

## Nanotehnologiile

**T**ehnologiile de calcul au avut o evoluție greu de imaginat. Timp de cel puțin 40 de ani, de la inventarea circuitelor integrate, rata de creștere a performanței a fost exponențială, dublând puterea de calcul la fiecare 18 luni. Dacă barierele tehnologice au fost înfrânte, barierele economice par a fi cele care se opun acestei evoluții în continuare.

Dacă urmărim costurile unei fabrici care produce circuite integrate vom observa că urmează aceeași curbă exponențială pe care o prezintă performanța circuitelor integrate. O astfel de fabrică a ajuns la ora actuală să coste 2 miliarde de dolari, și la aceeași rată de creștere va ajunge la 50 miliarde în anul 2010. Acesta este un cost pe care foarte puține companii și-l pot permite, mai ales că investiția nu este lipsită de riscuri.

Chiar dacă putem argumenta că fabricile vor putea fi construite în comun de către consorții de fabricanți, există o serie de costuri care nu pot fi distribuite: fiecare circuit integrat este construit folosind o serie de măști; costul măștilor a suferit și el o evoluție exponențială, făcând deja prohibitivă fabricarea de chip-uri de către companiile mici.

Creșterea costului de fabricație este dată de costul dispozitivelor mecanice care sunt folosite în fabricarea integratelor. Pe măsură ce dimensiunea tranzistoarelor scade, cerințele de precizie pentru alinierea măștilor, șlefuirea suprafeței plăcii de siliciu, montarea nivelelor de metal ale circuitului final etc., cresc și ele; costul unor dispozitive mecanice care fac operații atât de precise crește deci exponențial cu scăderea dimensiunii.

Aceste afirmații sunt în acord cu propunerea unor specialiști de a crea o nouă generație arhitecturală, care substituie în locul circuitelor integrate în tehnologie CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) circuite construite folosind nanotehnologie electronică.

Dicționarul Webster definește cuvântul nanotehnologie ca „arta manipulării unor dispozitive minuscule, de dimensiuni moleculare. Un nanometru este a miliardă parte dintr-un metru (cam cât 3-4 atomi). Utilizând binecunoscutele proprietăți chimice ale atomilor și moleculelor, nanotehnologia propune construirea de dispozitive moleculare inovatoare cu caracteristici extraordinare. Secretul este însă de a manipula atomii individual și de a-i plasa exact acolo unde este nevoie, astfel încât să se producă structura dorită.

În prezent, procesele revoluționare din știință, tehnică și industrie, propulsează biotehnologia, care în ritmul de evoluție actual va cuprinde și nanotehnologia moleculară. Ea va juca un rol similar cu cel pe care l-a jucat electromagnetismul la sfârșitul secolului al-XIX-lea și începutul secolului XX. Biotehnologia va contribui la declanșarea unei noi revoluții în știință, după cum

electromagnetismul a contribuit la revoluția cuantică relativistă.

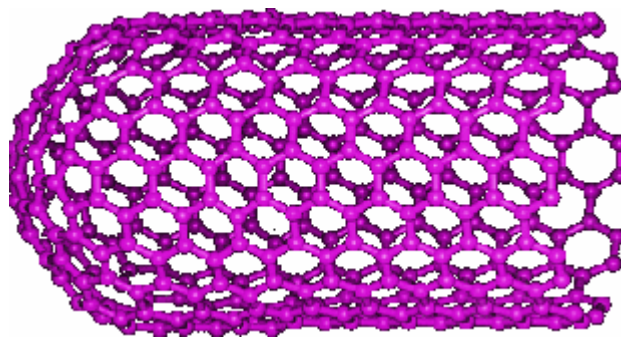
Un pas important în dezvoltarea nanotehnologiilor îl reprezintă modelul oferit de natură. Să crezi un calculator nu mai mare decât câteva particule de praf pare un lucru imposibil, până când îți dai seama că natura a rezolvat acest lucru cu miliarde de ani în urmă. Celulele vii conțin tot felul de nanomotoare, făcute din proteine, care au multiple roluri chimice și mecanice, de la contracția mușchilor la animale și om, la fotosinteza plantelor. În anumite cazuri, aceste motoare pot fi remodelate, transformate sau imitate pentru a produce tot felul de rezultate și procese benefice omului. Utilizând o combinație între biotehnologie și inginerie moleculară, oamenii sunt în stare să reproducă sau să adapteze asemenea motoare propriilor scopuri.

Aceste mecanisme se autoconstruiesc, fenomen cunoscut sub numele de autoasamblare. De exemplu, cele două catene care formează ADN-ul se potrivesc exact, ceea ce înseamnă că, dacă sunt separate într-o mixtură chimică tot vor putea să se regăsească ușor. O echipă de specialiști germani a atașat sfere din diferite substanțe unor catene de ADN și apoi au așteptat ca cele două catene să se unească, lucru care s-a și întâmplat, substanțele atașate unindu-se și creând noi materiale.

Domeniul de aplicabilitate al nanotehnologiei, care ne interesează în primul rând, îl reprezintă nanocomputerile. Nanotehnologia implică dezvoltarea componentelor minuscule la nivel molecular sau atomic utilizate în special în informatică. De remarcat că, dimensiunile circuitelor integrate pentru calculatoare s-au redus în ultimii 20 de ani după o curbă exponențială. Dacă această evoluție va continua, atunci, în anul 2020, circuitele integrate vor ajunge la dimensiuni atomice.

Pentru a construi circuite la scară moleculară este necesar în primul rând, un *conductor filiform*. Conductorii trebuie să fie foarte subțiri, lungi, rezistenți mecanic și să aibă o conductanță electrică bună. Din fericire, chimiștii au descoperit o serie de molecule care au exact proprietățile necesare. În figura de mai jos (figura 1) este ilustrat un fragment din cea mai celebră dintre moleculele descoperite, nanotubul de carbon. Această structură a fost obținută prima oară în anul 1996 prin vaporizarea grafitului cu ajutorul unui laser de mare putere, iar la microscopul electronic arată ca și cum cineva ar fi luat molecula de carbon și ar fi întins-o pe o singură direcție până la o lungime de 1000 de ori mai mare decât diametrul inițial. Acest material, la fel de ușor ca grafitul, este de 100 de ori mai puternic decât cel mai rezistent oțel.

# Priorități tehnologice în economia românească

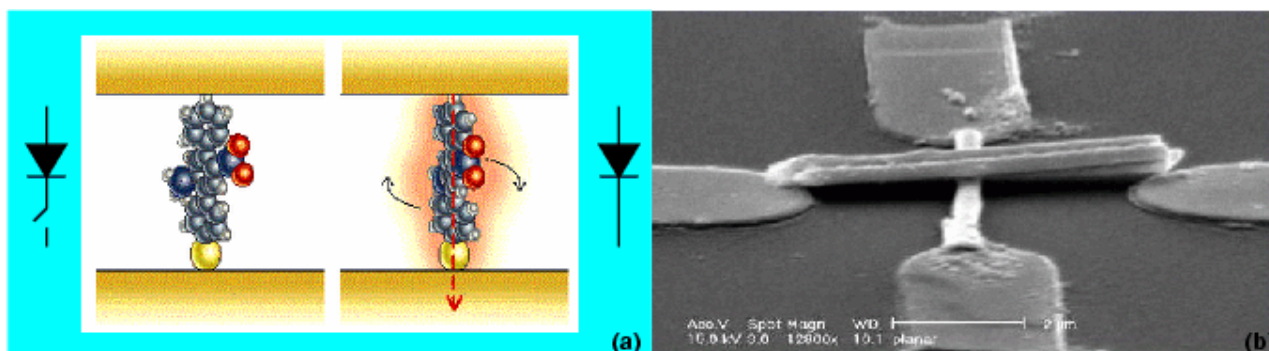


**Figura 1** Nanotuburi de carbon: fiecare biluță este un atom de carbon legat covalent cu vecinii săi. Astfel de molecule au un diametru de 5 nm și pot avea lungimi de ordinul milimetrilor.

Alt element esențial de care este nevoie pentru construirea de circuite la scară moleculară este un *comutator* care poate închide și deschide circuite. O moleculă polarizată are un nor de sarcină electrică asimetric. În mod normal, norul blochează trecerea curentului electric. Aplicând un potențial ridicat, căutăm rotirea moleculei și reorientarea norului electronic; molecula, în noua poziție, conduce curentul electric într-o

singură direcție, comportându-se ca o diodă. Molecula are "memorie" pentru că rămâne pentru multă vreme în poziția în care a fost pusă. Un potențial mare negativ poate muta molecula înapoi în stare neconducătoare.

În figura 2a este redat un astfel de comutator, iar în figura 2b avem microfotografia unui comutator cuplat cu doi nanoconductori filiformi.



**Figura 2** (a) Un comutator molecular

Faptul că putem construi conductori izolați și legați prin comutatoare nu este însă suficient pentru a construi circuite complexe. Ceea ce va ajuta este proprietatea de autoasamblare de care am vorbit mai înainte.

Limitări ce vor surveni prin construcția de nanocalculatoare:

- Folosind auto-asamblare, nu putem construi structuri neregulate, aperiodice. Circuitele integrate fabricate prin tehnologie CMOS sunt, însă, structuri neregulate. Va trebui, deci, să renunțăm la modelul circuitelor integrate digitale CMOS.
- Cel puțin în viitorul apropiat, folosind auto-asamblare, afirmăm că este practic imposibil de construit un dispozitiv cu trei terminale, cum este tranzistorul. La dimensiuni moleculare este imposibil de coordonat simultan poziția a

**(b) Comutatorul molecular plasat între două nano-sârme**

trei sârme pentru a le face să se întâlnească aproximativ în același loc. Folosind manipulări minuțioase sub un microscop electronic, putem construi un tranzistor, dar afirmația noastră este că nu putem construi în mod automat și paralel milioane de tranzistori. Tranzistorul este, însă, ingredientul fundamental al circuitelor integrate digitale CMOS, care nu pot fi concepute în absența sa! Cum vom putea, atunci, construi circuite integrate digitale?

Există o alternativă: construirea de porți logice, folosind numai diode și rezistențe, așa cum se foloseau prin anii 50, înainte de inventarea tranzistorului.

Figura 3a arată impementarea unei porți logice „și”, folosind diode și rezistențe, iar figura 3b arată cum acest circuit poate fi impementat folosind nanotehnologia.

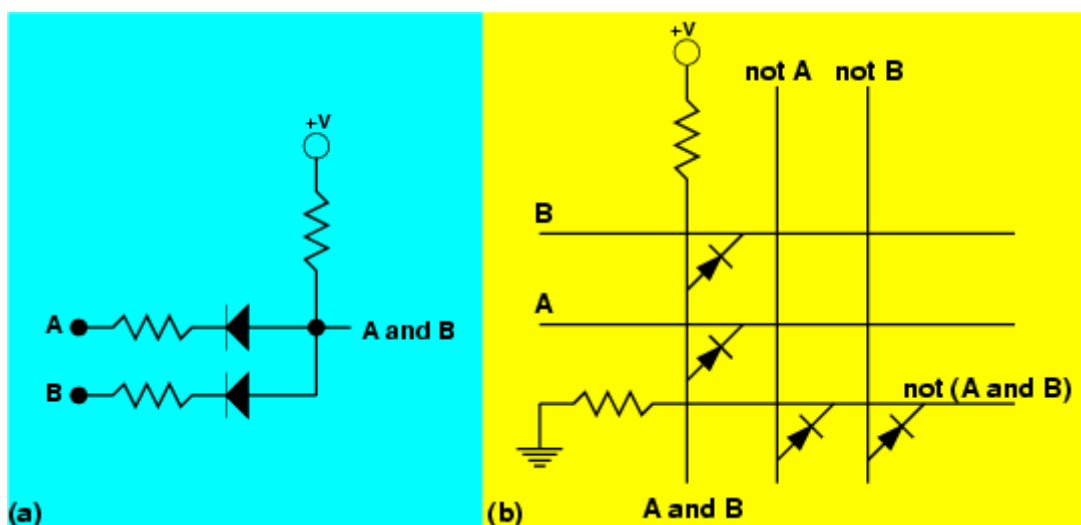


Figura 3 (a) O poartă logică „și” implementată cu diode și rezistențe  
(b) Implementarea porții logice folosind nano-sârme și nano-comutatoare

Acest mod de a construi circuite a fost abandonat după apariția tranzistorului, deoarece consumă mult curent și este inefficient. Cu toate acestea, consumul dispozitivelor nanoelectronice este mic, în viitor acest model putând fi din nou viabil.

O perspectivă în domeniul nanocomputerelor este biotranzistorul. Deși mai sunt câțiva pași până când va deveni realitate începutul a fost făcut deja. Într-un tranzistor normal, curentul care circulă între emitor și colector este controlat de tensiunea aplicată bazei. Într-un biotranzistor, baza ar putea fi înlocuită de către un cristal bacterie-semiconductor. S-a identificat și izolat o asemenea bacterie, însă nu s-a comunicat despre ce este vorba așteptându-se efectuarea unor noi serii de teste.

Cercetătorii de la UCLA și Hewlett-Packard și-au concentrat munca asupra primelor calculatoare moleculare. Aceștia speră să construiască chip-uri de memorie mai mici decât bacteriile. Asemenea realizări vor fi din ce în ce mai mult așteptate având în vedere ritmul de dezvoltare a capacității de calcul a calculatorului, capacitate ce se dublează o dată la 18-24 luni, așa cum a făcut-o în ultimii 40 de ani.

## Alte aplicații și predicții

### Nanotehnologia cu implicații medicale și comerciale.

În aprilie 2000, IBM a anunțat că a reușit să folosească ADN pentru a face să funcționeze un robot cu degete de mărimea a 1/50 din dimensiunea firului de păr uman. În acest ritm în 10-15 ani, asemenea dispozitive vor fi capabile să depisteze și să distrugă celulele canceroase. Nanodispozitivele medicale pot spori sistemul imunitar prin localizarea și distrugerea bacteriilor și a virusilor nedoriti.

O altă aplicație a nanotehnologiilor este în *industria aeronautică*. Și de data aceasta se deschid perspective de-a dreptul extraordinare. Cu ajutorul unor nanomecanisme, un fel de nanofulgi, vom putea controla curgerea aerului în jurul avionului, astfel încât să micșorăm la maximum

rezistența la înaintare. Consecințele s-ar traduce nu numai în creșterea vitezelor de zbor, ci și în mari economii de carburant. Există chiar propunerea realizării unor aeronave care să renunțe complet la sistemul de propulsie clasic (elice sau jet reactiv), acesta fiind înlocuit de aceleași universale și așteptate nanomecanisme.

*Călătorii în spațiu sigure și la îndemâna oricui:* cea mai simplă soluție ar fi realizarea unor vele solare, aflate în prezent în stadiul experimental. Aceasta ar utiliza lumina solară în același mod în care pânzele corăbiilor din vechime utilizau vântul. Astfel, dacă am realiza o velă solară, de suprafață corespunzătoare, cu grosimea de numai 20 nm, am obține un spor de viteză de 14 km/s zilnic. Pânza solară trebuie să fie extrem de subțire (20 nm), pentru ca greutatea ei să nu devină un obstacol. Nanotehnologia ne oferă această posibilitate.

*Liftul spațial:* pe scurt este vorba de realizarea unui cablu, ce va lega un punct de pe Terra, cu un altul aflat la mii de km altitudine. Pe acest cablu putem monta cabina unui ascensor obișnuit, care va fi mișcată în sus și în jos cu ajutorul unui simplu motor electric (întocmai ca la ascensoarele obișnuite). Va trebui să ne bazăm pe nanotehnologii, deoarece dacă am folosi oțelul, atunci raportul dintre diametrul cablului la nivelul orbitei și cel la nivelul solului ar trebui să fie de ordinul zecilor de mii (cablul trebuie să-și susțină propria greutate). Dacă am folosi un material de rezistență diamantului, atunci acest raport ar fi mic, dar diamantul este casant. Nanotehnologia ne oferă nanotuburile din carbon. Acestea, atunci când se va stăpâni cu adevărat nanotehnologia, vor avea o rezistență similară cu cea a diamantului.

O dată cu maturizarea nanotehnologiei va deveni posibilă realizarea unor senzori de dimensiunea unei bacterii. Dacă se va reuși înzestrarea lor cu o anumită capacitate de autoreplicare, atunci costurile de fabricație vor deveni nesemnificative.

*Materiale neobișnuite:* este avută în vedere realizarea unor materiale de o rezistență extremă, bazate pe utilizarea

# Priorități tehnologice în economia românească

unor tehnologii, care abia acum urmează a fi dezvoltate. Astfel, se propune realizarea unor materiale cu proprietăți mecanice similare cu cele ale diamantului. Aceste materiale „diamantoide“ sunt obținute prin depunerea, controlată la scara nano, pe suprafața unui material de bază, a unui strat sau două de atomi.

Nanotehnologia moleculară, prin posibilitățile pe care le oferă, va apropia limitele tehnologice de limitele fizice reale, dar această tehnologie nu va schimba limitele stabilite de legile cunoscute ale fizicii. Nu poate afecta legea gravitației, viteza luminii, sarcina electronului, valoarea constantei lui Planck sau masa protonului, legile termodinamicii sau punctul de fierbere al apei.

Se crede că nanotehnologia va schimba fundamental natura umană. Miliarde de particule programabile se vor autoasambla la comandă. Materiale mult mai rezistente și mai ușoare vor putea face călătoriile spațiale mult mai ieftine sau înlăturarea ieftină și eficientă a gazelor care produc efectul de seră prin rearanjarea moleculelor în substanțe inofensive sau chiar benefice. Moleculele mai pot fi manipulate și în vederea creării unor materiale precum oțelul, dar cu o duritate de 100 ori mai mare și mult mai ușor sau a unui costum spațial de protecție mai comod decât un trening.

*Asist. supl. Elena Oana STOICA*

## Bibliografie

1. BUDIU, M. *Nanotehnologia: o soluție pentru calculatoarele viitorului*, <http://www-2.cs.cmu.edu/~mihaib/articole/nano/nano-html.html>
2. DRĂGĂNESCU, M. *Informatica și societatea*, București, Editura Politică, 1987, pag. 58-59
3. FRANKS, A. *Nanotechnology*, New York, 1991.
4. SCHNEIKER, C. V. HAMEROFF, S. R. *Virtuelle Unternehmen*, <http://www.rrz.uni-hamburg.de/vu/vu.htm>
5. \*\*\* *NanoTechnology Magazine*, <http://www.nanozine.com>
6. \*\*\* *Interviews About the 21st Century*, <http://nanoquest.com/nanozine/book/book1.htm>
7. \*\*\* *NASA și nanotehnologiile* [http://www.curentul.ro/st/html\\_st5\\_2001/nasa\\_si\\_nanotehnologiile.htm](http://www.curentul.ro/st/html_st5_2001/nasa_si_nanotehnologiile.htm)
8. \*\*\* *Nanotechnology Now*, <http://nanotech-now.com>