

Argumentarea în aspect fundamental a direcției științifice „Nanotehnologii nelitografice”, fondată de membrul corespondent al AȘM, prof. univ. dr. hab. Ion Tighineanu

În prezent a devenit indiscutabil faptul că viitorul industriei va depinde în principiu de nivelul de dezvoltare a nanotehnologiilor și materialelor multifuncționale. Pe parcursul ultimilor decenii au fost elaborate două metode nanotehnologice larg utilizate: prima se bazează pe asamblarea nanomaterialelor noi din molecule sau atomi (un exemplu deja clasic fiind epitaxia din fascicule de molecule), iar a doua metodă utilizează litografia cu fascicul de electroni pentru corodarea prin ferestre, ce duce la nanostructurarea spațială a materialelor. Ambele metode însă necesită utilaj sofisticat și scump. În această ordine de idei savanții au fost și sunt în căutarea noilor concepții și metode accesibile și totodată efective de nanostructurare a materialelor pentru diverse aplicații.

Reieșind din cele expuse, investigațiile noastre în domeniul nanotehnologiilor s-au bazat pe conceptul conform căruia nanostructurarea dirijată a compușilor semiconductori este posibilă prin tratarea electrochimică a materialelor preliminar iradiate cu ioni, care modifică localizat proprietățile lor, și prin crearea condițiilor de autoorganizare a nanostructurilor.

Cercetările ce s-au bazat pe acest concept au permis de a elabora metode noi de nanostructurare spațială a materialelor semiconductoare, în particular metoda litografiei sarcinii de suprafață, realizată prin inducerea cu ajutorul razei focalizate de ioni la energii mici a unei sarcini negative la suprafața semiconductorului care îl protejează de corodare electrochimică (Applied Physics Letters, Vol. 86, 174102, 2005). Între anii 2007-2012 au fost propuse și realizate următoarele metode nanotehnologice bazate pe concepții noi:

- Metoda creării rețelelor ordonate de nanotuburi din dioxid de titan cu diametrul intern dirijat (Brevet de invenție nr. 4063). Tehnologia a fost apreciată de site-ul NanoTechWeb.org din UK, vezi <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/42313>, precum și de site-ul MaterialsViews.com din Germania, vezi <http://www.materialsviews.com/more-less-hollow-always-nano-titania-templates/>
- Metoda formării rețelelor ordonate de nanotuburi metalice incorporate în matrice de semiconductor. Tehnologia a fost apreciată de site-ul NanoTechWeb.org din UK, vezi <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/34704>
- Metoda vizualizării directe a nanoarhitecturii spațiale a dislocațiilor într-un corp solid, care a fost apreciată de site-ul NanoTechWeb.org din UK, vezi <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/44967>
- Metoda intensificării rezistenței la radiații a compușilor semiconductori prin nanostructurare, care a fost apreciată de site-ul NanoTechWeb.org din UK, vezi <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/49261>
- Metoda de formare a membranelor ultra-subțiri de GaN suspendate pe nanocoloane de GaN create în mod dirijat în acelaș proces tehnologic. Tehnologia a fost apreciată de site-ul NanoTechWeb.org din UK, vezi <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/49261>
- Metoda intensificării emisiei undelor Terahertz la excitare optică prin procesarea nanomatricelor semiconductoare cu ioni grei la energii mari (85 MeV Kr⁺¹⁵ și 130 MeV Xe⁺²³), publicată în Applied Physics Letters, Vol. 97, 181921, 2010.

Utilizarea acestor metode a dat posibilitatea de a dezvălui și explica procesele de formare a nanotuburilor metalice prin depunere electrochimică, de a elabora nanomateriale noi așa ca membranele constituite din nanotuburi de TiO₂ cu diametrul intern dirijat, rețelele bidimensionale ordonate metal/semiconductor, nanopiramidele din nitru de galiu rezistente la radiații, membranele ultra-subțiri de GaN pentru diverse aplicații și de a studia proprietățile lor fizice. În particular, prelucrarea nanomatricelor semiconductoare cu ioni grei la energii mari (85 MeV Kr⁺¹⁵ și 130 MeV Xe⁺²³) a rezultat în intensificarea emisiei undelor Terahertz la excitarea cu ajutorul laserului cu impulsuri de femtosecunde, ceea ce a permis un studiu sistematic al procesului de generare a undelor Terahertz în funcție de mai mulți parametri. Dependența emisiei de densitatea de excitare optică, orientarea unui câmp magnetic co-planar aplicat și unghiul azimutal al feței nanomatricei față de

polarizarea excitării a identificat rectificarea optică ca mecanism responsabil de generarea undelor Terahertz (Applied Physics Letters, Vol. 97, 181921, 2010). A fost observat, studiat și explicat fenomenul retroreflexiei luminii în probe nanoporoase puternic absorbante de InP cu o topologie de plasă (Optics Letters, Vol. 36, no 16, pp. 3227-3229, 2011). A fost demonstrată fezabilitatea utilizării materialelor nanocompozite semiconductor-oxid în calitate de mediu activ al laserelor aleatoare, în care împrăștierea puternică a luminii necesară pentru formarea micro-cavităților este asigurată de fluctuațiile în spațiu ale indicelui de refracție al mediului poros, iar emisia și amplificarea radiației electromagnetice se datorează ionilor de pământuri rare sau ionilor de tranziție impregnați în materialul nanocompozit (Physica Status Solidi C, Vol. 6, no 5, 1097–1104, 2009). S-a demonstrat că explorarea modurilor de emisie în micro-tetrapozi de ZnO poate fi utilizată pentru determinarea dependenței de temperatură a dispersiei indicelui de refracție în regiunea rezonanței excitonice (Applied Physics Letters, Vol. 95, 171101, 2009). Au fost elaborate LED-uri pentru UV în baza rețelelor de nanofire de ZnO depuse electrochimic la temperaturi relativ scăzute pe substraturi de p-GaN (ACS Applied Materials & Interfaces, Vol. 2, no 7, pp. 2083-2090, 2010).

Rezultatele investigațiilor teoretice, experimentale și metodele nanotehnologice elaborate au stat la baza fondării direcției științifice „Nanotehnologii nelitografice” în baza tratării cu ioni și creării condițiilor de auto-organizare și a școlii științifice deja recunoscută nu numai la noi în țară. Sub tutela mea au fost pregătite și susținute 14 teze de doctor în științe și 2 teze de doctor habilitat.

Rezultatele obținute sunt înalt apreciate de comunitatea științifică internațională, despre ce mărturisește publicarea lor în cele mai prestigioase reviste din domeniu (Nanotechnology, Applied Physics Letters, Journal of Applied Physics, Physical Review B, Semiconductor Science and Technology, Electrochemical and Solid-State Letters, Physica Status Solidi etc.), inclusiv solicitarea prezentării lucrărilor de sinteză în reviste internaționale și la ședințele plenare ale forurilor științifice, e.g. lucrarea de sinteză în Journal of Optoelectronics and Nanoelectronics, Vol. 4, pp. 20-39, 2009; Referatul „Maskless nanoscale fabrication by using negative charge direct writing (Invited paper)” prezentat la "2012 International Workshop on Advanced Nanovision Science", Research Institute of Electronics, Shizuoka University, Hamamatsu, Japan, January 23-24, 2012; Referatul „Surface charge lithography for GaN micro- and nanostructuring (Invited paper)” prezentat la *SPIE Photonics West Conference*, Report 7216-34, January 24-29, 2009, San Jose, California, USA; referatul „Nanoporous III-V and II-VI Semiconductor Compounds (Invited paper)” prezentat la *International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials*, July 9-11, 2007, Algarve, Portugal (<http://www.nanosmat.org/keynotes.asp>) etc.

Între anii 2007-2012 au fost publicate 78 articole în reviste internaționale recenzate, 3 monografii în limba engleză, au fost obținute 8 brevete de invenție și prezentate 14 referate invitate la conferințe internaționale și seminare organizate de universități și centre științifice din diverse țări. Elaborările noastre au fost apreciate cu 5 medalii de aur și 2 de argint la expoziții internaționale, inclusiv metoda nanotehnologică de formare a rețelelor ordonate de nanotuburi din dioxid de titan cu diametrul intern dirijat a fost apreciată cu Medalia de Aur la Expoziția EUREKA-2011 din Brussels și Premiul special „Pentru cea mai bună invenție în domeniul nanotehnologiilor” la Expoziția Specializată Archimede din or. Moscova (2008). Actualmente această invenție se utilizează la Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor cu scopul elaborării dispozitivelor nanoelectronice. De o apreciere internațională se bucură și versiunea modificată a litografiei sarcinii de suprafață care a stat la baza elaborării în premieră a membranelor ultra-subțiri de nitrură de galiu și este fezabilă pentru nanostructurarea tridimensională a materialului. Recent metoda respectivă a fost plasată pe coperta revistei internaționale Physica Status Solidi – Rapid Research Letters din Germania. Sunt recenzent la Programul PC7 și la o serie de reviste internaționale din domeniu cum ar fi Physical Review Letters, Applied Physics Letters, Physical Review B, Journal of Applied Physics, Nanotechnology, Thin Solid Films, Optics Communications, Journal of the Electrochemical Society, etc. Am creat un colectiv puternic din tineri talentați care pe parcursul ultimilor ani au câștigat trei burse Humboldt în Germania (Dr. Victor Zalamai la Universitatea din Karlsruhe în 2008, Dr. Veaceslav Popa la Universitatea din Darmstadt în 2009 și Dr. Eduard Monaico la Universitatea din Hamburg în 2011), precum și câteva granturi internaționale.