīta ūdeņraža saites veidošanās ietekmes uz hidroksilgrupu Ramana izkliedes spektriem. Ūdeņraža saites tika veidotas, pakļaujot „slapjo” SiO<sub>2</sub> stiklu fluora lāzera apstarošanai. Salīdzinot ar to saistītās izmaiņas infrasarkanās absorbcijas un Ramāna izkliedes spektros, parādīts, ka H-saites veidošanās palielina infrasarkanās absorbcijas šķērsriezumu no 1.12 līdz 3.6 reizēm, un tāpēc infrasarkanā absorbcija, pretēji pieņemtajam uzskatam, nav precīza metode hidroksilgrupu koncentrācijas noteikšanai šādos apstākļos. Ramāna izkliedes efektivitāte H-saites ietekmē mainās mazāk, un Ramāna izkliede ir piemērotāka analītiska metode SiOH koncentrācijas noteikšanai ar vakuuma ultravioletiem fotoniem apstarotos SiO<sub>2</sub> stiklos.

11. Cilindrisku un sfērisku argona-ūdeņraža lampu spektrā novērojamas intensīvas ūdeņraža molekulas Fulcher- $\alpha$  (2-2)Q rotācijas joslas līnijas, taču hanteles formas lampās šī josla netika novērota. Tajā pat laikā šo lampu spektrā varēja redzēt OH joslu (pie 306 nm). Visu šo lampu spektros bija redzamas ūdeņraža atomārās līnijas. Hēlija-ūdeņraža lampās novērojama vājāka atomārā skābekļa līnija 777.2 nm, salīdzinot ar tīru hēlija lampu.

Bezelektrodu lampas darbināšanas laikā plazma mijiedarbojas ar SiO<sub>2</sub> stikla sienām, izraisot nanoizmēra izmaiņas šajā materiālā. Salīdzinot ar tīru argona plazmu, argona-ūdeņraža plazma uz virsmas izraisa plašas un nehomogēnas izmaiņas. Ūdeņraža molekulas kopā ar skābekļa molekulām, kuras desorbējas no sienas, izveido aktīvas OH molekulas, kuras galvenokārt arī ir atbildīgas par virsmas izmaiņām lampās, kurās ir ūdeņradis. Virsmas izmaiņas ir atšķirīgas dažādās lampas vietās (sfēriskajā, kapilārā un cilindriskajā lampas daļā). To varētu izraisīt plazmas apstākļi un OH koncentrāciju nevienmērīgums lampas tilpumā.

12. Veikta elektronu procesu izpēte stiklveida silīcija dioksīda paraugos, izgatavotos ar plazmas ķīmisko tvaiku izsēdināšanas (PCVD) metodi pie temperatūrām zemākām un augstākām par stiklošanas temperatūru T<sub>g</sub>, un kas tiek ierosināt ar ArF lāzeru. Reģistrēti iekšcentru un rekombinatīvās luminiscences parametri kā arī modelēta centru un procesu daba. Luminiscence tā sauktos skābekļa deficīta centros ir novērota tikai tiem paraugiem, kas izgatavoti pie temperatūrām augstāk par stiklošanas temperatūru. Silīcija dioksīda stiklos, kas izgatavoti pie temperatūrām zemākām par T<sub>g</sub>, šī luminiscence ir ar ļoti zemu relatīvo intensitāti. Secināts, ka stiklošanās process veicina skābekļa deficīta centra absorbciju pie 6.4 eV. Abas skābekļa deficīta centra joslas, kas novērojamas redzamā un ultravioletā spektra daļās ir ar dažādām luminiscences kinētiskām, kas atšķiras no kinētiskām, kas novērojamas elementāra ar skābekļa deficītu saistītā centrā – divkārt koordinētā silīcija centrā. Pie 6.4 eV ierosinās kompleksi centri, kuru luminiscence spektra redzamajā daļā ir ātrāka par 10 ms, bet ultravioletās luminiscences dzišanas konstante ir lielāka par elementāra, ar skābekļa deficītu saistīta centra raksturīgo konstanti (4.5 ns). Rezultāts interpretēts, kā kompleksa centra rekombinatīva luminiscence. Ierosinošie lāzera impulsi izraisa komplekso centru fotolīzi un autolokalizēta cauruma centrs kopā ar uz skābekļa deficīta centra saķerto elektronu veido pārus. Šādā pārī notiekoši rekombinatīvie procesi izraisa novērotās kinētikas izmaiņas. Šim mehānisms var iespaidot praktiski stiklveida SiO<sub>2</sub> fotojutību, kas tiek izmantota fotorefraktīvo Brega režģu izgatavošanā optoelektroniskajās ierīcēs.

13. Izpētīta gaismas inducēta virsmas reljefa veidošanās amorfās halkogenīdu (As-S; As-S-Se) un azobenzola atvasinājumu polimēru plānās kārtiņās. Noskaidrots, ka fotoinducēta reljefa veidošanās procesā galvenā loma ir gaismas elektriskā vektora orientācijai un gradienta lielumam. Parādīta iespēja šo efektu halkogenīdos izmantot nanotehnoloģijās.

## 5. Kopsavilkums:

Projekta 5. etapam nospraustie uzdevumi ir izpildīti. Jaunie rezultāti atspoguļoti 23 konferenču referātos, 18 starptautiski citējamās zinātniskos izdevumos, un par tiem ir saņemts 1 patents.

Veiksmīgi izdarīti cietvielu virsmas lauku pētījumi, izmantojot augstas izšķiršanas atomspektroskopijas metodes. Veikts kompleksais eksperiments magneto-optisko efektu pētījumiem rubīdija atoma tvaikos, proti, ar augstu precizitāti izmērītās tumšās un gaišās rezonanses pie visām iespējamām supersīkstruktūras F-līmeņu kombinācijām  $^{85}\text{Rb}$  un  $^{87}\text{Rb}$  izotopiem gan centimetru-izmēra, gan nano-izmēra šūnās. Izdevās konsekventi aprakstīt visu procesu klāstu vienotā modelī, kas var tikt pielietots gan parastajām, gan nano-izmēru šūnām; šiem rezultātiem ir atzīta prioritāte. Dotie rezultāti pielietojami jūtīgos magnetometros, kas ļauj detektēt magnētisko lauku nanometra apgabalos, kā arī adaptīvās optikas elementos.

Novērota amorfo halkogenīdu virsmas modifikācija (telpiska reljefa veidošanās) lāzestarojuma ietekmē hologrāfiskā ieraksta laikā un noskaidroti šī efekta fizikālie cēloņi. Tālāk attīstot šo efektu un uzlabojot saistītās tehnoloģijas, tas varētu tikt izmantots praktiskās ierīcēs, piemēram, hologrāfisku difrakcijas režģu izgatavošanai.

Turpināts strādāt pie alumīnija nitrīda nanostruktūrām ar mērķi tās izmantot ultravioletā starojuma dozimetrijā. Izstrādāta moderna eksperimentāla iekārta spektrāli- kinētiskiem pētījumiem ar augstu spektrālo izšķiršanu un iespēju reģistrēt spektru kinētikas nanosekunžu un garākos laika diapazonos plašā temperatūru apgabalā. Tā dod teicamu eksperimentālo bāzi tālākiem pētījumiem un studentu apmācībai. To izmantojot, pētīti cinka un cirkonija oksīdi monokristālu un nanokristālu formā un parādīts, ka cirkonija nanokristāli var tikt izmantoti kā aktīvais materiāls skābekļa sensora izveidei. Par šo pētījumu saņemts starptautisks patents (skat. No10 publicēto darbu sarakstā). Novērota ļoti ātra (sub) nanosekunžu luminiscence aktivētos cinka oksīda nanokristālos, kas ir var tikt tālāk attīstīta ātro scinilatoru izveidei rentgenstaru vizualizācijas sistēmās un starojuma skaitītājiem.

Saistībā ar ūdeņraža enerģētiku sintezēti jauni litija metāl-fosfātu tipa super-jonu vadītāji- cietie elektrolīti gāzes sensoriem, kā arī kompozītmateriāli ar porainu struktūru, kuri ir perspektīvi ūdeņraža uzglabāšanai adsorbējot gāzes molekulas uz to iekšējām virsmām. Par šo darbu ir sekmīgi aizstāvēts bakalaura darbs: Saistītā ūdeņraža daudzuma noteikšana AB5 tipa kompozītmateriālos, E. Rancāns. Darba vadītāja Dr. phys. L. Grīnberga.

Darbā, kas vērsts uz stiklveida  $\text{SiO}_2$  materiālu caurspīdīguma uzlabošanu spektra dziļajā ultravioletajā daļā, pirmo reizi noskaidrotas skābekļa norauto saišu spektrālās īpašības šajā spektra rajonā, kas ļauj pārskatīt pašreiz pieņemtās atziņas par cēloņiem, kas izraisa stiklu caurlaidības samazināšanos ultravioletā lāzestarojuma ietekmē (solarizāciju). Bez tam izstrādāta metode, kā labāk novērtēt silanolgrupu ( $\text{SiOH}$ ) koncentrācijas izmaiņas apstarošanas ietekmē. Izpētītas gāzu sastāva izmaiņas no  $\text{SiO}_2$  stikla izgatavotās bezelektrodu lampās un parādīta OH grupu veidošanās, skābeklim stikla sienīnā mijiedarbojoties ar gāzu izlādes plazmu un ultravioleto starojumu. Skābekļa deficīta pakāpe šajos stiklos ir atkarīga no ķīmisko tvaiku izsēdināšanas ceļā izgatavoto stiklu sintēzes temperatūras. Hēliju, argonu un ūdeņradi saturošu bezelektrodu lampu starojuma spektrālo parametru un lampas iekšējo virsmu pētījumu rezultāti palīdzēs radīt labākus spektrālos starojuma avotus analītiskiem vai industriāliem pielietojumiem.

Paralēli pētniecības darbam atskaites periodā liels darbs ir ticis ieguldīts būtiskai eksperimentālās infrastruktūras uzlabošanai (lāzeri, vakuumsistēmas, elektroniskie mērinstrumenti, absorbcijas/Ramāna spektrometri u.c.) izmantojot projekta finansiālos līdzekļus un arī kombinējot tos ar struktūrfondu dotajām iespējām. Tas dod iespēju nākotnē uzlabot pētījumu un studentu/doktorantu apmācības kvalitāti un iesaistīto laboratoriju eksperimentālās kapacitātes tuvināt līmenim, kāds nepieciešams veiksmīgai sadarbībai ar ražotājiem.

Par iegūtajiem rezultātiem ziņots sekojošās konferencēs.

1. M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola and L. Kalvans, *Bright and Dark Magneto-Optical Resonances in Atomic Cesium at D1 Excitation*, Functional materials and nanotechnologies (Riga, Latvia, April 1 – 4, 2008).
2. M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola, L. Kalvans, A. Papoyan, D. Sarkisyan *Magneto-Optical Resonances in Atomic Rubidium in Extremely Thin Cells*, Advances in Atomic and Molecular Physics (Ratnieki, Latvia, June 16 – 18, 2008).
3. M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola and L. Kalvans, *Bright and Dark Magneto-Optical Resonances in Atomic Cesium*, Advances in Atomic and Molecular Physics (Ratnieki, Latvia, June 16 – 18, 2008).
4. M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola, and L. Kalvans, *F-resolved bright and dark magneto-optical resonances at the cesium D1 line*, 40th EGAS Conference (Graz, Austria, July 2 - 5, 2008), p. 187.
5. L. Kalvans, M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola, A. Papoyan, D. Sarkisyan, *Magneto-optical resonances in atomic rubidium at D1 excitation in ordinary and extremely thin cells*, 40th EGAS Conference (Graz, Austria, July 2 - 5, 2008), p. 191.
6. L. Kalvans, M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola, A. Papoyan, D. Sarkisyan, *Magneto-optical Resonances in Atomic Rubidium in Ordinary and Extremely Thin Cells*, ICAP 2008 Conference (Storrs, Connecticut, USA, July 27 – August 1, 2008), p. 93.
7. M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola, L. Kalvans, *F-Resolved Magneto-optical Resonances in Atomic Cesium at D1 Excitation*, ICAP 2008 Conference (Storrs, Connecticut, USA, July 27 – August 1, 2008), p. 96.
8. L. Kalvans, M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola, , D. Sarkisyan, A. Papoyan, *Magneto-optical Resonances in Rubidium Vapor in a Nanoscale Cell at D1 Excitation*, AOMD-6 Conference (Riga, Latvia, August 24 – 27, 2008). p. 67.
9. A.Dindune, Z.Kanepe, J.Ronis, A.Actinsh, T.Šalkus, A.Kežionis, E.Kamarauskas, A.F.Orliukas, Synthesis, structure and electrical properties of  $\text{Li}_{3-x}\text{Sc}_{2-x-y}\text{Y}_y\text{Zr}_x(\text{PO}_4)_3$  (x =0.1; y=0; 0.1) solid electrolyte ceramics, Starptautiskā Baltijas jūras reģiona konference „Funkcionālie materiāli un nanotehnoloģijas” , (FM&NT), 1.-4. aprīlis, Rīga, Latvija
10. A. Dindune, T.Šalkus, J.Ronis, A.Kežionis, A.F.Orliukas, Structure and electrical properties of  $\text{Li}_{1.4}\text{Ti}_{1.9}\text{Nb}_{0.1}\text{P}_{2.9}\text{O}_{12}$  ceramics, konference „Materials for Functional Elements of Solid State Ionics.” 12. – 14 . oktobris, 2008, Viļņa, Lietuva,
11. L. Grinberga, J. Kleperis, E. Rancans, Preparation and properties of nanocomposite metal hydride battery electrodes, Starptautiskā Baltijas jūras reģiona konference „Funkcionālie materiāli un nanotehnoloģijas” , (FM&NT), 1.-4. aprīlis, Rīga, Latvija
12. L.Skuja, K.Kajihara, M.Hirano, H.Hosono, A.Silins Spectroscopic signatures of hydrogen in oxygen deficiency - related centers in amorphous  $\text{SiO}_2$ , International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies” Riga, April 1-4, 2008, Poster Po90.
13. L.Skuja, K.Kajihara, M.Hirano, H.Hosono, Hydrogen hyperfine interactions in E'- type centers in synthetic silica glass (invited talk), 7th Internat. Symposium on  $\text{SiO}_2$  Advanced Dielectrics and Related Devices, June 30 – July 2, Saint-Etienne, France, Abstracts p.15-16.
14. A. Skudra, G. Revalde, Z. Gavare, N. Zorina, D. Erts, Study inductive coupled hydrogen and argon plasma interaction with  $\text{SiO}_2$  Glass, In Abstracts of Eleventh International Conference on Plasma Surface Engineering (PSE 2008), Garmisch-Partenkirchen, Germany, 15 – 19 September (2008), p.423.
15. E. Bogans, N. B. Ivanenko, A. A. Ivanenko, A. Skudra "High-frequency electrodeless light sources for determination of polluting elements in air”, In abstracts of 4th Nordic Conference on Plasma Spectrochemistry (Nordic Plasma 2008), Loen, Norway, 15-18 June (2008) p.91.
16. Z. Gavare, E. Bogans, A. Svagere, A. Skudra "Determination of mercury concentration in the peat using RA – 915+ mercury analyzer with RP-91C attachment", In abstracts of 4th Nordic Conference on Plasma Spectrochemistry (Nordic Plasma 2008), Loen, Norway, 15-18 June (2008) p. 92.
17. Z. Gavare, A. Skudra, J. Silinsh, M. Granats, Determination of helium number densities in electrodeless low-temperature high-frequency plasma, In abstracts of 19th European Conference on

Atomic and Molecular Physics of Ionised Gases (ESCAMPIG -2008), Granada, Spain, 15 – 19 July (2008), 1-81

18. A. Skudra, Z. Gavare, 58th Meeting of Nobel Laureates in Lindau (19th forum dedicated to Physics), 29th June – 4th July 2008, Lake Constance (Lindau), Germany (zinātniskās pieredzes apmaiņas pasākums, diskusijas ar Nobela prēmijas laureātiem)

19. A.N. Trukhin, 7th Internat. Symposium on SiO<sub>2</sub> Advanced Dielectrics and Related Devices, June 30 – July 2, Saint-Etienne, France, Abstracts p.65-66.

20. J. Teteris, *Direct holographic recording of surface-relief gratings on amorphous chalcogenide films*, XVIth International Symposium on Non-Oxide and New Optical Glasses, April 20-25, 2008, Montpellier, France, OC-48.

21. J. Teteris, *Interaction between Light and Soft Materials*, The 6th Intern. Conf. Advanced Optical Materials and Devices, 24-27 August 2008, Riga, pp. 34.

22. J. Teteris, Third Intern.Conf. on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications, 20-25 July, 2008, Edmonton, Canada, pp.180.

23. J. Teteris, J.Aleksejeva, U. Gertners, A. Gerbreder, M. Reinfelde, *Direct photo-induced surface-relief formation on organic and inorganic amorphous polymer films*. EOS Annual Meeting 2008, 29 September – 2 October 2008, Paris, France, pp. 83.

#### Rezultāti publicēti sekojošos zinātniskos izdevumos.

1. M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola, and L. Kalvans, *F-resolved magneto-optical resonances in the D1 excitation of cesium: Experiment and theory*, Physical Review A **78**, 013417 (2008) (8 pages).

2. M. Auzinsh, N. N. Bezuglov, and K. Miculis, *Manipulation of dark states and control of coherent processes with spectrally broad light*, Physical Review A **78**, 053415 (2008) (10 pages).

3. V. M. Acosta, M. Auzinsh, W. Gawlik, P. Grisins, J. M. Higbie, D. F. Jackson Kimball, L. Krzemien, M. P. Ledbetter, S. Pustelny, S. M. Rochester, V. V. Yashchuk, D. Budker, *Production and detection of atomic hexadecapole at Earth's magnetic field*. Optics Express, Vol. 16, No. 15, 21. July 2008, 11423 – 11430.

4. B. Berzina, L. Trinkler, D. Jakimovica, V.Korsaks, J.Grabis, I.Steins, E. Palcevskis, S.Bellucci, Li-Chyong Chen, S. Chattopadhyay, Kuei-Hsien Chen. „Spectral characterization of bulk and nanostructured AlN”. J. of Phys. Condensed Matter (2008) (iesniegts)

5. V.Pankratov, L.Grigorjeva, S.Chernov, T.Chudoba, W.Lojskowski. *Luminescence properties and energy transfer processes in nanosized cerium doped YAG*. IEEE Transact.on Nucl.Sci. 2008, vol.55, No.3, p. 1509-1513.

6. L. Grigorjeva, D. Millers, J. Grabis, C.J.Monty, A.Kalinko, K. Smits, V.Pankratov and W.Lojskowski. *Luminescence properties of ZnO nanocrystals and ceramics*. IEEE Trans.Actions on Nuclear Sci, 2008, vol.55, No.3, p.1551-1555.

7. K.Smits, L.Grigorjeva, D.Millers, J.D.Fidelus, W.Lojskowski. *Radiative decay of electronic excitations in ZrO<sub>2</sub> nanocrystals and macroscopic single crystals*. IEEE Transactions on Nuclear Sci., v.155, No.3, 2008, p.1523-1526.

8. L.Grigorjeva, D.Millers, A.Kalinko, V.Pankratovs, K.Smits. *Time-resolved cathodoluminescence and photoluminescence of nanoscale oxides*. J. of the European Ceramic Soc. 2008, in press. Pieejams arī tiešsaistē serverī [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

9. L.Grigorjeva, D.Millers, K.Smits, V.Pankratov, W.Lojskowski, J.Fidelus, T.Chudoba, K.Bienkowski, C.Monty. *Excitonic luminescence on ZnO nanopowders and ceramics*. Accepted for publication in Optical Materials.

10. A.F.Orliukas, T.Šalkus, A.Dindune, Z.Kanepe, J.Ronis, A.Určinskas, E.Kazakevičius, A.Kežionis, V.Kazlauskienė, J.Miškinis, Synthesis structure and electrical properties of Li<sub>1+x+y</sub>Sc<sub>x</sub>Y<sub>y</sub>Ti<sub>2-x-y</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (x = 0.15–0.3, y = 0.01–0.15) ceramics, Solid State Ionics, **179**, 159-163, (2008).

11. L.Grinberga, J. Kleperis, *Hydrogen sorption properties of metal hydride and glass phase*, In: NATO Advanced Research Workshop on Using Carbon Nanomaterials in Clean-Energy Hydrogen Systems, NATO Science for peace and security series C: Environmental Security, Carbon nanomaterials in clean energy hydrogen systems, B. Baranowsky *et. al.* eds., 543-548, Springer, ISBN: 978-1-4020-8896-4 (in press)

12. L. Skuja, K. Kajihara, M. Hirano, H. Hosono, *Variation of infrared absorption cross sections of hydrogen-bonded silanol groups in silica modified by vacuum-UV photons*, European Journal of Glass 2008 (accepted).
13. L. Skuja, K. Kajihara, M. Hirano, H. Hosono. *Hydrogen-related radiation defects in SiO<sub>2</sub> - based glasses*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section **B266**, No12-13, p.2971-75 (2008).
14. A. Skudra, N. Zorina, Z. Gavare, M. Berzins, and D. Erts „*Light source inner surface changes depending on treatment*”, Physica Status Solidi **C 5** (2008), No 4, 915 - 917
15. A. N. Trukhin, K. M. Golant, Y. Maksimov, M. Kink, R. Kink, *Recombination luminescence of oxygen-decient centers in silica*, J. of Non-Crystalline Solids, **354**, 244-248 (2008).
16. J. Teteris and M. Reinfelde, *Holographic recording in amorphous chalcogenide thin films*, Journ. Non-Cryst. Sol., **353** 1450-1453 (2007).
17. I. Johnson, Jefimovs K., Bunk O., David C., Dierolf M., Gray J., Renker D., Pfeiffer F. *Coherent diffractive imaging using phase front modifications*. Phys. Rev. Lett, **100** 155503 (2008).
18. A. Bulanovs, Vj. Gerbrederis, V. Pashkevich. *Principles of creation and reconstruction of dot-matrix holograms*. Latvijas Fizikas un Tehnisko Zinātņu Žurnāls, Nr 2-2008, 44-51 (2008).

#### Patenti

Par rezultātiem saņemts viens starptautiskais patents, kas darbojas 31 valstī:

Starptautiskais patents. Zirconium dioxide luminescence oxygen sensor. W.Lojkowski, D.Millers, J.Fidelus, L.Grigorjeva, A.Opalinska, U.Narkiewicz, W.Strek. Patent No.06784042.1-2204 PCT/PL 2006000060 (date 08.04.08).

Projekta vadītājs \_\_\_\_\_ /Linards Skuja/ 2008-11-29  
(paraksts un tā atšifrējums, datums)

#### **2. Projekta “Perspektīvie neorganiskie materiāli optoelektronikai un mikroelektronikai un modernās metodes struktūras pētījumos” mērķis:**

Perspektīvu neorganisko daudzfunkcionālu nanomateriālu izstrāde, kas balstīta uz modernajā opto- un mikroelektronikā nepieciešamo struktūru mikromehānisko, elektrisko un optisko īpašību izpēti ar modernām metodēm.

#### 2. Projekta 5. posma „Darba uzdevumā” definētie uzdevumi:

2.1. Volframatu nanokristālu izgatavošana ar ķīmiskām metodēm. Volframatu nanokristālu luminescences, SEM un Ramana spektroskopijas pētījumi, izmantojot konfokālo spektromikroskopiju. Eksperimentālo datu apstrāde un modelēšana.

2.2. Izmantojot liela mēroga datoru modelēšanu, pētīt nanomateriālus ar ideālām un defektīvām struktūrām (ieskaitot Cu/LiF nanokompozītus, kā modeļu sistēmas, kuras svarīgas Li baterijām; molekulārās struktūras uz pārejas metālu virsmām degvielas šūnās; keramiskās membrānas, kā arī nanocauruļu, oksīdu un fluorīdu starpvirsmu īpašības un reakciju spējas). Kinētisko pētījumu ietvaros, izmantojot parametru novērtējumu no pirmajiem principiem, tiks modelētas adsorbāta struktūru nelīdzsvara fāžu pārejas uz metālisko katalizatoru virsmām.

2.3. Modelēt polarizācijas procesus cietā vielā, kombinējot klasisko, ab initio un atklāto sistēmu aprakstu, šim nolūkam pilnveidojot matemātiskās metodes (Fokkera-Planka vienādojumu, Wentzela-Kramera-Brijuēna transformācijas) modeļa hamiltoniānu režģa reprezentācijai un ieviešot atklāto sistēmu koncepciju nelīdzsvara procesu aprakstam segnetoelektriķos.

2.4. Caurspīdīgu nanostrukturētu ZnO pārklājumu iegūšana optiskiem un optoelektroniskiem pielietojumiem: mehanoaktivētas oksidēšanas metodes temperatūras režīmu izstrādāšana un

atkvēlināšanas temperatūras ietekmes izpēte uz ZnO pārklājumu adhēziju, struktūru, mikrociētību un optiskām īpašībām.

2.5. Noteikt ultraskaņas lomu uz atsārmotas stikla šķiedras poru struktūru un ietekmi uz aktīvās vielas nanodaļiņu infūziju porās.

2.6. Iegūt stikla un stikla keramikas oksifluorīdu kompozītmateriālus, pētīt to struktūru ar XRD un SEM metodēm, lai noskaidrotu kristalītu sastāvu un izmērus, turpināt pētījumus ar optiskajām un magnētisko rezonanšu metodēm un variēt sastāvus atbilstoši pētījumos iegūtajai informācijai un potenciālajiem oksifluorīdu kompozītmateriālu pielietojumu virzieniem.

2.7. Nanovadu arhitektūru struktūras, vadāmības un fotovadāmības pētījumi nanoelektronikas un fotonikas pielietojumiem.

## 2. Projekta 5. posmā definēto uzdevumu izpildes rezultāti:

2.1. Šajā darbā cinka volframāta ( $ZnWO_4$ ) nanokristāli tika sintezēti ar ķīmiskajām metodēm. To spektro-mikroskopijas pētījumi tika veikti, izmantojot konfokālo mikroskopu ar spektrometru „Nanofinder-S” un fotoluminiscences metodi. Ar ab initio metodēm tika modelēta cinka volframāta elektroniskā struktūra. Iegūtās jaunās atziņas par nanokristāliska volframāta lokālo struktūru un tās relaksāciju ļauj prognozēt plašāku nanokristālisko volframātu pielietojumu scintilējošos ekrānos, sensoros un elektrochromās ierīcēs.

2.2. Turpināta nitrīdu un oksīdu virsmas un nanostruktūras procesu, kā arī piemaisījuma defektu datamodelēšana ar kvantu ķīmiskām metodēm. Starpatomu potenciāli, kuri aprēķināti no šiem modeļiem, tika izmantoti minēto procesu termodinamiskam aprakstam. Kinētisko pētījumu ietvaros tika modelētas adsorbāta struktūru nelīdzsvara fāžu pārejas uz metālisko katalizatoru virsmām. Izveidotās modeļu sistēmas ir svarīgas Li baterijām; molekulārām struktūrām uz pārejas metālu virsmām degvielas šūnās; keramiskās membrānās, kā arī nanocauruļu, oksīdu un fluorīdu starpvirsmu īpašību un reakciju spēju izpratnei.

2.3. Veikts segnetoelektrisko domēnu pamatīpašību teorētisks apraksts ārēju faktoru (mainīga elektriskā lauka, temperatūras) iedarbībā. Galvenais rezultāts ir konvencionālā apraksta pilnveidošana atbilstoši nanotehnoloģiju attīstībai. Izmantojot mikroskopisko (ab initio) aprēķinu rezultātus, modeļa telpiskais mērogs samazināts līdz teorētiski iespējamai robežai – kristāliskā režģa elementārai šūnai (0.4 nm, 5 atomi primārā šūnā, 625 atomi superšūnā). Līdz ar to ir sasniegta robeža, kad parādās jauni klasiskā teorijā aizliegti efekti, kas, kā pārliecinoši noskaidrots jaunākajos neitronu izkliedes un dielektriskās spektroskopijas eksperimentos, nosaka minēto materiālu ultra-augstus parametrus un nodrošina to tehnoloģiskās īpašības.

To teorētiskais apraksts ir moderna un aktuāla starptautisku pētījumu problēma un vienlaicīgi projekta sākotnējo uzdevumu loģisks turpinājums.

2.4. Agrāk tika parādīts, kā ZnO pārklājumi, kas iegūti ar virsmas fizikas laboratorijā izstrādāto mehanoaktivācijas metodi, var morfoloģiski atšķirties, veidojot gan adatu tipa kristālus, gan graudu struktūru. Ir zināms, ka nanostruktūra ļoti bieži ir termiski nestabila un atkvēlināšana var novest pie struktūras elementu izmēra augšanas un nanostruktūrām raksturīgo īpašību zaudēšanas. Šajā darba posmā, izmantojot atomspēka mikroskopu (AFM) un skanējošo elektronu mikroskopu (SEM) ir parādīts, ka atkarībā no atkvēlināšanas temperatūras notiek pārklājuma virsmas struktūras modificēšanās. Intervālos 753K – 823K un arī virs 973K pārklājumi galvenokārt raksturojas ar sīkgraudainu struktūru ( $d \approx 50 - 100$  nm). Temperatūru intervālā 873K – 923K formējas adatveida kristalītu struktūra ( $d \approx 20 - 40$  nm,  $l \approx 0,4 - 3$   $\mu$ m), kura pārkristalizējas uz sīkgraudainu struktūru temperatūrā virs 973K. Virs 1000K temperatūras sākas rekrystalizācijas procesi, virs 1050K veidojoties lieliem graudiem ( $d > 100-300$  nm). Pārklājumiem ar adatveida kristalītu struktūru virsmas slānī ir augsta mikrociētība (līdz 18GPa) kā arī ZnO raksturīgi absorbcijas un fotoluminiscences spektri (kuri satur zilo un zaļo joslu).

Pārklājumi ar sīkgraudainu struktūru ir perspektīvi izmantošanai saules baterijās, bet

pārklājumi ar adatveida struktūru ir perspektīvi kā optoelektroniskie un sensoru materiāli.

2.5. Tika veikta stikla virsmas modificēšana - aktivēšana, kontrolējot atsārmošanas procesa parametrus un to ietekmi uz šķiedras porainību. Konstatēts, ka uz poru virsmas veidojas silanolu grupas, kas imobilizē skābes katalizatorus no jonu šķidrumiem. Pētīta ultraskaņas ietekme uz atsārmošanās šķiedras mikrostruktūru, masas zudumiem un ģeometrisko izmēru maiņu (stikla šķiedras garuma izmaiņas). Aktīvās vielas efektīva infūzija porās un tās imobilizācija uz silikāta virsmas nosaka poru sadalījums un tajās pieejamās silanolu grupas. Tādēļ izmantotas poru analīzes metodes, Ramana spektroskopija, OM un ASM.

Eksperimentāli pārbaudīta ultraskaņas (US) ietekme uz E-stikla šķiedras izsārmošanas kinētiku. Izmantota E-stikla šķiedra, kura nav apsmidzināta ar saistvielu un ir izvilkta pie zemāka ātruma, tāpēc tās diametrs ir lielāks (200-250 μm) ne kā rūpnieciskai (6-8 μm) šķiedrai. Kā US gadījumā, tā bez US atsārmošanas temperatūrā 90±2 °C pie atsārmošanas laika 30 min svara zudumi atbilstoši ir 31% un 19%. US temperatūru intervālā 42 - 92°C paaugstina zudumus par 11-12% un būtiski maina poru struktūru.

Atsārmošanas procesā tika iegūta stikla šķiedra ar poru izmēriem un specifisko virsmu 2÷10 nm un 0,1÷300 m<sup>2</sup>/g. Atsārmošanai pie 80°C stikla šķiedrai novērota garuma saraušanās par 13% un 11% atbilstoši ar US un bez US, kas saistīta ar OH grupu polikondensāciju un stiklveidotāju oksīdu tīkla strukturālu pārkārtošanos, ko jau atsārmošanas procesā sekmē ultraskaņa. Ultraskaņa nobīda poru sadalījumu E-stikla šķiedrā mikro poru virzienā, samazinot meza poru tilpumu un sekmējot šķiedras sarukšanu – rezultātā samazinās absorbētā H<sub>2</sub>O daudzums. Ultraskaņa saīsina atsārmošanas laiku. Ramana spektroskopijas dati liecina, ka atsārmošanā šķiedrā ir liela koncentrācija silanolu grupu.

K-stikla paraugu Ramana spektri un to joslu stāvoklis atbilst disilikātam. Gan E-stikla šķiedrai, gan K-stikla šķiedrai Ramana spektrs sakrīt ar masīva E-stikla un K-stikla Ramana spektru. Stikla struktūra būtiski nemainās, ja no tā iegūst šķiedras. Izsārmojot K-stikla audumu, būtiski mainās augstfrekvences un zemfrekvences joslu novietojums. Tas norāda uz struktūras izmaiņu. Augstfrekvences joslas nobīde norāda uz struktūras izmaiņu metasilikāta virzienā, kaut gan zemfrekvences joslas nobīde to neapstiprina. Iespējams, ka šeit ir būtiska arī ķīmiskā sastāva izmaiņa izsārmošanas procesā. E-stikla šķiedras izsārmošana noved pie Ramana joslu nobīdes pretējā virzienā, salīdzinot ar K-stikla izsārmošanas gadījumu. Izsārmojot E-stikla šķiedru, augstfrekvences josla nobīdās uz augstākām frekvencēm, kas norāda uz iespējamo Si-O tīkla polimerizācijas pakāpes palielināšanos. Zemfrekvences joslas nobīde ir neliela.

Šādi poraini stiklveida materiāli ar augstu SiO<sub>2</sub> saturu ir perspektīvi kā membrānas, kā pamatnes katalizatoriem, kā augsttemperatūras vide funkcionālām nanodispersām daļiņām.

2.6. Iegūti oksifluorīdu kompozītmateriālu paraugi uz sārmu metālu borātu un silikātu un vairāku vienvērtīgu un trīsvērtīgu metālu fluorīdu bāzes, aktivēti ar retzemju joniem Er un Yb. Balstoties uz stiklveida paraugu diferenciālās termiskās analīzes (DTA) datiem un izmantojot jaunu augsttemperatūras mufelkrāsni, optimizēta paraugu keramizācijas tehnoloģija. Iegūti ar Er aktivēti NaLaF<sub>3</sub> nanokristālus saturoši, efektīvi daudzfononu ierosmes luminofori, kas ir perspektīvi infrasarkanās gaismas vizualizācijas materiāli.

Turpinot kompozītmateriālu pētījumus ar magnētisko rezonanšu metodēm, novērotas izmaiņas magnētisko rezonanšu (EPR) spektros, apstarojot paraugus ar rentgena starojumu, kas liecina par radiācijas defektu veidošanos.

2.7. Pabeigti pētījumi un apkopotie rezultāti par optimālākajām metodēm tehnoloģijās izmantojamu Ge nanovadu audzēšanā anodizēta alumīnija oksīda (AAO) matricās. Lai raksturotu nanovadu grupu vadāmību, tika izmantoti makroelektrodi, bet individuālu nanovadu vadāmība un matricas pildījuma kvalitāte tika raksturota, izmantojot vadošo atomspēku mikroskopu. Parādīts, ka, audzējot Ge nanovadus bez zelta nanostruktūru klātbūtnes matricā, porās veidoto Ge nanostruktūru īpatnējā pretestība ir 2-4 kārtas lielāka nekā pamatvielas vadāmība. Vadāmība uzlabojas, ja nanovadi tiek audzēti AAO porās, kuru sienas pārklātas ar

Au nanodaļiņām. Polikristālisku nanovadu gadījumā īpatnējā pretestība var būt pat mazāka par pamatvielas īpatnējo pretestību, kamēr monokristālisku nanovadu gadījumā tā ir aptuveni 2 kārtas lielāka par pamatvielas īpatnējo pretestību. Ja kā aizmetņi nanovadu augšanai kalpo 500-1000 nm gari Au nanovadi, kuri poru vienā galā nogulsnēti, izmantojot elektroķīmisko metodi, tiek iegūti kristāliski nanovadi ar īpatnējo pretestību, kura ir par 2-3 kārtām lielāka nekā pamatvielai. Lai gan īpatnējās pretestības ir tuvas kristāliskiem nanovadiem, kuri audzēti no Au daļiņām, kuras novietotas uz AAO poru sienīņām, rezultātu izkliede ir daudz lielāka. Izveidota iekārta nanoierīču darbības pārbaudei *in situ* skenējošajā elektronu mikroskopā.

Projektā iesaistīto darba grupu atbalstam tika nodrošinātas iespējas veikt kompleksus materiālu struktūras (rentgendifraktometrija), virsmu morfoloģijas (AFM, SEM), ķīmiskā sastāva (SEM-EDX) un optisko īpašību (optiskā elipsometrija) pētījumus tilpuma materiāliem un tehnoloģiski nozīmīgiem plāniem pārklājumiem. Īss minēto metožu raksturojums un lietojums projekta 5. posma īstenošanā:

a) jaunā rentgendifraktometra (PANalytical ExpertPro) ieviešana deva nozīmīgu pētījumu kvalitātes uzlabošanu, panākot labāku metodes izšķiršanas spēju, augstāku jutību un produktivitāti; b) skenējošā elektronu mikroskopa (SEM) pielietojums bija galvenokārt oksīdu keramikas virsmu morfoloģijas pētījumiem un ķīmiskās sintēzes izejvielu pulveru ķīmiskā sastāva analīzei ar EDX metodi līdz pat submikronu izmēra daļiņu izšķiršanai; darba virzieni saistīti ar bezsvina pjezokeramikas īpašību izpēti; c) daudzslāņu plānu kārtiņu (to skaitā – submikrona caurspīdīgu oksīdu materiālu pjezokārtiņu un optisko pārklājumu) īpašību pētīšana tika veikta ar mainīga krišanas leņķa optiskās elipsometrijas metodēm; parādīta laba novēroto optisko īpašību (piemēram, aizliegtās zonas platuma, laušanas koeficienta, absorbcijas u.c.) korelācija ar kārtiņu iegūšanas tehnoloģiskajiem parametriem tā nodemonstrējot elipsometriju kā efektīvu bezkontakta metodi tehnoloģiski nozīmīgu pārklājumu izpētē.

**Kopsavilkums:** 2. projekta 5. posmā definētie uzdevumi sekmīgi izpildīti. Par iegūtajiem rezultātiem ziņots 29 referātos vietējās un starptautiskās konferencēs, rezultāti atspoguļoti 15 starptautiski citējamās žurnālos, 9 publikācijas jau izdotas, 6 – akceptētas publicēšanai. Par projekta ietvaros iegūtajiem rezultātiem aizstāvēts bakalaura darbs un pieņemts aizstāvēšanai promocijas darbs fizikas doktora grāda iegūšanai. Teorētisko pētījumu rezultātā izstrādātie modeļi ļauj izprast nelīdzsvara procesus tādās svarīgās ierīcēs, kā Li- baterijas, degvielu šūnas, keramiskas membrānas. Iegūtas jaunas atziņas par nanokristālisku volframātu lokālo struktūru un tās relaksāciju, ļaujot prognozēt plašāku to pielietojumu sensoros un elektrochromās ierīcēs. Lietojot mikroskopiskām sistēmām modificētu modelēšanu, izskaidrotas segnetoelektrisko domēnu pamatīpašību izmaiņas mainīga elektriskā lauka un temperatūras ietekmē. Mainot caurspīdīgo ZnO pārklājumu termisko apstrādi, iegūti gan saules baterijām perspektīvi, sīkgraudaini pārklājumi, gan otoelektronikā un sensoru tehnikā lietojami pārklājumi ar adatveida struktūru. Optimizējot stikla virsmas nanostrukturēšanu ar ultraskaņu, iegūta katalizatoriem un membrānām perspektīva, poraina augsttemperatūru vide. Apkopoti rezultāti par optimālākajām metodēm tehnoloģijās izmantojamu Ge nanovadu audzēšanā anodizēta alumīnija oksīda matricās. Iegūtie rezultāti paver tālākas iespējas optoelektronikas un mikroelektronikas ierīču miniaturizācijai.

Par iegūtajiem rezultātiem ziņots sekojošās konferencēs.

1. A. Gopejenko, J. Žukovskis, P. Vladimirov, J. Kotomins, O un Y piemaisījumu *ab initio* aprēķini Fe *fcc* režģī, *LU CFI Zinātniskā konference*, 20.-22. februārī, 2008.g., Rīga, Latvija.
2. A. Kuzņecovs, A. Belijs, Ē. Klotiņš, Metastabilitāte 3D Landau modeļos ar brīviem robežnoteikumiem, *LU CFI Zinātniskā konference*, 20.-22. februārī, 2008.g., Rīga, Latvija.

3. D. Bočarovs, J. Žukovskis, D. Grjaznovs, R. Evarestovs un J. Kotomins, *UN kodolu degvielas struktūra un īpašības: kvantu ķīmijas pieeja*, *LU CFI Zinātniskā konference*, 20.-22. februārī, 2008.g., Rīga, Latvija.
4. L.Pētersone, V.Eglītis, A.Lūsis, Ultraskaņas ietekme uz stikla šķiedras atsārmošanas procesa kinētiku un šķiedras poru struktūru, *LU CFI Zinātniskā konference*, 20.-22. februārī, 2008.g., Rīga, Latvija.
5. J.Grūbe, A.Šarakovskis, L.Dimitročenko, M.Spriņģis, Ar erbiju un iterbiju aktivēta oksifluorīdu silikāta stikla „up-conversion” procesu temperatūras atkarība, *LU CFI Zinātniskā konference*, 20.-22. februārī, 2008.g., Rīga, Latvija.
6. A.Šarakovskis, L. Dimitročenko, J. Grūbe, M. Sprīņģis, Up-conversion”luminiscences spektrālie un kinētiskie pētījumi NaYF<sub>4</sub>: Er nanokristālus saturošā stikla keramikā, *LU CFI Zinātniskā konference*, 20.-22. februārī, 2008.g., Rīga, Latvija.
7. A.Fedotovs, U.Rogulis, A.Šarakovskis, L.Dimitročenko, Radiācijas defektu EPR fluorīdu kristālos un oksifluorīdu stikla keramikā, *LU CFI Zinātniskā konference*, 20.-22. februārī, 2008.g., Rīga, Latvija.
8. V. Eglītis, G.Gabrusenoks, A. Lūsis, L. Petersone, G. Veveris, The sorption-desorption properties of the nanostructured technical glass fibers, *FM&NT-2008 International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies*, 1.-4. April, 2008, Rīga, Latvia, Abstract, p.164.
9. A. Sarakovskis, J. Grube, L. Dimitročenko, M. Springis, Time-resolved spectroscopy of up-conversion processes in Er doped NaYF<sub>4</sub> silicate glass ceramics, *FM&NT-2008 International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies*, 1.-4. April, 2008, Rīga, Latvia, Abstract, p. 102.
10. E. Klotins, „Polarization: developments in computational studies”, *FM&NT-2008 International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies*, 1.-4. April, 2008, Rīga, Latvia, Abstracts, p. 23.
11. V.N. Kuzovkov and W.von Niessen, Anderson localization: Random walk approach, *FM&NT-2008 International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies*, Abstracts: p. 166.
12. F.Muktepavela, G.Bakradze, L.Grigorjeva, R.Zabels, A.Gerbreders, E.Tamanis, Effect of the annealing on structure and properties of ZnO films obtained by mechanical oxidation, *FM&NT-2008 International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies*, Abstracts, p.172.
13. A. Kalinko, A. Kuzmin, Raman and photoluminescence spectroscopy of zinc tungstate powders, *FM&NT-2008 International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies*, Abstracts, p.98.
14. A. Kalinko, A. Kuzmin, R.A. Evarestov, “Ab initio study of the electronic and atomic structure of the wolframite-type ZnWO<sub>4</sub>”, *FM&NT-2008 International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies*, Abstracts, p.99.
15. P.Birjukovs, N.Petkov, K.Wang, J.D.Holmes, D.Erts, Restivity and contact resistances of Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> nanowires and mesoporous carbon inside nanoporous membranes, *FM&NT-2008 International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies*, Abstracts, p. 184.
16. R.I. Eglītis, D. Vanderbilt, *Ab initio* calculations of BaTiO<sub>3</sub>, PbTiO<sub>3</sub>, SrTiO<sub>3</sub> (001) and (011) surface structures, *International Workshop “Fundamental Physics of Ferroelectrics*, Williamsburg, VA, USA, February 10.-13., 2008, Abstracts: p. 70-71.
17. A. Kuznetsov, E. Klotins, „Probability density approach for ferroelectric ordering, *International Workshop “Fundamental Physics of Ferroelectrics*, Williamsburg, VA, USA, February 10.-13., 2008, Program & Abstracts, p.84.
18. E. Klotins, Critical Mode Coupled to the Heath Bath and Implications of ab initio Thermodynamics, (invited), *Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity RCBJSF-9*, Vilnius, Lithuania, 15-19 June, 2008, Abstracts, p. 98.
19. E. Klotins, A. Kuznetsov, Statistics of competing lattice instabilities and structural transitions in complex oxides, *International Conference in Statistical Physics*, Sigma phi 2008, 14-18 July, 2008, Kolympariy, Crete, Greece, Abstracts, p.61.

20. E. Klotins, Critical mode coupled to the heath bath and implications of ab initio thermodynamics, *International conference „Frontiers of Quantum and Mesoscopic Thermodynamics”*, Praha, 27.07 – 03.08, 2008, Abstracts, p.155.
21. Yu.F. Zhukovskii, V. Kashcheyevs, S. Piskunov, Yu.N. Shunin, E.A. Kotomin, Carbon nanotubes and nano-interconnects as basic elements for the next-generation nano-electronic devices, *6<sup>th</sup> International Conference "Information Technologies and Management", IT&M'2008*, Riga, Latvia, April, 2008, Abstracts: p. 25.
22. D. Bocharov, Yu.F. Zhukovskii, E.A. Kotomin, Interaction of the oxygen molecule with the UN(001) surface: *Ab initio* modeling, *7<sup>th</sup> International Workshop "Materials Models and Simulations for Nuclear Fuels"*, Karlsruhe, Germany, September, 2008.
23. G. Zvejnieks, E.E. Tornau, "Modeling of phase separation in Au-Ni surface alloy", *14<sup>th</sup> International Conference on Thin Films & Reactive Sputter Deposition 2008, ICTF14&RSD2008*, Gent, Belgium, November 2008, Proceedings ICTF14&RSD2008 (ISBN 978 90 334 7347 0), p. 358-361.
24. F. Muktepavela, L. Grigorjeva, R. Zabels, G. Bakradze, E. Tamanis, Nanohardness and structure of ZnO coatings, *The 6th Intern. Conf. Advanced Optical Mater. and Device, AOMD-08*, Riga, 24-27 August 2008, Abstracts, p.59.
25. F. Muktepavela, G. Bakradze, L. Grigorjeva, R. Zabels, E. Tamanis, Properties of ZnO coatings obtained by mechanoactivated oxidation, *International conference "Transparent oxide coatings" IS-TCO -2008*, Heraclion, Crete, 22-26 October 2008, Abstracts, p.130.
26. P. Birjukovs, N. Petkov, K. Wang, J.D. Holmes, D. Erts, Investigation of individual nanowires inside anodized aluminium oxide matrix by conductive AFM, *International conference „Seeing at the Nanoscale VI”*, Berlin, Germany, 8-11 July 2008.
27. P. Birjukovs, SEM possibility expanding for nanomaterials' investigation, *Bruker EDS & Hitachi EM Users Meeting*, Stockholm, Sweden, Sept 30 - Oct 1., 2008.
28. A. Fedotovs, U. Rogulis, A. Sarakovskis, L. Dimitroenco, EPR of radiation defects in Lithium-oxyfluoride glass-ceramics, *International conference ICDIM2008*, 24-29 August, 2008, Aracaju-SE-Brasil, Abstracts, A053.
29. U. Rogulis, R.C. Baetzold, J.-M. Spaeth, Luminescence-detected EPR of oxygen-vacancy complexes in CaF<sub>2</sub>, *International conference ICDIM2008*, 24-29 August, 2008, Aracaju-SE-Brasil, Abstracts, A031.

#### Rezultāti publicēti sekojošos zinātniskos izdevumos.

1. E. Klotins, A. Kuznetsov, Structural Instability in Ferroelectrics: Superimposing Hamiltonian and Stochastic Dynamics, *Integrated Ferroelectrics*, 2008, **102**: 1-17.
2. Kuznetsov, A. Bely, E. Klotins, Notes on the electroelastic interaction in joint hamiltonian and stochastic treatment of polarization response, *Ferroelectrics*, 2008, **373**: 1-7.
3. E.A. Kotomin, S. Piskunov, Yu.F. Zhukovskii, R.I. Eglitis, A. Gopejenko, D.E. Ellis, The electronic properties of an oxygen vacancy at ZrO<sub>2</sub>-terminated (001) surfaces of cubic PbZrO<sub>3</sub>: Computer simulations from the first principles, *Phys. Chem. & Chem. Phys.*, 2008, **10**, p. 4258-4263.
4. Yu.F. Zhukovskii, E.A. Kotomin, P. Balaya, J. Maier, Enhanced interfacial lithium storage in nanocomposites of transition metals with LiF and Li<sub>2</sub>O, *Solid State Sci.*, 2008, **10**, p. 491-495.
5. G. Zvejnieks, E.E. Tornau, Simulation of reaction-induced phase separation in surface alloy. *Acta Phys. Polonica A*, 2008, **113**, 1099 (p. 1-4).
6. N. Petkov, P. Birjukovs, R. Phelan, M. A. Morris, D. Erts, J. D. Holmes, Arrays of 1-dimensional Ge nanostructures within channel substrates with controlled crystallinity and Electrical properties, *Chem. Mater.*, 2008, **20**, 1902–1908.
7. S. Larcheri, F. Rocca, F. Jandard, D. Pailharey, R. Graziola, A. Kuzmin, J. Purans, X-ray excited optical luminescence detection by scanning near-field optical microscope: a new tool for nanoscience, *Rev. Sci. Instrum.*, 2008, **79**, 013702, 9 pp.
8. F. Muktepavela, G. Bakradze, V. Sursaeva, Micromechanical properties of grain boundaries and triple junctions in polycrystalline metals exhibiting grain boundary sliding at 293K, *J. Mater. Sci.*, 2008, **43**, pp.3848-3854.

9. I.Manika, J. Maniks, Effect of substrate hardness and film structure on indentation depth criteria for film hardness testing, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2008, **41**, No.7, 074010, 6 pp.

Rezultāti, kas iesniegti publicēšanai.

1. Kalinko, A. Kuzmin, Raman and photoluminescence spectroscopy of zinc tungstate powders, *J. Luminescence*, 2008, [iesniegts].
2. A.Kalinko, A. Kuzmin, R.A. Evarestov, Ab initio study of the electronic and atomic structure of the wolframite-type ZnWO<sub>4</sub>, *Solid State Communications*, 2008, [iesniegts].
3. E. Klotins, Stochastic Dynamics of Ferroelectric Polarization, *Ferroelectrics*, 2008, (iespiešanās)
4. E. Klotins, A. Kuznetsov, A. Bely, Polarization Response Explored by Joint Hamiltonian and Stochastic Approach, *Applied Physics A*, 2008, (iespiešanās).
5. E. Klotins, A. Kuznetsov, Mesoscopic scale structural instability in ferroelectrics, *Ferroelectrics* 2008, (iespiešanās).
6. J. Grube, A. Sarakovskis, L. Dimitrocenko, M. Springis, Temperature effects in up-conversion processes for erbium – ytterbium doped oxyfluoride silicate glass. *Latv. J. of Phys. & Techn. Sci.* (pieņemts).

Par rezultātiem aizstāvēts bakalaura darbs un pieņemts aizstāvēšanai promocijas darbs fizikas doktora grāda iegūšanai.

J. Grūbe „Daudzfotonu procesā ierosināta erbijas jona luminiscence oksifluorīdu stiklā un keramikā” (bakalaura darbs, aizstāvēts 2008.g. maijā).

A. Fedotovs „Radiācijas defektu EPR fluorīdu kristālos un oksifluorīdu stikla keramikā”, Rīga, 2008, 72 lpp., (promocijas darbs, pieņemts aizstāvēšanai 02.12.2008.).

Projekta vadītājs \_\_\_\_\_ M. Springis, 2008. gada 1. decembrī  
(paraksts un tā atšifrējums, datums)

3. Projekta ”**Materiāli fotonikai un nanoelektronikai balstīti uz jauniem funkcionāliem zem molekulāriem un augstmolekulāriem organiskiem savienojumiem**” mērķis ir radīt jaunus oriģinālus fotoefektīvus organiskos savienojumus (zem molekulāros savienojumus, oligomērus un polimērus), materiālus un sistēmas fotonikai un optoelektronikai, izmantojot mērķtiecīgu to projektēšanu, sintēzi un izpēti.

3. Projekta 5.posma „Darba uzdevumā” definētie uzdevumi:

3.1. Modificētu azobenzolu, tajā skaitā heterociklisku azobenzolu sintēze nelineāriem optiskiem un fotoinducētu virsmas reljefu veidojošiem materiāliem molekulāru hromoforu un oligomēra virknē kovalenti saistītu hromoforu veidā. Jaunu hromoforu sintēzes metožu izstrādāšana un sintēze, attīstot hromoforu, tajā skaitā amorfu plēvju veidojošu hromoforu telpisko struktūru un dendrimēru sintēzi, lai nodrošinātu pētījumus par hromoforu optimālās telpiskās formas ietekmi uz materiālu nelineārām īpašībām.

3.2. Jaunu DMABI analoģu sintēze nelineāriem optiskiem un fotoinducētu virsmas reljefu veidojošiem materiāliem. 4-aza-2-(4'-N,N-dimetilaminobenziliden)-1,3-indandiona sintēzes metodes izstrādāšana, sintēze un pētījumi. Starpmolekulārās sadarbības (H-saišu) izmantošanas iespējas nelineāro efektu pastiprināšanai. Vairākus slāpekļa atomus saturošu heterociklisku DMABI sintēzes iespēju pētījumi. Elektrostātisku agregāciju traucējošu un reaģēt spējīgu funkcionālu grupu ievadīšana ftaloilpaliekā, tajā skaitā reaģētspējīgas hidroksilgrupas vai modificētas aminogrupas ievadīšana.

3.3. Jaunu IPB analoģu sintēze nelineāriem optiskiem materiāliem. 1,3-indandiona cinnolīnija betaīnu sintēzes metožu izstrāde, to sintēze un pētījumi. IPB, DMABI un azobenzolu

hromoforus saturošu konjugētu sistēmu sintēze un pētījumi.
3.4. Sintezēt un attīrīt līdz nepieciešamai pakāpei C60 un C70 fullerītus fotovoltaisko materiālu sintēzei nepieciešamos daudzumos.
3.5. Izstrādāt jauna N-alkil, N-arilsulfonamīda grupējumu saturoša 4-fenilamino azobenzola sintēzes metodi, iegūt paraugus nelineāro optisko procesu pētījumiem.
3.6. Sintezēt dažādas funkcionālas grupas saturošu azobenzola atvasinājumu paraugus jaunu hologrāfisku materiālu meklējumiem. Pētīt polimēra kārtiņu ar ievietotām AB atvasinājumu molekulām virsmas reljefa veidošanos fotoizomerizācijas procesā.
3.7. Stilbēna azosavienojumu un hologrāfiskā ieraksta optimizācija, lai palielinātu ieraksta efektivitāti un virsmas reljefa modulācijas amplitūdu.
3.8. Gaismas polarizācijas ietekmes izpēte uz stilbēna azosavienojumu hologrāfiskajiem raksturlielumiem.
3.9. Vektorhogrammu ieraksta iespēju izpēte stilbēna un citos azosavienojumos.
3.10. Izpētīt iespēju izveidot augsti fotojutīgu organisko materiālu kompozītu ar plašu fotojutības spektrālo diapazonu, kurš pārklāj UV, redzamo un tuvo infrasarkanā spektra daļu. Izgatavot šo kompozītu laboratorijas paraugus un veikt šo jauni radīto kompozītu spektrālos raksturlielumu mērījumus.
3.11. Izveidot molekulārās diodes ar heteropāreju, kuru nosaka DMABI atvasinājumu ar dažādiem HOMO un LUMO līmeņiem, sublimētās plānās kārtiņas. Izpētīt lādiņnesēju pārneses procesus bislāņu struktūrā telpas lādiņu ierobežoto strāvu režīmā.
3.12. Izveidot molekulārās polimēra diodes ar DMABI atvasinājumiem ar dažādiem HOMO un LUMO līmeņiem. Izpētīt fotoelektriskos (virsmas potenciāla un fotovadamības) procesus bimolekulārā struktūrā.
3.13. Salīdzināt fotoelektriskos procesus polimēra kārtiņās ar DMABI atvasinājumiem orientētos un neorientētos apgabalos.
3.14. Izpētīt lādiņnesēju saķeršanas centru enerģētiku ftalocianīnu bislāņu struktūrā telpas lādiņu ierobežoto strāvu režīmā.
3.15. Turpināt NLO īpašību pētījumus polimēriem, kuriem sānu ķēdēs piesaistīti NLO aktīvi hromofori (azobenzolu un indandiona atvasinājumi). Optimizēt hromoforu orientēšanas parametrus šajos polimēros.
3.16. Izveidot eksperimentālo iekārtu (Maha-Zendera interferometru) polimēra kārtiņu elektrooptisko koeficientu noteikšanai. Izstrādāt mērījumu un datu apstrādes metodiku.
3.17. Pētīt NLO informācijas ieraksta iespējas indandiona atvasinājumus saturošās polimēru kārtiņās.
3.18. Oglekļa nanocaurulišu vadāmības un lauka emisijas īpašību pētījumi.
3.19. Optiski un bioloģiski aktīvu molekulu sorbcija nanostrukturētos materiālos.
3.20. Izanalizēt fullerēnu ietekmes mehānismu uz sistēmas fotojutību un spektrālo atkarību diviem dažādiem fullerītu veidiem.

4. Projekta 5.posmā definēto uzdevumu izpildes rezultāti:
2.1. 1.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība Realizēta modificētu azobenzolu, tajā skaitā heterociklisku azobenzolu sintēze nelineāriem optiskiem un fotoinducētu virsmas reljefu veidojošiem materiāliem molekulāru hromoforu un oligomēra virknē kovalenti saistītu hromoforu veidā. Parādīts, ka piridīna cikla izveidošana „push-pull” azohromofora akceptajā daļā (aza analogu sintēze) ir efektīvs paņēmieni

absorbcijas spektra un dipolmomentu mērķtiecīgai maiņai. Izstrādātas jaunu hromoforu sintēzes metodes un veikta to sintēze sākotnējiem pētījumiem (skrīningam), attīstot hromoforu, tajā skaitā amorfu plēvju veidojošu hromoforu telpisko struktūru un dendrimēru sintēzi, lai nodrošinātu pētījumus par hromoforu optimālās telpiskās formas ietekmi uz materiālu nelineārām īpašībām. Noskaidrots, ka trifenilmetilgrupu ievadīšana hromoforā veicina kvalitatīvu amorfu plēvju veidošanu un vienlaicīgi traucē termiski izraisīto orientācijas zaudēšanu pēc koronas orientēšanas, jo samazina hromoforu dipola-dipola mijdarbību. Pētītas azobenzola kodola dendrimēra ģenerāciju skaita ietekme uz sto pektroskopiskajām un elektrooptiskām īpašībām. Iegūti nozīmīgi dati par ķīmiskās struktūras ietekmi uz organisko hromoforu īpašībām, kas tiks izmantoti jaunu fotonikas un informācijas tehnoloģijas materiālu iegūšanai.

2.2. 2.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Veikta jaunu DMABI analoģu sintēze nelineāriem optiskiem un fotoinducētu virsmas reljefu veidojošiem materiāliem. Izstrādāta 4-aza-2-(4'-N,N-dimetilaminobenziliden)-1,3-indandiona un 4-aza-2-(R-benziliden)-1,3-indandionu, kur R – dažādi aizvietotāji, sintēzes metodes un sintēze un pētījumi. Slāpekļa atoma ievadīšana ftaloilpaliekā piešķir hromoforam iespēju veidot ūdeņraža saites, kas varētu tikt izmantotas nelineāro efektu pastiprināšanai. Veidojoties ūdeņraža saitēm novēro garo viļņu absorbcijas joslas batohromu nobīdi, ko var izmantot H-saišu veidošanās efektivitātes kontrolei. Pašorganizējošu materiālu veidošana kopīgas kristalizācijas rezultātā ar divvērtīgajiem fenoliem pozitīvus rezultātus nedeva. Uzsākta divus slāpekļa atomus saturošu heterociklisku DMABI sintēzes metožu izstrāde un iegūts mērķa produkts ar nelielu iznākumu un nepietiekamu tīrības pakāpi. Šādu hromoforu sintēze ļautu veidot H-saišu saistītu daudzu hromoforu agregātus ar specifiskām īpašībām. Veikta elektrostātisku agregāciju traucējošu un reaģēt spējīgu funkcionālu grupu ievadīšana ftaloilpaliekā, tajā skaitā reaģetspējīgas hidroksilgrupas vai modificētas aminogrupas ievadīšana. Pašreizējā stadijā par atrisinātu var uzskatīt jautājumu par terc-butil grupas ievadīšanu. Iegūti nozīmīgi dati par ķīmiskās struktūras ietekmi uz organisko hromoforu īpašībām, kas tiks izmantoti jaunu fotonikas un informācijas tehnoloģijas materiālu iegūšanai.

2.3. 3.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība.  
Realizēta jaunu IPB analoģu sintēze nelineāriem optiskiem materiāliem, izmantojot heterociklus ar attīstītāku  $\pi$ -elektronu sistēmu, vai aizvietotājiem, kuri ļauj to attīstīt. Izstrādātas aizvietotu 1,3-Indandiona cinnolīnija betaīnu sintēzes metodes un veikti to pētījumi. Sintezēti kompleksi divdimensionāli hromofori ar konjugētiem un izolētiem IPB un DMABI fragmentiem. Šo savienojumu struktūra un īpašības tiek pētītas. Iegūti būtiska informācija par ķīmiskās struktūras ietekmi uz organisko hromoforu īpašībām, kas tiks izmantota jaunu fotonikas un informācijas tehnoloģijas materiālu iegūšanai.

2.3. 4.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Fullerīti ar vajadzīgo tīrības pakāpi iegūti un nodoti jaunu materiālu sintēzei.

2.3. 5.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Izstrādāta jauna N-alkil, N-arilsulfonamīda grupējumu saturoša 4-fenilamino azobenzola atvasinājuma - N-heksil-N-fenil-4-(4-fenilamino-fenilazo)-benzolsulfonamīda - sintēzes metode. Iegūti vielas paraugi nelineāro optisko procesu pētījumiem.

2.3. 6.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Sintezēti dažu oksialkil karbonskābju grupējumu saturošu azobenzola atvasinājumu (A-45, A-48) paraugi jaunu hologrāfisku materiālu meklējumiem. Ir izveidotas polimēra (sPMMA) kārtiņas ar 15wt% A-45 vai A-48 molekulu piejaukumu. Kārtiņās, kuru biezums ir ar  $\mu\text{m}$  kārtu ar hologrāfisko metodi ir iegūti virsmas reljefa režģi. Virsmas reljefa režģis ir iegūts ierakstot ar 325nm gaismu, kas atbilst spektrālam apgabalam, kur dominē molekulas trans  $\rightarrow$  cis fotoizomerizācija. Kārtiņās ar molekulām, kas satur telpiskas funkcionālās grupas, virsmas reljefa amplitūda sasniedz 200nm vērtību un 100 $\mu\text{m}$  periodu.

2.3. 7.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Stilbēna azosavienojumu optimizācijas 2008.gadā tika veikta uz līdz šim efektīvākā savienojuma 3-(4-bis(2-(triloksi)etil)amino)fenil)-2-(4-(2-bromo-4-nitrofenil)diazenil)fenil)-akrilnitrila ( $\lambda_{\max}=509\text{nm}$ , saīsinājums: N2) bāzes. Tika sintezēti un izpētīti sekojošie savienojumi. 1) 2-{4-[2-brom-4-nitrofenil]diazenil]fenil}-3-[4(ditritilamino)fenil]akrilnitrils ( $\lambda_{\max}=510\text{nm}$ , saīsinājums:R45-neat); 2) tāds pat stilbēna savienojums kā R45-neat, bet dopēts ar PMMA ( $\lambda_{\max}=510\text{nm}$ , saīsinājums R45-doped); 3) 2-{4-[2-brom-4-nitrofenil]diazenil]fenil}-3-[4-(diheptilamino)fenil]akrilnitrils ( $\lambda_{\max}=518\text{nm}$ , saīsinājums:R19); 4) N-{2-[(2-bromo-4-nitrofenil)diazenil]-5-(diheptilamino)fenil}acetamīds ( $\lambda_{\max}=545\text{ nm}$ ; saīsinājums :R14).Hologrāfiskie mērījumi ar 2  $\mu\text{m}$  periodu un p-polarizāciju pašdifrakcijas (ieraksts un nolase ar 633 nm) un difrakcijas (ieraksts ar 633 nm, nolase ar 650nm) režīmā deva šādus labākos rezultātus.1)R45-neat:  $\text{SDE}_{\max}=0.87\%$ ,  $\text{W}_{\max}=420\text{J}/(\text{cm}^2\%)$ ; 2) R45-doped:  $\text{SDE}_{\max}=0.37\%$ ,  $\text{W}_{\max}=1872\text{J}/(\text{cm}^2\%)$ ; 3) R-19:  $\text{DE}_{\max}=0.034\%$ ,  $\text{W}_{\max}=21176\text{ J}/(\text{cm}^2\%)$ ; 4) R-14:  $\text{DE}_{\max}=0.0014\%$ ,  $\text{W}_{\max}=18518\text{J}/(\text{cm}^2\%)$ . Ieraksta intensitāte visos gadījumos bija 0.9 – 1.0W/cm<sup>2</sup>. Šie rezultāti ir daudz sliktāki nekā protipam N2 ( $\text{SDE}_{\max}=17.4\%$ ,  $\text{W}_{\max}=136\text{ J}/(\text{cm}^2\%)$ ). Problēmas izpēte noveda pie kārtiņu biezuma mērījumiem LU CFI ar Dektak 150 profilometru, kas uzrādīja lielu biezumu atšķirību- 500nm N2, 10nm R-paraugiem. Tā kā ieraksta efektivitāte ir aptuveni proporcionāla biezuma kvadrātam, tad R-paraugu krietni sliktākā efektivitāte kļūst saprotama. Tādā kārtā sekmīga sastāva optimizācija ir iespējama tikai stingri kontrolējot kārtiņu biezumu.

2.3. 8.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Veikta hologrāfiskā ieraksta izpēte R45 paraugos kā efektīvākajos ar lineārām s- un p-polarizācijām pašdifrakcijas režīmā. Lāzera p-polarizācija tika pagriezta par 90<sup>0</sup> ar pusvilņa plāksnīti. Iegūti labākie sekojošie rezultāti ar s-polarizāciju (p-polarizācijai atbilstošie rezultāti doti iepriekš). Paraugš R45-neat:  $\text{SDE}_{\max}=1.02\%$ ,  $\text{W}_{\max}=380\text{J}/(\text{cm}^2\%)$ ; paraugs R45-doped:  $\text{SDE}_{\max}=0.50\%$ ,  $\text{W}_{\max}=1620\text{J}/(\text{cm}^2\%)$ . Kā redzams, ieraksts ar p-polarizāciju ir efektīvāks. Rezultātu atšķirību kvantitatīvi labi apraksta režģa difraktīvā anizotropija saskaņā ar Kogelnika teoriju. Tas nozīmē, ka ieraksta mehānisms nav ar izteiktu polarizācijas atkarību (visticamāk – fototermiskā hromoforu degradācija).

2.3. 9.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Eksperimentāli izpētīta vektorhologrammu ieraksta iespēja azobenzola savienojumos. Pierādīts, ka šāda iespēja pastāv. Iepriekš paraugā T2DB (azobenzola poliuretānstolilapoliivinilbutirola dubultmatricā) sasniegta efektivitāte  $\text{DE}_{\max}=0.32\%$ ,  $\text{W}_{\max}=66\text{ J}/(\text{cm}^2\%)$ . Labākajā no R-paraugiem (R45-neat) izdevās ierakstīt vektorrežģi ar  $\text{SDE}_{\max}=0.08\%$ ,  $\text{W}_{\max}=4100\text{ J}/(\text{cm}^2\%)$ . Lai padarītu vektorierakstu efektīvu, vispirms jāpalielina un jāoptimizē paraugu biezums.

2.3. 10.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Lai iegūtu plašu fotojutības spektru ir izveidots kompozīts, kurš satur dažādas molekulas ar komplementārām elektronu absorbcijas joslām. Tika izvēlēta divslāņaina tilpuma heteropāreju sistēma ar slānīša biezumu ~100nm, kuru veido gallija hidroksīda ftalocianīna (GaOHPc) un fullerēna šķīstošā atvasinājuma C<sub>61</sub>(CO<sub>2</sub>Et)<sub>2</sub> kompozīta slānis un poliheksiltiofēna (P3HT) un PCBM kompozīta slānis: ITO/PEDOT:PSS/GaOHPc:C<sub>61</sub>(CO<sub>2</sub>Et)<sub>2</sub>/P3HT:PCBM/In. Veikti šo paraugu īsslēguma fotostrāvas kvantu efektivitātes (EQE) spektrālo raksturliķņu mērījumi pie dažādām gaismas intensitātēm un dažādām temperatūrām. Ir parādīts, ka izveidotās divslāņu heteropāreju sistēmas fotojutība sniedzas no 370nm līdz pat 900nm. Maksimālā EQE vērtība tiek sasniegta gaismojot paraugu P3HT absorbcijas joslā un 500-550nm rajonā tā pārsniedz 25% (elektroni uz krītošo fotonu) pie gaismas intensitātes 10<sup>13</sup> fot/(cm<sup>2</sup>s) un 15% vērtību GaOHPc lādiņa pārnese absorbcijas joslā pie 850nm. Tika novērots arī īsslēguma fotostrāvas kvantu efektivitātes vērtību pieaugums paraugus uzkaršējot pie 98°C. Tā EQE vērtība P3HT joslā sasniedz pat 43% (el/fot) pie 98°C. Iegūta plašā enerģijas spektrā fotojutīga organisko

<p>tilpuma heteropāreju sistēma, kura pēc sastāva un elektrodu optimizēšanas var tikt izmantota gaismas sensoru un organisko saules elementu izveidei, par ko iesniegts patenta pieteikums.</p>
<p>2.3. 11.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība Izveidotas molekulārās diodes, kuras veido DMABI atvasinājumu sublimētās plānās kārtiņas (~0,5µm plānas) ar zelta un alumīnija elektrodēm. Ir parādīts, ka taisnošanas efektu pamatā nosaka heteropāreja starp 2 dažādu DMABI atvasinājumu kārtiņām. Vislabākie rezultāti ir sasniegti Au/tBu-DMABI-dPh/N-DMABI-dPhAl struktūrai, kur sprosvirziens ir pie pozitīva Au, bet tiešais pie pozitīva Al elektroda. Pie U=100V, strāvas attiecība ir <math>2 \times 10^{-7} / 1 \times 10^{-10}</math>. Sakarā ar lielo DMABI atvasinājumu skaitu, kas prasīja laiku, lai iegūtu labākas struktūras ar heteropāreju, ir uzsākta aktivācijas enerģiju pētījumi ar temperatūras modulēto telpas lādiņu ierobežoto strāvu metodi, kurus nobeigs 2009.gadā.</p>
<p>2.3. 12.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība Ir veikti pētījumi izveidojot polimēra matricu ar 2 dažādu DMABI atvasinājumu molekulām. Pašlaik ir izdevies iegūt simetriskas voltampēraksturlīknes pie pozitīva Al un Au elektrodēm. Fotoelektriskās īpašības ir pētītas sublimētām struktūrām Au/tBu-DMABI-dPh/N-DMABI-dPhAl un ir parādīts, ka, apgaismojot atbilstošo molekulu absorbcijas joslās novēro simetriskas voltampēraksturlīknes, t.i., izzūd diodes efekts. Sprosvirzienā strāva palielinās par apm. 4 kārtām. Process ir atgriezenisks un tiek pētītas to iespējas izmantot slēdžos.</p>
<p>2.3. 13.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība Ir salīdzinātas virsmas fotopotenciāla spektrālās atkarības polimēra kārtiņās ar DMABI molekulu piejaukumu un vakuumā sublimētās plānās kārtiņās. Polimēra kārtiņu ar DMABI piejaukumu virsmas fotopotenciāla spektrālās atkarības korelē ar absorbcijas spektru, kas varētu būt saistīts ar molekulu dipola momenta maiņu pamatstāvoklī un ierosinātā stāvoklī. Sublimēto kārtiņu gadījumā spektrālās atkarības ir sarežģītākas, jo jāņem vērā ne tikai dipola momenta izmaiņas, bet arī fotoģenerācijas procesi.</p>
<p>2.3. 14.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība Nobeigti PcNi un PcNiF16 plāno kārtiņu elektriskie pētījumi dubultslāņu struktūrā. Ir parādīts, ka diodes raksturu nosaka heteropāreja starp abām organisko savienojumu kārtiņām. Ir parādīts, ka diožu voltampēru temperatūras atkarības un noteiktas aktivāciju enerģiju izmaiņas omiskajā un lādiņnesēju injekcijas sprieguma apgabalos atbilst telpas lādiņu ierobežoto strāvu režīmam.</p>
<p>2.3. 15.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība Veikti NLO īpašību pētījumi RTU sintezētājiem poliuretāniem (PUI, PUII, PUIV, PUIX un PUX) kuru sānu ķēdes satur oriģinālus azobenzola atvasinājumus. No šiem polimēriem perspektīvākais praktiskajai izmantošanai fotonikas ierīcēs ir PUII. Tam raksturīga gan augstākā NLO efektivitāte <math>d_{33}</math> (80pm/V) gan augstākā polimēra stiklošanās temperatūra <math>T_g</math>(103°C)</p>
<p>2.3. 16.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība Izveidota eksperimentālā iekārtu polimēra kārtiņu elektrooptisko (EO) koeficientu noteikšanai izmantojot Maha-Zendera (MZ) interferometru. Tā atļauj veikt EO efekta mērījumus polimēru kārtiņām pie 632 nm atkarībā no gaismas krišanas leņķa, polarizācijas un modulējošā elektriskā lauka intensitātes. Izstrādāta mērījumu un datu apstrādes metodika EO koeficientu <math>r_{13}</math> un <math>r_{33}</math> noteikšanai. Konstatēts, ka interferometriskā metode ir ļoti jūtīga pret vibrācijām, tādēļ iekārta jāpildveido, uzlabojot MZ interferometra mehānisko stabilitāti un automatizējot EO signāla integrēšanu.</p>
<p>2.3. 17.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība Veikti polimēra viesas-saimnieka sistēmas DMABI/PMMA pētījumi, lai noskaidrotu tā izmantošanas iespējas NLO informācijas ierakstam. Parādīts, ka šā materiāla plānā kārtiņa, ja tā uzklāta uz stikla ar ITO pārklājumu, var tikt izmantota informācijas ierakstam. To var veikt kārtiņu lokāli apstarojot ar intensīvu IS (1064nm) lāzera gaismu, tādējādi iegūstot plaknē</p>

modulētu NLO aktivitāti. Pētot ieraksta mehānismu tika pierādīts, ka polārās kārtības relaksācija pētītajā DMABI/PMMA sistēmā ir saistīta ar molekulu siltumkustības palielināšanos, kuru izsauc intensīva lāzera gaismas vienfotona absorbcija ITO (elektroda) vidē ar sekojošu siltuma difūziju polimēra kārtiņā. Ierakstīto informāciju var nolasīt, izmantojot optiskās otrās harmonikas ģenerāciju efektu. Tādejādi ieraksta / nolasišanas process šajā sistēmā uzskatāms par daļēji NLO.

2.3. 18.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Tika pabeigti oglekļa nanocaurulīšu vadāmības un lauka emisijas pētījumi. Parādīts, ka nanocaurulīšu vadāmību iespējams uzlabot izmantojot lielus strāvas blīvumus. Pie lieliem strāvas blīvumiem temperatūra nanocaurulītēs pieaug un notiek to struktūras maiņa. Palielinoties temperatūrai ārējie amorfizētie nanocaurulītes slāņi, kuri ir slikti elektrovadītāji, iztvaiko un vadāmība notiek pa grafitizētajiem slāņiem ar daudz labāku elektrovadāmību. Izpētītas robežas līdz kādiem strāvas blīvumiem šo metodi var pielietot. Šī metode tika izmantota arī molibdēna sulfīda nanovadu vadāmības uzlabošanai.

2.3. 19.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Uzsākti DNS molekulu pildīšanas un izvadīšanas pētījumi anodizēta alumīnija oksīda nanoporās, izmantojot elektrisko lauku. Plakanu nanoporainu materiālu gadījumā sorbcija veikta elektriskajos laukos  $10\text{-}10^2$  V/m, vienlaicīgi optiski kontrolējot DNS koncentrāciju buferšķīdumos. Parādīts, ka pildīšanai traucē spriegumi lielāki par 0.5-0.7 V, kad sākas ūdens sadalīšanās uz elektrodiem. Šajos gadījumos notiek arī anodizētā alumīnija oksīda šķīšana, ko novēro optiskajā absorbcijā. Lai nodrošinātu lielu elektrisko lauku ( $10^3\text{-}10^4$  V/m) un samazinātu spriegumu uz elektrodiem, pildīšanai tiek izmantotas arī ERAF projektā izgatavotās nanoporainās adatas (Latvijas patenta pieteikums Nr P-08-144, Nr. P-08-145). Izmantojot iekārtu, kura tiek veidota LU projekta ietvaros, tika veikta DNS pildīšana nanoporainā adatā un demonstrēta DNS pārnese no viena mikropiliena uz otru (Latvijas patenta pieteikums Nr. P-08-146 ). Optiski aktīvu molekulu sorbcijai uz individuāliem zelta nanovadiem sagatavoti paraugi ar lielu zelta nanovadu pildījuma blīvumu.

2.3. 20.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība  
Novērots, ka izmantotajās divslāņu sistēmās fotojutību ievērojami palielina elektronu akceptora – fullerīta klātbūtne GaOHPc slānītī. Aizvietojot GaOHPc slānīti ar GaOHPc un  $C_{61}(\text{CO}_2\text{Et})_2$  kompozītu, kā arī aizvietojot otrajā kompozītu slānītī fullerēnu  $C_{61}(\text{CO}_2\text{Et})_2$  ar PCBM, kurš raksturojas ar mazāku tendenci uz agregāciju, īsslēguma fotostrāvas kvantu efektivitāti (EQE) izdevās palielināt vairāk nekā 70 reizes. Tā piemēram EQE vērtība ITO/PEDOT:PSS/GaOHPc/P3HT:  $C_{61}(\text{CO}_2\text{Et})_2$  /Al tilpuma tipa paraugam 850 nm rajonā nepārsniedz 0,2% (el/fot). Turpretī ITO/PEDOT:PSS/GaOHPc:  $C_{61}(\text{CO}_2\text{Et})_2$  /P3HT:PCBM /In paraugam EQE vērtība jau sasniedz 15% (el/fot) šajā pat spektra rajonā.

## 5. Kopsavilkums:

2008.gadā projektā paredzētie uzdevumi ir izpildīti. Rezultāti ir atspoguļoti 10 rakstos (9 raksti ir nopublicēti un 1 ir pieņemts publicēšanai). Par rezultātiem ir referēts 29 mutiskajos un stenda referātos Latvijas un starptautiskās konferencēs, kā arī seminārā LU ASI un LZA sēdē. Balstoties uz projektā iegūtajiem rezultātiem ir iesniegti 2 Latvijas patenta pieteikumi. Projektā piedalās arī studenti un 2008.gadā ir sekmīgi aizstāvēti 1 maģistratūras darbs un 3 bakalauru darbi un vēl tiek izstrādāti vairāki bakalaura un maģistratūras darbi. Galvenie rezultāti ir veikti ciešā sadarbībā starp projekta grupām, kā arī sadarbojoties ar programmas 1. un 6.projekta izpildītājiem. Galvenie rezultāti ir jaunu indandion un azobenzola atvasinājumu sintēzi kas tiks izmantoti jaunu elektronikas, fotonikas un informācijas tehnoloģijas materiālu iegūšanai.

Parādīts, ka polimēra kārtiņas ar DMABI molekulām, ja tā uzklāta uz stikla ar ITO pārklājumu, var izmantot informācijas ierakstam. To var veikt kārtiņu lokāli apstarojot ar intensīvu IS (1064nm) lāzera gaismu, tādējādi iegūstot plaknē modulētu NLO aktivitāti. Bez tam ir parādīts, ka veidojot struktūras ar dažādu DMABI atvasinājumu molekulu plānām kārtiņām, var panākt diodes rakstura elektriskās īpašības, kuras nosaka heteropāreja starp organisko kārtiņām ar dažādām HOMO un LUMO vērtībām. Ir parādīts, ka diodes efekts izzūd struktūras apgaismojot un process ir atgriezenisks.

Ir pētīti jauno azobenzola atvasinājumu nelineāri optiskās (NLO) īpašības un atrasts, ka savienojumam PUII ir gan augstākā NLO efektivitāte  $d_{33}$  (80pm/V) gan augstākā polimēra stiklošanās temperatūra  $T_g$  (103°C). Četrus azobenzola atvasinājumu paraugus ir veikts hologrāfiskais ieraksts. Ieraksta kvalitātes uzlabošanai pētījumus turpinās 2009.gadā. Polimēra kārtiņās ar azobenzolu atvasinājumiem A-45 un A-48 ar hologrāfisko metodi ir iegūti virsmas reljefa režģi ar 200nm dziļumu.

Iegūta plašā enerģijas spektrā fotojutīga organisko tilpuma heteropāreju sistēma, kuru veido gan ftalocianīna, gan fulerēna atvasinājumi, kura pēc sastāva un elektrodu optimizēšanas var tikt izmantota gaismas sensoru un organisko saules elementu izveidei, par ko iesniegts patenta pieteikums.

Tika pabeigti oglekļa nanocaurulīšu vadāmības un lauka emisijas pētījumi. Parādīts, ka nanocaurulīšu vadāmību iespējams uzlabot izmantojot lielus strāvas blīvumus.

Uzsākti DNS molekulu pildīšanas un izvadīšanas pētījumi anodizēta alumīnija oksīda nanoporās, izmantojot elektrisko lauku. Ir veikta DNS pildīšana nanoporainā adatā un demonstrēta DNS pārnese no viena mikropiliena uz otru.

#### Par iegūtajiem rezultātiem ziņots sekojošās konferencēs.

1. A.Vembris, E.Laizane, M.Rutkis, Nonlinear optical active guest – host DMABI/PMMA system as optical storage media, *Topical Meeting on Optoinformatics'08*, September 15–18, 2008, Santpeterburg, Russia
2. I.Muzikante, Photoelectrical properties of organic monolayers, multilayer and mixed systems. Charge carrier photogeneration and transport processes, *10<sup>th</sup> School-Conference Advanced Materials and Technologies*, August 27-31, 2008, Palanga, Lithuania, Book of abstract, pp. 14
3. M.Rutkis, Second order NLO polymer materials: design strategy, characterization, applications and achievements, *10<sup>th</sup> School-Conference Advanced Materials and Technologies*, August 27-31, 2008, Palanga, Lithuania, Book of abstract, pp. 15
4. A.Vembris, M.Rutkis, E.Laizane, Investigation of nonlinear optical efficiency of the polymer materials doped with indandion derivatives, *10<sup>th</sup> School-Conference Advanced Materials and Technologies*, August 27-31, 2008, Palanga, Lithuania, Book of abstract, pp. 144
5. E.Laizane, I.Muzikante, J.Teteris, K.Kundzins, D.Gustina, Optical patterning of azobenzene containing polymer films, *10<sup>th</sup> School-Conference Advanced Materials and Technologies*, August 27-31, 2008, Palanga, Lithuania, Book of abstract, pp. 145
6. M.Rutkis, A.Jurgis, A.Vembris, Second order NLO polymer material design – lessons learned from computer modelling of the external field poling and polar order relaxation dynamics, *The 6<sup>th</sup> International Conference Advanced Optical Materials and Devices AOMD 6*, August 24-27, 2008, Riga, Latvia, Abstracts, pp. 28
7. I.Muzikante, E.Fonavs, J.Sipols, I.Bidermane, Photo surface potential of host-guest systems containing polar molecules, *The 6<sup>th</sup> International Conference Advanced Optical Materials and Devices AOMD 6*, August 24-27, 2008, Riga, Latvia, Abstracts, pp. 27
8. I.Kaulachs, I.Muzikante, L.Gerca, G.Shlihta, J.Kalnachs, A.Murashov, M.Plotniece, P.Shipkovs, G.Rozite, V.Parra, PV effect of wide spectral range bi-layer organic bulk heterojunction system containing hydroxygallium phthalocyanine, *The 6<sup>th</sup> International Conference Advanced Optical Materials and Devices AOMD 6*, August 24-27, 2008, Riga, Latvia, Abstracts, pp. 12

9. E.Laizane, D.Gustina, E.Markava, I.Muzikante, Synthesis and optical properties of some azobenzene alkoxy carboxylic derivatives, *The 6<sup>th</sup> International Conference Advanced Optical Materials and Devices AOMD 6*, August 24-27, 2008, Riga, Latvia, Abstracts, pp. 78
10. E.Laizane, I.Muzikante, J.Teteris, K.Kundzins, D.Gustina, Optically induced surface relief grating of azobenzene containing polymer films, *The 6<sup>th</sup> International Conference Advanced Optical Materials and Devices AOMD 6*, August 24-27, 2008, Riga, Latvia, Abstracts, pp. 79
11. A.Vembris, M.Rutkis, E.Laizane, Impact of different corona poling procedures on non-linear optical properties of doped polymer materials, *The 6<sup>th</sup> International Conference Advanced Optical Materials and Devices AOMD 6*, August 24-27, 2008, Riga, Latvia, Abstracts, pp. 77
12. M.Rutkis, V.Kampars, V.Kokars, A.Vembris, A.Tokmakovs, A.Jurgis, Supramolecular assembly of indandione based binary chromophore organic glasses for NLO applications, *The European Materials Research Society 2008 Spring Meeting, Symposium Q: Functional supramolecular architectures for organic electronics and nanotechnology*, May 26 - 30, 2008, Strasbourg, France
13. I.Bidermane, E.Laizane, E.Fonavs, I.Muzikante, D.Gustina, E.Markava, Reversible photo surface potential of azobenzene containing polymer films – role of photoisomerization and molecular structure, *International Baltic Sea Region Conference on Functional materials and Nanotechnologies FM&NT 2008*, April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 137
14. I.Muzikante, J.Latvels, E.Fonavs, M.Bouvet, Electrical properties of double layer organic thin films based on heterojunction – for design of molecular diode, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 72
15. J.Sipols, I.Muzikante, E.Fonavs, V.Kampars, P.Pastors, Photoelectrical properties of polymer films consisting of indandione derivatives, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 140
16. I.Kaulachs, I.Muzikante, L.Gerca, G.Shlihta, J.Kalnachs, A.Murashov, M.Plotniece, M.Roze, P.Shipkovs, G.Rozite, V.Kampars, V.Parra, Wide spectral range photosensitive bi-layer organic bulk heterojunction system, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 133
17. E.Jecs, M.Rutkis, J.Kreichberga, A.Jurgis, V.Kampars, NLO properties of polymer systems containing 4'-{N,N-bis[2-ethanol]amino}-4-nitroazobenzene derivatives as a chromophores, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 136
18. M.Rutkis, A. Jurgis, A.Vembris, Roadmap for the NLO polymer material design. Enhancement of the polar order stability: one more reason to change the best chromophore paradigm, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 70
19. A.Ozols, D.Saharov, V.Kokars, V.Kampars, G.Mezhinskis, A.Maleckis, A.Pludons, M.Rutkis, Spectroscopic studies of the red light surface relief grating recording in stilbene azobenzene derivatives, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 71
20. A.Tokmakovs, M.Rutkis, V.Kokars, V.Kampars, Design and characterization of the novel indandione derivatives based binary chromophore organic glass material for NLO applications, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 135
21. A.Vembris, M.Rutkis, E.Laizane, Recording of information in doped polymer system by modifying second harmonic generation efficiency, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 138
22. J.Kalnachs, V.Grekhov, A.Murashov, TheHydrogen storage by carbon structures, *International Baltic Sea Region conference on Functional materials and nanotechnologies FM&NT 2008* April 1-4, 2008, Riga, Latvia, Book of Abstracts, pp. 143.
23. I.Kaulachs, I.Muzikante, L.Gerca, G.Shlihta, M.Plotniece, M.Roze, J.Kalnachs, A.Murashov, P.Shipkovs, V.Parra, G.Rozite, Photosensitivity of bi-layer GaOHPC: C<sub>61</sub>(CO<sub>2</sub>Et)<sub>2</sub> and

- P3HT:PCBM bulk heterojunction cell, *International Symposium Towards Organic Photovoltaics*, February 5-9 2008, Linz Austria, Book of abstracts, p.118.
24. D.Erts, P.Birjukovs, J.D.Holmes, Nanowire arrays for electronics and optoelectronics, *3rd International conference on Manufacturing Engineering*, October 1-3, 2008, Kassandra-Chalkidiji, Greece
  25. D.Erts, J.D.Holmes, Nanoelectromechanical devices, *3rd International conference on Manufacturing Engineering*, October 1-3, 2008, Kassandra-Chalkidiji, Greece
  26. D.Erts, Nanostrukturēti materiāli nanoierīču veidošanai, *Atomfizikas un spektroskopijas institūta seminārs*, 2008.g. 7.martā
  27. A.Ozols. Tiešais virsmas hologrammu ieraksts stilbēna azosavienojumos. *LZA FTZN un ĶBMZN kopsēdē*, 2008.gada 9.maijā
  28. A.Ozols, D.Saharov, V.Kokars, V.Kampars, A.Maleckis, G.Mezinskis, A.Pludons, Holographic recording of surface relief gratings in stilbene azobenzene derivatives at 633 nm, *16th Int.Conf. on Defects in Insulating Materials*, 24 – 29 August 2008, Aracaju, SE, Brazil. Abstracts, p.AO21.

#### Rezultāti publicēti sekojošos zinātniskos izdevumos.

1. A.Vembris, M.Rutkis, E. Laizane, Influence of corona poling procedures on linear and non-linear optical properties of polymer materials containing indandione derivatives as a chromophores, *SPIE Proceedings, Organic optoelectronics and photonics III*, 2008, **6999**, 699924.
2. A.Vembris, M. Rutkis, E. Laizane, Effect of corona poling and thermocycling sequence on NLO properties of the guest-host system, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2008, **485**, pp.873–880.
3. M.Rutkis, A.Jurgis, V.Kampars, A.Vembris, A.Tokmakovs, V.Kokars, Optimizing the second order NLO performance of the host – guest polymer systems by tailoring the chromophore structure, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2008, **485**, pp.903–914.
4. B.Stiller, M.Saphiannikova, K.Morawetz, J.Ilnytskyi, D.Neher, I.Muzikante, P.Pastors, V.Kampars, Optical patterning of azobenzene and indandione containing films, *Thin Solid Films*, 2008, **516**, pp. 8893-8898.
5. A.Vembris, M.Rutkis, V.Zauls, E.Laizane, Stability of the Functional NLO Polymers - Optical Induced De- poling of the DMABI Molecules in sPMMA Matrix, *Thin Solid Films*, 2008, **516**, pp. 8937-8943.
6. A.Ozols, M.Reinfelde, Dm.Saharov, K.Kundzins, V.Kampars, V.Kokars. Holographic recording of surface relief gratings in tolyle-based azobenzene oligomers. *Thin Solid Films*, 2008, **516**, pp.8887-8892
7. M.Plotniece, J.Gulbis, V.Kampars, Fullerēna C<sub>60</sub> ciklopropāndikarbonskābes bistrietilamonija sāls sintēze, *Scientific Proceedings of Riga Technical University, Material Science and Applied Chemistry*, 2008, **16**, pp. 24-26
8. D.Erts, U.Malinovskis, I.Muiznieks, E.Tuite, Mechanical and Electroconductive Properties of Spatially Distributed Double Stranded DNA Arrays on Au (111), *Thin Solid Films*, 2008, **516**, 8969–8974
9. D.Saharov, A.Ozols, V.Kokars, V.Kampars, G.Mezinskis, A.Maleckis, A.Pludons, M.Jansone. Relaxation effect of stilbene azobenzene derivatives on their holographic properties, *J.Phys. Conf. Series*, 2007, **93**, 012029 (9pp), DOI:101088/1742-6596/93/1/012029

#### Rezultāti, kas iesniegti publicēšanai.

1. A.Ozols, D.Saharov, V.Kokars, V.Kampars, A.Maleckis, G.Mezinskis, A.Pludons, Holographic recording of surface relief gratings in stilbene azobenzene derivatives at 633 nm, *J. of Physics: Conf. Series*, pieņemts publicēšanai 2008.gadā

#### Izstrādāti bakalauru un maģistru darbi:

1. E.Laizāne, *Azobenzolu atvasinājumu saturošu polimēru plāno kārtiņu optiskā strukturēšana*, Maģistratūras darbs, LU FMF, 2008, 53 lpp.
2. E.Jēcs, *Jaunu „push-pull” tipa azobenzola atvasinājumu sintēze un to NLO īpašību pētījumi PMMA matricā*, RTU, Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultāte, bakalaura darbs, 2008, 78 lpp.

3. L.Laipniece, *Azobenzola kodola poliestera tipa dendrimēru diverģentā sintēze un īpašības*, RTU, Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultāte, bakalaura darbs, 2008
4. E.Zariņš, *Fotonikas materiāliem perspektīvu 2-stiril- un 2,6-distiril-4H-pirān-4-onu atvasinājumu sintēze*, RTU, Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultāte, bakalaura darbs, 2008
5. K.Traskovskis, *Amorfas plānas kārtiņas veidojošu azohromoforus saturošu savienojumu sintēze*, RTU, Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultāte, bakalaura darbs, 2008
6. J.Veliks, *Indēna ciklā aizvietotu 5-okso-1H-4,5-dihidroindeno[1,2-b]piridīnu sintēze un reakcijas*, RTU, Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultāte, bakalaura darbs, 2008

#### Patenta pieteikumi:

1. I.Kaulačs, I.Muzikante, L.Gerca, G.Šlihta, J.Kalnačs, P.Šipkovs, G.Rozīte, *Tilpumā vienmērīgi sadalītas heteropārejas slānis, sastāvošs no GaOH ftalocianīna un šķīstošiem fulerēna atvasinājumiem gaismas sensoriem un saules elementiem, tā izgatavošanas paņēmiens un divslāņains organiskais saules elements, kas ietver GaOH ftalocianīnu*, Latvijas patenta pieteikums Nr. P-08-14, iesniegts 2008.g.30.janvārī
2. U.Malinovskis, R.Popļausks, J.Dzelme, G.Kaspars, I.Muižnieks, D.Erts, *Paņēmiens makromolekulu vai neliela vielas daudzuma pārvietošanai ar zondi*; Latvijas patenta pieteikums Nr P-08-146, iesniegts 2008.gadā

Projekta vadītāja \_\_\_\_\_/I.Muzikante/ \_\_2008.g. 1.decembrī \_\_\_\_\_  
(paraksts un tā atšifrējums, datums)

4. Projekta "**Perspektīvi biomateriāli un medicīnas tehnoloģijas**", mērķis: Jaunu perspektīvu biomateriālu izstrāde medicīniskiem implantiem, balstoties uz bioloģisku audu uzbūvi un to pielietojumu jaunās medicīnas tehnoloģijās.

<b>3. Projekta 5.posma „Darba uzdevumā” definētie uzdevumi:</b>
3.1. Turpināt biomateriālu modificēšanu un struktūras – īpašību kopsakarību pētījumus kalcija fosfātu, titāna oksīdu un PMMA sistēmās.
3.2. Veikt kalcija fosfātu biokeramisko paraugu optimālo sēriju sagatavošanu <i>in vitro</i> un <i>in vivo</i> pētījumiem.
3.3. Stikla keramisko biomateriālu virsmas īpašību modificēšana un virsmas struktūras ietekme uz šūnu atbildes reakcijām <i>in vitro</i> pētījumos.
3.4. Sintezēto biomateriālu biomehānisko īpašību izpēte un šo īpašību uzlabošanas iespējas.
3.5. Jaunu implantu paraugu izgatavošanas tehnoloģiju aprobācija un paraugu izgatavošana klīniskiem eksperimentiem.
3.6. Tālāk attīstīt ādas lāzeru autofluorescences dilšanas attēlu veidošanas metodiku un noteikt difūzās refleksijas dinamikas raksturlielumus, izmantojot jauna veida vairākšķiedru kontaktzondi veselai un patoloģiskai ādai un novērtēt šo metožu diagnostisko potenciālu.
3.7. Šķidro kristālu briļļu izveide un acs aberāciju monitorings pacientiem pēc acs lāzeru operācijām. Aberāciju adaptīvās optikas kompensācijas iekārtas izveide.
3.8. Ramana spektroskopijas metodes pielietošanas iespēja hidroksilapatīta (HAp) saturošu materiālu izpētē.
3.9. Dabīgo pretmikrobo peptīdu - defensīnu audos ap implantu noteikšanas metodikas izstrāde un mezodermu ietekmējošo gēnu noteikšana ap implantiem esošos balstaudos.

3.10. Augšanas faktoru un to receptoru korelācija mīksto audu struktūrās ap implantātiem.
3.11. Noteikt <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> biomateriāla minimālo inficējošo devu uz modificētas biokeramikas virsmas <i>in vivo</i> un <i>in vitro</i> pētījumos.
3.12. <i>In vivo</i> 24 trušiem implantēt dažādās koncentrācijās medikamentozi modificētus (diklofenaks, lidokains, deksametazons) HAp implantus un nodošanu histoloģiskai, imūnhistoķīmiskai un elektronmikroskopiskai izmeklēšanai.
3.13. 6 trušiem implantēt žokļos HAp blokus ar stabilu to fiksāciju, sekojošu paraugu izņemšanu pēc 1 un 3 mēnešiem un oseointegrācijas novērtēšanu 3D kompjūtertogrammā un histoloģiski.
3.14. Uzsākt ar trombocītiem bagātinātas asins plazmas iegūšanu un izmantošanu HAp implantātu uzpildīšanai ar augšanas faktoriem atrofisku žokļu pastiprināšanai pirms zobu implantu ievietošanas.
3.15. Turpināt augšžokļa dobuma pamatnes paaugstināšanas operācijas ar HAp, TCP un HAp/TCP granulām (40 pacienti) un zobu ekstrakcijas brūču pildīšanu ar biokeramikas materiāliem (25 pacienti). Veikt biokeramikas materiālu implantācijas žokļos rezultātu izvērtēšanu pielietojot datorizētu programmu, klīniskas, rentgenoloģiskas un radiodensitometriskas izmeklēšanas datus 300 pacientiem.
3.16. Studentu un doktorantu iesaistīšana VPP izpildē.
3.17. Apkopot VPP ietvaros veiktos biomateriālu pētniecības rezultātus zinātniskā izdevumā.

<p><b>4. Projekta 5.posmā definēto uzdevumu izpildes rezultāti:</b></p> <p>Projekta izpildes 5-tajā etapā 2008. gadā pētnieciskais darbs ir noritējis pēc plāna. Darba koordinācijai ir notikušas divas dalībnieku sanāksmes: 2008. gada maijā un novembra beigās, kur pārrunāta darbu norise, to izpilde un apspriests pasākumu plāns izstrādāto produktu iespējamai komercializācijai un sagaidāmiem zinātniskiem un praktiskiem rezultātiem 2009. gadā</p>
<p>4.1.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība</p> <p>Šī darba sadaļa projektā ir visapjomīgākā, kurā ir ietverti praktiski visi darbinieki, kas strādā pie materiālu tehnoloģiju izstrādes un pētniecības trijos galvenos virzienos- kalcija fosfātu keramisko un titāna oksīdu keramikas biomateriālu ieguvē, un kaulu cementu ieguvē PMMA sistēmās.</p> <p>Kalcija fosfātu sintēze un keramikas ieguve ir veikta ar dažādām metodēm:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ar šķīdumu ķīmiskās nogulsnešanas metodi un produktu kalcinēšanu un saķepināšanu,</li> <li>- ar kalcija fosfātus saturošu amorfu un kristālisku materiālu kompozīciju sintēzi paaugstinātas enerģijas maisīšanas procesos un termisko sintēzi paaugstināta satura šķidrās fāzes klātbūtnē.</li> </ul> <p>Ir veiktas vairāk kā 30 kalcija fosfātu sintēžu sērijas ar šķīdumu ķīmiskās nogulsnešanas metodi, izpētot trīs dažādas aktivitātes kalciju saturošus izejvielu produktus un mainot kalcija fosfātu suspensijas beigu pH, temperatūru sintēzes gaitā un kalcinēšanas režīmus, lai sintēzes gala produktā iegūtu trīs dažādu fāžu sastāvus (hidroksilapatītu HAp, beta trikalcijs fosfātu -β-TCP vai divfāžu maisījumu HAp/β-TCP). Visām kalcija fosfātu sintēzes sērijām pēc sintēzes tika veikta fizikālo un ķīmisko īpašību izpēte un analīze ar FTIR, XRD, ATM, lāzera granulometrija, SEM, DTA. Kalcinētajiem kalcija fosfātu biokeramiskajiem paraugiem papildus iepriekšminētajām metodēm tika noteikta porainība, blīvums un sarukums. Lai optimizētu kalcija fosfātu biokeramikas ķīmiskā sastāva, struktūras un virsmas īpašības, tika veikti uzlabojumi sintēzes tehnoloģiskajā procesā – Ca(OH)<sub>2</sub> suspensijas homogenizācija un</p>

CaO aktivēšana planetārajās bumbu dzirnavās, nodrošinot sintēzes produkta tīrību bez CaO klātbūtnes, kas ir ļoti svarīgs posms biokeramiskā materiāla iegūšanā ar prognozētu fāžu sastāvu termiskā apstrādes procesā. Atkārtojama sastāva un struktūras kalcija fosfātu biokeramikas ieguvē būtiska loma ir ne tikai šo fosfātu sintēzei, bet arī sekojošam termiskās apstrādes procesam. Izpētot tehnoloģisko parametru ietekmi uz kalcija fosfātu sintēzes produktu ir noskaidrotas likumsakarības starp šiem tehnoloģiskajiem parametriem, iegūtā produkta ķīmisko un fāžu sastāvu un struktūru, kā arī ir iespējams prognozēt šo iegūto produktu īpašības termiskās apstrādes procesā, kas arī ir galvenais šīs sadaļas zinātniskais ieguvums. Nākošajā gadā paredzēts izpētīt kā šīs likumsakarības korelē ar sintēzes tilpumu palielināšanas procesiem un automātiski kontrolēt atsevišķus tehnoloģiskos parametrus.

Šajā gadā ir izpētīta jauna metode *divfāžu kalcija fosfātu keramikas iegūšanai no hidroksilapatīta un kalcija metafosfāta stikla*. Pētījumā salīdzināšanai izmantots gan komerciālais hidroksilapatīts, gan BZPL sintezētais hidroksilapatīts un kalcija metafosfāta stikls. Raksturotas iegūtās keramikas fizikālās un ķīmiskās īpašības.

Pētījumā iegūti sekojoši secinājumi:

- no hidroksilapatīta un kalcija metafosfāta stikla iegūta divfāžu keramika, kas sastāv no hidroksilapatīta un trikalcija fosfāta;
- iegūtā divfāžu keramika ir termiski stabila un tās sastāvs atbilst sākuma Ca/P attiecībai;
- kalcija metafosfāta stikla piedevas veicina keramikas graudu augšanu līdz 1100°C temperatūrai un tālāk notiek keramikas saķepšana bez būtiskas graudu augšanas;
- iegūtās divfāžu keramikas termiskais keramikas sarukums ir mazāks nekā hidroksilapatīta keramikas sarukums apdedzinot pie vienādas temperatūras;
- pie zemām temperatūrām (1100°C un 1150°C) kalcija metafosfāta stikla piedevu daudzums būtiski neietekmē keramikas porainību.

Kalcija fosfātu biokeramikas praktiskais pielietojums vērsts vairākos virzienos: biokeramiskie implantanti sejas žokļu ķirurģijā un stomatoloģijā, zāļu deponēšana implantos, šūnu pamatnes audu inženierijai.

Titāna dioksīda keramikas izpētes jomā tika sagatavotas 5 titāna oksīdus saturošas keramikas paraugu sērijas. Paraugi tika termiski apstrādāti pie dažādām temperatūrām divās dažādās vidēs: gaisā un vakuumā, kas būtiski ietekmē gan paraugu struktūru (TiO<sub>2</sub> kristāliskās struktūras maiņa- no anatāza uz rutilu, TiO<sub>x</sub> nestehiomērija), gan blīvumu. Paraugu izpētei tika veiktas dažādas analīzes – XRD, DTA, Raman spektroskopija un SEM. Pētījumā noskaidrotas titāna oksīdus saturošas keramikas īpašību izmaiņu likumsakarības atkarībā no temperatūras intervālā 1000-1350 °C, veicot otro apdedzināšanu bezskābekļa vidē.

Praktiskais pielietojums, bez medicīniskiem implantiem, ir saistīts ar šīs keramikas potenciālo pielietojumu ūdens antibakteriālai apstrādei.

Ar mērķi palielināt kaulu cementa biosaderību un adhēziju, cementa kompozīcija uz P(MMA-2-etilheksilmetakrilāts)-etilmetakrilāts-trietilēnglikoldimetakrilāta bāzes tika modificēta ar karboksilgrupu ievadīšanu. Pētījumu rezultātā konstatēts, ka metakrilskābes posmu saturošam kaulu cementam piemīt zemāks ekstrahējamo vielu daudzums, lielāka hidrofilītāte un modeļa proteīna līzocīma adsorbcija (25µg/cm<sup>2</sup>). Līzocīms modelē augšanas proteīnu kaula reģenerācijai, tātad var secināt par modificēta cementa bioaktivitāti. Kopā ar pozitīviem faktoriem metakrilskābes posmu ievadīšana izraisa pie sacietēšanas temperatūras paaugstināšanas uz ~5-7 °C un cementa stiprības liecē pazemināšanas no 57.6±8.3 MPa līdz 50.1±8.8 MPa.

Titāna oksīdu saturošiem keramikas paraugiem tika modificēta virsma, izmantojot silanizācijas metodi, lai tūpinātu materiāla biosaderības pētījumus *in vitro*.

4.2.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Daļa no iegūtā kalcija fosfātu keramikas (β-TCP un HAp) sērijām tika granulētas un sagatavotas klīniskām studijām, daļa biokeramisko paraugu tablešu veidā tika sagatavotas *in*

*vitro* un *in vivo* studijām.

*In vitro* studijām sagatavota arī kalcija fosfātu biokeramika ar īpašu poru struktūru, kas iegūta no granulām izsmidzināšanas žāvētavā un tika prognozēts kā materiāls audu inženierijai.

Porainā kalciju fosfātu biokeramikā infiltrēti medikamenti- lidokains, deksametazons un diklofenaks, un paraugi sagatavoti *in vitro* un *in vivo* pētījumiem.

4.3. uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Pētītas kristalizācijas īpašības 11 līdzīgi kalcija fosfātu stikla kausējumi ar piedevām (niobiju un nātriju). No 3 kausējumiem, dažādos temperatūras režīmos iegūta stikla keramika - SK, kuras izpētei veikta virkne analīžu (XRD, DTA, IS, SEM u.c.). Konstatēts, ka stikla kausējuma sagatavošana ir viens no būtiskākajiem faktoriem stikla keramikas iegūšanā. Variējot saķepšanas temperatūras režīmu, var variēt gan kristāliskuma pakāpi, gan veidojošās fāzes, kas savukārt ir ļoti būtiski biosaderību ietekmējoši faktori.

Šīs stikla keramikas virsmas modificēšana veikta ar termiskās apstrādes parametru-temperatūra un laiks ietekmi uz virsmas struktūras izmaiņām. Virsmas struktūra modificēta arī ar dažādām SK virsmas kodināšanas metodēm- ķīmisko, termisko un mehānisko. Izgatavotas septiņas stikla keramikas paraugu sērijas ar diferencētu virsmas struktūru un fāžu sastāvu *in vitro* izpētei iedarbībā ar baktērijām.

4.4.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

No jaunā mākslīgā materiāla veidotai konstrukcijai jānodrošina mehānisko slodžu uzņemšana un pārdale; sekojoši – pirmkārt, sintezētā materiāla un attiecīgo audu deformatīvajām īpašībām ir jābūt tuvām, un otrkārt, mākslīgā materiāla grauļošiem parametriem ir jābūt ne sliktākiem kā attiecīgajiem nebojātiem aizvietojamiem audiem. Tā klasisko metāla aizvietotājmateriālu un aizvietojamu kaulaudu deformatīvo īpašību milzīgā neatbilstība rada nepieļaujami lielu sprieguma koncentrāciju veidošanos kaulos un tam sekojošu pamatmateriāla rezorbciju – sekundāru osteoporozī un kaula – implanta vienojošās zonas zaudēšanu. Jaunu biomehāniski saderīgu biomateriālu veidošanā liela nozīme ir mēģinājumu un kļūdu metodei, jo līdz mūsdienām tikai aptuveni var prognozēt dažādo modificējošo piedevu ietekmi uz sintezētā materiāla mehāniskajām īpašībām. Mehānisko īpašību atbilstību var noteikt tikai eksperimentāli. Sintezēto materiālu sprieguma - deformācijas sakarības četru punktu lieces un vienas spiedes eksperimentos tika noteiktas līdz paraugu sagrūšanai; un no šīm sakarībām paraugu grupām tika noteikti attiecīgie grauļošie un deformatīvie parametri. Izzinot sakarību kā pamat-komponentes un piedevas dažādās kombinācijās, nosakot to mehāniskās īpašības var izveidot optimālu biomehāniski saderīgu materiālu. Šo pētījumu rezultāti ir atspoguļoti kopējās publikācijās pie sastāva-struktūras un īpašību likumsakarību pētījumiem.

4.5.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Izgatavoti hidroksilapatīta keramikas implantu paraugi, izmantojot jaunu formēšanas tehnoloģiju, kas ļauj iegūt sarežģītas un individuālas formas porainus implantus ar dažāda tipa un izmēru porām. Kā poru veidojošie aģenti izmantotas granulveida un šķiedrveida izdegošas piedevas, kā arī gāzu veidojošas piedevas. Ar izstrādāto tehnoloģiju var iegūt implantus ar porainību no 30 līdz 70%. Ar trīs dažādu poru struktūru izgatavotie implantu ir sagatavoti kā zāļu nesēji *in vitro* un *in vivo* pētījumiem.

Šā tipa materiāli ir sagatavoti klīniskiem eksperimentiem un nodoti klīnikai pielietojuma salīdzinošiem pētījumiem ar iepriekšējos gados izgatavotiem implantiem, kuri atšķīrās ar poru struktūru un poru veidošanas tehnoloģiju.

4.6.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Tika realizēti kompleksi ādas optisko spektru mērījumi, izmantojot projektā jaunizstrādātās metodikas.

Būtiski pilnveidota lāzeru autofluorescences dilšanas laiku sadalījuma attēlu iegūšanas un

analīzes metodika.

Šāda veida ādas attēli ir iegūti pirmo reizi, pagaidām mums nav konkurentu šajā jomā. Attēlu analīze liecina, ka pat veselas ādas virskārtas pigmenti (fluoroforas) lāzeru apstarojuma laikā „izdeg” nevienmērīgi – veidojas īpaši apgabali („gaudi”), kuros autofluorescences dzišanas laiks ir ievērojami lēnāks, nekā blakus apgabalos. Tas var tikt saistīts ar melanīna sadalījumu epidermā, bet iespējami arī sarežģītāki skaidrojumi, kas pašlaik tiek analizēti un dziļāk pētīti ar jauno iekārtu. Ir pārliecinoši pierādīts, ka ādas patoloģiju (vidēji pigmentētu un hiper-pigmentētu *nevi*) rajonos autofluorescences dzišanas laiki ir ievērojami lielāki, kā apkārtējā veselā ādā. Arī patoloģiju zonās ir novērotas strukturētas dzišanas laiku „saliņas” jeb klāsteri, kas perspektīvā varētu tikt izmantots ādas patoloģiju (t. sk. audzēju) struktūras un robežu precīzākai diagnostikai.

Ādas difūzās refleksijas spektru mērījumu kalibrācijai un labākai interpretācijai tika veikta eksperimentu sērija ar ādas maketiem, variējot tajos hemoglobīna koncentrāciju. Tika arī veikti difūzās atstarošanas dinamikas mērījumi dažādos zemādas asinsrites līmeņos. Šim nolūkam izmantota ASI izstrādātā vairāklāzeru jeb multi-spektrālās fotopletizmogrāfijas metode, kas 2008. gadā tika realizēta kombinācijā ar speciāli izgatavotu vairākšķiedru kontaktzondi. Tika pētīti arī zondes piespiediena stipruma ietekme uz mērījumu rezultātiem.

Maketu mērījumu rezultāti deva iespēja kvantitatīvi novērtēt ādas atjaunošanās procesus pēc lāzeroperācijām, izmantojot *in-vivo* klīnisko mērījumu datus. Atjaunojoties zemādas asinsritei, palielinās optiski detektējamā oksi-hemoglobīna daudzums, kas tika novērtēts, salīdzinot *in-vivo* un ādas maketu mērījumu datus. Šī metodika pēc tālākas pilnveidošanas varēs tikt izmantota dermatoloģiskās klīnikās un lāzerplastikas centros.

Vairākšķiedru kontaktzondes kontaktspiediena atkarības mērījumi ar multispektrālās fotopletizmogrāfijas metodiku apliecināja, ka ir iespēja optiski selektīvi detektēt virsējo ādas kapilāru oklūziju, vienlaikus saglabājot asinsriti nedaudz dziļākos ādas dermas asinsvados. Šie dati turpmāk tiks izmantoti, lai kvantitatīvi mērītu rekapilarizācijas laiku, kas ir klīniski nozīmīgs parametrs sepses u.c. patoloģiju diagnostikā.

2008. gada uzdevumi ir sekmīgi izpildīti. Pierādīts abu metodiku diagnostiskais potenciāls ādas patoloģiju novērtējumam. Lai ieviestu šīs jaunās metodikas klīniskajā praksē, vēl nepieciešami precizējoši pētījumi 2009. gadā ar pilnveidotām eksperimentu iekārtām un uzlabotiem datu apstrādes algoritmiem.

#### 4.7.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Darbs tiek mērķtiecīgi virzīts uz modernu metožu izstrādēm pielietojumiem acs optiskās sistēmas un redzes uztveres diagnostiku un modelēšanu, pielietojot mūsdienīgas optiskās un elektroniskās iekārtas un elementus. Ir izveidots šķidro kristālu briļļu makets, ar ātrdarbīgu neatkarīgu abu acu atvēršanas un aizvēršanas kontroli, kas tiek izmantots redzes uztveres pētījumos ambliopiem subjektiem, kā arī nākotnē - ambliopu pacientu redzes treniņiem.

Ir veikti metodiski uzlabojumi acs aberāciju mērīšanas iekārtā un izveidotas metodikas paralēlam psihofizikālam redzes funkciju novērtējumam. Izveidotā jaunā iekārta atļauj: gan veikt aberāciju mērījumus dažādiem redzes korekcijā izmantojamiem briļļu paveidiem (izmantojot redzamo lāzeru starojumu), kā arī to papildināt ar infrasarkanā lāzera starojumu cilvēku acs aberāciju noteikšanai un to kompensācijai ar adaptīvās optikas spoguļu palīdzību. Tā nākotnē atļauj pētīt LU CFI sintezētos segnetoelektriskos pjezomateriālus, uz kuru bāzes var radīt aktīvus adaptīvās optikas elementus

#### 4.8.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Veikti Ramana spektroskopijas izkļiedes pētījumi divu veidu sintētiskai hidroksilapatīta keramikai (HAp, HAp-Mn) un cilvēka zoba emaljai. Kristāliskā struktūra abām minētām keramikām ir salīdzināma ar cilvēka zoba emalju struktūru.

Šo pētījumu rezultāti apliecinā, ka ir iespējams izmantot Ramana spektroskopijas metodi,

lai noteiktu struktūru un fāzes HAp saturošos materiālos.

Ramana spektroskopijas metode pēc pētījumu rezultātiem liecina par iespēju to izmantot arī titāna oksīdus saturošā keramikā izveidojušos nestehiometrisko fāžu izpētē.

4.9.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

No implantātus aptverošajiem saistaudiem ir raksturīga FGFR1, bet nevis paša bFGF ekspresija pēc dažādu biomateriālu implantācijas dažādā laika posmā pēc šīs implantācijas. Neliela defensīna izdala raksturīga ādas dziedzeriem un epitelociātiem.

4.10.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

HAp keramika inducē ap skrimšļa implantātiem esošo audu proliferāciju un augšanu. Tomēr masīvā apoptoze, augšanas faktoru dažādība un deģenerācijas marķieru izdala ar relatīvi nelielu perēklīveidīgu defensīna izdali pat ilgstošā laika posmā pēc implantācijas rada šaubas par jaunveidotās struktūras kvalitāti.

Ādas bazālās membrānas komponentu nevienmērīgā parādīšanās un degradējošā enzīma samazinātā MMP2 ekspresija ap HAp keramikas komponenta implantātiem pamato hidroksiapatīta būtiskāku nozīmīgumu implantējamā materiāla izvēlē.

4.11.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Noteikta adhēzijas un kolonizācijas intensitāte ar Gr+ (stafilokoki) un Gr-mikroorganismiem (pseudomonas, salmonellas) uz modificētas biokeramikas virsmas. Norit pētījumi pie biofilmas veidošanās intensitātes uz modificētas biokeramikas virsmas, izmantojot skanējošo elektronmikroskopijas (SEM) metodi. Pētījumi palīdzēs izprast mikrobioloģisko risku pētījumā izmantojamajiem biomateriāliem.

4.12.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Veikta ar lidokainu, deksametazonu un diklofenaku modificētu sintētiskā porainā HAp tablešu implantācija 24 trušiem subperiostāli apakšžokļa leņķa rajonā ar sekojošu paraugu izņemšanu pēc 2 nedēļām un 3 mēnešiem. Kontaktaudu iekaisuma un reģeneratīvās atbildes novērtēšanai veikta paraugu histoloģiska un imūnhistoķīmiska izpēte ar augšanas faktoru, iekaisuma un šūnu degradācijas faktoru ekspresijas un apoptozes noteikšanu un datu analīzi par agrīnā pēcimplantācijas perioda izmaiņām. Audos ap HAp tabletēm, kuras uzpildītas ar deksametazonu pēc 2 nedēļām bija ievērojams apoptozes pieaugums, izteikta TNF $\alpha$  un NGFRp75 ekspresija. Mīkstajos audos un kaulaudos vērojama izteikta TGF $\beta$  ekspresija. Kontaktaudos ap tabletēm, kas uzpildītas ar lidokainu, pēc 2 nedēļām atšķirība no kontroles grupas bija tikai viegla TGF $\beta$  ekspresija endostā un periostā. Dati par diklofenaka ietekmi uz kontaktējošo audu izmaiņām vēl ir apstrādes stadijā.

Iegūtie rezultāti par kontaktaudu funkcionālo morfoloģiju liecina par HAp ar deksametazonu ievērojamu ietekmi augšanas faktoru ekspresijas un apoptozes aktivizēšanā. HAp tabletes piesātinātas ar lidokainu agrīnā pēcimplantācijas periodā izraisīja maznozīmīgu TGF $\beta$  ekspresijas palielināšanos endostā un periostā. Rezultāti liecina, ka HAp implantātu piesātināšana ar deksametazonu un lidokainu var ietekmēt kontaktaudu atbildes reakciju pozitīvas reaktogenitātes virzienā. Apgūta hromatogrāfijas metode lidokaina noteikšanai simulētā ķermeņa šķīdumā un veikti pirmie mērījumi par lidokaina izdalīšanos no HAp tabletēm simulētā ķermeņa šķīdumā.

4.13.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

6 trušiem apakšžokļa korpusa rajonā pēc kortikālā kaula virsējā slāņa noņemšanas implantēti HAp bloki 2x5x10 mm, kuri stabili fiksēti ar mikroskrūvi. Vienā gadījumā bija brūces supurācija. Dīvos gadījumos paraugi izņemti pēc viena mēneša un trīs gadījumos pēc trim mēnešiem. Histoloģiski pēc viena mēneša HAp implantāta un žokļa kaula kontakta vietā stabilas fiksācijas gadījumā vērojams kompozīts - osseointegrācijas tipa savienojums.

Gadījumā, kad HAp bloka fiksācijas stabilitāte pie žokļa kaula bija traucēta, kontaktzonā vērojama pārsvarā saistaudu, arī skrimšļa audu un mazā mērā kaulaudu jaunveidošanās. Paraugi, kuri izņemti trīs mēnešus pēc implantācijas, vēl ir apstrādes stadijā. Var secināt, ka HAp bloka integrāciju uz žokļa kaula kortikālā slāņa nosaka implantāta fiksācijas stabilitāte.

4.14.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Ar trombocītiem bagātinātas asins plazmas iegūšanas tehnoloģija apgūta teorētiski, jo sakarā ar iekārtas cenas pieaugumu to iegādāties neizdevās. Paredzētā pirkuma vietā iegādāta pjezoķirurģijas iekārta, kas pilnveido biokeramikas implantācijas metodiku augšžokļa dobumā un pēc literatūras datiem mazina komplikācijas.

4.15.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

HAp un citu kalcija fosfāta biokeramikas materiālu implantācija veikta 72 pacientiem atrofiskos žokļa kaulos, lai izveidotu pietiekoša apjoma un stiprības balsta struktūras zobu implantācijai. No tiem 44 pacientiem bija augšžokļa dobuma pamatnes paaugstināšana: ar sintētiskā porainā HAp ( RTU) granulām – 11 pacientiem; kā kontroles grupai 30 gadījumos ar Bone Ceramic (Straumann) granulām, 3 gadījumos - ar dabiskas izcelsmes materiālu Algipor. 28 pacientiem veikta zobu ligzdiņu pildīšana pēc ekstrakcijas, no tiem 24 pacientiem vienā etapā ar zoba implanta ievietošanu. Ir izstrādāta datorizēta programma šīs grupas pacientu uzskaitē un rezultātu analīzē pēc pacienta subjektīviem, klīniskiem, rentgenoloģiskiem un radiodensitometriskiem rādītājiem, kura pielietota 60 gadījumos. 98% kaulaudu/HAp kompozītā ievietoto zobu implantu uzrādīja stabilu osseointegrāciju. Vienlaicīgi novērota porotiskā reziduālā žokļa kaula optiskā blīvuma palielināšanās, kas liecina par kaula remineralizāciju un mehāniskās stiprības palielināšanos.

4.16.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

VPP izpildē iesaistīti doktoranti, kuri savukārt ir izveidojuši darba grupas ar studentiem (maģistrantiem un bakalauriem). Vadoties pēc uzstādītajiem uzdevumiem, tika sagatavoti un nolasīti referāti vietējām un starptautiskām konferencēm, bakalaura un maģistra darbi, kuri sekmīgi aizstāvēti. Šajā gadā izstrādāti un aizstāvēti 13 bakalaura darbi un 5 maģistra darbi. Tiek izstrādātas 8 disertācijas. 2009. gadā paredzēta 4 disertāciju aizstāvēšana doktora zinātniskā grāda iegūšanai.

26. septembrī doktoranti un studenti RTU RBIA centrā veiksmīgi noorganizēja Zinātnieku nakti, tēma - „No nano līdz makro”. Apmeklētāji uzzināja, kā top biomateriāli un medicīniskie implantanti, kā arī varēja aplūkot iekārtas un redzēt kā tiek veiktas analīzes vai gatavoti paraugi.

VPP darba uzdevumu izpildē iesaistījies Friedrich-Schiller Jēnas universitātes Materiālzinātnes 4.kursa students- praktikants no Vācijas - Stefans Maenz. Studente Anna Kolomijeca Erasmus programmas ietvaros studē pašlaik Francijā.

4.17.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

Izveidotas sadaļas un izdalīti uzdevumi zinātniskās monogrāfijas par programmas 4. projekta rezultātiem. Monogrāfiju paredz izdot 2009.gadā. Monogrāfijas uzrakstīšanu var vērtēt ar 50% gatavību, kā arī sagatavoti izdošanai trīs metodiskie materiāli.

## 5. Kopsavilkums:

4. Projekta "**Perspektīvi biomateriāli un medicīnas tehnoloģijas**" uzdevumi 2008. gadā veiksmīgi izpildīti atbilstoši definētiem uzdevumiem, pateicoties projektā iesaistīto dažādu zinātņu nozaru partneru koordinētas pētniecības darbam biomateriālu un medicīnisko implantu un tehnoloģiju izstrādes jomā. Projekta uzdevumi tiek apspriesti un analizēti projekta koordinācijas sanāksmēs – semināros divas reizes gadā.

Projekta partneri par pētījumu rezultātiem ir ziņojuši 95 reizes 26 Latvijas un starptautiskās konferencēs.

Par ziņojumiem ir nopublicētas 64 konferenču tēzes.

Nopublicēti 17 zinātniskie raksti un iesniegti 18 raksti.

Izstrādāti 15 bakaluru un 12 maģistru darbi.

Sagatavotas aizstāvēšanai 4 disertācijas zinātņu doktora kvalifikācijas grāda saņemšanai.

Sistemātiskas pētniecības rezultātā:

- izstrādātas kalcija fosfātu-HAP, TCP un bifāzu keramikas laboratorijas iegūšanas metodes ar iepriekš prognozējamu fāzu attiecību;
- izgatavoti implantanti ar īpašu orientētu poru struktūru bioaktivitātes paaugstināšanai;
- izstrādātā porainā keramika pārbaudīta *in vitro* un *in vivo* medikamentu infiltrācijai ar medikamentiem modificētu implantu izstrādei;
- izstrādāta divu metodiku diagnostiskais potenciāls ādas pataloģiju novērtējumam;
- HAP un kalcija fosfāta biokeramikas materiālu implantācija veikta 72 pacientiem; atrofiskos žokļa kaulos, lai izveidotu pietiekoša apjoma un stiprības balsta struktūras zobu implantācijai;

veikta ar lidokainu, deksametazonu un diklofenaku modificētu sintētiskā porainā HAP tablešu implantācija 24 trušiem subperiostāli apakšžokļa leņķa rajonā ar sekojošu paraugu izņemšanu pēc 2 nedēļām un 3 mēnešiem.

### *Publikācijas vispārattītos starptautiski citējamos zinātniskos žurnālos*

1. J.Locs, L. Berzina-Cimdina, A. Zhurinsh, D. Loca. Effective Impregnation of SiO<sub>2</sub> Sol-Gel Solution in Pine Wood and Following Gel Localization in Free Cell Volume, *Advances in Science and Technology Vol. 58*, 2008, p.72-77.
2. A. Pavlova, L. Berzina-Cimdina, J. Locs, D. Loca, J.Bossert. Preparation and characterisation of dense TiO<sub>2</sub> ceramics. *Advances in Science and Technology Vol.54*, 2008, p.261-264.
3. D.Loca, O.Pugovics, L.Berzina-Cimdina, J.Locs. Preparation and Characterization of Highly Water Soluble Drug Loaded PLA Microcapsules, *Advances in Science and Technology Vol. 57*, 2008, p.176-181.
4. Mironov V, Kasyanov V, Markwald RR. Nanotechnology in vascular tissue engineering: from nanoscaffolding towards rapid vessel biofabrication. *Trends Biotechnology*, 2008, p.338 – 344.
5. Mironov V, Kasyanov V, Markwald RR, Prestwich GD. Bioreactor-free tissue engineering: directed tissue assembly by centrifugal casting. *Expert Opin Biol Ther.* 2008, 8(2), p.143-152.
6. Mironov V, Kasyanov V, Drake C, Markwald RR. Organ printing: promises and challenges. *Regen Med.* 2008, 3(1), p. 93-103.
7. Krivicka B., M.Pilmane, I.Akota. Growth factors in facial tissue of children with clefts, *Stomatologia*, 2008, vol. 10, p.62-66.
8. L.Berzina-Cimdina, R.Serzane, I.Salma, M.Pilmane, G.Salms, A.Skagers. Drug infiltration in porous hydroxyapatite ceramic and tissue response, *Book of abstracts of International Baltic Sea Region conference FM&NT*, 2008, p. 178.
9. D.Bajare, L.Berzina-Cimdina, A.Stunda, I.Rozenstrauha, L.Krage, A.Korjakins. Characterisation and application of the mix of oxides from secondary aluminium industry. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International congress on Ceramics: A global Roadmap, Verona, Italy*, 2008, 7 pages (CD-ROM).

10. I.Salma, L.Berzina-Cimdina, M.Pilmane, J.Vetra, G.Salms, A.Skagers . Morphofunctional response of contact tissue to implanted synthetic hydroxyapatite (HAp) ceramic materials saturated with local anesthetic and anti-inflammatory drugs, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International congress on Ceramics: A global Roadmap, Verona, Italy, 2008*, 6 pages (CD-ROM).
11. J.Locs, L.Berzina-Cimdina, A.Zhurinsh. Synthesis of Si-containing ceramic materials from wood precursors. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International congress on Ceramics: A global Roadmap, Verona, Italy, 2008*, 7 pages (CD-ROM).
12. L.Berzina-Cimdina, J.Locs, J.Barloti, V.Teters, A.Pavlova. Influence of temperature treatment on titan oxide ceramics in vacuum conditions. *Abstracts and CD proceedings University of Manchester, UK, 2008*, 5 pages (CD-ROM).
13. D. Loca, O. Pugovics, L. Berzina-Cimdina. Evaluation of Highly-Water Soluble Drug Physical State in Biodegradable Microcapsules. *14-th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, the IFMBE Proceedings Series, 2008*, p. 619-622.
14. J. Locs, L. Berzina-Cimdina, A. Zhurinsh. Development of Biomorphic SiC Ceramics for Biomaterial Purposes. *14-th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, the IFMBE Proceedings Series, 2008*, p. 48-51.
15. K. Salma, N. Borodajenko, A. Plata, L. Berzina-Cimdina, A. Stunda. Fourier Transform Infrared Spectra of Technologically Modified Calcium Phosphates. *14-th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, the IFMBE Proceedings Series, 2008*, p. 68-71.
16. I. Salma, M. Pilmane, J. Vetra, L. Berzina-Cimdina, G. Salms, A. Skagers. Reactogenicity of Synthetic Hydroxyapatite (HAp) Ceramic Materials Implanted in Rabbits Jaws. *14-th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, the IFMBE Proceedings Series, 2008*, p. 72-75.
17. L. Rupeks, V. Filipenkovs, I. Knets, J. Laizans, V. Vitins. Stress-Strain State of System "Bone-Implant" Analyzed by FEM and its Comparison with Experimental Results. *14-th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, the IFMBE Proceedings Series, 2008*, p. 64-67.

#### ***Iesniegtās publikācijas***

1. L.Berzina-Cimdina, R.Serzane, I.Salma, M.Pilmane, G.Salms, A.Skagers. Drug infiltration in porous hydroxyapatite ceramic and tissue response, *saņemts apstiprinājums publicēšanai žurnālā "Integrated ferroelectrics "*, **2008**, 4 pages
2. J.Locs, L.Berzina-Cimdina, A. Zhurinsh, D.Loca Optimized vacuum/pressure sol impregnation processing of wood for the synthesis of porous, biomorphic SiC ceramics. *Saņemts apstiprinājums publicēšanai žurnālā „Journal of the European ceramics society“, 2008.*
3. I.Shestakova, I.Domracheva, N.Romanchikova, J.Pelsh, L.Berzina-Cimdina, V.Krilova, R.Cimdins. Use of GFP-expressed cell line for testing biomaterials. *Journal of Materials Science Letters, 2008, (in press).*
4. V.Krilova, L.Berzina-Cimdina. Influence of ionization degree on physicochemical properties of carboxylic. *RTU zinātniskie raksti: Materiālzinātnes un lietišķā ķīmija, 2008*, (iesniegts publicēšanai).
5. M.Reimanis, J.Ozoliņš, J.Mālers. Elektrolīzes procesa ietekme uz mikroorganismu vairošanos ūdenī. *RTU zinātniskie raksti: Materiālzinātnes un lietišķā ķīmija, 2008*, (iesniegts publicēšanai).
6. I.Šalma, L.Bērziņa-Cimdiņa, M.Pilmane, J.Vētra, Ģ.Šalms, A.Skaģers. Truša augšžokļa funkcionālā morfoloģija pēc sintētiskā hidroksiapatīta materiālu implantācijas. *RSU zinātniskie raksti: Paper, accepted*
7. J.Ločs, A.Žūriņš, L.Bērziņa-Cimdiņa, K.Morozova. SiO<sub>2</sub> ievadīšana un lokalizācija koksnē, izmantojot sola-gēla metodi. *Rīgas Tehniskās universitātes 48. Starptautiskā zinātniskā konference Rīga, RTU zinātniskie raksti, 2008, (iesniegts publicēšanai).*
8. A.Stunda, R.Seržāne, V.Vītiņš, I.Knēts. Spongiozo kaulaudu deformēšanās īpatnības atkārtotā spiedes sloģojumā. *RTU 48.Starptautiskā zinātniskā konference Rīga, RTU zinātniskie raksti, 2008, (iesniegts publicēšanai).*
9. R.Seržāne, A.Stunda, V.Krilova, V.Vītiņš, I.Knēts. Akriļa kaulu cements ar biodegradējošu piedevu. *RTU 48.Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, RTU zinātniskie raksti, 2008, (iesniegts publicēšanai).*

10. J.Pelšs, L.Bērziņa-Cimdiņa, I.Šestakova, V.Krilova, I.Kalviņš. *In vitro* metodes dažādu klašu biomateriālu salīdzinošiem biosaderības pētījumiem. *RTU 48.Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, RTU zinātniskie raksti, 2008, (iesniegts publicēšanai).*
11. N.Borodajenko, K.Salma, L.Berzina-Cimdina. Characterization of calcium phosphate synthesis products by XRD, *European Powder Diffraction Conference, Varšava, Polija, 19.-22.septembris, 2008, (iesniegts publicēšanai)*
12. L. Berzina-Cimdina, A. Reinis, J. Kroica, J. Vetra, A. Stunda. Bacterial colonization on surface of calcium phosphate glass ceramics. *2nd International Congress on Ceramics 2008.g. 29.jūnijs - 4.jūlijs Verona, (iesniegts publicēšanai).*
13. Kasyanov V.A., Hodde J., Hiles M.C. , Eisenberg C., Eisenberg L., De Castro L.E.F. , Ozolanta I., Murovska M., Draughn R.A., Prestwich G.D., Markwald R.R., Mironov V. Rapid Biofabrication of Tubular Tissue Constructs by Centrifugal Casting in a Decellularized Natural Scaffold with Laser-Machined Micropores. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 2008, (in press)*
14. Jankovska I., M.Pilmane, I.Urtane, G.Salms, A.Bigestans, G.Lauskis. Barx1, Msx2 and Wnt1 genes in bones and soft tissues of patients with skeletal malocclusions. *Stomatologia, 2008, Paper Pub Med, accepted.*
15. Pilmane M., S.Boka, A.Skagers, J.Vetra. Reactogenicity of skin basal membrane and soft tissue after implantation of different biomaterials in spine of rats. *The Vth Tissue Engeneering Symposium, 23-25.04.2008, Tampere, Finland: 2 pages. Paper*
16. L.Berzina-Cimdina, R.Serzane, I.Salma, M.Pilmane, G.Salms, A.Skagers. Drug infiltration in porous hydroxyapatite ceramic and tissue response, *Integrated Ferroelectrics is Taylor & Francis journal, 2008, (accepted).*
17. J. Spigulis, A. Lihachev, R. Erts. Imaging of the laser-excited tissue autofluorescence fading rates. *Appl. Opt., 2008 (iesniegts publicēšanai)*
18. N. Mironova-Ulmane, M.Polakovs, N.Kurjane, E.Reinholds. Micro-Raman scattering of hemoglobin. *SPIE Proceedings, 2008,( in press).*

### **Konferenču tēzes**

1. Zhurinsh A., Locs J., Berzina-Cimdina L., Dobele G. Pyrolytic synthesis of porous biomorphic SiC ceramics, *konference "PYROLYSIS 2008", Book of abstracts of the 18th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Lanzarote – Canary Islands, May 18-23, 2008, Abstract No.: P129.*
2. A.Ragauska, P.Apse, V.Kasjanovs, L.bērziņa-Cimdiņa. Influence of cerami9c inlays and composite resin fillings on fracture resistance of extracted human premolar teeth, *Abstracts 2 View, 8<sup>th</sup> World Biomaterials congress, Amsterdam, The Netherlands, 200, p.659.*
3. L.Berzina-Cimdina, A.Stunda, V.Vitins, I.Knets, I.Shestakova, N.Romanchikova. Glassceramics Crystallinity influence on physic-biological properties of the bioceramics, *Abstracts 2 View, 8<sup>th</sup> World Biomaterials congress, Amsterdam, The Netherlands, 2008, p. 1649.*
4. R.Serzane, L.Berzina-Cimdina, Z.Irbe. Porous calcium phosphate bioceramic scaffolds, *Abstracts 2 View, 8<sup>th</sup> World Biomaterials congress, Amsterdam, The Netherlands, 2008, p. 2704.*
5. G. Kerch, Y. Bayon, V. Kasyanov, P. Gravagna. Biodegradation rate and thermal properties of PLA fibers. *Abstracts of the 8<sup>th</sup> World Congress, Amsterdam, the Netherland, 2008, p. 649.*
6. A. Ragauska, P. Apse, V. Kasjanovs, L. Berzina – Cindina. Influence of ceramic inlays and composite resin filling on fracture resistance of extracted human premolar teeth. *Abstracts of the 8<sup>th</sup> World Congress, Amsterdam, the Netherland, 2008, p. 659.*
7. Pilmane M., L.Berzina-Cimdina, A.Skagers, J.Vetra. Reactions of surrounding tissue after implantation of different biomaterials in experimental condition. *Abstracts of the 8<sup>th</sup> World Congress, Amsterdam, the Netherland, 2008, p. 278.*
8. R.Serzane, Z.Irbe, I.Salma, L.Berzina-Cimdina. Porous calcium phosphate bioceramics, *71st Annual Session of the Indian Ceramic Society, Abstract No.A-64, Bangalore, India, 2008, p.144-145.*
9. A.Pavlova, L.Berzina-Cimdina, J.Locs, D.Loca, J.Bossert. Preparation and characterization of dense TiO<sub>2</sub> ceramics, *Abstract of Internationals conferences on modern materials & tehnologies CIMITEC 2008, Sicily, Italy, 2008, p. 101.*

10. J.Locs, L. Berzina-Cimdina, A. Zhurinsh, D. Loca. Effective Impregnation of SiO<sub>2</sub> Sol-Gel Solution in Pine Wood and Following Gel Localization in Free Cell Volume, *Abstract of Internationals conferences on modern materials & technologies CIMITEC 2008*, Sicily, Italy, **2008**, p. 98-99.
11. K.Salma, N.Borodajenko, A.Platā, L.Berzina-Cimdina, A.Stunda. Fourier transform infrared spectra of technological modified calcium phosphates, *Abstracts of 14<sup>th</sup> Nordic-Baltic conference on biomedical engineering and medical physics*, Riga, Latvia, **2008**, p.133.
12. A.Stunda, V.Krilova, I.Knets, L.Berzina-Cimdina, V.Filipenkovs, V.Vitins. 3-D polymer structure acrylic bone cement modified with chitin and chitosan, *Abstracts of 14<sup>th</sup> Nordic-Baltic conference on biomedical engineering and medical physics*, Riga, Latvia, **2008**, p.143.
13. J.Mihailova, I.Berzina-Cimdina, Selective protein adsorption on artificial surface, *Abstracts of 14<sup>th</sup> Nordic-Baltic conference on biomedical engineering and medical physics*, Riga, Latvia, **2008**, p.145.
14. I.Salma, M.Pilmane, J.Vetra, L.Berzina-Cimdina, G.Salms, A.Skagers. Reactogenicity of synthetic hydroxyapatite (HA) ceramic materials implanted in rabbits jaws, *Abstracts of 14<sup>th</sup> Nordic-Baltic conference on biomedical engineering and medical physics*, Riga, Latvia, **2008**, p.149.
15. J.Locs, L.Berzina-Cimdina, D.Loca, A.Zhurinsh. Development of biomorphic SiC ceramics for biomaterial purposes, *Abstracts of 14<sup>th</sup> Nordic-Baltic conference on biomedical engineering and medical physics*, Riga, Latvia, **2008**, p.154.
16. V. Ozolins, I. Ozolanta, L. Smits, A. Lacis and V. Kasyanov. Biomechanical Properties of Glutaraldehyde Treated Human Pericardium. *Abstracts, 14th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics*, Riga, Latvia, **2008**, p. 174.
17. L. Smits, I.Ozolanta, V. Ozolins, A. Lacis and V.Kasyanov. Biomechanical Properties of Two Synthetic Biomaterials for Ventricular Septal Defect Closure in Infancy. *Abstracts, 14th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics*, Riga, Latvia, **2008**, p. 132.
18. M. Kalejs, P. Stradins, R. Lacis, I. Ozolanta, V. Kasyanov. Mecanical properties of St. Jude EPIC heart valve bioprostheses – comparision with native valves. *Abstracts, 14th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics*, Riga, Latvia, **2008**, p. 175.
19. J. Pavars, P. Stradins, R. Lacis, I. Ozolanta, V. Kasyanov. Investigation of biomechanical properties of diferent elements of human mitral valve. *Abstracts, 14th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics*, Riga, Latvia, **2008**, p. 195.
20. Maksims Polakovs, Nina Mironova-Ulmane, Andrejs Pavlenko and E.Reinholds. The EPR spectra of blood. *Abstracts, 14th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics*, Riga, Latvia, **2008**, p. 71.
21. I. Kuzmina, J. Spigulis. Diffuse reflectance of skin vascular malformations: comparison of *in vivo* and *in vitro* results. *Abstr Abstracts, 14th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics*, Riga, **2008**, p. 108.
22. A. Lihachev, J. Spigulis. Imaging of laser-excited skin autofluorescence fading rate. *Abstr, 14th Nordic-Baltic Conf. Biomed. Eng. Med. Phys.*, Riga, **2008**, p. 97.
23. V.Vakarjuks, J.Ozoliņš. Suspensiju pagatavošana pulvera iegūšanai izsmidzināšanas žāvētavā, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 205.
24. R.Neretnieks, J.Ločs. Keramikas masas sagatavošana ekstrūzijai, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 197.
25. O.Grīgs, A.Dišlers, V.Krilova. Pētījumi hepatīta B kor-antigēna iegūšanas jomā, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 188.
26. L.Plūduma, V.Zālīte, K.Šalma. Hidroksilapaīta sintēzes un biokeramikas tehnoloģijas parametru optimizācija, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 200.
27. J.Tarčinska, K.Šalma. DTA metodes pielietojums Ca fosfātu izpētē, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 204.
28. D.Kozlova, V.Krilova. Polimerizācijas vides sastāva ietekme uz polimetilmetakrilāta granulometrisko sastāvu, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 195.
29. A.Platā, N.Borodajenko, Sintezēto kalcija fosfātu spektroskopiskā analīze, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 199.

30. D.Jakovļevs, A.Ragauska, J.Ločs. Estētisko plombējamo materiālu un zobu struktūra, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 191.
31. E.Boziļeva, A.Pavlova. Titāna oksīdus saturošas keramikas elektrisko īpašību izpēte, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konference*, Rīga, RTU, **2008**, II, 183.
32. Z.Irbe, L.Mežmale, R.Seržāne. Hidroksilapatīta keramikas struktūras izmaiņas bioaktīva stikla ietekmē, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 189.
33. K.Morozova, J.Ločs. Blīvu paraugu sagatavošana mikroskopiskiem pētījumiem, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 196.
34. T.Perederija, K.Šalma. Kalcija fosfātu keramikas virsmas struktūras pētījumi, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 198.
35. Z.Kalniņa, J.Pelšs. Biokeramisko materiālu biosaderības aprobācijas etapu analīze, *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 192.
36. N. Čaplinska-Jarocka, M.Reimanis, J.Ozoliņš. Elektrolīzes procesi ūdens attīrīšanai. *49.studentu zinātniskā un tehniskā konferences materiāli*, Rīga, RTU, **2008**, II, 186.
37. Šmits L., Lācis A., Ozolanta I., Ozoliņš V., Sikora N., Kasjanovs V. Comparison of biomechanical properties of two synthetic biomaterials for VSD closure. *Tēzes, RSU 7. zinātniskā konference*, Rīga, **2008**, 212.
38. Ozoliņš V., Ozolanta I., Lācis A., Šmits L., Sikora N., Kasjanovs V. Biomechanical properties of glutaraldehyde treated human pericardium. *Tēzes, RSU 7. zinātniskā konference*, Rīga, **2008**, 213.
39. Kozireva S., Chernobaeva L., Murovska M., Ozolanta I., Kasjanovs V. Biocompatibility of natural and artificial vascular scaffolds *in vitro* and *in vivo*. *Tēzes, RSU 7. zinātniskā konference*, Rīga, **2008**, 51.
40. Kalējs M., Stardiņš P., Lācis R., Ozolanta I., Kasjanovs V. Cilvēka un cūkas aortas vārstuļu biomehānisko īpašību salīdzinājums ar St. Jude EPIC bioprotēzēm. *Tēzes, RSU 7. zinātniskā konference*, Rīga, **2008**, 80.
41. Pavārs J., Stradiņš P., Lācis R., Ozolanta I., Kasjanovs V. Cilvēka mitrālā vārstuļa struktūrelementu biomehāniskie pētījumi vienass noslogojuma stendā. *Tēzes, RSU 7. zinātniskā konference*, Rīga, **2008**, 81.
42. Jankovska I., I.Urtāne, Ģ.Šalms, A.Bīgestāns, G.Lauskis, M.Pilmane. Barx1, Msx2 un Wnt1 gēni ortognātiskās ķirurģijas pacientu žokļu kaulos un mīkstajos audos. *RSU 7. zinātniskā konference*, **2008**, 187.
43. Šalma I., M.Pilmane, J.Vētra, Ģ.Šalms, A.Skaģers, L.Bērziņa-Cimdiņa. Apoptoze un augšanas faktori kontaktaudos pēc medikamentozi modificētu biokeramikas materiālu implantācijas eksperimenta dzīvniekiem. *RSU 7. zinātniskā konference*, **2008**, 189.
44. Lauriņa Z., R.Care, M.Pilmane. Augšanas faktoru/iekaisuma marķieru/defensīna un apoptozes sasitība ar periodonta sasilšanām. *RSU 7. zinātniskā konference*, **2008**, 193.
45. Krivicka B., M.Pilmane, I.Akota. Barx1, augšanas faktori un apoptoze sejas audos bērniem ar vienpusējām un divpusējām šķeltnēm. *RSU 7. zinātniskā konference*, **2008**, 196.
46. Valts Ozolins, Iveta Ozolanta, Lauris Smits, Aris Lacis, Vladimir Kasyanov. Biomechanical properties and resistance to proteolytic degradation of glutaraldehyde treated human pericardium. *Abstracts of the 16th Congress, European Society of Biomechanics*, Lucerne, Switzerland, *J. Biomechanics*, **2008**, v. 41, S1, p. S62.
47. Lauris Smits, Aris Lacis, Iveta Ozolanta, Valts Ozolins, Vladimir Kasyanov. Comparison of biomechanical properties of two synthetic biomaterials for VSD closure. *Abstracts of the 16th Congress, European Society of Biomechanics*, Lucerne, Switzerland, *J. Biomechanics*, **2008**, v. 41, S1, p. S377.
48. Valts Ozolins, Aris Lacis, Iveta Ozolanta, Lauris Smits, Vladimir Kasyanov. Research of the biomechanical properties of glutaraldehyde treated human human pericardium. *Abstracts of the 3rd Biennial Heart Valve Biology and Tissue Engineering Meeting*, London, **2008**, p. 72.
49. Lauris Smits, Valts Ozolins, Lacis Aris, Iveta Ozolanta, Vladimir Kasyanov. Biomechanical Properties of Two Synthetic Biomaterials for Ventricular Septal Defect Closure in Infancy. *Abstracts of the 3rd Biennial Heart Valve Biology and Tissue Engineering Meeting*, London, **2008**, p. 83.
50. Pilmane M., L.Berzina-Cimdiņa, A.Skagers, J.Vetra. Biocompatibility, reactogenicity and bioactivity after implantation of different biomaterials in experimental animals. *12-ais Mutes vēža*

- un sejas, mutes un žokļu starptautiskais kongress, Šanhaja, Ķīna, China Journal of oral and maxillofacial surgery, 2008, 20-25.05: 128-129.*
51. Jankovska I., M.Pilmane, I.Urtane, A.Bigestans, G.Salms, G.Lauskis. Barx1, Msx2, Wnt1 genes in bones and soft tissues of orthognatic surgery patients. *The Baltic Orthodontic meeting, April 23-25, 2008, Riga, Latvia. Thesis (CD-ROOM).*
  52. Krivicka B., M.Pilmane. Barx1, growth afctors and apoptosis in facial tissue of children with unilateral and bilateral clefts. *The Vth Tissue Engeneering Symposium, 23-25.04.2008, Tampere, Finland: 2 pages. Thesis(CD-ROOM).*
  53. Jankovska I., M.Pilmane, I.Urtane, A.Bigestans, G.Salms, G.Lauskis. Barx1, Msx2 and Wnt1 genes in bones and soft tissues of orthognatic surgery patients. *The Vth Tissue Engeneering Symposium, Tampere, Finland, 2008, 1 page. Thesis (CD-ROOM).*
  54. Skagers A., G.Salms, I.Salma, G.Zigurs, M.Pilmane, J.Vetra, V.Groma, L.Feldmane. Applcation of synthetic calcium phosphate bioceramic materials in oral and maxillofacial surgery. *7th ScanBalt Forum & ScanBalt Biomaterials Days, September 24-26, Vilnius, Lithuania, 2008, p. 44.*
  55. Salma I., M.Pilmane, J.Vetra, G.Salms, A.Skagers. Inflammatory and regenerative response of contact tissue after subperiostal implantation of synthetic Hap bioceramic materials saturated with dexamethasone and lidocaine. *7th ScanBalt Forum & ScanBalt Biomaterials Days, Vilnius, Lithuania, 2008, p. 46.*
  56. V.Krilova, V.Vitins, I.Knets, L.Berzina-Cimdina. Development of potential bone cements. *7th ScanBalt Forum & ScanBalt Biomaterials Days, Vilnius, 2008, p. 45-46.*
  57. R.Serzane, J.Locs, Z.Irbe, L.Berzina-Cimdina. Development of porous bioceramics. *7th ScanBalt Forum & ScanBalt Biomaterials Days, Vilnius, 2008, p. 45.*
  58. L.Berzina-Cimdina. Research in Riga biomaterials innovation and development centre. *7th ScanBalt Forum & ScanBalt Biomaterials Days, Vilnius, 2008, p. 43.*
  59. A. Lihachev, R. Erts, U. Rubins, J. Spigulis. Method and device for imaging of fluorescence fading. *6th International Conference on Advanced Optical Materials and Devices (AOMD-6), Riga, Latvia, 2008, p. 91.*
  60. I. Kuzmina, K. Kruzmetra, J. Spigulis. Spatially and time resolved reflectance spectrometry for skin diagnostics: *in vivo* and *in vitro* results, *6th International Conference on Advanced Optical Materials and Devices (AOMD-6), Riga, Latvia, 2008, p. 45.*
  61. M.Polakovs, N. Mironova-Ulmane, N.Kurjane, E.Reinholds. Micro-Raman scattering of hemoglobin. *6th International Conference on Advanced Optical Materials and Devices (AOMD-6), Riga, Latvia. , 2008, p. 108.*
  62. L.Berzina-Cimdina, N.Mironova-Ulmane. The study of TiO<sub>2</sub> by Raman spectroscopy and X-ray diffractography. *Third International Workshop on Advanced Ceramics, Limoges, France, 2008, P53.*
  63. M.Reimanis, J.Ozolins, J.Malers, L.Berzina-Cimdina. Influence of electrolysis process on propagation of microorganisms in water. *49<sup>th</sup> Annual Conference, Delhi, India, 2008, p.138-139.*
  64. N. Borodajenko, K. Salma, L. Berzina-Cimdina. Characterization of calcium phosphate synthesis products by XRD. *Abstract of 11-th European Powder Diffraction Conference, Warszawa, Poland, 2008, p. 126.*

Projekta vadītājs \_\_\_\_\_/Līga Bērziņa-Cimdiņa/ 2008.gada 28. novembrī  
(paraksts un tā atšifrējums, datums)

5. Projekta: **”Nanodalīnu, nanostrukturālu materiālu un plāno kārtiņu tehnoloģiju izstrāde funkcionālo materiālu un kompozītu izveidei”** mērķis ir balstoties uz uzkrāto pieredzi, zināšanām un intensīvu sadarbību projekta ietvaros, izstrādāt un optimizēt konkrētam lietojumam atbilstošu nanodaļiņu, magnētisko koloīdu, plāno kārtiņu un nanostrukturālu materiālu iegūšanas tehnoloģijas funkcionālo un kompozītmateriālu izveidei.

3. Projekta 5. posma „Darba uzdevumā” definētie uzdevumi:
3.5.1.1. Modificētu ZnO nanodiegu sintēze organiskos šķīdinātājos un mikroviļņu krāsnī. Paraugi luminiscento īpašību noteikšanai.
3.5.1.2. ZnWO <sub>4</sub> un Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> :Mn nanodaļiņu plazmasķīmiskā sintēze un pārstrāde materiālos. Paraugi luminiscento īpašību pētījumiem.
3.5.1.3. AlN–retzemju oksīdu, Li <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> , Li <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub> paraugu izgatavošana pārbaudēm.
3.5.2.1. Elektroizgulsnēto, nanostrukturēto, amorfo Ni–W sakausējumu plāno kārtiņu struktūras, fāžu sastāva un termiskās stabilitātes robežas noteikšana.
3.5.2.2. Ni–Mo rentgenamorfā pārklājuma fizikālās īpašības, fāžu sastāva un struktūras veidošanās likumsakarības un izmaiņas atkarībā no slogošanas režīma.
3.5.3.1. Kvazistehiometriskā un nestehiometriskā sastāva Li <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> nanopulvera sintēze, mehāniskās izturības pārbaude.
3.5.3.2. Nestehiometrijas ietekme uz radiācijas defektu un radiolīzes produktu veidošanos Li <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> nanopulveros.
3.5.3.3. Keramizācijas procesa ietekme uz nestehiometrisku Li <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> nanopulveru radiācijas stabilitāti.
3.5.3.4. Gaismas termostimulētās luminiscences un difūzās izkliedes spektroskopijas radiācijas defektu izpēte Li <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> nanopulveros.
3.5.4.1. Magnetokonvektīvā siltumpārnese 2D kanālā ar recirkulāciju.
3.5.4.2. Ferokoloīdu termoosmoze un filtrācija kapilāri porainā membrānā.
3.5.4.3. Kompleksā magnētiskā uzņēmība salikto ferītu nanokoloīdos.
3.5.4.4. Nanokoloīdu termodifuzīvo struktūru hologrāfiski pētījumi magnētiskā laukā.
3.5.5.1. Lokanu feromagnētisku filamentu sintēze un to īpašību noteikšana.
3.5.5.2. Magnetotaktisku baktēriju orientācija mainīgā magnētiskā laukā. T <sub>0</sub> termofluktuāciju modelēšana ar Brauna dinamikas metodi.
3.5.5.3. Magnētisku koloīdu ieguve ūdens vidēs un nanodaļiņu funkcionalizācija.
3.5.6.1. Fizikālķīmiskie procesi Al <sub>x</sub> -Ga <sub>1-x</sub> N nukleācijā un monokristālisku kārtiņu veidošanās, ja x>0.5
3.5.6.2. Al <sub>x</sub> -Ga <sub>1-x</sub> N struktūru elektriskās un optiskās īpašības.

4. Projekta 5.posmā definēto uzdevumu izpildes rezultāti:
4.5.1. uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība
4.5.1.1. Izstrādāts ZnO nanopulveru sintēzes process, kas balstās uz ZnCl <sub>2</sub> reducēšanu un hidrolīzi ar amonjaka ūdeni vai amonjaku. Procesu realizē, laižot amonjaka ūdeni vai amonjaku sīku burbulīšu veidā caur hlorīda šķīdumu 80-90 °C temperatūrā. Iegūtās nogulsnes mazgā un izkarsē 120-130 °C. Atkarībā no sintēzes parametriem iegūtas plākšņveida vai diegveida ZnO daļiņas.
4.5.1.2. Izmantojot iepriekšējā periodā uzkrāto pieredzi ZnO plazmasķīmiskā sintēzē, iztvaicējot volfrāma vai silīcija oksīdu un cinka oksīdu mehānisku maisījumu gaisa plazmā, iegūti nanoizmēru ZnWO <sub>4</sub> un Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> :Mn nanopulveri, kuru īpatnējā virsma (30-45 m <sup>2</sup> /g) un daļiņu izmēri ir atkarīgi no izejvielu koncentrācijas plazmas strūklā un daļiņu atdzesēšanas ātruma.
4.5.1.3. Sintezēti AlN nanopulveri, kas modificēti ar Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , YF <sub>3</sub> , un izstrādāta to kompaktēšana blīvos nanostrukturālos materiālos ar dzirsteļizlādes plazmas metodi. Noteikts, ka Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> un YF <sub>3</sub> ievērojami samazina keramikas apdedzināšanas temperatūru, salīdzinot ar tīru ALN nanopulvera keramiku. Modificēto nanopulveru sablīvēšanās sākas 900-950 °C temperatūrā un pilnīgi blīvi materiāli tiek iegūti 2 min laikā 1300-1350 °C temperatūrā.

Modificētā AlN keramikas fāžu sastāvs atkarīgs no piedevu veida un karsēšanas temperatūras, paraugi satur AlN,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vai AlN un alumīnija oksinitrīdus, itrija-alumīnija granātu Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, kā arī fluoru, ja izejvielā ievadīts YF<sub>3</sub>.

Sagatavotie paraugi nodoti īpašību pārbaudei LU CFI.

4.5.2. uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

4.5.2.1. Ar rentgenfāžu un elektronmikroskopijas pētījumiem noteikts, ka elektroizgulsnētā Ni-W sakausējuma plāno kārtiņu termisko stabilitāti, t.i., rentgenamorfās, nanostrukturētās struktūras un fāzes saglabāšanos pie termiskā slogojuma 50-150 h 300°C un 400°C nosaka elektroizgulsnēšanas procesā līdzizgulsnētais W daudzums no 45-50 masas%.

Ja W daudzums slānī 33,0-35,0 masas%, silšanas procesā novērojama Ni-W savienojuma kristāliskās fāzes veidošanās. Diferencēto W daudzumu robežās no 33,0 līdz 50,0 masas% Ni-W elektroizgulsnētajos slāņos, to rentgenamorfo, nanostrukturēto struktūru veidošanos nosaka elektroizgulsnēšanas process. Pie elektrolīta pH robežās no 5,0 līdz 9,0 elektroizgulsnētie Ni-W plānie slāņi, neskatoties uz dažādo W daudzumu, ir rentgenamorfī, bet pie pH 5,0 un pH 9,0 ar W daudzumu 33,0-35,0 masas% silšanas procesos tie kristalizējas. Termiski stabilās Ni-W sakausējuma plānās kārtiņas ir praktiski pārbaudītas kā barjerslāņi sistēmās Sn/Ni-W/Cu Sn struktūras un fāžu stabilizēšanai lodēšanas procesos.

4.5.2.2. Noteikts elektrolīta sastāvs, elektroizgulsnēšanas pH (pH 7,4-7,8) un katodstrāvas blīvuma (0,5-1,0 A/dm<sup>2</sup>) robežas rentgenamorfu-nanostrukturētu Ni-Mo sakausējuma plāno kārtiņu iegūšanai ar 50 masas% Mo. Ņemot vērā nepieciešamību šo kārtiņu izmantošanai elektronikas izstrādājumu kontaktvirsmām plāno slāņu sistēmās, nepieciešams veikt tālākus pētījumus par elektroizgulsnēšanas procesa intensificēšanu Ni-Mo kārtiņas elektroizgulsnēšanas parametru un ātruma palielināšanu, elektrolīta pH un katodstrāvas blīvuma robežu palielināšanu, ko paredzēts turpināt 2009. gada darba plānā.

4.5.3.1. Nolūkā uzlabot litija silikāta makrolodīšu mehānisko izturību lietojumam kodoltermiskās sintēzes iekārtās, variējot izejvielu Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> un SiO<sub>2</sub> attiecību, izgatavoti nestehiometriskā sastāva Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> nanopulveri ar SiO<sub>2</sub> piedevām 2-3 masas % robežās. SiO<sub>2</sub> oksīdu klātbūtne atvieglo lodīšu keramizācijas procesu. Parādīta piedevas perspektivitāte mehānisko īpašību uzlabošanā, kas iespējama, precizējot litija ortosilikāta kompozīta sastāvu, sintēzes režīmu un keramizācijas procesu. Paralēli tika pētīti arī Karlsrūes Materiālu pētniecības institūtā (Institute for Material Research) sintezētie metasilikāta fāzi saturošie Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> paraugi.

4.5.3.2. Noskaidrota nestehiometrijas ietekme uz radiācijas defektu un radiolīzes produktu veidošanos Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> nanopulveros – būtiska ietekme netika konstatēta.

4.5.3.3. Noskaidrota keramizācijas procesa ietekme uz nestehiometrisku Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> nanopulveru radiācijas stabilitāti. Nanopulveru radiācijas stabilitāti ietekmē keramizācijas process (piemēram, keramikas ķepināšanas temperatūra un ilgums). Palielinoties keramikas ķepināšanas ilgumam 1200 K temperatūrā, nanopulveru radiācijas stabilitāte pieaug. Ķepināšanas temperatūras ietekme uz apstarotos paraugos stabilizēto radiācijas defektu koncentrāciju ietekmē ir jūtama, bet ne tik izteikta, kā ķepināšanas ilgumam. Arī metasilikāta fāzi saturošo Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> paraugiem tika novērota būtiska keramizācijas procesa parametru ietekme uz radiācijas stabilitāti.

4.5.3.4. Izgatavoto litija ortosilikātu īpašību precizēšanai un to lietojuma piemērotības noskaidrošanai kodoltermiskās sintēzes reaktoros sāka sadarbība ar Karlsrūes kodolpētniecības centru. Gan ar gamma stariem, gan ar paātrinātiem apstarotie paraugi tika pētīti ar elektronu paramagnētiskās rezonanses (EPR), termostimulētās luminiscences (TSL) un gaismas difūzās izkliedes spektroskopijas metodēm. EPR spektros tika novēroti caurumu centru SiO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, stabilizēto elektronu (jeb F<sup>+</sup> centru) un sekundāro jonradikālu SiO<sub>3</sub><sup>3-</sup> signāli. TSL līknēs novērojami vairāki maksimumi (400, 450, 500 un 600 K apgabalā), līkņu forma, maksimumu pozīcijas un relatīvā intensitāte ir atkarība no parauga sastāva, ķepināšanas

parametriem, starojuma veida un absorbētās dozas. Turpretim TSL gaismas emisijas spektri visu paraugu gadījumā ir līdzīgi un satur maksimumu 3,0 līdz 3,6 eV (ap 376 nm) apgabalā. Ar gaismas difūzās izkliedes spektroskopijas metodi noteiktie staroto paraugu optiskās absorbcijas spektros ir izteikts maksimums 3 eV (415 nm) apgabalā. Gaismas difūzās izkliedes spektroskopijas metodikas optimizācija radiācijas defektu izpētei  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  nanopulveros tika veikta kā modeļvielu izmantojot Karlsrūes Materiālu pētniecības institūtā sintezētos metasilikāta fāzi saturošos  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  paraugus. Šie paraugi tika izmantoti tāpēc, ka viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē difūzās izkliedes spektroskopijas metodes jutību ir pētāmo paraugu daļiņu vidējais izmērs, kas metasilikāta fāzi saturošajos  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  paraugos mainījās plašā diapazonā (no 0,01 līdz 0,63 mm). Tika konstatēts, ka difūzās izkliedes spektroskopijas metodes jutība ievērojami pieaug, palielinoties pētāmo paraugu daļiņu izmēram un blīvumam. No otras puses, palielinoties pētāmo paraugu daļiņu izmēram būtiski pasliktinās ar difūzās izkliedes un TSL metodēm iegūto rezultātu atkārtojamība.

Lai novērtētu grauda izmēra lomu darbā pētīta arī tritija difūzija no neitronu pavairotāja berilija mikrolodītēm ar dažādu graudu izmēru. No nanopulveriem iegūtie radiācijas stabilie blanketa zonas materiāli ļaus samazināt tritija aizturi, līdz ar to arī nodrošinās pietiekošu kodoldegvielas ieguvi un tritija balansu ekspluatācijas apstākļos. Latvijā ir attīstīta plazmas sintēzes tehnoloģija nanomateriālu ražošanai, pozitīvu rezultātu gadījumā varēs tikt izvēsta plaša ražošana, jo vienam kodolsintēzes reaktoram nepieciešamais litiju saturošās keramikas daudzums ir vairāki simti tonnu. Atrisinot jautājumu par tritija aizturi, nanomateriālu pētījumiem ir liela nozīme Latvijas plazmas tehnoloģiju rūpniecības nākotnei.

4. 5.4. uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

4.5.4.1. Magnetokonvektīvā siltumpārnese 2D kanālā ar recirkulāciju. Veikti skaitliskie un eksperimentālie pētījumi par magnētiskās konvekcijas ietekmi uz translācijas siltumpārnesi divdimensionālā termosifona modelī. Izmantojot pastāvīgos magnētus, panākta jūtama siltumplūsmas intensifikācija kanālā ar mangāna ferīta bāzes koloīdu.

4.5.4.2. Ferokoloīdu termoosmoze un filtrācija kapilāriporainā membrānā. Eksperimentāli novērota un teorētiski interpretēta jauna parādība – koloīdu magnētiskā termoosmoze kapilāriporainā slānī. Laukā, kas vērsts perpendikulāri slānim, novērojams izteikts termoosmozes koeficienta pieaugums, ko izsauc galvenokārt magnētiskā spiediena izmaiņas slānī.

4.5.4.3. Kompleksā magnētiskā uzņēmība salikto ferītu nanokoloīdos. Balstoties uz liela apjoma nestacionārās magnetizācijas mērījumiem dažāda sastāva komplekso ferītu nanodaļiņu dispersijā, novērtēta iespēja izmantot nanodaļiņas bioloģisko audu magnētiskās hipertermijas vajadzībām.

4.5.4.4. Nanokoloīdu termodifuzīvo struktūru hologrāfiski pētījumi. Izstrādāta hologrāfiska metode optiski ierosinātu nanodaļiņu struktūru vizualizācijai un magnētiskās mikrokonvekcijas pētījumiem.

4.5.5.uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

4.5.5.1. Atskaites periodā tika sintezētas feromagnētiskas stīgas un eksperimentāli noskaidrota to anomāla orientācija mainīgā magnētiskā laukā, kura agrāk tika paredzēta teorētiski. Par doto jautājumu ir iesniegta publikācija, kā arī ziņots MISM2008. Noteiktas superparamagnētisku filamentu statiskās deformācijas atkarībā no šķīduma jonu spēka. Atskaites periodā sākti vērptu feromagnetisku stīgu eksperimentāli pētījumi. Parādīts, ka šiem filamentiem ir iespējama hirālās simetrijas nobrukšanas parādība, kura izsauc to spontānu rotāciju.

4.5.5.2. 2008 gadā tika turpināti magnetotaktisku baktēriju teorētiski un eksperimentāli pētījumi. Parādīts, ka magnetotaktiskas bakterijas orientējas perpendikulāri mainīgam magnētiskam laukam. Izteikta hipotēze, ka dotā parādība varētu tikt izmantota baktēriju citoskeleta elastības noteikšanai. Skaitliskās modelēšanas rezultātā noskaidrots jauns efekts – ‘šķietama’ baktērijas rotācijas bremsēšanās, ja frekvence tuva kritiskai. Līdzīga parādība novērota arī eksperimentāli.

4.5.5.3. Atskaites periodā turpināti pētījumi mīksto materiālu fizikā. Noskaidrota monoslāņu spiediena elektrostatiskās komponentes atkarība no šķīduma jonu spēka un lipīdu disociācijas konstantes. Darbā teorētiski aprakstīta jauna parādība – iespēja ar magnētiska lauka palīdzību vadīt plaisu izplatīšanos un to orientāciju. Darbā noskaidrota biežuma izmaiņas ietekme uz magnetostatisko nestabilitāšu attīstību Hele-Šou slāņos.

4.5.6. uzdevuma darbu saturs, izpildes rezultāti, to zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīmība

4.5.6.1. Izstrādāta MOCVD tehnoloģija un izprasti fizikāli-ķīmiskie aspekti  $Al_x-Ga_{1-x}N$  cieto šķīdumu kārtiņu uznešanai uz safīra pamatnēm pie lielām Al koncentrācijām  $x > 0.5$ . Atrasti optimālās temperatūras un gāzu plūsmu ātrumi kvalitatīvu nanokārtiņu sintēzei.

4.5.6.2. Veikta  $Al_x-Ga_{1-x}N$  ( $x > 0.5$ ) struktūru elektrisko un optisko īpašību izpēte. Augstfrekvences liela kustīguma tranzistoru radīšanai nepieciešami pētījumi AlGaN/GaN superrežģu tehnoloģijas izstrādei, lai novērstu plaisu veidošanos, ko nosaka režģa konstanšu atšķirība dažāda sastāva nitrīdu cietiem šķīdumiem.

## 5. Kopsavilkums:

5.5.1. Izstrādātas jaunas  $ZnO$ ,  $ZnWO_4$  un  $Zn_2SiO_4.Mn$  ķīmiskās sintēzes metodes un modificēta AlN keramikas sablīvēšanas metodes, izmantojot ātro kompaktēšanas metodi dzirksteļizlādes plazmā.

5.5.2. Pētot Ni/W elektroķīmisko pārklājumu fāžu sastāvu un struktūru atkarībā no elektroizgulsnēšanas režīma, noskaidrots, ka rentgenamorfās nanostrukturētas kārtiņas veidošanos nosaka elektrolīta pH un tā optimālā vērtība ir 5-9. Savukārt nanostrukturētu kārtiņu termisko stabilitāti nosaka W koncentrācija pārklājumā. Optimālā W koncentrācija 45-50 masas% nodrošina kārtiņu nanostrukturētas saglabāšanos 300-400 °C augstā temperatūrā, kas nodrošina to lietojumu elektroniskās ierīcēs.

5.5.3. Nestehiometriskā sastāva litija ortosilikāta mehānisko un radiācijas īpašību pētījumos noskaidrots, ka, pilnveidojot nanodaļiņu sintēzes režīmu un keramizācijas tehnoloģiju, kā arī komponentu attiecību kompozītā, ir iespējams iegūt blanketa materiālu ar uzlabotiem parametriem lietojumam kodoltermiskās sintēzes iekārtā tritija atražošanai.

5.5.4. Magnētisko nanokoloīdu jomā sintezēti saliktie ferīti un panākta jūtama siltumplūsmas intensifikācija kanālā ar iegūtajām mangāna ferīta nanodaļiņām. Eksperimentāli novērota un interpretēta jauna parādība – koloīdu magnētiskā termoosmoze kapilārā porainā slānī, kā arī noskaidrota salikto ferītu nanodaļiņu lietošanas iespējas bioloģisko audu magnētiskās hipertemijas vajadzībām.

5.5.5. Eksperimentāli apstiprināts teorētiskais paredzējums par sintezēto feromagnētisko stīgu anomālo orientāciju anomālā magnētiskā laukā un parādīts, ka vērpto feromagnētisko stīgu hirālās simetrijas nobrukšanas parādība, kura izsauc to spontānu rotāciju. Parādīts, ka magnetotaktiskas bakterijas orientējas perpendikulāri mainīgam magnētiskam laukam. Izteikta hipotēze, ka dotā parādība varētu tikt izmantota baktēriju citoskeleta elastības noteikšanai.

5.5.6. Ar MOCVD tehnoloģiju iegūtas  $Al_x-Ga_{1-x}N$  plānās kārtiņas ar lielu Al koncentrāciju. Noteiktas to elektriskās un optiskās īpašības, kas rada labus priekšnosacījumus augstfrekvences liela kustīguma tranzistoru radīšanai.

Projekta rezultāti atspoguļoti 34 publikācijās un ziņoti 18 starptautiskās konferencēs.

### Publikācijas un dalība konferencēs

1. J. Grabis, Dz. Jankovica, I. Steins, A. Patmalnieks. Preparation of yttrium aluminium garnet nanoparticles and their characteristics. Scripta Materialia Iesniegts 2008.
2. J. Grabis, I. Steins, D. Jankovica Preparation of multicomponent oxide nanopowders and their processing. Proceedings of APNFM 2008, Dresden (accepted).
3. J. Grabis, Dz. Jankovica, I. Steins, A. Patmalnieks. Characteristics and sintering of YAG nanopowders prepared by gas phase and combustion synthesis. Proceedings of ICC2, Verona, 2008, 5 lpp.

4. I. Vītiņa, V. Belmane, A. Krūmiņa, V. Rubene. Elektroizgulsnētu Sn-Co sakausējumu fāžu sastāvu un struktūru izmaiņas Sn-Co/Cu slāņu sistēmās to silšanas procesos. *Latvijas Ķīmijas žurnāls*, 2008, Nr.1, 67-78.
5. I. Vītiņa, V. Belmane, A. Krūmiņa, V. Rubene. Elektroizgulsnēto Sn un Ni-W plāno slāņu fāžu sastāva termiskā stabilitāte slāņu sistēmās Sn/Ni-W/Cu. *Latvijas Ķīmijas žurnāls*, 2008, Nr. 4, 328.lpp.
6. I. Vītiņa, V. Belmane, A. Krūmiņa, V. Rubene. Changes in phase composition and structure of electrodeposited Sn-Co alloys in the systems of layers Sn-Co/Cu at heating. Iesniegts: *Surface and Coatings Technology*, Nr. SURFCOAT-D-08-00765, 26.05.2008.
7. I. Vītiņa, V. Belmane, A. Krūmiņa, M. Lubāne. Stability of structure, phase and elemental composition of chemically deposited and electrodeposited gold layers in the multilayer systems Au chemically reduced; electrodeposited /Co-W/Cu sputtered / glass – ceramics. Iesniegts: *Thin Solid Films*, Nr. TSF-D-08-00803, 30.05.2008.
8. Vilnis Frishfelds, Elmars Blums, Drift of nonuniform ferrocolloid through cylindrical grid by magnetic force, *Journal of Physics: Condensed Mater*, **20** (2008) 204130 (5pp)
9. D.Zablotsky, V. Frishfelds, E. Blums. Numerical investigation of thermomagnetic convection in heated cylinder under the magnetic field of a solenoid. *Journal of Physics: Condensed Mater*, **20** (2008) 204134 (5pp).
10. E. Blums, A. Mezulis, G. Kronkalns. Magnetoconvective heat transfer from a cylinder under the effect of a non-uniform magnetic field. *Journal of Physics: Condensed Mater* **20** (2008) 204128 (5pp)
11. M.M.Maiorov, E Blums, G. Kronkalns. The heat generation by an alternating magnetic field of low frequency in a ferrofluid: the dependence of energy dissipation on temperature, *Magneto hydrodynamics*, **44** (2008), No. 1, pp. 27–32
12. G. Kronkalns, A. Dreimane, M.M. Maiorov. The effect of thermal treatment on the magnetic properties of spinel ferrite nanoparticles in magnetic fluids, *Magneto hydrodynamics*, **44** (2008), No. 1, pp. 3–10
13. E. Blums, G. Kronkalns, M. Maiorov. Thermoosmotic Transfer of Ferrocolloids through a Capillary Porous Layer in the Presence of Transversal Magnetic Field, In: *Thermal Nonequilibrium, 7th International Meeting on Thermodiffusion, Lecture notes*, Eds. S. Wiegand, W. Kohler, J.K.G. Dhont, *Forschungszentrum Julich GmbH*, 2008, p. 169 - 174.
14. I Segal, A. Zablotskaya, E. Lukevics, M. Maiorov, D. Zablotsky, E. Blums, I. Shestakova, I. Domracheva. Synthesis, physico-chemical and biological study of trialkylsiloxyalkyl amine coated iron oxide/oleic acid magnetic nanoparticles for the treatment of cancer, *Applied Organometallic Chemistry*, **22** (2008), 2, pp. 82 – 88.
15. Elmars Blums, Gunars Kronkalns and Michail Maiorov, Thermoosmosis in magnetic fluids in the presence of a magnetic field, In: *Proc. 7th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD*, Presqu'île de Giens, France, 2008, Vol. **2**, 667-272.
16. D. Zablotsky, V. Frishfelds, E. Blums, Investigation of heat transfer efficiency of thermomagnetic convection in ferrofluids, In: *Proc. 7th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD*, Presqu'île de Giens, France, 2008, Vol. **2**, 715-720.
17. A. Mezulis, E. Blums and G. Kronkalns, Magnetoconvective intensification of heat transfer based on permanent magnets, In: *Proc. 7th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD*, Presqu'île de Giens, France, 2008, Vol. **2**, 803-808.
18. M. M. Maiorov, G. Kronkalns, E. Blums. Complex Magnetic Susceptibility of Cobalt Ferrite Ferrofluid: Influence of Carrier Viscosity and Particle Concentration, In: *Proc. 7th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD*, Presqu'île de Giens, France, 2008, Vol. **2**, 725-730.
19. I. Segal, A. Zablotskaya, E. Lukevics, M. Maiorov, D. Zablotsky, E. Blums, A. Mishnev, I. Shestakova, A. Gulbe. "Iron oxide based magnetic nanoparticles bearing cytotoxic silylated alkanolamine", In: *Proc. 7th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD*, Presqu'île de Giens, France, 2008, Vol. **2**, 691-696.
20. E. Blums, G. Kronkalns, M. Maiorov. Thermoosmotic transfer of ferrocolloids through a capillary porous layer in the presence of transversal magnetic field. Abstracts, *7th International Meeting on Thermodiffusion*, Bonn, June 2008, p. 56 – 57.
21. D. Zablockis, V. Frishfelds, E. Blums. Numerical Investigation of Heat Transfer in Magnetic Nanocolloids under Inhomogeneous Magnetic Field, Abstracts, *International Baltic Sea Region*

conference “Functional materials and nanotechnologies”, Institute of Solid State Physics, April 1 – 3, 2008, Riga.

22. K.Ērglis, M.Belovs, A.Cēbers. Flexible ferromagnetic filaments and the interface with biology. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, (pieņemts publicēšanai).

23. K.Ērglis, M.Belovs, A.Cēbers. Flexible ferromagnetic filaments and the interface with biology. Moscow International Symposium on Magnetism, Book of Abstracts, Moscow, P.238, 2008

24. K.Ērglis, D.Zhulenkovs, A.Sharipo, and A.Cēbers. Elastic properties of DNA linked flexible magnetic filaments. J.Phys.:Condens.Matter – 2008, v.20, 204107

M.Belovs, A.Cēbers. Properties of twisted ferromagnetic filaments. 11<sup>th</sup> International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, Dresden, P.123, 2008

25. K.Ērglis, L.Alberte, A.Cēbers. Thermal fluctuations of non-motile magnetotactic bacteria in AC magnetic fields. Magneto hydrodynamics – 2008, v.44, P.223-236.

I.Levental, P.A.Janmey, and A.Cēbers. Electrostatic contribution to the surface pressure of charged monolayers containing polyphosphoinositides. Biophysical journal – 2008, v.95, 1199-1205.

26. I.Levental, A.Cēbers, and P.A.Janmey. Combined Electrostatics and Hydrogen bonding determined intermolecular interactions between polyphosphoinositides. Journal of American Chemical Society – 2008, v.130, 9025-9030.

27. L.Pauchard, F.Elias, P.Boltenhagen, A.Cebers, and J.C.Bacri. When a crack is oriented by a magnetic field. Phys.Rev.E – 2008, v.77-021402

28. A.Tatulchenkov, and A.Cēbers. Magnetic fluid labyrinthine instability in Hele-Shaw cell with time dependent gap. Physics of Fluids – 2008, v.20, 054101.

29. B.Berzina, L.Trinkler, D.Jakimovica, V.Korsaks, J.Grabis, I.Steins, E.Palcevskis, S.Bellucc<sup>3</sup>, Li-Chyong Chen, Surojit Chattopadhyay, and Kuei-Hsien Chen Spectral characterization of bulk and nanostructured AlN.

30. J. Tīliks, V. Tīlika, G. Ķizāne, A. Vītiņš, A. Supe, A. Actiņš. Litija ortosilikāta nanostukturētu keramisko lodīšu iegūšanā tritija atražošanai kodolsintēzes reaktoros. RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija, 16. sēj., 2008, 17–20.

31. J. Tīliks, G. Ķizāne, A. Vītiņš, E. Kolodinska, V. Tīlika, B. Leščinskis, Tritium sorption and desorption from JET beryllium tiles under temperature, electron radiation and magnetic field, Fusion Eng. Des. (2008), doi: 10.1016/j.fusengdes. 2008.06.052 (4 pp.)

32. J. Tīliks, G. Kizane, A. Vitins, E. Kolodinska, J.Tīliks Jr., I. Reinholds. Tritium release from beryllium articles for use in fusion devices (accepted as manuscript ICFRM2007/93 of 9 pages for publication in the ICFRM-13 special issue of Journal of Nuclear Materials).

33. Juris Tīliks, Aigars Vītiņš, Gunta Ķizāne, Vija Tīlika, Elīna Kolodinska, Sarmīte Kalēja and Bronislavs Leščinskis. Effects of external energetic factors on tritium release from the EXOTIC 8-3/13 neutron-irradiated beryllium pebbles. – The manuscript has been submitted as SOFT 25<sup>th</sup> special issue paper #271 for publication in the Elsevier journal “Fusion Engineering and Design”.

34. J. Tīliks, G. Ķizāne, A. Vītiņš, E. Kolodinska, V. Tīlika, S. Kalēja. Chemical forms of tritium in Be pebbles after different treatment IAEA 22 – FEC Oct. 2008, Geneva. Paper for proceedings has been submitted, 5 p.

## DALĪBA KONFERENCĒS

1. International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies 2008”, April, Institute of Solid State Physics, University of Latvia. J. Grabis, Dz. Jankovica, I. Steins, A. Patmalnieks. Preparation of yttrium aluminium garnet nanoparticles and their characteristics.

2. Novel Functional Materials – APFNM, 2008, January, Dresden. J. Grabis, I. Steins, D. Jankovica. Preparation of multicomponent oxide nanopowders and their processing.

3. Sixth International Conference of the Chemical Societies of the South-Eastern European Countries. 2008, September, Sofia. Janis Grabis. Nanopowders produced by ICP technique and their application.

4. 2nd International Congress of Ceramics, 2008, June, Verona. J. Grabis, Dz. Jankovica, I. Steins, A. Patmalnieks. Characteristics and sintering of YAG nanopowders prepared by gas phase and combustion synthesis.

5. Changes in phase composition and structure in layer systems Sn-Co/Cu for different Co content in the alloy and heating temperature. I.Vītiņa, V.Rubene, V.Belman, e A.Krūmiņa. 2008, Institute of Solid

State Physics, University of Latvia, International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies 2008”, April

6. Elektroizgulsnēto Sn un Ni-W plāno slāņu fāžu sastāva un struktūru stabilitāte slāņu sistēmā Sn/Ni-W/Cu. *I.Vītiņa, V.Belmane, A.Krūmiņa, V.Rubene*. LU CFI 24. zinātniskās konferences, veltītas LU CFI 30 gadu jubilejai, 2008. gada 20-22. februārī, Rīgā.

7. Stability of phase composition and structure of electrodeposited thin Sn and Ni-W layers in system of layers Sn/Ni-W/Cu. *I.Vītiņa, V.Belmane, A.Krūmiņa, V.Rubene*. Institute of Solid State Physics, University of Latvia, February 20-22, 2008, Riga, p.

8. 7th International Meeting on Thermodiffusion June 2008, Bonn, Germany (E. Blūms)

9. 7th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD, September 2008, 10. Presqu'île de Giens, France (E. Blūms, A. Mežulis, G. Kronkalns, D. Zablockis).

11. International Baltic Sea Region conference “Functional materials and nanotechnologies”, Institute of Solid State Physics, April 2008, Riga (M. Majorovs, G. Kronkalns, A. Mežulis, D. Zablockis, L. Tiļuga).

12. K.Ērglis, M.Belovs, A.Cēbers. Flexible ferromagnetic filaments and the interface with biology. Moscow International Symposium on Magnetism, , Moscow, 2008

13. M.Belovs, A.Cēbers. Properties of twisted ferromagnetic filaments. 11<sup>th</sup> International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, Dresden, 2008

14. Juris Tiliks, Gunta Kizane, Aigars Vitins, Vija Tilika, Elina Kolodinska, Sarmite Kaleja, Aleksejs Frolovs Lithium containing ceramic breeder materials for fusion reactors. International Baltic Sea Region conference “Functional Materials and Nanotechnologies 2008” (FM&NT-2008). Inst. of Solid State Physics of the University of Latvia, April 1–4, 2008

14. J. Tiliks, E. Kolodinska, G. Ķizāne, A. Vītiņš, V. Tilika, Br. Leščinskis Lokalizētā tritija ķīmiskās formas un izdalīšana no EXOTIC 8-3/13 eksperimenta berilija lodītēm. LU Cietvielu fizikas institūta 24. zinātniskās konference 2008. gada 20.–22. februāris, Rīga, 2008

15. G. Kizane, J. Tiliks, A. Vitins, V. Tilika, E. Kolodinska. Possible Changes of Tritium Release Process under Real HCPB Operation Conditions. Proceedings of 14<sup>th</sup> International Workshop on Ceramic Breeder Blanket Interactions, Ed. A.J. Magielsen, Petten, The Netherlands, 6 – 8 September, 2006, 14 May 2007.

16. Juris Tiliks, Aigars Vītiņš, Gunta Ķizane, Vija Tilika, Elina Kolodinska, Sarmite Kaleja and Bronislavs Leščinskis Effects of external energetic factors on tritium release from the EXOTIC 8-3/13 neutron-irradiated beryllium pebbles. 25<sup>th</sup> Symp. on Fusion Technology [25<sup>th</sup> SOFT 2008], 15 – 19 Sept. 2008, Rostock, Germany.

17. E. Kolodinska, G. Ķizāne, J.P. Coad, A. Vītiņš, V. Tilika, I. Dušenkova Behavior of tritium accumulated in the surface layer of beryllium tiles. In the book: 9<sup>th</sup> International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials, Salamanca, Spain, June 2-3, 2008.

18. Ruta Brūvere, Tija Zvigule, Inta Kalnina, Jeļena Kirilova, Natalja Kurjāne, Andris Šķesteris, Grigorijs Kirilovs, Gunta Ķizāne, Natālija Gabruševa Fluorescent analysis of Cheronbyl clean-up workers blood plasma albumin 20 years after radiation exposure. RSU zinātniskā konference 2008. gada 13. un 14. martā.

Projekta vadītājs \_\_\_\_\_/Jānis Grabis/ 2008.11.28. \_\_\_\_\_  
(paraksts un tā atšifrējums, datums)

**6. Projekta „Funkcionālo materiālu/nanokompozītu dizains, tehnoloģiju izstrāde un to īpašības” mērķis:** Pētīt inženiertehniska pielietojuma jaunas klases hibrīdstruktūras - polimēru nanokompozītu materiālus ar palielinātu ekspluatācijas drošību un ekonomisko izdevīgumu. Polimēru-nanodaļiņu hibrīdstruktūru un atbilstošo kompozītmateriālu iegūšanas tehnoloģijas šobrīd nedod pietiekami stabili prognozējamu produkta iegūšanas rezultātu. Projektā paredzētie pētījumi, kurus veiks sadarbojoties triju organizāciju zinātniekiem, ļaus izvērtēt neorganiskās un

organiskās fāzes savietojamības paaugstināšanas iespējas, noteikt nanokompozītu iegūšanas tehnoloģiskos risinājumus, kā arī veidot materiālus ar jaunām īpašībām.

3. Projekta \_5\_ posma „Darba uzdevumā” definētie uzdevumi:

3.1. Turpināt nanokompozītu PP/OMMT (polipropilēns/organomontmorillonīts) ilglaicīgās šķīdes eksperimentālo izpēti. Noskaidrot kompozītu struktūrmehānikas modeļu izmantošanas iespējas nanokompozītu deformēšanās īpašību prognozēšanā, ievērojot laika faktoru.

3.2. Apkopot un izklāstīt zinātniskā rakstā iegūtos datus par nanokompozītu SAK/MMT (stirola akrila kopolimers/montmorillonīts) barjeras īpašībām.

3.3. Izmantojot iepriekšējā gadā piedāvāto vispārināto matemātisko modeli un atbilstīgi izveidoto datorprogrammu, turpināt analizēt pildvielas anizometrisko nanodaļiņu ietekmi uz nanokompozītu īpašībām.

3.4. Izstrādāt bioloģiski degradējama nanokompozīta PC/MMT (plastificēta ciete/montmorillonīts) iegūšanas tehnoloģiju kausējumā un noteikt svarīgākos tehnoloģiskos parametrus

3.5. Izstrādāt bioloģiski degradējama nanokompozīta PC/MMT iegūšanas tehnoloģiju šķīdinātājā un noteikt svarīgākos tehnoloģiskos parametrus

3.6. Veikt PC/MMT nanokompozītu struktūras pētījumus noteiktā ingredientu attiecību diapazonā, izvērtējot to ietekmi uz atsevišķiem nanokompozītu struktūras rādītājiem

3.7. Veikt PC/MMT nanokompozītu kalorimetriskos pētījumus noteiktā ingredientu attiecību diapazonā.

3.8. Izpētīt bioloģiski degradējama nanokompozīta PC/MMT mehānisko īpašību atkarību no MMT koncentrācijas.

3.9. Izvērtēt iespējas prognozēt PC/MMT nanokompozīta elastības konstantes ar kompozītu strukturālās mehānikas metodēm.

3.10. Pētīt mitruma ietekmi uz PC/MMT nanokompozīta mehānisko īpašību raksturlielumiem.

3.11. Eksperimentāli izpētīt nanokompozītu PC/MMT mitruma sorbciju. Noskaidrot MMT koncentrācijas ietekmi uz ūdens tvaiku difūziju, šķīdību un caurlaidību. Izvērtēt tādu materiālu barjeras īpašību modelēšanas iespējas.

3.12. Turpināt pētīt starpfāžu slāņa ietekmi uz polimēru nanokompozītu makroīpašībām (mehāniskajām un siltumfizikālajām). Modificēt iepriekšējā gadā piedāvāto analītisko modeli, ņemot vērā starpfāžu slāņa īpašību neviendabīgumu.

3.13. Aprobēt izstrādāto modeli OMMT-epoksīda nanokompozītu gadījumos.

3.14. Pētīt pildīta elastomēra (butadiēna-stirola gumija) nanokompozīta stiprības-deformācijas īpašības mazu un lielu deformāciju apgabalā. Veikt stiepes pārbaudes kvazistatiska stiepes sloģojuma un šķīdes apstākļos. Novērtēt materiāla tilpuma izmaiņu atkarībā no sprieguma-deformācijas stāvokļa un pildvielas koncentrācijas.

3.15. Izvērtēt PP un divu veidu organiski modificētus un nemodificētus montmorillonīta mālus saturošu radiācijas modificētu (pie absorbētajām jonizētā starojuma dozām  $D_{\text{abs}} = 50...300$  kGy) nanokompozītu (RMPN) deformatīvās īpašības temperatūras diapazonā no 20 līdz 200 °C.

3.16. Izpētīt radiācijas modificētu polimēru nanokompozītu (RMPN) virsmolekulārās struktūras izmaiņas un makromolekulu šķērssaistīšanās efektivitāti (pēc gēla frakcijas satura) atkarībā no komponentu (matricas materiāla un nanopildvielu) satura.

3.17. Izpētīt RMPN īslaicīgo šķīdi atkarībā no nanopildvielu satura un jonizējošā starojuma absorbētās dozas.

3.18. Pētīt RMPN termomehāniskās īpašības, nosakot termorelaksācijas ( $\sigma_{\text{TR}}$ ) un paliekošo nosēdspriegumu ( $\sigma_{\text{PN}}$ ) vērtības orientētos ( $\epsilon = 100\%$ ) paraugos atkarībā no jonizējošā starojuma  $D_{\text{abs}}$  lieluma un komponentu satura.

3.19. Izpētīt RMPN struktūras un mehānisko īpašību (elastības moduļa, sagraušanas robežsprieguma, stiepes relatīvā pagarinājuma) izmaiņas pēc materiāla izturēšanas agresīvās vidēs (skābes un sārnu ūdens šķīdumi, toluols, virsmas aktīvās vielas).
3.20. Noteikt dažu (selektīvi izvēlētu) radiācijas promotoru (fenilmalimīda u.c.) piemērotību RMPN strukturēšanās efektu palielināšanā un jonizējošā starojuma absorbētās dozas samazināšanas nolūkā.
3.21. Izstrādāt metodiku un eksperimentālo iekārtu poliizoprēna/ oglekļa nanodaļiņu (ASON) kompozītu elektriskās pretestības mērīšanai tieši vulkanizācijas laikā.
3.22. Izgatavot kompozītu jēlgumijas paraugus ar dažādām nanodaļiņu koncentrācijas vērtībām, kuras atrodas perkolācijas sliekšņa rajonā, un veikt pretestības mērījumus jēlgumijai vulkanizācijas procesa laikā, nolūkā iegūt informāciju par nanodaļiņu perkolācijas tīkla veidošanās dinamiku.
3.23. Izgatavot kriostata-termostata iekārtu elektrovadošu polimēra kompozītu elektriskās pretestības mērīšanai temperatūru diapazonā no 100K līdz 353 K.
3.24. Izstrādāt poliizoprēna/ASON kompozītu izgatavošanas metodiku un tehnoloģiju plašā ingerdientu koncentrāciju diapazonā. Izstrādāt izgatavošanas metodiku misiņa elektrodu pievienošanai.
3.25. Izstrādāt izgatavošanas metodiku un tehnoloģiju un izgatavot poliizoprēna/ASON kompozītu paraugus ar dažādām ASON masas koncentrācijām ar speciāli pievulkanizētiem misiņa elektrodiem.
3.26. Veikt izgatavoto poliizoprēna/ASON kompozītu paraugu elektriskās pretestības mērījumus atkarībā no temperatūras 100K līdz 353K diapazonā, nolūkā iegūt informāciju par elektriskās vadītspējas mehānismu un lai pārbaudītu, vai izgatavotajiem paraugiem piemīt temperatūras sensoru īpašības.
3.27. Izmērīt voltampēru raksturlīknes poliizoprēna/ASON kompozītu paraugiem ar dažādām ASON masas koncentrācijas vērtībām un pārbaudīt, vai izpildās Oma likums pie dažādām konstantām temperatūras vērtībām diapazonā no 100K līdz 353 K, nolūkā iegūt papildus informāciju par elektrovadītspējas mehānismu.
3.28. Izgatavot speciālus poliizoprēna/AOSN kompozīta paraugus <i>Holla</i> efekta pētīšanai ar tradicionālo un ar <i>Van der Pau</i> metodi.
3.29. Izgatavot iekārtu elektrovadošu polimēra kompozītu paraugu vienlaicīgai elektriskās pretestības, masas un izmēru mērīšanai atkarībā no laika, ja paraugs atrodas noteiktas koncentrācijas organisko šķīdinātāju tvaiku atmosfērā un veikt attiecīgos mērījumus poliizoprēna/ASON kompozītu paraugiem.
3.30. Izstrādāt metodes un komplektēt iekārtas, ar kurām varētu paātrināt poliizoprēna/ASON kompozītu paraugu elektriskās pretestības relaksācijas procesu pēc katra organisko šķīdinātāju tvaiku klātbūtnes konstatācijas akta.
3.31. Izstrādāt matemātisko modeli polimēru un kompozītmateriālu izstrādājumu mijiedarbes ar pjezoelektriķiem izvērtēšanai ar galīgo elementu metodi. Temperatūras analogijas pielietošanas pamatojums.
3.32. Eksperimentāli izvērtēt svārstību formu un frekvenču ietekmi uz kompozītmateriālu izstrādājumiem, par ierosmes avotiem izmantojot, pjezomateriālus un triecienāmuru. Dažādu sloģojuma veidu rezultātu salīdzinošs novērtējums.
3.33. Izmantojot lāzera skanējušo vibrometru eksperimentāli noteikt stiprības-deformācijas īpašības kompozītam un salīdzināt iegūtos rezultātus ar teorētiskajiem, kas aprēķināti izmantojot galīgo elementu metodi.
3.34. Izstrādāt algoritmu un skaitlisko modeli atsevišķu polimēru izstrādājumu dimensiju stabilitātes un kritiskās un post-kritiskās slodzes izvērtēšanai

- 3.35. Izvērtēt klasiskās *Ritca* variāciju metodes un galīgo elementu metodes pielietojšanas iespējamību. *Ritca* metodes pielietojšana pašu uzrakstītā FORTRAN programmā.
- 3.36. Izvērtēt polimēru izstrādājumu dimensiju stabilitātes un post-kritiskās slodzes aprēķināto rezultātu atbilstību čaulu un elastības teorijām. Iegūto rezultātu salīdzināšana ar citu autoru analogiskiem pētījumu rezultātiem.
- 3.37. Izmantojot pjezoelektriķus kā sensormateriālus, eksperimentāli noteikt atsevišķu polimēru materiālu izstrādājumu kritisko slodzi un izvērtēt to post-kritisko deformējamību.
- 3.38. Noteikt atsevišķu polimēru un kompozītmateriālu izstrādājumu kritiskos parametrus, ņemot vērā konkrētā izstrādājuma konstruktīvos ierobežojumus.

#### 4. Projekta \_5\_.posmā definēto uzdevumu izpildes rezultāti:

4.1. Iegūti zinātniski inovatīvi citu autoru darbos neatspoguļoti eksperimentālie rezultāti par nanokompozīta PP/OMMT ilglaicīgo (vairāk par diviem gadiem) šļūdi. Pētījumiem tika izmantoti kompozīti, kuri iegūti uz izotaktiskā polipropilēna bāzes ar dažādu organiski modificētu montmorillonīta mālu OMMT saturu. Lai uzlabotu nepolārā PP savietojamību ar OMMT, kompozīcija tika modificēta ar maleinēto polipropilēnu MAPP (3% pēc svara). Iegūtie šļūdes dati liecina, ka pat pie pavisam neliela OMMT satura būtiski pieaug pētāmā nanokompozīta elastības modulis un šļūdes pretestība. Vienlaicīgi rezultātu analīze liecina, ka pildvielas daļiņas ietekmē gan pilno deformāciju (elastīgo plus šļūdes deformāciju), gan mehāniskās relaksācijas spektru.

4.2. Noteikta stirola-akrila kopolimēra (SAK)/slāņaino silikātu montmorillonīta tipa mālu (SSM) nanokompozītu barjeras īpašību (difūzijas, šķīdības un caurlaidības koeficientu) atkarība no Sil satura, daļiņu orientācijas (komplanāra vai haotiska orientācija) un eksfoliācijas pakāpes. Konstatēts, ka mitruma sorbcijas eksperimentālos rezultātus labāk raksturo aproksimācija, kura iegūta, pieņemot, ka nanopildvielas sakārtojums/sadalījums SAK matricā ir komplanārs. Šāds nanopildvielas sakārtojums arī nodrošināja SSM efektivitāti nanokompozīta barjeras īpašību uzlabošanā.

4.3. Prognozējot nanodaļiņu formas (anizotropijas) ietekmi uz nanokompozīta elastīgajām īpašībām ar *Eshelby* modeli, konstatēts, ka elipsoīdu izmēru attiecība lielākā vai mazākā mērā ietekmē visas transversāli-izotropā nanokompozīta neatkarīgās konstantes, kā arī tas, ka nanokompozīta elastības moduļa palielināšanās ir atkarīga ne tikai no nanodaļiņu izmēru attiecības, bet arī no pildvielas elastības moduļa attiecības pret matricas moduli.

4.4. Tika izstrādāta tehnoloģija bioloģiski degradējamu dažāda sastāva nanokompozītu termoplastiska modificēta ciete (MC1)/SSM iegūšanai kausējumā. Definēti svarīgi nanokompozītu MC/SSM tehnoloģiskie parametri, t.sk., 1) optimālā cietes-plastifikatora-ūdens attiecība, 2) optimālā termoplastiskās masas samaisīšanas temperatūra un laiks, kas vienlīdz nodrošina pietiekoši labu nanopildvielas disperģēšanas pakāpi, kā arī neizraisa polimēra matricas destruktiju. Vienlaicīgi tika konstatēts, ka optimālais pētāmo modificētas cietes/slāņaino silikātu nanokompozītu noteiktu izstrādājumu formēšanas laiks ir 5 min, temperatūra - 140 °C, spiediens – 50 kgf/cm<sup>2</sup>.

4.5. Tika izstrādāta tehnoloģija bioloģiski degradējamu dažāda sastāva nanokompozītu modificēta ciete (MC2)/SSM iegūšanai no šķīdinātāja. Noteikti svarīgi nanokompozītu MC2/SSM tehnoloģiskie parametri, t.sk., 1) optimālā cietes-plastifikatora attiecība, 2) ūdens pārākums pirms samaisīšanas, 3) optimālais komponentu samaisīšanas režīms (maisīšanas laiks - 30 min., maisīšanas temperatūra 75-80°C, bet maisītāja griešanās ātrums 300 apgr./min.), 4) optimālā substrātvirsmā. Vienlaicīgi izstrādāta tehnoloģija slāņaino silikātu ūdens dispersijas modificēšanai ar ultraskaņu, definējot tādas tehnoloģiskos parametrus kā ultraskaņas apstrādes laiks un ultraskaņas apstrādes cikla režīms.

Praktiski svarīgi atzīmēt, ka projekta etapa ietvaros izstrādātās modificētas cietes (MC)/SSM nanokompozītu iegūšanas un noteiktu izstrādājumu izgatavošanas tehnoloģijas ir balstītas uz Latvijas dabas resursu izmantošanu, kas lielā mērā nosaka arī to tautsaimniecisko nozīmi.

4.6. Kā liecina rentgentdifrakcijas rezultāti, izmantotajai kartupeļu cietei raksturīgais B-tipa kristāliskums, par ko liecina platais difrakcijas pīķis pie  $2\theta$  leņķa  $10-24^\circ$  robežās, pēc glicerīna pievienošanas faktiski izzūd, kas norāda uz cietes kristāliskās struktūras sagraušanu plastifikācijas rezultātā. Savukārt MC/SSM nanokompozītu difraktogrammā novērotais mālu hierarhiskajai slāņainajai struktūrai atbilstošais pīķis nobīdās mazāku  $2\theta$  leņķu virzienā, kas liecina par starpslāņu attāluma palielināšanos, pateicoties polimēra makromolekulu interkalācijai montmorillonīta starpgaleriju telpā. Vienlaicīgi šie rezultāti liecina par izstrādāto nanokompozītu iegūšanas tehnoloģiju efektivitāti.

4.7. Lai noteiktu izgatavojamo nanokompozītu iegūšanas un pārstrādes robežkritērijus, kuru sasniegšana vēl neizraisa būtisku izejas polimēru destrukciju, ar termiskās analīzes metožu – diferenciālās skanējošās kalorimetrijas un termogravimetrijas – palīdzību tika konstatēts, ka maksimālā temperatūra, kas neizraisa ne cietes, ne glicerīna nopietnu destrukciju un kas vienlaicīgi būtu uzskatāma par jaunizstrādāto nanokompozītu ieteicamo pārstrādes temperatūru ir  $150^\circ\text{C}$ . Vienlaicīgi kalorimetrisko pētījumu rezultātā tika konstatēts, ka pētāmo MC/SSM nanokompozītus vislabāk raksturo stiklošanās temperatūra, kura noteiktā veidā ir atkarīga, gan no glicerīna-cietes proporcionālajām attiecībām, gan no termiskās priekšvēstures, kas iegūta nanokompozītu izgatavošanas procesā.

4.8. Iegūtie rezultāti liecina, ka MC mehāniskās īpašības būtiski uzlabojas, jau pie neliela SSM satura: Piemēram, MC2/SSM, kas satur tikai 6 masas % nanopildvielas, stiprība un elastības modulis atbilstoši palielinās 1,9 un 2,6 reizes, salīdzinot ar izejas MC. Tajā pašā laikā nanokompozīta deformējamiem materiāliem raksturīgais sagraušanas veids būtiski nemainās.

4.9. MC/SSM nanokompozīta visu neatkarīgo elastības konstanšu koncentrācijas atkarības teorētiskā analīze veikta, izmantojot projekta iepriekšējos etapos izstrādāto algoritmu, tādējādi apliecinot tā praktisko pielietojamību nanokompozītu elastisko īpašību prognozēšanai. Svarīgi atzīmēt, ka matemātiski prognozētais fakts, ka pētāmajos nanokompozītos polimēra matricā disperģētās silikātu pildvielu daļiņas veido vidēji 4 elementārslēņi, pilnībā atbilst rentgentstruktūranalīzes rezultātiem, kas arī liecināja par daļēju interkalāciju, kuras rezultātā nanokompozītam ar 6 % MMT saturu starpslāņu attālums palielinājās vidēji par 27 %. Līdz ar to tika konstatēts, ka sākotnējais pieņēmums, ka izveidotā materiāla aprēķina modelī jāņem vērā neeksfoliēto MMT daļiņu klātbūtne, ir pareizs.

4.10. Lai izpētītu apkārtējās vides iespējamā relatīvā mitruma līmeņa (atsevišķos pielietojumos var svārstīties no aptuveni 10 % līdz pat 50 %) ietekmi uz pētāmo materiālu īpašībām tika izstrādāta metodika MC un attiecīgo nanokompozītu kondicionēšanai. Eksperimentāli tika noteiktas nanokompozītu īpašības pie relatīvā mitruma vērtībām robežās no 3-16 %. Šajā diapazonā palielinot nanokompozītu mitruma saturu, MC/SSM stiprība un elastības modulis samazinās, bet relatīvais sagraušanas pagarinājums pieaug. Tomēr, ir svarīgi atzīmēt, ka nanopildvielas stiegrojošais efekts, kā to parādīja relatīvā elastības moduļa izmaiņas, pieaugot mitruma saturam, nesamazinās.

4.11. Izvērtējot mitruma sorbcijas likumsakarības, MC/SSM nanokompozītos, noskaidrots, ka nanokompozīta barjeras īpašības ievērojami uzlabojas, salīdzinot ar izejas MC. Piemēram, mitruma caurlaidības koeficients MC/SSM kompozītam ar 6% SSM saturu samazinās 2,1 reizes. Svarīgi atzīmēt, ka mitruma caurlaidības eksperimentālo rezultātu korelēšana ar teorētiski aprēķinātajiem ļāva secināt, ka slāņainā nanopildviela modificētās cietes matricā ir daļēji orientēta, t.i., tās sadalījums ir starp strikti komplanāru un strikti haotisku.

4.12. Turpinot pētījumus par starpfāžu slāņa ietekmi uz polimēru nanokompozītu makroīpašībām (mehāniskajām un siltumfizikālajām) iepriekšējā etapā izstrādātais analītiskais modelis tika atbilstoši modificēts, proti, izstrādātais 1D analītiskais modelis tika pielietots polimēru

nanokompozīta blīvuma un robežmitruma daudzuma noteikšanai, ievērojot starpfāžu slāņa neviendabīgumu un pieņemot, ka starpfāžu slānī īpašību izmaiņas kinētikai ir eksponenciāls raksturs.

4.13. Aprobējot izstrādāto modeli OMMT-epoksīda nanokompozītam, eksperimentāli iegūtās vērtības epoksīda saistvielai, kas ir pildīta ar montmorillonīta māla nanodaļiņām ar pildvielas saturu 0, 2, 4, 6 masas % tika salīdzinātas ar piedāvātā modeļa aprēķina rezultātiem. Tika pierādīts, ka pie maksimālās pildījuma pakāpes 20 % no sistēmas kopējā mitruma koncentrējas robežslānī. Vienlaicīgi pie šādas pildījuma pakāpes tika konstatēts, ka eksperimentālo blīvuma vērtību novirzes no aditīvajām ir 8 %.

4.14. Izpētot butadiēna-stirola gumijas-SiO<sub>2</sub> kompozītu stiprības, elastīgo un viskoelastīgo raksturlielumu atkarību no kompozītu sastāva un dažādiem slogošanas režīmiem, konstatēts, ka, palielinot pildvielas saturu līdz 20 masas %, robežspriegums pieaug no 8 līdz 20 MPa, bet elastības modulis no 1.4 līdz 3.8 MPa. Vienlaicīgi tika konstatēts, ka deformēšanas ātrums nebūtiski ietekmē šos raksturlielumus. *Puasona* koeficients ievērojami samazinās (līdz 70%) visām izpētītajām kompozīcijām. Svarīgi atzīmēt, ka pētījumu rezultātā iegūta ievērojama eksperimentālo datu bāze par elastomēru kompozītu mehāniskajām īpašībām pie dažādiem slogošanas nosacījumiem. Vienlaicīgi iegūtie rezultāti ir nozīmīgi praktiski svarīgu šo materiālu deformācijas uzvedības prognozēšanas modeļu izstrādes vajadzībām.

4.15. Lai izvērtētu šī projekta ietvaros izstrādāto nanokompozītu izturību augstas jonizācijas starojuma laukā, kas ir aktuāla arī atsevišķos praktiskajos pielietojumos pētīti radiācijas modificēta polipropilēna (RMPP) kompozīti, kuriem kā pildvielas izvēlēti nemodificēti un organiski modificēti slāņainie silikāti.

Nanopildvielas koncentrācija termoplastiskajā matricā tika mainīta robežās no 0 līdz 10 masas %. Līdz dažādām absorbētajām dozām apstarotu nanokompozītu deformatīvās īpašības tika noteiktas gan istabas, gan paaugstinātā temperatūrā. Svarīgi atzīmēt, ka izmantotās mālu nanopildvielas gan istabas temperatūrā, gan paaugstinātā temperatūrā nodrošināja pētāmo nanokompozītu noteiktu armēšanu pat neskatoties uz to, ka polipropilēna makromolekulas jonizējoša starojuma laukā (absorbēto dozu apgabalā no 50 līdz 350 kGy) ir pakļautas gan radiācijas strukturēšanai (šķērssaistīšanai), gan destrukcijai. Vienlaicīgi noteikts, ka radiācijas modificētu pētāmo nanokompozītu stiprības-deformācijas īpašības ir funkcija no absorbētās dozas, kā arī piedevu satura.

4.16. RMPP nanokompozītu struktūra tika novērtēta gan ar gelfrakcijas, gan ar ultraskaņas metožu palīdzību. Minētās metodes, papildinot viena otru, ļāva noteikt vienlaicīgi gan šķērssaistīšanās pakāpi (gelfrakcijas eksperimentā noteiktā nešķīstošā polimēru nanokompozīta daļa, kas pie zemākām dozām bija tuvu pie 30%), gan virsmolekulārās struktūras izmaiņas, t.sk. kristāliskās fāzes saturu (dinamiskā elastības moduļa vērtības, kas noteiktas ar akustisko (ultraskaņas) metodi). Pētījumu rezultātā tika konstatēts, ka izmantotās nanopildvielas būtiski neietekmē termoplastiskās matricas struktūras maiņu radiācijas modificēšanas rezultātā.

4.17. RMPP nanokompozītu īslaicīgā šļūde tika izvērtēta, slogojot kompozītus līdz deformācijām, kas nepārsniedza 10 % no to stiepes sagraušanas robežsprieguma, nolūkā lai lineāro izmēru izmaiņas notiktu ideāli elastīgās deformācijas apgabalā. Svarīgi atzīmēt, ka šādā veidā organizēti īslaicīgās šļūdes eksperimenti pēc izpildītāju iepriekšējās pieredzes dod svarīgu informāciju arī ilglaicīgās šļūdes prognozēšanai. Iegūtie eksperimentālie rezultāti norāda uz ievērojamu īslaicīgās šļūdes atkarību no nanopildvielu satura un jonizējoša starojuma (JS) absorbētās dozas. Tā, piemēram, pie nanopildvielu satura 10% un JS absorbētās dozas 50 kGy īslaicīgā šļūde samazinās vairākas reizes, kas liecina par nanodaļiņu stiegrejošā efekta un makromolekulu šķērssaistīšanās / radiācijas ķīmisko efektu kompleksu ietekmi uz materiāla deformatīvām īpašībām.

4.18. Izpētītas RMPP nanokompozītu termomehāniskās īpašības, nosakot termorelaksācijas spriegumus ( $\sigma_{TR}$ ) un paliekošos nosēdsspriegumus ( $\sigma_{PN}$ ). Pētījumā iegūtie dati norāda, ka minētie

spriegumi kompozīcijām uz PP bāzes ir ievērojami mazāki, salīdzinājumā ar kompozīcijām, kas veidotas uz augsta blīvuma polietilēna (ABPE) bāzes. Piemēram,  $\sigma_{TR}$  visām pētītām kompozīcijām bija  $<0,2$  MPa, kas liecina par PP makromolekulu radiācijas destrukcijas procesu klātbūtni un šķērssaistīšanās procesu salīdzinoši mazāko īpatsvaru. Tādējādi šādi materiāli nav izmantojami termonosēdmateriālu izgatavošanai, bet lietojami tikai kā termoplasti piemēram, elastīgi blīvslēgi u.tml., kuriem ekspluatācijas temperatūrās ir samazināti šļūdes efekti.

4.19. Pētījumi par RMPP nanokompozītu mehāniskām īpašībām pēc to izturēšanas agresīvās vidēs, liecina, ka visas pētītās kompozīcijas var tikt praktiski pielietotas virsmas aktīvu vielu klātbūtnē. Piemēram, noteiktas koncentrācijas nātrija dodecilsulfāta šķīdumos visām pētītām RMPP sistēmām praktiski neizmainās deformatīvās un stiprības īpašības istabas temperatūrā. Tajā pašā laikā konstatēts, ka visu pētīto kompozīciju sastāvi nav piemēroti ekspluatācijai koncentrētos sārmos un skābēs: 30 % nātrija hidroksīdā un k. sērskābē jau pēc 2÷3 mēnešiem nanokompozītu deformatīvās un stiprības īpašības pasliktinās vidēji par 50%, attiecinot uz sākotnēji noteiktām.

4.20. Pētījumu ciklā, kas tika veikts, lai palielinātu radiācijas strukturēšanās jeb šķērssaistīšanās efektus RMPP kompozīcijām, noteikts, ka vispiemērotākais šķērssaistīšanās promotors ir fenilmalimīds, jo tas ļauj samazināt nepieciešamo JS absorbēto dozu vidēji par 50%, tādējādi uzlabojot modificēšanas procesa ekonomiekos rādītājus.

4.21. Ar mērķi noskaidrot nanostrukturētā oglekļa perkolatīvās elektrovadošās struktūras veidošanās kinētiku, izstrādāta metodika un eksperimentālā iekārta poliizoprēna/sarežģītas struktūras oglekļa nanodaļiņu kompozītu (PSSONK) elektriskās pretestības „*in situ*” mērīšanai tieši vulkanizācijas laikā.

Parauga elektriskās pretestības noteikšanai pie misiņa elektrodiem tika pieslēgts *Agilent 34970A* 20 kanālu multimetrs ar nolasāmo datu ierakstīšanas funkciju, kas savukārt, bija pieslēgts datoram. Lai kontrolētu efektīvo parauga temperatūru, tika izmantots blakus paraugam formā nostiprināts termopāris. Parauga vulkanizācijai tika izmatota *Rondol* apsildāmā prese ar integrētu ūdens kontrolējamās dzesēšanas intensitātes kontūru.

4.22. Sagatavoti kompozītu jēlgumijas paraugi ar dažādām nanodaļiņu koncentrācijas vērtībām, kuras atrodas perkolācijas sliekšņa rajonā.

10x15mm liels nevulkanizēta poliizoprēna/sarežģītas struktūras oglekļa nanodaļiņu kompozīta paraugs tika ievietots 1mm biežā teflona rāmītī starp attīrītiem 50 $\mu$ m misiņa folijas elektrodiem. Lai nepieļautu elektrodu saskaršanos un sekojošu īssavienojumu ar preses plāksnēm, kas izgatavoti no metāla, augstāk aprakstītā sistēma tika papildus ievietota poliimīda plēvē.

Veikti elektriskās pretestības „*in situ*” mērījumi jēlgumijai vulkanizācijas procesa laikā. Pirms eksperimenta tika veikta jēlmateriāla vulkanizācijas kinētikas līknes iegūšana ar *Monsanto Rheometer 100* reometru. Pamatojoties uz šiem mērījumiem, tika izvēlēta optimālā vulkanizācijas temperatūra - 140°C. Prese tika uzsildīta un termostatēta līdz nepieciešamajai temperatūrai. Tajā tika ievietots sagatavotais paraugs ar tam piestiprināto termopāri un saspīests līdz fiksētam spiedienam – 30 atmosfēras. Pēc sekojošas vulkanizācijas 30 minūšu garumā tika ieslēgts dzesēšanas kontūrs un temperatūra strauji pazemināta līdz istabas temperatūrai. Prese šajā etapā paliek zem spiediena. Vēl pēc 30 minūtēm tiek atvērta prese un paraugam ļauts relaksēt vēl 30 minūtes, kuru laikā tiek mērīta gan parauga temperatūra, gan elektriskā pretestība. Darba gaitā iegūtie dati tika apstrādāti un attēloti kā temperatūras un īpatnējās elektriskās pretestības funkcija no laika. Iegūtie rezultāti pierāda, ka elektriskā vadāmība PSSONK iestājas tieši vulkanizācijas procesā, un elektriskās pretestības samazināšanos apraksta eksponenciāli dilstoša funkcija no laika. Tātad, nanostrukturētā oglekļa elektrovadošs telpisks tīkls veidojas vulkanizācijas procesā pirmo minūšu laikā.

Pētījumu rezultātā iegūtas jaunas zināšanas par perkolācijas tīkla veidošanās kinētiku. Savukārt pētījuma tautsaimnieciskā nozīmība – informācija polimērnokompozītu sensoru materiālu optimālas izgatavošanas tehnoloģijas izstrādei.

<p>4.23. Projektēta un izgatavota nestandarta kriostata-termostata iekārta poliizoprēna/sarežģītas struktūras oglekļa nanodaļiņu kompozītu (PSSONK) elektriskās pretestības temperatūru diapazonā no 100K līdz 353 K. Lai novērstu paraugu apsarmošanu zemās temperatūrās paraugu saturošā mēršūna (misiņa cilindrs) tika piepildīta ar hēlija gāzi un hermētiski noslēgta.</p>
<p>4.24. Izstrādāta tehnoloģija misiņa elektrodu pievulkanizēšanai un izgatavoti poliizoprēna/sarežģītas struktūras oglekļa nanodaļiņu (SSON) kompozītu paraugi ar speciāli pievulkanizētiem elektrodiem.</p>
<p>4.25. Izstrādāta izgatavošanas metodika un tehnoloģija un izgatavoti poliizoprēna/SSON kompozītu paraugi ar 8, 9, 10, 11 masas daļām SSON uz 100 masas daļām poliizoprēna ar speciāli pievulkanizētiem misiņa elektrodiem.</p>
<p>4.26. Veikti izgatavoto poliizoprēna/SSON kompozītu paraugu elektriskās pretestības mērījumi atkarībā no temperatūras 100K līdz 353 K diapazonā. Pirmo reizi konstatēts vienam un tam pašam paraugam pretestības negatīvs temperatūras koeficients (NTP) diapazonā 100K – 280K un pozitīvs temperatūras koeficients (PTK) virs 280K temperatūras. NTP vērtība ir vāji atkarīga no SSON koncentrācijas paraugā, turpretī PTK ir vislielākais paraugiem ar 8.m.d. SSON pildvielas (aptuveni 50 reizes lielāks kā paraugiem ar 11 m.d. SSON. NTP rajonā noteiktas divas, aptuveni par kārtu atšķirīgas aktivācijas enerģijas katram no mērītajiem paraugiem, t.i., konstatēti divi atšķirīgi vadītspējas mehānismi – tā sauktais „<i>Motta lādiņnesēju dažādu attālumu pārlēcieni</i>” mehānisms (100K –200K) un „<i>lādiņnesēju pārlēcieni starp tuvākajiem kaimiņiem</i>” mehānisms (200K – 280K), kas arī nosaka pētījuma cikla zinātnisko nozīmību. Zemās temperatūrās PSSONK var izmantot lētu un lielu izmēru temperatūras indikatoru izgatavošanā, savukārt pozitīvās temperatūrās tos var izmantot kā pašregulējošus elektriskos sildītājus (palielinoties temperatūrai elektriskā pretestība pieaug, samazinās sildelementā plūstošā strāva un attiecīgi izdalītais siltuma daudzums).</p>
<p>4.27. Izmērītas voltampēru raksturliķnes poliizoprēna/SSON kompozītu paraugiem ar dažādām SSON masas koncentrācijas vērtībām un pie dažādām konstantām temperatūras vērtībām diapazonā no 100K līdz 353 K. Konstatēts, ka Oma likums izpildās visiem paraugiem pie visām temperatūras vērtībām, ja pieliktā sprieguma vērtība nepārsniedz 3V.</p>
<p>4.28. Izgatavoti poliizoprēna/SOSN kompozīta paraugi <i>Holla</i> efekta pētīšanai ar tradicionālo (tilpuma paraugu) metodi un ar <i>Van der Pau</i> metodi. Veikti <i>Holla</i> efekta mērījumi LU CFI. Noskaidrots, ka PSSON kompozītos ar 8,9,10 m.d. SSON dominējošie brīvie lādiņnesēji ir „caurumi”, bet paraugos ar 11. md SSON dominē „elektroni”. Līdzīga lādiņnesēju dominantes izmaiņa ir atrasta zinātniskajā literatūrā citu polimēru matricas un oglekļa pildvielas kompozītiem.</p>
<p>4.29. Izgatavota iekārta elektrovadošu polimēra kompozītu paraugu vienlaicīgai („<i>in situ</i>”) elektriskās pretestības un izmēru mērīšanai atkarībā no laika, ja paraugs atrodas noteiktas koncentrācijas organisko šķīdinātāju tvaiku atmosfērā un veikti attiecīgie mērījumi poliizoprēna/SSON kompozītu paraugiem. Iekārta sastāv no caurspīdīgas kameras paralēlskalda formā, elektriskās shēmas pretestības mērīšanai un fiksējamas videokameras ar mikrometru skalu nepārtrauktai paraugu izmēru fiksēšanai.</p>
<p>4.30. Izstrādātas divas metodes un komplektētas divas iekārtas, ar kurām pētīta iespēja paātrināt poliizoprēna/SSON kompozītu paraugu elektriskās pretestības relaksācijas procesu pēc katra organisko šķīdinātāju tvaiku klātbūtnes konstatācijas akta. Pirmajā metodē liekot paraugam relaksēt paaugstinātā temperatūrā (līdz 353 K). Otrajā metodē iedarboties uz relaksējošo paraugu ar periodisku stiepes spēku.</p>
<p>4.31. Izstrādāts matemātiskais modelis polimēru un kompozītmateriālu plānsienu konstrukciju (plāksnes, čaulas) aprēķinam pie to savstarpējās iedarbības ar MFC tipa (makrošķiedru kompozīts) pjezoelektriskiem aktuatoriem. Modelis ir realizēts, izmantojot galīgo elementu metodes programmu paketi ANSYS. Pielietojot temperatūru analogiju bija iespējams samazināt aprēķinu veikšanas laiku. Skaitliskie rezultāti tika salīdzināti ar citu autoru iegūtiem rezultātiem,</p>

lai novērtētu izstrādātā modeļa pareizību.

4.32. Pielietojot MFC ir veikts eksperiments ar mērķi noteikt kompozītmateriāla plāksnes modālās formas un atbilstošās frekvences. Eksperimentāli izpētīta MFC novietojuma vietas ietekme uz modālo formu, frekvenču un amplitūdu vērtībām atkarībā no pjezošķiedru virziena. Eksperiments veikts ar bezkontakta lāzeriekārtu POLYTEC PSV-400, kas strādā pēc *Doplera* efekta principa. Lai apstiprinātu eksperimentu rezultātu pareizību, tika noteiktas pašsvārstību formas un frekvences, pielietojot svārstību ierosmes vibratoru, triecienāmuru un PZT aktuatorus.

Visi eksperimentu rezultāti tika salīdzināti ar skaitlisko aprēķinu rezultātiem, kuri bija iegūti ar galīgo elementu metodes programmu ANSYS palīdzību. Veiktais eksperiments uzrādīja labu konverģenci rezultātiem, kas iegūti ar MFC un rezultātiem, kas iegūti ar tradicionāliem svārstību ierosinātājiem, kurus pielieto eksperimentos. Kā izņēmumu var minēt svārstību ierosmes vibratoru, kura izmantošana ir nevēlama eksperimentos ar vieglo kompozītu struktūru pielietošanu.

4.33. Materiāla paraugu elastīgo īpašību noteikšanai tika pielietota identifikācijas metode, kas balstās uz skaitlisko eksperimenta plānošanu un aprēķinu ar galīgo elementu metodi.

Eksperimenta objekts ir vienvirziena šķiedru kompozītmateriāla plāksne. Identifikācijas pirmajā etapā tiek eksperimentāli noteiktas parauga pašsvārstību frekvences, izmantojot bezkontakta lāzera iekārtu *POLYTEC PSV-400*. MFC aktuators, kas pielīmēts pie plāksnes virsmas, ierosina tās svārstības un ar lāzeriekārtu tiek mērītas galvenās eksperimentālās frekvences. Pēc tam tiek noteikts eksperimenta veikšanas plāns, kurā apraksta elastīgo īpašību atkarību no frekvencēm.

Galīgo elementu metodes programmā ANSYS tiek modelēta kompozītmateriāla plāksne un aprēķinātas frekvences pie materiāla dažādām elastības skaitliskām vērtībām. Minimizējot funkcionālu, tiek noteiktas materiāla elastības reālās skaitliskās īpašības. Šī metodika kopā ar MFC pielietošanu dod iespēju noteikt materiāla elastības īpašības to nesagraujot.

4.34. Izstrādāts algoritms kritisko un pēckritisko elastīgo deformāciju noteikšanai. Algoritms balstās uz nelineārās elastības teoriju. Algoritms ņem vērā gan ģeometrisku nelinearitāti lielu deformāciju gadījumos, gan arī materiāla elastīgo deformāciju fizikālo nelinearitāti. Algoritmu risina, balstoties uz *Ņūtona-Kantoroviča* iterāciju shēmas atsevišķiem soļiem. Slokojuma nelineārās diagrammas izveidošanai izmantota *Ritca* metode.

4.35. Izstrādātais algoritms realizēts pielietojot klasisko *Ritca* metodi un potenciālās enerģijas minimuma principu polimēru izstrādājumu dimensiju stabilitātes un kritiskās un post-kritiskās izvīrtēšanai. Aprēķināmie pārvietojumi un nesaspiežamā materiāla hidrostatiskā spiediena funkcija aproksimēti ar *Čebiševa* polinomu, pie kam netiek pielietoti kinemātiskie ierobežojumi. *Ritca* metodes skaitliskā realizācija veikta pielietojot programmu FORTRAN. Savukārt lineāro vienādojumu sistēmas pilnā nesimetriskā matrica tiek risināta ar *Gausa* metodi. Kritiskās slodzes novērtēšanai izmantota oriģināla metodika, kas balstās uz sākotnējo ģeometrisku nepilnību ievērošanu un lineāro vienādojumu sistēmas novērtēšanu.

4.36. Izstrādāts algoritms par brīvas izvēles biezuma polimēru materiāla caurules hidrostatisko noslogošanu. Iegūtie rezultāti par kritisko slodzi ir salīdzināti ar *Briana* klasisko formulu, kas ņemta no plānsienu čaulu teorijas, kā arī ar *Leibensona* formulu no lineārās elastības teorijas, un salīdzināti ar *Van-Entirpirara* eksperimentāliem rezultātiem. Iegūti brīvas izvēles biezuma polimēru materiāla caurules pēckritiskās deformācijas skaitliskie rezultāti. Dots ģeometrisku nepilnību ietekmes novērtējums uz caurules elastīgo izturēšanos pēckritiskā apgabalā.

4.37. Veikts eksperiments ar polimēra materiāla gredzenu kopā ar MFC aktuātoru, kas strādā kā sensors. Ir iegūtas sakarības starp noslogojumu un deformācijām, kā arī starp noslogojumu un pieliktās sensoram voltāžas. Dotais uzdevums vēl paralēli ir risināts ar galīgo elementu metodes programmu ANSYS. Eksperimentāli un aprēķinu ceļā iegūto rezultātu salīdzināšana ļauj veikt sensora tarēšanu. Iegūtā tarēšanas līkne var tikt izmantota sarežģītu konstrukciju deformāciju novērtēšanai.

4.38. Lai atrastu kompozītmateriāla lāpstiņas maksimālo savērpes leņķi tika risināts aktuatoru izvietojanas vietu uz lāpstiņas optimizācijas uzdevums, kas balstās uz skaitlisko eksperimentu plānošanu un atsauksmes virsmas metodi (optimizāciju). Uz lāpstiņas virsmas tiek pielīmēti MFC aktuatori 45 grādu leņķos, lai radītu vērpes momentu. Kā konstrukcijas parametru izvēlas lāpstiņas šķēlumu parametrus MFC izvietojanas vietā. Optimizācijas uzdevumu risināja izmantojot temperatūras analogiju, kas dod iespēju samazināt aprēķinu veikšanas laiku un lāpstiņas modeļa izmērus.

Konkrētais darbs apraksta MFC aktuatoru mijiedarbību ar kompozītmateriāla lāpstiņas izturēšanos, lai prognozētu tālākos pētījumus MFC aktuatoru pielietošanai citās sarežģītās konstrukcijās.

## 5. Kopsavilkums:

Atskaites posmā tika izstrādātas tehnoloģijas bioloģiski degradējamu dažāda sastāva modificētas cietes (MC)/nemodificētu slāņaino silikātu montmorillonīta (SSM) tipa nanokompozītu iegūšanai kausējumā, kā arī no šķīdinātāja laboratorijas apstākļos. Tādējādi tiek piedāvāta relatīvi mazu materiālu daudzumu iegūšanai paredzētā šķīdinātāju tehnoloģija, kā arī kausējuma tehnoloģija, kura ir izdevīgāka komerciāli pamatotu materiālu daudzumu iegūšanai. Praktiski svarīgi atzīmēt, ka projekta etapa ietvaros izstrādātās MC/SS nanokompozītu iegūšanas un noteiktu izstrādājumu izgatavošanas tehnoloģijas ir balstītas uz Latvijas dabas resursu izmantošanu, kas lielā mērā nosaka arī to tautsaimniecisko nozīmi.

Konstatēts, ka pateicoties interkalētajai nanokompozītu struktūrai MC/SSM elastības modulis un stiepes spriegums palielinās 2,6 un 1,9 reizes jau pie neliela nanopildvielas satura. Vienlaicīgi konstatēts, ka specifiskas, komplānāras struktūras veidošanās ietekmē būtiski palielinās arī pētāmo nanokompozītu barjeras īpašības. Kopumā SSM stiegrojošais efekts, pieaugot mitruma saturam, nesamazinās. Ievērojot, ka MC/SSM nanokompozīta visu neatkarīgo elastības konstanšu koncentrācijas atkarības teorētiskā analīze pēc projekta iepriekšējos etapos izstrādātā algoritma dod aproksimāciju, kas labi sakrīt ar eksperimentālajiem rezultātiem, var secināt, ka SSM saturošu polimēru nanokompozītu elastiskās īpašības prognozējošais modelis efektīvi izmantojams arī praktiskiem mērķiem. Laba eksperimentālo rezultātu un teorētiskās aproksimācijas sakritība tika konstatēta arī nanokompozītu elastisko īpašību atkarības no struktūras prognozēšanai izmantojot Eshleby modeli.

Svarīgi atzīmēt, ka izmantotie slāņaino silikātu modifikatori gan istabas temperatūrā, gan paaugstinātā temperatūrā nodrošina atsevišķu pētāmo nanokompozītu armēšanu pat neskatoties uz to, ka polipropilēna makromolekulas jonizējoša starojuma laukā (absorbēto dozu apgabalā no 50 līdz 350 kGy) vienlaicīgi ir pakļautas gan radiācijas strukturēšanai (it īpaši šķērssaistīšanās promotora fenilmalimīda klātbūtnē), gan destrukcijai. Vienlaicīgi konstatēts, ka izmantotās nanopildvielas būtiski neietekmē termoplastiskās matricas struktūras maiņu radiācijas modificēšanas rezultātā. Savukārt, iegūtie īslaicīgās šķūdes eksperimentālie rezultāti norādīja uz ievērojamu RMPP nanokompozītu atkarību no nanopildvielu satura un jonizējošā starojuma absorbētās dozas. Novērtējot RMPP nanokompozītu praktiskās izmantošanas iespējas noteikts, ka tie izmantojami kā termoplasti piemēram, elastīgi blīvslēgi u.tml., kuriem ekspluatācijas temperatūrās ir samazināti šķūdes efekti. Vienlaicīgi pētītie RMPP nanokompozīti ir izturīgi un līdz ar to arī praktiski lietojami kontaktā ar dažādām agresīvām vidēm.

Lai varētu spriest par oglekļa perkolatīvās elektrovadošās struktūras īpatnībām un rezultātā optimizēt PSSONK izgatavošanas tehnoloģiskos parametrus maksimāla sensorefekta sasniegšanai, šajā etapā kopumā veikti kompleksi PSSONK pētījumi. Elektriskās pretestības *in situ* mērījumi PSSONK vulkanizācijas (izgatavošanas) laikā, izgatavoto paraugu elektrisko parametru mērījumi plašā temperatūru apgabalā, kā arī ķīmiskā sensora īpašību izpēte ar jaunizstrādātajām metodēm ir devuši jaunas zināšanas, kas ir izmantojamas jaunu, lētu, lokanu („fleksiblu”) liela izmēra mehānisko un ķīmisko sensoru izstrādē.

Vienlaicīgi aprakstīta MFC aktuators mijiedarbība ar detaļām un konstrukcijām, kas izgatavotas no kompozītmateriāliem un polimēriem. Kompozītmateriāliem ar MFC tipa aktuators pielietošanu veikti eksperimentāli un skaitliski pētījumi materiālu mehānisko īpašību noteikšanai. Izstrādāts polimēru materiālu cauruļu kritiskās un pēckritiskās izturēšanās aprēķinu algoritms pie lielām cauruļu deformācijām. Izpētīta MFC aktuators mijiedarbība ar polimēru materiāla gredzenu tā spiedes slogojumā un eksperimentāli noteikts deformāciju lielums no elektriskā sprieguma (MFC aktuators kā sensora tarēšana).

Svarīgi atzīmēt, ka par projekta ietvaros veikto pētījumu zinātnisko un praktisko nozīmību liecina arī saņemtie apbalvojumi (*LZA un SIA „RD Elektroniks” balva studentiem fizikā un tās inženierpielietojumos* doktorantam Jurim Zavickim par valsts programmas 6. projekta ietvaros veiktajiem pētījumiem „Poliizoprēna – nanostrukturēta oglekļa kompozītu kā mehano-elektrisko sensoru materiālu izstrāde un izpēte” (darba vadītājs profesors Māris Knite), *Werner von Siemens Izcilības balva 2008* doktorandei par valsts programmas 6. projekta ietvaros veiktajiem pētījumiem Gitai Šakalei (darba vadītājs profesors Māris Knite) un *Starptautiskās konferences „Engineering Materials 2008” labākā referāta balva* doktorandei Ilzei Elksnītei par valsts programmas 6. projekta ietvaros veiktajiem pētījumiem „Sorption properties of biodegradable plasticized starch based nanocomposites” (darba vadītājs vad. pētn. Jānis Zicāns)).

#### Publicētie zinātniskie raksti

1. M. Knite, K. Ozols, J. Zavickis, V. Tupureina, I. Klemenoks, R. Orlovs, Elastomer – Carbon Nanotube Composites as Prospective Multifunctional Sensing Materials, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2008, V8, 1-6.
2. M. Knite, S. Zike, R. Orlovs, J. Zavickis, V. Teteris, Electrical properties of conductive polyisoprene/high structured carbon black composites in the temperature range 90 – 335 K, *Solid State Sciences*, 2008, submitted.
3. M. Knite, G. Podins, S. Zike, J. Zavickis, V. Tupureina, PROSPECTIVE ROBOTIC TACTILE SENSORS: Elastomer – carbon nanostructure composites as prospective materials for flexible robotic tactile sensors, *Proc. of 5<sup>th</sup> International Conference on informatics in Control, Automation and Robotics*, – Vol. 1., May 11-15, 2008, Funchal, Madeira – Portugal, 234-238
4. J. Zavickis, M. Knite, V. Teteris, S. Zike, V. Tupureina, Polyisoprene-nanostructured carbon black composite for pressure sensors – processing and mechano-electrical properties, *Proc. of international scientific conference “Material science and manufacturing technology” MITECH 2008*, Prague, Czech Republic, June 26-27, 2008, p. 235-240
5. *Лиличенко Н., Максимов Р. Д., Цицанс Я., Мерий Меру Р., Плуме Э.* Биодegradуемый полимерный наноккомпозит: механические и барьерные свойства // *Механика композит. материалов.* – 2008. – Т. 44, № 1. – С. 61–76.
6. *Lilichenko N., Maksimov R. D., Zicans J., Merijs Meri R., and Plume E.* A biodegradable polymer nanokomposite: mechanical and barrier properties // *Mechanics Compos. Mater.* – 2008. – Vol. 44, No. 1. – P. 45–56.
7. *Максимов Р. Д., Гайдукос С., Цицанс Я., Янсонс Ю.* Владопроницаемость полимерного наноккомпозита, содержащего немодифицированную глину // *Механика композит. материалов.* – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 723–736.
8. *Maksimov R. D., Gaidukov S., Zicans J., and Jansons J.* Moisture permeability of a polymer composite containing unmodified clay // *Mechanics Compos. Mater.* – 2008. – Vol. 44, No. 5. – P. 505–514.
9. *Плуме Э., Максимов Р. Д., Лагздинь А.* Влияние анизотрии пластинчатых наночастиц наполнителя на константы упругости трансверсально-изотропного композита // *Механика композит. материалов.* – 2008. – Т. 44, № 4. – С. 493–504.

10. *Plume E., Maksimov R. D., and Lagzdins A.* Effect of anisometry of a platelike nanofiller on the elastic constants of a transversely isotropic composite // *Mechanics Compos. Mater.* – 2008. – Vol. 44, No. 4. – P. 341–348.
11. *Максимов Р. Д., Лиличенко Н., Зицанс Я., Меруй Мери Р.* Свойства биоразлагаемого нанокompозита на основе крахмала и немодифицированной глины // *Пластические массы* (принята к печати).
12. *Элксните И., Лиличенко Н., Максимов Р. Д., Зицанс Я., Дзене А., Роя Ж.* Механические и барьерные свойства биodeградируемого полимерного нанокompозита на основе крахмала и монтмориллонита // *Материалы 28-й междунар. конф. Композиционные материалы в промышленности.* – Ялта, Крым. 26–28 мая 2008 г. – С. 453–455.
13. *Анискевич, А. Н., Калнрозе З. В.,* ‘Методика измерения двухосных деформаций при растяжении тонких пленок’, *Материалы, технологии инструменты*, Т. 13, № 1, 2008, с. 105-110.
14. *O. Starkova, Zhong Zhang, Hui Zhang.* Effect of temperature, moisture and strain rate on limits of linear viscoelastic behaviour of polyamide 66 filled with TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Proceedings of ECCM-13*, CD, June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden.
15. *Olesja Starkova, Zhong Zhang, Hui Zhang, Hyung-Woo Park.* Limits of the linear viscoelastic behaviour of polyamide 66 filled with TiO<sub>2</sub> nanoparticles: effect of strain rate, temperature, and moisture. Submitted to *Journal of Materials Science and Engineering A*, 2008.
16. *Kovalovs A. Barkanov E. Gluhih S.* 2008. Active twist performance for optimal design of helicopter rotor blade with D-spar. In: *Proceedings of the 4th international conference: Strength, Durability and Stability of Materials and Structures SDSMS'04*, 2008, 53-59.
17. *Kovalovs A., Barkanov E., Gluhih S.* 2008. Active twist of composite rotor blade *Mechanic of Composite Materials* (ir sagatavots publicēšanai).
18. *Kovalovs, E. Barkanov, S. Gluhih.* 2008. Application of Macro-fiber composite (MFC) as piezoelectric actuator. *Journal of Vibroengineering / Vibromechanika, Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University.* ISSN 1392-8716. Vilnius: *Vibromechanika.* (tik publicēts 2009 gadā janvārī).
19. *S. Gluhih, A. Kovalovs, E. Barkanov and A. Chate.* 2008. Elastic instabilities in polymer tube of resonant sound absorbers under hydrostatic pressure. *Journal of Vibroengineering / Vibromechanika, Lithuanian Academy of Sciences, Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University.* ISSN 1392-8716. Vilnius: *Vibromechanika.* (tik publicēts 2009 gadā janvārī).
20. *S. Gluhih, A. Kovalovs, E. Barkanov and A. Chate.* 2008. Elastic instabilities in elastomeric tube under hydrostatic pressure. *Mechanic of Composite Materials* (ir sagatavots publicēšanai).

## **B. Konferenču referātu publicētās tēzes**

1. *I. Elksnīte, N. Lilichenko, R. Maksimov, J. Zicans, M. Kalnins.* Sorption properties of biodegradable plasticized starch based nanocomposites. 17<sup>th</sup> International Baltic Conference “Materials Engineering 2008”, November 5-6, Kaunas, Lithuania, p. 35.
2. *Ivanova T., Lilichenko N., Maksimov R., Zicans J.* Starch based biodegradable nanocomposites: structure and properties // *European Materials Research Society. E-MRS 2008. FALL MEETING.* Warsaw, Poland. Sept. 15–19, 2008. Scientific Programme and Book of Abstracts. P. 150.
3. *I. Elksnīte, J. Biteniekš, V. Kalkis, J. Zicans.* Manufacturing and investigation of MWCNT/polymer nanocomposites. Book of Abstracts of the *E-MRS 2008 Fall Meeting*, Warsaw, September 15-19, 2008, Warsaw: 2008, 366 p.,-153 p.
4. *Gaidukov S., Maksimov R. D., Kalniņš M. M., Zicans J., and Plume E.* Some strength and deformation characteristics of nanocomposites based on distinctive polymers and clays // *Conf. Mech. Compos. Mater. MCM-2008.* – Riga, May 26–30, 2008. Book of Abstracts. – P. 88.
5. *Lilichenko N., Maksimov R. D., Zicans J., Tupureina V., and Plume E.* A biodegradable starch/clay nanocomposites: preparation, testing, and properties // *Conf. Mech. Compos. Mater. MCM-2008.* – Riga, May 26–30, 2008. – Book of Abstracts. – P. 168.
6. *Lilichenko N., Zicans J., Maksimov R., Kalnins M., Kalkis V.* Plasticized starch/clay nanocomposites. Stress-strain properties and structure // *Baltic Polymer Symposium 2008.* – Otepaa, Estonia. May 13–16, 2008. – Programme and Abstracts. – P. 30.
7. *Гайдуков С., Максимов Р. Д., Зицанс Я., Калнинь М., Плуме Э.* Нанокompозиты на основе различных полимеров и слоистых силикатов: изготовление, испытания, свойства // *Первая междунар. научн. конф. Наноструктурные материалы – 2008. НАНО-2008.* – Минск, Беларусь, 22-25 апреля 2008 г. – CD-версия. II. No. 147.

8. *Lilichenko N., Zicans J., Merijs Meri R., Maksimov R., Kalkis V.* Structure and stress-strain properties of plasticized starch/clay nanocomposites // Intern. Baltic Sea Region Conf. *Functional materials and nanotechnologies – 2008.* – Riga, April 1–4, 2008. – Book of Abstracts. – P. 141.
9. Glaskova, T., Tuch, A., Aniskevich, A., ‘Modeling of volume-dependent properties of disperse filled composite material considering inhomogeneous interphase’, Proc. of Baltic Polymer Symposium 2008, May 13-16, 2008, Otepaa, Estonia, p. 65.
10. S.Gaidukov, A.Cimmermane, J.Zicans, V.Kalkis, M.Kalnins. Preparation and properties on irradiation modified polypropylene/montmorillonite nanocomposites. Book of Abstracts of the International Baltic Sea Region conference „Functional materials and nanotechnologies, 2008, Riga: 2008, 139 p. – p. 92.
11. Starkova, O., Aniskevich, A., Kazina, E., ‘Tensile stress-strain behavior of filler-reinforced rubber under large deformation’, Proc. of Baltic Polymer Symposium 2008, May 13-16, 2008, Otepaa, Estonia, p. 74.
12. Starkova, O., Aniskevich, A., ‘Characterization of moisture sorption by structurally anisotropic FRP rebars’, Proc. of Baltic Polymer Symposium 2008, May 13-16, 2008, Otepaa, Estonia, p. 73.
13. Aniskevich, A. N., Sapozhnikov, S. B., Starkova, O. A., ‘Structure and mechanical behavior of a rubber filled with silica particles’, Book of Abstracts 15th International Conference Mechanics of Composite Materials, Riga, Latvia, May 26-30, 2008, p. 35.
14. Faitelson, E. A., Glaskova, T. I., Aniskevich, A. N., Korkhov, V. P., ‘Thermomechanical properties of an epoxy/clay nanocomposite in relation to filler and moisture content’, Book of Abstracts 15th International Conference Mechanics of Composite Materials, Riga, Latvia, May 26-30, 2008, p. 84.
15. Glaskova, T., Aniskevich, A., ‘Modeling of effective elastic properties of composite containing nanoparticles with an inhomogeneous interphase’, Proc. of 13th European Conference on Composite Materials, June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden, paper 1454, 8 p.
16. Glaskova, T., Aniskevich, A., ‘Modeling of effective elastic properties of composite containing nanoparticles with an inhomogeneous interphase’, Abstracts of 13th European Conference on Composite Materials, June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden, abstract 1454.
17. Aniskevich, A., ‘Tensile creep of polyimide film in dry and wet environment’, Abstracts of 13th European Conference on Composite Materials, June 2-5, 2008, Stockholm, Sweden, abstract 718.
18. Aniskevich, A., ‘Long- and short-term deformability of polyimide thin films in humid atmosphere’, Book of Abstracts of 8th International Conference on Durability Analysis on Composite Systems, July 16-18, 2008, Porto, Portugal, p. 73-74.
19. Starkova, O., Aniskevich, A., ‘Lateral contraction of filled rubber in large deformation uniaxial tests’, Book of Abstracts of 8th International Conference on Durability Analysis on Composite Systems, July 16-18, 2008, Porto, Portugal, p. 121-122.
20. Glaskova, T., Aniskevich, A., Guedes, R. M., Morais, J. J., ‘Application of moisture absorption theories for epoxy resin system’, Book of Abstracts of 8th International Conference on Durability Analysis on Composite Systems, July 16-18, 2008, Porto, Portugal, p. 119-120.
21. Morais, J. J., Guedes, R. M., Custodio, P. M., Aniskevich, A., ‘The effect of moisture and physical ageing on the tensile strength of a structural epoxy’, Book of Abstracts of 8th International Conference on Durability Analysis on Composite Systems, July 16-18, 2008, Porto, Portugal, p. 71-72.
22. Aniskevich K., Hristova J. Effect of long-term exposure to water on the relaxation properties of an epoxy based composite// Book of Abstracts of Conference “Mechanics of Composite Materials”. - Riga, 2008. - p.34.
23. Starkova Olesja, Zhang Zhong, Zhang Hui, „Effect of temperature, moisture and strain rate on limits of linear viscoelastic behaviour of polyamide 66 filled with TiO<sub>2</sub> nanoparticles”. ECCM13, Stockholm, Sweden, June 2-5, 2008.
24. Kovalovs A., Barkanov E., Gluhihs S. 2008. Modal analysis of composite plate. International Baltic Sea Region Conference „Functional materials and nanotechnologies”, FM&NT-2008, Riga, Latvia, April 1-4, 2008.
25. Kovalovs A., Barkanov E., Gluhih S. 2008. Active twist of composite rotor blade. XV International Conference on Mechanic of Composite Materials, MCM-2008, Riga, Latvia, May 26 – 30, 2008.
26. Gluhih S., Barkanov E., Chate A. 2008. Buckling behaviour of a polymer tube under hydrostatic pressure. XV International Conference on Mechanic of Composite Materials, MCM-2008, Riga, Latvia, May 26 – 30, 2008
27. Kovalovs, E. Barkanov, S. Gluhih. 2008. Application of Macro-fiber composite (MFC) as piezoelectric actuator. 7<sup>th</sup> International Conference VIBROENGINEERING 2008, Kaunas, Lithuania, October 9 – 11, 2008.
28. S. Gluhih, A. Kovalovs, E. Barkanov and A. Chate. 2008. Elastic instabilities in polymer tube of resonant sound absorbers under hydrostatic pressure. 7<sup>th</sup> International Conference VIBROENGINEERING 2008, Kaunas, Lithuania, October 9– 11, 2008.

29. M.Knite, S.Zike, R.Orlovs, V.Teteris, Low temperature electrical properties of conductive polyisoprene/high structured carbon black composites, Abstracts of 2<sup>nd</sup> international meeting on developments in Materials, processes & applications of nanotechnology, Cambridge, United Kingdom, 6-8 January 2008, p. 204
30. J.Zavickis, M.Knite, V.Teteris, In-situ investigation of electrical properties of polyisoprene-nanostructured carbon black composite during vulcanization, International Baltic Sea conference Functional materials and nanotechnologies (FM&NT-2008), April 1-4, 2008, Riga, Latvia, p.106
31. S.Zike, R.Orlovs, M.Knite, J.Zavickis, V.Teteris, Temperature dependent electrical properties of conductive polyisoprene/high structured carbon black composites, International Baltic Sea conference Functional materials and nanotechnologies (FM&NT-2008), April 1-4, 2008, Riga, Latvia, p.145
32. M. Knite, S. Zike, R.Orlovs, J. Zavickis, V. Teteris. Electrical properties of conductive polyisoprene/high structured carbon black composites in the temperature range 90 – 335 K, *Abstracts of the Conference of European Materials Research Society*, (EMRS 2008 Spring Meeting), May 26-30, 2008, Strasbourg, France, A13-11
33. S.Zike, V.Teteris, J.Barloti, R.Orlovs, M.Knite. Mechanisms of electrical conductivity on polyisoprene/nanostructured carbon composites, 3<sup>rd</sup> International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials (NanoSMat 2008), 21-24 October, 2008, Barcelona, Spain, p250-251

6. projekta vadītājs \_\_\_\_\_

(Jānis Zicāns, 28.11.2008.)

### **Programmas kopsavilkums**

Programmas 5. etapa uzdevumi ir izpildīti. To rezultāti ir atspoguļoti šajā atskaitē, 93 zinātniskos rakstos un 217 Latvijas un starptautisko konferenču referātos un tēzēs kā arī iesniegti 2 Latvijas patenti un apstiprināts 1 starptautisks patents, kas darbojas 31 valstī. 2008.gadā ir aizstāvēti 22 bakalauru un 13 maģistra darbi un iesniegti 5 promocijas darbi, kas saistīti ar programmas uzdevumu izpildi. Programmas ietvaros 2008.gada 1.-4. aprīlī organizēja arī starptautisko Baltijas jūras reģiona konferenci „Funkcionālie materiāli un nanotehnoloģijas” [*Baltic Sea Region conference Functional materials and nanotechnologies*], kurā piedalījās ap 200 dalībnieku no 18 valstīm.

Katra projekta galvenie rezultāti ir parādīti atbilstošos kopsavilkumos. Kā galvenos programmas rezultātus var minēt sekojošos:

Veiksmīgi izdarīti cietvielu virsmas lauku pētījumi, izmantojot augstas izšķiršanas atomspektroskopijas metodes, kuru rezultāti pielietojami jūtīgos magnetometros, kas ļauj detektēt magnētisko lauku nanometra apgabalos, kā arī adaptīvās optikas elementos.

Novērota amorfo halkogēnu kārtiņu un polimēra kārtiņu ar azobenzola atvasinājumiem virsmas modifikācija (telpiska reljefa veidošanās) lāzerstarojuma ietekmē hologrāfiskā ieraksta laikā un skaidroti šī efekta fizikālie cēloņi. Četru azobenzola atvasinājumu paraugos ir veikts hologrāfiskais ieraksts. Tālāk attīstot šo efektu un uzlabojot saistītās tehnoloģijas, tas varētu tikt izmantots praktiskās ierīcēs, piemēram, hologrāfisku difrakcijas režģu izgatavošanai.

Pētīti cinka un cirkonija oksīdi monokristālu un nanokristālu formā un parādīts, ka cirkonija nanokristāli var tikt izmantoti kā aktīvais materiāls skābekļa sensora izveidei. Par šo pētījumu saņemts starptautisks patents. Novērota ļoti ātra (sub) nanosekunžu luminiscence aktivētos cinka oksīda nanokristālos, kas var tikt tālāk attīstīta ātro scintilatoru izveidei rentgenstaru vizualizācijas sistēmās un starojuma skaitītājiem.

Sintezēti jauni litija metāl-fosfātu tipa super-jonu vadītāji- cietie elektrolīti gāzes sensoriem, kā arī kompozītmateriāli ar porainu struktūru, kuri ir perspektīvi ūdeņraža uzglabāšanai, adsorbējot gāzes molekulas uz to iekšējām virsmām.

Pirmo reizi noskaidrotas skābekļa norauto saišu spektrālās īpašības stiklveida SiO<sub>2</sub>

materiāla dziļajā ultravioletajā spektra rajonā, kas ļauj pārskatīt pašreiz pieņemtās atziņas par cēloņiem, kas izraisa stiklu caurlaidības samazināšanos ultravioletā lāzerstarojuma ietekmē (solarizāciju).

Izpētītas gāzu sastāva izmaiņas no SiO<sub>2</sub> stikla izgatavotās bezelektrodu lampās un parādīta OH grupu veidošanās, skābeklim stikla sienīnā mijiedarbojoties ar gāzu izlādes plazmu un ultravioleto starojumu. Hēliju, argonu un ūdeņradi saturošu bezelektrodu lampu starojuma spektrālo parametru un lampas iekšējo virsmu pētījumu rezultāti palīdzēs radīt labākus spektrālos starojuma avotus analītiskiem vai industriāliem pielietojumiem.

Teorētisko pētījumu rezultātā izstrādātie modeļi ļauj izprast nelīdzsvara procesus tādās svarīgās ierīcēs, kā Li- baterijas, degvielu šūnas, keramiskas membrānas.

Iegūtas jaunas atziņas par nanokristālisku volframātu lokālo struktūru un tās relaksāciju, ļaujot prognozēt plašāku to pielietojumu sensoros un elektrohromās ierīcēs.

Mainot caurspīdīgo ZnO pārklājumu termisko apstrādi, iegūti gan saules baterijām perspektīvi, sīkgraudaini pārklājumi, gan optoelektronikā un sensoru tehnikā lietojami pārklājumi ar adatveida struktūru.

Uzsākti DNS molekulu pildīšanas un izvadīšanas pētījumi anodizēta alumīnija oksīda nanoporās, izmantojot elektrisko lauku. Ir veikta DNS pildīšana nanoporainā adatā un demonstrēta DNS pārnese no viena mikropiliena uz otru (par to ir iesniegts patenta pieteikums). Iegūtie rezultāti paver tālākas iespējas optoelektronikas un mikroelektronikas ierīču miniaturizācijai.

Parādīts, ka polimēra kārtiņas ar DMABI molekulām, ja tā uzklāta uz stikla ar ITO pārklājumu, var izmantot informācijas ierakstam. To var veikt kārtiņu lokāli apstarojot ar intensīvu IS lāzera gaismu. Bez tam ir parādīts, ka veidojot struktūras ar dažādu DMABI atvasinājumu molekulu plānām kārtiņām, var panākt diodes rakstura elektriskās īpašības. Ir parādīts, ka diodes efekts izzūd struktūras apgaismojot un process ir atgriezenisks.

Iegūta plaša enerģijas spektrā fotojutīga organisko tilpuma heteropāreju sistēma, kuru veido gan ftalocianīna, gan fullerēna atvasinājumi, kura pēc sastāva un elektrodu optimizēšanas var tikt izmantota gaismas sensoru un organisko saules elementu izveidei, par ko iesniegts patenta pieteikums.

Izstrādātas kalcija fosfātu-HAP, TCP un bifāzu keramikas laboratorijas iegūšanas metodes ar iepriekš prognozējamu fāzu attiecību.

Izgatavoti implantīti ar īpašu orientētu poru struktūru bioaktivitātes paaugstināšanai.

Izstrādātā porainā keramika pārbaudīta *in vitro* un *in vivo* medikamentu infiltrācijai ar medikamentiem modificētu implantu izstrādei.

Izstrādāta divu metodiku diagnostiskais potenciāls ādas patoloģiju novērtējumam.

Pētot Ni/W elektroķīmisko pārklājumu fāžu sastāvu un struktūru atkarībā no elektroizgulsnēšanas režīma, noskaidrots, ka rentgenamorfās nanostrukturētas kārtiņas veidošanos nosaka elektrolīta pH. Savukārt nanostrukturētu kārtiņu termisko stabilitāti nosaka W koncentrācija pārklājumā. Optimālā W koncentrācija 45-50 masas% nodrošina kārtiņu nanostrukturētas saglabāšanos 300-400 °C augstā temperatūrā, kas nodrošina to lietojumu elektroniskās ierīcēs.

Nestehiometriskā sastāva litija ortosilikāta mehānisko un radiācijas īpašību pētījumos noskaidrots, ka, pilnveidojot nanodaļiņu sintēzes režīmu un keramizācijas tehnoloģiju, kā arī komponentu attiecību kompozītā, ir iespējams iegūt blanketa materiālu ar uzlabotiem parametriem lietojumam kodoltermiskās sintēzes iekārtā tritija atražošanai.

Magnētisko nanokoloīdu jomā sintezēti saliktie ferīti un panākta jūtama siltumplūsmas intensifikācija kanālā ar iegūtajām mangāna ferīta nanodaļiņām. Eksperimentāli novērota un interpretēta jauna parādība – koloīdu magnētiskā termoosmoze kapilārā porainā slānī, kā arī noskaidrota salikto ferītu nanodaļiņu lietošanas iespējas bioloģisko audu magnētiskās hipertemijas vajadzībām.

Eksperimentāli apstiprināts teorētiskais paredzējums par sintezēto feromagnētisko stīgu anomālo orientāciju anomālā magnētiskā laukā un parādīts, ka vērpto feromagnētisko stīgu hirālās simetrijas nobrukšanas parādība, kura izsauc to spontānu rotāciju. Parādīts, ka magnetotaktiskas bakterijas orientējas perpendikulāri mainīgam magnētiskam laukam. Izteikta hipotēze, ka dotā parādība varētu tikt izmantota baktēriju citoskeleta elastības noteikšanai.

Ar MOCVD tehnoloģiju iegūtas  $Al_x-Ga_{1-x}N$  plānās kārtiņas ar lielu Al koncentrāciju. Noteiktas to elektriskās un optiskās īpašības, kas rada labus priekšnosacījumus augstfrekvences liela kustīguma tranzistoru radīšanai.

Ir izstrādātas tehnoloģijas bioloģiski degradējamu dažāda sastāva modificētas cietes (MC)/nemodificētu slāņaino silikātu montmorillonīta tipa nanokompozītu iegūšanai kausējumā, kā arī no šķīdinātāja laboratorijas apstākļos. Projekta etapa ietvaros izstrādātās nanokompozītu iegūšanas un noteiktu izstrādājumu izgatavošanas tehnoloģijas ir balstītas uz Latvijas dabas resursu izmantošanu, kas lielā mērā nosaka arī to tautsaimniecisko nozīmi.

Konstatēts, ka pateicoties interkalētajai nanokompozītu struktūrai MC/SSM elastības modulis un stiepes spriegums palielinās vairākas reizes jau pie neliela nanopildvielas satura. Vienlaicīgi konstatēts, ka specifiskas, komplānāras struktūras veidošanās ietekmē būtiski palielinās arī pētāmo nanokompozītu barjeras īpašības.

Novērtējot radiācijas modificēta polipropilēna nanokompozītus noteikts, ka tie izmantojami kā termoplasti piemēram, elastīgi blīvslēgi u.tml., kuriem ekspluatācijas temperatūrās ir samazināti šļūdes efekti. Vienlaicīgi tie ir izturīgi un līdz ar to arī praktiski lietojami kontaktā ar dažādām agresīvām vidēm.

Paralēli pētniecības darbam liels darbs ir ticis ieguldīts būtiskai programmas eksperimentālās infrastruktūras uzlabošanai izmantojot projekta finansiālos līdzekļus un arī kombinējot tos ar struktūrfondu dotajām iespējām. Tas dod iespēju uzlabot pētījumu un studentu/doktorantu apmācības kvalitāti un iesaistīto laboratoriju eksperimentālās kapacitātes tuvināt līmenim, kāds nepieciešams veiksmīgai sadarbībai ar ražotājiem.

Uzskatām, ka darbs pie programmas izpildes ir sekmējies sadarbības saišu veidošanos gan starp atsevišķiem projektiem, gan starp zinātnieku grupām no dažādiem institūtiem un universitātēm.

Programmas vadītājs \_\_\_\_\_/A.Šternbergs/ 2008.g.1.decembrī