

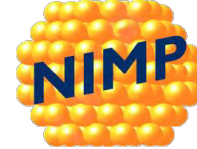


Memristor eficient energetic bazat pe plachete micrometrice de seleniură de staniu ortorombic și metodă de obținere

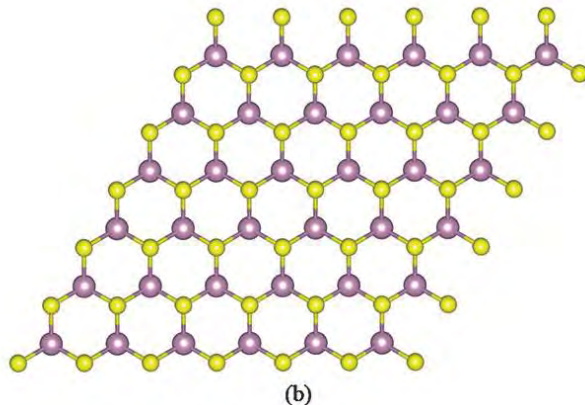
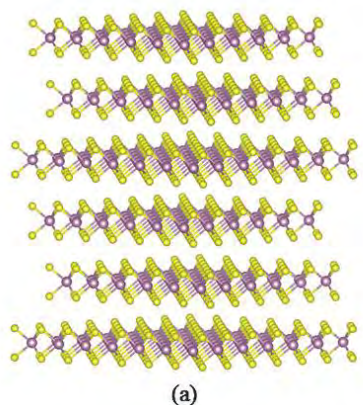
Angel-Theodor BURUIANĂ,
Amelia Elena BOCÎRNEA,
Andrei KUNCSEI,
Teddy TITE,
Elena MATEI,
Claudia MIHAI,
Aurelian Cătălin GÂLCĂ,
Alin VELEA

INCDFM, 077125, Măgurele

Scurtă descriere a proiectului de cercetare

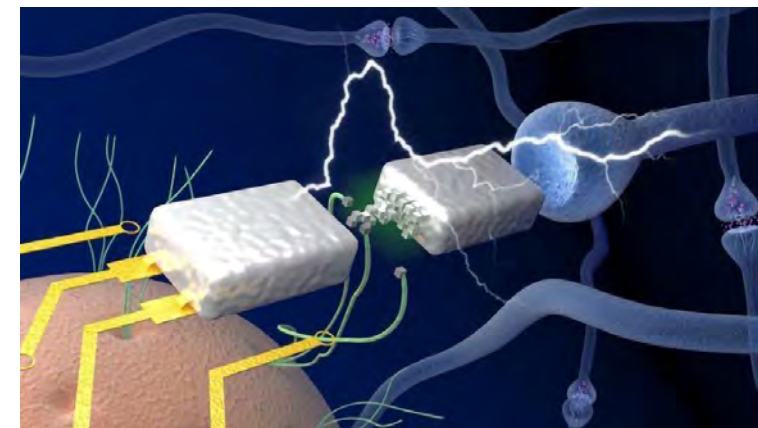


În ultimii ani, domeniul științei materialelor a fost martorul unei revoluții datorită descoperirii materialelor bidimensionale (2D). Printre aceste materiale fascinante găsim grafena, nitrura de bor hexagonală (h-BN), fosforul negru sau fosforena (BP), dar și materialele calcogenice 2D. Acestea din urmă reprezintă familia cu cea mai mare diversitate de structuri cristaline disponibile, având proprietăți unice care le fac potrivite pentru aplicații în electronică, stocarea energiei, senzori și multe altele.



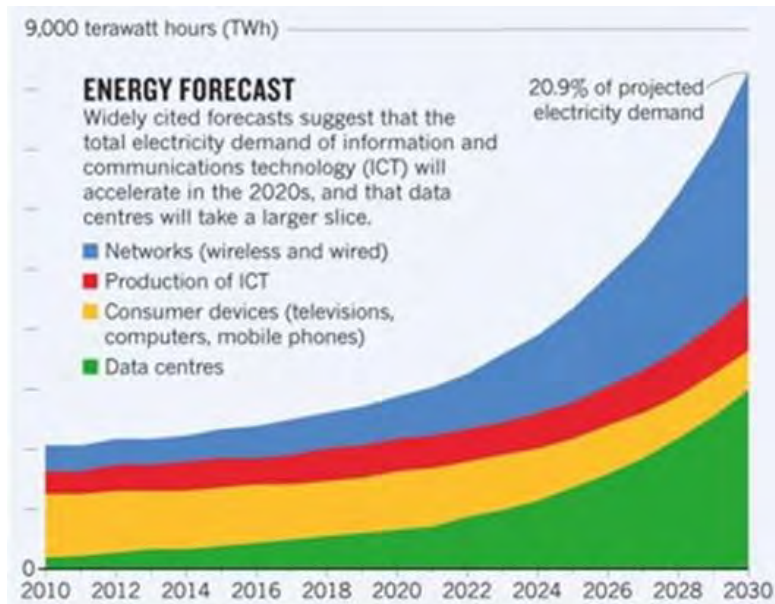
Materialele calcogenice 2D au structuri stratificate, asemănătoare unor foi de atomi legate între ele prin forțe slabe de tip van der Waals (a). Legătura covalentă puternică din interiorul straturilor (1b) contribuie la o stabilitate remarcabilă, în timp ce interacțiunile slabe dintre straturi permit izolarea de straturi subțiri bidimensionale. Această structură stratificată conferă proprietăți electronice importante, precum benzi interzise reglabile și mobilitate ridicată a purtătorilor de sarcină.

Un domeniu deosebit de important în care sunt folosite materiale calcogenice 2D este cel al **memristorilor**. Memristorii, denumiți și rezistoare cu memorie, sunt dispozitive electronice cu două terminale care prezintă comutarea rezistenței în funcție de istoricul tensiunii aplicate. Această proprietate îi face candidați ideali pentru noua generație de dispozitive de memorie nevolatilă, dar și pentru calculul neuromorf, deoarece pe lângă stocare pot și să proceseze informația, eliminând astfel transportul datelor dintre discul de stocare și procesor așa cum se întâmplă în arhitecturile de calcul actuale. Astfel, pot emula comportamentul sinaptic și pot permite dezvoltarea de sisteme de inteligență artificială cu eficiență energetică ridicată. Memristorii bazați pe materialele calcogenice bidimensionale au un consum redus de energie, viteză mare de comutare și stabilitate pe termen lung.

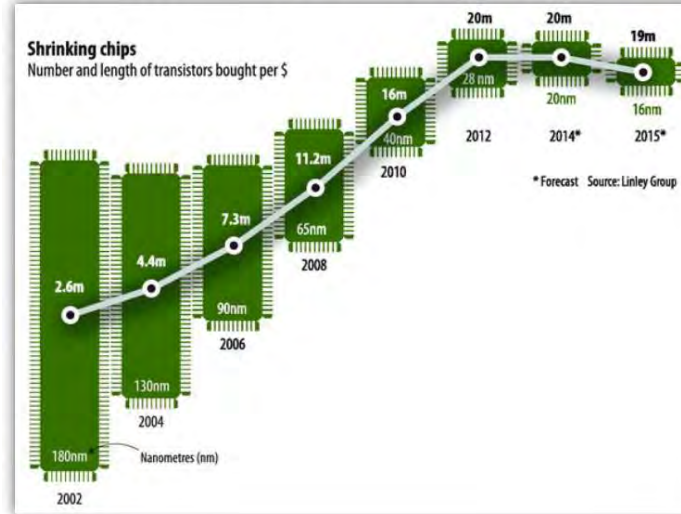


Tipul de problemă pe care îl poate rezolva

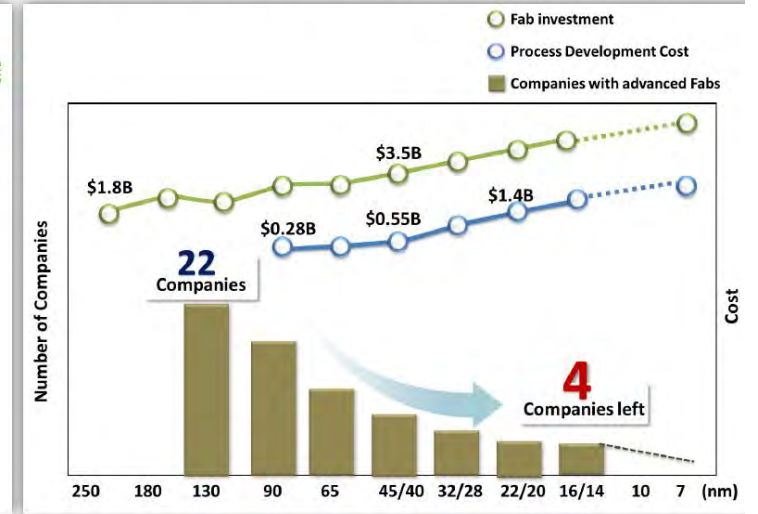
Din cauza limitărilor fizice și a costurilor de fabricare foarte mari, nodurile tehnologice de sub 10 nanometri ale tranzistoarelor tradiționale (aflate la limita Legii lui Moore) nu își pot permite scalarea rentabilă și durabilă, ceea ce necesită, prin urmare, noi dispozitive electronice cu eficiență de procesare superioară pentru a satisface cerințele piețelor în continuă creștere ale tehnologiei informației.



Cost of technology increasing after 28nm



Lesser number of players for leading edge node



Dezvoltarea tehnologiilor informației și comunicațiilor (TIC) are un impact substanțial asupra consumului de energie. TIC-urile au constituit aproximativ 7-11% (≈ 3000 TWh) din consumul global de energie în 2020, iar proiecțiile estimează o creștere de 2-3 ori până în 2030. În plus, previziunile sugerează că TIC-urile ar putea contribui cu până la 23% din emisiile globale de CO₂. Fără un progres semnificativ în eficiența energetică a dispozitivelor electronice, consumul de energie în creștere din activități precum centrele de calcul sau traficul pe internet ar putea face imposibilă atingerea țintelor de încălzire globală.

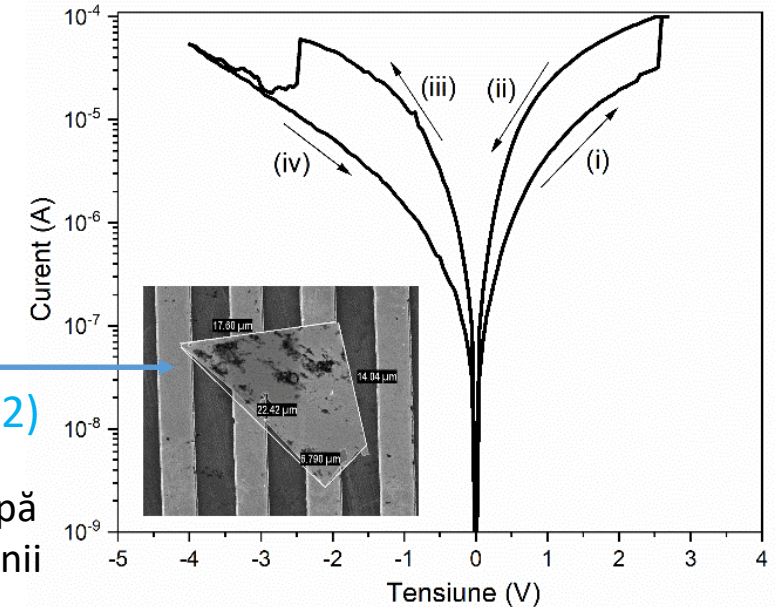
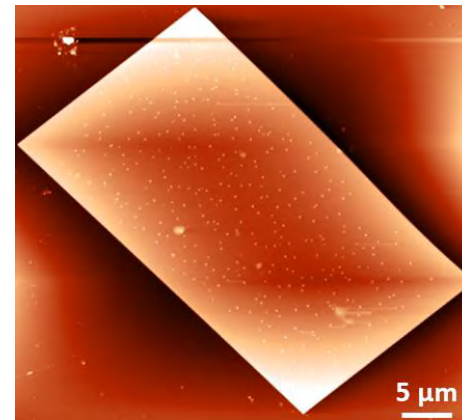
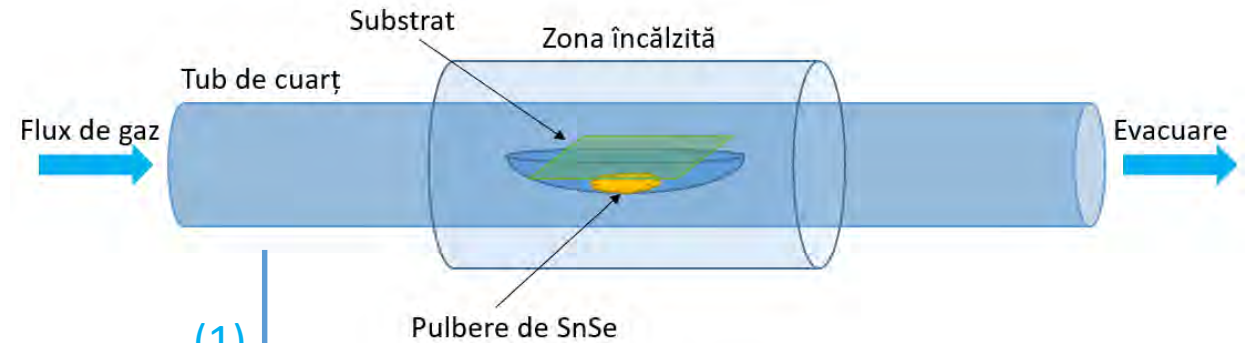
Cum arată soluția pentru problemele identificate anterior



Pentru realizarea memristorilor eficienți energetic din seleniură de staniu se folosește o metodă în două etape:

(1) Prima etapă constă în obținerea plachetelor monocristaline micrometrice de SnSe ortorombic prin tehnica de depunere chimică în stare de vapori.

(2) A doua etapă constă în transferul plachetei monocristaline micrometrice de SnSe ortorombic, de pe substratul suport pe care a fost formată, pe contactele metalice, obținute prin fotolitografie, ale dispozitivului



Se observă o comutare non-volatilă a memristorului în urma aplicării unei tensiuni electrice. Inițial, memristorul se află într-o stare cu rezistență electrică ridicată. Aplicând o tensiune electrică pozitivă (i) curentul crește încet până când este atinsă tensiunea de prag (tensiune SET), ce are ca efect creșterea extrem de rapidă a curentului.

Acum memristorul se află într-o stare de rezistență electrică joasă și rămâne în aceasta stare după micșorarea tensiunii la 0 V (ii). Aplicând o tensiune electrică negativă (iii), după depășirea tensiunii de prag (tensiune RESET), memristorul își schimbă starea într-o stare de rezistență electrică ridicată în care rămâne și după micșorarea tensiunii electrice la 0 V (iv).

De ce această soluție

Exemplu **comparativ** care ilustrează diferența între parametrii de funcționare ai memristorului care cuprinde plachete monocristaline micrometrice de SnSe ortorombic și parametrii de funcționare ai memristorilor bazați pe alte materiale.

Memristor	Referință	Mecanism de schimbare	Tensiune SET [V]	Curent operațional [A]	Anduranță [Cicluri]	Reținerea informației [s]
Au-MoS ₂ -Au	Vinod K. Sangwan <i>et al.</i> Nature 554 (2018)	Migrarea defectelor	80	10 ⁻⁴	475	9 × 10 ⁴
Ti/Au-MoS ₂ -Ti/Au	Da Li <i>et al.</i> ACS Nano 12 (2018)	Migrarea defectelor	50	10 ⁻⁴	N/A	N/A

Ti/Au-SnSe-Ti/Au

Migrarea defectelor

2.5 V

10⁻⁴ A

> 10

> 30

Spre deosebire de alte tipuri de memristoare laterale din stadiul tehnicii bazate pe același mecanism de comutare, migrarea defectelor, memristorul bazat pe SnSe are o tensiune de prag cu un ordin de mărime mai mică (2.5 V) pentru un curent de operare comparabil (10⁻⁴ A), care se traduce într-un consum mult mai mic de energie.



Aplicații industriale

- dispozitive de stocare non-volatile cum ar fi SSD-uri, pentru a îmbunătăți eficiența energetică. Datorită mecanismului său de comutare eficient/rapid, memristorul poate înlocui cu succes tehnologiile de memorie flash sau DRAM în anumite aplicații;
- calculul neuromorf pentru că memristorul poate funcționa ca o sinapsă artificială, datorită nivelelor multiple de rezistență electrică (comutării graduale), facilitând procesarea paralelă a informațiilor. Acest lucru este esențial pentru implementarea eficientă a algoritmilor de învățare automată (machine learning) și a rețelelor neuronale;
- în dispozitivele IoT (Internet of Things), eficiența energetică este foarte importantă. Memristorul poate fi integrat în senzori și dispozitive de monitorizare pentru a îmbunătăți durata de viață a bateriei, pentru a crește viteza de procesare și a reduce necesitatea de întreținere.

