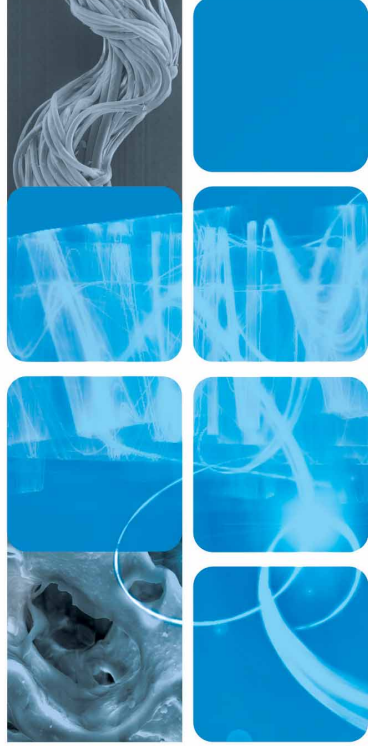




MEDŽIAGŲ MOKSLAS LIETUVOJE

Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacija

Medžiagų mokslas Lietuvoje



UDK 620.1(474.5)(091)
Me45

Ats. redaktorius Vytautas Grivickas

Leidiny s parengtas vykdam Europos socialinio fondo agentūros, Lietuvos Respublikos švietimo ir mokslo ministerijos bei Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacijos 2010 m. balandžio 1 d. pasirašytą projekto „Medžiagų mokslo skatinimas“, finansuojamo pagal 2007–2013 m. Žmogiškųjų išteklių plėtos veiksmų programos 3 prioriteto „Tyrejų gebėjimų stiprinimas“ igyvendinimo VP1-3.1-ŠMM-05-K priemonę „MTTP tematinų tinklų asociacijų veiklos stiprinimas“ finansavimo ir administravimo sutartį Nr. VP1-3.1-ŠMM-05-K-01-003.

© Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacija, 2011

ISBN 978-609-02-0155-8

■ TURINYS

PRATARMĖ	5
1. ISTORIJOS PUSLAPIAI (<i>Vytautas Grivickas</i>)	7
1.1. Vietoj įvado	7
1.2. Medžiagų mokslo disciplinos iškilimas JAV	9
1.3. Medžiagų mokslo tikslai	17
1.4. Medžiagų klasifikacija ir medžiagų mokslo vystymosi tendencijos	19
1.5. Tarptautinės organizacijos	23
1.6. Medžiagotyra Baltijos šalyse, LtMRS	26
2. MEDŽIAGŲ MOKSLAS KAUNE	31
2.1. Konstrukcinių medžiagų tyrimai (<i>Stasys Bočkus</i>)	31
2.2. Tekstiles medžiagų tyrimai Kauno technologijos universitete (<i>Rimvydas Milašius</i>)	38
2.3. Polimerų ir kompozitų tyrimai Lietuvos energetikos institute (<i>Rimantas Levinskas</i>)	46
2.4. Nuo FEI iki MMI (<i>Sigitas Tamulevičius</i>)	52
3. MEDŽIAGŲ MOKSLAS VILNIUJE	61
3.1. Pusašlaitininkų medžiagotyra Vilniaus universitete (<i>Juozas Vidmantis Vaitkus</i>)	61
3.2. Medžiagotyra Pusašlaitininkų fizikos institute (<i>Bonifacas Vengalis</i>)	71
3.3. Medžiagų chemija Vilniaus universitete (<i>Aivaras Kareiva</i>)	83
3.4. Medžiagų inžinerija ir suvirinimas Vilniaus Gedimino technikos universitete (<i>Algirdas Valiulis</i>)	90
3.5. Medžiagotyra Vilniaus universiteto Lazėrių tyrimų centre (<i>Gabija Bičkauskaitė, Mangirdas Malinauskas</i>)	97
3.6. Medžiagų tyrimai „Altechna“ įmonių grupėje (<i>Živilė Šimkutė</i>)	103

■ PRATARMĖ

Medžiagų mokslas (angl. *Materials Science*) yra susijęs su daugeliu taikomųjų mokslų šakų. Jungtinėse Amerikos Valstijose jis natūraliai išliko apie 1950–1960 metus kaip metalurgijos ir mineralogijos poreikius praplečiantis dalykas, kuris išsirutuliojo į apibrėžtą savarankišką discipliną, pradėjus taikyti naujausius fizikos, chemijos, inžinerijos, biologijos ir kitų sričių tyrinėjimo metodus. Ryšiai tarp atominės medžiagų sudėties, nanostruktūros ir mikrostruktūros bei galutinių norimų pasiekti gaminito savybių yra pagrindinė ir neišsėmiama medžiagų mokslo nagrinėjimo tema. Pastaraisiais dešimtmečiais medžiagų mokslas toliau skverbėsi į naujas taikymo sritis. Šis laikotarpis buvo susijęs su pramoninių technologijų proveržiais, inovacijų pagreičiu, besiplečiančiu tarptautiniu bendradarbiavimu bei išaugusia informacijos sklaida.

Pasauliniai procesai ir pirmieji Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacijos (LtMRS) žingsniai yra aprašyti pirmame knygos skyriuje. Antrajame ir trečiajame skyriuose siekiama parodyti, kaip iš šių dienų perspektyvos atrodo praėjusi ir vykstanti kai kurių Lietuvos medžiagų mokslo krypčių raida. Nepriklausomoje Lietuvoje dažnai trūko finansavimo, nebuvo šiuolaikinės eksperimentinės bazės, bet optimistinės nuotaikos neišblėso. Skyreliuose buvo siekiama išlaikyti proporciją tarp pasiekimų, kurie buvo padaryti universitetuose ir akademiniuose mokslo instituteuose (SSRS erdvėje pagal tų metų taisykles ir galimybes) ir vėlesnės veiklos nepriklausomoje Lietuvoje, kai moksliniai tyrimai pradėjo kardinaliai keistis. Pirmaisiais nepriklausomybės metais valstybės parama, deja, buvo minimali, tarptautinio bendradarbiavimo ir ES paramos projektai tapo pagrindiniais ramsčiais vėlesniais metais. Tekstai atspindi individualų rašančio autoriaus požiūrį, yra glaudžiai susiję su kiekvieno autoriaus darbu, su jį supusiais mokytojais ir mokiniais, atspindi asmeninius autoriaus pergyvenimus ir apmąstymus apie aprašomą medžiagų mokslo šaką.

Aprašytos sritys neapima *visų* imanomų medžiagų mokslo ar medžiagotyrų krypčių Lietuvoje. Dėl įvairių priežasčių, deja, nepavyko parašyti apie metalų dangų ir lydinių tyrimus, kurie buvo išvystyti vadovaujant ilgamečio Lietuvos mokslų akademijos prezidento Juozo Matulio ir jo mokinių buvusiam Chemijos institute, taip pat apie feroelektrikų tyrimus Vilniaus universitete

išvystytus prof. Jono Grigo grupėje. Knygoje nėra medicinos ir genetikos medžiagų tyrimų ir gamybos aprašo bei panašių kryptių, nes jos nesiejamos su Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacijos veikla. Minimalios nuorodos yra teikiamos enciklopedinius leidinius ir į mokslinius bei publicistinius straipsnius.

Ats. redaktorius Vytautas Grivickas

I ■ ISTORIJS PUSLAPIAI

Vytautas Grivickas

1.1. Vietoj įvado

Nuo senų laikų Kembridžo universitete studentų bakalauro baigiamasis egzaminas, nepriklausomai nuo diplominio darbo temos, buvo vadinamas trumpiniu *trijos*. Nedaugelis studentų žino šio žodžio kilmę – jis yra kilęs iš lotynų kalbos ir iš tikrųjų reiškia trikojė kėdė – *tripoida*. Ant tokios trikojės kėdės senaisiais laikais, kai visi studentų egzaminai vykdavo žodinės apklausos būdu, atsisėdavo vienas iš egzaminu dalyvių – dažniausiai egzaminuotojas. Taigi *trijos* terminą reikėtų pritaikyti ir medžiagų mokslui, kaip neseniai užgimusiai mokslo disciplinai, kuri 20 ir 21 amžių sankirtoje dažnai egzaminuojama ant kertinių gamtos mokslų krypčių trikojo – *trijos*. Tačiau ir pati gamtos mokslų sąvoka, kaip susiformavęs fizikos, chemijos ir biologijos darinys, atsirado visai neseniai – tik apie 1848 metus. Iš gamtos mokslų ilgainiui išsirutuliojo metalurgija – maždaug 1932-aisiais metais. Ir vėliau, tarp 1950–1975 metų, metalurgija su kai kuriomis kitomis mokslo šakomis ir disciplinomis, palaipsniui buvo integruota į naują medžiagų mokslo dalyko sampratą.

Senovėje, egzaminuojant studentą, nebūdavo nei labai susinervinusio pre-tento, nei tikrai žiauraus egzaminuotojo, sėdinčio ant minėtojo tripoido; kartais ant trikojės kėdės atsisėdavo ir egzaminuotojo pagalbininkas, kuris viduramžiais būdavo pašiepiamai vadinamas *išsisukinėtoju*. Nuo 14 amžiaus, o gal ir dar anksčiau, toks žmogus turėdavo teisę dalyvauti egzamine ir galėdavo, jei prireikdavo, šiek tiek paremti egzaminuojamąjį studentą, sušvelninti egzaminavimo procesą. Kai reikalai imdavo komplikotis, išsisukinėtojas galėjo papasakoti vieną kitą juokelį ar anekdotą, o paskui vėl pakviesdavo egzaminatorių tėti egzaminavimo procesą. Keista, bet iš vidurinių amžių užsilikusios egzaminavimo sistemos dalies kai kurie principai vienaip ar kitaip iki šių laikų pasireiškia Švedijos aukštosiose mokyklose, dažniausiai ginant filosofijos dak-

taro (PhD) laipsnį. Štai vienas atsitikimas, įvykęs per PhD disertacijos gynimą Karališkojo technologijos instituto (šved. Kungliga Techniska Högskolan) Mikrobangų skyriuje apie 1978 metus. PhD laipsnio gynimo diskusijose pagal tuo metu galiojusias oficialias taisykles dalyvaudavo net trys oponentai: du iš jų rimtai klausinėdavo pretendentą ir su juo diskutuodavo, o trečiasis būdavo kaip ir perteklinis. Minėtojo gynimo metu trečiasis oponentas dažnai išeidavo iš salės, kur vyko diskusija, o paskui vėl sugrįždavo. Pretendentas disertacijoje buvo aprašęs savo paties sukurta mikrobanginį prietaisėlį ir jo veikimo principą bei nuolat jį vadino miniatiūriniu – pirmuoju tokio tipo miniatiūriniu mikrobanginiu prietaisu. Prietaiso mažumą jis pademonstravo auditorijai nuotraukoje, kurioje prietaisas buvo nufotografuotas šalia maždaug dešimt kartų didesnio pieštuko. Trečiasis oponentas (išsisukinėtojas) visiems netikėtai į egzaminavimo salę įnešė suaugusio žmogaus dydžio pieštuką, girdi, pažiūrėkite, kokio dydžio pieštuką radau pastatytą pretendento laboratorijos kampe. Po šio kokybio egzaminavimo klausytojai ir oponentai, linksmam nusijuokę, nesivaržydami toliau tęsė mokslinę diskusiją su pretendentu. Po pusvalandžio jam buvo pripažintas sėkmingai apgintas PhD laipsnis.

Taigi *tripos* ir ant jo sėdintis išsisukinėtojas galėdavo ir palaikyti tam tikrą proporcijos jausmą, padėti studentui. Ankstesniaisiais šimtmečiais studentai studijavo tokias disciplinas kaip klasika, filosofija, matematika ir tik ilgainiui tokias, kaip gamtos mokslai. Turbūt kiekvienas nujaučiame, kad, norint gerai jaustis egzaminavimo metu, reikia ne tiek žinoti, kiek nuovokumo ir dar humoro jausmo – trijų būtinų gero gyvenimo sąlygų. Pagal šią analogiją, Robertas Chanas – žymusis medžiagų mokslo istorikas, ilgametis Amerikos Medžiagų tyrimo draugijos prezidentas, teigia, kad trys medžiagų mokslo, kaip naujos disciplinos, iškilimo prielaidos 20 amžiuje taip pat sudarė tripoidą. Tos prielaidos tai buvo įsisąmoninti suvokimai: 1) apie atomus ir jų tvarkingas struktūras – kristalus, 2) apie medžiagų būsenos fazinės pusiausvyras ir 3) apie medžiagos mikrostruktūros ypatybes bei jų reikšmę elektrinėms, mechaninėms ir kt. savybėms. Šios trys susiformavusios mokslinio žinojimo sistemos buvo tie kritiniai pirmtakai, kurie suformavo šiuolaikinį supratimą apie medžiagas ir apie tai, kaip jų savybės galima kontroliuoti, valdyti, pakeisti. Skaitytajams, norintiems daugiau sužinoti, kaip konkrečiai keitėsi žinojimo ir suvokimo formos su kiekvienu nauju mokslo atradimu dvidešimtame amžiuje, siūlome pašalinti R.W. Chano knygą „The Comming of Materials Science“ [1].

1.2. Medžiagų mokslo disciplinos iškilimas JAV

Šiuolaikinė medžiagų mokslo, kaip naujos disciplinos, samprata užgimė dvidešimtojo amžiaus antroje pusėje, maždaug tarp 1950 ir 1973 metų, ir šis procesas vyko labiausiai pažengusioje gamtos moksluose šalyje – JAV. Veiklos pabaiga sutapo su naujos tarpdalykinės sąvokos poreikiu, tuomet buvo įkurta pirmoji pasaulyje profesinė Medžiagų tyrinėtojų bendrija MRS (*Materials Research Society*). Tačiau vykstantys pokyčiai pasižymėjo sudėtinga ir dažnai daug abejonių keliančia paieškos raida. Jai apibūdinti tiktų frazė, kurią kažkada ištarė biofizikos pradininkas išžymisus Aeronas Katchalsky, kai pabandė nusakyti naują savo veiklos sritį. Tada jis pasakė: „Biofizika yra kaip mano žmona. Aš ją pažįstu, bet, deja, negaliu aiškiai apibrėžti.“ Panašiai atsitiko ir su medžiagų mokslų disciplina per daugiau kaip du dešimtmečius trukusį jos kūrimosi laikotarpį. Dabar jau sunku atsekti, kas buvo tas pirmasis mokslininkas pavartojęs naujai sukurta disciplinos pavadinimą – „*Materials science and engineering* (MSE)“. Robertas Chanas teigia, kad apie 1956 metus bent keli akademinių studijų vyresnieji mokslininkai jau vartojo šį pavadinimą pristatydami savo mokslinės veiklos sritį [1]. Tačiau jau vos po kelerių metų bendroji naujos disciplinos sąvokos reikšmė paskatino esminius Amerikos universitetų pokyčius: pradėjo keistis metalurgijos ir inžinerijos bakaluro ir magistro studijų programos, buvo pradėta radikaliai reorganizuoti naujai kuriamas mokslinių tyrimų kryptis. Reikia pažymėti, kad naujoji mokslo disciplina sulaukė ir kai kurių metalurgijos, kasybos, keramikos ir fundamentalųjų sričių – fizikos ir chemijos mokslininkų skeptiško požiūrio, tačiau vis labiau buvo suvokiama, kad pertvarka yra neišvengiama. Medžiagų mokslas pradėjo sparčiai plisti JAV universitetuose ir padėjo keisti požiūrį į universitetinį mokslą kaip naujų pramonės šakų šaltinį.

Šiaurės vakarų universitetas (*Northwestern University, IL*) netoli Čikagos, matyt, buvo pirmasis universitetas, kuris 1958 m. po ilgų diskusijų fakulteto departamentui pritaikė MSE pavadinimą, kaip savo vardo dalį [1]. Prieš tai nuo 1954 m. jis buvo vadinamas tiesiog Metalurgijos departamentu. JAV prezidento patariamasis mokslo ir priežiūros komitetas tais pačiais 1958 metais paminėjo dar kelių universitetų siekį sukurti naują medžiagų ir inžinerijos mokslą bei pažymėjo, kad jiems reikia skirti JAV vyriausybės pagalbą. Tačiau daug kitų fakultetų tiek JAV, tiek kitose anglakalbėse šalyse, atsargiai žiūrėjo į naujos disciplinos naudojimą ir šios disciplinos sąvoką. Kai kuriems autoritetams atrodė, kad toks pavadinimas gali būti nepatrauklus studentams, todėl gali mažėti stojančiųjų. Garsūs pasaulyje Anglijos Kembridžo ir Oksfordo universitetai savo medžiagotyros fakultetus įsteigė tik septinto dešimtmečio pabaigoje. Smulkmeniškai saugodami savo reputaciją ypač priekabūs buvo Oksfordo

administratoriai, kurie kolektyviai kilstelėdavo antakius, jei daugiskaitos forma *Materials* dalyko pavadinime būdavo vartojamas kaip būdvardinis žodis. Gal todėl Oksfordo universitetas galų gale pakeitė savo fakulteto pavadinimą į *Department of Materials*. Vėliau keli kiti Anglijos ir kitų anglakalbių šalių universitetai vadovavosi būtent šiuo pavadinimo deriniu.

Atidžiau žiūrint, esminiai pokyčiai iš tikrųjų įvyko svarbiausiose Amerikos institucijose jau šeštojo dešimtmečio pradžioje. Garsiajame Masačusetso technologijos institute (*Massachusetts Institute of Technology* MIT) Bostone, išžymisusis keramikas Davidas Kingery (1927–2000), turintis chemiko išsilavinimą, tuoj po Antrojo pasaulinio karo Metalurgijos fakultete reformavo keramikų studijų magistrantūros programą ir pirmą kartą padarė ją iš tikrųjų tarpdalykinę. Studentai buvo mokomi tokių tiems laikams labai nesuderinamų dalykų kaip kolidų mokslas, spektroskopija, termodinamika, paviršių chemija, rentgeno difrakcija, dielektrinės ir feroelektrinės medžiagos bei kvantinė fizika. Po ilgų diskusijų MIT 1967 metais pakeitė fakulteto pavadinimą į Metalurgijos ir medžiagų mokslo, t. y. 9-riais metais vėliau nei Šiaurės vakarų universitetas. Kartu praplėtė ir visų kitų mokymo programų tvarkaraščius. Po tam tikrų sarkastiškų debatų 1974 metais MIT fakultetas dar kartą keitė pavadinimą ir galiausiai pasivadino Amerikoje įprastu MSE vardu. Vėlesnė keramiko D. Kingery veikla turėjo lemiamą įtaką tolesnei keramikos mokslo evoliucijai – ji tapo glaudžiai suaugusia medžiagų mokslo susedamąja šaka. Šis žmogus taip pat suformulavo šiuolaikinį supratimą apie chemiškai modifikuojamas grūdėtosios struktūros sandūras, kurios nulemia elektronines keraminių medžiagų savybes.

Kiti tarpdalykinio mokslo židiniai buvo visame pasaulyje gerai žinomos mokslinės-industrinės JAV laboratorijos *Bell Telephone Laboratories* (BTL) ir General Electric's (GE) Corporate Laboratory. Jose fizikai, chemikai, metalurgai ir kitų disciplinų specialistai jau dešimtmetį prieš 1956 m. glaudžiai bendradarbiavo, kurdami naujas technologijas. Ypač pasižymėjo puslaidininkių tranzistorių išradėjo ir Nobelio premijos laureato Williamso Shockley mokslo grupė. Kompleksinėmis metalurgų, fizikų ir chemikų pastangomis buvo sukurta švarių puslaidininkių – germanio ir silicio zoninio lydymo technologija, kuri leido pradėti masinę pramoninę diodų ir tranzistorių gamybą. Buvo išplėta metalinių superlaidininkų gamyba, paspartintas sintetinių audinių, tokių kaip nailonas, atėjimas į masinę rinką.

GE Corporate Laboratory suvaidino specifinį istorinį vaidmenį, turėjusį įtakos Amerikos pramonės mokslui. Šioje institucijoje nuo pat jos įkūrimo dirbo daug žymių žmonių. Tuoj po karo, 1946 metais, jaunas 26 metų metalurgijos specialistas Herbertas Hollomonas (1919–1985) pradėjo savo karjerą GE, siekdamas suburti naujos pakraipos mokslinę metalurgų grupę. Jis viešai ir garsiai reklamuodavo patrauklias, bet tuo metu buvusias nelabai suvokiamas metalų lydinų savybes – atsaką į mechaninį ir terminį poveikį. Į savo mokslinę grupę

jis buvo pasirengęs kviesti tik labai talentingus mokslininkus, tikėjosi kurti ir sintetinti naujas medžiagas, kurios atvertų naujų technologinių galimybių ir išreikštų jo paties propaguojamą naująjį požiūrį, kad bet kurios aparatinės nauda medžiagos savybės nulemia labiau, nei konstrukcijos tobulumas. Daugelis buvusių bendradarbių patvirtina, kad Hollomonas buvo visais atžvilgiais neeilinė asmenybė. Akiplėšikai smarkaus būdo, labai pasikliaujantis savimi, sklindinas entuziazmo, nuolatos kalbantis apie naujus projektus ir idėjas bei apie specialistų tarpdalykinį bendradarbiavimą, jis, galima sakyti, tiesiog atakuodavo kiekvieną iškylančią mokslo problemą. Jam yra priskiriama kažkada ištarta frazė: „Kas yra ta problema? 90 % problemos esmės sudaro jos pačios suvokimas“. („*What is the problem? With 90% of the problem is in understanding the problem*“) [2].

Tačiau su tokiu vadybininku kaip Hollomonas dirbti būdavo sunku. Jis retai kada mandagiai išklausedavo kitų asmenų teikiamus pasiūlymus, retai pritarė davo kitų bendradarbių išsakomoms idėjoms. Beveik visuomet tai pareiškėdavo labai garsiai ir aistringai, o vėliau, jei prireikdavo, kardinaliai pakeisdavo savo nuomonę. Artimi bendradarbiai kartais būdavo labai laukiami jo darbo kabinete, o kartais tiesiog išsiunčiami šunims šeko pjauti. Kai kurie jų tokį vadovo nuotaikų pasikeitimą patirdavo po keletą kartų iš eilės. Hollomonas triukšmingai ir užsispyręs gindavo pasirinktą idėją ar modelį, bet, jeigu hipotezė tapdavo pažeidžiama akivaizdžių įrodymų, patvirtinančių kitokią reiškinio prigimtį, jis nė kiek nesuvaržydamas, greitai ir diametraliai pakeisdavo savo poziciją, o po to ją gindavo toliau taip pat aistringai kaip ir anksčiau. Hollomono charakterio savybės ir milžiniška energija bei apsisprendimas priimti į grupę tik pačius geriausius mokslininkus leido per 15 metų pastiekti nemažą inovacijų įvairošę medžiagų mokslo srityse. Jo vadovaujamoje grupėje buvo sukurta dirbtinio deimanto gamybos technologija (lygiagrečiai tyrimai vyko ir Sovietų Sąjungoje, bet buvo įslaptinti), pagaminta geros kokybės termoizoliacinių medžiagų, automatinis vakuuminis grandinės pertraukiklis, keletas produktų buvo gauta išdinant dalelių pėdsakus apšvitintose medžiagose, sukurti anglies polikarbonatų prisotinti kietieji plastikai ir išrasta ypač pagarsėjusi peršviečiamų metalo garų lempų aliuminio oksido danga „Lucalox“. Taigi šioje aplinkoje buvo brandinamos mintys išsiskirti ir save vadinti medžiagų mokslininkais. Po Hallomono mirties išplatintame GE nekrologe, Charlesas Beanas, įvertindamas jo indėlį, parašė tokį komentarą: „Vieną kartą atėjęs į mūsų instituciją, jis greitai subūrė tarpdalykinę komandą, kuri metalurgiją transformavo iš empirinio meno šakos į mokslą, paremtą daug griežtesniais fizikos ir chemijos mokslų principais“. Apie 1958 metus parašytoje esė Hollomonas teigė: „Mums reikia profesinės bendruomenės, kuri suvoktų šį naują vienijimąsi ir organizuotų bei skatintų bendras pastangas visų, kurie praktiškai dirba medžiagų mokslo ir inžinerijos srityse. Mums galbūt net reikia Amerikos medžiagotytros organi-

zacijos su atskirais mokslo ir inžinerijos padaliniais. Taigi iš metalurgijos per fiziką turį ateiti medžiagų mokslas“.

Vėlesniu savo gyvenimo laikotarpiu Hollomonas tapo GE mokslinio centro pagrindinės inžinerijos laboratorijos administracinio direktoriumi, o dar po septynerių metų užėmė politinį postą Vašingtone – tapo prezidento J. F. Kene-džio mokslo ir technologijų komercijos patarėju. Ten jis pasižymėjo padėdamas sukurti veiksmingą technologijų patentų sistemos skatinimo komisiją. Atsilie-pimai apie vėlesnį Hollomono veiklos laikotarpį, deja, yra gana santūrus. Tapęs politiku, jis mėgdavo supriešinti pašalinius stebėtojus ar savo šalininkus į aršių ir atsidavusių, bet įvairiais būdais supančiotų oponentų grupes. Sakydamas kalbas vartodavo skambius ir politiškai angažuotus posakius: „Taip, mes jau sukauptume mokslo žinių tiek, kiek mums reikia. Dabar pats laikas eiti ir jas tinkamai panaudoti.“

1974 metais, kai medžiagų mokslas jau praktiškai įsitvirtino kaip naujoji disciplina, buvo paskelbta COSMAT studijos ataskaita apie medžiagų mokslo srities paplitimą JAV universitetuose [3]. Buvo apskaičiuota, kad susikūrė ir vykdoma apie 90 medžiagų mokslui skirtų bakalauro (*undergraduate*) laipsnio programų, iš jų apie 60 yra akredituotos, o apie 50 Amerikos institucijų teikia įvairiai vadinamus medžiagotyros inžinerijos aukštojo mokslo laipsnius. Dau-guma metalurgijos fakultetų jau buvo pakeitę savo pavadinimus į medžiagų mokslo ir inžinerijos. Keletas iš R. W. Chano knygos [1] paimtų duomenų apie fakultetų pavadinimų pakeitimus Amerikoje yra pateikta 1.2.1 lentelėje.

1.2.1 lentelė. Su medžiagų mokslų susijusių fakultetų (departamentų) pavadinimų kaita JAV nuo 1964 iki 1985 metų

Fakulteto vardas	Fakultetų skaičius skirtingais metais		
	1964	1970	1985
Mineralai ir kasyba	9	7	5
Metalurgija	31	21	17
Medžiagos	11	29	51
Kiti (panašūs)	18	21	17
Iš viso	69	78	90

JAV medžiagų mokslo laboratorijos. Reikėtų pabrėžti, kad visi įvykiai, susiję su medžiagų mokslo dalyko gimimu vyko tuo specifiniu šalčio karo laikotarpiu, kai Amerikoje buvo staigiai susirūpinta nepakankama mokslo ir technologijų plėtra. Ši susirūpinimą sukėlė pirmojo SSRS žemės palydovo *Sputnik'o* paleidimas 1957 metų spalio mėnesį. Po šio įvykio Amerikos tiek plačioji, tiek ir mokslo visuomenė ir ypač valdantieji Vašingtono politiniai

lobistai labai skaudžiai ir staigiai susivokė, kad jų šalis akivaizdžiai pradeda atsilikti nuo šaltojo karo priešininko kosmoso erdvės, taip pat, matyt, ir kitose su karine pramone susijusiose srityse. Atsitiktinai ar ne, bet ši žinia prilygo šoko būsenai ir yra aprašyta įvairiuose publicistiniuose šaltiniuose. Tuo metu Amerikoje gyvenęs lietuvių kilmės mokslininkas Kazys Almenas pasakoja, kad branduolinės fizikos specialistu tapo būtent dėl paleisto palydovo, nes pasak jo „...kai išleido tą sputniką, aš buvau bebaigiantis inžineriją...“, ir staiga padidėjo investicijos į mokslo tyrimus taip staigiai, kad jau ne man reikėjo ieškoti darbdavio, bet darbdaviai ieškojo manęs“. Fizikas priduria, kad „sovietai su savo Sputnik amerikiečiams tiesiog įspyrė į užpakalį. Sputnikas iš tikrųjų buvo ne ką didesnis už geršinio kamuolį, pirmasis kosminis aparatas, nušveistas iki blizgesio, kad geriau atspindėtų saulės spindulius ir neperkaistų, svėręs kiek daugiau negu 80 kilogramų, pagamintas per tris mėnesius. Tikrasis sovietų pranašumas slėpėjo raketinės technikos srityje. Po palydovo kelionės į orbitą, sekė šunų, o vėliau ir žmonių skrydžiai į kosmosą. Sputniko kūrėjas Sergėjus Koroliovas vakare pranešė apie sėkmę tuometiniam sovietų komunistų partijai lyderiui. Šalia Nikitos Chruščiovo tuomet buvęs jo sūnus pasakoja, kad tėvas, išklausęs palydovo pytelėjimą per radio imtuvą, nuėjo miegoti: jis deramai neįvertino šio įvykio, laikė vienu iš eilinių sovietų technikos pasiekimų. Kitą dieną svarbiausias laikraštis „Pravda“ patalpino menką žinutę. Tik po poros dienų jame pasirodė didžiuliai straipsniai apie Žemės palydovo skrydį – jau užsieniui prakalbus apie naujosios kosminės eros pradžią. Sergėjui Koroliovui tai buvo ir triumfas, ir kartėlis – jo pavardė ilgai niekur nebuvo minima. N. Chruščiovas neleido siūlyti S. Korolovo kandidatūros Nobelio premijų komitetui, pareiškęs, kad tai visų sovietų žmonių pasiekimas [4].

Yra gerai žinoma, kad siekdamą įveikti atsilikimą ir įgauti pranašumų prieš SSRS, nuo 1957 m. federalinė JAV valdžia ėmėsi didelių organizacinių veiksmų ir biudžeto perskirstymo. Taip pat buvo siekiama skatinti ir medžiagų mokslo ir inžinerijos krypties plėtrą, skirti tam tinkamą paramą. Buvo prisimintas ilgai puoselėtas medžiagų srityje dirbusių mokslininkų F. Seitzo, R. Sproullo bei Atominės energijos komisijos nario J. von Neumanno projektas, kuriuo buvo siūlyta įkurti dideles ir labai gerai aprūpintas federalines tyrimų laboratorijas. Projektui, kuris anksčiau patirdavo, galima sakyti, siurrealistinių sunkumų įveiktai senatorių pasipriešinimą, galiausiai buvo uždegta žalia šviesa. Nors administraciniai požiūriai įvairiose valstijose, atominės energijos komisijoje ir federalinėje valdžioje skyrėsi, iš viso iki 1967 metų skirtingose Amerikos valstijose pavyko įsteigti 17 tarpdalykinių laboratorijų – faktiškai labai didelių praktinės pakraipos institutų (iš jų 7 vėliau dėl įvairių priežasčių buvo uždaryti). Po kelių metų laboratorijos buvo pervadintos į medžiagų tyrimų laboratorijas (*Materials Research Laboratories*). Svarbi laboratorijų funkcija buvo skatinti glaudų bendradarbiavimą tarp skirtingų universitetų padalinių, buvo pastatyti

nauji centrai, įrengtos eksperimentinės laboratorijos, kuriose buvo kuriamos inovacijos. Įvairios universitetinės mokslinės grupės ar smulkios mokslinės firmos galėdavo nuomoti patalpas savo biurams ir laboratorinei įrangai, kartu mokslininkai galėjo, išlaikydami dalį savo etato, toliau dėstyti universitetuose. Laboratorijos ypač suklestėjo po 1972 metų, kai atsakomybės ir priežiūros ėmėsi Nacionalinis mokslo fondas (angl. *National Science Foundation* – NSF). Rezultatai buvo puikūs. Šiose pavyzdinėse mokslo institucijose dvidešimtojo amžiaus paskutiniiais dešimtmečiais atradimų padarė dešimtys būsimų Nobelio premijos laureatų. Perimdama laboratorijų administravimą 1972 metais NSF atliko analizę ir nustatė, kad jose dirbo apie 35 % fizikų, 25 % chemikų, 19 % metalurgų ar specialistų iš MSE fakultetų, 16 % įvairių inžinerijos, daugiausia elektros inžinerijos, disciplinų ir 5 % kitų sričių, tokių kaip matematikos ar gamtos mokslų mokslo specialistų. Didelis fizikų procentas rodo, kad kaip tik jie ėmėsi iniciatyvos tiesiogiai dalyvauti medžiagų mokslo tyrimuose. Toks fizikų indėlis iš esmės skyrėsi nuo ankstesnių dvidešimtojo amžiaus pasaulyje. Iki 1910 metų fizikų įnašas į medžiagų mokslo kaupimo žinias visame pasaulyje buvo beveik nepastebimas [5]. Visi medžiagotyros atradimai ir kaupiamosios žinios tiek JAV, tiek Europoje buvo kuriami chemijos ir metalurgijos, bet ne fizikos srityje [1]. Kita būdinga medžiagų mokslo savybė ta, kad medžiagų mokslas pradėjo integruotis su dar keliomis kitomis mokslo šakomis ir sritimis. Tuo, beje, ji, kaip ir geologija, skiriasi nuo tradicinių (fizikos, organinės ir neorganinės chemijos mokslų), kurie išsidiferencijavo iš mokslo priešaušrio empirinės pramotės – eksperimentinės filosofijos. Šiuo metu medžiagų mokslui priskiriama ne tik fizikinė metalurgija ir mineralogija, bet ir kietojo kūno inžinerija bei technologija, keramikos, polimerų ir koloidų mokslų dalykai. Šalia medžiagų mokslo yra ir ateityje dar, matyt, atsiras daugiau įvairių vadinamųjų paresisteminių atšakų. Tarp jų pripažintomis atšakomis galime laikyti kristalografiją (stereologiją), rentgenografiją ir mikroskopiją, fazinių virsmų bei defektų dinamikos teoriją, įskaitant termocheminį šių procesų kompiuterinį modeliavimą. Kitos artimos taikomosios sritys yra didelio slėgio mokslas, superplastiškumo, superlaidumo medžiagų mokslas, pakaitinių biomedžiagų kurimas ir tyrimas. Gali būti, kad artimiausioje ateityje naujosios paresisteminės atšakos bus linkusios iškilti, o po to integruosis į medžiagų mokslą, ypač naudojant ir plečiant nanotechnologijas.

Medžiagų mokslo raida kitose šalyse. Visi pagrindiniai su medžiagų mokslo gimimu susiję reiškiniai įvyko Jungtinių Amerikos Valstijų universitetuose. Europoje ir kitose pasaulio šalyse šio mokslo padėtis, deja, buvo geresnė nei konservatyvesnė. Nors buvo daug kur garsių mokslo universitetų, kuriuose dirbo nemaža žymių mokslininkų, medžiagų mokslo, kaip atskiros disciplinos samprata kristalizavosi daug vėliau nei JAV. Britanijoje medžiagų mokslo pradininku galima būtų laikyti prof. D. Hansoną (1892–1953), kuris transfor-

mavo senąjį kokybinį metalurgijos mokymo stilių Birmingamo universitete ir organizavo daug tikslesnį ir kokybišką metalurgijos disciplinos mokymą. Pirmauoju medžiagų technologijos mokslo profesoriumi Britanijoje tapo R. Cahnas, kuris 1962 metais užėmė naujai įsteigtą vietą Šiaurės Velso universiteto koledže, vėliau jis tapo Sasekso universiteto medžiagų mokslo profesoriumi. Tiek R. Cahnas, tiek kitas iš Britanijos kilęs metalurgas – C. S. Smithas (1903–1992), emigravęs į JAV dar būdamas jaunas, vėliau vaisingai darbavosi JAV ir buvo aktyvūs medžiagų mokslo draugijos pradininkai. Smithas 1943 m. dalyvavo garsiojo R. Openheimerio atominės bombos kūrimo programoje, vėliau su H. Hollomonu 1953 m. įkūrė žurnalą *Acta Metallurgica*, kuris ilgą laiką buvo begimstančio medžiagų mokslo vedliu. Senatvėje sugrižęs į savo gimtąjį MIT, Smithas surinko daug literatūros ir paskelbė keletą metalurgijos istorijos knygų.

Galima būtų išvardyti dar daug kitų žymių mokslininkų, kurie vienaip ar kitaip prisidėjo prie medžiagų mokslo įsitvirtinimo savo šalyse. Čia paminėsime tik keletą. Japonijoje tokiu buvo profesorius Kotaro Honda (1870–1954), magnetinių reiškinių tyrėjas, kuris stažavosi jaunystėje pas Gustavą Tammaną Vokietijoje ir vėliau įkūrė Japonijoje Geležies ir plieno institutą. 1987 metais šis institutas, pripažintas kaip Japonijos medžiagų mokslo lyderis, buvo pervadintas į Medžiagų tyrėjų institutą. Nuo 2001 metų Tsukuboje buvo įkurtas naujas Japonijos specializuotas ir ateities medžiagotyros kryptimis dirbantis Nacionalinis medžiagų mokslo institutas – NIMS. Jo ataskaitose apžvelgiama įvairiose šalyse vykdoma medžiagų mokslo kryptčių politika ir naujausi laimėjimai. Pagrindinė šiuolaikine kryptimi tapo nanomedžiagų paieškos, jų apibūdinimas ir taikymo sričių paieška, pareikalavusi kooperuotis su viso pasaulio medžiagotybininkais [6].

Australijai daugiausia nusipelnė Walteris Boasas (1904–1982), žydų kilmės vokiečių fizikas ir metalurgas, dirbęs su prof. R. Beckeriu Göttingene. Jis emigravo į Australiją 1938 metais, po to, kai naciams atėjus į valdžią, žydų kilmės mokslininkai tapo nepageidaujami. Jo vardas yra susijęs su mokslu apie mechaninę trintį – tribologiją bei kietojo kūno fizikos mokslų sukūrimu ir plėtra Melburno universitete, jis taip pat buvo aktyvus žurnalo *Acta Metallurgica* bendradarbis. Jorge Sabato (1924–1983) – metalurgas, bendravęs su JAV metalurgais, buvo medžiagų mokslo skleidėjas ir platintojas Argentinoje. Viktoras Moritzas Goldschmidas (1988–1947), gimęs Sveicarijoje, bet ilgai gyvenęs Norvegijoje, yra laikomas garsiausiu Norvegijos mokslininku, medžiagų mokslo šakos – geochemijos pradininku.

Atskirai reikėtų pakalbėti apie medžiagų mokslo raidą Rusijoje. Bene žymiausiu šios srities mokslininku galima laikyti Georgijų Kurdyumovą (1902–1996), kuris įgijo fiziko išsilavinimą garsiajame St. Peterburgo A. Joffės institute. Vėliau jis ėmėsi metalurgijos ir kristalografskai ištyrė ir nustatė, kad

martensitinė fazė pliene yra susijusi su plieno grūdiniu. 1930 metais jam ir dar keliems šimtams kitų SSRS mokslininkų buvo leista laikinai padirbėti užsienyje. Kurdymovas dirbo Berlyne pas žymų Vokietijos metalurgą Georg Sachną, kuris tuo metu atrado būdą, kaip vario lydinuose sukurti naujos fazės kristalinius intarpus. Naudodamasis ta patirtimi, Kurdymovas ten pat greitai surado būdą, kaip tai pritaikyti aukštos temperatūros austenito kristalams auginti pliene. Iš austenito fazės grūdinant susidarydavo įvairios martensito formos. Abu išradimai II-ojo pasaulinio karo pradžioje tapo neįkainiojamomis inovacijomis tiek hitlerinės Vokietijos, tiek ir SSRS karinei pramonei konstruojant tvirtus tankų šarvus ir lėktuvų korpusus.

Kurdymovas buvo ne tik dvasinis autoritetas, bet ir įtakingas SSRS mokslo akademijos narys, dviejų mokslo institutų Maskvoje ir Dniepropetrovske (Ukraina) direktorius. Vėlesnė Ukrainos metalurgijos raida labai susijusi su Kurdymovo veikla ir jo moksliniu palikimu. Savo asmeniniu laidavimu ir atsakomybe žiauraus Stalino teroro metais (1937–1938) jis išgelbėjo nuo KGB areštų ne vieną iš savo kolegų. Po karo Kurdymovas su bendradarbiais paskelbė daug vertingų straipsnių ir įgijo tarptautinį autoritetą kaip martensito transformacijų ir kinetikos mechanizmų žinovas, turėjo galimybę palaikyti glaudžius ryšius su Amerikos ir Japonijos mokslininkais.

Tačiau per aktyvios Kurdymovo karjeros laikotarpį metalurgija SSRS buvo dėstoma vienur, o naujosios puslaidininkių, keramikos ir kitų modernių medžiagų mokslų šakos buvo kuriamos kitur. Todėl galima sakyti, kad medžiagų mokslo, kaip apibrėžtos tarpdalykinio mokslo disciplinos SSRS nebuvo iki pat 1985 metų. Ir tik po to, praktiškai jau Gorbačiovo „perestroikos“ laikotarpiu, profesorius Yu. Treťjakovo pastangomis Maskvos M. Lomonosovo valstybiniame universitete atsirado pirmoji penkerių metų medžiagų mokslo mokymo programa pavadinta Medžiagotyros mokslais (rus. *Nauki o materialach*). Yu. Treťjakovas prieš tai kurį laiką dirbo Pensilvanijos universitete pas vieną iš MRS įkūrėjų Rustumą Roy, iš kur ir atnešė naujojo medžiagų mokslo idėją į Rusiją. Šiuo metu Rusijos medžiagų moksle dominuoja branduolinės energijos medžiagų taikymo ir panaudojimo tyrinėtojai.

Nusistovėjusi Rusijos mokslo sistema netiesiogiai paveikė ir Kinijos medžiagų mokslo raidą. Iki 1960 metų į Kiniją tūkstančiais buvo siunčiami SSRS patarėjai, dažnai partinio tipo administratoriai, kurių nurodymu 12-os metų plane buvo rekomenduojama universitetuose plačiai dėstyti metalotyrą (rus. *metalovedenije*). Į kinų kalbą ji buvo verčiama kaip metalų fizika, nors tai nebuvo fizikinė metalurgija. Situacija nepakito ir po to, kai Mao Dze Dungas nutraukė ryšius su SSRS ir išsiuntė tarybinius patarėjus. Netrukus prasidėjo vadinamoji Kinijos Kultūrinė revoliucija, kuri apskritai buvo nukreipta prieš mokslinę, techninę ir intelektualinę pažangą. Galiausiai, po Kultūrinės revoliucijos ir Mao Dze Dungo mirties kinai pastebėjo, kad turi per daug siauros pakrai-

pos metalurgų, rengiamų net 17 universitetų ir visai neturi platesnės krypties inžinierių, kurie suprastų metalurgijos lydinius ir terminų apdirbimą. Kinijoje paskubomis buvo pradėti rengti medžiagų mokslo specialistai, o, kai pirmoji diplomuotojų specialistų laida 1980 metais pagal Kinijos komunistų partijos direktavą, buvo pasiūsta įdarbinti, įsakymą vykdančis Kinijos valstybinio plano komiteto veikėjas neturėjo jokios nuovokas apie medžiagų mokslą. Jis buvo linkęs manyti, kad šie specialistai turi užimti atitinkamus postus ir vadovauti medžiagų saugojimo bazėms. Tačiau dar po dešimtmečio medžiagų mokslas Kinijoje pradėjo sparčiai plėtotis ir tapo gerai finansuojamas iš sparčiai augančios šalies ekonomikos. Medžiagų mokslo plėtra šiuo metu yra prioritetinė Kinijos ateities vizijos kryptis.

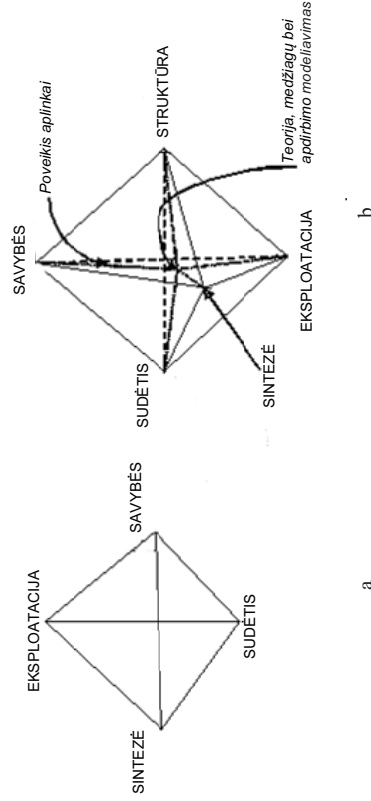
1.3. Medžiagų mokslo tikslai

Taigi kas yra medžiagų mokslas? Iš tikrųjų tai nėra toks paprastas klausimas, kad į jį būtų galima atsakyti tiksliai ir vienareikšmiškai. Daugelis tyrinėtojų pabrėžia vis kitokius suvokimo aspektus. Medžiagų mokslo formavimosi laikotarpio pabaigoje, kai buvo paskelbta minėtoji COSMAT 1974 metų ataskaita, MSE tikslai buvo suformuluoti kaip *generavimas ir taikymas žinių, susijusių su medžiagų sudėtimi, struktūra ir apdirbimu, kurios leistų pasiekti reikiamas savybes norimai medžiagai panaudoti*. Panašiai medžiagų mokslą apibūdina ir kiti konstrukcinių medžiagų autoriai, tarp jų ir vienintelio lietuviško vadovėlio „Medžiagotyra: konstrukcinės medžiagos“ autorius L. Kulikauskas [7]. Tačiau, ypač paskutiniaisiais dešimtmečiais, plinta platesnio pobūdžio apibrėžimai. Vienas pirmųjų išplėstą medžiagų mokslo tikslą įvardino Davidas Turnbullas savo knygoje 1983 metais [8], kaip, *suvokimo ir medžiagų struktūros apibūdinimo kontrolę iki ultramolekulinio lygio ir šios struktūros susiejimą su įvairiomis savybėmis (mechaninėmis, elektrinėmis ir kitomis)*.

Kaip teigia savo monografijoje R. Cahnas [1], ypač svarbus medžiagotyros aspektas, su kuriuo susiduria beveik kiekvienas medžiagų mokslo tyrinėtojas, yra tas, kad tyrinėtoji reikia nagrinėti kelis skirtingus medžiagos struktūros lygmenis, kurių kiekviename yra dėsningumu, susijusių su aukštesniu arba žemesniu struktūros lygmeniu. Ieškant priežastinių ryšių, dažnai tenka skirtingus lygmenis nagrinėti iš naujo, sugrįžti prie mikroskopinių ar makroskopinių savybių. Tai, kas dabar įprasta vadinti mikrostruktūra, arba platesniąją prasme mezostruktūra, yra pagrindinis negyvosios ar dirbtinai sukurto medžiagos lygmuo. Gyvosios gamtos tyrinėjimo objektuose (biologijoje, medicinoje) ši mikrostruktūrinį lygmenį atitinka ląstelė ir tarpląstelinė sąveika. Taigi šiuose tarptiniuose lygmenyse tarp pradinio riboto dydžio atomų ar molekulių cheminių aglomeratų ir galutinės tūrinės suformuotos medžiagos dažniausiai vyksta mo-

diffikacijos reiškiniai, kuriais galima valdyti medžiagos savybes. Nagrinėdamas mezostruktūrą, medžiagų specialistas gali rasti būdų, kaip ją pakeisti.

Asmeniniai ekspertų požiūriai į medžiagotyro prioritetus dar ilgai, matyt, išliks skirtingi. MIT medžiagotyro fakulteto mokslininkas Mertonas Flemings 1989 metais pirmą kartą pavaizdavo keturių kampų tetraedro schemą, kuri atspindi svarbiausias medžiagų mokslo tikslų paradigmas [9]. Ši schema pavaizduota 1.3.1 pav., *a*. Schemos kampuose yra siektini tikslai, kurie apibūdina medžiagos funkcijas: sandarą (cheminę, nanoskopinę, mikroskopinę), paviršiaus ar tūrinės savybes (mechanines, termines, elektrines, magnetines, optines, dielektrines), apdorojimą (terminį, mechaninį, magnetinį, cheminį, optinį, elektrostatinį, paviršių sujungimus, gaminio formavimą), eksploataciją (atsparumą korozijai, dėvėjimąsi, trintį, biogeninį poveikį medžiagai, aplinkosaugos sąlygas, aplinkos kontrolę). Kitas žymus specialistas, Kinijos medžiagų mokslo veteranas C. Shi 1999 metais sukūrė sudėtingesnę grafinę schemą [10], vaizduojamą 1.3.1 paveiksle, *b*. Čia kaip svarbus tikslas dar yra nurodyta



1.3.1 pav. Keturi būdingi medžiagų mokslo ir inžinerijos disciplinos siektini tikslai pagal Flemingsą (*a*) ir šeši tikslai pagal Shi (*b*)

sudėtis bei *sintezė* ir *apdorojimas*. Pastarasis terminas kartu apima ir medžiagos savioorganizacijos ypatybes, jeigu jos gali būti panaudojamos. Savioorganizacija – tai segregacijos procesų dėsningumų paktitimai, kurie gali dėsningai keistis nuo vieno tūrinio taško iki kito, ir todėl veikia medžiagos mikrodarinį formą ir savybių panašumą. 1.3.1 pav., *b* figūros centre yra nurodytas apibendrinamasis tikslas (kategorija) *teorija, medžiagų ir apdirbimo modeliavimas*, kuris plačiąja prasme apima ir šiuolaikinį kompiuterinį modeliavimą, pagrįstą termodinamikos lygtimis. Kaip matyti iš 1.3.1 pav., visi siektini tikslai

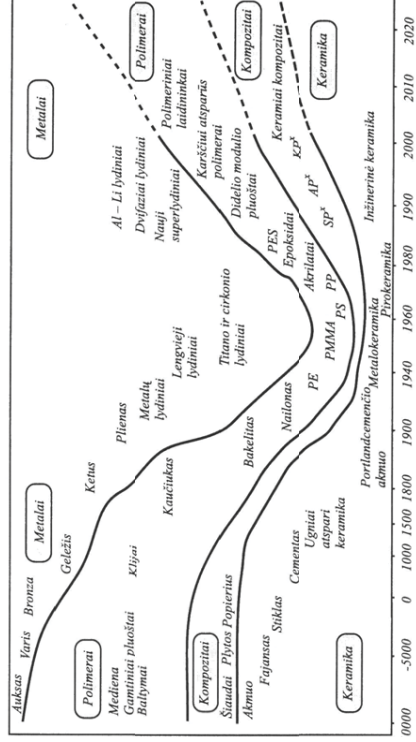
turi tiesioginį tarpusavio ryšį. Ryšys tarp *savybių* ir *eksploatacijos* yra susijęs su išorine aplinka ir todėl atspindi ir aplinkosaugos aspektą. Sudėtinga tikslų schema neturėtų kliudyti skaitytojui suvokti, kad kiekvienas atvejis gali turėti ir specifinių bruožų, nes kiekvienas tikslas pasiekiamas tik tam tikromis gamybos sąnaudomis, kurias reikia įvertinti, nes gaminy s gali tapti nekonkurencingas masiniam vartojimui. Šios schemas taip pat leidžia suvokti tarpdalykinį medžiagų mokslo pobūdį, nes kiekvienas iš pavaizduotų tikslų visais atvejais reikalauja gero klasikinio mokslu, t. y. fizikos ir chemijos, o kartais ir šalutinių sričių, pavyzdžiui tokių kaip reologija – mokslo apie skystų, želatininių ar minkštų medžiagų tekėjimą, ar koloidų mokslo – mokslo apie kietojo kūno dalelių formavimąsi ir egzistavimą skystuose, išmanymo.

1.4. Medžiagų klasifikacija ir medžiagų mokslo vystymosi tendencijos

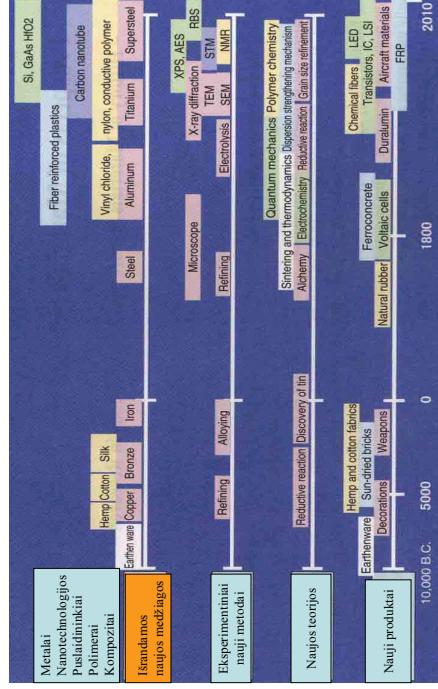
Inžinerinės medžiagos gali būti klasifikuojamos pagal komponentų rūšis ir pagal taikymo sritis. Jos taip pat gali būti klasifikuojamos pagal dinamines, mechanines, elektrines, magnetines ar biologines funkcijas, kaip yra pavaizduota 1.4.1 pav. Istoriskai medžiagas įprasta skirstyti į dvi plačias kategorijas – organines ir neorganines, atskiriant pastarąsias į metalines ir nemetalines, ir vėliau skirstant į keturias konstrukcinių medžiagų klases. Ši klasifikacija pavaizduota 1.4.2 paveiksle. 1.4.3 paveiksle parodytas Alleno pasiūlytas klasifikacijos metodas. Čia medžiagos rūšiuojamos pagal joms būdingą nekrystalinę, kristalinę ir skystųjų kristalų fazę. Šioje struktūrinėje medžiagų klasifikacijoje svarbiu veiksnium tampa būdingieji medžiagos struktūriniai defektai, kurie turi įtakos medžiagos savybėms, t. y. sanglaudos tūriniai defektai, grūdėlių orientacija ir dydis, dislokacijų tankis ir pobūdis, klasterių, taškinių defektų tankis ir kt.

1.4.4 pav. grafiškai pavaizduota kaip per pastaruosius dvylika tūkstančių metų kito keturių pagrindinių konstrukcinių medžiagų grupių reikšmė žmogijos evoliucijoje, t. y. metalų, polimerų (jų tarpe ir elastomerų), keramikos ir stiklų bei kompozitų panaudojimo santykinis kiekis gaminamuose produktuose. Ši grafika M. Ashby sukūrė dar 1980 metais, o paskui jį patobulino kiti autoriai (žr. 1.4.5 pav.). Ankstyvuojų istorijos laikotarpiu natūralūs polimerai (mediena, gamtiniai pluoštai) ir keramika (natūralūs akmenys, molio indai) sudarė žmonijos naudojamų priemonių ir produktų pagrindą. Metalai turėjo nors ir nedidelę, bet svarbią reikšmę žmonijos civilizacijos raidoje. Lengvai išlydomas varis paplito įvairiose civilizacijose 5000 m. p. m. e., apie 1500 m. p. m. e. buvo įsisavinta aukštesnėje temperatūroje išlydoma bronzos ir galiausiai

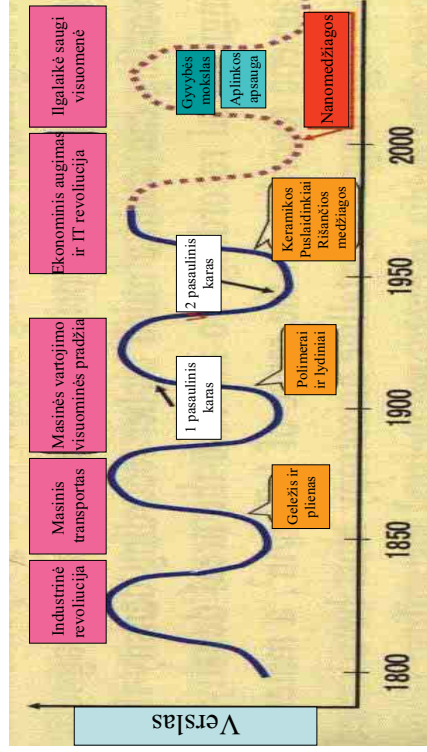
išradimu, o masinio prekių paskirstymo revoliucija – su plieno konstrukcijų panaudojimu. Masinio vartojimo ciklas prasidėjo rinkoje atsiradus naujiems metalų lydiniams ir polimerams. Ekonominio augimo ir informacinės revoliucijos ciklas buvo susijęs su puslaidininkių, keramikos ir adhezininių medžiagų atradimu. Atėities verslo augimo ciklas, kuris sąlyginai vadinamas saugios il-galaikės visuomenės kūrimo terminu, turėtų būti siejamas su nanomedžiagų atradimais ir inovacijomis. Tikėtina, kad šios medžiagos galėtų išspręsti dalį aplinkosaugos problemų ir skatinti ekonomikos plėtrą, kai natūraliųjų medžia-gų resursai senka.



1.4.5 pav. Konstrukcinių medžiagų naudojimo evoliucija ir svarbių medžiagų išradimas (PE – polietilenas, PS – polistirenas, PP – polipropilenas, PMMA – polimetilmetakrilatas, PES – poliesteris)



1.4.6 pav. Apibūdinimo metodų ir naujų medžiagų išradimo teorijų raida



1.4.7 pav. Medžiagų inovacijos kaip varomoji periodinio ekonominio vystymosi jėga

Ateities medžiagų mokslo tendencijos gali būti pateiktos pagal NIMS 2005 metų apžvalgos klasifikaciją. Artimiausiais dešimtmečiais skiriama 17 aktualių medžiagų tyrinėjimo krypčių:

– pagal būdinguosius bruožus:

1. nanomedžiagos,
2. superlaidžios medžiagos,
3. magnetinės medžiagos,
4. puslaidininkinės medžiagos;

– poreikiams tenkinti skirtos medžiagos:

5. biomedžiagos,
6. ekologinės ir energiją generuojančios ir taupančios medžiagos,
7. aukštatemperatūrės medžiagos reaktyviems varikliams ir garo turbinoms;

– eksplotacijai reikalingos medžiagos:

8. metalai,
9. keramikos,
10. kompozitai,
11. polimerai;

– kitos mokslo ir eksperimentinės metodų plėtros kryptys:

12. medžiagų analizės ir medžiagų evoliucijos metodikos,
13. medžiagų tyrimo metodikos ir taikymai dideliems laukams generuoti,
14. nanomedžiagų modeliavimo ir technologijos metodikos,
15. naujų medžiagų kūrimo metodikos,
16. visapusiškų duomenų apie įvairias medžiagas kaupimas ir sklaidimas,
17. tarptautinių standartų kūrimas ir tobulinimas.

1.5. Tarptautinės organizacijos

Šiuo metu veikiančias organizacijas galima suskirstyti į tris kategorijas. Pirmiausia tai senosios metalurgų visuomeninės organizacijos, kai kurios iš jų persitvarkiusios taip, kad atitiktų platesnius medžiagų mokslo tikslus. Antrajai kategorijai priskirtinos specializuotos kai kurių kategorijų medžiagų arba jų funkcijų bendrijos, pvz., Amerikos keramikų draugija, Europos keramikų sąjunga. Trečiąjai kategorijai priskirtinos naujosios, pastaraisiais dešimtmečiais įkurtos medžiagų mokslo organizacijos, turinčios MRS trumpinį, kurias įkurti paskatino medžiagų mokslo plėtra. Be visų šių, yra kelios skėtinės organizacijos, jungiančios keliolika įvairių kitų organizacijų.

Be abejonės, vienijimosi pradini ke yra Medžiagų mokslo draugija – MRS, įkurta JAV 1973 metais, kaip rašėme anksčiau, po ilgų ir sekančių diskusijų. Įdomu tai, kad vietoj įprasto *Materials Science* pavadinimo vartojamas *Materials Research Society*. Tuo buvo siekiama išvengti nuorodos į tai, kurios srities mokslininkai ar inžinieriai turėtų vienytis kaip MRS organizacijos nariai. Vienintelis keliamas reikalavimas, kad nario darbas turėtų prisidėti prie medžiagų supratimo ir tobulinimo. Šios organizacijos įsteigėjais laikytini Rustamas Roy ir puslaidininkių paviršiaus fizikos mokslininkas Harry Gatosas iš MIT. Steigimo metais MRS turėjo mažiau nei 1000 narių, bet po kelerių metų jų skaičius ėmė sparčiai didėti. Šiuo metu MRS vienija per 13000 narių, iš kurių 25 tiesiogiai dirba pramonėje, 60 % akademinuose instituteuose, kiti valstybinėse JAV laboratorijose. MRS nariais gali tapti bet kurios kitos šalies piliečiai, sudaryvę MRS konferencijoje. MRS pagrindinis uždavinys yra sumažinti tarpdalykinius barjerus medžiagų mokslo tyrinėjimams ir paspartinti naujų išradimų paiešką. MRS skatino ir dalyvavo įsteigiant dešimtis naujų mokslinių medžiagotyros pakraipos žurnalų ir biuletenių, didelių enciklopedinių rinkinių ir knygų. MRS kasmet rengia dvi dideles konferencijas – pavasarinę San Franciske ir rudeninę Bostone, kuriose atskirų sričių simpoziumai tradiciškai numeruojami abėcėlės raidėmis. Po 2000 metų šiai numeracijai jau nebeužtenka angliskosios abėcėlės 26 raidžių atlikti, ir todėl tenka vartoti dviejų raidžių simbolius.

Sekdamos MRS, 20 amžiaus antrojoje pusėje beveik visos stambios šalys įkūrė savo medžiagų tyrinėtojų draugijas. Iš viso yra 14 stambių organizacijų, susijungusių į tarptautinę konfederaciją IUMRS – *International Union of Materials Research Societies*. Ji buvo įsteigta 1991 metais ir joje dalyvauja MRS, Afrikos ir Europos federacijos, Argentinos, Australijos, Kinijos, Indijos, Japonijos, Korėjos, Meksikos, Rusijos, Singapūro ir Taivano MRS. Visos šios šalys turi vienokio ar kitokio pobūdžio ilgalaikes medžiagų pramonės ir mokslinio plėtros programas. Kai kurios iš tokių organizacijų vienija keletą mažesnių. Pavyzdžiui Japonijos MRS iš tikrųjų yra 17 mažesnių organizaci-

jų federacija. Europos konfederacija FEMS vienija 38 draugas iš 35 Europos šalių.

FEMS. Europos medžiagų tyrinėtojų federacija (FEMS) šiuo metu vienija per 20 tūkstančių narių [11]. Organizacijos tikslai parodyti 1.5.1 paveiksle. Kas antri metai FEMS organizuoja EUROMAT medžiagų mokslo kongresą, o tarptautiniams metams – jauniems mokslininkams skirtą „Junior EUROMAT“ konferenciją. Dar viena didelė medžiagotyros konferencija organizuojama Prancūzijoje. Ją administruoja mokslininkų asociacija E-MRS [12], įsteigta 1983 metais ir tradiciškai bendradarbiaujanti tiek su FEMS, tiek su MRS.



The Federation of European Materials Societies

24 Europos medžiagotyros bendrijos
2000 medžiagotyros mokslininkų ir
inžinierių

EUROMAT - naujų medžiagų ir technologijų
procesų konferencija
Junior EUROMAT (konferencija) jaunujų
mokslininkų

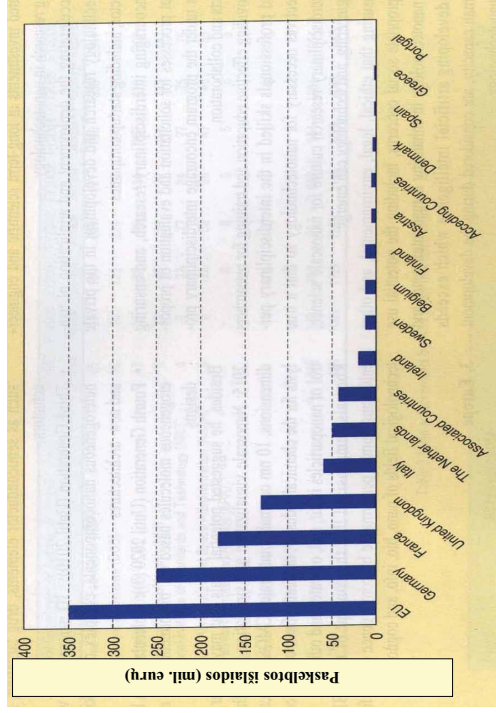
Indėlis į Europos mokslo politiką
įvairių bendrijų bendradarbiavimo projektai

Premijos labiausiai pasižymėjusiems
mokslininkams
FEMS talentingiausių jaunujų mokslininkų ir
inžinierių paskaitos
Darbo paieškos galimybės



1.5.1 pav. Europos FEMS federacija ir jos deklaruojami tikslai

1.5.2 pav. pavaizduota 2004 metų nanotechnologijų mokslo ir plėtros finansavimo diagrama. Visos Europos šalys tais metais nanotechnologijoms plėtoti išleido 350 milijonų eurų. Ši suma, deja, buvo keletą kartų mažesnė nei tuo pačiu laikotarpiu nanotechnologijoms plėtoti išleido ir JAV, ir Japonija. Ši diagrama taip pat atspindi akivaizdų Vokietijos pranašumą, palyginti su kitomis Europos valstybėmis. Tokios išsivysčiusios, bet mažesnės šalys kaip Švedija ir Austrija, šiam tikslui 2004 metais skyrė tik apie dešimt milijonų eurų. Rytų ir Vidurio Europos valstybių įnašas net ne visose šalyse buvo deklaruotas ir buvo labai mažas, palyginti su išsivysčiusiomis Europos šalimis. Išsivysčiusios šalys iki 2013 metų išėję kiekį nanotechnologijų srities plėtrai planuoja padidinti dešimt ir daugiau kartų.



1.5.2 pav. Nanotechnologijų plėtros išlaidos ES ir Europos šalyse 2004 metais

1.6. Medžiagotyra Baltijos šalyse, LtMRS

Medžiagotyra Estijoje iš tikrųjų turi senesnes istorines tradicijas nei Latvijoje, ar Lietuvoje. Žymus devyniolikto amžiaus mokslininkas fizikas, termoelektrinių reiškinių atradėjas Thomas Seebeckas (1770–1831) gimė Taline. Talino rotušės aikštėje yra išlikęs dviaukštis namas, kuriame Seebeckas užaugo. Savo di-džiausią atradimą T. Seebeckas 1822 metais paskelbė tuo metu, kai dar nebuvo išrasti metodai elektros srovei matuoti. Elektros srovės tekėjimas buvo nustatomas iš kom-paso rodyklės nukrypimo, pridėjus jį šalia laido. Jį išgarsinusį termoelektrovaros jėgos tarp dviejų skirtingų medžiagų jungties at-radimą T. Seebeckas padarė savo gyvenimo pabaigoje. Dar jaunas būdamas jis persikė-lė gyventi į Vokietiją ir dėl to visur mini-mas kaip mokslininkas, kilęs iš Vokietijos. Kitas žymus Estijos mokslininkas yra Gustavas Tammannas (1861–1938), kurio tyrimai suvaidino svarbų vaidmenį nusta-



1.6.1 pav. Vienas žymiausių Baltijos šalių medžiagų mokslo pradininkų Gustavas Tammannas (apie 1930 me-tus)

tant fazinių diagramų prigimtį ir prasmę. Šios diagramos yra laikomos svarbiu medžiagų mokslo supratimo pagrindu. Tammannas dažnai tituluojamas ir fizikinės chemijos pradininku (žr. 1.6.1 pav.). G. Tammannas užaugo Estijoje ir baigė Tartu (Dorpat) universitetą. Ten pat 1895 metais pradėjo savo mokslinę veiklą, tyrinėdamas kietųjų ir skystųjų kūrų heterogeninę pusiausvyrą ir trigubus kritinius fazinių virsmų taškus. 1903 metais Vokietijoje jis paskelbė pirmą didelę publikaciją apie vadinamųjų pirmos eilės fazinių virsmų netolydumą. Maždaug tuo pačiu metu jis persikėlė į Vokietiją ir pradėjo dirbti Getingene kartu su žinomu fiziku Nernstu, o jau 1903 metais tapo Neorganinės chemijos katedros vadovu. (Nernstui išėjus į pensiją, nuo 1907 m. buvo ir Fizikinės chemijos katedros vadovas). G. Tammannas tyrinėjo neorganinius stiklus, dvivarių metalinių lydininių sistemų, ištyrė iki 1900 skirtingų metalų lydinį, vėlesniais metais tyrinėjo plastinių deformacijų mechanizmus ir metalų rekristalizaciją. Kai kurios G. Tammanno idėjos neabejotinai turėjo didžiulę įtaką metalurgijos mokslui. G. Tammannas pasižymėjo dideliu darbštumu: per savo gyvenimą paskelbė apie 500 mokslinių straipsnių, o tai yra labai daug sunkioje medžiagų mokslo srityje. G. Tammanno vadovaujama katedra Getingene buvo pervardyta į Fizikinės metalurgijos katedrą po to, kai 1930 metais jis išėjo į pensiją.

Lietuvos tikslųjų mokslų pradininku reiktų laikyti fizikochemiką ir geologą Teodorą Grotusą (1.6.2 pav.) (vok. *Theodor von Grothuß*), kuris gimė 1785 m. sausio 20 d. Lietuvoje, Gedučių apylinkės dvarininkų (bajorų) šeimoje. Puikų

išsilavinimą įgijo namuose, Gedučiuose prie Žeimelio miestelio, kur jį mokė samdyti mokytojai. Tapęs savarankišku, Grotusas tolimesnį gyvenimą skyrė chemijai ir įstojo į Leipcigo universitetą. Šios studijos jo netenkino ir nuo 1803 m. jis pradėjo mokytis Paryžiaus politechnikos mokykloje, kur gilinino mineralogijos igūdžius. Studijuodamas jis susipažino ir bendravo su daugeliu garsių to meto mokslininkų: J. Gay Lussacu, A. fon Humboldtu, J. Berceliusu ir kitais. 1804 m. pradėjo savarankiškas studijas Neapolyje, Romoje, domėjosi bioluminescencija, atlikdamas sudėtingus vandens elektrolizės tyrimus, 1805 m. dalyvavo ekspedicijoje į Vezuvijų. Italijoje susidomėjo prof. Pakianio eksperimentiniu darbu apie galvaninius reiškinius. Tačiau 1808 m. grįžo į Gedučių dvarą, ten įrėngė laboratoriją ir 1809–1812 metais atliko savo svarbiausius darbus, tyrinėdamas grandininės cheminės reakcijas.



1.6.2 pav. Teodoras Grotusas, pirmasis Lietuvos fizikochemikas ir geologas

Šis mokslininkas paskelbė pirmąjį fotochemijos dėsnį, yra ir antrojo kiekybinio fotochemijos dėsnio autorius, sukūrė elektrolizės teoriją, kuri 1805 m. buvo paskelbta prancūzų kalba Romoje, vėliau perspausdinta žurnale *Amalen de chemie*, o po kelių mėnesių išversta į anglų ir vokiečių kalbas ir paskelbta mokslinėje spaudoje. Jis išklė hipotezę apie sieros šaltinių gamtoje kilmę, kuri pri pažįstama net ir dabar; 1807 m. išrinktas Paryžiaus galvanikų draugijos nariu; 1808 m. išrinktas Turino mokslo ir menų akademijos nariu korespondentu; 1812 m. pusmečiui išvyko į Peterburgą, kur susipažino su chemiku ir žurnalo leidėju A. N. Šereriu. 1814 m. išrinktas Dorpato universiteto profesoriumi. Tais pačiais metais T. Grotusui suteiktas Miuncheno mokslų akademijos nario korespondento vardas. 1816–1818 m. tyrinėjo Likėnų Smardonės mineralinius šaltinius, nustatė jų vandens sudėtį, tirdamas rodanidus atrado chemines reakcijas, dabar jau tapusias klasikinėmis, sukūrė kelis analizės būdus. Jis padarė teisingą išvadą, kad sieros vandenilio susidarymas stiejamas su kalcio sulfato ir organinės medžiagos sąveika. 1817 m. Mintaujoje tapo Kuršo literatūros ir meno draugijos nariu. 1820 m. Niurnberge išleido rinktinius raštus, sukūrė pirmąjį fotometrą, tinkantį naudoti ir kaip cheminį laikrodį. Deja, 1822 m. kovo 26 d. netikėtai visiems artimiesiems jis nusižudė ir buvo palaidotas Gedučiuose.

LtMRS. Pirmoji medžiagotyros draugija Baltijos šalyse susikūrė Estijoje (EMRS) 1992 metais, po to 1994 metais buvo įkurta Latvijoje (LMRS) ir Lietuvoje (LtMRS) – 1999 metais. Visos trys draugijos, kartu sudėjus, vienija apie tris šimtus penkiasdešimt mokslininkų. Dar apie penkis šimtus mokslininkų dirba medžiagotyros ar su medžiagomis susijusiose srityse, bet nėra šių visuomeninių organizacijų nariai.

Įkurti Lietuvoje Medžiagų tyrinėtojų draugiją E-MRS konferencijos metu 1999 metais paskatino tuometinis Vokietijos MRS prezidentas H U. Habermieris (Hanns-Ulrich Habermier). Lietuvos medžiagų mokslo tyrinėtojų asociacija (LtMRS), buvo įsteigta 1999 metų pabaigoje ir šiuo metu vienija apie 140 mokslininkų, doktorantų ir studentų, palaiko informacinius ryšius su buvusiais Lietuvos mokslininkais, išvykusiais dirbti į kitas šalis [13]. Jos nariai yra savanoriškai susivieniję mokslininkai, medžiagų specialistai ir gamintojai, susiję su medžiagų mokslu. Šiuo metu LtMRS veikia penkios sekcijos:

- 1) elektroninės ir optinės medžiagos,
- 2) konstrukcinės medžiagos,
- 3) metalų lydiniai ir dangos,
- 4) polimerai ir kompozitai,
- 4) tekstilės ir medžiagos,
- 5) popierius ir mediena.

Sekcijų pavadinimai atspindi Lietuvos medžiagotyros palikimą, kuris buvo paveldėtas iš įvairių mokslo institucijų dar prieš Lietuvai atgautant nepriklausomybę. Šiuo metu asociacijos nariai yra įvairių sričių tyrėjai iš VU, PFI, KTU, ChI, PU, LEI, TI, VGTU ir kiti nariai. Nuo įsteigimo iki 2007 metų LtMRS

draugijos prezidentas buvo Vytautas Grivickas (VU), viceprezidentai buvo Bonifacas Vengalis (PFI) ir Sigitas Tamulevičius (KTU). Pastarasis yra ir viešintelio Lietuvoje leidžiamo ISI mokslo žurnalo *Materials Science (Medžiagotyra)* – vyr. redaktorių, ir dabartinis LtMRS prezidentas nuo 2007 metų. Kiekvienais metais Kaune vyksta respublikinė konferencija „Medžiagų inžinerija“,




13 th International Conference - School "ADVANCED MATERIALS AND TECHNOLOGIES"

August 27-31, 2011 Palanga, Lithuania

Topics

- Methods of surface analysis
- Surface engineering and nanostructures
- Electronic and optical materials
- Ceramics
- Polymers and composites
- Materials for energy
- Advanced engineering materials

Important dates

- June 13, 2011 deadline for the registration and abstracts
- July 12, 2011 deadline for reduced registration rate
- July 18, 2011 final announcement (including a programme)

Registration and information: www.fei.lt/amtपालांगा

Organizers:

- Institute of Materials Science of Kaunas University of Technology
- Vilnius University
- Institute of Theoretical Physics and Astronomy of Vilnius University
- Vilnius Gediminas Technical University
- Semiconductor Physics Institute of Center for Physical Sciences and Technology
- Lithuanian Energy Institute
- University of Latvia



kuri kas treči metai būna ir Baltijos šalių bendroji medžiagų mokslo konferencija. Lietuvoje taip pat veikia medžiagų mokslui artima Lazerių ir šviesos mokslų ir technologijų asociacija, kurioje dalyvauja lazerių gamintojų verslo įmonės ir mokslininkai [14]. 2011 m. vasaros pabaigoje Palangoje surengta jau tryliktoji tarptautinė vasaros mokykla-konferencija „Šiuolaikinės medžiagos ir technologijos“ (1.6.3 pav.). Šios mokyklos pagrindiniai organizatoriai yra KTU Medžiagų mokslo institutas ir organizacinio komiteto pirmininkas prof. Sigitas Tamulevičius. Ši mokykla unikali tuo, kad ją organizuojant prisideda tiek finansškai, tiek idėjiškai stipriausi Lietuvos universitetų ir mokslo institutų kolektyvai, dirbantys medžiagų mokslo ir inžinerijos srityse. Šios mokyklos organizavimas yra svarbus indėlis integruojant Lietuvos mokslinių tyrimų rezultatus į Baltijos šalių ir Europos mokslo erdvę.

Literatūra

1. R. W. Cahn, *The Coming of Materials Science*, Pergamon 2nd ed., 2003.
2. G. A. Christenson, *Address at memorial service for Herbert Hollomon*, Boston, 18 May, 1985.
3. COSMAT, *Materials and Man's Needs: Materials Science and Engineering. Summary report of the committee on the Survey of materials Science and Engineering* (National Academy of sciences, Washington, DC) pp.1-39.
4. Delfi interviu su K. Almantu, skirta sputniko paleidimo 50-mečiui, 2006.
5. R. L. Sproull, *Annu. Rev. Matter. Sci.* 17, 1, 1987.
6. 2005 Materials Science Outlook, NIMS, <http://www.nims.go.jp/eng/news/outlook/index.html>
7. L. Kulikauskas, *Medžiagotyra, konstrukcinės medžiagos*, Vilnius, Žara, 1997.
8. D. Turnbull, *Annu. Rev. Matter. Sci.* 13, 1 1983.
9. M. C. Flemings, *Annu. Rev. Matter. Sci.* 29, 1 1999.
10. C. Shi, *Progress in Natural Science (China)* 9, 2, 1999.
11. <http://www.fems.org/index.php>
12. <http://www.emrs-strasbourg.com/>
13. <http://www.ltmrs.lt/>
14. <http://www.ltopics.org/>

2 ■ MEDŽIAGŲ MOKSLAS KAUNE

2.1. Konstrukcinių medžiagų tyrimai (*Stasys Bočkus*)

Raida. Konstrukcinėmis mašinų medžiagomis vadinamos tokios medžiagos, iš kurių gaminamos mašinų ir prietaisų detalės, taip pat statybose naudojamų konstrukcijų elementai. Svarbiausios konstrukcinės medžiagos yra metalai, kompozicinės medžiagos, miltelinės medžiagos, plastikai, guma, medis, stiklas. Mašinų gamyboje pagrindinės medžiagos yra metalai ir jų lydiniai. Dažniausiai naudojami geležies lydiniai: plienas ir ketus, rečiau – spalvotųjų metalų: aliuminio, magnio, titano, vario, cinko, alavo ir švino, lydiniai.

Konstrukcinių medžiagų mokslinių tyrimų pradžia Lietuvoje sietina su 1922 m. Kaune įsteigto Technikos fakulteto Mechaninės technologijos katedra, kuri savo veiklą pradėjo 1924 m. vasario 1 d. Katedros vedėju buvo paskirtas prof. Vytautas Mošinskis. 1906 m. baigęs Peterburgo technologijos institutą, jis dirbo įvairiose Peterburgo, Charkovo gamyklose ir dėstė institutuose. Taip įgijo gamybinės ir pedagoginės patirties. Katedros personalą sudarė tik du asmenys: prof. V. Mošinskis ir A. Gravrogas. Po septynerių metų (1929 m.) buvo įkurtas Metalų technologijos kabinetas, kuris 1931 m. Aleksote baigtuose statyti Fizikos ir chemijos instituto rūmuose turėjo tikslų matavimo įrankių kompleksą: du mikroskopus („Zeiss“ binokuliarinį ir E. Buscho metalografinį), fotoaparatus metalų struktūrai fotografuoti, cheminę aparatūrą metalų analizei atlikti, kalvės žaizdrą ir mufelinę krosnelę metalams kaitinti, 10 naudotų metalo pjovimo staklių bei keletą kolekcijų su rūdų ir technologiniais pavyzdžiais. Kabinetas sutilpo dviejuose 70 m² bendro ploto kambariuose. Katedros personalas padėjo iki 5 asmenų. Prasidėjęs karas sustabdė Kauno universiteto kūrybinę veiklą. Nutūkio metalų technologijos paskaitos, vykdavo tik konsultacijos, įskaitų priėmimas ir egzaminai. 1941 m. rugpjūčio 1 d. iš Mechaninės technologijos katedros atskyrus Medžio technologijos katedrą ir

Tekstilės technologijos katedra, jos pavadinimas buvo pakeistas į Metalų technologijos. 1943 m. uždarius Kauno universitetą, buvo suorganizuoti aukštesnieji technikos kursai, kuriuose nelegaliai buvo dėstoma pirmųjų kursų programa, taip pat buvo bandoma dėstyti ir metalų technologiją. Šie kursai veikė tik vienus metus, tačiau vėliau tai padėjo kompleksuoti antrojo kurso kontingentą. Sunkiais pokario metais katedros personalas siekė kuo greičiau atkurti metalų technologijos laboratoriją ir įrengti mokomąsias dirbtuves, kad būtų galima tęsti studentų mokymą ir dirbti mokslinį darbą. Tačiau buvo labai sunku, nes vokiečiai atsitraukdami susprogdino Fizikos ir chemijos institutą, o drauge ir laboratorijos korpusą. Praeito amžiaus septintajame dešimtmetyje pradėjo labai sparčiai plėstis visas Kauno politechnikos institutas, o kartu ir Metalų technologijos katedra. Susiformavo nauji dėstytojų kadrai, jų skaičius viršijo dvi dešimtis. Įsimintini katedrai yra 1961 metai, kai buvo priimti pirmieji studentai į liejininkystės įrenginių ir technologijos bei į metalotyros ir terminio apdorojimo specialybes. Nuo 1991 m. pradėti rengti medžiagų inžinerijos bakalaurai ir magistrantai. Įkūrus naujas specialybes, buvo stiprinama katedros mokomoji ir mokslinių tyrimų bazė. Doc. V. Babiliaus rūpesčiu 1961 m. lapkričio 11 d. buvo įkurta Liejininkystės mokslo laboratorija, kuri tapo svarbia liejininkystės specialistų rengimo ir moksline baze. Laboratorija įsikūrė Kauno ketaus liejyklos patalpose, todėl ir jos veikla glaudžiai susijusi su šia liejykla. 1998 m. vasario 23 d. laboratorijai suteiktas doc. V. Babiliaus vardas. Be šios laboratorijos, katedrai dar priklauso Terminio apdirbimo, Metalografijos, Metalų fizinių savybių tyrimo laboratorijos ir kiti kabinetai. Katedros laboratorijų bazė labai sustiprėjo įsteigus Metalų apdirbimo laboratoriją pastate prie Dizaino ir technologijų fakulteto Studentų gatvėje.

Studijos ir metodinis darbas. Jau pirmajame Mechaninės technologijos (šiuo metu Gamybos technologijų) katedros veiklos dešimtmetyje daugiausia dėmesio buvo skiriama mokymo procesui ir mokomųjų priemonių kompleksavimui, laboratorijų ir kabinetų įrengimui. Tuo laikotarpiu buvo parašyti keli studentams skirti vadovėliai bei mokymo priemonės: A. Gravrogko „Metalų technologija. Įrankiai“ (1924) (hektografu) ir „Medžio technologijos kursas“ (1927) bei „Atlasas“ (1926) (litogr.), V. Mošinskio „Metalų technologija (Techniniai metalai, jų gavyba ir savybės)“ (1930) ir „Metalų technologija (Liejininkystės pagrindai)“ (1933). V. Mošinskis parašė du vadovėlius kvalifikuo-tų darbininkų rengimo kursams: „Kaip mašinos veikia ir kaip jos tvarkomos (Mašinžinytės pradmenys)“ (1933) ir „Metalai ir kitos technikoje vartojamos medžiagos (Bendrosios technologijos pradmenys)“ (1935). Kiek vėliau jis dar parašė vadovėlį „Metalų tekinimas“ (1939). Technikos fakultete iš mechaninės technologijos srities 1933 m. buvo dėstomi šie dalykai: metalų technologija, medžio technologija, malūnai, verpimas ir audimas, dirbtuvės ir fabrikai. 1940 m. liepos 26 d. Technikos fakultetą reorganizavus į Statybos ir Technologijos fa-

kultetus, nuo naujų mokslo metų metalų technologijos disciplina buvo suskirstyta į keturias specializuotas disciplinas: 1) įvadą į metalurgiją ir metalografiją, 2) liejininkystę, 3) metalų apdirbimą spaudimu, 4) metalų apdirbimą pjovimu. Pokario metais katedros kolektyvas ne tik komplektavo mokomąsias dirbtuves ir metalų technologijos laboratorijas, bet išleido kelis naujus vadovėlius: A. Novodvorskio „Metalų mokslą“ (1950 ir 1951), „Trumpą rusiškai lietuvišką techninį žodyną“ (1949) ir „Metalų technologiją“ (1954), K. Bieliūno „Metalų suvirinimą“ (1955), L. Kumpiko „Metalų apdirbimą spaudimu“ (1957), V. Mošinskio „Liejinininkystės pagrindų“ II laidą (išleista po mirties 1956 m.), V. Babiliaus, K. Bieliūno, A. Novodvorskio „Metalotyrą“ (1961).

Katedrai tapus specializuotai ir pradėjus rengti liejininkystės ir metalotyro specialistus, 1961 m. dėstomų dalykų skaičius labai išaugo. Buvo dėstoma metalurgija, liejininkystės teorija ir technologijos, metalografija, rentgenografija, terminis ir termocheminis apdirbimas ir kt. 1966 metais katedra išleido pirmuosius specialistus – diplomuotus liejininkystės įrenginių ir technologijos bei metalotyros ir terminio apdorojimo inžinierius. Padidėjus dėstomų dalykų skaičiui, buvo parašyta konspektų, vadovėlių, laboratorinių darbų aprašymų, kursinių darbų metodinių nurodymų. Vadovėliai: L. Kulikauskas „Metalotyra ir terminis apdirbimas“ (1972); A. Pavaras „Konstrukciniai plienai“ (1978), L. Kulikauskas, P. Ambroza, A. Juodis, J. Mockaitis, J. Navasaitis, J. Žvinys „Konstrukcinių medžiagų technologija ir medžiagotyra“ (1991), S. Bočkus „Specialieji liejimo būdai“ (1996), L. Kulikauskas „Medžiagotyra. Konstrukcinės medžiagos“ (1997), V. Dagys „Metalų lydymas“ (1999), S. Bočkus, V. Kvedaras, W.V. Youdelis „Medžiagų termodinamika ir kinetika“ (2007). Pastaruoju metu pradėti leisti metodiniai darbai užsienio kalbomis: anglų, prancūzų ir vokiečių. Šiuo metu rengiami aukštos kvalifikacijos metalų inžinerijos krypties bakalaurai ir magistrai, turintys dalykinių žinių, pažintinių gebėjimų ir išgūdžių kuriant šiuolaikiškas metalų apdorojimo technologijas bei naujus metalus. Jie mokomi tirti savybes, formuoti gaminius, įgyja praktinių gebėjimų bei išgūdžių taikant metalų mokslą praktinėje bei profesinėje veikloje, o taip pat perkeliama jų gebėjimų veikiant ne vien su metalų inžinerija susijusiose srityse. Specializacijos suteiktos gilios teorinės žinios, moksline darbo pagrindai ir problemų sprendimo, pristatymo bei informacinių technologijų išgūdžiai leidžia šiems absolventams sėkmingai dirbti mokslinį ir inžinerinį darbą mokslineje įstaigoje ir mašinų bei įrenginių, tekstilės, pagrindinių metalų, gatavų metalo dirbinių pramonės įmonėse arba tęsti studijas medžiagų inžinerijos ir gretimų technologijos mokslo kryptių doktorantūroje.

Mokslinis darbas. Moksliniai konstrukcinių medžiagų tyrimai prasidėjo 1931 m. Vytauto Didžiojo universiteto Fizikos ir chemijos instituto rūmuose. Nors techninė bazė dar buvo labai menka, tačiau prof. V. Mošinskis nagrinėjo kai kurias metalo dirbinių masinės gamybos, ketaus lydymo ir kitas technolo-

gines problemas. Vyr. asist. Z. Novickis pradėjo tirti aliuminio gavybos iš vietinių molų galimybes, tačiau kilęs karas šiuos tyrimus nutraukė. Doc. A. Gravtrogas ėmėsi reaktivinių vandens turbinų darbo ratų analitinių skaičiavimų. Reikia pasakyti, kad tai buvo tik pirmieji mokslinio tiriamojo darbo bandymai. 1934 m. Metalų technologijos katedroje pradedami metalų ir metalinių dirbinių tyrimai pagal pramonės įmonių ir kitų organizacijų užsakymus. Tuo metu, likvidavus Valstybinę chemijos technikos laboratoriją, jos funkcijos ir aparatūra buvo perduotos universitetui. Pavyzdžiui, laboratorijoje buvo nustatomi 29 elementų kiekių metalų lydiniuose, atliekami mikrostruktūriniai metalų tyrimai, dirbinių tikslumo matavimai ir kiti darbai. Įrankinių plienų parinkimo ir terminio apdorojimo klausimus pradėjo nagrinėti L. Kumpikas. Pirmasis mokslų kandidato (dabar daktaro) laipsnį 1948 m. gavo A. Novodvorskis, o 1949 m. kandidato (dabar daktaro) disertaciją apgynė L. Kumpikas. Buvo išplėsti moksliniai darbai: K. Bieliūno vadovaujami darbuotojai nagrinėjo katilinių plienų struktūros įtaką jų savybėms, Č. Jakimavičius tyrė plieno gaminių metalizavimo klausimus, V. Dauknyš ieškojo optimalių plieninių detalių paviršių sukietinimo elektrokibirkštinio būdu režimų.

Liejinių kystės srityje intensyvus mokslinis darbas prasidėjo įkūrus V. Babiliaus liejininkystės mokslo laboratoriją Kauno ketaus liejykloje. Laboratorijos personalas glaudžiai bendravo su liejykla sprendžiant įvairias liejininkystės problemas. Laboratorijoje buvo atlikta nemaža tyrimų, įdiegiant sintetinio ketaus lydymą ir gerinant lydymo krosnių išklojos patvarumą. Šie darbai turėjo didelę teorinę ir praktinę vertę. Jų rezultatai buvo apibendrinti 1972 m. Leningrade (dabar Sankt Peterburgas) autorių kolektyvo rusų kalba išleistoje monografijoje „Lyginamasis ketaus, išlydomo indukcinėse krosnyse ir šachtinėse lydkrosnėse, savybių tyrimas“. Be to, laboratorijoje buvo tiriamos kokilių patvarumo ir kokilinio liejimo technologijos problemos. Šiuose ir vėlesniuose tyrimuose doc. habil. dr. N. Butkevičiaus iniciatyva buvo panaudota skaičiavimo technika. Nuo 1974 m. buvo tiriamą technologinių veiksnių įtaką staklių korpusinių liejinių savybėms, specialių gurgučių mišinių gamybos technologiniai parametrai. O nuo 1980 m. pradėti vykdyti ketaus horizontaliojo tolydinio liejimo technologinių parametų ir liejinių savybių tyrimai. Tai leido įdiegti ypač sudėtingos konfigūracijos ketaus liejinių tolydinį liejimą. Tų darbų rezultatai apibendrinti 1997 m. išleistoje prof. S. Bočkaus monografijoje „Horizontalusis tolydinis ketaus liejimas“. Šiuo metu V. Babiliaus liejininkystės mokslo laboratorijoje vykdomi moksliniai stipriojo ketaus gavimo technologijos bei savybių tyrimai. Tikimasi, kad jie paskatins šią perspektyvią medžiagą gaminti Lietuvos liejyklose. Įdomūs savo turiniu ir originalumu yra doc. J. Navasaičio darbai, nagrinėjantys senovinės lietuvių geležies kilmę, sudėtį ir struktūrą. Tokie darbai – tai mūsų praeities technikos istorijos išaiškinimas ir jos pateikimas

plačiajai auditorijai. Jie turi didelę pažintinę ir istorinę vertę. Savo tyrimus Navasaitis apibendrino monografijoje „Lietuviška geležis“ (2003).

Metalotyros srities mokslinė veikla pradėjo sparčiai plėtotis 1964 m., kai į katedrą atėjo dirbti doc. A. Pavaras. Jis subūrė katedros darbuotojų grupę irančių plienų metalotyros klausimams nagrinėti. Buvo tiriamos termocheminės dangos, šampų ir kitos technologinės įrangos tikslumas ir darbingumas. Šiuo metu tiriamas lankinio apvirinimo po flusu procesas. Nagrinėjama apvirintų sluoksnių struktūra, kietumas ir atsparumas abrazyviniam dilimui. Iširta ir kai kurių metalokeramikos dangų temperatūros įtaka struktūrai, kietumui ir dilimui, sukurta tokių dangų gavimo terminiu purškimu technologija. Atliekami daugiachromio mažanglio plieno viršminio plastiškumo grūdinanti ir atleidžiant tyrimai (2.1.1 pav.). Jų metu nustatoma temperatūrų, cheminės sudėties ir bandinių struktūrinės būsenos įtaka plienų viršminiam plastiškumui.



2.1.1 pav. Konstrukcinių medžiagų tyrimus Metalografinėje laboratorijoje atlieka docentai R. Bendikienė, S. Chodočinskas ir G. Žaldarys (2006 m.)

1967 metais doc. K. Tolutis suorganizavo plienų plastinių deformacijų, nuovargio ir irimo procesų tyrimus. Paviršinių sluoksnių plastinės deformacijos tyrimai turi didelę teorinę ir praktinę reikšmę, nes yra nustatyta, kad plastiškumo ir suirimo charakteristikos smarkiai kinta priklausomai nuo paviršinių sluoksnių būsenos, elgsenos ir aplinkos poveikio. Todėl kiekviena metalinių medžiagų sustiprinimo ir suirimo teorija turi įvertinti paviršinius efektus, atsirandančius gamyboje. Šių tyrimų rezultatai apibendrinti J. Vilio, V. Čiuplio, V. Terentjevo, A. Kolmakovo ir V. Kvedaro anglų kalba išleistoje monografijoje „Metalų paviršinio sluoksniu plastiškos deformacijos ypatumai“ (2003).

Lietuvos energetikos institute konstrukcinių medžiagų moksliniai tyrimai atliekami nuo pat jo įkūrimo. Metalų technologijos poskyris 1948 m. buvo įkurtas Lietuvos mokslų akademijos įsteigame Technikos mokslų institute. Iš šio išsiskyrė keli institutai, tarp jų ir Energetikos. Šiuo metu konstrukcinių medžiagų tyrimai atliekami Medžiagų tyrimų ir bandymų laboratorijoje, kurios pagrindinės veiklos kryptys yra:

- metalų senėjimo procesų ir savybių degradacijos dėl eksploatacijos veiksnų poveikio tyrimai;
- vandenilio ir hidridų poveikio cirkonio lydinių mechaninėms ir fizikinėms savybėms tyrimai;
- energetikos objektų įrenginių patikimumo įvertinimas;
- daugiadfunkcinių medžiagų ir naujų struktūrinių savybių kompozitų kūrimas;
- medžiagų bandymai, kokybinių rodiklių įvertinimas ir analizė.

Lietuvos energetikos institute ir KTU Architektūros ir statybos institute atliktų kaitrai atsparių keraminių medžiagų tyrimų rezultatus prof. R. Abraitis apibendrino dviejose monografijose: „Techninės keramikos technologijos“ (1999) ir „Techninės keramikos technologija ir savybės“ (2003).

Su užsienio institutais bendradarbiaujama vykdant bendrus projektus. Pavyzdžiui, Lietuvos energetikos instituto mokslininkai aktyviai dalyvauja COST veikloje. KTU Gamybos technologijos katedros mokslininkai palaiko glaudžius ryšius su Talino, Rygos, Poznanės ir Krokuvos technikos universitetais. Vyksta tarptautiniai seminarai, kačiamasi studentų praktikomis (2.1.2 pav.). Labai puikus metalurgų mokslinio bendradarbiavimo pavyzdys yra Baltijos šalių rengiamos tarptautinės konferencijos (2.1.3 pav.). Jos pradėtos organizuoti prieš 20 m. ir vyksta kasmet vis kitoje Baltijos šalyje. Konstrukcinių medžiagų srities mokslininkai dalyvavo ir skaitė mokslinius pranešimus ir tarptautinėse konferencijose Vokietijoje, Šveicarijoje, Rusijoje, Danijoje, Norvegijoje, Suomijoje, Estijoje, Latvijoje, Lenkijoje, Slovakijoje, Graikijoje ir kt. Yra išspausdinta mokslinių straipsnių įvairių šalių moksliniuose žurnaluose.



2.1.2 pav. Medžiagų inžinerijos specializacijos studentai UAB „Panevėžio ketus“ licijloje 2009 m.



a)



b)



c)

2.1.3 pav. Vaizdai iš Baltijos šalių tarptautinės konferencijos „Medžiagų inžinerija-2008“. Kaune:
a – dalyvių registracija; b – konferencijos atidarymas; c – studentų pranešimų sekcija

Medžiagų mokslas plėtojamas aktyviai bendradarbiaujant su Lietuvos pramonės įmonėmis ir organizacijomis: Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacija, Standartizacijos departamentu, Liejyklų asociacija ir kt. Konstrukcinių medžiagų srities mokslininkai aktyviai dalyvauja leidžiant Lietuvos technikos enciklopediją, rengiant lietuviškus standartus, leidžiant žurnalą *Materials Science (Medžiagotyra)*, populiarina šią mokslo kryptį tarp gyventojų, ypač moksleivių.

2.2. Tekstilės medžiagų tyrimai Kauno technologijos universitete (*Rimvydas Milašius*)

Žodis „tekstilė“ kilo iš lotyniško žodžio *textum*, kuris reiškė audinį. Tačiau ilgainiui šis terminas prigijo visoms tekstilės medžiagoms – nuo pluošto iki sudėtingos konstrukcijos gaminio. Kai kada tekstilei priskiriami ir polimerai, skirti pluoštams gaminti. Tačiau tai nėra teisinga, nes iš to paties polimero dažnai yra gaminami ir netekstiliniai gaminiai. Dėl šios priežasties polimeras, kuris yra skirtas pluoštui gaminti, kai kada vadinamas iktekstiliniu gaminiu, o visos tekstilės medžiagos skirstomos į keturis lygmenis – pluoštus (giją, plaukelis), siūlus, medžiagas (audinys, mezginy s ir kt.) bei gaminius (drabužiai, kompozitai ir kt.). Kiekvienas aukštesnio lygmens gaminy s dažniausiai yra gaminamas iš prieš tai esančio lygmens produkto, tačiau yra ir išimčių – pavyzdžiui, tekstiliniai kompozitai gaminami iš visų trijų žemesnių lygmenų produktų – tiek iš pluoštų, tiek iš siūlų, tiek iš audinių; pinti gaminiai dažniausiai gaminami iš siūlų, o ne iš medžiagų.

Šiandieninė tekstilė – tai net tik drabužiai ar baldų apmušalai, tai ir filtrai, transporteriai, diržinės pavaros, neperšauamos liemenės, nedegi ugniagesio apranga, dirbtiniai organai (kraujagyslės, raiščiai, širdis ir kt.), automobilių korpuso detalės ar net visas korpusas, lėktuvų sparnai, kosminių laivų dalys arba tik paprasčiausia meškerė žvejo rankose.

Tekstilės mokslas apima kur kas platesnę sritį nei vien tik tekstilės medžiagų savybių tyrimas. Pagal Lietuvoje galiojančią tarptautinę klasifikaciją tekstilės mokslas priskiriamas technologijos mokslų sričiai, medžiagų inžinerijos krypčiai, tekstilės technologijos šakai. Šaka vadinasi ne tekstilės medžiagos, o tekstilės technologija, nes medžiagų savybės priklauso ne tik nuo žaliavos, tai yra iš ko padaryta medžiaga, bet ir nuo jos konstrukcijos (struktūros) bei gamybos būdo, t. y. technologijos. Tačiau, nenorint per daug išsiplėsti į sudėtingas inžinerinių konstrukcijas bei veikimo principus, šiame skyrelyje daugiau bus nagrinėjamos tekstilės medžiagų kūrimo bei jų savy-

bių tyrimo mokslo raida, paminint tik kai kuriuos išskirtinius technologinius pasiekimus.

Tekstilės mokslo pradžia. Tekstilės mokslo pradžia iprasta laikyti 15 a. pabaigos – 16 a. pradžios sandūrą, kai prasidėjo patys pirmieji tekstilės medžiagų savybių tyrimai bei gamybinių įrenginių modernizavimas. Vienu pirmųjų ir, turbūt, reikšmingiausiu to laikmečio tekstilės tyrinėtoju galima laikyti Leonardo da Vinci – tikrą žmonijos genijų, kuris dirbo labai įvairiose srityse (2.2.1 pav.). Tai jis sukūrė visiškai nauju principu veikiančių siūlų verpimo įrenginį, kurį dabar vadiname kaimišku verpimo rateliu ir kurį žino kiekvienas. Šis Leonardo da Vinci išradimas padėjo tikrą revoliuciją tekstilės gamyboje – buvo sukurtos prielaidos didinti tekstilės medžiagų gamybos našumą ir atpiginti tekstilės medžiagas. 1773 m. anglų mokslininko J. Kay išrasta skriejančioji šaudyklė (kinematiškai nesusieta su audimo staklėmis) bei R. Arkwrighto žiedinis verptuvas padėjo pagrindus pramonės revoliucijai. Šie atradimai laikomi vienais iš trisdešimties didžiausių žmonijos tūkstantmečio įvykių [1].

Vėliau tekstilės medžiagų savybės intensyviai tyrinėjo garsūs pasaulio fizikai. Prancūzas R. Reamuras pirmasis nustatė, kad siūlų gijos trūksta ne vienu metu, todėl siūlo trūkimo jėga gali būti mažesnė už atskirų siūlo dedamųjų dalių trūkimo jėgų sumą.) Anglas R. Hooke pirmasis aprašė galimybę gaminti tekstilės pluoštus dirbtiniu būdu, tačiau to įgyvendinti tuo metu nepavyko [2].

17 a. pabaigoje Europoje jau buvo sukurtos pirmosios tekstilės medžiagų savybių normos, kokybės vertinimo sistemos bei pačių savybių nustatymo metodai, t. y. pradėjo kurtis tam tikros standartizavimo sistemos, kurios atskiruose regionuose buvo skirtingos. 1750 m. Turine (Italija) buvo įsteigta pirmoji specializuota tekstilės laboratorija šilko savybėms tirti. Ji buvo pavadinata Kondicionu (ital. *Condizione*). 1779 m. panaši laboratorija buvo įkurta ir Lione (Prancūzija). 1801 m. prancūzas J. M. Jacquardas įrenginių parodoje Paryžiuje pristatė įrenginį, kuris, audžiant audinį automatiškai pagal nustatytos programos kortas, valdo kiekvieną metmenų siūlą atskirai. Valdymui buvo panaudota dvejetainė sistema, kuri vėliau buvo pritaikyta informacinė-



2.2.1 pav. Leonardo da Vinci (1452–1519)



2.2.2 pav. Jamesas Clerkas Maxwellas (1831–1879) – relaksacinių reišinių tyrimų pradininkas

se technologijose. Taigi, Žakardo aparatą galima vadinti pirmuoju mechaniniu kompiuteriu.

19 a. tekstilės mokslas perėjo į naują etapą. Prancūzas H. de Chardonnet sukūrė pirmuosius dirbtinius nitroceliuliozinius pluoštus, o garsus škotų fizikas ir matematikas J. C. Maxwellas (2.2.2 pav.), tirdamas šilkinę švytuoklę, nustatė, kad jai negalioja Huko dėsnis, kad šilkinio siūlo ištįsja nėra tiesiogiai proporcinga įtempiui ir kinta bėgant laikui. Šis atradimas padėjo pagrindus tekstilės, o vėliau ir visų kitų polimerinių medžiagų relaksacinių reišinių tyrimams.

Tekstilės mokslo proveržis. Tikras proveržis tekstilės moksle įvyko 20 a. pirmoje pusėje, kai JAV W. H. Carotherio laboratorijoje 1930 m. buvo sukurtas sintetinis poliesterinis pluoštas, o 1935 m. ir poliamidinis pluoštas, papildęs po pasaulį nailono (*nylon*) pavadinimu [3]. Prasidėjo sintetinės tekstilės era. Sintetiniai pluoštai labai greitai užkariavo visą pasaulį – palyginti pigūs, lengvai perdirbami, stiprūs ir ilgaamžiai gaminiai kuri laiką buvo net ištūmę natūralius pluoštus. Pagal santykinį stiprį cN/tex (tex – pluošto ar siūlo ilginis tankis, g/km) nailonas yra daugiau kaip du kartus stipresnis už plieną. 20 a. ketvirtajame dešimtmetyje teoriškai jau buvo žinoma, kaip sukurti pluoštą, daugiau nei 10 kartų stipresnį už plieną: reikia padidinti polietileno orientaciją ir kristalizacijos laipsnį, kuris tuo metu siekė vos 60 %. Tačiau toks didelio stiprio polietileninis pluoštas buvo sukurtas Nyderlanduose tik 1979 m., o pramoninė gamyba pradėta dar po šešerių metų. Taigi prireikė beveik 50 metų, kol technologiškai buvo įgyvendinti moksliniai numatymai. Šio polietileno polimero kristalizacijos laipsnis jau siekė 85 %, o orientacija didesnė nei 95 %. Tokių pavyzdžių tekstilės moksle yra ir daugiau. Jau ketvirtajame dešimtmetyje buvo užpatentuoti pirmieji pluošto elektrinio verpimo būdai, tačiau tik 20 a. pabaigoje tokie irenginiai atsirado laboratorijose, o nanopluoštų kūrimo tyrimai platesniu mastu buvo pradėti tik 20 ir 21 amžių sandūroje. Tai tik keli pavyzdžiai, parodantys, kad naujų medžiagų kūrimas ilgą laiką gali neduoti jokių apčiuopiamų rezultatų, jeigu lygiagrečiai nekuriamos naujos technologijos.

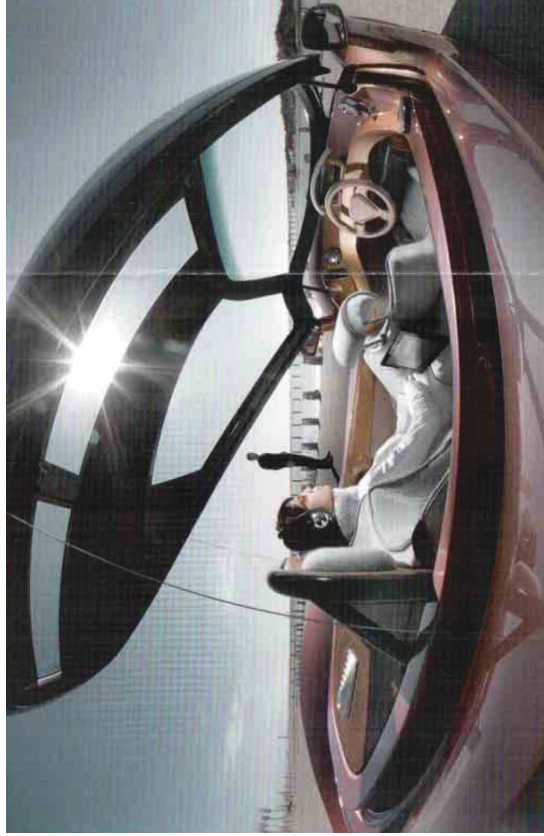
Kuriant naujus pluoštus, kartu sparčiai plėtojosi ir tekstilės medžiagų sandaros įvertinimo bei jos modeliavimo mokslas. Buvo pasiūlyti pirmieji geometriniai audinių ir mezginių sandaros modeliai bei skaitmeniniai audinio sandaros įvertinimo metodai, apimantys ne tik siūlų charakteristikas bei jų tankumus audinyje, bet ir pynimą.

Dar vienas proveržis tekstilės medžiagų moksle įvyko 20 a. šeštajame dešimtmetyje, kai buvo sukurti angliniai pluoštai. Šie pluoštai nekeičiantys savybių iki 1500 °C temperatūros, pasižymi ir gana dideliu (iki 300 cN/tex) stiprumu, ir labai maža (iki 2 %) ištįsa. Per dešimtmetį po anglinių pluoštų sukūrimo JAV kompanija „DuPont“ sukūrė nedegius, savaime užgestančius, kai deguonies kiekis aplinkoje tampa mažesnis nei 32 %, metaaramidinius (*Nomex*) bei ypač didelio (per 200 cN/tex) stiprumo paraaramidinius (*Kevlar*) sintetinius pluoštus [4]. Laikoma, kad tuo metu prasidėjo techninės tekstilės era, kuri tęsiasi iki šiol. Kasmet sukurama arba modifikuojama vis naujų pluoštų. Prognozuojama, kad 2020 m. techniniai pluoštai sudarys iki 40 % visų gaminamų cheminių pluoštų (2000 m. jie sudarė 20 %). Būtent techninė tekstilė ir yra labiausiai plėtojama tekstilės sritis JAV, Japonijoje bei Europos Sąjungoje.

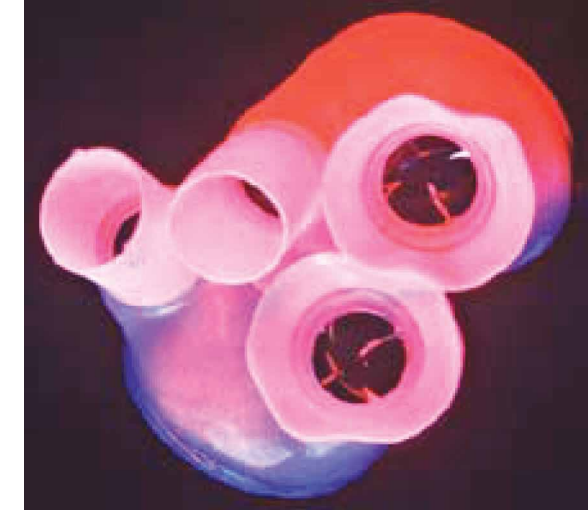
Naujų pluoštų kūrimas yra susijęs jau ir su genų inžinerija. JAV smarkiai plėtojami dirbtinio vorų šilko pluoštų kūrimo tyrimai. Dirbtinis vorų šilkas yra gaunamas iš ožkų, kurioms yra įskiepytas voro genas, pieno. Toks dirbtinis vorų šilkas yra ne tik labai stiprus, bet ir labai perspektyvus medicinoje, nes pasižymi antibakterinėmis savybėmis.

Sunku įvertinti, kokią revoliuciją ateityje gali sukelti 1991 m. japonų mokslininko S. Iijima atrastas anglies nanovamzdelinis, kuris yra beveik 4 kartus stipresnis už didelio stiprio anglies pluoštą [5]. Tai yra stipriausia šiuo metu pasaulyje žinoma medžiaga, kurios plaukelių skersmuo gali būti vos 0,1 nm. Vos 5 % vienasienio anglies nanovamzdelinio pluošto 20 % padidina vieno iš stipriausių (per 300 cN/tex) polibenzoksazolinio pluošto stiprį. Panaudojant anglies nanovamzdelius, JAV Tekaso universitete sukurtas lengvas, tvirtesnis nei plienas ir tampresnis nei guma dirbtinių raumenų audinys, pasiekiantis iki 100 kartų didesnę jėgą, lyginant su tuo pačiu natūralių raumenų tūriu.

Naujos medžiagos – naujos galimybės. Nauji pluoštai, naujos technologijos įgalino tekstilės medžiagas panaudoti visiškai naujose srityse. Lengvi, stiprūs, nekoroduojantys ir ilgaamžiai tekstiliniai kompozitai šiuo metu naudojami įvairiausiose srityse – nuo kasdienio vartojimo reikmenų iki automobilių, lėktuvų ar net kosminių laivų konstrukcijų gamybos (2.2.3 pav.).



2.2.3 pav. 2009 m. techninės tekstilės parodoje Frankfurte (Vokietija) demonstruotas ypač lengvas automobilis, kurio korpusas pagamintas vien tik iš tekstilės



2.2.4 pav. Dirbtinė tekstilinė žmogaus širdis

Tekstilės medžiagų panaudojimas medicinoje laikomas viena iš sparčiausiai plėtojamų naujų tekstilės taikymo sričių. Šiuo metu yra naudojamos ne tik dirbtinės kraujagyslės, raiščiai ar protezai, bet yra sukurti ir dirbtiniai tekstiliniai širdies vožtuvai ar net visa dirbtinė širdis (2.2.4 pav.).

Nanopluošinių medžiagų panaudojimas medicinoje įgalina plačiau naudoti tekstilinius implantus. Nanopluošinė struktūra yra labai artima žmogaus audinių sandarai ir ją padengtas implantas gerokai lengviau priimamas žmogaus orga-

nizmo. Be to, akutės, esančios nanopluoštinėje dangoje, yra tokios mažos, kad pro jas negali prasiskverbti nei bakterijos ar virusai, nei raudonieji kraujo kūneliai – kraujas neprasigeria pro tvarstį, tačiau žmogaus kūnas gali kvėpuoti ir žaizda geriau gyja.

Dar viena sritis, kur naujos tekstilinės medžiagos turi dideles perspektyvas – tai interaktyvūs gaminiai, t. y. gaminiai, galintys aktyviai reaguoti į aplinkos poveikius. Tokio tipo tekstilės medžiagos ypač plačiai naudojamos medicinoje, pavyzdžiui,



2.2.5 pav. Optinio kamufliažo apsiaustu apsirėngęs žmogus tampa kiauurai permatomas

ir, panaudojant optinio kamufliažo sistemas, žmogus, dėvintis drabužį iš tokios medžiagos tampa kiauurai permatomu.

Tai tik dalis sričių, kuriose tekstilės medžiagos pastaraisiais metais įgyja ypatingą reikšmę. Naujos medžiagos ir iš jų pagaminti gaminiai yra labai svarbūs karinėms sistemoms. 1999 m. JAV generolas J. P. Kernas yra pasakęs: „Jeigu mes esame geri, o mes tokie ir esame, 2025 m. kareivis bus toks pat efektyvus, kaip 1995 m. tankas“. Ir, jo žodžiais tariant, raktą šioms durims atidaryti teikia tekstilės tyrimų taikymas [6].

Tekstilės mokslas Lietuvoje. Tekstilės mokslo Lietuvoje pradininkas yra prof. Juozas Indriūnas (2.2.6 pav.), kuris po dvejų metų stažuotės Vokietijoje, Štutgarto ir Drezeno aukštosiose mokyklose, 1932 m. spalio pirmomis dienomis Kauno Vytauto Didžiojo universitete pradėjo dėstyti tekstilės kursą [7].

1936 m. ankstyvą pavasarį J. Indriūnas apgynė pirmąją Lietuvoje tekstilės srities daktaro disertaciją, o metų pabaigoje ir habilitacinį darbą, ir tapo pirmuoju ir ilgą laiką, iki šeštojo dešimtmečio, vieninteliu medžiagų inžinerijos srities habilituotu daktaru Lietuvoje. J. Indriūno tekstilės medžiagų varginimo

tyrimai tęsėsi kelis dešimtmečius, buvo parengta daug mokslo daktarų. Jis nagrinėjo įvairius varginimo reiškinius ir dėl jų atsirandančias pasekmes.

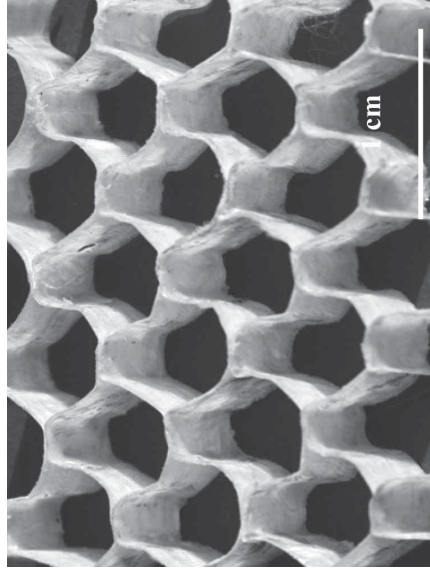
Pirmasis J. Indriūno doktorantas ir antrasis po savo vadovo Lietuvoje apgynęs tekstilės srities daktaro disertaciją, o 1964 m. ir habilitacinį darbą buvo Al-girdas Matukonis, kuris išsisus penkis dešimtmečius aktyviai dirbo mokslinį darbą, tiriant cheminių bei heterogeninių tekstilės medžiagų relaksacines savybes, ir savo grupėje parengė net 41 mokslo daktarą. 1975 m. tekstilės srities habilituotu daktaru tapo ir dar vienas buvęs J. Indriūno doktorantas – Vytautas Milašius, kuris Kauno technologijos universitete taip pat 50 metų dirbo tekstilės medžiagų relaksacinių savybių tyrimo bei audinių struktūros įvertinimo srityse. Per visą tą laikotarpį buvo apginta daugiau kaip 20 habilitacinių darbų (arba pereita habilitacijos procedūra), daugiau kaip 150 daktaro disertacijų, 16 mokslininkų tapo profesoriais.



2.2.6 pav. J. Indriūnas (1896–1989) – tekstilės mokslo Lietuvoje pradininkas

Šiuo metu tekstilės tyrimai atliekami dvejose mokslo įstaigose – Kauno technologijos universitete ir Lietuvos tekstilės institute. Keičiantis poreikiams įvairiais laikotarpiais buvo

atliekami labai įvairūs tyrimai – nuo natūralių pluoštų savybių, tarp jų ir tokių kaip dilgėlių ar sojų pupelių baltymo pluošto, iki skraidančių aparatų detalių bei kosmonautų aprangos kūrimo. Šiandien labai kas žino, kad septintajame dešimtmetyje Kaune buvo kuriamos ir bandomos gaminti dirbtinės austos kraujagyslės, o devintajame dešimtmetyje – medžiagos SSRS kosmi-



2.2.7 pav. Lietuvoje sukurtas kosminės stoties „Sojuz“ vidinės sienelės tekstilinis kompozitas

niams laivams: termoizoliacinis sluoksnis kosminiam laivui „Buran“ bei vidinės sienelės kosminiai stočiai „Sojuz“ (2.2.7 pav.).

Kauno technologijos universiteto mokslininkų darbai naujų cheminių pluoštų savybių tyrimo, audinių bei mezginių sandaros įvertinimo, tekstilės medžiagų elgsenos prognozavimo srityse, jų novatoriškumas yra pripažinti visame pasaulyje. Kasmet vidutiniškai daugiau nei 20 mokslinių straipsnių publikuojama įvairiuose aukščiausio mokslinio lygio žurnaluose ar kituose mokslo leidiniuose iš *ISI Web of Science* sąrašo. Pastaraisiais metais ypač suaktyvėjo tyrimai techninės tekstilės srityje. 2006 m. Kauno technologijos universiteto Tekstilės technologijos katedrai įsigijus ypač modernią nanoplaušto elektrinio verpimo įrangą „Nanospider“ (2.2.8 pav.), smarkiai išplėtoti nanoplaušto ir nanogijų formavimo technologijos, struktūros ir savybių tyrimo darbai.

KTU dėstytojai skaito kursus AUTEX – Europos universitetų, rengiančių tekstilės specialistus, asociacijos E-TEAM magistrantūros programoje. Tai rodo aukštą Lietuvos tekstilinkų profesinį lygį.

Tekstilės mokslo laimėjimai buvo įvertinti valstybiniu mastu – septynis kartus Lietuvos tekstilinkai buvo apdovanoti Lietuvos mokslo premijomis (iki 1990 m. Respublikinės premijos). Antai prof. A. Matukonis šia premija buvo įvertintas net tris kartus, o prof. V. Milašius – du kartus. Prof. A. Matukonis (1997 m.) ir prof. V. Milašius (1999 m.) Lietuvos Respublikos Prezidento buvo apdovanoti Didžiojo Lietuvos kunigaikščio Gedimino penktojo laipsnio ordinais.



2.2.8 pav. Nanoplaušto elektrinio formavimo laboratorinis įrenginys „Nanospider“

Literatūra

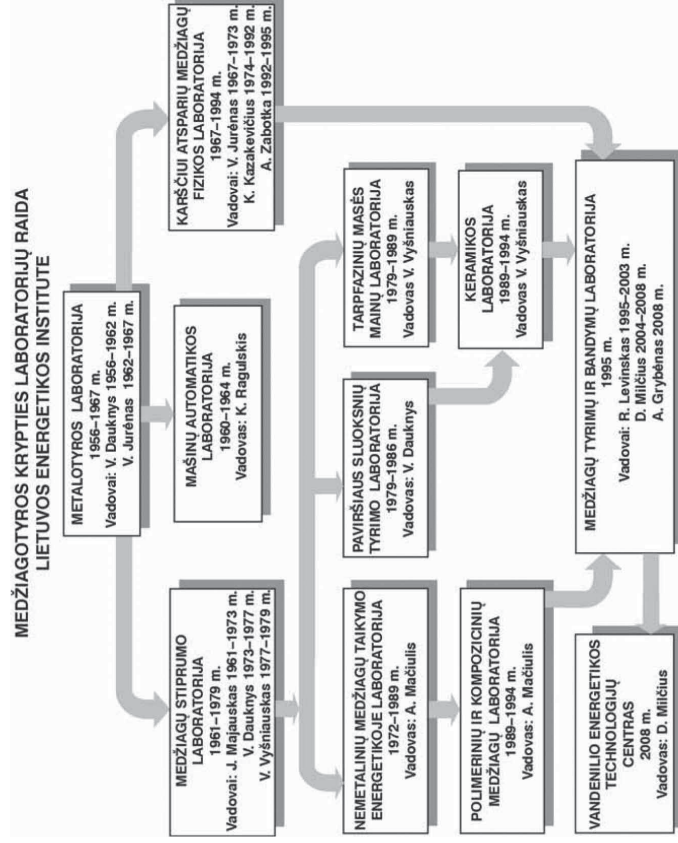
1. Reporting on a thousand years. *The Economist*, Millennium special edition, December 31st 1999.
2. A. Matukonis ir kt., *Tekstilės medžiagotyra*, 1989.
3. Edited by T. Row. *Interior textiles*, Woodhead publishing limited, 2009.
4. R. Milašius ir kt., *Tekminės tekstilės medžiagos ir jų savybės*, Vtae litera, 2007.
5. Edited by P. J. Brown and K. Stevens. *Nanofibres and nanotechnology in textiles*, Woodhead publishing limited, 2007.
6. P. Leitch, T. H. Tassinari. *Interactive Textiles: New Materials in the New Millenium*. Part 1. *Journal of Industrial Textiles*, 2000, No. 3, P. 173–189.
7. J. Indriūnas, *Aisiminimai*, Technologija, 1996.2.3.

2.3. Polimerų ir kompozitų tyrimai Lietuvos energetikos institute (Rimantas Levinskas)

Ši veikla prasidėjo 1956 metais, kai reorganizuotame Fizikos-technikos institute, pavadintame Energetikos ir elektrotechnikos institutu, buvo įkurta Metalotyros laboratorija, kurioje buvo atlikti pirmieji polimerinių medžiagų – plastikų tyrimai. Tolesnė LEI laboratorijų raida pavaizduota 2.3.1 pav. Tais laikais mokslininkai tyrė mašinų detalių dilumą, taip pat galimybes įvairiais fizikiniais metodais atnaujinti ir sustiprinti jų paviršius. Tuomet išryškėjo perspektyvi įvairių polimerinių medžiagų panaudojimo mašinų detalėms kryptis – trinties porų formavimas slydimo guoliuose. Kita laboratorijos tyrimų kryptis buvo sintetinių klijų kūrimas. Pažymėtina, kad pirmasis polimeras, davęs pradžią polimerinių ir kompozicinių medžiagų tyrimams, buvo kapronas. Įdomiausia tai, kad, eksperimentams trūkstant kaprono, kaip žaliavą išradungmo nestokojantys darbuotojai pirkdavo tuo metu ypač populiarias ir brangias moteriškas kapronines kojines ir iš jų formuodavo bandinius. Taigi, 1960 m. iš kaproninių kojinių buvo pagamintos pirmosios automobilių lingių įvorės tuometinei Kauno autoremonto gamyklai. Kaip buvo sukurta kaprono įvorių liejimo technologija, buvo aprašyta laboratorijos mokslinėje ataskaitoje.

1961 m. laboratorijos vadovaujantieji mokslo darbuotojai įkūrė Medžiagų stiprumo laboratoriją, kurios užduotis buvo plėtoti medžiagų tyrimus aukštesse temperatūrose. Įkurtoje laboratorijoje susiformavo polimerinių medžiagų tyrėjų grupė, vadovaujama jaunesniojo mokslinio darbuotojo Adomo Mačiulio. Jo dėka buvo išplėtoti polimerinių medžiagų ilgaamžiškumo didinimo jas stabilizuojant tyrimai. Ši tematika ypač populiari buvo SSRS ir užsienyje. Pasirinkimą nulėmė ir galimybė susipažinti su straipsniais žurnaluose „Vysokomolekuliarnyje sojedinenija“, „Plastičeskije massy“, „Lakokrasočnyje materialy i

ich primenenijė“, „Journal of Applied Polymer Science“, „Macromolecules“, „Polymer“. Didesnį postūmį kurti ir tirti polimerines medžiagas davė pradėta eksploatuoti Vilniaus plastmasinių dirbinių gamykla. Iki 1972 m. buvo pabaigti 7 mokslo tiriamieji darbai, 10 ūkiskaitinių darbų, paskelbtos 58 mokslinės publikacijos, padaryti 56 pranešimai mokslinėse konferencijose, gauti 5 išradimų liudijimai, apgintos 6 mokslų daktaro disertacijos. Apie 70 % atliktų darbų sudarė polimerų fizikinių-cheminių ir mechaninių savybių prieš stabilizavimą ir po jo bei senėjimo proceso moksliniai tyrimai.



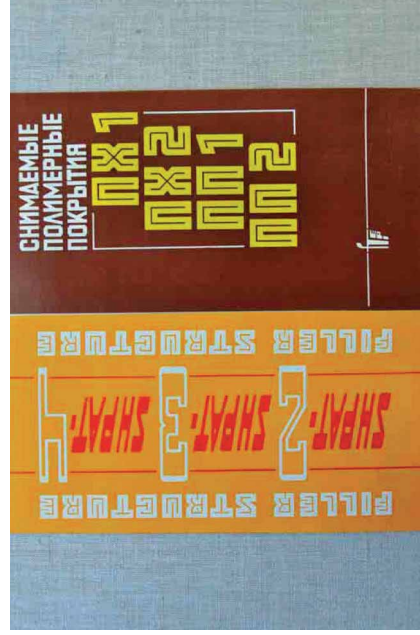
2.3.1 pav. LEI medžiagotyros laboratorijų raida

1972 m. Lietuvos mokslų akademijos prezidentimas nutarimu Nr. 10 pervadintame Fizikinių – techninių energetikos problemų institute leido įkurti Nemetaliųjų medžiagų taikymo energetikoje laboratoriją. Patvirtinta tyrimų kryptis – polimerinių medžiagų modifikavimas ir jų ilgaamžiškumo nepalankiomis eksploataciji sąlygomis nustatymas. Tuo metu tai buvo jau nemažas mokslo padalinys, kuriame dirbo 16 darbuotojų, tarp jų 4 mokslų daktarai. Vadovas – mokslų daktaras Adomas Mačiulis. Laboratorijos tematika pirmąjį

jos gyvavimo dešimtmetį vis plėtėsi, aprėpdama branduolinei energetikai aktualią tematiką. Atitinkamai augo disertacijų apsigynusių mokslo darbuotojų skaičius. 1981 m. buvo įsteigtas Polimerinių apsauginių dangų sektorius. Jam vadovo dr. Audronis Kviklys. 1982 m., švenčiant laboratorijos dešimtmetį, dirbo jau 30 darbuotojų. 1989 m. laboratorija buvo pavadinta Polimerinių ir kompozicinių medžiagų laboratorija. Ypač išplėtoti nuo mechaninio ir korozijos poveikio bei radiacinio užterštumo saugančių nuplėšiamųjų dangų tyrimai. Tuometinėse laboratorijos patalpose (Laisvės al. 53) analizinė tyrimų įranga užėmė tris pastato aukštus, o technologinė buvo pusrūsiose. 1987–1991 m. tuose pusrūsiose buvo įkurti vadinamieji gamybiniai mini cechai, kuriuose buvo gaminami didelės adhezijos glaistai bei storasluoksnės daugkartinės dangos. Ši šimtais kilogramų gaminama produkcija atrado praktinį pritaikymą ir Lietuvoje, ir sąjunginių respublikų pramonėje. Ypač populiarius buvo didelės adhezijos ŠPAT serijos glaistai, sukurti A. Grybėno. Juos sėkmingai naudojo Kauno ketaus liejykla „Centrolitas“, Garliavos mašinų remonto gamykla ir kt. Pažymėtinas bendras taikomasis darbas, 1988 m. atliktas Irkutsko aviacijos gamyklos filiale, bendradarbiaujant su prof. V. Židoniu ir kitais Kauno politechnikos instituto (dabar KTU) Klaipėdos filialo mokslininkais. Darbui vadovavo R. Levinskas. Buvo sukurta automatizuota storasluoksnų daugkartinų polimerinių kompozicinių dangų formavimo ant ypač tikslų metalo apdirbimo įrankių technologinė linija. Laboratorijos darbuotojai kūrė ir polipropilenines (V. Makarevičius), ir polivinilchloridines (V. Kugelevičienė, R. Levinskas) kompozicijas. Reikėtų paminėti, kad jau tuomet laboratorijoje buvo suformuota mokslinių pasiekimų reklamos – rinkotyros strategija. Dabar tai atrodytų primityvu, tačiau ŠPAT, polipropileninių ir polivinilchloridinių kompozitų reklaminiai stendai buvo eksponuojami tuomet prestižiškiausioje Lietuvos reklaminis bukleto (VDNCH) Maskvoje, platinant mūsų pačių sukurtus reklaminis bukleto (pav. 2.3.2). Paradoksalu, bet bendradarbiaujimas su Vilniaus šlifavimo mašinų gamykla užsimezgė kaip tik šioje parodoje. Vėliau jis peraugo į ilgalaikę mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros sutartį siekiant praktiškai įdiegti nuo mechaninių ir korozijos pažeidimų saugančias bei produkcijai pakuoti skirtas dangas. Šiuos mūsų bukleto pastebėjo ir Rusijos aviatoriai, dėl to dangos buvo išbandytos Irkutsko aviacijos gamyklos filiale ir priimtos naudoti kartu su sukurta technologine linija. Tos polimerinės dangos leido sumažinti brangių įrankių mechaninius pažeidimus eksploatacijos procese ir korozijos įtaką sandėliavimo metu bei minimizavo išlaidas įrankių ir metrologinio palaikymo matavimo įrangai.

1992 m. instituto pavadinimas buvo keičiamas į LEI, o Polimerinių ir kompozicinių medžiagų laboratorijos pagrindiniai tyrimai nukreipiami Ignalinos AE poreikiams. Siekiant sumažinti radioaktyviaisiais elementais užterštų deaktyvavimo tirpalų, kurių Ignalinos AE per parą susidarydavo apie 1500 m³,

tūrius, laboratorijoje buvo išplėtotas sausos dezaktyvacijos technologija. Danguos purškimu, teptuku ar voleliu būdavo formuojamos iš specialiai paruošto poliamidinio tirpalo. Sudarius tokias dangas ant radioaktyviomis dulkėmis padengto paviršiaus, polimerinio tirpalo džiovimo metu radioaktyviosios dalelės imobilizuojamos į lengvai nuplėšiamų (atplėšimo jėga 60–120 N/m) dangų struktūrą. Nuplėšus tokias plėveles, gaunamos kietos ir lengvai supresuojamos atliekos, t. y. dezaktyvavus 100 m² plotą susidaro tik apie 8 – 10 kg radio-nuklidais užterštų polimerinių atliekų. Natūriniai eksperimentai buvo atlikti Ignalinos AE. Jie atskleidė plėvelių storio ir dalelių energijos tarpusavio priklausomybę ir leido nustatyti radionuklidų absorbcijos koeficientą bei padėjo efektyviai panaudoti sausąją dezaktyvaciją reaktorių profilaktinio remonto metu. I. Lukošūtė ir A. Kviklys nustatė, kad polimerinėmis plėvelėmis galima visiškai ekranuoti *beta* daleles, kai jų energija ne didesnė kaip 0,325 MeV, 3 – 14 kartų susilpninti dalelių srautą, kai energija yra 0,3 – 0,6 MeV, ir bent 1,5 – 2 kartus, kai energija yra 1 – 1,2 MeV.



2.3.2 pav. Sąjunginėje liaudies ūkio laimėjimų parodoje (VDNCH) Maskvoje 1987–1989 m. platinti reklaminiai feidiniai, kurie labai išpopuliarino LEI polimerines dangas tuometinėje SSRS

1995 m. LEI buvo atlikta medžiagotyros krypties laboratorijų reorganizacija, kurios metu Polimerinių ir kompozicinių medžiagų, Keramikos ir Karščiui atsparių medžiagų fizikos laboratorijos buvo sujungtos ir įkurta Medžiagų tyrimų ir bandymų laboratorija. Turimą infrastruktūrą ir įgytą kompetenciją, be mokslinių tyrimų, buvo nuspręsta panaudoti akredituojant laboratoriją medžiagų bandymams. Taigi 1996 m. Lietuvos nacionalinė akreditavimo tarnyba patvirtino, kad Medžiagų tyrimų ir bandymų laboratorija atitinka LST EN 45001 reikalavimus ir yra akredituota atlikti karščių atsparių ir izoliacinių

medžiagų bandymus. 1999 m. laboratorijos akreditavimo sritis buvo išplėsta ir gautas Lietuvos standartizacijos departamento Nacionalinio akreditacijos biuro pažymėjimas Nr. LA.01.006. Laboratorija akredituota atlikti ugniai atsparių medžiagų, statybinių skiedinių, silikatinių ir keraminių plytų, bituminių ir polimerinių stogo dangų, polietileningų vamzdžių ir standžios poliuretano putų izoliacijos bandymus. 2002 m. laboratorija buvo perakredituota pagal LST EN ISO/IEC17025:2000 reikalavimus.

Iš praktinio taikymo darbų laikotarpio reikėtų paminėti 0,5 – 1,0 mm storio epoksidinės dangos receptūrą ir jos formavimo ant betono paviršių technologijos bei tam reikalingos įrangos sukūrimą ir išbandymą Ignalinos AE. Tokios technologijos poreikis iškilo, siekiant geriau hermetizuoti avarijų lokalizavimo patalpas, į kurias avarijos metu patekęs radioaktyvus garas turi būti kuo greičiau kondensuotas ir neprasisverbtį pro eksploatacijos metu atsiradusius įtrūkimus ir betono bei metalo konstrukcijų sandūras. Skaičiavimai rodė, kad avarijos metu šiose patalpose betono temperatūra padidėtų 150 °C, o perteklinis slėgis siektų 0,3 MPa. Buvo sukurta kompozicija iš epoksidinės dervos, smulkiadispersio polvinilchlorido ir mineralinio užpildo bei sukurta epoksidinei kompozicijai sumaišyti su kietikliu speciali įranga taip pat skirta ir tolygiai dangai užpurkšti ant hermetizuojamų paviršių (2.3.3 pav.).

Be polimerinių ir kompozicinių medžiagų tyrimų, laboratorijoje buvo išplėtoti aktualūs vandenilio energetikos tyrimai, palaipsniui susiformavo aktyvi jaunųjų mokslininkų grupė, vadovaujama dr. Dariaus Milčiaus. Ši grupė nuo 2008 m. buvo organizuota į Vandenilio energetikos technologijų centrą.

Polimerinių ir kompozicinių medžiagų problematika ir dabar išlieka svarbi Medžiagų tyrimų ir bandymų laboratorijos veiklos kryptis, bet su nauja nanokompozicinių medžiagų tema. Bendradarbiaujama su KTU mokslininkais ne tik COST programos MP0701 veikloje „Naujų funkcinių ir struktūrinių savybių kompozitai iš nanostruktūros medžiagų“, bet ir struktūrinių fondų remiamo mokslo, studijų ir verslo slėnio „Santaka“ projekte. Jame bus realizuojamas „Nacionalinio atviros prieigos ateities energetikos technologijų mokslo centro kūrimo“ projektas. Yra numatyta nemaža investicijų Medžiagų tyrimų ir bandymų laboratorijos įrangai atnaujinti. Iki 2015 metų laboratorija tikisi užimti deramą vietą kuriant naujas kompozicines medžiagas ir jas praktiškai panaudojant įvairiose šalies pramonės šakose.

Pagrindinis visuomenės informavimo apie atliktus mokslo darbus šaltinis yra mūsų paskelbti straipsniai, pranešimai konferencijose, disertacijos, monografijos ir kita publikuota medžiaga. Iki Lietuvos nepriklausomybės atkūrimo metų Polimerinių ir kompozicinių medžiagų laboratorijos darbuotojai paskelbė 222 publikacijas. Iš jų 3,6 % sudarė publikacijos tarptautiniuose žurnaluose, 27,4 % SSRS ir respublikiniuose leidiniuose, 48 autorystės liudijimai. 17 autorystės liudijimų buvo iš polimerų savybes stabilizuojančių sistemų, 14 iš

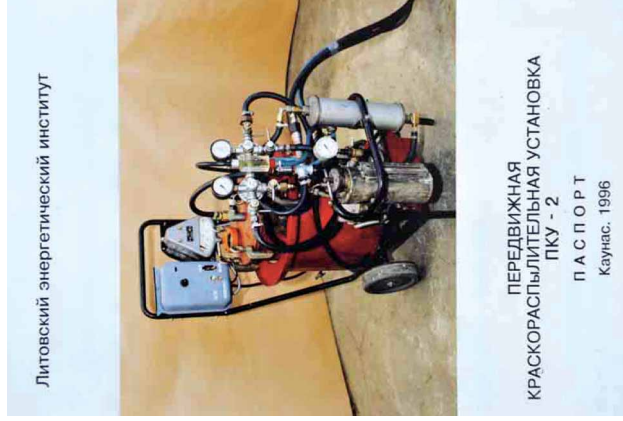
polimerinių kompozicijų ir 4 iš polimerinių dezaktyvavimo dangų. 1960–1991 m. 26 % publikacijų nagrinėjo polimerų stabilizavimo klausimus, 12 % – abliacijos procesus, 12 % – polimerinių medžiagų kūrimą ir savybes, 14 % – dangų paruošimą, jų adhezijos ir savybių tyrimus, o 31 % – įvairių polimerinių medžiagų pokyčius, esant pastoviai ar ciklinei mechaninei apkrovai ir skirtingai temperatūrai. 1964–1973 m. difuzinių būdų stabilizuojant polimerines medžiagas gauti rezultatai buvo apibendrinti 1974 m. A. Mačiulio ir E. Tornau knygoje „Polimerų difuzinis stabilizavimas“.

1992–2010 m. buvo paskelbtos 155 publikacijos, iš jų 32 % sudarė straipsniai tarptautiniuose leidiniuose. Atitinkamai 45 % ir 20 % visų šio laikotarpio publikacijų sudaro informacija apie polimerinių kompozicinių medžiagų ir polimerinių dangų tyrimus. Fundamentinių tyrimų rezultatai buvo apibendrinti A. Kviklio ir R. Levinsko knygoje „Užpildytos polimerinės sistemos ir jų savybės“, išleistoje 2004 m., finansškai remiant Lietuvos mokslo ir studijų fondui. Taigi iš viso LEI darbuotojai nuo 1960 m. paskelbė 377 publikacijas apie polimerų ir kompozicinių medžiagų tyrimus ir taikymą.

Tikimės, kad nauja įranga, įsigyta panaudojant slėnio „Santaka“ struktūrinių fondų lėšas, sudarys sąlygas dar aktyviau įsitraukti į tarptautinius projektus, pakelti kompetenciją, gauti naujų rezultatų ir paskelbti išpūdingų straipsnių prestižiniuose medžiagotyros krypties mokslo žurnaluose.

Literatūra

1. A. Kviklys, R. Levinskas, Polimerų kompozicinių medžiagų tyrimai Lietuvos energetikos institute 1956 – 2006, Lietuvos energetikos institutas 50. ISSN 1392–4044. ISBN 9986-795-46-X, Vilnius, Lietuvos mokslas, 2006, 61, 411–443. [ISI Proc.]
2. A. J. Kviklys, Polimerinių medžiagų tyrimas Lietuvos energetikos institute, Kaunas, LEI, 2002, 87.
3. A. J. Kviklys, R. Levinskas, Napolnennyye polimernyye sistemy i ich svoistva. ISBN 9986-492-82-3, Kaunas, LEI, 2004, 192.



2.3.3 pav. Išpurškimo įranga kietkliui efektyviai paskirstyti epoksidinės kompozicijos srautė ir tolygiai apsauginei dangai suformuoti, sukurta ir išbandyta Ignalinos AE avarijų lokalizavimo patalpų hermetiškumui pagerinti

2.4. Nuo FEI iki MMI (Sigitas Tamulevičius)

Trumputis istorijos. Vykdam aukštojo mokslo sistemos pertvarką, dabartinis Medžiagų mokslo institutas (MMI) 2010 m. vasario 1 d. Kauno technologijos universiteto senato sprendimu buvo integruotas į KTU. Jo pirmtakas, Fizikinės elektronikos institutas (FEI), buvo įsteigtas 1994 m., reorganizavus ankstesnį Kauno radijo matavimų technikos mokslinio tyrimo instituto ūkiskaitinį padalinį – Pusiaidininčių mikroelektronikos mokslinį centrą „Mikrolira“. 2003 m. FEI buvo reorganizuotas į universitetinį mokslo institutą, steigėjo funkcijas pavedant vykdyti KTU. Taigi mūsų institutas, kuris veikia jau šešiolika metų, vėl tapo akademiniu universiteto padaliniu. Institute dirba 32 darbuotojai, iš jų vienuolika mokslo daktarų ir vienas habilituotas daktaras, yra šeši doktorantai ir trys stažuotojai. Institutas suskirstytas į penkias laboratorijas: Paviršių ir plonasluoksnių darinių mokslo laboratorija (ved. dr. M. Andrulevičius), Mikrolitografijos mokslo laboratorija (ved. dr. V. Grigaliūnas), Vakuuminių procesų mokslo laboratorija (ved. dr. Š. Meškinis), Fizikinės ir cheminės analizės mokslo laboratorija (ved. dr. I. Prosyčėvas) ir Technologijų plėtros mokslo laboratorija (ved. dr. P. Narmontas). Institutas turi šiuolaikinę technologinę ir analitinę įrangą, kuri leidžia atlikti mikro- ir nanotechnologijų eksperimentus bei medžiagų ir struktūrų atominės ir cheminės sandaros tyrimus ir nustatyti daug jų savybių.

Pagrindinė KTU Medžiagų mokslo instituto tyrimų kryptis – paviršių bei mikro- ir nano- technologijų inžinerija, orientuota į taikomuosius darbus. Paviršių dangoms naudojamos naujos medžiagos ir šiuolaikinės technologijos. Mūsų taikomieji moksliniai tyrimai yra susiję su eksperimentinės plėtos darbais optinės dokumentų apsaugos srityje. Bendradarbiaujame su Lietuvos bei užsienio mokslo institucijomis ir su Lietuvos pramonės įmonėmis. Šiems darbams institute sukurta technologija, naudojami fiziniai ir cheminiai procesai. Optiniais, plazminiais ir lazeriniais metodais gaminamos specialios apsaugos priemonės, kuriose naudojami optiniai efektai.

GaAs laiko spiraleje. Išgyvenę keletą reorganizacijų ir jau būdami visaisiais KTU nariais, daugelis Instituto darbuotojų su tam tikra nostalgija dar mena 1980 metus Radijo matavimų technikos mokslinio tyrimo instituto padalinyje, o vėliau, jau nepriklausomybės metais, kai FEI buvo kuriami ir nedidelėmis partijomis gaminami originalios konstrukcijos GaAs maišikliniai ir Šotki (angl. Schottky) detektoriniai diodai su sijiniais kontaktų išvadais. Kiti gaminti prietaisai – varikapai, veikiantys gigahercinių dažnių diapazone, mažo triukšmo lauko tranzistoriai bei stroboskopiniai keitikliai, dažnai naudojami radijo matavimų precizinėje aparaturoje (2.4.1 pav). Varikapai pasižymėjo dideliu talpos keitimo koeficientu, kuris siekė iki 12. Iki tol SSRS pramonė

gaminio varikapus, kurių keitimo koeficientas neviršijo 4. Šie varikapai buvo gaminami tuometinei besikuriančiai Rusijos palydovinės televizijos sistemai. Iširus SSRS, susidarė įdomi situacija, kai elektronikos komponentus Rusijos elektronikos pramonės įmonės, gaminančios prietaisus karinei pramonei, vis dar pirkto Lietuvoje. Tačiau nuo 1991 m. šią „spragą“ rusai pašalino. Sukūrus atitinkamas technologijas ir prietaisus Rusijoje, užsakymų iš Lietuvos buvo atsisakyta. Užsakovai nepaisė ir pasirašyto paskutinio kontrakto, – iš instituto taip ir nenupirko jau pagamintų 0,2 mln. varikapų. Praradus SSRS rinką, teko visai atsisakyti šių elektronikos gaminių, nors tam laikui buvo pasiektas gana geras technologinis lygis. Pavyzdžiui, 1997 metais, kai pagrindinė mokslinių darbų tematika buvo susijusi su A_3B_5 puslaidininkinių prietaisų ir jiems naudojamų medžiagų technologija, Kaune gaminamų GaAs lauko tranzistorių užtūros sluoksniu plotis jau buvo sumažintas iki 0,25 μm , o jo technologijoje buvo naudojama elektroninė litografija. Tačiau mokslininkų sukaupta patirtis ir technologinės galimybės leidžia ir toliau plėtoti puslaidininkinių prietaisų technologijas. Šiuo metu institute yra tobulinamos ir nedidelėmis partijomis gaminamos GaAs terahercų diapazono spinduliuotės spektroskopinių sistemų antenos ir šio spinduliavimo detektoriai pagal UAB „Teravil“ užsakymus.



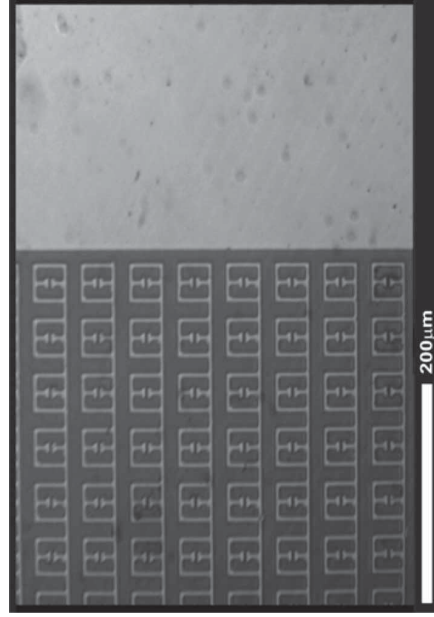
a



b

2.4.1 pav. GaAs diodų gaminimo būdo išradimo autorystės liudijimas (SSRS patentas), autoriai S. Smetona, A. Mkrtyan, H. Skorobogatov, V. Baltrušaitis (a); skruzdė, pamynusi GaAs varikapą, kuris buvo pagamintas FEI 1987 metais (b)

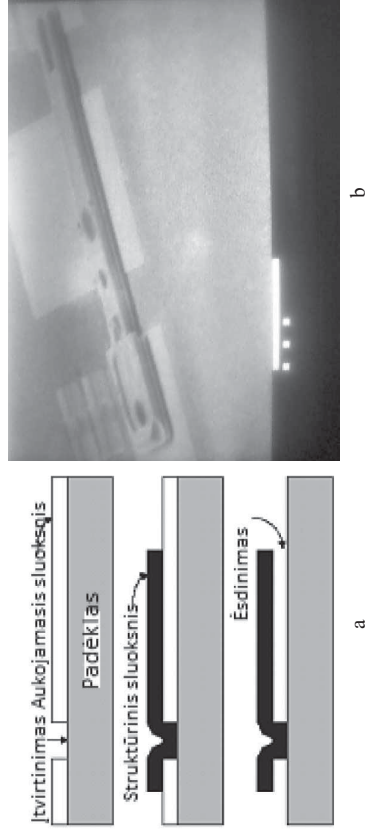
Kita GaAs taikymo sritis – įvairaus elektromagnetinių bangų dažnių diapazono, taip pat ir terahercinio diapazono, metamedžiagos – struktūros, pasižyminčios rezonansinėmis savybėmis ir rezonansiniu atsaku. Planarinės metamedžiagų struktūros paprastai būna sudarytos iš rezonatorių, kurių kons trukcijoje suformuoti trūkiai. Jie veikia kaip terahercinės spinduliuotės filtrai ar selektyvaus atspindžio paviršiai. Įsisavinant terahercinį diapazoną spektros kopijos ar saugumo reikmėms, reikalingi prietaisai ir komponentai, leidžiantys generuoti, detektuoti ir valdyti terahercinio diapazono spinduliuotę. Pasaulyje, deja, nėra universalių terahercinio diapazono perjungėjų, moduliatorių ar fazės keitiklių. Bene svarbiausia metamedžiagų savybė, yra ta, kad jos gali būti valdomos dinamiškai – tiek elektriškai, tiek optiškai. Parinkus tinkamą rezonansinių elementų konfigūraciją, galima sukurti efektyvius terahercinio diapazono moduliatorius bei supergreitus jungiklius ir, naudojantis jais, manipuluoti terahercine spinduliuote. Tokiems rezonansiniams elementams gaminti naudojami Šotkio kontaktai, suderinti su rezonansinių struktūrų sistema, ant puslaidininkio – dažniausiai galio arsenido padėklo. Prijungus įtampą, yra valdoma krūvininkų koncentracija talpinėje metalo ir puslaidininkio kontakto srityje, o kartu ir metamedžiagos rezonansinis atsakas. Institute atliekami tokių struktūrų sisteminiai technologiniai ir analitiniai tyrimai. Tyrimams vadovauja dr. Šarūnas Meškis glaudžiai bendradarbiaudamas su Puslaidininkių fizikos instituto prof. G. Valušiu ir jo kolegomis. Taikant sprogdinamosios ir interferencinės litografijos technologijas, buvo sukurti terahercinio diapazono valdomos rezonansinės sistemos kokybės faktoriaus moduliatoriai. Viena iš tokių struktūrų yra pavaizduota skenuojančiuoju elektroniniu mikroskopu padarytoje nuotraukoje (2.4.2 pav.). Tad GaAs ir vėl tapo aktualus, ir vėl mūsų instituto laukia nauji iššūkiai.



2.4.2 pav. Metamedžiaga, pagaminta ant GaAs padėklo (1 μm storio n-GaAs ant Si-GaAs padėklo, ominis kontaktas – ištisinė aikštelė bei rezonatorių sistema (Šotkio kontaktas))

Silicis – patikima medžiaga ne tik elektronikos gaminiams. Elektronikos technologijas, kuriomis ant silicio kristalo kuriami aktyvieji ir pasyvieji elementai, galima pritaikyti ir mikromechanikos prietaisų gamybai. Jau dabar iš silicio pagaminti mikromechaniniai jungikliai – mikrogembės – ne tik gali įjungti automobilių oro pagalves, bet naudojami ir palydovinio ryšio sistemose. Komutacinės mikrogembės daugeliu atvejų yra pranašesnės už tokių pat darbą galinčius atlikti puslaidininkinius tranzistorius. Jos yra atsparesnės radiacijai ir temperatūros pokyčiams.

Mikromechanikos srityje mūsų instituto mokslininkai turi daug žinių ir patirties. Kauno mokslininkų grupė, vadovaujama dr. Viktoro Grigaliūno, yra užpatentavusi originalių mikrotechnologijų taikymo idėjų ir prietaisų. Vienas jų – mikromechaninis elektrostatinis jungiklis. Jis gali būti integruojamas į puslaidininkinius lustus ir gali pakeisti įprastą relę arba lauko tranzistorių automobiliuose bei automobilių patikros įrenginiuose. Jungiklis taip pat gali būti taikomas telekomunikacijų, ryšio ir matavimų technikos prietaisuose, t. y., ten, kur reikia dideliu dažniu komutuoti didelės galios signalus. Veikimo principas pagrįstas tuo, kad, prijungus įtampą prie elektrodo, elektrostatinės jėgos veikiamą mikrogembę palinksta žemyn ir standžiai sujungia kontaktus. Jais gali tekėti iki 1 A stiprio elektros srovė, tačiau išpūdingiausi, žinoma, yra matmenys – mikrogembė, kurios storis tesiekia 2,0 μm , gali perjunginėti srovę iki 100 tūkst. kartų per sekundę. Kadangi pagrindinė medžiaga, ant kurios formuojama gembinė struktūra, yra kristalinis silicis, tai ir jos gamyba gali būti suderinta su bet kuria silicio integrine schema ir su jos aktyviaisiais ir pasyviaisiais elementais.



2.4.3 pav. Mikrorelės technologinio proceso schematinis vaizdas (a) ir skenuojamųjų elektroniniu mikroskopu padaryta gaminio nuotrauka (mastelio žymė – 100 μm) (b) [1]

Šiuo metu vis daugiau dėmesio skiriama kuro mikro-elementams, kurie turėtų būti kelių vatų galios ir tilptų įvairiuose nešiojamuosiuose prietaisuose:

kompiuteriuose, video kameroje, foto aparatuose, nešiojamuose skenuokliuose, baterijų krovikliuose bei įvairioje medicinos įrangoje. Tokiems kuro mikro-elektamentams gaminti taip pat naudojamas kristalinis silicis, o šių sistemų pagrindinis pranašumas yra bent keturis kartus didesnis energijos tankis, tenkantis tūrio vienetui, lyginant su ličio jonų ar nikelio hidridų baterijomis. Tokios sistemos netgi turi specialų pavadinimą (angl. *Silicon energy cells* – silicio energijos elementai). Artimoje ateityje šioje srityje tikimasi proveržio, nes silicio ir su juo suderinamų medžiagų technologijos yra labai gerai išnagrinėtos ir gali būti labai įvairiai taikomos.

Šių kuro mikro-elementų gamyba yra pagrįsta plonų dangų gamybos technologijomis. Šiuo metu tokie elementai dar tik pradedami tirti – nagrinėjama dangų mikro struktūrizavimo ir struktūros įtaka medžiagų laidumui ir elektromentų terminiam stabilumui. Kietojo oksido, pvz. cirkonio, gadolinio oksido, kuro mikro-elementai vadinami μ -Koke. Jie sudaryti iš anodo, elektrolito ir katodo, bet skiriasi nuo didelės galios klasikinių Koke, kurių vienas iš elektrodų yra nikelis ar porėtas YSZ. μ -Koke elektrodai formuojami ant silicio pagrindo. Anode vyksta deguonies redukcijos reakcija – deguonies molekules katalizės metu suskyla į deguonies jonus. Deguonies dujos yra tiekiamos į anodą per siliciję suformuotus mikrokanalus. Norint užtikrinti efektyvų μ -Koke darbą, reikalinga su siliciu suderinta medžiagos membrininė struktūra, porėtas anodas, užtikrinantis stabilų mechaninį ir elektrinį kontaktą su elektrolitu, taip pat efektyvus elektrolitas. Pagrindiniai parametrai, lemiantys kuro elementų efektyvumą, yra sluoksnių mikrostruktūra, elektrolito dangos tankis bei medžiagų joninio laidumo komponentė. Institute šiuos darbus atlieka dr. Brigita Abakevičienė ir prof. Sigitas Tamulevičius. Siekiama sukurti kietųjų oksidų kuro mikro-elementų komponentus: katodą, elektrolitą, anodą ir padėklą. Todėl tiriamos kuro mikro-elementų elektrodų medžiagų savybės. Didelis dėmesys skiriamas μ -Koke, kuriuose kaip konstrukcinė medžiaga yra naudojamas kristalinis silicis, šiuo atveju μ -Koke technologija suderinama su silicio sudėtine lusto ar mikrosistemų dalimi.

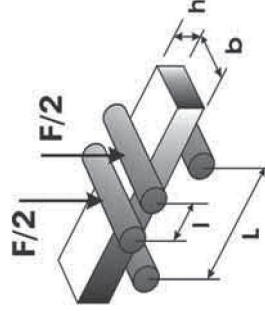
Deimantiskosios amorfinės anglies dangos. Deimantiskosios amorfinės anglies dangos yra sp^2 ir sp^3 ryšiais susijusių anglies atomų plonasluoksniai dariniai, kuriuose vandenilio koncentracija gali kisti nuo 0 iki 60 %. Šių dangų technologija buvo užpatentuota JAV 1980 m., o nuo 1994 m. šios tematikos darbus dirba ir KTU MMI mokslininkai. Darbų pradininkas buvo dr. Saulius Smetona. Dabar darbus tęsia dr. Š. Meškiniš, V. Kopustinskas, dr. R. Gudaitis bei doktorantai A. Tamulevičienė ir A. Vasiliauskas. Institute tiesioginių jonų pluoštelio, plazmos indukuoto cheminio nusodinimo iš įvairių angliavandenių dujų sintetamos deimantiskosios amorfinės anglies, deimantiškųjų anglies nanokompozitų ir kitos hidrogenizuotos amorfinės anglies dangos bei

nanodariniai. Šios dangos pasižymi dideliu kiečiu ($10\text{--}80\text{ GPa}$), mažu trinties koeficientu, atsparumu dilimui, geru šiluminiu laidžiu ($4\text{--}18\text{ W}\times\text{cm}^{-1}\times\text{K}^{-1}$). Šių dangų optinės ir elektrinės savybės, priklausomai nuo auginimo sąlygų, gali būti keičiamos gana smarkiai, pradedant nuo skaidrių UV iki regimosios šviesos diapazono. Parinkus technologines sąlygas, galima plačiose ribose valdyti dangų fizikines savybes.

Dangos gali būti dielektrinės, pusiau izoliuojančios ir netgi laidžios, o jų dielektrinė skvarba gali smarkiai kisti plačiose ribose. Tokios dangos gali būti taikomos jutikliams ir elektromechaniniams mikroprietaisams bei naudojami kaip pasyvūs sluoksniai. Sluoksniai apsaugo nuo mechaninio ir cheminio poveikio, jie suderinami su gyvo organizmo terpėmis, todėl gali būti taikomi medicinoje. Institute yra tirama šių dangų struktūra, adhezinės, optinės, elektrinės bei mechaninės savybės. Šios dangos buvo pritaikytos kuriant spaudus, skirtus trimatėms fotoninėms struktūroms formuoti. Darbai buvo atliekami pagal Europos Bendrosios programos BP6 projektą kartu su Austrijos, Vokietijos, Suomijos, Šveicarijos mokslininkais. Nanometrinio storio deimantiškosios amorfinės anglies dangos formavimas spaudu paviršiuje įgalino valdyti hidrofobines savybes ir iš esmės pagerinti išpildymo litografijos skiriamąją gebą. Metodas leido antrinti

elektronikos prietaisų sudėtingo nanometriinių matmenų reljefo struktūrą.

Maždaug 2005 metais buvo aptiktos ir įvairiuose moksliniuose kolektyvuose pradėtos tirti deimantiškųjų amorfinės anglies dangų piezorezistinės savybės. Mūsų institute buvo atlikti sisteminiai tyrimai, aiškinant šį reiškinį ir stūdomi galimi technologiniai sprendimai (2.4.4 pav.). Dėl piezorezistyvumo dangų keitimo faktorių, kuris yra lygus santykinio varžos pokyčio ir santykinio pa-



2.4.4 pav. KTU MMI sukurtas deimantiškųjų amorfinės anglies dangų piezorezistyvinių savybių tyrimo standas ir mechaninio analogo schemos brėžinys [2]

ilgėjimo santykiui, siekia 40, šias dangas galima panaudoti kaip slėgio jutiklius, tinkamus naudoti agresyviojoje aplinkoje. Mes pademonstravome, kad iš deimantinių dangų storų sluoksnių, suderintų su silicio technologija, galima gaminti smulkius prietaisus ar jų struktūrinius elementus (2.4.5 pav.).

Kita perspektyvi šių deimantškųjų amorfinės anglies dangų taikymo sritis – optiniai jutikliai. Optines dangų savybes galima valdyti parenkant technologinius režimus ar dangų sudėtį. Naudojant šias dangas doktorantas Tomas Tamulevičius pagamino submikrometrinę gardelę ir sukonstravo automatizuotą stendą, kuris leidžia eksperimentiškai matuoti skysčių dispersines lūžio rodiklio kreives realiaame laike.

Aukštosios technologijos dokumentų saugumui užtikrinti. Plačiai paplitus spalvotojo spausdinimo bei kopijavimo technikai, vis aktualesnė darosi valstybės ir asmens dokumentų bei prekių technologinė apsauga. Kai klastotojai pradėjo naudoti didelės skiriamosios gebos spalvoto spausdinimo bei kopijavimo techniką, reikėjo išrasti naujų ir efektyvių apsaugos priemonių, kurių gamybos technologija ir identifikavimas remtųsi daug sudėtingesniais būdais. Efektyviausios yra optiškai kintančios, lengvai vizualiai apazįstamos ir identifikuojamos dangos ir mikrostruktūros, kurių veikimas pagrįstas matomos šviesos difrakcija bei interferenciniais reiškiniais. Jose lazerinės technologijos būdu yra išgaunami erdviniai arba holograminiai daugelio plokštumų vaizdai, paviršiniai kinograminiai efektai.

Jau 15 metų MMI taikoma plonų polimerinių plėvelių formavimo technologija, leidžianti sukurti kinograminius ženklus, pasižyminčius vaivorykštinio efekto ir kinograminiais judesiais [4,5]. Institute 1996 m. buvo įdiegta kinograminių



2.4.5 pav. Mikrostruktūros iš deimantškosios amorfinės anglies dangos, legiruotos SiO_x , su skirtingo pločio tiltais ant kristalino Si padėklo [3]



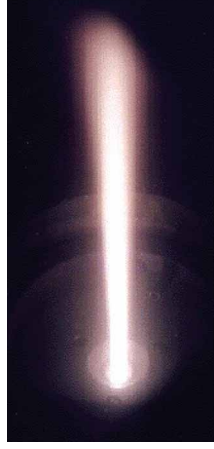
2.4.6 pav. Galvaninė vonia, naudojama auginti nikelio reljefinei matricai

ženklių projektavimo ir originalo gamybos technologija, pagrįsta optine lito-grafija, reaktyviuoju joniniu dulkiniu, mikroreljefo tiražavimu, kietinimu ultravioletiniais spinduliais, grupinės matricos formavimo (jungimo) būdais, lankščios nikelio matricos (spaudimo formos) gamyba, naudojant vakuuminį garinimą bei elektrocheminį nusodinimą, ruloniniu terminiu tiražavimu polimerinėje plėvelėje, padengtoje plonu aliuminio sluoksniu, bei slėgiui jautrių arba termoplastinių klijų dangos suformavimu.

Užtikrinant apsaugos priemonių technologinį lygį, kad jos ne tik atitiktų aukščiausius standartus, bet ir būtų unikalios savo kokybinėmis charakteristikomis, Institute įdiegta 2D-3D hologramų, taškinių hologramų ir įvairios suderintos technikos, keliančios apsaugos priemonių lygį. Didelių darbų apsaugos technologijom tobulinti atliko instituto mokslininkai dr. Pranas Narmontas, dr. Mindaugas Andrulevičius, dr. Viktoras Grigaliūnas.

Plazminių procesų taikymas makroskopiniams objektams – naujoji MMI tyrimų kryptis. Vykdam projektus su UAB „Technologija“ ir KTU mokslininkais, kuriuos koordinuoja dr. Šarūnas Meškinnis, buvo atlikta naujų dangų paieška. Iširtas WC-Co,

chromo karbido ($\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$), nikelio chromo boro silicido (NiCrB-Si) dangų nusodinimas bei purškimas ir sulydymas ant metalinio veleno paviršiaus ir dangų įtaka darbinėms valcavimo velenų sąvybėms. Optimizavus nusodinimo technologiją bei mechanines savybes, buvo sukurtas ir įdiegtas technologinis procesas, skirtas naujų



2.4.7 pav. Plazmotrono argono plazmos fakelo, naudojamo valcavimo velenų plazminiam apdirbimui, vaizdas

velenų valcavimo gamybai ir susidėvėjusių velenų atnaujinimui, kuris padidina jų atsparumą dilimui. Nustatyta, kad purškiant ir veleno paviršiuje sulydant WC-Co miltelius, danga apsaugo plieninį valcavimo veleną nuo dilimo. Ekstremaliomis sąlygomis agresyvioje aplinkoje dirbančių velenų ilgaamžiškumas padidėja 5–6 kartus. Tai reiškia, kad pačių velenų poreikis sumažėja tiek pat kartų. Velenų skersmuo yra iki 350 mm, ilgis 3500 mm, masė iki 3000 kg. Kadangi didžioji dalis UAB „Technologija“ Lietuvoje pagamintų arba renovuotų karštojo valcavimo plieno velenų yra eksportuojami į užsienį, didėja produkcijos eksporto apimtys. Įmonės partneriais ir pagrindiniais užsakovais tapo pasaulinis metalurgijos koncernas „ArcelorMittal“, jo padaliniai Lenkijoje, Slovakijoje, Čekijoje, Rusijos akcinė bendrovė „Severstal“, Nižnij Tagilo akcinė bendrovė „Nižnij Tagilo metalurgijos kombinatas“ (EURAS holdings) besispecializuojanti geležinkelio bėgių, siurblių detalių, hidraulinių cilindrų ir pan. technologijų kūrimu.

Literatūra

1. V. Ostashevicius, S. Tamulevicius, A. Palevicius, M. Ragulskis, R. Palevicius, V. Grigaliūnas. Hybrid numerical – experimental approach for investigation of dynamics of micro cantilever relay system // *Optics and Lasers in Engineering*, 2005, v.43, 63.
2. Š. Meškinis, R. Gudaitis, V. Kopustinskias, S. Tamulevičius, Electrical and piezoresistive properties of ion beam deposited DLC films, *Applied Surface Science* 2008, v. 254, 5252.
3. S. Meskinis, R. Gudaitis, S. Tamulevicius, V. Kopustinskias, A. Gudonytė, V. Grigaliūnas, J. Jankauskas, Micromachining of Diamond like Carbon Deposited by Closed Drift Ion Source for Cantilevers and Membranes // *Materials Sci.-Medžiagotyra*, 2009, v. 15, 201.
4. T. Tamulevicius, S. Tamulevicius, M. Andrulevicius, E. Griskonis, L. Puodziukynas, G. Janusas, A. Guobiene, Formation of periodical microstructures using interference lithography // *Experimental techniques* 2008, v.32, 23.
5. S. Tamulevicius, A. Guobienė, G. Janušas, A. Palevicius, V. Ostashevicius, M. Andrulevicius, Optical characterization of diffractive optical elements replicated in polymers // *Journal of Microlithography, Microfabrication, and Microsystems*, 2006, v.5, 013004.

3 ■ MEDŽIAGŲ MOKSLAS VILNIUJE

3.1. Puslaidininkių medžiagotyra Vilniaus universitete

(Juozas Vidmantis Vaitkus)

Kelios datos. 1833 metais Maiklas Faradėjus nustatė, jog sidabro sulfidas yra blogas elektros srovės laidininkas ir jo laidumas didėja, kai išauga temperatūra. Šis mokslinis darbas tapo pirmuoju įrodymu, kad, be dielektrikų ir elektrai laidžių metalų, gamtoje yra kitokių medžiagų. 20-ame amžiuje jos buvo pavadintos puslaidininkiais.

Fotolaidumo efektas buvo atrastas tiriant seleno savybes. Tiesiant transatlantinį telegrafo kabelį, selenas buvo patogi medžiaga laidams izoliuoti. W. Smitas 1873 m. atkreipė dėmesį, kad Se izoliatoriaus savybės suprastėja, jeigu jis apšviečiamas. 1874 metais buvo atrasta, kad puslaidininkiai išlygina kintamąją elektros srovę, ir nuo 1894 m. jie pradėti taikyti pirmuosiuose radio imtuvuose signalams detektuoti. Tik daug vėliau, po 1920 m., puslaidininkius radio imtuvuose pakeitė vakuuminiai triodai. 1932 m. buvo aptiktas kadmio chalkogenidų jautrumas šviesai. Būtent chalkogenidų puslaidininkiai 20-to amžiaus penktojo dešimtmečio pabaigoje tapo VU Eksperimentinės fizikos katedros tyrimų objektu. Kai puslaidininkių tyrimai VU sustiprėjo, 1960 m. Eksperimentinės fizikos katedra buvo suskaidyta į dvi: Puslaidininkių fizikos (PF) ir Radiofizikos katedras. 1962 metais įsteigta Eksperimentinės fizikos probleminė (nuo 1964 metų Puslaidininkių fizikos probleminė) laboratorija. Plečiantis mokslinei veiklai, 1974 metais dalis darbuotojų perėjo į reorganizuotą Elektronikos katedrą, pavadintą Kietųjų kūrų elektronikos katedrą. Šalia jų kūrėsi ūkiskaitinės ir žinybinės mokslinių tyrimų laboratorijos. 1992 metais laboratorijos buvo pertvarkytos į Taikomųjų mokslų instituto skyrius. 1994 metais institutas susijungė su PF problemine laboratorija ir tapo Medžiagotyras ir taikomųjų mokslų institutu (nuo 2008 m. vėl Taikomųjų mokslų institutu).

Sunki tyrimų pradžia. Pirmuosius puslaidininkių tyrimus VU inicijavo profesorius Povilas Brazdžiūnas. Buvo matuojamas švino sulfido sluoksnių elektrinis laidumas ir Holo efektas. Matavimus atliko jo diplomantai V. Tolutis ir M. Mikalkevičius. Pirmąjį puslaidininkių tyrimo mokslinį straipsnį 1955 m. VU mokslo darbuose paskelbė P. Brazdžiūnas ir E. Sosnauskas. Jame buvo nagrinėjamas Ag_2S fotoelementų jautris rentgeno spinduliuotei. 1950 metais P. Brazdžiūnas į puslaidininkių tyrimus įtraukė asistentą Jurgį Viščaką, kuris Bendrosios fizikos katedroje spektriniais metodais tyrinėjo dirvožemį. Prisi-taikant prie universitete esančio riboto cheminių reagentų sarašo, buvo nutarta pradėti kompleksinius kadmio ir stibio chalkogenidų elektrinių ir fotoelektrinių savybių tyrimus. M. Mikalkevičius tyrė stibio grupės puslaidininkius, J. Višča-kas – CdS ir Se savybes, o A. Širvaitis, tęsdamas staigiai mirusio E. Sosnausko darbus, tyrė CdS, CdSe, CdTe jautrį rentgeno spinduliams.

Pirmasis atrastas reikšmingesis faktas: pastebėta, kad puslaidininkių poli-kristalinių sluoksnių paviršiaus ir tūrio optinės savybės yra skirtingos. Reiškiniį aprašė P. Brazdžiūnas su J. Viščaku (CdSe) ir A. Šileika (Sb_2Se_3). Tada J. Višča-kas subūrė naują jaunų tyrėjų komandą: A. Medešis nagrinėjo dujų įtaką opti-nėms ir elektrinėms medžiagų savybėms, A. Smilga – kontaktinius reiškinius, R. Baltrušaitis – sluoksnių elektrinių savybių priklausomybę nuo dažnio, J. Vait-kui buvo pavesta matuoti fotolaidumo kinetiką ir spektrinį atsaką, S. Stonkus pradėjo auginti puslaidininkių kristalus, V. Guoga ėmėsi ZnO tyrimų. M. Mi-kalkevičiaus komandoje V. Kriščiūnas tyrimams bandė pritaikyti kondensa-torinės fotoelektrovaros efekta, vėliau ėmėsi Se kristalų auginimo ir tyrimo, A. Karpus ir B. Grigas augino ir tyrinėjo stibio chalkogenidų grupės kristalus, A. Juodviršis – Hg_2S , V. Rinkevičius ėmėsi šiluma skatinamų nepusiausvyrių-jų reiškinių tyrimų. Tarp pirmųjų sėkmių pažymėtinas mokslo pasaulyje cituo-tas terminškai stimuliuotos terminės elektrovaros atradimas (M. Mikalkevičius ir B. Grigas). Grįžęs po studijų Maskvoje I. Gaška 1959 m. puslaidininkiams tirti pritaikė mikrobangas, 1961 m. sukūrė rezonatorinį metodą puslaidinin-kių fotolaidumui matuoti. Jis ir iš Leningrado (dabar Sankt Peterburgas) grįžęs J. Požela buvo tarp šių tyrimų pradininkų visame pasaulyje.

Didelį postūmį puslaidininkių tyrimams padarė jauni specialistai, nuo 1956 m. dirbę laborantais Vilniaus pedagoginiame institute: Tadas Banyas, Ignas Gaška ir Josifas Žilevičius. Jie sugebėjo įrodyti, kad baltųjų cinko dažų (ZnO) ir polimerinių klijų BF-2 mišinys yra efektyvi elektrofotografinė medžiaga. Šis atradimas nurodė perspektyvą LTSR Liaudies ūkio tarybai, ir 1956 m. Vilniu-je buvo įsteigtas Elektrofografijos institutas, kuriam vadovauti buvo paskirtas J. Žilevičius.

PF katedrai ėmus vadovauti doc. J. Viščakui, fotolaidumo ir elektrofoto-grafijos tematika tapo vyraujanti. Įsitraukusiam į darbus A. Matulioniui buvo pavesti išilginio fotolaidumo tyrimai. Aktyviai dirbo keletas iš Elektrofografijos

instituto atėjusių mokslininkų: A. Sakalas sukonstravo Holo efekto aparatūrą didelės varžos puslaidininkiams tirti, E. Montrimas išplėtė seleno, o V. Gaidelis ZnO sluoksnių tyrimus. Baigęs KPI, S. Sakalauskas tobulino Kelvino metodą puslaidininkiams tirti. Fotolaidumo taikomųjų darbų kryptį paskatino J. Vaitkus atrastas fotolaidumo atsako spartinimo efektas, dėl kurio fotovaržos inertiškumas sumažėja nuo milisekundžių iki mikrosekundžių. J. Viščas išvelgė perspektyvą panaudoti šį efektą kuriant „kompiuterių akis“. Bendradarbiaujant su Vilniaus skaičiavimo mašinų specialiuoju konstravimo biuru (vad. L. Telksnys) buvo sukurtas pirmasis linijinis daugiakanalis fotodetektorius – „fotoliniuotė“ informacijai įvesti į skaičiavimo mašiną. Maskvos skaičiavimo mašinų mokslinio tyrimo institutui užsakius, buvo pagamintas įrenginys, galintis įvesti iki 2000 spausdintų ženklų per sekundę į kompiuterius „Rūta-701“ ir „Rūta-702“.

PF katedroje buvo modeliuojama krūvininkų generacija ir pernaša elektrofotografinėse medžiagose. Toks modeliavimas buvo svarbus dėl jo akivaizdžios praktinės naudos. Sukurti modeliai ir eksperimentiniai įrodymai buvo paskelbti 1968 metais Pasaulinėje puslaidininkių fizikos konferencijoje Maskvoje. Korporacijos „Xerox“ viceprezidentas P. J. Warter, diskutavęs ir Vilniuje, viešai pripažino, kad VU teorijos modeliai gerai paaiškina elektroninius elektrofotografinių sluoksnių procesus. ZnO sluoksniai buvo pritaikyti elektrofotografinio seismografų popieriaus gamyboje Kauno popieriaus fabrike ir laivų korpusų dideliams metalo ląštams žymėti Nikolajevo laivų statykloje. E. Montrimas su kolegomis iš Elektrografijos instituto parodė, kad Se sluoksniai yra tinkami rentgeno spinduliams registruoti ir nuotraukos būna kokybiškesnės už gaunamas įprastu fotografiniu būdu. Rezultatų įdiegimas bendradarbiaujant su Elektrografijos institutu, buvo įvertintas 1973 metų Valstybine premija. Se sluoksnių tobulinimas suteikė VU katedroms išskirtinę galimybę vidaus dokumentus daugini naudojant kopijuoklį ERA. Nors kopijavimo įrenginį rūpestingai prižiūrėjo SSRS saugumo tarnyba, mes galėjome kopijuoti viską, kas buvo reikalinga moksliniam darbui.

G. Juška nagrinėjo krūvininkų pernašos bei prilipimo procesus išilginio fotolaidumo kinetikų tyrimo metodu. Jis plėtojė darbus, juos susistemino ir 1996 m apibendrino Pasaulinėje puslaidininkių fizikos konferencijoje Berlyne. Tarp kitų svarbių pastekimų G. Juška pateikė įrodymą, kad amorfiniame seleno, t. y. netvarkioje medžiagoje, galima sukelti smūginę elektronų jonizaciją. Panaudojant šį 1980 m. G. Juškos pirmą kartą įrodytą reiškinį, Japonijoje firma „Hitachi“ sukūrė ypač jautrią televizijos kamerą HARP.

Nuo „kompiuterių akių“ iki fotomatrių konstravimo. Pirmosios PF katedros „kompiuterių akys“ plačiau nebuvo pradėtos taikyti, nes Valstybinės komisijos nutarimu informacijai įvesti į kompiuterius buvo numatyta naudoti „magnetinį rašalą“. Sudarant sutartį su Valstybiniu televizijos institutu

(VNIIT) dėl didelės raiškos vidikonų kūrimo, pokalbyje su kito skyriaus atstovais paaiškėjo, kad reikalingas kietakūnis vidikonas su 400×400 pikselių matrica, galintis dirbti pagal techninį televizijos standartą. Matricą pagaminome, deja, tie darbai nebuvo tęsiami, nes VNIIT skyrius nebesugebėjo sukurti vaizdo skleistinės kietakūniam vidikonui įrenginio, o vėliau ir pats VNIIT buvo reorganizuotas. 1969 m. Maskvos institutų dėka vėl atgijo regimosios šviesos fotomatricų kūrimo darbai. Siekdami mažinti gretimų pikselių įtaką, PF katedroje kiekvieną pikselį konstravome iš atskiro diodo su fotorezistoriumi. Svarbiausi darbų vykdytojai buvo dr. A. Smilga ir S. Karpinskas. Tyrimų metu buvo įrodyta, kad Fermio lygmens padėtis metalo ir puslaidininkio sandūroje ar heterosandūroje nulemia puslaidininkio paviršiuje esantys paviršiniai lygmenys. Šis mokslinis rezultatas buvo paskelbtas tarptautinėje heterosandūrų konferencijoje Budapešte 1971 m.

SSRS Elektronikos prietaisų ministerijos instituto specialistai mus „iššifravo“ atradę apleistuose VNIIT'io staliuose mūsų pagamintas veikiančias fotomatrices ir, atvykę į Vilnių, pasiteiravo, ar Puslaidininkių fizikos laboratorija imtųsi konstruoti infraraudonojo diapazono šviesos srities fotomatricą. Sutikome. Darbams vadovavo prof. J. Viščakas, vėliau A. Meškauskas. Programoje konkuravo 18 prestižinių SSRS kolektyvų. Po metų buvo nustatyta, kad tikslo sėkmingai siekia trys institutai, o dar po metų likome mes vieninteliai. Tada mums atskleidė ir projekto tikslą – sukurti erdvėlaivio, numatomo pasiūti į Marsą, išorinio stebėjimo sistemos matricą. Šie darbai buvo vykdomi bandomųjų konstrukcinių darbų (OKR) tvarka. Puslaidininkių fizikos probleminėje laboratorijoje buvo įrengta 4 mikrometrų tikslumą užtikrinanti technologinė linija „Taran-2“ ir pagamintos PbS polikristalinių sluoksnių 128×128 elementų matricos, paskui 256×256 , o vėliau prisiėmė ir miniatiūrinės 32×32 elementų matricos. Pagrindinis PbS sluoksnių technologas buvo dr. J. Sintius, o vaizdo valdymo sistemas kūrė doc. dr. T. Žemaitis. Vėliau mums atsiuntė Halėjaus kometos nuotrauką, kurią padarė VEGA ekspedicijos erdvėlaivis. Mums buvo paaiškinta, kad mūsų matrica buvo tą nuotrauką dariusios fotokameros dublerė. Šią matricą, kaip termovizorių, siūlėme įdiegti Lietuvos sienų apsaugos sistemai, tačiau 1994 m. užsakymo negavome. Įvairias puslaidininkių sluoksnių heterosandūras PF laboratorijoje tada ir vėliau gamino technologas doc. A. Žindulis. Mūsų atskleistos PbS sluoksnių savybės buvo įdiegtos ir vienoje Žemės palydovų serijoje. VU indėlis buvo įvertintas 1988 m. Valstybine premija. Ji buvo skirta J. Vaitkaus su bendraautoriais iš Maskvos ir Ukrainos mokslo centrų.

Medžiagotyros metodų plėtojimas. Nuo 20 a. septintojo dešimtmečio VU PF ir kitose katedrose mokslininkų skaičius didėjo, buvo plėtojami puslaidininkių tyrimo metodai, daugėjo savomis rankomis konstruojamos unikalios matavimo aparatūros, tobulinta ir kristalų augimo įranga. Šie darbai buvo apvai-

nikuoti p-tipo CdSe kristalų, užaugintų R. Baubino, atradimu. Nustatyti p-tipą padėjo A. Sakalo ir J. P. Žilinsko sukurta jautri Holo efekto tyrimo aparatūra. Su ja buvo išmatuota net judrio temperatūrinė priklausomybė stiklškajame selene. A.Sakalas kartu su Z. Januškevičiumi ir A. Martinaičiu sukonstravo Holo efekto tyrimo aparatūrą, kuria buvo galima tirti defektų susidarymą ir transformacijas agresyvioje terpėje ir aukštoje (per 1000 °C) temperatūroje. A. Sakalo sukurti mažos srovės stiprintuvai galėjo išmatuoti labai mažas (iki 10^{-16} A) sroves. Tačiau fizikiniai tyrimai „transformavo“ ir patį prof. A. Sakalą iš inžinierių į „tikruosius fizikus“; 1976 metais jis apgynė Fizikos-matematikos mokslų daktaro disertaciją. Pažymėtinas ir didelio jautrumo Kelvino metodus, pateiktas S. Sakalausko technikos mokslų daktaro disertacijoje. J. Vaitkus panaudojo pakopinio kartotuvo principą mažo jautrio šviesai puslaidininkių skersinio fotolaidumo kinetikos tyrimams, o A. Putrimas šiam kartotuvui pritaikė įėjimo talpos kompensavimo principą, tuo gerokai padidindamas prietaiso galimybes. Stipraus elektrinio lauko efektus ir fotosrovės nestabilumus tyrė A. Urbelis. Doc. A. Širvačio grupė tyrė CdS, CdSe, CdTe fotolaidumą sužadinant rentgeno ir gama spinduliais.

Elektrofotografijos darbai siejosi su televizijoje taikomų kineskopų tobulinimu. Kuriant didelės raiškos Sb_2S_3 vidikoną reikėjo sukonstruoti išardomąjį maketą, kad būtų galima pakeisti bandinius. To nepavyko padaryti kitiems SSRS mokslo centrų kolektyvams, o naudojant mūsų išardomo vidikono maketą, sukonstruotą Z. Blizniko, T. Budino ir P. Žilinsko, buvo atskleista nemaža jautrių sluoksnių.

Žingsnis po žingsnio ir nepastebėjome, kaip PF katedra išgarsėjo tarp SSRS universitetų ir institutų kaip labai patikima puslaidininkių savybių tyrimų partnerė. Apibūdindavome ir tyrinėjome ne tik mūsų pačių augintus, bet ir iš daugelio kitų institutų gautus įvairius sluoksnius ir puslaidininkių kristalus. Bendradarbiavimo ryšių geografija buvo ypač plati: Maskva, Kijevas, Lvovas, Užgorodas, Charkovas, Baku, Praha, Varšuva, Berlynas ir kt.

Medžiagotyra naudojant lazerių impulsus. Pirmieji laisvos generacijos lazerių impulsai nebuvo pranašesni už generuojamus kitais metodais, tačiau 1964 m. paskelbus, kad sukurtas gigantiškų pavienių šviesos impulsų generavimo metodas, atsirado didelis noras įvaldyti lazerių techniką. Pavyko sudominti SSRS MA fizikos instituto vadovą O. Krochiną ir N. Basovą, ir jie pasiūlė atvykti į jų laboratoriją su sava matavimo technika. 1965 metų darbo sėkmė lėmė atsitiktinumas. Atvykus į Maskvą, M. Basovo bendradarbiai sutiko prisidėti prie mūsų darbų tik vakarais, kaip jie sakė: „nuo 20 iki 22 valandos, nes mums „šėfas“ liepia“. Teko sutikti ir su šia sąlyga. Tačiau sužinojusi, kad norime tirti krūvininkų gyvavimo trukmę CdSe kristaluose, visa maskviečių komanda labai noriai įsijungė į tyrimus nuo 8 iki 22 val., nes laboratorija turėjo įvykdyti valstybinį užsakymą – sukurti kvantoskopui elektroniniu spinduliu

kaupinamą CdSe kristalo lazerį. Kliudė tik tai, kad CdSe kristaluose buvo nežinoma krūvininkų gyvavimo trukmė ir jos dėsningumai. Tad jiems palankiu metu atvykome su įvairiais CdSe kristalais ir su aparatais, leidžiančia išmatuoti krūvininkų gyvavimo trukmę. Sėkmingą mūsų darbų pabaigą vainikavo Nobelio premijos laureato N. Basovo dovana – impulsinio lazerio galvutė su specialiais eliptiniais veidrodžiais. Kitomis lazerio dalimis (rubino kristalu, impulsine lempa su aukštos įtampos maitinimo šaltiniu ir didele kondensatorių baterija ir moduliacijai naudojama greitai besisukančia visiško atspindžio prizme) reikėjo pasirūpinti patiems. N. Basovo laboratorija sutiko priimti stažuotoją, kuris galėtų pasitobulinti lazerinės technikos srityje. Tuo stažuotoju tapo trečio kurso studentas R. Baltramiejūnas, kuris, 1966 m. sugrįžęs iš stažuotės, tapo pagrindiniu Lietuvoje kuriamo pirmojo lazerio konstravimas PF katedroje susijęnčio R. Baltramiejūno dėka lazerinių studijų konstravimas PF katedroje sparčiai paplito ir lazeriai pradėjo mums įvairiapuškai tarnauti.

Jau pirmieji bandymai atskleidė, kad, pasiekus tam tikrą sužadinimo lygį, CdSe fotolaidumo netiesiškumo nebegalima paaiškinti krūvininkų generacija ar rekombinacija. Buvo sukonstruota fotoimpulsinio Holo efekto tyrimo aparatura (J. Storasta, V. Grivickas, dar vėliau įsitraukė V. Kažukauskas). Jie įrodė, kad sužadiname puslaidininkyje pakinta krūvininkų judris: vienuose kristaluose dėl priemaišų sankaupti ar defektų perelektrinio, kituose (Si, Ge) – dėl elektronų ir skylių tarpusavio sklaidos. Buvo ištirti netiesiniai Ožė rekombinacijos procesai, nustatyta GaAs kristalų dislokacinių tinklų įtaka. Bendradarbiaujant su GIREDMET'o instituto mokslininkais pasiūlytas būdas, kaip su mažinti dislokacinių tinklų įtaką – įterpti mažą izovalentinės priemaišos indžio koncentraciją. Šis patentas buvo ypač įslaptintas, nes buvo reikšmingas tolesnei greitaveikės elektronikos plėtrai.

Buvo sukurta fotoluminescencijos ir dvifotonės sugerties spektrų matavimo aparatuos (R. Baltramiejūnas, V. Narkevičius, V. Gavriušinas), kurios leido ypač tiksliai matuoti, nes V. Gavriušinas panaudojo tobulėjančios skaitmeninės technikos naujoves, o V. Narkevičius – analogas-kodas keitiklius. Atliekant tyrimus buvo atrasta ir tiriama dvifotonė sugertis dėl seklų bei gilių priemaišų ir eksitonų. Šie darbai tapo plačiai cituojami literatūroje. Panaudojant netiesinę šviesos sugertį buvo sukonstruotas ir įdiegtas lazeris, kurio impulso trukmė buvo galima keisti nuo 100 nanosekundžių iki 2,5 mikrosekundės.

Indukuotos laisvųjų krūvininkų sugerties metodus tobulino E. Gaubas ir V. Grivickas, šviesa indukuotų dinaminį gardelių tyrimus kūrė ir tobulino K. Jarašiūnas, M. Petrauskas. Metodo taikymas aprašytas apžvalguose straipsniuose, autoriaus teisės pripažintos K. Jarašiūnui ir J. Vaitkui. Taikant šią metodiką atrasta, kad eksitonai sustiprina netiesinę šviesos ir medžiagos sąveiką (autoriaus teisės pripažintos R. Baltramiejūnui, K. Jarašiūnui ir J. Vaitkui), o poliarizacinius medžiagų efektus ir naujus šviesa indukuotos difrakcijos

ypatumus sukelia surištųjų krūvininkų elektrooptinis laukas (K. Jarašiūnas). Metodika 1988 m. buvo pritaikyta karštųjų elektronų difuzijai tirti (J. Vaitkus, A. Matulionis, L. Subačius, K. Jarašiūnas) ir įrodyta, kad šviesos impulsu stipriai sužadinti puslaidininkiai stipriame lauke generuoja mikrobangas.

Lazerio impulsų sukeltiems efektams matuoti padėjo ta aplinkybė, kad Vilniaus radio matavimo prietaisų institute buvo pagamintas pavienių impulsų registravimo oscilografas, kurio pirmuoju-bandomuoju egzemplioriumi jau galėjome naudotis. 1984 m. su minėtu institutu buvo sukurtas mokslinis-gamybinis susivienijimas „Fotonika“. Buvo bendradarbiujama sukuriant greituosius tunelinius diodus (V. Guoga, M. Liakas), realizuojant aukštosios įtampos elektrinių impulsų generatorius ir fotodetektorius optinio ryšio linijoms (M. Petrauskas).

SSRS elektronikos pramonė nebuvo labai imli mokslo rezultatams, be to, sunkiai pasiekiamą dėl visiško slaptumo sistemos. Tik po intensyvių ir sekančių diskusijų, padedami lazerių atradėjo, Nobelio premijos laureato A. Prochorovo, pradėjome darbus su pagrindiniu SSRS elektronikos medžiagų institutu – GIREDMET ir su Elektronikos ministerijos Vyriausiąja mokslo ir technikos valdyba. Vėliau ūkiskaitinės lėšos buvo skiriamos per Vilniaus „Ventos“ mokslinį gamybinį susivienijimą, su kuriuo 1983 m. įkūrėme tarpžinybinę laboratoriją. Šiose organizacijose 1980–1989 m. įdiegėme nemažą puslaidininkinių darinių parametų kontrolės prietaisų. Tarp jų – dvių mikrometrų skryos GaAs defektų kontrolės įrenginį, kuris buvo pavadintas „Liumotopu“. Vėliau iš Nobelio premijos laureato Ž. Alforovo sužinojome, kad prietaisas „Liumotop“ buvo labai vertingai panaudotas pirmųjų jo sukurtų heterolazerių gamybos procesui kontroliuoti. 1983 m. prof. A. Sakalo pastangomis įkurtas VU ir Kauno radio matavimo technikos instituto mokslinis gamybinis susivienijimas „Mikroelektronika“. A. Abišala, vadovaujamas A. Sakalo, panaudojo Rezerfordo jonų atgalinę sklaidą GaAs prietaisų technologijos kontrolei ir 1986 m. apgynė daktaro disertaciją. VU ir mokslinis gamybinis susivienijimas „Sigma“ 1986 m. įsteigė Medžiagotyros mokslo ir studijų centrą, ir 1992 m. VU iš „Sigmos“ perėmė vertingą ir brangią medžiagų tyrimo įrangą – analitinį mikroskopą CAMECA CAMEBAX ir RIBER LAS3000.

Tarptautinio bendradarbiavimo ryšius dar būdamas docentu J. Viščas užmezgė su Prahos Karlo universitetu 1965 m., o 1968–1969 m. su Magdeburgo ir Krokuvos universitetais. Bendradarbiavimas su Vakarų šalių universitetais ėmė plėtotis po doc. J. Vaitkaus 1974–1975 metų stažuotės Stokholme, Karališkame technologijos institute. J. Vaitkus nuo 1976 m. dalyvavo tarptautinėje giliųjų priemonių centrų fizikos problemų sprendimo ekspertų „komandoje“. Ši neformali 50-ies mokslininkų grupė 11 metų kasmet rinkosi skirtingose šalyse į tarptautines giliųjų priemonių centrų fizikos „Lundo“ konferencijas.

Dalyvavimas „komandoje“ suteikė žinių apie tai, kokios technologinės problemos nagrinėjamos ir kaip jos sprendžiamos didžiausiose užsienio mokslo ir technologijų centruose. Prie tarptautinio bendradarbiavimo su Švedija plėtros daug prisidėjo dr. V. Grivickas, dr. M. Petrauskas, su JAV – dr. K. Jarašiūnas, stažavęsis Brauno universitete.

Veikla Lietuvos nepriklausomybės metais. Po 1990 metų Lietuvos nepriklausomybės paskelbimo moksliniai ryšiai su SSRS institucijomis faktiškai nutrūko. Nebeliko ūkiskaitinio, trūko ir biudžetinio finansavimo. Prsidėjo karštingiška kova už VU mokslo lygio išlaikymą. Stengėmės plėsti ryšius su Europos ir pasaulio mokslo ir pramonės centrais. Kartu su Pusedininkų fizikos institutu buvome priimti į Europos nanotechnologijų programą PHANTOMS. Buvo atliekami reikšmingi darbai optiniais metodais tiriant fononų ir eksitonų temperatūrą bei nepusiausvyriuosius reiškinius (prof. A. Žukauskas). Greituosius procesus nanodariniuose nagrinėjo prof. K. Jarašiūnas. Užsimezgė darnus bendradarbiavimas su Strasbūro CNRS Medžiagų fizikos ir chemijos institutu, vėliau ir su Liono universitetu. Tyrinėjome pagal zolių ir gelių technologiją pagamintus nanodarinius įvairiose matricose (M. Petrauskas, S. Juodkazis, E. Vanagas). Iš ankstesnių mokslinių kontaktų išliko ryšiai su Charkovo monokristalų institutu, juos palaikė prof. G. Tamulaitis. Krūvininkų rekombinacijos tyrimų problematikos srityje buvo užmegzti kontaktai su Gento IMEC centru (habil. dr. E. Gaubas). 1995 m. buvome pakviesti skaityti pranešimus Didžiosios Britanijos puslaidininkių technologijos centruose Šefilde, Lankasteryje ir Glazge. Tada išsiplėtojo VU ir Glazgo universiteto bendradarbiavimas, remiamas Karališkosios draugijos (*The Royal Society*). Prof. J. Vaitkus buvo vizituojančiu Glazgo universiteto profesoriumi nuo 1997 iki 2001 metų. Nuo 1997 metų Glazgo universiteto komandos sudėtyje įsiliejo CERN'o didžiojo hadronų kolaiderio eksperimentų bendradarbiavimo programą RD8. 2002 m. buvo sudaryta tarptautinė programa naujo tipo detektoriams kurti CERN RD50 „*Radiation hard detectors for high luminosity colliders*“. Prof. J. Vaitkus buvo išrinktas vienu iš programos koordinatorių. Taip VU atsirado tarp CERN programų oficialių vykdytojų. Dalyvavome tiriant GaAs, GaN, SiC bei Si kristaluose radiacijos sukeltų defektų transformacijas. Kiek vėliau (2004 m.) buvo pasirašyta Lietuvos ir CERN bendradarbiavimo sutartis ir dalyvaujama CMS, RD50 ir RD39 programose. Darbai tęsiasi, daugiausia dėmesio skiriama silicio kristalų radiacinių defektų inžinerijai.

20 a. paskutiniame dešimtmetyje gerokai padidėjo mūsų „protų nutekėjimas“ į išsivysčiusias šalis. S. Juodkazis, studijavęs bendroje Vilniaus ir Liono universitetų doktorantūroje, išvyko dirbti į Japonijos Tokusimos universitetą, ten puikiai pasirodė, sukūrė savo mokslinę lietuvių grupę, vėliau persikėlė į

Hokaido universitetą, dar vėliau į Svinburno universitetą (Australija). Švedijoje, vėliau Oslo universitete vaisingai dirba mūsų „nutėkėjęs protas“ dr. A. Gailekas. Dr. R. Gaška po stažuotės Frankfurto prie Maino universitete 1992 m. laimėjo mokslininko vietą JAV. Jis užmezgė VU ryšius su Rentselerio politchnikos ir Pietų Karolinos valstijos universitetų centrais. Intensyvūs naujų III-V grupės puslaidininkių tyrimai buvo naudingi tobulinant šviesos diodus. Pasaulyje išgarsėjo A. Žukausko, R. Gaškos, ir M. Shur 2002 metais išleista monografija „*Solid state lighting*“. Už intensyvius ir produktyvius mokslinius darbus 2002 m. Lietuvos nacionalinė mokslo premija buvo paskirta A. Žukauskui, S. Juršėnui, G. Tamulaičiui kartu su V. Gulbinu iš Fizikos instituto, o 2008 m. – G. Tamulaičiui, S. Juršėnui, E. Kuokščiui ir R. Gaškai. Puslaidininkiniai šviesos diodai – šviestukai buvo pritaikyti biomedicinoje, selektyviam šiltnamių apšvietimui, gatvių apšvietimo sistemose, fotometrijoje.

Baigiant VU puslaidininkių fizikos darbų tyrimų apžvalgą, pažymėtina, kad dalis tiriamųjų darbų atliekama Radiofizikos katedroje: elektrinių triukšmų tyrimus inicijavo V. Kudaba, tęsia prof. V. Palenskis. Tiriant šviesos diodus ir heterolazerius nemažai nuveikė doc. F. Vaitiekūnas, akustinius-optinius efektus – doc. D. Čiplys.

Ilgą laiką (1960–1977) PF katedrai vadovavo prof. J. Viščas (3.1.1 pav). 1974 m. sukūrus Kietojo kūno elektronikos katedrą, jos vedėju tapo prof. E. Montrimas. Elektrofotografiniai tyrimai buvo pagrindinė šios katedros kryptis.



3.1.1 pav. VU elektrofotografijos fizikinių pagrindų kūrėjai (iš dešinės į kairę): E. Montrimas, J. Viščas, A. Matulionis, V. Gaidelis



3.1.2 pav. VU daugiakanalių fotodetektorių pavyzdžiai tarp kurių seniausia fotoliniuotė sukurta 1967 m., o jauniausios gamintos iki 1990 m.



3.1.3 pav. Puslaidininkių parametrų matuoklis „Taumetras“, sukurtas 2006 m. CERN'o programai. Bandinys įdedamas į prietaiso vidų arba gali būti nutolęs iki 15 metrų. Signalai surenkami šviesolaidžiu, mikrobangų bei elektros kabeliais. Kūrėjai: habilit. dr. E. Gaubas (sėdi), stovi (iš kairės): prof. J. Vaitkus, doc. V. Kalesninkas ir doktorantas A. Uleckas

Vėliau Kietojo kūno elektronikos katedros vedėju dirbo prof. G. Juška (1999–2009), kuris plėtojo netvarkių puslaidininkių fizikos tyrimus; šiuos tyrimus organinių puslaidininkių kryptimi kreipia dabartinis vedėjas prof. K. Arlauskas. PF katedroje, kurioje 1977–2002 m. vadovavo prof. J. Vaitkus, daug dėmesio buvo skiriama lazerinės spinduliuotės sąveikai su puslaidininkiais tirti, buvo kuriami ir diegiami pramonėje puslaidininkių apibūdinimo metodai. Nuo 2002 metų katedrai vadovauja prof. G. Tamulaitis. Moksliniai darbai pakrūpo šviesos diodų ir organinės optoelektronikos bei saulės energetikos kryptimis. Šie darbai vyrauja ir VU Taikomųjų mokslų institute, kuriame direktoriaus pareigas iš J. Vaitkaus perėmė prof. A. Žukauskas, plėtojantis puslaidininkių taikymo apšvietimo technologijose, biomedicinoje tyrimus ir tęsiantis pradėtus darbus.

3.2. Medžiagotyra Puslaidininkių fizikos institute

(*Bonifacas Vengalis*)

Puslaidininkių fizikos institutas (PFI) buvo įkurtas 1967 m. sausio 1 d. atskyrus dalį mokslinių padalinių nuo LSSR mokslų akademijos Fizikos ir matematikos instituto. Didžiausias instituto įkūrimo iniciatorius ir pirmasis jo direktorius (1967–1985) buvo akademikas Juras Požėla. Vėliau (1985–1989) institutui vadovavo akad. A. Šileika, o nuo 1989 m. – prof. S. Ašmontas, 2010 m. PFI buvo sujungtas su Fizikos ir Chemijos institutais ir įsteigtas Fizinių ir technologijos mokslų centras. PFI medžiagotyra patogu skirstyti į laikotarpius iki ir po Lietuvos nepriklausomybės paskelbimo, o pačius tyrėjus – mokslininkus, prisidėjusius prie medžiagotyros plėtos – į vyresniosios, vidurinės ir jaunesniosios kartos. Pagal darbuotojų skaičių PFI ilgą laiką buvo viena didžiausių, o pagal mokslinę produkciją – viena iš pajėgiausių mokslinio tyrimo įstaigų Lietuvoje. Devintojo dešimtmečio pabaigoje PFI, skaičiuojant kartu su prie instituto buvusia bandomąja gamykla, dirbo per 600 darbuotojų. Po 1990 m. minėtam gamybiniam padaliniiui sparčiai nykstant, PFI darbuotojų skaičius 2010 m. sumažėjo iki 250, nors mokslininkų, turinčių mokslinius laipsnius, ilgą laiką buvo nuo 100 iki 110.

PFI nuo pat jo įkūrimo daugiausia dėmesio buvo skiriama naujų elektronikos medžiagų (puslaidininkių superlaidininkių ir kt.) paieškai, jų sintezei, medžiagų struktūros ir savybių apibūdinimui, plonųjų sluoksnių, įvairių jų darinių, taip pat puslaidininkių prietaisų technologijai. Juras Požėla, būdamas direktoriumi, visapusiškai skatino imtis naujų tematikų ir kurti naujas technologijas. Akademiko iniciatyva į tikslinę aspirantūrą Leningrado fizikos-technikos institute buvo išsiųsti T. Lideikis (1974 m.), B. Vengalis (1975 m.), S. Grebinskis (1979 m.). Visi jie įgijo vertingos mokslinio darbo patirties, sėkmingai

baigė aspirantūrą ir, grįžę į PFI, inicijavo naujų medžiagų tyrimus arba prisidėjo prie sėkmingai vykdomų darbų.

Vyresniosios kartos indėlis. Didelę puslaidininkinių medžiagų tyrimų dalį ikurtame PFI reikėtų siesti su Vytauto Tolučio (3.2.1 pav.) ir jo išugdytų mokinių – E. Šimulytės, A. Česnio, V. Jasučio, K. Bertulio, V. Lissausko ir kt. mokslinė veikla. V. Tolučiui vadovaujant Plonųjų sluoksnių sektoriui (1967 – 1989) buvo iširti In-Te, Ga-Te bei Tl-Te sistemoms priklausančios junginiai, sukurta naujų plonųjų sluoksnių gamybos būdų, išplėtoti jų tyrimo metodai, sukurta kompiuterinės atminties ir logikos įrenginių. Tačiau bene svarbiausias V. Tolučio nuopelnas medžiagotyrai yra tai, kad jis išugdė gausų mokinių būrį. Net dešimt iš jų V. Tolučio vadovaujami apgynė disertacijas, tapo savarankiškais mokslininkais ir, tęsdami mokslinį darbą, vėliau daug kuo prisidėjo prie medžiagotyros plėtros PFI. Kai kurie iš jo mokinių, pvz., E. Šimulytė ir A. Česnys darbuodamiesi įvairiuose PFI padaliniuose ne tik patys pasiekė gražių mokslinių rezultatų, bet ir išugdė gabių mokinių – puikių medžiagotyros specialistų, technologų.



3.2.1 pav. Plonųjų sluoksnių sektoriaus vadovas V. Tolućis – vienas iš medžiagotyros pradininkų PFI

Elenai Šimulytei vadovaujant, institute buvo sukurta skystinės epitaksijos technologija. Pirmą kartą Lietuvoje buvo pradėti auginti kokybiški varizoninių $\text{AlGa}_{1-x}\text{As}$ puslaidininkių sluoksniai, kurie vėliau buvo panaudoti prietaisams kurti. Šie darbai aprašyti S. Žilionio (1981) taip pat A. Šileno (1989) disertacijoje. Antanui Česniui vadovaujant buvo tiriami nevienalyčiai seleno (A. Aleksejūnas), taip pat vanadžio pentoksido plonieji sluoksniai (V. Bondarenka, disert., 1980), amorfiųjų In-Ga teluridų sluoksnių tyrimus savo disertaciniuose darbuose atliko S. Balevičius (1980) ir A. K. Oginskis (1987).

Svarus indėlis plėtojant medžiagotyros darbus priklausio Raimundui Dagiui – buvusiam direktoriaus pavaduotojui (1974 – 1989), kuris išplėtojo retųjų žemių jonų ir jų monochalkogenidų bei daugiakomponentinių metalų oksidų (aukštatemperatūrų superlaidininkų) teorinius tyrimo metodus, ugdė jaunas mokslininkus ir visokeriopai skatino naujų medžiagų tyrimus institute. 1978 m. R. Dagsys inicijavo eksperimentinius magnetinių puslaidininkių tyrimus PFI. Tapęs Aukštatemperatūros superlaidumo laboratorijos vadovu jis nuoširdžiai

rūpinosi naujos laboratorijos kūrimu, technologine, taip pat mokslinė tiriamąją aparatūra, organizavo seminarus aspirantams ir jaunesiems mokslininkams.

Daug naudos medžiagotyros plėtrai davė akad. A. Šileikos veikla. Jo vadovaujame Puslaidininkių optikos sektoriuje buvo sukurta nemažai naujų optinių tyrimų metodikų, labai išsiplėtė tiriamųjų medžiagų asortimentas. Naudojant moduliacines spektroskopijos metodus buvo iširtos dvinarinių ir trinarių ($A^{III}B^V$, $A^{IV}B^{VI}$, $A^{III}B^{IV}C^V$) puslaidininkių junginių, jų kietųjų tirpalų taip pat siauratarpių $CdHg_{1-x}Te$, $Zn_xHg_{1-x}Te$ puslaidininkių optinės savybės, nustatyti jų juostinės struktūros ypatumai.

Initiatyvi vidurinė karta. Per pirmąjį instituto gyvavimo dešimtmetį institute atsirado nemažai jaunų, gabių mokslininkų, kurie apsigynę disertacijas pradėjo savarankišką mokslinę veiklą (S. Ašmontas, A. Krotkus, S. Balevičius, A. Reklaitis, A. Galdikas, V. Bondarenka ir kt.). Kaip minėta, dalis jų (R. Vaišnoras, E. Šatkovskis, T. Lideikis, B. Vengalis, R. Miškinis, V. Stankevič ir kt.) išitraukė į PFI mokslinę veiklą baigę aspirantūrą kituose SSRS mokslo centruose.

Algirdas Galdikas buvo paskirtas dirbti į PFI (1972 m.) po fizikos studijų VU. 1978 m. jis sėkmingai apsigynė disertaciją iš superaukšto dažnio triukšmų puslaidininkuose. Paskatintas R. Dagio A. Galdikas ryžosi pakeisti savo tematiką ir pradėjo su kolegomis (S. Grebinskiu, V. Viktoravičiumi, S. Zacharovu ir kt.) eksperimentiškai tyrinėti elektrines ir optines magnetinių puslaidininkių: ACr_2X_4 , $AHgCr_2S_4$, $A=Cu, Zn, Cd, Hg$; $X=S, Se$, savybes (A. Galdiko, habil. dr. disertacija, 1990).

Tautvydas Lideikis, būdamas aspirantūroje Leningrade, įvaldė skystinės epitaksijos technologiją ir ištyrė šiuo būdu užaugintus plonuosius $Ga_xAl_{1-x}Sb$ sluoksnius. Igyti nauji technologinio darbo įgūdžiai labai praverė T. Lideikiui pradėjus dirbti K. Valackos vadovaujamame Puslaidininkių medžiagų sektoriuje. Jo iniciatyva institute buvo sukurta technologija, įgalinanti auginti siauratarpių $Pb_xSn_{1-x}Te$ puslaidininkių sluoksnius. Buvo nustatyti šių sluoksnių legiravimo giliomis priemonėmis dėsningumai. Tyrimų rezultatai vėliau buvo apibendrinti I. Šimkienės disertacijoje (1985). Institute užaugintų $Pb_xSn_{1-x}Te$ sluoksnių elektrines savybes stipriuose elektriniuose laukuose ištyrė ir A. Krotkaus vadovaujamas disertacinį darbą apgynė A. Plytnikas (1984). 1989 m. T. Lideikis buvo paskirtas „Epitaksinių struktūrų“ sektoriaus vadovu (3.2.2 pav.). Tais pačiais metais jis dviem savo aspirantams – K. Naudžiui ir G. Treideriui pasiūlė sukurti technologiją epitaksinius $A^{III}B^V$ puslaidininkių sluoksniams auginti, nusodinant juos iš metaloorganinių cheminių junginių garų fazės (MOCVD). Darbo vadovo patirtis, PFI vadovybės palaikymas ir jaunimo entuziazmas davė gerų vaisių. Iš atskirų detalių surinkta savadarbė MOCVD technologinė įranga pradėjo veikti. Naudojant šią įrangą iš pradžių buvo auginami plonieji GaAs bei GaInAs sluoksniai, o netrukus ir sudėtingesni

kvantiniai dariniai – taip vadinamieji δ le-giruotieji sluoksniai, paprastos asimetrinės ir kartotinės kvantinės duobės, supergardelės. Įdiegta nauja technologija sudarė geras prielaidas pradėti Lietuvoje modernius ir labai aktualius kvantinių struktūrų tyrimus. Tyrimams sutrukdė tuo metu kilęs Lietuvos Persitvarkymo Sąjūdis, į kurio veiklą buvo aktyviai įsitraukęs pats darbo vadovas kartu su savo mokiniais. Vis dėlto visuomeninė veikla nesutrukdė jauniems mokslininkams parengti disertacinius darbus (G. Treideris, 1991; K. Naudžius, 1992), kurie buvo apginti jau nepriklausomoje Lietuvoje.

Bonifacas Vengalis, baigęs aspirantūrą Leningrade, 1979 m. buvo paskirtas į Puslaidininkinių medžiagų sektorių. Čia jis rado bendrą kalbą su patyrusiu technologu, visų galų meistru Nikalojumi Šiktorovu. Abu jie susintetino eilę $A^{IV}B^{VI}$ grupės puslaidininkinių ($GeTe$, $SnTe$, $Ge_{1-x}Sn_xTe$) junginių, pasižymičių didele juose vykstančių struktūrinių fazinių virsmų įvairove. Kita medžiagų klasė buvo mišrių elektroniniu-joniniu laidumu pasižymintys $Cu_{2-x}(Se,Te,S)$, $Ag_{2-x}(Se,Te,S)$ junginiai. Naudojant Bridžmano būdą ir pačių sumontuotą technologinę įrangą, buvo išauginti šių junginių monokristalai, iš-tirtos šių medžiagų elektrinės bei optinės savybės, atskleisti šiose medžiagose vykstančių fazinių virsmų dėsningumai,

Netrukus po to, kai šveicarų mokslininkai J. Bednorcas ir A. K. Miuleris atrado aukštatemperatūrį superlaidumą, B. Vengalis kartu su N. Šiktorovu, panaudoję įgytą patirtį ir turimą įrangą, pakėlė savo reitingus pirmą kartą Lietuvoje (1988) susintetindami $La_{2-x}Sr_xCu_2O_4$ ir $YBa_2Cu_3O_7$ aukštatemperatūrų superlaidininkų keraminius bandinius. 1989-ais metais, praėjus tik dviems metams po sensacingo superlaidumo atradimo, PFI buvo įkurta Aukštatemperatūrų superlaidumo laboratorija. Naujos laboratorijos vadovu buvo paskirtas prof. R. Dagys, o po poros metų jai vadovauti buvo patikėta B. Vengaliui. Įkurti laboratoriją padėjo 1989–1990 m. SSRS Mokslo ir technikos komiteto organizuoti sąjunginiai superlaidumo temų konkursai ir PFI laimėti du stambūs projektai, kuriems Maskvos valdininkai suteikė kodinius pavadinimus LITVA ir JANTAR. Šių projektų atsakingais vykdytojais buvo paskirti B. Vengalis ir S. Balevičius. Abu projektai buvo sėkmingai pabaigti ir davė institutui aniems laikams gausių lėšų, kurios buvo panaudotos moderniems technologiniams įrenginiams pirkti. Kaip tik tada ir buvo išgyta aukštatemperatūrų superlaidininkų ploniesiems



3.2.2 pav. Epitaksinų struktūrų sektoriaus vadovas T. Lideikis

sluoksniams gaminti reikalinga įranga: firmos „Alcatel“ (Prancūzija) magnetroninio dulkiniimo įrenginys SCM-450, trys Ukrainoje pagaminti vakuuminio gaminimo įrenginiai VUP-5M, taip pat trumpų impulsų lazeris.

Puslaidininkinių medžiagų tyrimo metodikų kūrimas. Iki 1990 m. PFI buvo sukurta daug vertingų metodikų, pritaikytų įvairioms puslaidininkinių sąvybėms tirti. E. Kučys tobulino ir populiarino Holo efekto matavimo metodiką. A. Šileikos Puslaidininkinių optikos sektoriuje buvo sukurta moduliacinės spektroskopijos, elipsometrijos, elektriniu lauku valdomo atspindžio ir kt. metodikų, tradicinės atspindžio bei sugerties metodikos pritaikytos įvairiose spektro srityse. Moduliacinės spektroskopijos atsiradimą Lietuvoje nulėmė PFI akademiniai ryšiai su pasaulinio garso mokslininko prof. M. Cardonos grupe bei su Rusijos akademinių tyrimų centrais, kuriuose stažavosi PFI tyrėjai. Pažymėtina devintajame dešimtmetyje PFI sukurta universali metodika puslaidininkių parametrų diagnozuoti panaudojant magnetoplazmines bangas (J. Požėla, A. Laurinavičius, R. Tolutis).

Pirmoji technologinė ir diagnostinė įranga. Iki 1990 institute atsirado nemažai aparatūros, skirtos struktūriniams tyrimams. Instituto vadovybės, kai kurių jo darbuotojų ir ypač V. Jasučio (3.2.3 pav.) pastangomis buvo įsigyti trys nauji rentgeno difrakcijos tyrimo įrenginiai (DRON-3, DRON-4 ir URD-63), firmos TESLA elektroninis skenuojamasis mikroskopas (SEM) BS-300 bei du persėviečiamieji elektroniniai mikroskopai (TEM). Apie 1986 m. iš Šiaulių „Nuklono“ gamyklos į institutą „persikraustė“ šiek tiek naudotas elektroninės litografijos įrenginys.

1987 m., vadovaujant akad. A. Šileikai, iš SSRS MA pavyko išsireikalauti lėšų moderniai diagnostinei paviršiaus analizės aparatūrai nusipirkti. Po ilgų derybų su Maskvos biurokratais ir firmos KRATOS ANALYTICAL atstovais į specialiai įrengtas PFI patalpas atkeliavo moderni vakuuminė įranga, pritaikyta paviršiaus rentgeno fotoelektronų ir Ožė spektroskopijos tyrimams, taip pat joniniam pasluksnių ėdinimui atlikti. Institute buvo pradėti modernūs medžiagų paviršiaus tyrimai (S. Kačiulis, H. Tvardauskas).

Didelis laimėjimas kuriant modernią technologinę bazę buvo iš Černogolovkos mokslinio tyrimo centro į PFI atkeliavęs unikalūs molekulinį pluošt-



3.2.3 pav. Puslaidininkinių analizės laboratorijos vadovas V. Jasutis tirta superlaidininkus skenuojamuoju elektroniniu mikroskopu

telių epitaksijos įrenginys. Sunku būtų įvertinti jo tikrąją kainą, nes institutui jis buvo kaip ir padovanotas ir, ko gero, dar sunkiau būtų aprašyti visą šio unikalaus technologinio įrenginio atsiradimo istoriją. Tai buvo antras tokio tipo įrenginys, pagamintas tuometinėje SSRS. Tačiau galima neabejoti, kad jis tikrai nebūtų tekęs institutui, jei nebūtų bent vienos iš trijų palankių aplinkybių: 1) brandaus instituto kolektyvo ir jo darbų pripažinimo, 2) J. Požėlos, kaip pasaulinės reikšmės mokslininko, autoriteto bei jo asmeninių pažinčių SSRS MA ir 3) K. Bertulio daugkartinių važinėjimų iš Vilniaus į Černogolovką ir jo pastangų, kad ta aparatūra SSRS irimo laikotarpiu būtų galutinai sukomplektuota, suderinta ir pradėtų normaliai veikti.

Apie 1988 m., jau prasidėjus Gorbačiovo „perestroikai“, Maskvoje buvo nartata trunks plyš pabandyti dar kartą pasivyti Vakarus kai kurių aukštųjų elektronikos technologijų srityse. Buvo sumanyta SSRS įsteigti penkis stambius elektronikos mokslinius-pramoninius centrus, šių dienų supratimu mokslo slėnius. Įdomiausia tai, kad vienas tokių centrų turėjo būti įsteigtas PFI bazėje Vilniuje, ir jam, kaip ir kitiems keturiems, turėjo būti skiriamos gana didelės lėšos technologijoms įdiegti. SSRS tuo metu jau buvo apėmusi persitvarkymo karštingę, didėjo ūkio suirutė, reali pinigų vertė sparčiai mažėjo, ir vis dėlto iš gautų tikslinių lėšų dar pavyko tuo metu nupirkti firmos „Alcatel“ magnetroninio dulkavimo įrenginį ploniesiems metalų bei jų oksidų sluoksniams gaminti, taip pat keletą vakuuminio garinimo įrenginių VUP-5.

Naujų medžiagų tyrimai 1990–2010 m. Po nepriklausomybės paskelbimo PFI tapo valstybės mokslo institutu – biudžetine tyrimų įstaiga, kurioje buvo 17 mokslinių laboratorijų, nors didesnė dalis medžiagotyros darbų buvo atliekama tik 5–6-iose padaliniuose. Pirmieji metai po nepriklausomybės atkūrimo buvo labai nepalankūs mokslo plėtrai. Daug mokslininkų buvo įsitraukę į Sąjūdžio veiklą, dalis išėjo kurti ir organizuoti Lietuvos valstybei reikalingų struktūrų, dalis pasitraukė iš mokslinės veiklos ir ėmėsi savarankiško verslo. Sumažėję atlyginimai, blokada, didžiulė infliacija, neiški ateitis ir visuotinė sumaištis labiausiai palietė jaunus žmones. Gabiems ir energingiems atsirado įvairių galimybių greitai praturtėti, todėl labai sumažėjo besirenkančių



3.2.4 pav. K. Bertulis prie Rusijoje pagamintos Molekuliinių pluoštelių epitaksijos įrangos

mokslininko profesiją. Personalo mažėjimą lėmė techninio personalo mažėjimas daugiausia bandomojoje gamykloje. Didžiausias nuostolis buvo gabaus mokslininko, pagrindinio PFI technologijos specialisto, Epitaksinių struktūrų laboratorijos vedėjo, tuo metu Lietuvos Seimo nario Tautvydo Lideikio žūtis 1993 m. autoavarijoje iki galo neatskleistomis aplinkybėmis. Po T. Lideikio mirties vadovavimą laboratorijai perėmė I. Šimkienė, tačiau vėliau, pasitraukus iš veiklos jauniems technologams V. Noreikai, G. Treideriui ir K. Naudžiui, didesnę dalis anksčiau laboratorijoje vykdytų technologinių tyrimų nutrūko, o nenaudojama įranga ilgainiui sunyko. Vis dėlto medžiagotyro darbai PFI nebuvo nutrūkę, o kai kuriose srityse, pvz. aukštatemperatūrų superlaidininkų tyrimų, per pirmus penkerius metus nuo nepriklausomybės paskelbimo buvo padaryta didelė pažanga.

Aukštatemperatūrų superlaidininkų (ATS) tyrimai buvo pradėti ATS laboratorijoje, tačiau vėliau ši tematika išsiplėtė ir į superlaidininkų tyrimus išitraukė nemažas būrys mokslininkų iš kitų PFI laboratorijų. B. Vengalio, V. Lissausko, S. Balevičiaus, V. Jasučio, F. Anisimovo ir kt. tyrėjų pastangų dėka buvo susintetintos naujos superlaidžiosios medžiagos, pasitūlyta ir išbandyta originalių plonųjų sluoksnių auginimo bei legiravimo būdų, gauta vertinimų mokslinių rezultatų (A. Juknos disert., 1992 m.). Naudojant magnetroninį dulkulinimą 1995 m. buvo pagaminti epitaksiniai YBaCuO sluoksniai (V. Li-sauskas ir kt.), kurių kritinė $5 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ srovė 78 K temperatūroje prilygo geriausiems to meto pasaulio laimėjimams. Netrukus po to ATS laboratorijoje pavyko užauginti epitaksinius šio superlaidininko sluoksnius ant optoelektro-nikoje plačiai naudojamų laidžių ir skaidrių indžių ir alavo oksido pasluoksnių (R. Butkutės disert., 1998 m.). B. Vengalis su bendradarbiais vieni iš pirmųjų pagamino superlaidaus $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ junginio sluoksnius, pasižymintčius aukšta 95 K kritine temperatūra. Vėliau buvo pagamintos ir ištirtos sudėtingos daugiasluoksnės struktūros su superlaidininkais ir manganitais.

S. Balevičius (Didelės galios impulsų laboratorijos vadovas nuo 1996 m.) su bendradarbiais inicijavo greitaveikio srovės bei lazerio impulso sąlygoto perjungimo reiškinio tyrimus superlaidžioje AT juostelėse ir šio reiškinio praktinį panaudojimą. Buvo parodyta, kad pikosekundinės trukmės šviesos impulsais sužadinant superlaidžią juostelę, kuria teka stipri elektros srovė, galima išgauti staigius šuolius tarp superlaidžios ir normalios būsenų. Rezultatai, gauti ištyrus perjungimo iš superlaidžiosios į normaliąją būseną dinamiką, padėjo kurti ypač sparčius srovės ribotuvus ir daugkartinius saugiklius. Buvo sukurtas superlaidusis optoelektroninis jungiklis, tinkantis didelės skiriamosios gebos radarams.

G. Babonas (Puslaidininkų optikos laboratorijos vadovas) atliko superlaidžių medžiagų tūrinį kristalų optinių savybių tyrimus spektrinės elipsometrijos metodu. Bendradarbiaudamas su Maskvos universiteto kristalų augintojais (prof. L. Leoniuk), jis ištyrė didelę grupę sudėtingų vario oksidų

($M_2Cu_2O_3$)_m(CuO_2)_n, (M=Sr, Ca, Bi, RE). Šie tyrimai davė vertingos informacijos apie ATS elektroninę sandarą ir medžiagų mikrostruktūrą.

E. Tornau (disert., 1999) atliko struktūrinių fazinių virsmų modeliavimą superlaidininkuose. Teoriškai buvo paaiškinta irio superlaidininkų šeimai būdinga kritinės temperatūros priklausomybė nuo deguonies kiekio.

Mikrobangų laboratorijoje buvo pastebėtas ir ištirtas sandūrų tarp metalų ir aukštatemperatūrinių $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ ir $YBa_2Cu_3O_7$ superlaidininkų fotoatsakas į mikrobanginę spinduliuotę (K. Repšas, A. Laurinavičius).

Puslaidininkiniai dujų jutikliai buvo pradėti gaminti ir tirti 1990 m. vadovaujant A. Galdikui. Panaudojus anksčiau įsigytą modernią magnetroninio dulkiniimo įrangą PFI Jutiklių laboratorijoje buvo užauginti plonieji SnO_2 , In_2O_3 ir kt. metalų oksidų sluoksniai, kurie buvo panaudoti kaip H_2 , Cl_2 , CO ir kt. jutikliai. Buvo pasiūlytos originalios šių jutiklių parametų modifikavimo bei testavimo metodikos (V. Ambrazevičienė, A. Mironas, D. Senulienė, Z. Martūnas, A. Šetkus). Buvo tiriamos katalizinės reakcijos, vykstančios įvairių metalų oksidų paviršiuose, pajautrintuose Pt, Sb, Au, Cu metalų jonais. Pildomai išplėta plonų Cu_2S sluoksnių auginimo bei SnO_2 dangų nusodinimo iš $SnCl_4$ - H_2O tirpalų technologijos. Nustatyta, kad iš Cu_2S sluoksnių pagaminti dujų jutikliai pasižymi dideliu jautriu žemoje temperatūroje (V. Strazdienė disert., 2005.). Po 2005 m, laboratorijai vadovaujant A. Šetkui, buvo pradėti vykdyti tyrimai, susiję su biomolekuliinių darinių integravimu į kietojo kūno struktūras. Sėkmingai plėtoti anksčiau minėtus tyrimus labai padėjo diagnostinė SEM ir XPS įranga, įgalinanti atlikti bandinių paviršiaus kokybės tyrimus ir analizuoti jų cheminę sudėtį.

Feromagnetiniai mangano oksidai – manganitai buvo pradėti tirti ATS laboratorijoje apie 1994 m. Naujos medžiagos atkreipė dėmesį tuo, kad pasižymėjo faziniu virsmu iš didelės varžos paramagnetinės būsenos į metaliskąją feromagnetinę būseną ir vadinamuoju milžiniškosios magnetovaržos reiškinio, kuris yra labai svarbus įvairiems šių medžiagų taikymams. Kokybiški epitaksiniai manganitų sluoksniai buvo užauginti ant įvairių dielektrinių kristalinių padėklų, taip pat laidžiųjų RuO_2 , $LaNiO_3$ pasluoksnių taikant terminio garinimo, magnetroninio dulkiniimo ir lazerinio garinimo technologijas (V. Lisauskas, F. Anisimovas, A. K. Oginskis) (3.2.5 pav.). Iširta šių sluoksnių kristalinė sandara bei jų elektrinių parametų priklausomybė nuo cheminės sudėties ir technologinių sąlygų (A. Maneikio disert., 2000). Vėliau laboratorijoje buvo įdiegta feromagnetinio magnetito (Fe_3O_4) plonųjų sluoksnių ir darinių technologija (K. Šliužienės disert., 2006), sukurti daugiasluoksnių darinių su magnetiniais gavimo būdai, ištirtos netiesinės elektrinės bei magnetovaržinės manifestų p-n sandūrų savybės (J. Devenson disert., 2009). 2009 m. laboratorijoje buvo pradėtos diegti organinių puslaidininkų plonųjų sluoksnių technologijos (K. Šliužienė). Terminio garinimo bei tirpalo liejimo būdais šiuo metu gami-



3.2.5 pav. B. Vengalis ir V. Lissauskas prie magnetroninio garinimo įrangos

nami ir tiriami hibridiniai (organinių ir neorganinių junginių) dariniai.

Epitaksinių struktūrų laboratorijoje anksčiau minėtas Rusijoje pagamintas molekulių pluoštelių epitaksijos (MPE) įrenginys buvo pritaikytas vadinamojo žematemperatūrio GaAs sluoksniams auginti (K. Bertulis, P. Leonas). ŽT-Ga-As sluoksniai, užauginti, esant žemai padėklo temperatūrai, turėjo daugybę defektų, kurie per labai trumpą laiką (pikosekundės) sugaudydavo nepusiausvyruosius krūvininkus. Taip užauginti nelegiruoti, ir beriliu legiruoti ŽT-GaAs sluoksniai buvo tiriami PFI Optoelektronikos laboratorijoje (vad. A. Krotkus). Bendromis pastangomis buvo sukurti terahercinės spinduliuotės prietaisai: optiniai perjungikliai, emiteriai ir detektoriai. 2010 m. GaAs ir GaAs-Bi sluoksniai pradėti auginti ir **Optoelektronikos laboratorijoje**, naudojant naują modernų Vilniaus universitetui priklausantį pusiau horizontalių molekulių pluoštelių epitaksijos (MBE) įrenginį, turintį 8 molekulių pluoštelių šaltinius (V. Pačėbutas, R. Butkutė, J. Devenson). GaAs-Bi medžiaga yra patraukli dėl ypač greito fotoatsako artimojoje infraraudonojo spektro srityje, ir todėl plonuosius jos sluoksnius tikimasi panaudoti ultragreitose optinės komunikacijos sistemose.

Ploniesiems sluoksniams auginti ESL iki šiol buvo taikoma ir skystinės epitaksijos technologija. Šiuo būdu sėkmingai auginami varizininiai AlGa-As heterodariniai (A. Šilėnas), skirti jonizuojančiosios rentgeno taip pat gama spinduliuotės jutikliams.

Nevienalyčių struktūrų laboratorijoje (vad. A. Sužiedėlis) 2005–2006 m. buvo sukurta mikrobangoms registruoti skirtų planarinių diodų gamybos ant elastinės dielektrinės polimido plėvelės technologija. Laboratorijos darbuotojai, naudodamiesi Wezmanno instituto (Izraelis) Braun submikrometrinių tyrimų centre esančia MBE įranga, išaugino sudėtingus GaAs/AlGaAs metazoskopiinius darinius. Pasinaudojant PFI turima fotošablونų, fotolitografijos,

cheminio ėsdinimo ir metalizacijos įranga, ant puslaidininkinio padėklo buvo pagamintos mikrobangų diodų matricos.

Puslaidininkių analizės laboratorijoje (vad. V. Bondarenka) buvo plėtojama vadinamoji zolių ir gelių technologija. Ji buvo pritaikyta ploniesiems vanadžio kserogelių ir vanadžio bronzų, taip pat kitų metalų oksidų ploniesiems sluoksniams gauti. Įvairių cheminių sudėčių sluoksniai buvo tiriami šiuolaikiniais rentgeno fotoelektronų spektroskopijos metodais. Buvo iširta, kaip vanadžio bronzų cheminė sudėtis (vanadžio valentinės būsenos) priklauso nuo technologinių parametru, sluoksnių vidinės sandaros (mikrostruktūros), atskleistos galimybės pritaikyti tiriamuosius sluoksnius dujų jutikliams kurti (A. Pašiškevičiaus disert., 2011)

Tyrimai nanotechnologijų srityje. PFI kompetencija šioje naujoje srityje buvo pripažinta, laimėjus ES SFP kompetencijos centrų projektą „Naujų medžiagų technologijų tyrimo ir taikymo centras, PRAMA“ (2002–2005 m.), kurio viena iš krypčių buvo Europinio kvantinių darinių tyrimų tinklo (NANO) sukūrimas. Projektą vykdžiusi didelė grupė PFI mokslininkų aktyviai bendradarbiavo su Antverpeno universitetu (Belgija), Eindhoveno technologijos universitetu (Olandija), Švedijos Karališkuoju technologijos institutu, Lenkijos mokslų akademijos Fizikos institutu, Nacionaline Švedijos sinchroninės spinduliuotės laboratorija , Gėtės universitetu (Vokietija) ir kt. mokslo centrais.

Po 1990 m. nanotechnologijos buvo kuriamos ir šios krypties tyrimai buvo atliekami keliuose instituto laboratorijose. Dar 1991 m. T. Lideikio pradėta metalo zoporėtųjų nanokristalinių Si sluoksnių formavimo technologiją I. Šimkienė pritaikė kai kuriems $A^{III}B^V$ puslaidininkiams. Dalis šių tyrimų rezultatų buvo apibendrinta J. Sabataitytės disertaciniame darbe (2002 m.). Vėlesni tyrimai parodė, kad elektrocheminio formavimo būdu galima pagaminti įvairių $A^{III}B^V$ junginių porėtuosius sluoksnius, tinkančius fotonikai, jutikliams, bijutikliams, optiniams filtrams, katalizatoriams, bioreaktoriams ir kitiems prietaisams kurti.

2009–2010 m. ištyrus opalo kristalų su infiltruotu organiniu FeTPPS junginiu optinius spektrus (J. G. Babonas), nustatyta, kad, parenkant opalo charakteristikas, galima suformuoti tokias hibridines sistemas, kuriose fotoninio kristalo „stop“ juostos aplinkoje atsiranda FeTPPS sugerties juostų, priklausančių nuo infiltruoto tirpalo rūgštingumo ir išorinio magnetinio lauko. Daug metų Puslaidininkių optikos laboratorijoje buvo atliekami įvairiuose Europos mokslo centruose užaugintų GaAs–AlAs kvantinių duobių, asimetrinių InGaAs–AlAs kvantinių duobių, δ legiruotų kvantinių duobių, InAs kvantinių taškų ir supergardelių tyrimai (J. Kavaliauskas, G. Krivaitė). Iširtas optinis nanostruktūrinių darinių atsakas fotoatspindžio, elektrinio atspindžio, fotovoltinio efekto, spektroskopinės elipsometrijos ir fotoluminescencinės spektroskopijos metodais.

2006–2010 m. tunelinės spektroskopijos bei koreliacinės vienifotonės spektroskopijos metodais buvo tiriami nepusiausvirųjų krūvininkų reiškiniai nano-

metriniuose GaAs/AlGaAs puslaidininkiniuose dariniuose (J. Kundrotas). Iš-tirti smūginės jonizacijos vyksmai GaAs/Al_{0.35}Ga_{0.65}As kvantiniuose šuliniuose, sukūrus elektrinį lauką išilgai kvantinių šulinių. Nustatyti krūvininkų generacijos ir rekombinacijos vyksmai dvimačiuose nanometrinuose dariniuose.

Fluktuacinių reiškinių laboratorijoje (vadovaujant A. Matulionii) per pas-tarąjį dešimtmetį buvo tiriami karštųjų krūvininkų mikrobanginiai triukšmai įvairialyčiuose dariniuose, pvz., InAlAs/InGaAs/InAlAs/InP lauko tranzisto-riuose su dvimatėmis elektronų dujomis, nanometrinio storio įtemptose SiO₂/Si/SiO₂ darinių protakose ir kituose objektuose. Atskleisti nauji triukšmo šaltiniai, sąlygoti skersinio tuneliavimo, šuolių tarp energetinių juostų ir kitų kvan-tiniais dariniams būdingų reiškinių.

ATS laboratorijoje B. Vengaliui vadovaujant buvo gaminami ir tiriami plo-nasluoksniai dariniai (nanokompozitai) su laidžiaisiais feromagnetiniais oksidais (Fe₃O₄, La_{1-x}Ca_xMnO₃, La_{1-x}Sr_xMnO₃) bei įvairūs tuneliniai šių medžiagų dariniai su nanometrinio storio izoliatoriaus barjeru. Sluoksniams ir jų dari-niams gaminti buvo naudojami magnetroninio dulkavimo bei impulsinio laze-rinio garinimo įrenginiai. Bendradarbiaujant su VU Bendrosios ir neorganinės chemijos katedros mokslininkais injekcinio nusodinimo iš organometalinių junginių garų fazės būdu buvo pagaminti heteroepitaksiniai daugiakomponen-čių oksidų dariniai, sudaryti iš feromagnetinio lantano-stroncio mangano ok-sido (LSMO) ir aukštatemperatūrio superlaidininko YBaCuO, atskirtų plonu nanometrinų matmenų izoliaciniu stroncio titanato tarp sluoksniu. Tiriant mi-nėtųjų darinių elektrines savybes buvo pastebėta, kad injektuojant elektronus su orientuotais sukiniais iš FM sluoksniu į superlaidininką galima keisti krizi-nę superlaidininko srovę. Buvo pagamintas superlaidžiojo srovės tranzistoriaus prototipas, iširtos jo voltamperinės ir srovės stiprinimo charakteristikos. Šių tyrimų rezultatai apibendrinti V. Plaušinatienės disertacijoje (2005 m.).

2000–2003 m. B. Vengalio vadovaujama grupė kartu su 11 mokslinių ir pra-monės partnerių iš įvairių Europos šalių dalyvavo Europos Sąjungos remiamos FP5 mokslinių tyrimų programos mokslinių tematikų tinkle „Metalų oksidų sluoksniai magnetoelektroninėms mikrosistemoms ir nanotechnologijoms – MULTIMETOX“. Vykdam šią programą 2000 m. Vilniuje surengta tarptautinė mokslinė konferencija “Thin film deposition of oxide multilayers. Industrial scale processing”.

Didelės galios impulsų laboratorijoje (3.2.6 pav.) iki šiol atliekami poli-kristalinių La_{1-x}Sr_xMnO₃ sluoksnių kristalinės sandaros bei elektrinių savybių tyrimai. Nustatyta, kad magnetovaržinės manganito sluoksnių savybės lemia elektronų tuneliavimas tarp atskirų kristalų. Tyrimo rezultatai buvo atspin-dėti N. Žurauskienės vadovaujamo doktorantų disertacijose (P. Cimpmperman, 2006; S. Keršulis, 2010). Panaudojus polikristalinius La_{1-x}Sr_xMnO₃ sluoksnius sukurtas originalus stipraus magnetinio lauko jutiklis (S. Balevičius, N. Žu-

rauskiene, V. Stankevič), kurio autoriaus teisės 2010 m. buvo apgintos tarptautiniu *France-EU* patentu.

Naujų matavimo metodų kūrimas. 2003 m. įkūrus Vilniaus stipriųjų magnetinių laukų tyrimo centrą, PFI Didelės galios impulsų laboratorijoje sukurta unikali Lietuvoje stipriųjų impulsinių magnetinių laukų generavimo aparatūra, leidžianti gauti 50 T magn. srauto tankio laukus. Naudojantis šia aparatūra atlikti magnetovaržos reiškinio tyrimai plonuose mangano oksidų sluoksniuose.

2005 m. įrengta nauja Terahercų laboratorija (vad. S. Ašmontas) su šiuolaikiška aparatūra: optiškai kaupinamu derinamos terahercinio dažnio spinduliuotės lazeriu FIRL-100. Įdiegta kompiuterizuota terahercinė vaizdavimo technologija (G. Valušis). Praplėstas elektromagnetinės spinduliuotės ruožas iki terahercinių dažnių (1 THz yra lygus 10^{12} Hz).

Bendradarbiaujant su UAB „Elmika“ sukurtas originalus milimetrinių bangų mikroskopas, skirtas įvairių medžiagų homogeniškumui tirti (A. Laurinavičius). Šis įrenginys buvo sėkmingai pritaikytas UAB „Vilniaus Ventos puslaidininkiai“ tiristoriams ir diodams gaminti naudojamų silicio plokštelių kokybei kontroliuoti. 2010 m. bendradarbiaujant su KTU Medienos technologijos katedros mokslininkais šiuo prietaisu buvo atlikti originalūs įvairių medienos gaminių kokybės tyrimai.

Panaudojus Europos struktūrinių fondų lėšas, Fluktuacinių reiškinių laboratorijoje 2007 m. sukurta unikali eksperimentinio tyrimo metodikos labai spartiems elektroniniams vyksmams tirti. Pasiūlyta ir sukurta originali fluktuacinė karštųjų fononų pusamžio matavimo metodika, kuri iki šiol yra vienintelė tinkama fononų gyvavimo trukmei įvertinti dariniuose su dvimatėmis elektronų dujomis.

Naujos galimybės plėtoti plonųjų sluoksnių nanotechnologijas, tirti bandinių paviršiaus kokybę atsirado 2007 m., kai iš institutui skirtų Europos struktūrinių fondų lėšų buvo įsigytas modernus skenuojamojo zondo mikroskopas ir profilometras, skirtas tiksliems sluoksnių storio matavimams atlikti. Deja, šie prietaisai bei 2009 m. įsigyta nauja vakuuminio terminio garinimo įranga yra bemaž vieninteliai tiesiogiai su medžiagotyros vystymu susiję įrenginiai,



3.2.6 pav. V. Stankevič ir N. Žurauskienė ruošiasi tyrinėti manganių sluoksnius stipriame impulsiniame magnetiniame lauke

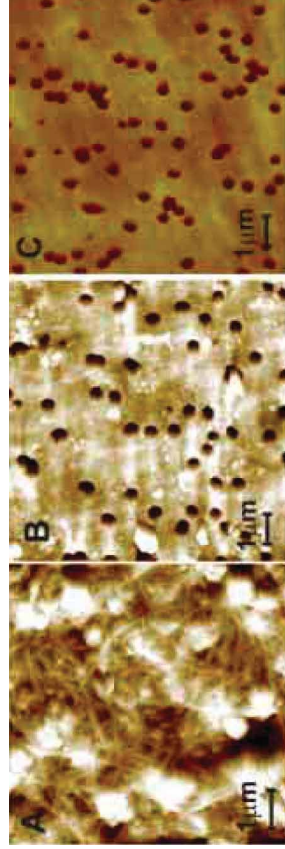
kuriuos institutas išsigijo per du nepriklausomos Lietuvos dešimtmečius, ir tai yra nepalyginamai mažiau negu per visą ankstesnį sovietinį laikotarpį. Nors technologinė instituto bazė per pastaruosius 20 metų beveik nebuvo atnaujinama, reikėtų pasidžiaugti, kad medžiagotyros tyrimai institute per tą patį laikotarpį ne tik nesumenko, bet buvo pasiekta džiuginančių rezultatų. Tačiau didžiausias pasiekimas yra didelis būrys išugdytų jaunosios kartos mokslininkų – medžiagotyros specialistų ir jų įgyta neįkainojama patirtis. Galima neabejoti, kad technologinę bazę atnaujinus, šie mokslininkai užtikrins tolesnę konkurencingą ir inovatyvią medžiagotyros darbų plėtrą.

3.3. Medžiagų chemija Vilniaus universitete (*Aivaras Kareiva*)

1988 m. Vilniaus universiteto Chemijos fakultete buvo įkurta Bendrosios ir neorganinės chemijos katedra. Nuo tada katedroje pradėti rengti neorganinės chemijos specialistai, o dėstytojai Chemijos fakulteto studentams, be tradicinių dalykų, pradėjo skaityti kvantinę chemiją, kristalų ir kietojo kūno chemiją, bioneorganinę chemiją, pereinamųjų elementų chemiją, fizikinę neorganinę chemiją, neorganinės chemijos rinkinius skyrius, neorganinių medžiagų elektroninę sandarą ir kt. Neorganinė chemija, kuri yra glaudžiai susijusi su medžiagotyra ir kietojo kūno chemija, neabejotinai yra viena iš labiausiai ir greičiausiai besiplečiančių chemijos šakų. Kad ir keista, daugumos katedros dėstytojų mokslinių tyrimų tematika susiformavo kaip tik neorganinės medžiagų chemijos erdvėje.

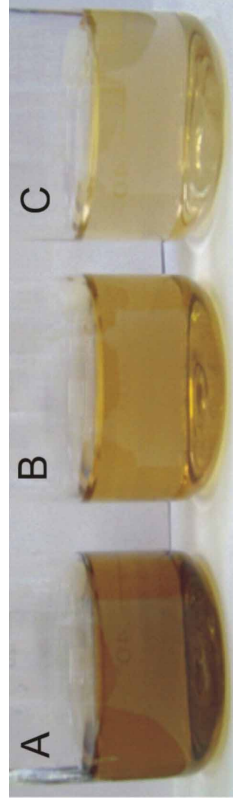
Per pastaruosius 20 metų Bendrosios ir neorganinės chemijos katedroje išryškėjo trys mokslinių tyrimų grupės: Anglinių medžiagų laboratorija (vad. prof. Jurgis Barkauskas), MOCVD laboratorija (vad. prof. Adolfas Abrutis) ir Zolių-gelių chemijos laboratorija (vad. prof. Aivaras Kareiva). Visose laboratorijose sintetintos ir tirtos naujos, šiuolaikinės cheminės medžiagos. Jų yra laukiama šiuolaikinės elektronikos pramonėje, nanotechnologijose, biotechnologijoje, biomedicinoje. Trijų grupių mokslininkų laimėjimai yra įvertinti Lietuvos mokslo respublikinėmis premijomis, aukščiausiojo laipsnio stipendijomis, Juozo Matulio premija bei kitomis prestižinėmis premijomis. Mokslininkai dalyvavo ir dalyvauja tarptautiniuose ir nacionaliniuose mokslo projektuose. Tyrimų rezultatai apibendrinti gero lygio publikacijose, dalyvauta įvairiose mokslinėse konferencijose, šia tematika skaitytos paskaitos užsienio universitetuose. Šios trys mokslinės grupės paskelbė per 200 mokslinių straipsnių *ISI Web of Science* žurnaluose ir apie 100 – Lietuvos mokslo žurnaluose. Geriausi straipsniai dažnai yra cituojami kitų užsienio mokslininkų [1–6]. Apie 22 daktaro ir 4 habilituoto daktaro disertacijos.

Anglinių medžiagų laboratorijoje jau beveik 20 metų sintetinamos ir tiriamos anglinės medžiagos, ieškoma jų taikymo sričių. Pastaruoju metu daugiausia dėmesio skiriama dangų ir membranų iš anglinių nanovamzdelių, grafito ir kitų anglinių nanodarinių gamybai, tyrimui ir taikymui. Sukurta dangų ir membranų sudarymo iš vienasienių anglinių nanovamzdelių technologija. Ji jungia filtravimo ir vienasluoksnio dengimo (*layer-by-layer*) metodus. Pagal ją pagamintos 100–400 nm storio anglinių nanovamzdelių membranos ant polikarbonatinio pagrindo. Membranų morfologijai būdingos tiek vertikaliai tvarkios nanovamzdelių struktūros, tiek tarpusavyje susipynusių nanovamzdelių domenai (3.3.1 pav.). Membranų morfologija leidžia išlaikyti sluoksnio tvirtumą ir kartu išnaudoti kontroliuojamos pernašos per membranas pranašumus. Dėl savo specifinės morfologijos, membranos gali būti naudojamos įvairiose srityse. Ant laidaus pagrindo jos pritaikomos biocheminių jutiklių, skirtų gliukozei ir alkoholiui nustatyti, gamyboje. Šiuo metu tiriamos galimybės panaudoti šias membranas filtravimui, kuro elementuose, nanoelektronikoje.

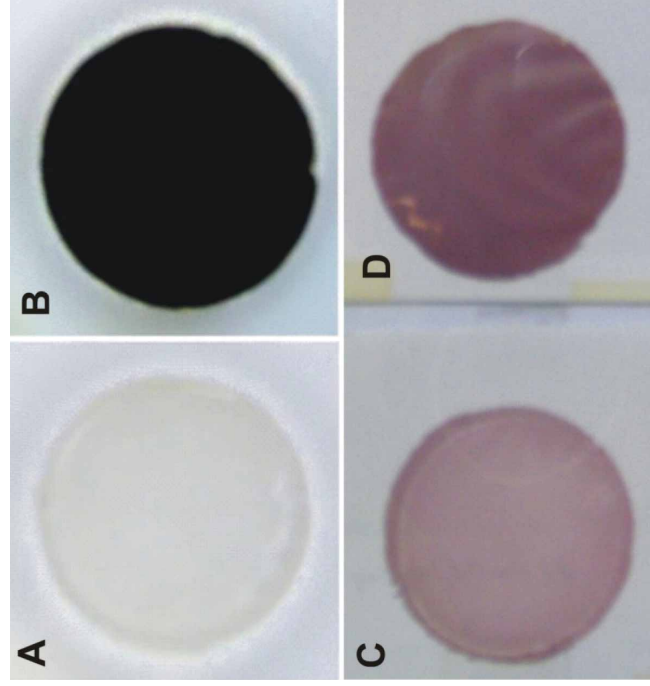


3.3.1 pav. Membranos, pagamintos iš vienasienių anglinių nanovamzdelių ant polikarbonatinio pagrindo. A) JM nuotraukos. A – susipynusių nanovamzdelių vaizdas; B – vaizdas iš polikarbonatinio pagrindo pusės; C – nepadengto polikarbonatinio pagrindo vaizdas

Kita sritis, kurioje šiuo metu intensyviai dirbama, yra grafito dangų ir nanodarinių gamyba. Grafitas gaminamas iš grafito oksido – medžiagos, gautos iš grafito, veikiant jį stipriais oksidatoriais. Tai hidrofilinis produktas, sudarytas iš nanometrinio dydžio įvairių funkcijų grupėmis įsotintų grafito lakštų, galintis suformuoti stabilias vandenines suspensijas. Produkto kokybė iš esmės priklauso nuo dalelių dydžio, o kartu ir nuo sintezės būdo. Anglinių medžiagų laboratorijoje įdiegti standartiniai grafito oksido sintezės metodai bei pasiūlytos kelios modifikuotos metodikos, leidžiančios gauti geresnės kokybės ir koncentruotesnes vandenines grafito oksido suspensijas (3.3.2 pav.), skirtas grafitui gaminti.



3.3.2 pav. Grafito oksido vandeninės suspensijos (5×10^{-5} g/ml), KOH koncentracijos: A – 0,02M; B – 0,002M; C – 0 M (pH = 6,0)



3.3.3 pav. Grafito ir grafito oksido membranos, paruoštos ant polikarbonatinio pagrindo: A – grafito membrana (storis 20 nm); B – grafito membrana (storis 400 nm); C – grafito oksido, modifikuoto rodaminu 6G, membrana (storis 20 nm); D – grafito oksido, modifikuoto rodaminu 6G, membrana (storis 400 nm)

Grafito oksidas gali virsti grafitu veikiant reduktoriais – askorbo rūgštimi, hidrazinu arba apdorojant termiškai, pavyzdžiui lazeriu. Laboratorijoje sukurta metodika leidžia gauti iki 20 nm storio grafito dangas (3.3.3 pav.). Grafito dangų kokybė priklauso nuo tinkamai paruoštos pirminės grafito oksido dangos. Jas apdorojant termiškai arba cheminiais reagentais, nanometrinų dydžių

grafito oksido lakštai yra sujungiami, kad daugiau ar mažiau atskirtų pirminę grafeno struktūrą. Šiame procese didelę įtaką turi dangos gaminti naudojami priedai. Grafito oksido nanodalelės dėl jose esančių funkcinių grupių yra iškrautos neigiamai. Panaudojus katijoninės prigimties organinių ksantenų klasės dažą – rodaminą 6G, gaunamos dangos, kurios po apdorojimo lazeriu turi daugiau grafeno fazės. Galima manyti, kad rodaminio 6G molekules padeda sujungti netvarkingai išsidėsčiusius grafito oksido lakštus į stambesnius ir tvarkingesnius darinius.

Viena iš unikalių grafeno savybių yra nepaprastai didelis jo šiluminis laidumas – $5300 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$. Grafenas yra didžiausiu šiluminiu laidumu pasižyminti medžiaga, daugiau kaip dvigubai lenkianti artimiausią savo konkurentą – deimantą. Grafito oksido šiluminis laidumas $0,3 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$ yra artimas plastikams. Šiuo metu yra atliekami bandymai, siekiant suformuoti grafeno monosluoksnį grafito oksido dangų paviršiuje. Paruoštas dangas planuojama naudoti energiją taupančiose technologijose – šaldymo įrenginiuose, vėdinimo sistemose, šilumos siurbluose ir pan.

MOCVD laboratorija. Pagrindinė laboratorijos mokslinės veiklos sritis yra MOCVD ir aerolių pirolizė, funkcinių oksidinių sluoksnių ir daugiasluoksnių struktūrų sintezė, tyrimai ir taikymas. Laboratorijoje sukurtas naujas oksidų sluoksnių nusodinimo metodas – impulsinis injekcinis MOCVD, kuris yra išplėtotas iki universalios sintezės technologijos. Šis puikus metodas panaudotas funkcinių oksidų sluoksniams ir daugiasluoksniams struktūroms, sudarytoms iš aukstatemperatūrų superlaidininkų, laidininkų, dielektrikų, feroelektrikų, feromagnetikų, magnetovaržinių oksidų, nusodinti. Išbandytas ir mišrus elektroninio-joninio laidumo perovskitinių oksidų sluoksnių nusodinimas MOCVD ir aerolių-pirolizės būdais. Šie sluoksniai buvo ištirti ir pritaikyti deguoniui laidžioms membranoms gauti. Pažymėtini ir elektrokatalizinių bei fotokatalizinių oksidų sluoksniai, laidūs Cd_3SnO_4 sluoksniams, skirti elektrokatalizei, InVO_4 , InTaO_4 , InVO_4 sluoksniams – fotokatalizei.

Laboratorijoje sukurta dviejų reaktorių sistema yra pavaizduota 3.3.4 paveiksle. Joje gaunamų daugiasluoksnių aukstatemperatūrų superlaidininkų struktūros pasižymi aukštais kritiniais parametrais. Sluoksniai auginami ant įvairių monokristalinių ir didelio paviršiaus nerūdijančio plieno, sidabro ir tekstūrotų Ni ar jo lydinų padėklų. Dažnai pirmiausia yra nusodinami buferiniai CeO_2 , YSZ , MgO , Y_2O_3 sluoksniai arba įvairios daugiasluoksnės buferių architektūros.

Šiuo metu impulsiniu – injekciniu MOCVD atliekamas itin sudėtingų mišrus elektroninio joninio laidumo heteroepitaksinių perovskitinių oksidinių struktūrų $\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_3$, $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_3$, $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ ir $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{O}_3$ supergardelių nusodinimas. Jos naudojamos deguoniui laidžioms membranoms gaminti. MOCVD ir karštos vielos MOCVD metodais laboratorijoje taip pat išauginti neoksidinių puslaidininkų GeTe ir $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ sluoksniai, naudojami fazinio virsmo tipo atmintims.

Kiti MOCVD laboratorijoje atliekami moksliniai darbai apima lakius metaloorganinius junginius, gaunamus tradicine metalų b-diketonatų ir naująja metalų kompleksų su dimetilaminpropoksidu metaloorganinių junginių sinteze. Junginiai gryninami, apibūdinami ir panaudojami MOCVD augininti.



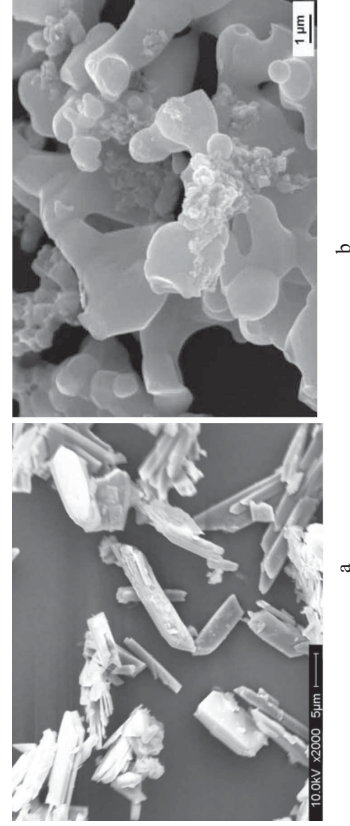
3.3.4 pav. Dviejų reaktorių sistema: kairėje – impulsinis – injekcinis MOCVD reaktorių, dešinėje – kombinuotas aerzolių pirolizės ir impulsinis – injekcinis MOCVD reaktorių įvairioms oksidinėms struktūroms nusodinti ant didelių padėklų (šiose reaktoriuose sukonstruota padėklų sukimo sistema)

Pažymėtina, kad MOCVD laboratorijoje atliekamas sukonstruotų laboratorinių impulsinio – injekcinio MOCVD reaktorių įrangos modernizavimas ir optimizavimas leido šiuos reaktorius įdiegti kitose laboratorijose pagal užsakymus. Kartu su reaktoriais buvo įdiegiamos ir oksidų sluoksnių nusodinimo technologijos. Užsienio laboratorijose įdiegti septyni reaktoriai: keturi Ispanijoje, vienas Airijoje, vienas Portugalijoje ir vienas Meksikoje.

Zolių-gelių chemijos laboratorija. 1994 m. Vilniaus universiteto Chemijos fakulteto Bendrosios ir neorganinės chemijos katedrai buvo sudarytos galimybės plėtoti naują zolių-gelių chemijos mokslinę temą. Zolių-gelių sintezės metodas pritaikytas įvairiems daugiakomponentiniams metalų oksidams gauti. Kad ir kuklūs pasiekimai, tačiau ir jie leido įsiterpti į kuriamas geriausių Europos universitetų bei Lietuvos mokslines komandas, kurioms buvo patikėta spręsti NATO, 6-osios Europos programos bei nacionalinių projektų

užduotis. Svarbiausiu tikslu išlieka naujų nanomedžiagų, pasižyminčių specifinėmis fizikinėmis savybėmis, efektyvių sintezės procesų ruošimas. Sintezės metu kūrimo svarbą lemia medžiagų fizikinių savybių gausa. Zolių-gelių metodu sintetinant keramines medžiagas, galima užtikrinti jų fazinės sudėties grynumą bei kontroliuoti morfologinius ypatumus. Termogravimetrinė analizė (TGA) ir diferencinė terminė analizė (DTA) panaudotos susintetintų gelių terminio skilimo mechanizmui tirti, esant įvairiems temperatūros kėlimo greičiams bei skirtingoms atmosferos sąlygoms. TGA analizės duomenys yra reikšmingi, parenkant optimalią galutinio produkto sintezės temperatūrą. Infraudonoji spektroskopija (IR) panaudota funkcinėms grupėms ir cheminiams fragmentams identifikuoti nagrinėjamosiose sistemose. Rentgeno spindulių difrakcinės analizės metodas panaudotas gautiems junginiams bei susidariusioms pašalinėms fazėms identifikuoti ir kristališkumo laipsniui nustatyti, kristalų gardelės parametrams apskaičiuoti. Sintezės produktų morfologija, fazinė ir cheminė sudėtis, kristalo gardelės defektai bei parametrai ivertinti skleidžiamosios ir transmisinės elektroninės mikroskopijos (SEM ir TEM) metodais. Reikia pabrėžti, kad naujų daugiafunkčių nanomedžiagų paieška, matyt, dar ilgai išliks aktualia aukštųjų technologijų plėtros sritimi.

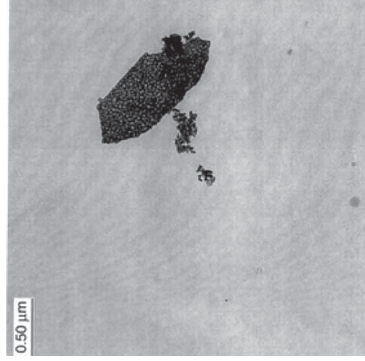
Zolių-gelių procesas buvo labai sėkmingai pritaikytas biokeraminėms medžiagoms, pasižyminčioms įvairia paviršiaus morfologija, sintetinti. 3.3.5 pažiūrėkime pateiktos kalcio hidroksiapatitų SEM nuotraukas.



3.3.5 pav. $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, susintetintų zolių-gelių metodu, SEM nuotraukos: strypai (a) ir plokštieji kristalai (b)

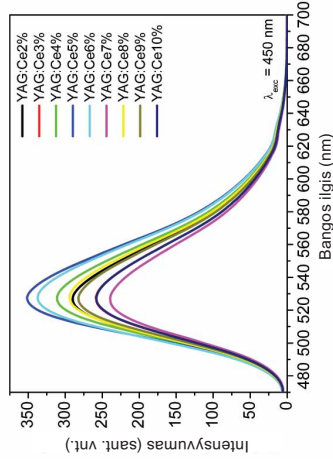
Remiantis įvairių išankstinių optimizacijos tyrimų duomenimis, laboratorijoje sukurtos naujų, šiuolaikinių nanojunginių, pasižyminčių daugialype chemine sudėtimi, sudėtinga kristaline struktūra bei įvairiomis funkcinėmis savybėmis, zolių-gelių sintezės metodikos. Gauti granato kristalinės struktūros nanojunginiai, pasižymintys puikiomis luminescencinėmis savybėmis (3.3.6 paveikslas). Taip pat

zolių-gelių būdu gautos įvairios nanodangos, kurioms būdingas optinių parametrų stabilumas ir minimalūs šviesos sugerties nuostoliai. Dangoms formuoti naudojama įmerkimo (dip-coating) ir sukimo (spin-coating) aparatūra (3.3.7 paveikslas).



a

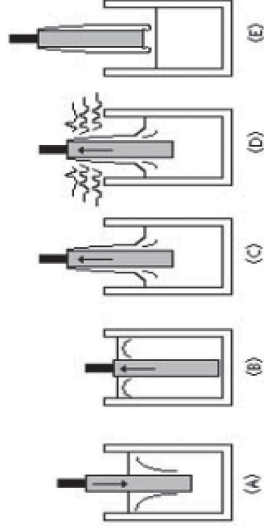
3.3.6 pav. $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ TEM nuotrauka (a) ir emisijos spektrai (b)



b



3.3.7 pav. Dangų formavimo įmerkimo metodu įranga ir proceso etapai



Šis efektyvus ir ekonomiškias metodas gali būti naudojamas termiškai jautriems kristalams padengti, didelių matmenų optiniams elementams gaminti, hidrofilinių dangų paviršiams modifikuoti. Naudojant koloidinius silicio oksido tirpalus, gautus zolių-gelių būdu, galima gaminti įvairaus storio, skirtingų lūžio rodiklių, mažos sugerties ir aukštesnio lazerio indukuoto pažeidimo slenkščio skaidrinančiąsias dangas. Įvairiai modifikuotos silicio dioksido nanodangos pritaikomos šiuolaikinėje biotechnologijoje.

Literatūra

1. J. P. Senateur, C. Dubourdieu, F. Weiss, M. Rosina, A. Abrutis, Pulsed injection MOCVD of functional electronic oxides. *Advanced Materials for Optics and Electronics*, 2000, 10, 155–161.
2. S. Pignard, H. Vincent, J. P. Senateur, J. Pierre, A. Abrutis, Annealing effect on magnetic and electrical properties of epitaxial $\text{La}_0.8\text{Mn}_{0.2}\text{-delta}$ thin films grown by chemical vapor deposition, *Journal of Applied Physics*, 1997, 82, 4445–4448.
3. J. Barkauskas, Investigation of conductometric humidity sensors, *Talanta*, 1997, 44, 1107–1112.
4. J. Barkauskas, pH-dependent water penetration through CNT sub-layers arranged on the polycarbonate membrane filters, *Carbon*, 2010, 48, 1858–1861.
5. M. Veith, S. Mathur, A. Kareiva, M. Jilavi, M. Zimmer, V. Huch, Low temperature synthesis of nanocrystalline $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) and Ce-doped $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ via different sol-gel methods, *Journal of Materials Chemistry*, 1999, 9, 3069–3079.
6. I. Bogdanovicene, A. Beganskienė, K. Tõnsuaadu, J. Glaser, H.-J. Meyer, A. Kareiva, Calcium hydroxyapatite, $(\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2)$, HA) ceramics prepared by aqueous sol-gel processing, *Materials Research Bulletin*, 2006, 41, 1754–1762.

3.4. Medžiagų inžinerija ir suvirinimas Vilniaus Gedimino technikos universitete (*Algirdas Valiulis*)

Pirmieji žingsniai. 20-ojo amžiaus penktajame ir šeštajame dešimtmetyse Vilniuje buvo pastatyti ir veikė nemažai naujų gamyklų, kuriose buvo mechaniniai, terminio apdorojimo barai, linijos ar cechai. Tuo metu atsirado ir medžiagų inžinerijos dėstymo poreikis. Konstrukcinių medžiagų mokslinių tyrimų pradžia Kauno politechnikos instituto (KPI) Vilniaus filiale (dabartiniame VGTU) sietina su 1961 m. įsteigto Mechanikos fakulteto Metalų apdirbimo katedra, kai jos vedėju buvo paskirtas tech. moksl. kand. Borisas Liaudis. Nuo pat įsikūrimo katedra buvo profilinė. Ji taip pat rengė Suvirinimo inžinierių ir technologijos specialybės inžinierius, Medžiagų inžinerijos ir suvirinimo specialistus. Vėliau katedros pavadinimas keitėsi: nuo 1969 m. – Medžiagų technologijos, o nuo 1993 m. – Medžiagotyros ir suvirinimo katedra. KPI Vilniaus filialui tapus savarankiška aukštąja mokykla – Vilniaus inžinerinių statybos institutu (dabar VGTU) – Metalų apdirbimo katedra turėjo keistis, taikytis prie naujų mokslo krypčių.

1967 metais buvo išleisti pirmieji Suvirinimo įrenginių ir technologijos specialybės absolventai. Iki pat nepriklausomybės atkūrimo šios specialybės absolventams buvo privalomas skirstymas į darbo vietas, todėl dalis vykdavo į įvairias Sovietų sąjungos įmones, geografiškai net iki Uralo kalnų. Dalis absolventų susistardavo su įmonių administracija ir grįždavo į Lietuvą, dalis įleido šaknis svetur, daugiausia kaimyninėse šalyse – Latvijoje, Estijoje, Baltarusijoje. Devin-

tajame pračio amžiaus dešimtmetyje ši specialybė buvo praplėsta ir šią dieną ji žinoma kaip „Inovatyviosios gamybos inžinerijos“ (pirmos pakopos studijos) ir „Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos“ (antrosios pakopos studijos) specialybės.

1961–1963 m. prie katedros veikė žinybinė Liaudies ūkio tarybos liejininkystės laboratorija, kuri vykdė pramonei svarbius mokslinius tyrimus. Šioje laboratorijoje buvo atliekami sintetinio ketaus, t.y. ketaus, gaminamo ne iš geležies rūdų, o iš juodųjų metalų laužo ir gamybos atliekų, savybių tyrimai. Laboratorija turėjo dvi aukštojo dažnio metalo lydymo krosnis ir, kad ir kaip atrodytų keista šiais laikais, buvo gerai aprūpinta moksliniais tyrimams būtiną įrangą bei medžiagomis (įvairių sunkialyžių, retųjų žemių metalų ligatūromis, ferolydiniais ir grynaisiais metalais). Daugelį mokslinių tyrimų užsakydavo ir kitos buvusios SSRS įmonės ir organizacijos. Ketaus liejiniai buvo gaminami keliose Lietuvos įmonėse. Ketus buvo lydomas elektrinėse krosnyse ar lydkrosnėse. Pagrindinė žaliava buvo perdirbamojo ketaus luitai ir metalo laužas. Iš blogai rūšiuojamo metalo laužo į įkrovą patekdavo ketui nereikalingų elementų, kurių poveikį ir tyrė instituto mokslininkai B. Liaudis, V. Valaitis, S. Jodlovičius, A. V. Valiulis. Buvo atliekami grafitizuojančiųjų (Si, Ni) ir karbidizuojančiųjų (Cr, Ma, W) elementų individualaus ir kompleksinio poveikio ketaus struktūrai ir savybėms tyrimai. Jie buvo pritaikyti gamyboje ir davė gerų rezultatų bei ekonominės naudos.

Kita mokslininkų grupė (V. Juodelis, J. Bendikas) tyrinėjo plienų relaksacinį atsparumą ir minkštamagnečių medžiagų savybes (1970–1975). Minkštamagnečių medžiagų savybių tyrimų reikėjo Vilniuje veikusiam Vilniaus magnetinių įrašų konstravimo biurui. Biuras kūrė magnetinio įrašymo sistemas, kurios buvo diegiamos prietaisų gamykloje „Vilma“. Biuro iniciatyva buvo tiriamos magnetinių galvučių gamybai naudojamos minkštamagnetės medžiagos – daug nikelio turintys lydiniai (permalojai) ir Al-Si-Fe lydiniai (sendastai). Buvo tiriamas šių medžiagų magnetinis jautris veikiant įtempiams, terminiam ciklui. Buvo atliekami vienaarūšių ir įvairiarūšių minkštamagnečių medžiagų jungimo difuziniu, mikrokontaktiniu ir mokroplazminiu būdais bandymai. Medžiagų senėjimo reiškiniai buvo matuojami specialiai įrengtose termokonstantinėse patalpose. Nemažai tyrimų buvo skirti Ignalinos atominės elektrinės problemoms spręsti (1993–2000). Buvo atliekami reaktoriaus RBMK-1500 aušinimo sistemos austenitinių vamzdynų, kuriems būdingas tarpkristalinis korozinis trūkkinėjimas, veikiant įtempiams, tyrimai bei siūlių su įtrūkimais, paliktų toliau eksploatuoti, saugos ekspertinė analizė. Lietuvos šiluminėse elektrinėse elementams, dirbantiems aukštos temperatūros ir didelio slėgio sąlygomis, buvo naudojami (Cr-Mo-V), 9–12 % Cr ir chromo-molibdeno (5 % Cr–0,5 % Mo) plienai. Atlikę išsamius tyrimus katedros mokslininkai nustatė legiruojamųjų plienų mechaninių savybių degradacijos priežastis ir sukūrė metodikas

optimaliems terminio apdorojimo parametrams nustatyti (V. Rudzinskas, V. Kumšlytis). Modeliuojant šiluminį procesus, įtempius ir atlikus mikroskopiškus tyrimus buvo nustatyta grafinės nomogramos kai kurių plienų terminio apdorojimo parametrams greitai parinkti. Nemaža buvo dirbama kuriant paviršines funkcines dangas ir atliekant jų savybių tyrimus. Buvo sukurti naujų rūšių glaistytieji elektrodai, kuriais apvirkus paviršius, buvo gaunamos gerų mechaninių savybių dangos, atsparios abrazyviniam dilimui (V. Varnauskas). Buvo tiriamos elektrolankinių miltelinės vielos purškimo gautos iki 70 HRC kietumo dangos, pasižymintios geromis antifrikcinėmis ir antikorozinėmis savybėmis esant aukštai temperatūrai (I. Gedzevičius). Bendradarbiaudamas su Gdanskio technikos universitetu (2005–2010 m.), nemažai austenitinių plienų virintinių jungčių mikrostruktūros tyrimų atliko I. Višniakas. Taip pat (2006–2010 m.) buvo tiriamas vibracijos energijos poveikis liekamiesiems suvirinimo įtempiams ir konstrukcijų virintinių jungčių mikrostruktūrai ir savybėms, siekiant rasti tinkamiausią metodą liekamiesiems suvirinimo įtempiams lauko sąlygomis nustatyti (A. Jurčius, R. Skindaras).

Katedros kolektyvas buvo formuojamas iš KPI absolventų, tačiau dirbo ir mokslininkų, baigusių Leningrado politechnikos institutą (V. Arlauskas), Maskvos N. Baumano aukštąją technikos mokyklą (J. Ščemeliovas). Buvo užmegzti glaudūs ryšiai su Ukrainos MA J. Patono elektrinio suvirinimo institutu, Maskvos N. Baumano aukštąją technikos mokyklą, Sankt Peterburgo, Kijevo, Dnepropetrovsko ir kitų aukštųjų technikos mokyklų mokslininkais. Juose jauni katedros mokslininkai gynė technikos mokslų daktaro disertacijas: J. Bendikas (1970 m. Dnepropetrovske), A. V. Valiulis (1975 m. ten pat), V. Arlauskas (1975 m. Leningrade), V. Juodelis (1975 m. ten pat), I. Višniakas (1983 m. ten pat), E. Ščemeliovas (1984 m. Maskvoje), L. Kebas (1989 m. Leningrade). Mokslinių darbų gynimas už Lietuvos ribų nebuvo paprasta procedūra. Kildavo įtarimų dėl darbų kokybės, kai mokslininkai jų ginti atvykdavo iš nežinomos institucijos. Nuvykus į tuometinės metalurgijos mokslinių tyrimų centrą Dnepropetrovske, Mokslinei tarybai iš viso atrodė keista, ar net juokinga, kad kažkokiam Sąjungos pakraštyje kas nors gali vykdyti sunkiajai metalurgijai reikalingus tyrimus. Tačiau B. Liaudis, A. V. Valiulis, I. Višniakas, E. Ščemeliovas, L. Kebas, J. Narkevičius 1978–1986 m. užpatentavo šešis suvirinimo šaltinių srities išradimus. Net ir sovietinio sąstingio ir uždarumo laikais buvo ieškoma būdų užmegzti kontaktų su užsieniu, pasidalyti patyrimu su „artimojo“ užstienio mokslininkais konferencijose, stažuotėse ar kokia kita forma.

Katedros mokslininkų darbai visada buvo glaudžiai susiję su aktualiomis gamybos problemomis. O bendradarbiauti buvo su kuo, nes 1987 m. Vilniuje buvo 74 pramonės įmonės ir susivienijimai, pramonėje dirbo apie 100 tūkstan-

čių darbuotojų, taigi 60 % miesto pramonės darbuotojų dirbo mašinų gamybos ir metalo apdirbimo įmonėse! Daugelio šių įmonių šią dieną jau nėra, tik kai kurios tebeveikia kitais pavadinimais. To meto SSRS pramonės plėtrai reikėjo ne tik kvalifikuotų darbininkų, bet ir konstruktorių, technologų, inžinierių. Daugelyje įmonių veikė tyrimo prietaisais ir priemonėmis neblogai aprūpintos medžiagų savybių ir kokybės tyrimo laboratorijos. Todėl padėti spręsti mokslines problemas buvo kviečiami KPI, VISI mokslininkai.

Katedros mokslininkai kūrė suvirinimo elektros lanko maitinimo šaltinius, turinčius elektrinėje grandinėje talpumo (kondensatorių baterijas) ir induktyvumo (droselius) mazgus. Įdomu, kad šiais lanko maitinimo šaltiniais (1985–1990 m.) susidomėjo SSRS karinė antvandeninių ir povandeninių laivų kūrimo žinyba. Sukurti lanko maitinimo šaltiniai, kurie lanko uždegimo metu neskleidė radio dažnio bangų, todėl vykdant suvirinimo darbus, neturšė eterio ir neatkleisdavo laivo koordinatų. Dar vienu privalumu buvo galimybė naudoti labai ilgus suvirinimo laidus, nes sunkų šaltinį ne visuomet galima perkelti į reikiama laivo vietą, be to, dažnai tokiuose laivuose vietos būdavo labai mažai. Naudojantis šiuo šaltiniu suvirinimo laidai galėjo būti ilgesni nei 100 metrų. Tuo metu kitų tipų lanko maitinimo šaltiniai galėdavo aptarnauti tik kelių metrų skersmens zoną. Padidėjus šių šaltinių užsakymų kiekiui (1988 m.) buvo suprojektuotas pramoninis įrenginys ir Vilniaus elektrinio suvirinimo gamykloje išleista nedidelė jų serija (3,4.1 pav.). Taip pat buvo kuriami specializuoti dviposčiai ir keturposčiai suvirinimo lanko maitinimo šaltiniai, skirti Ignalinos atominėi elektrinei. Šiandien tokie šaltiniai ir jų veikimo principai jau praeitis. Pramonėi pradėjus gaminti didelės galios diodus, bei sukūrus inverterinius lanko maitinimo šaltinius, lanko maitinimo šaltinių masė ir matmenys sumažėjo 10 ir daugiau kartų. Jie nurungė senuosius savo mobilumu, ekonomiškuumu, galimybe elektronikos priemonėmis valdyti suvirinimo elektrinio lanko procesus.

Veikla po 1990 metų. Nauji veiklos horizontai atsivėrė Lietuvai atgavus nepriklausomybę. Katedra bendradarbiauja su Lietuvos ir užsienio įmonėmis ir institucijomis: Varšuvos ir Gdanskio technikos universitetais, Švedijos karališkuoju technologijos institutu, Švedijos metalų tyrimo institutu, Rygos technikos universitetu, Kijevo J. Patono elektrinio suvirinimo institutu, Maskvos N. Baumano aukštąja technikos mokykla, Belforo-Montbeljaro technologijos universitetu (Prancūzija), Kauno technologijos universitetu, Lietuvos energotikos institutu, AB „Mažeikių nafta“, Fizinių ir technologijos mokslų centro institutais, Technikos priežiūros komitetu, UAB „AGA“, AB „GENTRA“ ir daugeliu kitų. Atliekami bendri moksliniai tyrimai, studentai ir darbuotojai išvyksta studijuoti ar atlikti praktiką.

Pastaruoju metu Lietuvoje plieno ir kitų metalų lydinų suvirinimo darbus vykdo per 600 smulkių, vidutinių ir stambių gamintojų. Jie gamina įvairią pro-

dukiją: nuo paprastų, nesvarbių konstrukcijų iki didelio slėgio (dujotiekiai, balionai, talpyklos), aukštų temperatūrų (perkaitintojo garo vamzdynai, kuro degimo kameros), agresyvioje aplinkoje dirbančių (chemijos, trąšų gamybos, naftos perdirbimo), labai didelių matmenų konstrukcijų (laivai, tiltai, pastatų santvaros), kurioms taikomi ypač griežti gamybos kokybės reikalavimai (3.4.2–3.4.5 pav.). Lietuvoje mechaninės inžinerijos sektoriuje veikia apie 21% didelių imonių (per 250 darbuotojų), apie 42% vidutinių (50–250 darbuotojų), apie 26 % mažų (10–49 darbuotojų) ir apie 11% smulkių (iki 10 darbuotojų) imonių. Šie skaičiai rodo, kad mechaninė inžinerija įkūnija verslininkystės dvasią, labai svarbią Lietuvos siekiamis ir uždaviniams įgyvendinti. Mechaninės inžinerijos imonės palaiko ypač glaudžius ryšius su klientais, nes automatizuota ar mechanizuota prekių gamyba paprastai yra sudėtinga, reikalaujanti ypatingų inžinerijos įgūdžių, nuolatinės techninės priežiūros, kurią dažniausiai teikia įrangos gamintojas.

Medžiagotyras ir suvirinimo katedroje atliekami mokslo darbai kuriant pažangias medžiagų jungimo, gaminių paviršių savybių keitimo ir restauravimo technologijas, didinant metalų gaminių darbinį patikimumą. Matematiškai modeliuojami įvairūs suvirinimo lanko, metalo pernešimo procesai, suvirintųjų konstrukcijų įtempiai ir deformacijos, kuriamos paviršinės metalų lydinių dangos. Plėtojami anizotropinių daugiafunkcinių savybių metalų dangų kūrimo, metalinių medžiagų jungimo, detalių paviršiaus atstatymo ir savybių keitimo tyrimai. Tyrimams naudojami robotizuoti įrenginiai, naujausios kartos mikroskopai, liepsninio purškimo, impulsinio dangų perludymo, mikro- ir makrokietumo matavimo, abrazyvinio dilimo tyrimo įrenginiai, optinis mikroskopas su vaizdų analizatoriumi, ultragarsiniai defektoskopai ir kt. Tyrimų įranga brangi, todėl kai kurie tyrimai atliekami kitose Lietuvoje ar kitų šalių laboratorijose.

Į suvirinimo gamybą pradėta žiūrėti kompleksiskai, kaip ir kitose pasaulio šalyse. Integruotos gamintojo sertifikavimo sistemos dokumentai tarptautiniuose mastu pradėti diegti nuo 2008 metų. Suvirinimo gamybos sektoriui koordinuoti 2005 m. įkurta Lietuvos suvirintojų asociacija. 2008 m. Grace (Austrija) vykusioje Tarptautinio suvirinimo instituto (*International Institute of Welding*) asamblėjoje, Lietuvos asociacija priimta pasaulinės organizacijos tikraja nare. Lietuvos suvirintojų asociacijos nariams atsivėrė informacinės duomenų ir norminių dokumentų bazės. Jais remiamasi įteisinant suvirinimo darbuose ISO (*International Standard Organisation*) standartus. Tarptautinio suvirinimo instituto išduodami profesijos diplomai (inžinieriaus, darbų priežiūros pareigūno, meistro ar suvirintojo) yra labai svarbūs siekiant tarptautinių užsakymų ar pretenduojant vykdyti svarbių konstrukcijų suvirinimo darbus. Neturint šių, kvalifikaciją patvirtinančių dokumentų, užsakymų svarbioms konstrukcijoms gaminti labai sunku gauti. VGTU Medžiagotyras ir suvirinimo katedra tokio lygmens mokymus vykdo jau dabar, tačiau teisės teikti profesinę kvalifikaciją dar neturi, todėl egzaminuoti kviečiami ES šalių, turinčių tokią teisę, atstovai. Išlaikiusiems

egzaminus jie išduoda visame pasaulyje pripažįstamus profesijos diplomus. Ar Lietuva gaus tokią teisę, priklausys nuo tarptautinio mūsų mokymo lygmens vertinimo. Iš Baltijos šalių tik Lietuva šia kryptimi žengė pirmuosius žingsnius.

Medžiagotyros ir suvirinimo katedroje buvo parengta nemažai mokslo daktarų. Mokslo aruodai pasipildė vertingais mokslo darbais ir disertacijomis: N. Višniakovo (2000), O. Černašėjaus (2000), I. Gedzevičiaus (2005, šis mokslinis darbas rengtas VGTU ir Belforo-Montbeljaro technologijos universitete), V. Var-nausko (2008), V. Kumšlyčio (2010), A. Jūrčiaus (2010). Per pastarąjį dešimtmetį katedros mokslininkai paskelbė per 70 mokslinių publikacijų, parengė ir išleido daug metodinių leidinių ir vadovėlių. Katedros pedagogai nemažai padarė kurdami ir įtvirtindami lietuvių kalboje suvirinimo terminiją. Katedroje buvo sėkmingai vykdomas tarptautinis Leonardo da Vinci projektas INTERWELD – *Europinio lygio suvirinimo specialistų rengimas*. Projektui vykdyti buvo skirta 1,014 milijono litų. Suvirinimo laboratorijoje sukurta moderniška mokymo bazė, tarptautinės profesinės atestacijos dokumentus gavo 60 įvairiose mokslo organizacijose dirbančių mokslininkų ir tyrėjų, suvirinimo srities inžinierių, studentų.

Galime džiaugtis, kad Mechanikos fakulteto studentai ir dėstytojai nuolat vyksta studijuoti ar mokyti (-is) į Europos Sąjungos šalių universitetus. Kita vertus, fakultete yra studijų programų, vykdomų anglų kalba ir prieinamų atvykstantiems kitų šalių studentams. Kreipiasi įvairios organizacijos, prašančios konsultuoti, sukurti technologijas, atlikti ekspertizes ar kokius nors medžiagų jungimo ir tyrimo darbus. Katedros mokslininkai parengė nemažai vadovėlių, monografių, žinyrų ir žodynų, kuriuos galima rasti ne tik universitetų, bet ir įmonių bibliotekose. Katedros absolventai susiranda darbą, nes ir smulkiausia gamyba neapsieina be metalinių, polimerinių, kompozicinių medžiagų, jų suvirinimo, litavimo, pjaustymo, terminio ar kitokio apdorojimo. Dauguma baigusiujų studijas sėkmingai dirba ne tik vietinėse įmonėse, bet ir Lenkijoje, Latvijoje, Baltarusijoje, Estijoje, Izraelyje, Ukrainoje, Rusijoje ir yra vertinami kaip aukštos kvalifikacijos specialistai.

2011 m. VGTU Medžiagotyros ir suvirinimo katedra šventė įkūrimo 50-metį. Per tuos metus Suvirinimo inžinierių ir technologijos specialybę baigė 45 absolventų laidos. Iki 2000 m. parengti 954 suvirinimo inžinieriai, o per pastaruosius du dešimtmečius – 303 bakalaurai ir 138 magistrai. Katedros darbuotojai aktyviai dalyvauja įvairių organizacijų veikloje. Prof. habil. dr. A. V. Valiulis yra Lietuvos mokslų akademijos narys ekspertas, Europos Sąjungos Pleno ir anglių komiteto prie Europos Komisijos Mokslo generalinio direktorato Lietuvos nacionalinis atstovas, Lietuvos atstovas ES Pleno technologinėje platformoje, Lietuvos suvirinotojų asociacijos tarybos pirmininkas, inžinerinės pramonės asociacijos „Linpra“ prezidento narys, Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacijos narys.

Katedros bendruomenė tiki gražia krašto ateitimi, geresnio gyvenimo vizija ir savo darbo prasme, neabejoja, kad visa vykdoma veikla bus reikalinga ir ateityje.



3.4.1 pav. Medžiagotyros ir suvirinimo katedros mokslininkų sukurtas universalus suvirinimo šaltinis VISI-A1 (1989)



3.4.2 pav. Virintinė 16 MW katilo kūrykla, naudojanti ekologiškai švarų biokurą (medienos atliekas, durpes, šiaudus, gamintojas UAB „Kauno energetikos remontas“ (2009))



3.4.3 pav. Virintinis pėsčiųjų tiltas, jungiantis Šilainius su Vytėnais Kaune (statybos subrangovas – UAB „Kauno energetikos remontas“, kuri pagamino metalines statinio konstrukcijas, vykdė suvirinimo darbus viaduko montavimo metu, atliko suvirinimo siūlių ultragarasinę ir radiografinę kontrolę (2005))



3.4.4 pav. Utenos m. daugiafunkcinio sporto komplekso sporto salės stogo denginio virintinės metalo konstrukcijos gamyba (UAB „Kauno energetikos remontas“, 2009)



3.4.5 pav. Virintinio Mindaugo tilto per Neris upę statyba (UAB „Tilsta“, 2004 m.)

3.5. Medžiagotyra Vilniaus universiteto Lazerių tyrimų centre (*Gabija Bičkauskaitė, Mangirdas Malinauskas*)

Šiuo metu moksle ir pramonėje vis plačiau naudojami ultratrumpųjų impulsų femtosekundiniai ir pikosekundiniai lazeriai, leidžiantys tiksliai ir selektyviai apdirbti įvairias medžiagas. Optiniais impulsais galima suformuoti labai įvairius didelės erdvinės skynos mikrometrinių ir nanometrinių matmenų darinius. Jie gali būti taikomi daugelyje mikrotechnikos sričių, kur reikia mažų sudėtinųjų elementų. Dėl to didėja sistemos efektyvumas, komponentų skaičius ploto vienetu, mažėja energijos ir medžiagų sąnaudos, trumpėja proceso trukmė, gerėja veiklos charakteristikos. Viena pagrindinių tokių krypčių yra mikroelektronika. Fotolitografija ir elektronų pluošto litografija taikomos kaip tradicinės mikroelektronikos elementų gamybos technologijos. Kadangi elementų konstrukcijos darosi sudėtingesnės, šios technologijos susiduria su apribojimais, pvz., negalima gauti kai kurių biologiskai ar chemiskai suderinamų, mažesnių nei 100 nm trimačių matmenų darinių ant reikiamų paviršių. Šie apribojimai verčia kurti ir tobulinti lankstesnes mažų elementų technologijas.

Šiame skyriuje aptariami lazerinės daugiafotonės fotopolimerizacijos (LDFP, angl. *laser multi-photon photopolymerization*), plėtojamos Vilniaus universiteto (VU) Lazerių tyrimų centre (LTC), taikymo principai ir galimybės gaminti įvairius funkcinius mikro- ir nanodarinius. LDFF yra viena iš sparčiai plėtojamų, < 100 nm erdvinės skynos trimačių darinių formavimo technologijų, tinkanti mikrooptikos, mikroelektronikos, nanoskysčių srauto, biomedicinos ir daugelio kitų sričių elementų gamybai. Pirmą kartą ši technologija aprašyta S. Kawatos vadovaujamos grupės (Japonija) 1997 metais. Nuo tada šią inovatyvią technologiją tiriančių ir taikančių grupių atsirado visame pasaulyje.

VU Kvantinės elektronikos katedroje šviesos ir medžiagos sąveika pradėta domėtis prieš ketletą dešimtmečių. Bendradarbiaujant su Maskvos universiteto mokslininkais Vilniuje buvo sukurti parametriniai šviesos generatoriai ir prietaisai fotointegracijos procesams tirti. Vėliau ultrasparchių optinio sužadavimo relaksacijos procesų molekulese bei sudėtinguose dariniuose ir agregatuose tyrimai labai išsiplėtė. Daktaro disertacijas apgynė R. Danielius, R. Gadošas, V. Krasauskas, A. Pūgžlys, M. Vengris. Prof. V. Sirutkaitis inicijavo buvo sukurtas eksperimentinis standartizuoto optinių komponentų pažėdimas slopsčių matavimo kompleksas. Kvantinės elektronikos katedros vedėjas prof. A. P. Piskarsko inicijavo LTC darbai pasuko naują šviesos technologijų linkmę. Bendradarbiaujant su Hanoverio lazerių centro (Vokietija) profesoriumi B. Chichkovu, 2005 m. prof. R. Gadošas vadovaujamoje laboratorijoje buvo

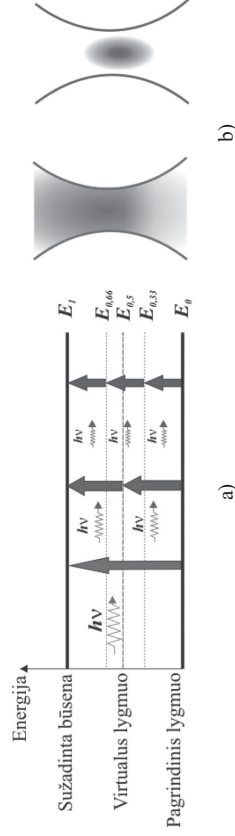
pradėti lazerinės daugiafotonės polimerizacijos tyrimai. Darbų pradininkai buvo tuometinis magistrantas M. Malinauskas, bakalaurlantai A. Gaidukevičiūtė ir V. Purlys. Pirmojoje laboratorijoje buvo panaudotas Ti:safyro femtosekundinis lazeris („Spectra Physics“), o nuo 2009 metų, įkūrus antrąją laboratoriją, LTC naudojamas ir lietuviškas femtosekundinis lazeris „Pharos“ (MGF „Šviesos konversija“). Šiuo metu statoma dar viena laboratorija, kurioje bus naudojamas lazeris „Pharos“ su optiniu parametrinio generatoriumi „TOPAS“ (MGF „Šviesos konversija“), leidančiu derinti šviesos impulsų pasikartojimo dažnį ir šviesos bangos ilgį. Dabartiniu metu daugiafotonės fotopolimerizacijos technologijos plėtojimu užsiima 14 žmonių: 1 profesorius, 1 mokslų daktaras, 2 doktorantai, 6 magistrantai ir 4 bakalaurlantai. Vykdomi mikrooptikos, biomedicinos, plazmoninių ir nanoskysčių skirtų darinių kryptį taikomieji darbai. Grupė bendradarbiauja su Svinburno technologijos universitetu (Australija) profesoriumi S. Juodkaziu, kuris tiria fizikinius lazerinės nanopolimerizacijos mechanizmus ir taikymą mikrooptikoje bei fotonikoje. Plazmoninių darinių ir biomedicinos srityse bendradarbiaujama su Hanoverio lazerių centru (Graikija) kartu su dr. M. Farsari. Bendri darbai sukurių optikos srityje atliekami VU Kvantinės elektronikos katedroje su dr. A. Matijošiumi, Bordo universitete (Prancūzija) su dr. E. Brasseletu ir Katalonijos politechnikos universitete (Ispanija) su prof. K. Staliūnu. Kameninių ląstelių ir dirbtinių audinių tyrimai atliekami kartu su dr. V. Bukelskiene iš Biochemijos instituto vivariumo ir prof. V. Sirvydžiu iš VU Širdies chirurgijos centro. Biomedicinos tyrimuose dalyvauja dr. Račiukaitis vadovaujama grupė iš Vilniaus fizikos instituto. Glaudžiai bendradarbiaujama su Lietuvos lazerių įmonėmis UAB „Altechna“, MGF „Šviesos konversija“ ir UAB „Ekspla“, kurių įranga sėkmingai naudojama LDFF tyrimams.

VU LTC laboratorijose LDFF taikoma sudėtiniais bei integruotiems mikrooptikos elementams, biomedicininiais ląstelių karkasams iš biologiskai suderinamų ir skaidrių fotopolimerų gaminti. Naudojamas platus medžiagų spektras, leidžiantis darinius formuoti skirtingo bangos ilgio bei pasikartojimų dažnio impulsų šviesos pluoštais.

Nuo pat įsikūrimo pradžios 2006 metais VU LTC nanofotonikos grupė yra paskelbusi 16 ISI publikacijų LDFF tematika, moksliniai rezultatai pristatyti apie 60 konferencijų, įvykdyta ir vykdoma dešimtys nacionalinių bei europinių projektų, ruošiamas LDFF technologijos patentas, apginta pirmoji mokslų daktaro disertacija (dr. M. Malinauskas).

LDFF parenta netiesinė šviesos sugertimi, veikiant monomerinę medžiagą šviesa. Apšvitintoje srityje vyksta fotopolimerizacijos reakcija, sukelianti negrįžtamą optinių, mechaninių ir cheminių medžiagos savybių pakitimų. Po-

limerinis darinys tampa netirpus organiniame tirpiklyje, todėl ryškinimo proceso metu bandinys įmerkiamas į tirpiklio vonią, kurioje šviesos nepaveikta medžiagos dalis yra išplaunama ir lieka tik suformuotas polimerinis darinys. Vykstant netiesinei sugėčiai vienu metu yra sugeriami du ar daugiau fotonų, kurių energijų suma atitinka sužadintosios būsenos energiją (3.5.1 pav., a).

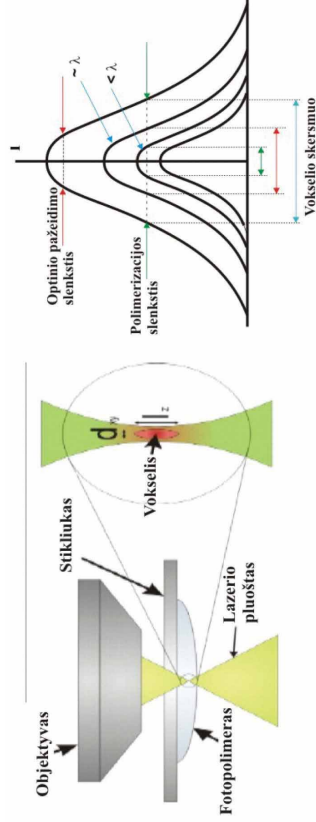


3.5.1 pav. Vienfotonė ir daugiafotonė sugertis: a - vienfotonės ir daugiafotonės sugerties Jablonskio diagramos; b - sugerties tikimybės skirstinys medžiagoje atitinkamu atveju

Kai švinitama femtosekundiniais impulsais nuo keleto iki šimtų fs ($10^{-13} - 10^{-15}$ s) trukmės, vyrauja netiesinė daugiafotonė sugertis. Skirtingai negu tiesinė (vienfotonė) sugertis, ji nevyksta išilgai pluošto, o yra lokalizuota didžiausio intensyvumo srityje. Todėl medžiaga yra fotomodifikuojama mažame tūryje pluošto židinio aplinkoje (3.5.1 pav., b). Tas tūris yra vadinamas vokselu (angl. *volumetric pixel*) – erdvės elementu. Vokselis yra vadinamas daugiafotonės fotopolimerizacijos trimačio formavimo elemento dydis. Taigi, pagal LDFP technologiją, slenkant sufokusuotą femtosekundinio lazerio pluoštą, vokselis po vokselio galima formuoti įvairius mikrodarinius iš fotojautrios medžiagos. Fotomodifikuotos srities dydis priklauso nuo šviesos intensyvumo ir medžiagos reakcijos į šviesą: intensyvumui vos viršijus slenkstinį – mažiau, reikalingą vokseliui susiformuoti, galima pasiekti pačią didžiausią formavimo raišką (< 100 nm), kaip parodyta 3.5.2 paveiksle.

Fotojautrios medžiagos, iš kurių LDFP būdu gaminami dariniai, dažniausiai yra sudarytos iš dviejų molekulinį komponentų. Vienas iš jų – fotoiniciatorius, sužadintas daugiafotonės sugerties metu, generuoja reaktyvias molekules – radikalus – ir taip inicijuoja grandininę polimerizacijos reakciją. Šios reakcijos metu kitos fotojautrioje medžiagoje esančios molekulės – monomerai – jungiasi ir sudaro netirpų polimerą. Didžiausiam polimerizacijos efektyvumui pasiekti fotoiniciatoriaus sugerties spektro smailė turi kaip imanoma geriau sutapti su lazerio šviesos bangos ilgiu. Deguonis, esantis atmosferoje, arba kitos medžiagos, atliekančios tą pačią funkciją, gesikliai, gesina sužadintas fotoiniciatoriaus molekules ir prisideda prie susiformavimo polimerizacijos

slenkščio – šviesos intensyvumo, kurį pasiekus polimerizacija medžiagoje nevyksta. Polimerizacijos slenkstis leidžia pasiekti subdifrakcinę skyrą.



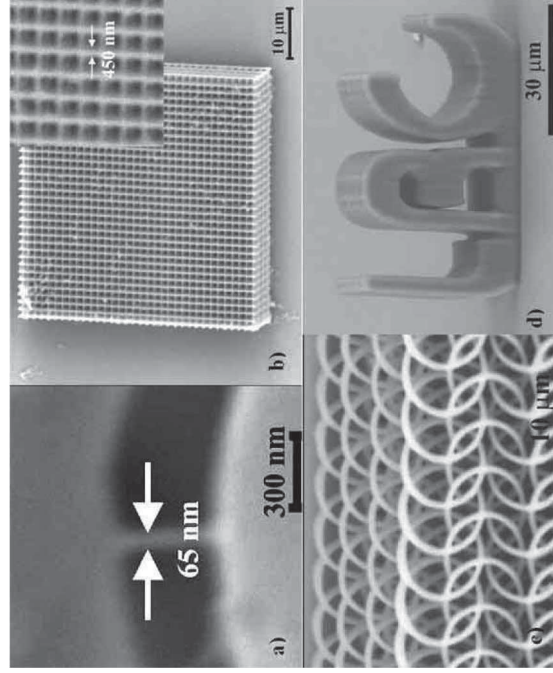
3.5.2 pav. Polimerinių darinių formavimo erdvinės skyros elementas vokselis bei jo skersinių matmenų priklausomybė nuo lazerio šviesos intensyvumo

Monomerinis komponentas gali būti akrilatiniai monomerai, hibridiniai fotopolimerai, epoksidai, polietileno glikoliai. Akrilatiniai monomerai pasižymi greita radikalų polimerizacija, leidžiančia sutrumpinti formavimo trukmę, bei dideliu asortimentu rinkoje. Hibridinės medžiagos – tai ORMOCER (angl. *ORganically MOfified CERamics*, Microresist Technology GmbH) bei ORMOSIL (angl. *ORganically MOfified SiLiCa*) klasės polimerai. Tai yra neorganinės organinės kilmės medžiagos: jie turi neorganinių grupių pagrindinėje grandinėje su šalutinėmis organinėmis grupėmis. Organinės šalutinės grupės yra aktyvios, t. y. turi laisvųjų jungčių, todėl šiose medžiagose gali vykti polimerizacijos reakcijos. ORMOSIL hibridinės medžiagos gali būti legiruotos Zr, Ti, Al ar V junginiais. Keičiant legiruočių junginių koncentraciją galima keisti medžiagos savybes, pvz., didinant cirkonio koncentraciją didėja medžiagos lūžio rodiklis ir mažėja jos traukimas. Epoksidinės medžiagos, nors plačiausiai naudojamos mikroelektromechaninių sistemų gamybai UV litografijos būdu, taip pat yra tinkamos gaminti mažiems dariniams pagal LDFF technologiją. Polietileno glikoliai yra suderinami su biologiniais audiniais, todėl iš jų gaminami specialūs dariniai biomedicinai.

LDFF naudojamos medžiagos yra neigiami fotorezistai, kai šviesos paveikta medžiagos dalis sukietėja, ir pasižymi skirtingomis derinamomis savybėmis: mechaniniu tvirtumu, cheminiu prilipimu (adhezija), traukimusi ryškiant, optiniu skaidrumu, lūžio rodikliu, biologiniu suderinamumu ir biologiniu skaidumu. Legiruojant nanodalelėmis bei maišant medžiagas norimomis proporcijomis, galima parinkti reikiamas fotopolimero savybes, leisiančias optimaliai išnaudoti sistemos galimybes bei suformuoti reikiamos geometrijos,

dėl medžiagos traukimosi neiškraipyta, kompiuterinį modelį atitinkantį darinį. Taip pat yra galimybė, naudojant teigiamą fotorezistą, kai apšvitinta medžiagos dalis tampa tirpi tirpiklyje, pagaminti trimačius darinius iš kitos medžiagos, pvz., metalo, užpildant ją ertmę, likusią po ryškinimo.

LDFP technologijos lankstumas bei galimybė parinkti fotojautrią medžiagą leidžia formuoti labai įvairius funkcinius darinius (3.5.3 pav.). Šia technologija sėkmingai formuojami fotonikos, mikrooptikos, biomedicinos ir kiti mikroelementai, pvz., fotoniniai kristalai, fazinės gardelės, mikrolęšiai, Frenelio lęšiai, dvifunkciai optiniai elementai, trimačiai karkasai, skirti ląstelėms auginti. Formuojamų elementų geometrija bei parametrai – kristalo periodas, mikrolęšio židinio nuotolis – yra laisvai programuojami, kartu galima formuoti itin sudėtingos



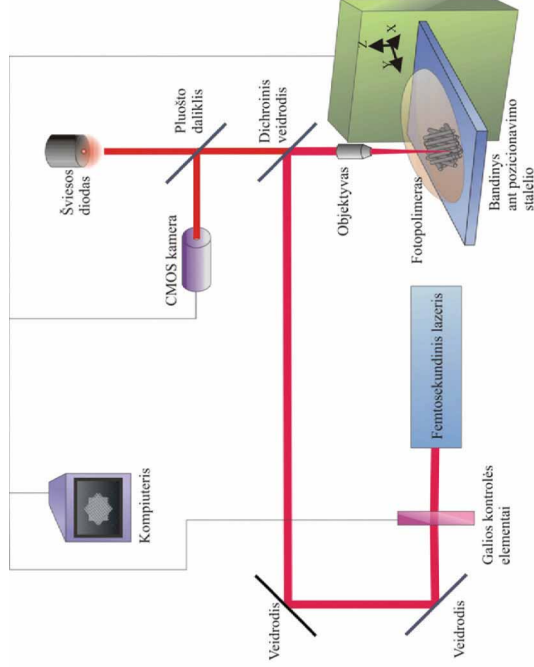
3.5.3 pav. LDFP būdu suformuoti dariniai: a – 65 nm gija, b – trimatis fotoninis kristalas, c – židinis tinklas – grandiniai marškiniai, d – LRC mikrolėšės (atitinkančios „Laser Research Center“)

trimatės architektūros įrenginius, pvz., mikrodatas, vožtuvus. Įprastines atskirų optinių elementų, pvz., fazinės gardelės bei lęšio, savybes galima sujungti į bendrą funkciją suformavus dvifunkcij įrenginį. LDFP būdu galima formuoti ir optiškai aktyvius funkcinius mikro- ir nanodarinius, kurių atkartojamoji skyra siekia 200 nm. Į ORMOSIL klasės SZ2080 fotopolimerą galima įmaišyti įvairių organinių dažų – rodamino 6G, fluoresceino, DCM LC6500 ir kumarinų 152, nekeičiant mikrodarinių formavimo kokybės. Organiniai dažai išlieka

aktyvūs po darinių suformavimo. Karkasai, ant kurių auginamos ląstelės, su organinių dažų priemaisomis taikytini ląstelių proliferacijos eksperimentams. Tokie karkasai gaminami tam tikros formos bei porų dydžio iš biologiškai suderinamų ir biologiškai skaidžių medžiagų. Pasėjus kamienines ląsteles ant karkaso, kuris savo sandara yra panašus į kokio nors biologinio audinio tarpląstelinės matricos skeletą, ląstelės gali ne tik dauginintis, bet ir diferencijuotis. Šitaip gali būti užaugintas dirbtinis biologinis audinys arba organas ir taikomas regeneracinėje medicinoje.

Trimatis darinys dažniausiai formuojamas fotojautrios medžiagos laše, užlašintame ant dengiamojo stiklelio, kuris, jei reikia, pakaitinamas tam tikroje temperatūroje, kad išgaruotų medžiagoje esantis tirpiklis. Stiklelis su lašu pritvirtinamas ant poslinkio stalo, galinčių judėti nanometrinio tikslumu X, Y ir Z kryptimis. Tuomet lazerio pluoštas objektų suformuojamas fotopolimere ir slankiojant bandinį užprogramuota trajektorija suformuojamas norimos architektūros darinys. Fokusuojančiojo objektyvo skaitinė apertūra yra vienas iš fotomodifikuoto vokselio dydį lemiančių parametrų – geriausiai raiškai pasiekti naudojami didelės skaitinės apertūros objektyvai. Kai kuriose sistemose galvanometriniais veidrodžiais keičiamos lazerio pluošto X ir Y koordinatės, o bandinys piezoelektriniu staliu judinamas tik Z ašimi. Sistema su galvanometriniais veidrodžiais leidžia formuoti pluoštą slankiojant didesniu greičiu, tačiau objektyvo apertūra riboja fotomodifikuojamo ploto dydį. Poslinkio stalai dažniausiai gali judėti visomis kryptimis kur kas platesnėse koordinatėse, todėl dauguma mikrodarinių suformuojami naudojant šią sistemą. Prijungus ekraną prie mikroskopo kameros, kuri atvaizduoja tą pačią plokštumą, kurioje yra lazerio pluošto židinio, visą procesą galima stebėti realiu laiku. Ši galimybė yra labai svarbi, kad būtų galima sėkmingai formuoti mikroobjektus: prieš pradėdant formuoti darinį, reikia tiksliai nustatyti fotojautrios medžiagos lašo bei dengiamojo stiklelio paviršių sandūros vietą, kad būsimas darinys tvirtai prikibų prie stiklo ir nebūtų nuplautas ryškinimo metu; tai padaroma stebint pluošto židinį ekrane.

Naudojamos LDPE sistemos schema pavaizduota 3.5.4 pav. Šviesos šaltinis yra femtosekundinis lazeris. Lazerio pluoštas sklinda pro mechaninę sklendę, kuri kontroliuoja fotojautrios medžiagos ekspoziciją. $\lambda/2$ fazinė plokštėle ir poliarizatoriumi yra valdoma sklindančio pluošto galia. Lėšiais pluoštas išplečiamas ir kolimuojamas norint išnaudoti visą formavimo objektyvo skaitinę apertūrą. Objektyvas fokusuoja lazerio šviesą į bandinį. Šviesos diodas naudojamas formuojamam dariniui apšviesti, objektyvu jo šviesa fokusuojama į tą pačią plokštumą kaip ir lazerio pluošto židinio.



3.5.4 pav. LDFP sistemos optinė schema

LDFP technologija tapo keleto tyrimų sričių įrankiu, tačiau jos komercinis taikymas vis dar yra ateities perspektyva. Kadangi vienas mikroįrenginys gaminamas pakopomis, jo gamyba trunka ilgai ir yra brangi. Tačiau jau įgyvendinami būdai, didinantys technologijos produktyvumą: naudojami mikrolęšių masyvai daugiapluoščiam formavimui, taip pat taikoma interferencinė litografija, pirminiai mikro- ir nanodariniai replikuojami naudojant nanoįspaudų litografiją.

3.6. Medžiagų tyrimai „Altechna“ įmonių grupėje (Živilė Šimkutė)

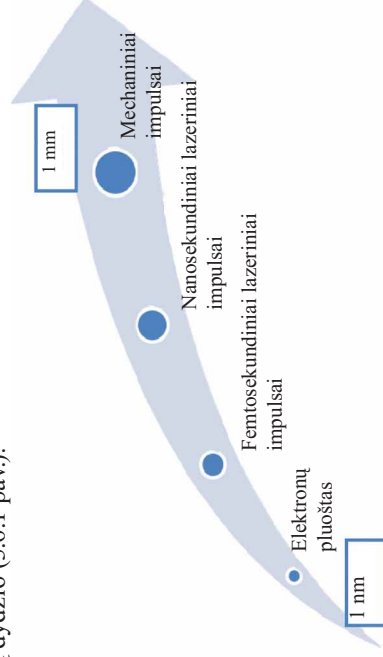
„Altechna“ įmonių grupė – lazerinių technologijų įmonių grupė, kurią sudaro 1996 m. įkurta UAB „Altechna“ ir UAB „Altechna R&D“, pradėjusi veiklą 2007 metais. Ši grupė dirba fotonikos ir lazerinių tyrimų srityse, siūlo platų lazerinės optikos produktų pasirinkimą bei lazerinių technologijų pritaikymą moksle ir pramonėje. Įmonės teikia individualius bei kokybiškus aukštųjų technologijų sprendimus mokslo įstaigoms bei lazerių pramonės kompanijoms daugiau nei keturiasdešimtyje pasaulio valstybių: Europos Sąjungoje, JAV, Japonijoje, Indijoje, Taivanyje, Brazilijoje ir kt.

2010-ųjų vasarą sukurtas prekinis vardas „Workshop of Photonics“ reprezentuoja lazerinio mikroapdirbimo technologijos taikymus, elektronikos ir

programinės įrangos produktus bei lazerinių staklių sistemas, kurios naudojamos ne tik mokslinėse laboratorijose, bet ir plačiai taikomos pramonėje.

Daugiau informacijos apie „Altechna“ įmonių grupės veiklas galima rasti specializuotose svetainėse www.altechna.lt ir www.wophotonics.com.

Mikroapdirbimo tyrimai UAB „Altechna R&D“. Medžiagų apdirbimas femtosekundinių lazerių gali būti apibrėžtas kaip tiksliausias iš visų lazerinio apdirbimo būdų. Jis tinka formuoti struktūroms nuo šimtų nanometrų iki kelių milimetrų dydžio (3.6.1 pav.).



3.6.1 pav. Schema, vaizduojanti medžiagų apdirbimo technologijas, priklausančias nuo formuojamų struktūrų dydžio

Femtosekundinių impulsų lazeriai (3.6.2 pav.) yra pranašesni už ilgesnių impulsų lazerius dėl minimalaus šiluminio poveikio aplinkinėms apdirbamo paviršiaus zonoms,

todėl sudaromos sąlygos sumažinti formuojamų struktūrų dydį iki nano arba mikromatmenų. Tačiau tiksliam medžiagų apdirbimui neužtenka turėti vien tik gero lazerio, tad „Workshop of Photonics“ yra sukūrusi specialią programinę įrangą „SCA“, kuri geba ne tik valdyti lazerio pa-



3.6.2 pav. Mikroapdirbimui skirta laboratorinė femtosekundinė lazerinė sistema „FemtoLAB“;

rametrus, bet ir visą sistemą, įskaitant galvanometrinį pluošto kreiptuvą, motorizuotą tiesinę pavarą bei kitus įrenginius. Ši programinė įranga yra išskirtinė savo funkcionalumo galimybėmis ir patogumu vartoti.

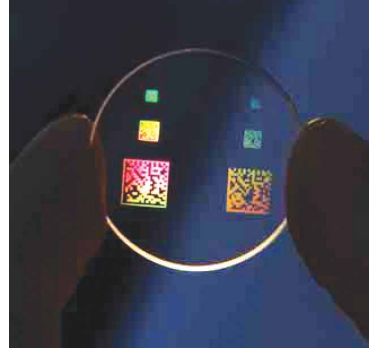
Lazerinio mikroapdirbimo taikymo pavyzdžiai:

- safyro apdirbimas,
- saulės elementų gamybos procesai,
- šviesolaidžių apdirbimas,
- metalo, stiklo bei kitų medžiagų apdirbimas.

Safyro apdirbimas. Nuo 2004 metų buvo vystomos apdirbimo metodikos, siekiant sukurti prototipinę mikroapdirbimo aparatūrą safyro padėklams raižyti, taip pakeičiant tradicinę pjaustymą deimantiniais diskais. Safyro padėklai yra plokštelės, ant kurių auginama apie 80 % visų dabar gaminamų puslaidininkinių šviestukų (LED). Paruošti safyro padėklai turi būti supjaustomi į pavienius lustus, o naudojant bekontaktį lazerio spindulį, lustų briaunos išlieka lygios, nenutrupėjusios, išvengiama šiluminio poveikio padėklui, todėl galima sumažinti apsauginę LED zoną, padidinti LED'ų tankį plokštelėje, bei sumažinti gamybos išlaidas.



3.6.3 pav. Safyro padėklo precizinis rašavimas

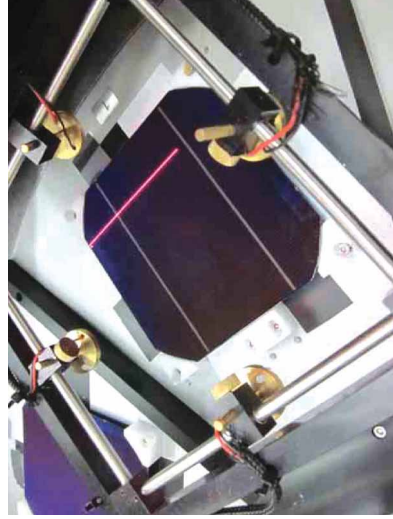


3.6.4 pav. Safyro padėkliuke suformuotos duomenų matricos, skirtos originalių produktų žymėjimui ir apsaugai nuo netlegalaus kopijavimo

Safyro lazeriniu apdirbimu „Altechna“ užsiima ir toliau, tačiau tikslai darosi vis įvairesni: suraižyti paliekant kuo mažiau nuolaužų ir pasiekti, kad šviesa geriau sklistų iš šviestukų (3.6.3 pav); laikrodžių pramonėje – greičiau ir kokybiškiau išpjauti skaidrias laikrodžio dalis, kad briaunų paviršius būtų lygus, suformuoti mikroskopinius pažeidimus safyro tūryje ir kt. (3.6.4 pav.)

Saulės elementų gamybos procesai. „Altechna“ įmonių grupė bendradarbiaudama su konsorciu „Precizika-MET“, sukūrė lazerinį įrenginį SOL-

LAS, skirtą kristalinių saulės elementų lazeriniam apdorojimui, kuris buvo įdiegtas bandomojoje saulės elementų gamybos linijoje. Įrenginyje SOLLAS buvo sumontuoti du lazeriai – nanosekundinis šviesolaidinis ir femtosekundinis kietojo kūno lazeris. Pirmasis lazeris atlieka tris operacijas: krašto izoliavimo, ženklavimo ir galinio kontakto prišaudymo procesus, o štai femtosekundinis lazeris formuoja emiterio kontaktus, selektyviai pašalindamas pasyvuojančią silicio nitrido sluoksnį (3.6.5 pav.).

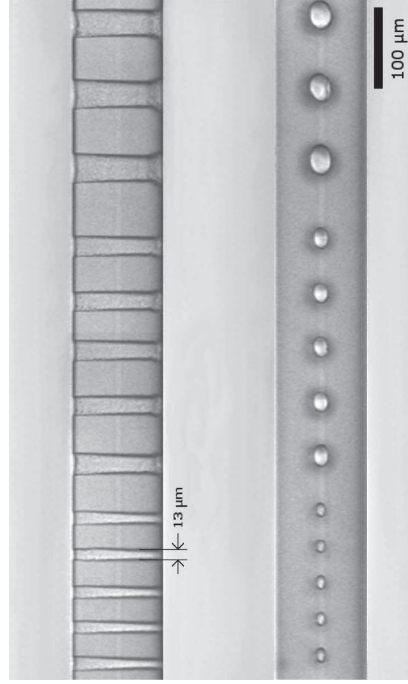


3.6.5 pav. Silicio nitrido abliacija, siekiant suformuoti kristalinio saulės elemento emiterio kontaktus

Šviesolaidžių apdirbimas.

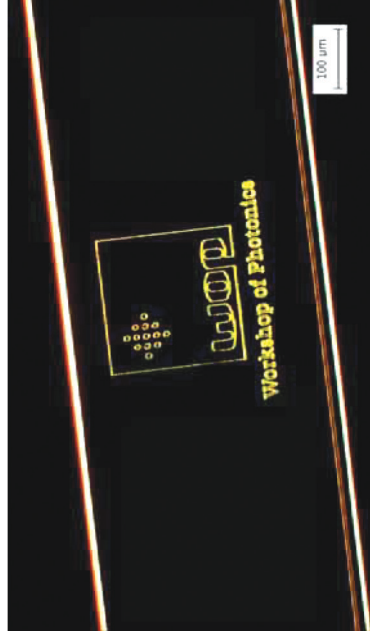
Femtosekundinių impulsų lazeriu galima kokybiškai apdirbti šviesolaidžius, išgręžiant juose kelių mikrometrų skersmens skylutes ar suformuoti šviesą sklaidančias struktūras šviesolaidžių viduje (3.6.6 pav.). Kadangi labai

trumpi lazerio impulsai sukuria aplinkinių zonų pažeidimus, todėl atsiveria puikios galimybės atitikti aukščiausios kokybės standartus. Vienmodžiuose arba daugiמודžiuose šviesolaidžiuose išgręžtos apvalios ar stačiakampės skylės naudojamos „Fabry-Pérot“ interferometruose [1], kuriais matuojami įvairūs medžiagų fizikiniai parametrai – lūžio rodiklis, temperatūra, mechaninės apkrovos, dujų slėgis ir srautas.



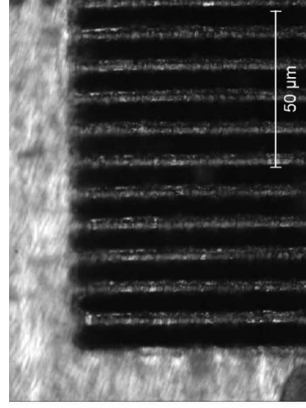
3.6.6 pav. Skylutės, išgręžtos vienmodžiam šviesolaidyje

Šviesolaidžių viduje femtosekundiniu lazeriu suformuoti lūžio rodiklio pakitimai, sklaidantys šviesą skersai jos sklaidimo krypties, naudojami onkologinių ligų gydymui ir kraujagyslių chirurgijoje. Įkišus toki šviesolaidį į kraujagyslę iki pat pažeisto organo, vėžinės ląstelės apšvitinamos minimaliai pažeidžiant aplinkinius audinius. O taip pat šviesolaidžių pagalba gali būti ne tik siurininamos išsiplėtusios venos, bet ir atliekami mikrochirurginiai pjovimo procesai.

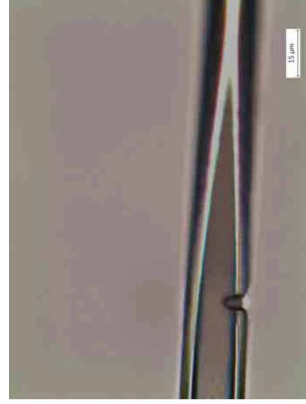


3.6.7 pav. „Workshop of Photonics“ logotipas suformuotas lazerine mikroapdirbimo sistema „FemtoLAB“

Metalo, keramikos bei kitų medžiagų apdirbimas. Metalų gręžimu, pjaustymu ar žymėjimu dažniau užsiima pramonės įmonės, tačiau prototipų kūrimui dažniausiai jos kreipiasi į tyrimų laboratorijas, tokias kaip „Workshop of Photonics“ (3.6.7 pav.). Čia atliekami konfidencialūs bandymai siekiant išsiaiškinti tinkamiausius lazerinės sistemos komponentus bei reikalingus parametrus, būtinus konkrečiam mikroapdirbimo procesui. Aluminio folijos gręžimas vandens filtravimo sistemai, vario plokštelių abliavimas naujos kartos mikroprocesorių gamybai, stiklinių vamzdelių gręžimas audinių biopsijos prietaisams – tai tik keli iš daugybės tyrimų pavyzdžių, vykdytų „Workshop of Photonics“ lazerinėje mikroapdirbimo laboratorijoje (3.6.8 pav.).



a)



b)

3.6.8 pav. Vario plokštelės abliavimas (a); stiklinio vamzdelio grėžimas (b)

Bendradarbiavimas su partneriais „Altechna“ įmonių grupė tyrimus ir gamybą vykdo ne tik savo, bet ir partnerių laboratorijose. Panevėžio mechatronikos centre atliekami elektroninės ir optinės litografijos tyrimai, Vilniaus universiteto Lazerinių taikymų centre vykdomi dvifotonės polimerizacijos procesai, Australijos Swinburno Technologijų universitete taip pat atliekami mikroapdirbimo, mikrosensorių tyrimai.

„Workshop of Photonics“ koordinuoja tyrimus ne tik savo, bet ir partnerių laboratorijose, bei ieško naujų technologijų komercinių pritaikymų.

Literatūra

1. H. F. Taylor, Fiber optic sensors based upon the Fabry-Perot interferometer in Fiber Optic Sensors, Y. Yu and S.Yin, eds, Marcel Dekker, New York, 2002, 41.

Lietuvos medžiagų tyrinėtojų asociacija

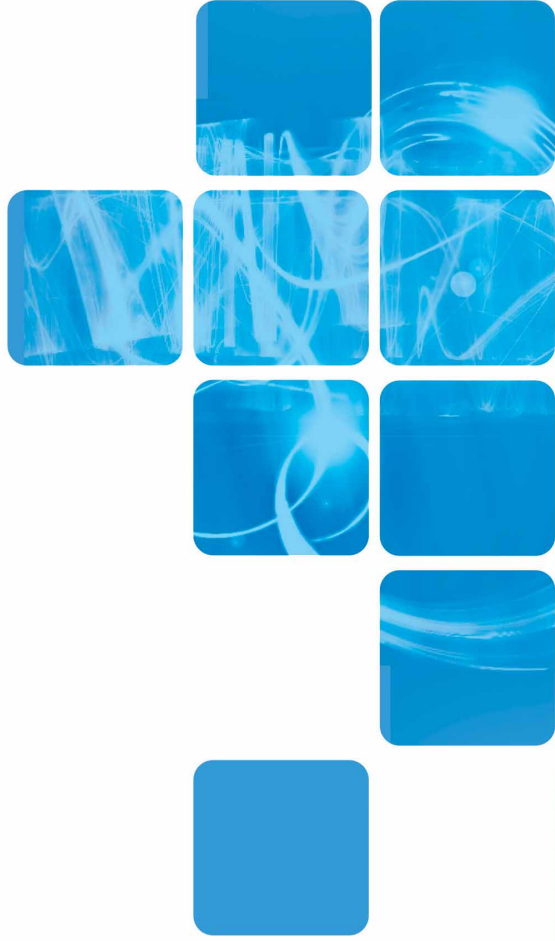
Medžiagų mokslas Lietuvoje

SL 344. 2011-09-22. 7 leidyb. apsk. I. Tiražas 150 egz.

Kaina sutartinė. Užsakymas 665.

Išleido leidykla „Technologija“, K. Donelaičio g. 73, 44029 Kaunas

Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas



EUROPOS SĄJUNGA
EUROPEAN UNION



MOKSLAS • EKONOMIKA • SĄNGLAUDA

Kuriame Lietuvos ateitį