

Tudományos műhelyek

A VARÁZSTÜKÖRTŐL A SPIRÁLIS NANOCSSÖVEKIG

Bemutatkozik az MTA Műszaki Fizikai
és Anyagtudományi Kutatóintézete

Gyulai József

a MTA rendes tagja
gyulai@mfa.kfki.hu

Bársony István

a fizikai tudomány doktora
barsony@mfa.kfki.hu

Radnóczi György

a fizikai tudomány doktora
radnoczi@mfa.kfki.hu

Nevünk

Az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete, vagy ahogy mi nevezünk, MTA MFA; az intézetkonszolidáció legnagyobb akciójával alakult ki a csillebérci KFKI-telephelyen, az újpesti MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete (MFKI, közkeletű nevén: MÜFI), valamint az egyik KFKI utódintézet, a KFKI Anyagtudományi Kutató Intézet (KFKI ATKI) egyesülésével.

Kik vagyunk?

Misszióink megfogalmazása

Mindkét elődintézet széles tudományfilozófiát vallott magáénak: a tevékenység a szilárdtestfizika, -kémia és az anyagtudomány határán mozgott, de elért az elektronikus eszközök kifejlesztése területére is. Az egyesült intézetre is ez jellemző; ezt mutatja az is, hogy az MTA két osztálya, a Műszaki Tudományok, valamint a Fizikai Tudományok Osztálya is felügyeli. Magunk nem szívesen állítunk fel sorrendet az osztályfelügyelet tekintetében: az adott kérdés, feladat dönti el, melyik osztálytól várjuk, várhatjuk a nagyobb figyelmet, megértést.

Misszióink röviden megfogalmazva így hangzik: anyagok, elsősorban „funkcioná-

lis” anyagok, szerkezetek interdiszciplináris kutatása, a fizikai-kémiai alapok tisztázása, a vizsgálati módszerek fejlesztése, az ismeretek alkalmazása funkcionális mikro- és nanotechnológiai szerkezeteken, rendszerszinten integrált eszközökön. Küldetésünk, hogy e tudást beépítsük a nemzetközi tudományba, vonzóvá tegyük és terjesszük a graduális, ill. a posztgraduális oktatásban, az ipari K+F-ben, különös figyelemmel a kis- és középvállalatok igényeire.

A modern, az EU által is elfogadott definíció szerint a *funkcionális anyagok, szerkezetek* olyan, akár soklépéses technológiával kialakított komplex rendszerek, amelyek valamilyen fizikai, kémiai, de akár biológiai *hatásra* megváltoztatják egy vagy több tulajdonságukat, vagy éppen ellenállnak e hatásoknak (ezt nevezzük „passzív” intelligenciának). Az „aktív” intelligencia esetében általában az a cél, hogy a hatás és az annak mértékét jelző tulajdonság *elektromos, optikai vagy más, integrált módon feldolgozható* jellel alakuljon. A komputer ugyanis az ilyen elektromos jelet tudja kezelni és a belé oltott intelligenciával feldolgozni, utána okos parancsokat adni valamilyen vezérlési (azaz szabályozási), adatbázis-kezelési, távközlési stb. műveletre. Ez

a program interdiszciplináris: a fizika, a kémia, illetőleg a mérnöki tudományok közül hol az egyikhez, hol a másikhoz közelít.

Hazánkban a funkcionális anyagok legfontosabbikának, az integrált áramköröknek a kutatása történetileg is háttérbe szorult a szakmát ért veszteségek (a Mikroelektronikai Vállalat 1985-ös tüzesete, az azt követő rövidlátó politikai döntések stb.) miatt. A hazai kutatók, köztük a most bemutatkozó intézet, ill. elődszervezetei folyamatosan próbálták az integrált áramköröket legalább részben pótolni. Meg voltak győződve arról, hogy a félvezetők a mikroelektronika kihagyhatatlan fokozatai. A részereső stratégiának köszönhető, hogy az új-régi intézet mára sikeresnek érezheti magát. Ennek – a később bemutatandó saját eredmények mellett – az is bizonyítéka, hogy a megszerzett tudást befektetve az intézetek munkatársaiból több, mára komoly nemzetközi sikereket elkönyvelő vállalat is alakult (Semilab Rt., Technoorg-Linda, Kraft Kft. stb.).

A kutatás iránya mindig is a fő irányvonalat követte, ott próbált helyt állni. A számunkra is hozzáférhető fő irányok:

- az energetika megújulása;
- az intelligencia és telekommunikáció beépítése (beleértve az élővilágból elesett trükköket is) az emberi élet minden területére, ami számunkra a szenzorika és a vezérlés forradalmát jelenti;
- az energetika egyik legfontosabb ágaként a világítás forradalma.

Ezek az egész emberiséget érintő forradalmak vezérlik az intézet politikáját is: igyekszünk a különleges anyagok szerkezeti, elektromos, mágneses, optikai tulajdonságainak kutatásában olyan mélységekig eljutni, hogy a megértésen, leíráson túl az egyes speciális anyagok alkalmazásait is megkeressük. Látóköriünkben van a speciális szerkezeti anyagként vagy bevonatként való alkalmazás lehetősége (újszerű

kemény, kopásálló vagy akár fénykibocsátó rétegek), ill. új érzékelési elvek kutatása. Az energetikában a napenergia-elektromosság konverzió egyes kérdéseire megoldást kereső kutatásainkra sikerült jelentős anyagi erőket mozgósítanunk. Élvonalbeli laboratóriumokban és cégeknél készített mintákon is bizonyítjuk tudásunk magas színvonalát, tevékenységünk hasznos voltát. A legjobb modellnek azt tartjuk, ha e különleges szerkezeteket mi magunk is csúcsmintákban tudjuk elkészíteni. Ezért foglalkozunk kiemelten az anyagok atomi szintű átalakítására alkalmas módszerekkel, és működtetünk több költséges laboratóriumot, egyebek mellett a Közép-Kelet-Európában unikális, „minősített” légállapotú tiszta kutatólaboratóriumunkat.¹ Az intézetben folyó minden kutatás nagy számítástechnikai és telekommunikációs bázist, illetve ezt nyújtó együttműködést igényel. Nem kerüljük el kifejlesztett programjaink interdiszciplináris, pl. orvosi biológiai alkalmazását sem.

Honnan jöttünk? – Történetünk

A két intézet kutatói már 1993 táján tárgyaltak arról, milyen előnyökkel járna, ha a KFKI telephelyen egymás mellé költöznénk. Az akkori pénzügyi források nem voltak elegendőek egy ekkora akcióra, s az MFKI vezetése a földrajzi távolság miatt várható lemorzsolódást sem vállalta. Az MTA Konzolidációs Bizottsága átvágta a gordiuszi csomót: 1997-ben hozott döntése szerint a két intézetnek a KFKI telephelyén, 1998. január 1-jével egyesülnie kellett. Az

¹ A „tisztá” laboratóriumok légállapotát, egyébként stabilizált hőmérséklet és páratartalom esetén, a lebegő por mennyiségével jellemzik 10-es, 100-as, 1000-es „... tisztságúnak. Ez azt jelenti, hogy fél mikrométernél, azaz egy fél baktérium méreténél nagyobb porszemek egyáltalán nem lehetnek a légtérben, a 0,2–0,5 μm mérettartományban legfeljebb 10, 100, 1000, ... porszemcse lehet köblábanként, azaz mintegy 30 liter légtérfogatban.

MFKI vezetésének eredeti aggálya, sajnos, valóra vált: a földrajzi távolság szinte automatikusan „megoldotta” az elvárt létszámcsökkentést azzal, hogy az MFKI-s segéd-erők szinte teljes létszámban a végkielégítéssel enyhített felmondást választották.

A konszolidáció koordinátori feladatának ellátására – mivel az egyesítés hosszú távú előnyeiről meg volt győződve, és a folyamat biztonságos levezénylésére nem látszott jobb megoldás – az ATKI akkori igazgatója, *Gyulai József* vállalkozott, azóta is ő vezeti az intézetet.

Az első egységek 1998 májusában tudtak költözni, így 1999-re létre lehetett hozni az új tudományos és gazdasági rendet. Az egyesülő kollektíva érettségét bizonyítja, és ezt a vezetési is a legnagyobb sikerének tekintik, hogy a kutatók már induláskor elfogadtak egy olyan szervezeti rendet, amely nemcsak „egymás mellé tette” a korábbi intézetek egységeit, hanem a jól működő csoportoknak szinergikus fejlődést elindító szervezeti környezetet teremtett. A szinergizmust segítette, hogy a két főosztály méretű „divízióban” keverten vannak főleg alapkutatókkal, ill. alkalmazásokba hajló kutatókkal foglalkozó részlegek. Azaz mindkét rész két lábon áll, amely konform a mai tudománypolitikával, és az intézet missziójából is ez következik.

Az intézet egységei

Félvezető és szenzorikai részleg (divízió) és osztályai: eszközfizikai (7 kutató), mikrotechnológiai és szenzorikai (9 kutató), vegyület-félvezetők (9 kutató), ionsugaras analitikai (11 kutató), magnetooptika (8 kutató), biomérnökség (4 kutató).

Szerkezetkutatási részleg (divízió) és osztályai: elméleti fizika, modellezés (7 kutató), nanoszerkezetek (6 kutató), vékonyréteg-fizika (14 kutató), vékonyréteg nanoszerkezetek (4 kutató), felületfizika (6 kutató), kerámia- és fémfizika (4 kutató).

Az intézet mintegy fél év alatt heverte ki a költözés közvetlen gondjait, és az 1999. évi teljesítmények felmérésekor a legtöbb részleg publikációs tevékenységén már alig lehetett észrevenni a kiesett időszakot.

Merre megyünk?

Az intézet tudományos tanácsában (elnöke korábban *Beleznay Ferenc*, jelenleg *Kádár György*) nem csak a DSc címmel rendelkező kollégáink tagok, de a tanács és a vezetés több hazai szaktekintély tagságából is profitál. Évente tartunk egy kétnapos ülést, ahol – az egyéni beszámolók összegzésével is – a témákról nyilvánosan beszámolnak. Az ezt követő zárt ülés hagyja jóvá a téma következő időszakra vonatkozó terveit. A jóváhagyás azt jelenti, hogy az intézet központosított kereteiből vállalja a téma infrastrukturális terheit.

Az intézet (korábban: az intézetek) eredményesen használta ki nemzetközi kapcsolatait. A rendszerváltozás után ugyanis oly mértékben éltek külkapcsolataink, hogy az elmúlt évtized során több mint harminc EU-projektbe hívták meg a kutatóinkat, szakmai iskoláinkat, és ezek – konzorciumok részeként – sikeresen teljesítették is a vállalt feladatokat.

Mindezt szárnypróbalgatásnak tekintjük, amelynek eredményességét mára az 5. keretprogramban elért – merész álmainkban sem remélt – sikeresség bizonyítja. Az intézet kutatócsoportjait az első menetben hat pályázatba hívták meg, és minden pályázat nyert. További három bírálati fázisban van.

Ehhez csatlakozik az Human Potential keretében elért, KFKI Campus-szintű siker, amely a telephely integráló erejét is jelzi. Négy telephelyi MTA-intézet kutatóegységeiből megalakult a *Kondenzált Anyagok Kutatóközpontja*, amelyet a Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet gesztorál, és amely az EU-tól Kiválósági Központ címet

nyert. Ez a cím elsősorban vendégkutatók meghívásának anyagi háttérét teremti meg, így nagy szerepe lehet abban, hogy a település új típusú campus-szá fejlődjön.

Ezzel a címmel, illetőleg általában az Európai Unió 5. keretprogramjainak indításával az MFA új korszakba lépett, és ez még inkább igaz ma, amikor a Nemzeti Kutatási Fejlesztési Programban az MFA nyolc nyertes pályázatban konzorciumi tag, és egy pályázatban vezető.

Az intézet súlypontjai láthatóan módosulnak abban az értelemben, hogy pl. szenzorikai eredményeinket igyekszünk teljes, a piac által értéktöbblettel honorált, rendszerszintű megoldásokig eljuttatni. Ennek sikerét is jelzi, hogy az informatikai IKTA pályázatokon is eredményesek voltunk négy elfogadott pályázati részvétellel. Ehhez csatlakozik három NATO Science for Peace projekt, ezek munkálataiban szintén jelentős feladataink vannak. A mintegy húsz nagy projekt teszi majd valódi próbára az intézet kutatógárdáját, a segítő műszaki és gazdasági részlegeket. Az intézet kutatói állományának egy része (a személyek tematikai szegregációja ritkán valósul meg és nem is feltétlenül kívánatos) a vállalt OTKA témákon is dolgozik, amelyekről a következő évek nagy projektjeinek megvalósítását várjuk, ill. amely kutatások növelik más, nemzetközi vagy hazai projektbe való bekapcsolódásunk esélyeit.

Az intézet irányfelmérésének is alkalmazkodóképességének is bizonyítéka, hogy bár a legtöbb nyertes pályázatunk az anyagtudomány témakörébe esik, jó néhány az információs társadalom, sőt az életminőség-egészség tárgykörébe sorolható. Van nyertes pályázatunk az emberi erőforrások területén is, amely az alapozó kutatásaink színvonalát jelzi.

E sikerekhez kapcsolódik, hogy több nagy nemzetközi konferencia rendezési jogát is megkaptuk. 2000-ben megrendez-

hattünk egy NATO Advanced Study Institute tanfolyamot a szén speciális módosulatairól. Hosszú évtizedekre visszanyúló implantációs kutatásainkat szintén tavaly érte az elismerés, hogy mindeddig mi lehettünk az egyetlen szakmai iskola, amely a téma mindhárom nemzetközi konferenciájának rendezési jogát megkapta az idők során.

2000-ben eljutottunk oda, hogy intézeti díjat tudtunk alapítani, amelynek három ága van: Intézeti Díj, amely az intézet érdekében kifejtett, kiemelkedő tevékenységet díjazza, valamint a Fiala Kutatói Díj és a Doktorandusz Díj.

A nyolcvan kutatóból negyvenhét főnek kandidátus/PhD fokozata van, tíz az MTA doktora, egy fő akadémikus – a többiek zömükben fiatalok... Azt is büszkén figyeljük, hogy további négy MTA doktori fokozat megszerzése van folyamatban.

Arról is örömmel beszélünk, hogy az intézet igen fontosnak tartja az oktatásban való részvételt. Nemcsak a BME-n és az ELTE-n oktatunk, hanem a Budapesti Műszaki Főiskolával, a Veszprémi Egyetemmel, valamint Debreceni Egyetemmel is vannak szoros, perszonáluniós kapcsolataink. Kihelyezett laboratóriumunk működik az ELTE TTK-n.

Az intézet szellemijog-védelmi politikája is bonyolult feladatot ró a vezetésre. A szabadalmaztatandó, azaz a bitorlás ellen védhető, ill. ténylegesen megvalósított eredmények száma nem nagy. A szabadalmaztatás költségei nagyok, tehát komoly mérlegelést igényel egy-egy bejelentés megtétele. A szabadalmaztatandó eredmények sokszorosát teszi ki a kodifikáltan nem védhető, de őrzendő szaktudás, amelynek megtartása fontos jövedelempolitikai feladat.

Az intézet rendkívül sokat köszönhet a tudományos és a gazdasági apparátus példászerű együttműködésének, amely-

ben nem csak a „ki kit szolgál” viszonylatokat tartjuk példaszzerűnek, de a rendkívüli hatékonyságot is, ahogy a gazdasági igazgató, *Somogyi Istvánné* és csapata intézi egyre bonyolultabb pénzügyeinket. Segítségükkel, segítségével – hisszük – már professzionális szinten tudunk pályázni. Sőt, a gazdasági igazgatónk nem egy projekt ötletét, lehetőségét hozta a falakon belültre.

Tallózás legújabb eredményeink között

Az egyesülés után kialakított intézeti szerkezetben a *Felvezető és Optikai Részleg* (vezetője: *Bársony István*, DSc) vállalta fel azokat a kísérleti jellegű kutatási feladatokat, amelyek több szállal kötődnek a gyakorlathoz. Az általánosan elfogadott stratégia szerint a témaválasztásban érvényesítjük azt az elvet, hogy már az alapkutatói fázisban is szemmel tartjuk az eredmények majdani gyakorlati hasznosításának lehetőségét, ill. alapkutatói eszközeinket részben a gyakorlati megvalósítás során fellépő problémák megoldására vesszük igénybe.

Több éves tapasztalatunk, hogy a nemzetközi tudományos kutatási együttműködésben csak az válhat kívánatos, netán nélkülözhetetlen partnerré, aki valami olyat tud nyújtani egy nemzetközi konzorciumban – legyen az mégoly szűk területen, önmagában esetleg korlátozott lehetőség is –, ami unikális, máshol nem hozzáférhető. E felismerésből adódik az a mai hazai viszonyaink között reális következtetés, hogy amíg nem sikerül a legkorszerűbb egyedi vizsgálati módszerekkel felszerelkeznünk, addig elsősorban a mintapreparáció és a speciális, múltunkból is következő, metodikai tudásra épülő minősítésvizsgálatok területén számíthatunk olyan eredményekre, amelyek a komplex kutatásokban partnerségre predesztinálnak bennünket.

Így határoztuk meg a divízióban a két fő integráló kutatási irányvonalat: a szenzorrelvek kutatását és a roncsolásmentes

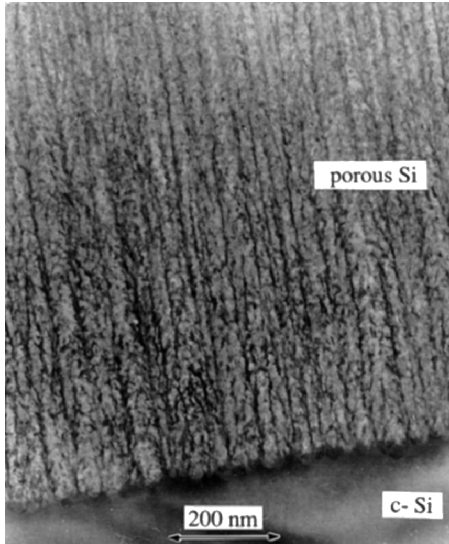
anyagvizsgálat egyes módszereit. Mindkét irányzat átfogja a teljes innovációs láncot az alapkutatótól a rendszerszintű megvalósításig, és igazi interdiszciplináris kutatást igényel. Ez szükségessé teszi mind az intézetben belüli kooperációt, mind a hazai kutatóhelyekkel, ill. nemzetközi szinten az intenzív együttműködést. Ez nemcsak szakmai kényszer, hanem a finanszírozhatóság alapfeltétele is, és a kutatás megszervezésétől, a hazai és külföldi iparvállalatok bevonásával a hasznosulásig terjed. Célunk a kutatás során kifejlesztett know-how jogvédelme és későbbi ipari hasznosítása, ami pótlólagos források előteremtésére is módot ad. A nyitott, kooperatív kutatói hozzáállás mellett – a kutatói szabadság ésszerű mértékét érvényesítve – ez igen nagy szervezési munkát igényel. Mindez nagyban segíti az intézet sokoldalú erősítését, a mindenkori körülményekhez, a gazdasági–finanszírozási lehetőségekhez igazodó, koherens és korszerű kutatási profil kialakítását.

A divízió jelentősen hozzájárult a graduális és posztgraduális képzés intézeti prioritásához: jelenleg is tíz PhD-kutatást támogatunk, zömmel intézeti forrásból előteremtve a hallgatók ösztöndíját. Csaknem minden kutatás nemzetközi kooperáció része, így a hallgatók a képzés idején hosszabb külföldi kutatómunkán vesznek részt. Rendszeresen oktató kollégáink jelenléte az oktatási intézményekben fontos eszköz a kutatói utánpótlás toborzásában.

A Mikrotechnológiai és Szenzorikai Osztályon, *Dücső Csaba* vezetése mellett működik hazánkban az egyetlen félvezetőtechnológiai célú, minősített, 100-, ill. 10000-osztályú tiszta labor, amelyet a – hazánkban ugyancsak egyetlen – maszkgyártó sor egészít ki. A 75, ill. 100 mm átmérőjű szilíciumszeletek megmunkálására alkalmas manuális megmunkáló sor ugyan csak korlátozott laterális mérettartományú (>1 μ m)

szerkezetek megvalósítását teszi lehetővé, az utóbbi évek sikeres pályázatai révén azonban több, általában másodkézből vásárolt kulcsberendezéssel sikerült a labor alkalmassá tenni az előttünk álló *mikro-rendszer-fejlesztési* feladatokra.

Pillanatnyilag elsősorban a szilícium egy mesterséges, nanoméretű oszlopokból álló módosulatán, a *pórusos szilíciumon* (1. ábra) alapuló szerkezetek kutatása a fő cél.



1. ábra • Pórusos szilícium keresztmetszeti elektronmikroszkópos képe. Az „önszerveződéssel” kialakuló, nanoméretű szabályos oszlopokból álló alakzat a makrovilágban ismeretlen mechanizmussal bocsát ki látható fényt.

A szilíciumnak talán egyetlen hátránya van: nem lehet belőle pl. lézerszerű fénykibocsátó elemeket készíteni. A tudományos közvélemény első lelkesezésében néhány éve azt várta, hogy a nanoméretű pórusos szilíciumréteg az ún. kvantumos méreteffektusok révén mégis képes optikai adatfeldolgozási feladatok elvégzésére. A kezdeti eufória nem volt teljesen megalapozott, az ilyen eszközök élet-

tartama ugyanis korlátozott, de a kutatás még indokolt, sőt egészen más fontos alkalmazások ötlete merült fel.

A részleg a kvantumos méreteffektusok (fényemisszió) és a mechanizmusok vizsgálatával foglalkozik a pórusos szilíciumnak ún. mikrogépészeti eljárások és alkalmazások (nyomás és áramlásmérés) elemeként való felhasználásával. Továbbá az óriási fajlagos felület tulajdonságainak hasznosításán alapuló integrált érzékelők (gáz, nedvesség) kutatásával, a nanoszerkezetű réteg optikai tulajdonságain alapuló alkalmazások kutatásával, elsősorban bioszenzorok területén.

A megújuló energiaforrások közül a labor perspektivikus területe – kiterjedt nemzetközi K+F kooperációban – a kristályos szilícium és vékonyréteg napelemek technológiai kulcslépéseinek kutatása. A különféle elveken működő (piezorezisztív, ill. kapacitív) nyomásmérők kutatása és fejlesztése ipari partnereinknél már termék formájában is hasznosult. Ugyancsak fontos kutatási téma és egyben bevételi forrás a felületi hullámszűrők kutatása és fejlesztése, illetve közepes darabszámú reprodukciója. Az első EU 5. keretprogram pályázatunk eredményességébe belejátszott, hogy pórusos szilíciumot alkalmazunk egy mikrogépészeti úton előállított gázérzékelőben. A mesterséges szaglás (pl. kábítószertektálást) célzó eszköz egy érzékelő rendszert fejleszt ki, amelynek egyes érzékelői más és más gázra érzékenyek. A biológiai érzékelőkhöz képest a rendszerünknek az az előnye, hogy magas hőmérsékletű kémiai reakciókban is tudjuk használni a létező legkisebb elektromos fűtőtestre telepített katalitikus érzékelőkkel.

A mikrotechnológiai laboratórium fenntartása tetemes költségekkel jár, tevékenysége azonban meghatározó az intézet profiljában. A minta-preparációs lehetőségek ugyanis nélkülözhetetlenek mind a

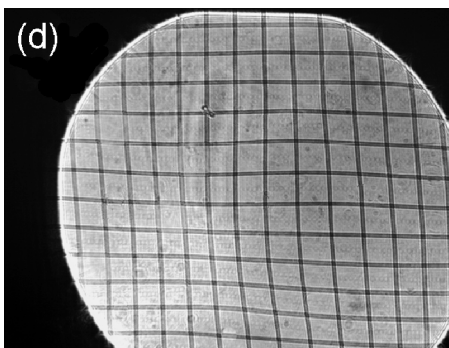
jelenségorientált, ill. metodikafejlesztést célzó alapkutatási csoportjaink, mind hazai külső partnereink számára is. A profil fenti kialakításával szerencsésen ötvöződik az élenjáró kutatás lehetősége a fenntartás finanszírozását támogató külső kooperációs tevékenységgel.

Az MFKI telephelyváltása néhány, csak gazdaságtalanul bontható, ill. telepíthető technika megszüntetését is ránk kényszerítette. Az átköltötetett metodikákat igyekeztünk továbbfejlesztett formában telepíteni. Ez sikeres volt pl. a vegyület-félvezető optoelektronikai eszközök előállítására alkalmas folyadékfázisú epitaxiás technológiával, amely ma a *Serényi Miklós* által vezetett Vegyület-félvezető Osztály témáit, projektjeit szolgálja.

Az infravörös tartományban fényt (akár lézert fényt) kibocsátó, többkomponensű félvezető rétegszerkezetek előállítása az ún. sáv szerkezet-beállításnak egyszerű eszközökkel elért csúcsteljesítménye, amely a bonyolult fázisdiagramok helyi kutatási eredményeire épül. Az 1,1-1,8 μm tartományban emittáló eszközök (ún. LED és lézert dióda) elsősorban spektroszkópiai, mikroanalitikai alkalmazások céljaira készülnek. Kilenc LED kifejlesztésére volt szükség, hogy az említett tartomány valamennyi hullámhosszán működő, miniatűr spektrométert lehessen építeni. A labor tevékenységét szervesen egészítik ki a minősítést és alkalmazást szolgáló optikai vizsgálatok, ill. a kvantum jelenségek (kétdimenziós elektrongáz) hasznosításának elméleti háttér adó alapkutatások.

Mindkét technológiai laboratórium munkájához szorosan kötődik a *Szentpáli Béla* vezette Eszközfizikai Osztály tevékenysége. A szinte teljes elektromos eszközminősítést tág hőmérsékleti (4K–500K) és frekvenciatartományban (egyenáramú módszerektől a 2 GHz tartományig) lehetővé tevő eszközpark és a szakmai háttér

az intézeten belüli kooperáció nélkülözhetetlen eszköze. Az MFKI korábban súlyponti fontosságú, mikrohullámú eszköz kutatásának eredményei ma nemzetközi projektekből is hasznosulnak, egyebek között a mobil telefonía okozta esetleges élettani károsodás és általában az elektromágneses környezetszennyezés (elektroszmog) vizsgálatánál. Az osztály friss eredménye, amely a 30 cm átmérőjű Si szeleteknek a világ iparában való bevezetésével felértékelődni látszik, azaz máris van külföldi partner annak megvalósítására. Ez az ún. *Makyoh*, a „keleti varázstükör”, amely vizsgálati eljárásaként az óriás szeletek kis mértékű mechanikai deformációit teszi láthatóvá, kvantitatíven kiértékelhetővé (2. ábra).



2. ábra • A keleti varázstükör (Makyoh) technikával láthatóvá tett deformációk szilíciumszeleten

Az intézet tudományos profiljának fejlődésében meghatározó szerepet töltött be az elmúlt évtizedekben az ionsugarak használatára épülő kutatási iskola, amely az ionimplantáció széleskörű alkalmazásán (félvezető adalékolás, felületmódosítás, ionsugaras szintézis stb.) túl ma a KFKI Rézszecke- és Magfizikai Kutató Intézetrel közösen használt 4,5 MeV-os Van de Graaff-gyorsítón végzett ionsugaras analízisig terjed. A *James W. Mayer* (USA) és a *Gyulai József* vezette csoport több évtize-

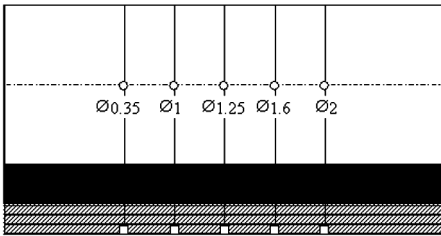
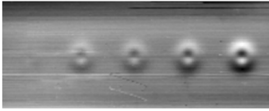
des együttműködése adta a sikerek gerincét, pl. együtt találtak fel a félvezetőiparban általánosan használt implantációs trükköket. Az így szerzett tapasztalatok ma a mikrorendszerek fejlesztésében, a legkülönbözőbb, nanotechnológiai irányban folytatott kutatási kezdeményezésekben, ill. metodikai fejlesztésekben hasznosulnak, és ez az intézet nemzetközi kutatási együttműködéseinek ma is egyik kulcseleme. A hagyományos ionsugaras analitika témában – beleértve a ma is intenzív metodikai kutatásokat – munkatársaink: *N. Q. Khanh* és *Battistig Gábor* szoros együttműködésben dolgoznak az RMKI kutatóival, *Pásztai Ferencel*, *Szilágyi Edittel* és *Kótai Endrével*.

Mára az Ionsugaras Analitika Osztályon a súlypontot a *Lohner Tivadar*, ill. hajdani doktorandusza, *Fried Miklós* munkássága nyomán kifejlesztett, rendkívül sikeres kutatási terület adja. Ez az ellipszometria néven régóta ismert optikai jelenség újszerű alkalmazása, amely valódi roncsolásmentességének és nem szennyező voltának köszönhetően napjainkban nélkülözhetetlen vizsgálati módszerre vált a félvezetőiparban. A módszer a vizsgálandó rétegszerkezetre eső fénysugár polarizációs állapotának változásaiból következtet – pl. neurális hálózatok néven ismert számítástechnikai módszerekkel – a határfelületek, vékonyrétegszerkezetek szerkezetére, az egyes rétegek vastagságára, összetételére, homogenitására stb. Az ionsugaras anyagvizsgálati módszerekre alapozva tudunk kezdetben olyan adatbázisokat kifejleszteni, amelyek bizonyították a módszernek az ionimplantált rétegek minősítésére való alkalmasságát. Adekvát modellek kifejlesztésével és valós idejű kiértékelésével bizonyítottuk továbbá, hogy az ellipszometria a rétegnövesztési és rétegeltávolítási műveletek in situ és in line ellenőrzését is lehetővé teszi, sőt, reméljük, hogy munkánk révén is a folyamatvezérlés alapvető bemenő adatait

szolgáltatni képes eszközzé válik. Ma, amikor a hagyományos mikroelektronika a miniatürizáció határait döntögeti, a vizsgálati módszereknek óriási kihívásnak kell eleget tenniük.

Az Intézet néhai jogelődjében, a Mikroelektronikai Kutató Intézetben a mágneses buborékmemória fejlesztéséhez kapcsolódva tekintélyes kristálynövesztési és -minősítési tapasztalat halmozódott fel. A magas olvadáspontú oxidkristályok, gránátok növesztése azonban a kutatási igények csökkenése és az olcsó ázsiai konkurencia megjelenése miatt, továbbá működtető szakemberek híján, a régi berendezéseken nem volt folytatható. Ebből a kultúrából a folyadékfázisú epitaxiás növesztés technológiai bázisát tartottuk fenn, ami a *Vértsey Gábor* vezette Magnetooptikai Osztály alapvető és kooperációs lehetőségeinek egyik alapja. Ezzel párhuzamosan alakult ki az osztály saját fejlesztésű FLUX-GATE fémüveg-magos, lineáris mágneses érzékelő szonda, ill. műszer szabadalmára épülő, igen sikeres *roncsolásmentes anyagvizsgálati profil*. A nagy laterális felbontással végrehajtott örvényáram-analízis a fém alkatrészekben (hegesztési varratokban, nyomástartályokban stb.) nemcsak a mikrorepedéseknek akár a hátoldáról történő pontos lokalizálására, méretének meghatározására alkalmas, hanem újabb kutatásaink szerint kritikus helyzetekben a mágneses inhomogenitások pontos fel térképezése révén *az anyagfáradás kvantitatív jellemzésére* is (3. ábra).

Az osztály másik fontos tevékenysége *Eördögh Imre* irányításával a szintén saját fejlesztésű VIRGINIA program képfeldolgozó lehetőségeinek sokoldalú kihasználására épül. A hardver- és szoftverfejlesztések eredménye egy tetszőleges képalkotó eljárással (az elektronmikroszkópiától a csillagászatig) és hullámhossztartományban felvett képi információ automatikus



3. ábra • Fémek hibáinak felderítése roncsolásmentes örvényáramú vizsgálattal. A hibák, induló repedések, fáradások alakítják az áramok keltette mágneses teret, amelyet az érzékeny szondánk érzékel, a képfeldolgozó rendszer megjelenít. Az ábrán a hibákat furatok helyettesítik. Látható, hogy a tartályanyag vastagságának 30 %-át kitevő és kis méretű hibák is jól kivehetők a hátoldaltól – azaz egy belső repedés kívülről is felderíthető.

tömörítésére, statisztikus, kvantitatív jellemzésére alkalmas, testre szabott rendszer. Az anyagvizsgálattól a gyártásellenőrzésen át a biológiai minták analíziséig, az automatikus mozgás-monitorozásig számos K+F, ipari, orvosi és speciális alkalmazásban aratott sikert, ez az Intézet perspektivikus gazdasági együttműködési kezdeményezéseinek egyik fontos alapja.

Az Intézet által tudatosan vállalt interdiszciplináris kutatás jegyében a divízióban működik *Kozmann György* vezetésével a Biomérnöki Osztály. A Veszprémi Egyetem Informatikai Karával karöltve itt folyó kutatások alapján véve illeszkednek a roncsolásmentes anyagvizsgálati vonalba, hiszen a testfelszíni potenciáltérképek alapján, megfelelő modellek kifejlesztésével, nem invazív módon, korai stádiumban teszük lehetővé az ún. hirtelen szívhalál potenciális veszélyének felderítését. A kiterjedt hazai és nemzetközi együttműködésben kutatott másik fontos irányzat a 24 órás orvosi megfigyelés lehetőségén alapuló, a modern informatika eszközeit felhasználó távgyógyászat.

Az elmúlt három év tudományos teljesítménye jogosít fel bennünket arra, hogy hasonló ütemű fejlődéssel számoljunk a jövőben is. Nem utolsósorban ez indította az Intézet vezetését arra, hogy az év folyamán önként vállalja az ISO 9001:2000 megmértetéssel járó feladatokat, ami a tevékenységünk jobb szervezetségét, átláthatóságát hivatott szolgálni. Az ISO szabványok betartásával a külső – beleértve pl. az EU-t is – megítélésünk, partneri kapcsolataink erősödését reméljük. A kutatómunka műszaki támogatását egy mechanikai és elektronikus műhely, informatikai háttérrel pedig a számítógép-hálózatot üzemeltető informatikai csoport adja.

Az új intézetnek a *fizikai anyagtudománnyal, szerkezetkutatással foglalkozó részlege* (vezetője: *Radnóczy György*, DSc) is a két intézet (MFKI és ATKI) kutatócsoportjaiból jött létre. E csoportok komplexebb eszközök birtokában voltak, így tematikáik is különböztek. Fő közös vonásuk az volt, hogy kutatásaikat az anyag szerkezetének és fizikai tulajdonságainak kapcsolatára alapozták, a szerkezetet tekintve elsődlegesnek. Szerkezet alatt értünk ebben az esetben minden rendet (és rendezetlenséget) az atomi méretekől a makroszkopikus méretekig. Kutatásaik kiterjedtek a kristályos és amorf, az egykristály vagy polikristály, a texturált vagy rendezetlen szemcsék, különböző kristályhibák és azok csoportjai vizsgálatára, valamint a határfelületek: a fázis- és szemcsehatárok, külső felületek szerkezetére, az atomi elrendeződés és kémiai összetétel, a kémiai kötések kérdéseire.

A részleg meghatározóan a kísérleti anyagtudomány területén dolgozik. A hat

tudományos osztályból öt egyértelműen kísérleti tevékenységet folytat. A problémák megközelítése inkább alapkutatás, mint alkalmazás jellegű, de egyik irány sem zárólagos. A jelenlegi részleg igen erősen a korábban, az előd-intézetekben kialakult kutatási területekre épült, és épül ma is. A gyors koncepcióváltást az eszközpark lehetőségei sem támogatják. A konszolidáció során megcélzott szinergikus hangsúlyeltolódások azonban máris létrejöttek.

Jelenlegi anyagtudományi kutatásaink átfogják a dimenzióskála egész terjedelmét, a tömbi anyagoktól a gyakorlatilag egydimenziós (pontoszerűnek) tekinthető klaszterekig, illetve az elméleti modellekig.

A tömbi rendszerek (3D rendszerek) kutatásában a részleg az igen sikeres és elismert MFKI-s volfrámos hagyomány talaján áll. A kutatási potenciál azonban a néhány évvel ezelőttihez képest jelentősen csökkent, ennek elsősorban a fiatal munkatársak hiánya és az idősök nyugdíjba vonulása az oka. Az általunk vizsgált 3D rendszerek: a szilícium-nitrid-kerámiák, a magas olvadáspontú fémek, nyitott szerkezetű volfrámoxidok.

Ma e terület legsikeresebb irányzatának a Kerámia- és Fémfizikai Kutatások Osztályán *Arató Péter* vezetésével folyó munkát tekinthetjük. A szilícium-nitrid alapú kerámiák kutatása és a kis méretű kerámiatesetek előállítása csak olyan különleges berendezéssel valósítható meg, amely magas hőmérsékletű és nagy nyomású szinterelést tesz lehetővé. Az összetétel, az előállítás paraméterei, a kialakuló szerkezet és a mechanikai tulajdonságok kapcsolatrendszerének egyes problémáit tisztázva képesek vagyunk nagy szilárdságú és magas hőállóságú kerámiatesetek gyártására, amelyeket pl. a GE gyárai szerszámként alkalmaznak nagy mechanikus és termikus igénybevételnek kitett területeken. A kis létszámú téma a gyártás miatt inkább kivé-

tel, de példát ad arra, hogy a kutatási eredmények alkalmanként a termék szintjére is eljutnak.

Ugyanebben az anyagcsoportban (3D) foglalkozunk volfrám- és molibdénhuzalok hőkezelés során fellépő átalakulásaival, beleértve az oxigén szegregációját, illetve oxigén és kálium koszegregációját a szemcsehatárokon. Kis szögű neutronszórással vizsgáljuk a huzalokban levő elnyújtott második fázisok darabolódását.

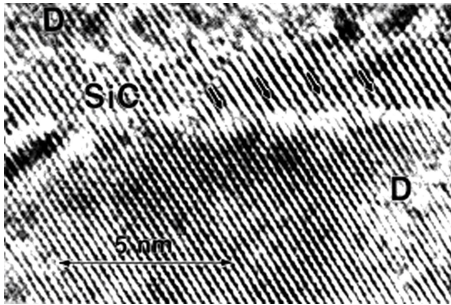
Már abbahagytuk a nyitott szerkezetű volfrámoxidok és oxidhidrátok keletkezésének és átalakulásának kutatását. Nem folytatjuk az MFKI-ban korábban művelt hidrometallurgiai (a fényforrásgyártáshoz kapcsolódó kémiai, környezetkémiai) kutatásainkat és fejlesztéseinket sem, és a volfrámhuzalok kutatásának intenzitása is jelentősen csökkent. *Gaál István* révén azonban fontos szereplői vagyunk a Deuterium Lamp Standard EU 5. KP konzorciumnak, ahol a katódok vizsgálata a fő feladatunk.

A kétdimenziós (2D) anyagrendszerek körébe a vékonyréteg- és felületfizikai kutatások tartoznak. Ma ez a témakör a részleg legjelentősebb kutatási potenciálja. A kutatómunka három osztályon (a Vékonyréteg-fizikai, a Felületfizikai és a Vékonyréteg nanorendszerek Kutatócsoportban) folyik, amelyek egymással szoros együttműködésben dolgoznak. A munka itt elsősorban alapkutatás jellegű, de a hármas feladat (kutatás, műszeres és szakmai szolgáltatás, oktatás) vállalása mégis jellemző, ennek köszönhető, hogy a részleg kutatói négy EU 5. KP programban, több esetben multinacionális cégek partnereiként vesznek részt. Adott esetben a gyakorlati feladatok megoldásától sem zárkóznak el.

A *Pócza Jenő–Barna Péter–Barna Árpád*-féle vékonyréteg iskola, amelyet ma már többek, pl. *Radnóci György, Lábár János, Pécz Béla* neve is fémjelez, szintén

klasszikus egysége az egyesült intézetnek. A fő kutatási terület ma is a fém- és félvezető vékonyrétegek kialakulásának, kristályhibáinak tanulmányozása, a súlypont az amorf, polikristályos és egykristály rendszerek, modellanyagok (Si, Ge, Au, Cu, Al) és új, alkalmazásra váró anyagok családjainak (GaN, SiC, szén-nitrid) kutatása. E hagyományos területen jelentős előrelépés, hogy – pályázati sikerként – egy új, nagy felbontású elektronmikroszkópot helyezünk üzembe, amely a régió legjobb ilyen típusú berendezése lesz.

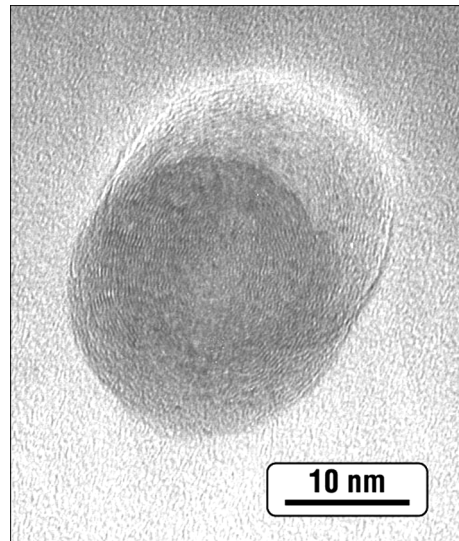
Eredményeinket két példával szemléltetjük: a 4. ábrán egy nanoalakzat keletkezését mutatjuk be, amelyet ionimplantálással készítettünk: gyémántban sikerült szilícium-karbid kristályt létrehozni. Az 5. ábrán egy sok falú, szén-nitrid hengert mutatunk be nagy felbontású elektronmikroszkópos felvételen.



4. ábra • Szilíciumionok implantálásával gyémántban létrehozott kristályos, rendezett szilíciumkarbid szemcse (Pécz B. és Forschungszentrum, Rossendorf)

Vizsgáljuk a kialakított struktúrák fejlődésének és átalakulásának törvényszerűségeit a termikus stabilitás, szennyezők, adalékok hatásának, szilárd fázisú reakciók és fázisátalakulások kinetikájának, az ionbombázás hatásának kérdéseit. A kutatók célja a kis méretű rendszerekben vagy atomi méretekben lokálisan lejátszódó

jelenségek leírása, modellezése és megmagyarázása. A rendelkezésre álló vizsgálati módszerek a transzmissziós (TEM) és pásztázó elektronmikroszkópia (PEM), az Auger-elektron spektroszkópia (AES), az ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis), az elektrondiffrakció és a röntgendiffrakció. Ezekből sajnos több is modernizálásra szorulna. A kutatómunka alkalmazásaként elsősorban a módszertani és az anyagismereten alapuló szolgáltatás (kutatás, mérés), ill. az egyetemi oktatás jön szóba. Jelentős a publikációs tevékenység.



5. ábra • Ferde henger alakú szén-nitrid szemcse szintézisét bemutató nagy felbontású elektronmikroszkópos felvétel. Ez az anyag nemcsak mint eddig ismeretlen szénvegyület, de mint különleges (kemény vagy éppen lágy, ill. kis sűrűdást biztosító) bevonat is érdekessé válhat. (Radnóczy Gy.)

A TEM és AES mintaelőkészítés területén nemzetközi mércével mérve is figyelemreméltó módszertani fejlesztés folyik. A minták ionsugaras megmunkálására a Pécz Béla vezette Vékonyréteg-fizikai,

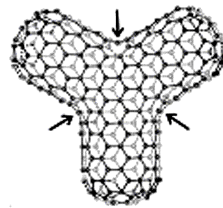
valamint a *Menyhárd Miklós* vezette Felületfizikai Osztályon kifejlesztett berendezések (*Barna Árpád* konstrukciója) már a nemzetközi piacon is bizonyították életképességüket. E berendezéseket külső cég (Technoorg Linda, Budapest) gyártja, Japántól az USA-ig található belőlük igényes elektronmikroszkópos laboratóriumokban (pl. Oxford, Berkeley, Jülich, Grenoble, Tokió). A korábban szokásos ionenergiák esetén az eltávolítás a visszamaradó anyagban károsodott (amorf) réteg létrejöttét okozza, amely hibát okozhat az analízisben. A Barna Árpád-féle ágyú mindössze néhány száz volt feszültséggel gyorsított ionokat használva, roncsolásmentesen távolítja el a réteget. (Az egyedi technikai kunszt, azaz a szabadság tárgya az, hogy miként lehet megvalósítani ilyen kis energián is használható áramot adó ionágyút.)

A megmunkáló ionágyú finommechanikai szempontból is figyelemre méltó, annak segítségével a Felületfizikai Osztály az AES módszer mélységi felbontásában mindenkit maga mögé utasított. A Barna Árpád-féle ionsugaras vékonyító ionágyú ultravákuumú változatát Auger-spektrométerbe beépítve, az AES mélységfüggő kémiai analízisében egyedülálló felbontást sikerült elérni. A felbontóképesség révén a mágneses lemezkiolvasó fejek gyártásának technológiai fejlesztéséhez tudtak hozzájárulni azzal, hogy kimutatták: a mindössze két-két atomi vastagságú réz- és kobaltréteg hőkezelésre szétválak.

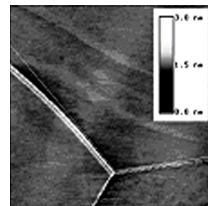
Az egydimenziós (1D) és nulladimenziós (0D) rendszerek is fontos területei a részleg kutatásainak. Az 1D rendszerek, pl. a szén nanocsövek különleges geometriai, mechanikai és elektronikus tulajdonságúak. A szén nanoszerkezetek vizsgálatával foglalkozó csoport (Nanoszerkezetek Osztály, *Bíró László Péter* vezetésével) elsősorban a pásztázó alagútmikroszkópia és a hozzá tartozó alagút-spektroszkópia

módszerét alkalmazva a szén nanocsövek jellemzésével, új növesztési eljárások kidolgozásával, valamint a nanocsövek szelektív nukleációjának kérdésével foglalkozik. A munka jelentős része a NANOCOMP 5. keretprogram témában folyik. E csoport egyre több közös tevékenységi területet talál a vékonyréteg- és felületfizikai kutatásokkal is.

Két eredményt mutatunk be, amelyekből megítélhető a kutatások színvonala. Elsőként állítottak elő Y-alakban elágazó, egyfalú nanocsöveket, valamint a NANOCOMP keretében sikerült spirális alakú, szintén egyfalú nanocsöveket előállítaniuk. (6–7. ábra).



6. ábra • A G. E. Scuseria által elméleti számítások alapján 1992-ben felállított szerkezeti modell. A hatszögekből álló szerkezetbe a nyilakkal jelzett helyeken egy-egy hétszögpáros épül be, ezek hozzák létre az elágazást. (G. E. Scuseria engedélyével)



7. ábra • Fullerén bomlása útján grafiton növesztett, Y-alakú szén nanocső pásztázó alagútmikroszkópos felvételen. A 121° szöget bezáró csövek átmérője kisebb, mint a milliméter százvezred része.

A 0D rendszerek területén fém (Pt, Cu, Au, Pd) klaszterek (pl. katalizátorok) elektronikai és kémiai állapotait kutatjuk az

ESCA és TEM módszereivel. E kutatások kezdeményezője *Pető Gábor*. A kutatások célja a kis méretből következő fizikai hatások, méreteffektusok vizsgálata. Az ún. önszerveződő rendszerek kutatása során például 800 C-fokos hőkezelés hatására erbi-um-szilicid réteget sikerült kialakítani szilíciumkristály felszínén.

Az elméleti kutatások (vezetője Szabó György) az Ising típusú rácsmodellekkel leírható rendeződési jelenségek számítógépes és elméleti vizsgálata köré koncentrálnak. Korábban a különböző anyagokban (pl. szuperionos vezetőkben és alkáli-fulleridekben) megfigyelhető atomi rendeződések, ill. fázisdiagramok értelmezésével foglalkoztak. Az elektromos tér rendeződésre gyakorolt hatásának vizsgálata során a nem egyensúlyi folyamatok tanulmányozása került előtérbe. A kidolgozott és továbbfejlesztett módszerek hasznosnak bizonyultak a dinamikus rendszerekben megfigyelt jelenségek leírásánál is, ezért egyre nagyobb figyelmet fordítottak a konkrét rendszerek viselkedésében megmutató univerzális tulajdonságok tanulmányozására, illetve azoknak a körülményeknek a tisztázására, amelyek az univerzálístól eltérő viselkedést eredményezhetnek. Az utóbbi években a statisztikus fizika módszereinek alkalmazása rohamosan bővül a biológia, a közgazdaságtan és a viselkedéskutatás területein. E folyamattal lépést tartva az elméleti csoport tagjai különböző evolúciós játékelméleti modellekkel vizsgálják a térbeli hatások, a mintázatképződés és a fluktuációk hatását az önzetlen magatartás evolúciós kialakulásában. E vizsgálatok számos olyan kérdést vetnek fel, amelyek segítik a statisztikus fizikai módszerek továbbfejlesztését és a természeti törvények mélyebb megértését. E kutatásokat nemrég választotta ki az American Institute of Physics a *Physics News Update*-ben való ismertetésre. (A röntgenho-

lográfia után most először fordult elő, hogy itthon végzett fizikai kutatások e kitüntetésben részesültek.)

A különböző tudományterületek egyre szorosabb összefonódására egy másik példa lehet az a kutatói pálya, amely a kristálynövesztés öntanuló (adaptív) szabályozó rendszerének kidolgozásától indulva eljutott egy olyan öntanuló zajsztűrő rendszer kidolgozásáig, amellyel a Bartók és Kodály által gyűjtött recsegő-ropogó gramofonfelvételekből ki lehetett szűrni a megmentésre szánt népzenei dallamokat. E munka folyamán kerültek felszínre azok a ma kitöltött kérdések, amelyek a népzenei variációk dallamtérbeli klaszterképződése és ősi dallamaink (kotta nélküli) megőrzése közötti kapcsolatra vonatkoznak.

Végezetül hadd hívjuk meg a Tisztelt Olvasót a honlapunkon (<http://www.mfa.kfki.hu/>) teendő kirándulásra, ahol további illusztrációkat és eredményeket talál.

Utószó

Az ismertető 2001 elején íródott, lapzártáig az MFA sikeres pályázatainak (korántsem teljes) sora a következőképpen változott:

Hazai finanszírozású témák

- *OMNKFP (1+9): Nanotechnológia* (konzorciumvezető, KV); konzorciumi tagcsoportok: *Napelemtechnológiai innovációs centrum* (KV: KRAFT Rt.), *Gépjármű kisülőlámpa* (KV: GE Lighting), *Környezetbarát nagyintenzitású kisülőlámpák* (KV: GE Lighting), *Járműipari kompozit fékanyagok* (KV: ME, célvállalat: Knorr-Bremse), *Érzékelő számítógépek és a távjelenlét* (KV: SzTAKI), *Hipertónia telemedicinális gondozása* (KV: Tensiomed), *Költséghatékony egészségmegőrzés* (KV: VE Info. Kar), *Hosszú élettartamú humán-ízületi protézisek* (KV KKK, cél: Protetim Rt.), *Különleges tulajdonságú nanoszerkezetű*

bevonatok fejlesztése környezetbarát felületmódosító eljárásokkal (KV: KKK)

- OM IKTA és Környezetvédelem (5): Terapi mozgó és álló tárgyak felismerése (a HM-mel), Heterogén számítógépi rendszerek összekapcsolása, Testre szabott on-line tartalomszűrés (partnerekkel), Digitális képpalkotó spektroellipszometria (az SZFKI-val), Korszerű, nagy hatásfokú hidrogénalapú energiatároló (az Accu-sealed Kft.-vel), Integrált gázérzékelők fejlesztése kommunális hulladékok monitorozására (a Weszta-T Kft.-vel).

- Az OM Nagyberendezés Pályázaton két nagyértékű eszközt nyert el az intézet: nagy felbontású transzmissziós elektronmikroszkóp (üzembe helyezve 2001 december), valamint a most induló, nanotechnológiai megmunkáló állomás (a tendert a Zeiss-Leo cég nyerte el).

Nemzetközi pályázatok

Az EU 5. Keretprogramban (10, nemzetközi konzorciumok részeként): a Kondenzált Rendszerek Kutatóközpont részeként két téma folyik, (Centre of Excellence az SZFKI-val), Large scale synthesis and char-

acterization of carbon nanotubes and their composite materials, Sensor Array for Fast Explosion-Proof Gas Monitoring, Deuterium Lamp Standard, European Sources for Nitride Materials, New nanocomposite-based wear resistant and self-lubricating PVD coatings for future applications in tools and components, Advanced Dry Processes For Low Cost, Thin Multicrystalline Silicon Solar Cell Technology-target Action I., Front-End Models for Silicon Future Technology – EAST), Non-destructive Characterisation of Ferroelectric CVD-Layers for Memory Applications, New Fullerene-like materials.

- NATO Science for Peace: Opto-electronic devices based on the protein bacteriorhodopsin (Biofizikai Int., Szeged), Surface Acoustic Wave Devices on Ceramics (CER-SAW), Integrable Lithium Thin Film Batteries

Kulcsszavak: funkcionális anyagok, tömbi rendszerek, felületi struktúrák, felületelemzés, érzékelők, nanoszerkezetek, mikrogépészet, mérés technikai modellezés, orvosi alkalmazások, információtechnológia és gépipar

