

# IMT-Bucharest

National Institute for Research and Development in Microtechnologies

## Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Microtehnologii

### Rețele piramidale de nanoelectrozi

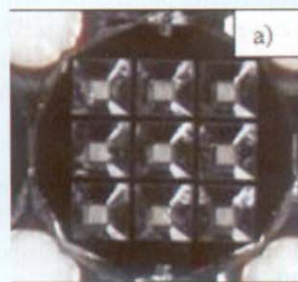
Rețelele piramidale din siliciu obținute prin microprelucrarea siliciului se pot utiliza pentru realizarea unor microcipuri de celule electrochimice, senzori electrochimici sau biosenzori.

Rețelele de nanoelectrozi s-au proiectat în IMT-București urmând o idee originală care constituie obiectul unui brevet de invenție pentru care la Expoziția internațională a invențiilor de la Geneva am obținut medalia de aur. Acești nanoelectrozi proiectați în IMT-București au fost inițial procesați utilizând echipamente tehnologice performante, pe linia tehnologică a Institutului de Microtehnologie din Mainz (IMM), în cadrul proiectului european EMERGE

de elemente, 1000-3600 elemente /cip. Materialul de electrod, aurul sau platina, a fost depus în strat foarte subțire pe suprafața piramelor de siliciu. Izolarea structurilor s-a realizat cu un film dielectric depus la temperatură joasă peste stratul metalic, rămânând neacoperit numai vârful structurilor de dimensiuni nanometrice, acesta constituind electrodul propriu-zis. Astfel de rețele de nanoelectrozi se pot integra cu alte elemente pentru realizarea senzorilor electrochimici sau a celulelor electrochimice miniaturizate. Dimensiunile reduse ale acestor structuri conduc la următoarele avantaje: volume mici ale probelor de analizat sau

### Biocipuri pe siliciu pentru eliberarea controlată a medicamentelor

La ora actuală, multe cercetări sunt orientate pentru obținerea unui dispozitiv medical care să permită eliberarea controlată a medicamentelor în vecinătatea organelor afectate. Modul lui de realizare trebuie să permită dirijarea controlată a eliberării — continuu sau cu o anumită frecvență — a unor doze de medicamente.



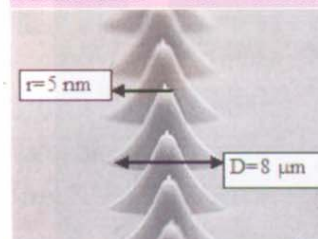
Utilizarea unor dispozitive miniaturizate este un pas important în revoluționarea cercetării și tratamentelor medicale. Motivul este simplu: posibilitatea de a monta oriunde în corp aceste dispozitive oferă modalitatea de tratare eficientă a organelor afectate și de asemenea se pot administra pacienților medicamente necesare însănătoșirii atât în spital, cât și într-un sanatoriu sau chiar acasă. Versatilitatea tehnologiei siliciului a permis proiectarea și realizarea unor



## Laboratorul de nanotehnologii

de Acces Transnațional la Facilități de Cercetare și ulterior în IMT-București, în Centrul de Servicii Tehnologice.

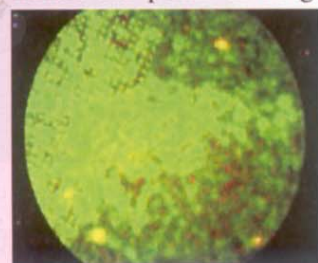
Aceste dispozitive miniaturizate au constituit



electrodul de lucru al unei celule electrochimice clasice, prezentând avantajul unei sensibilități foarte mari, limita de detecție fiind în domeniul  $10^{-8}$ - $10^{-14}$  moli/litru. Curentul de măsură este suficient de mare deoarece se amplifică cu numărul de electrozi din rețea, electrozii fiind la același potențial. Au fost realizate experimental rețele de nanoelectrozi cu număr variabil

posibilitatea de a fi direct introduși în mediul lichid care trebuie să fie monitorizat, obținându-se astfel informații în mod continuu și în timp real pentru o varietate mare de poluanți.

Principalele aplicații ale cipurilor cu rețele de electrozi de dimensiuni nanometrice sunt pentru controlul poluării în medii lichide sau pentru investigarea



reacțiilor electrochimice în medii biologice.

**Persoană de contact:**

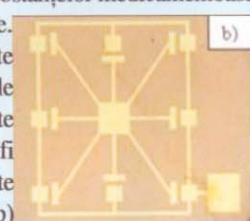
**Irina Kleps**([irinak@imt.ro](mailto:irinak@imt.ro))

dispozitive miniaturizate implantabile pentru eliberarea controlată a medicamentelor. Dispozitivul constă dintr-o rețea integrată de microrezervoare pe siliciu cu volumul foarte mic, și anume cuprins între 100-400 nanolitri, cu capac din aur și un circuit electric alimentat de o minibaterie. Numărul microrezervoarelor pe un cip a fost astfel ales încât volumul substanțelor active să fie același. Cipul realizat experimental are dimensiunile de 4x4mm și poate avea un număr de 4, 8, sau 16 rezervoare de dimensiuni diferite.

În timpul experimentelor *in vivo*, capacul metalic va suferi un proces electrochimic de corodare, circuitul electric controlând viteza de eliberare a substanțelor medicamentoase încapsulate în microrezervoare. Microcipurile pot fi implantate pacienților prin tehnici chirurgicale sau prin injecție, sau pot fi montate în exteriorul corpului. Astfel pot fi eliberate controlat (cu diferite rate și diferite perioade de timp) medicamente, molecule organice sau anorganice care au un efect bioactiv, ca de exemplu: anestezice, agenți chimioterapeutici, hormoni, agenți de reglare a metabolismului, zaharuri, imunomodulatori, antioxidanți, antibiotice.

**Persoană de contact:**

**Mihaela Miu** ([mihaelam@imt.ro](mailto:mihaelam@imt.ro))





## Arie de micropelistori pentru detecția gazelor combustibile

**S**copul realizării prototipului a fost dezvoltarea ariilor de microsenzori chimici catalitici și microstructurilor de test, realizați prin microprelucrare, compatibili cu tehnologiile de circuite integrate, utilizați pentru detecția gazelor combustibile, cu aplicații directe în industria de aparatură casnică, în industria minieră, petrolieră, armată etc., cu efecte în siguranța întreprinderilor industriale și a cetățeanului. Microsenzorii propuși prezintă avantajul că pot fi utilizați în medii cu pericol crescut (de explozie).

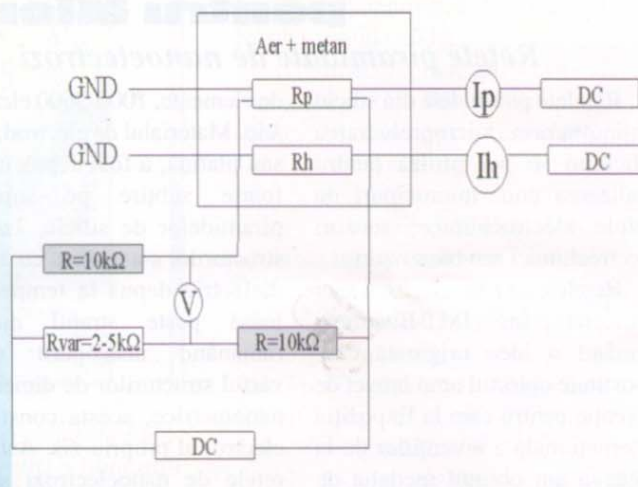
Caracteristicile micropelistorului permit testarea și caracterizarea straturilor sensitive din punctul de vedere al sensibilității, aderenței, metodei de depunere. De asemenea, utilizând diferite straturi sensitive, se pot detecta gaze diferite. Datorită conductivității mari a pelistorului, timpul de răspuns al microsenzorului este de sub 1 secundă (uzual 0,3 secunde).

Pentru utilizarea micropelistorului, este indicat a se folosi un montaj în punte Wheatstone.

Domeniile de utilizare a dispozitivului includ întreprinderile industriale, combinatele chimice, rafinăriile, dar poate fi folosit cu succes și înglobat în aparatură de uz casnic sau ca dispozitive portabile pentru domeniul minier.

Microsenzorul calorimetric integrat este realizat folosind tehnologiile de microprelucrare de suprafață și volum a

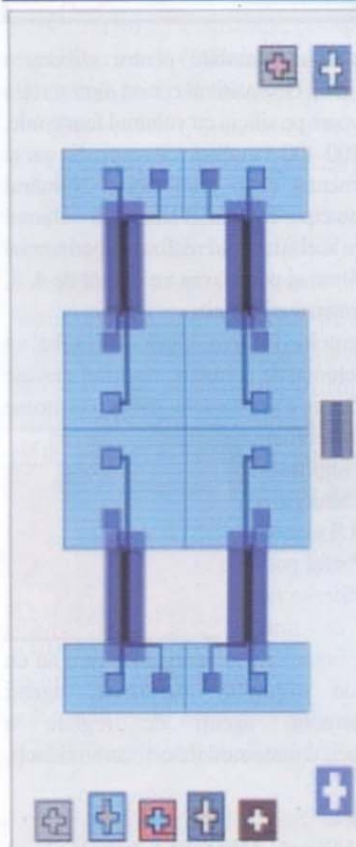
software-ul pentru conectarea la computer. Sistemul poate fi folosit ca un sistem distribuit, fiind bazat pe arhitectura TCP/IP pentru comunicarea datelor la distanță. De asemenea, poate fi



utilizat cu ajutorul modemurilor GSM pentru trimiterea de mesaje scrise, atunci când nu se poate implementa soluția transmiterii datelor prin TCP/IP, utilizând rețea de calculatoare sau internetul (de exemplu, la o instalație dintr-o întreprindere). Elementele de noutate ale tehnologiei constau în: realizarea în premieră a pelistorului pe o membrană suspendată,



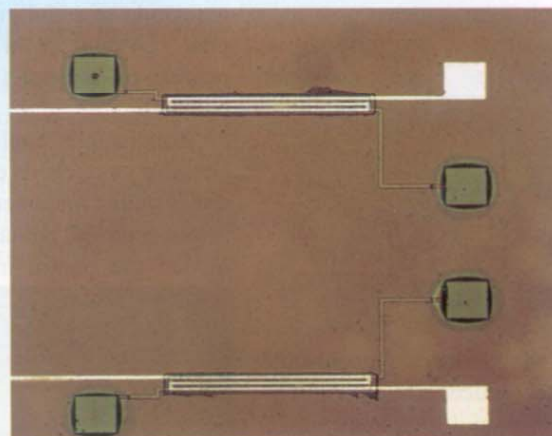
## Laboratorul de cercetare microstructuri pentru aplicații bio-medicale



siliciului, asociate cu procesele de realizare a circuitelor integrate. Pentru a minimiza pierderea de căldură în substrat, senzorul a fost realizat pe o membrană suspendată de nitrură de siliciu. Pe membrana de nitrură se depune polisiliciul, care se configurează și formează heater-ul integrat. Pe oxidul de izolare a heater-ului se depun metalele cu rol catalitic. Metalul cu rol de catalizator poate fi diferit în funcție de gazul care se dorește a fi detectat. De exemplu, se poate folosi Pt și Pd, pentru hidrogen și respectiv pentru metan.

Partea de achiziție și prelucrare de date de la senzori este alcătuită din sistemul propriu-zis de achiziție de date și din

ceea ce minimizează pierderile de căldură prin substrat; integrarea stratului ceramic cu fluxul de realizare a micropelistorilor; realizarea miniaturizată a unei arii de



micropelistori compatibile cu tehnologiile de circuite integrate; posibilitatea de achiziție și trimitere a datelor la distanță, folosind protocoale TCP/IP sau sistemul GSM.

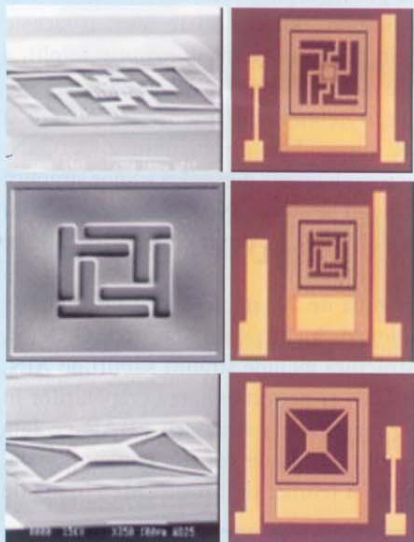
Dispozitivul a fost realizat de către IMT-București în colaborare cu S.C. ROMES S.A. București și S.C. IPEE S.A. Curtea de Argeș, care sunt și beneficiarii produsului.

Persoană de contact: dr. Carmen Moldovan,  
e-mail: [cmoldovan@imt.ro](mailto:cmoldovan@imt.ro)



### Structuri MOEMS utilizate în domeniul comunicațiilor și al senzorilor

Un microsistem este un sistem miniaturizat care combină diverse funcții: de sesizare, actuaire și procesare. Microsistemul combină cel puțin două funcții (electrică, mecanică, optică sau altele) pe același substrat semiconductor (cip).



Structuri MOEMS cu microcavități Fabry-Perot delimitate de membrane suspendate cu diverse geometrii de prindere, integrate cu fotodiode (colaborare bilaterală IMT București — LAAS CNRS, Toulouse, Franța)

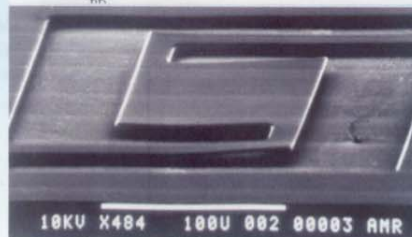
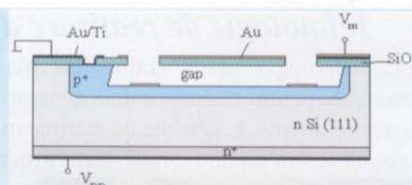
Microsistemele electro-mecanice, cunoscute sub numele de MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) combină componente electrice și mecanice (structuri tridimensionale, mobile, de dimensiuni micrometrice sau milimetrice), utilizând tehnologiile de fabricație ale circuitelor integrate, la care se adaugă tehnici specifice de microprelucrare, bazate de multe ori pe materiale noi.

Sistemele de tip MOEMS (micro-opto-electro-mecanice) sunt o combinație a celor de tip MEMS, la care se adaugă o funcție optică.

Avantajele structurilor de tip MOEMS, structuri ce pot fi realizate în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Microtehnologie (IMT București) sunt: imunitate la zgomotul electromagnetic; posibilitatea utilizării în medii cu grad crescut de pericolozitate (explozive); măsurători la distanță și posibilitatea utilizării în medii inaccesibile, fără perturbarea semnalului; selectivitate ridicată și acuratețe în determinări (selectivitate în detecția chimică); miniaturizare; producții de masă; cost scăzut.

Domeniile de aplicații ale tehnologiilor de tip MOEMS cuprind: comunicații optice; monitorizarea mediului; biosenzori; controlul proceselor industriale.

Microinterferometrul Fabry-Perot,



Filtru acordabil compus dintr-un interferometru Fabry-Perot (oglindea mobilă realizată prin microprelucrarea siliciului cu orientarea <111>) integrată cu o fotodiodă

obținut prin tehnici de microprelucrare de mare precizie, constă dintr-o microcavitate optică rezonantă care constituie elementul de bază pentru numeroase tipuri de senzori: de presiune, temperatură, chimic-pentru măsurarea concentrațiilor de gaze poluante, modulator, filtru acordabil în sistemele de comunicații optice, WDM, element pentru selectarea lungimilor de undă în spectroscopia IR.

Persoane de contact:

dr. ing. Raluca Muller  
([ralucam@imt.ro](mailto:ralucam@imt.ro))

dr. ing. Dana Cristea  
([danac@imt.ro](mailto:danac@imt.ro))



## Laboratorul de microfotonică

### Tehnologii de realizare circuite fotonice integrate eterogen cu fotodetecție pe siliciu

Materiale polimerice pentru componente microfotonice pe bază de polimeri cu indice de refracție controlabil

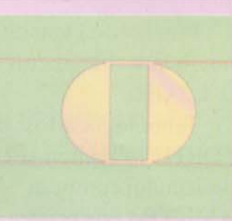
Polimerii sunt materiale cu proprietăți adecvate domeniului fotonicii, putând fi obținuți cu proprietăți controlate - indice de refracție, sensibilitate la radiația UV - în vederea realizării de componente microfotonice integrabile cu structuri optoelectronice pentru circuite integrate și subsisteme microfotonice. În IMT s-au obținut

polimeri cu indice de refracție controlabil în domeniul 1,6-2 și în același timp sensibili la radiația UV pentru a putea fi configurați direct prin fotolitografie (fără utilizarea unui strat de fotorezist), poate fi depus prin spinning pe diferite tipuri de substrat.



Polimerii utilizați au fost alcoolul polivinilic (PVA - este un polimer solubil în apă, care poate fi depus prin spinning pe diferite

tipuri de substrat) și polimetacrilatul de metil (P M M A). Controlul proprietăților



optice a fost realizat prin dopaje cu oxizi metalici. Polimerii obținuți au fost utilizați la realizarea de circuite fotonice integrate (ghiduri optice, divizoare, multiplexoare, rezonatoare inelare) integrate cu structuri de fotodiode ca elemente de fotodetecție.

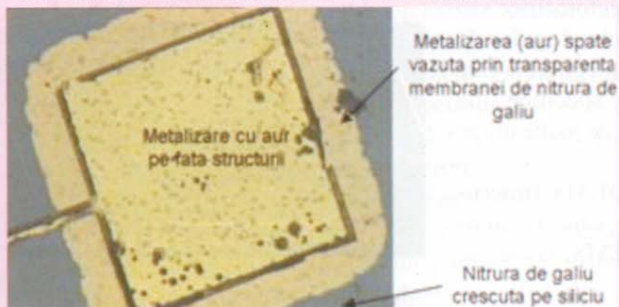
Aplicații: senzori chimici (gaze poluante); biosenzori — analize de ADN, proteine, interconexiuni optice.

Persoană de contact: dr. ing. Dana Cristea ([danac@imt.ro](mailto:danac@imt.ro))



## Tehnologie de realizare a dispozitivelor FBAR suspendate pe membrane

Tehnologia FBAR - Film Bulk Acoustic wave Resonator (rezonator cu unde acustice de volum) reprezintă o tehnologie avansată pentru realizarea de rezonatori și filtre, cu frecvențe de operare până la 10GHz. Deoarece undele acustice se propagă cu aproximativ 4-5 ordine de mărime mai încet decât undele electromagnetice, rezonatorii cu unde acustice de suprafață sau de volum au arii mult mai mici decât structurile cu linii de transmisie realizate pe materiale cu permitivitate foarte mare. Din acest

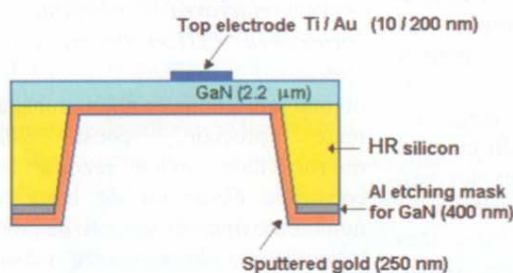


motiv dezvoltarea unor filtre de microunde bazate pe rezonatoare FBAR reprezintă o preocupare extrem de actuală în lume.

Dispozitivele FBAR sunt cu 50% - 80% mai mici decât diplexorii ceramici convenționali, ceea ce asigură dimensiuni reduse pentru telefoanele mobile în care se pot încorpora facilități PDA, MP-3 și GPS. Pe lângă telefonie mobilă, interes mare pentru aceste dispozitive se manifestă și din partea comunicațiilor prin satelit, a navigației sau a transmisiei de date.

Prezentăm în continuare o tehnologie nouă de realizare a dispozitivelor de tip FBAR suspendate pe membrane de GaN. Tehnologia se bazează pe microprelucrarea mecanică a unor structuri heteroepitaxiale de nitru de galiu pe siliciu. Nitrura de galiu este un material semiconductor de bandă largă, cu proprietăți piezoelectrice pronunțate.

Un strat de GaN cu grosimea de  $2,2\mu\text{m}$  se crește prin tehnici MOCVD pe un substrat de siliciu de înaltă rezistivitate ( $\rho > 10\text{k}\Omega\text{cm}$ ), cu orientare  $\langle 111 \rangle$ . Heterostructura include straturi subțiri de AlN, straturi care reduc stresul în GaN și permit evitarea crăpăturilor în material. Pentru a configura metalizarea structurii FBAR pe fața plăchetei, au fost folosite fotolitografia de contact convențională, depunere Ti/Au prin evaporare și tehnici de lift-off. Membrana de



## Laboratorul de microstructuri, dispozitive și circuite de microunde

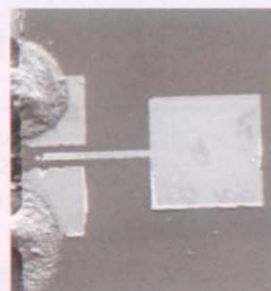


GaN se revelează folosind microprelucrarea de volum. Mascarea de spate, pentru formarea membranei, a fost obținută prin dublă aliniere. Metalizarea părții de spate a structurii se realizează cu aur.

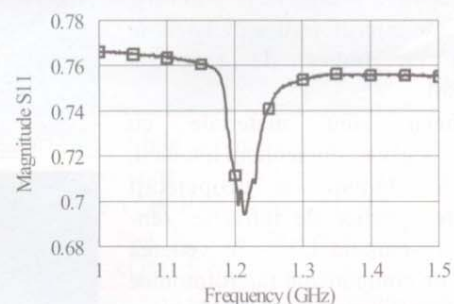
Prin această tehnologie s-au obținut structuri măsurate apoi în microunde. Parametrii S arată prezența unei rezonanțe pronunțate la 1,2 GHz.

Tehnologia a fost dezvoltată de IMT-București împreună cu FORTH Heraklion și Universitatea Tehnică Darmstadt, în cadrul proiectului european "AMICOM" (Programul Cadru 6). Proiectul AMICOM este o rețea de excelență (NoE-network of excellence) intitulată "Advanced MEMS for RF and millimeter wave"-ctr. 507352 finanțat de Comisia Europeană și are 26 de parteneri europeni. IMT are o implicare deosebit de activă în cadrul acestei rețele, fiind implicat într-o serie de cercetări de vârf alături de alți parteneri europeni, cum ar fi cele legate de sistemele de identificare la 60 GHz, cercetările legate de filtrele de tip L-C și bazate pe structuri de tip FBAR destinate front-endurilor reconfigurabile pentru sistemele de comunicații mobile "3G" și "peste 3G". IMT face parte din boardul director al proiectului.

Persoană de contact: dr. A. Muller ([alexm@imt.ro](mailto:alexm@imt.ro))



Fotografie de sus a structurii FBAR pe membrane de GaN obținută la microscopul SEM. Adezivul conductiv din stânga fotografiei este utilizat pentru a conecta electrodul de masă la metalizarea de pe spatele membranei și permite măsurarea în microunde

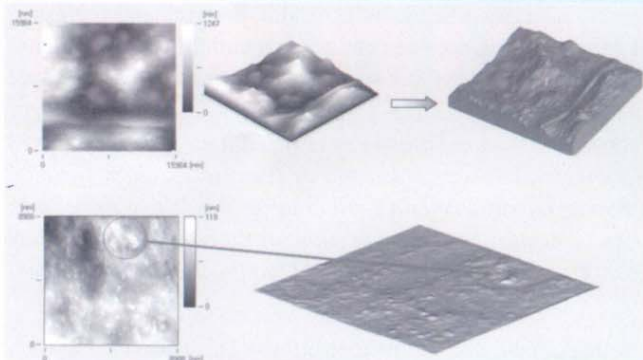


Măsurările în microunde pentru structura FBAR

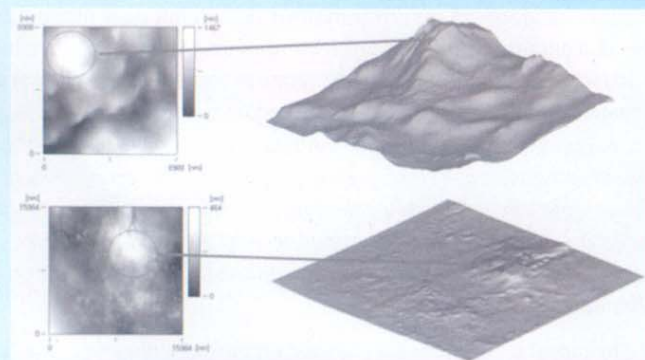


IMT este participant în proiectul european "Design for Micro and Nano Manufacture" (cu acronimul PATENT-DfMM), alături de un număr de alte 23 de institute de cercetare și universități din Europa. Laboratorul de simulare și modelare asistată de calculator din cadrul IMT este implicat în acest proiect. Unul dintre subproiectele finanțate de PATENT a fost propus și câștigat de către o echipă a acestui laborator. Obiectul cercetărilor l-a constituit unul dintre fenomenele intens studiate

dar încă puțin înțelese, care apare la nivelul microsistemelor, cunoscut sub numele de "sticțiune" (o adaptare din limba engleză după termenul de "stiction"). În calitate de conducător de proiect, IMT, prin echipa laboratorului nostru, a avut sarcina să coordoneze cercetările desfășurate în colaborare cu alte trei institute europene: Tyndall National Institute (Irlanda), Heriot-Watt University (Scoția), Warsaw University of Technology (Polonia).



Modelarea 3D a topografiei suprafețelor pornind de la imaginile obținute prin microscopie de forță atomică (AFM), cu indicarea unor detalii de pe suprafață (în stânga - imaginea AFM, iar în dreapta — suprafețele reconstruite în format de fișier CAD). În figurile din partea dreaptă, denivelările sunt reprezentate la o scară exagerată.



Modelarea topografiei suprafețelor pornind de la imaginile obținute prin microscopie de forță atomică (AFM), cu indicarea unor detalii de pe suprafață (în stânga - imaginea AFM, iar în dreapta — suprafețele reconstruite în format de fișier CAD). În figurile din partea dreaptă, denivelările sunt reprezentate la o scară exagerată.



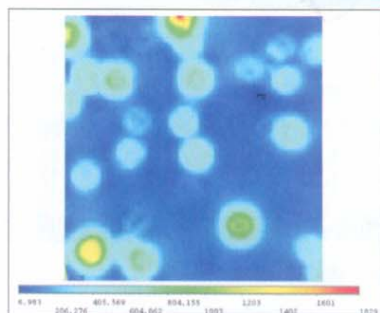
## Laboratorul de modelare-simulare

Fenomenul studiat constă în apariția unor forțe de adeziune între două suprafețe aduse în contact mecanic, și care constituie un impediment în funcționarea normală a microdispozitivelor. Ipotezele care se fac în abordarea acestui fenomen consideră contribuția conjugată a mai multor tipuri de forțe, cum ar fi forțele Van der Waals și forța Casimir. S-a constatat că există o legătură directă între mărimea forței totale de adeziune și rugozitatea suprafețelor. Bazându-ne pe studii experimentale, care au inclus analize de topografie a suprafețelor realizate prin microscopie de forță atomică (AFM), au fost generate modelele 3D și realizate simulările de contact. Prin simulare s-au determinat ariile de contact efectiv, presiunile și tensiunile

mechanice induse în materiale. Constatarea că aceste presiuni de contact au valori extrem de mari sugerează posibilitatea existenței unui nou mecanism al fenomenului, prin realizarea de microsuduri în punctele de contact ale asperităților suprafețelor. Pe lângă aceste aspecte, în colaborare cu ceilalți parteneri au fost realizate măsuratori ale proprietăților de material și structuri de test care să permită evaluarea experimentală a rezultatelor simulărilor.

Acest proiect a fost apreciat de către Industrial Advisory Board al PATENT. Pentru aprofundarea cercetărilor, a fost obținută o continuare a proiectului peste perioada inițială.

**Persoană de contact: Raluca Muller (ralucam@imt.ro)**



Simulare care relevă distribuția tensiunilor mecanice în interiorul materialului atunci când suprafețele sunt supuse presiunilor de contact. Spoturile luminoase reprezintă zonele în care tensiunile mecanice sunt mari, ele corespunzând asperităților aflate în contact efectiv. În funcție de adâncimea în interiorul materialului, valorile se diminuează și difuzează pe arii mai întinse.

Modelul 3D al unei suprafețe rugoase, generat pentru realizarea simulărilor de contact, și modul în care acesta a fost discretizat în elemente finite. Tipul de elemente finite



folosite a fost adaptat în funcție de topografia locală — acolo unde denivelările sunt pronunțate au fost folosite elemente de tip tetraedric, iar în rest, elemente de tip hexaedric.



## Proiect în Programul MATNANTECH "ACCELERAREA SELECTIVĂ PRIN IRADIERE CU LASER A ÎMBĂTRÂNIRII DISPOZITIVELOR SEMICONDUCTOARE DE PUTERE", ACCSEL, perioada 2001-2004

Fiabilitatea dispozitivelor semiconductoare realizate în tehnologia bipolară este afectată de un mecanism de defectare tipic, caracterizat de formarea unor zone de supraîncălzire locală, denumite în literatura de specialitate "hot spots" ("pete fierbinți"). Mecanismul este inițiat de prezența în zona activă a dispozitivelor a unor defecte microstructurale care introduc în banda interzisă a materialului semiconductor nivele energetice "adânci", adică nivele energetice situate către mijlocul benzii interzise. Defectele pot fi impurități — îndeosebi metale de tranziție, defecte cristalografice, stări de interfață sau regiuni tensionate. Nivelele energetice "adânci" acționează pentru purtătorii de sarcină ca o punte peste banda interzisă a semiconductorului, determinând o creștere locală a curenților de generare-recombinare. Apare o creștere locală a temperaturii, ceea ce conduce la o multiplicare în avalanșă a densității de curent. Se formează zone de conducție crescută și de temperatură ridicată ("hot spots"), care determină topirea locală a materialului semiconductor și degradarea dispozitivelor.

Asigurarea unei fiabilități corespunzătoare pentru dispozitivele semiconductoare bipolare se realizează atât prin acuratețea tehnologică ridicată (limitarea defectelor induse de procesele tehnologice), cât și prin selecția de fiabilitate a dispozitivelor. Tehnologia clasică pentru selecția dispozitivelor fiabile constă în îmbătrânirea accelerată a lotului de dispozitive finite, prin încercări accelerate electric și/sau termic. Această tehnologie presupune costuri care sunt recunoscute ca fiind foarte ridicate. Ele rezultă atât din durată mare și consumurile mari de energie ale încercărilor, cât și din faptul că în procesul de selecție sunt eliminate dispozitive finite.

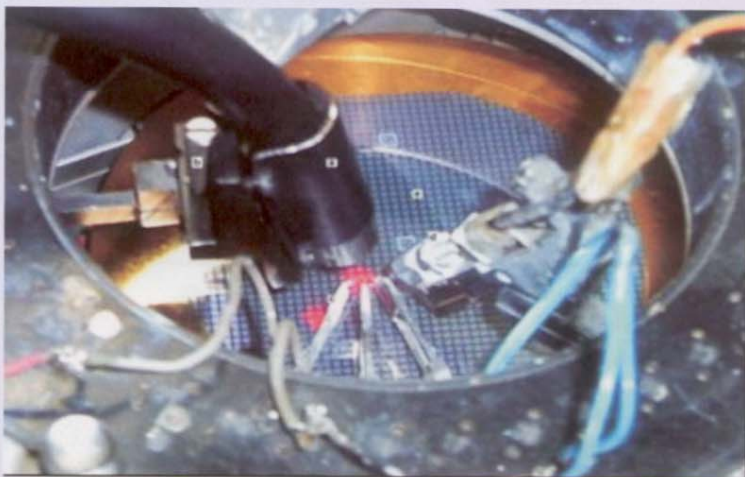
În cadrul proiectului s-a elaborat un proces tehnologic nou de selecție de fiabilitate. Prima idee originală este de a face selecția de fiabilitate chiar pe fluxul tehnologic, la nivelul structurilor semiconductoare (așa-numitele "cipuri", care apoi sunt încapsulate, devenind produs finit), acolo unde mecanismul de defectare se manifestă. A doua idee originală este de a utiliza o accelerare optică a generării-recombinării purtătorilor de sarcină: structurile semiconductoare polarizate electric sunt supuse unei iradiere cu laser. Prin utilizarea unei lungimi de undă asociate tranzițiilor purtătorilor de sarcină pe nivelele "adânci", s-a putut obține o accelerare selectivă a îmbătrânirii, care acționează numai la defectele structurale responsabile de degradarea dispozitivelor prin formarea de "hot spots". Acest lucru a făcut posibilă utilizarea unor factori de accelerare cu câteva ordine de mărime mai mari



## Laboratorul de fiabilitate

decât în cazul accelerării termice, ceea ce a condus la o scădere a duratei procesului de îmbătrânire accelerată, de la zile-săptămâni la zeci de secunde.

Noul proces tehnologic a fost introdus la fabricația de tranzistoare de putere a SC ROMES SA. Au rezultat economii importante, referitoare la consumurile pe fluxul de fabricație de materiale, manoperă și energie, față de efectuarea selecției de fiabilitate pe produse finite și prin îmbătrânire accelerată termic.



Echipamentul de accelerare prin iradiere laser a generării-recombinării pe nivele adânci la structurile semiconductoare

Masa de încercare a echipamentului:

- a -obiectiv de focalizare a radiației laser;
- b -dispozitiv de prindere;
- c -sonde de polarizare electrică a structurilor semiconductoare;
- d -dispozitiv de marcare a structurilor defectate;
- e -plachetă cu structuri procesate.

Director de proiect: Lucian Gălățeanu  
(luciang@imt.ro)

## Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Microtehnologii

**IMT-Bucharest**

National Institute for Research and Development in Microtechnologies

