

NOI TEHNOLOGII DE NANOSTRUCTURARE A MATERIALELOR SEMICONDUCTOARE PENTRU DISPOZITIVE ELECTRONICE

*Dr. Veaceslav POPA,
Olesea VOLCIUC, colaborator științific,
Centrul Național de Studiu și
Testare a Materialelor,
Universitatea Tehnică a Moldovei*

NEW TECHNOLOGIES FOR SEMICONDUCTORS NANOSTRUCTURING FOR ELECTRONIC DEVICES

The article presents the current level of performance in semiconductor technologies, in particular in those related to GaN processing. The advantages of GaN in comparison with classical semiconductors are evaluated by means of coefficient of merit. A novel maskless technology for GaN meso- and nanostructuring is demonstrated and possibilities for applications are discussed.

Industria dispozitivelor semiconductoare a progresat rapid în ultimele decenii, astfel că de la apariția primului tranzistor pe germaniu în 1947 și până la circuitele integrate complexe, în care dimensiunile elementelor coboară până la 100 nm, au trecut doar câteva decenii. Acest progres uimitor se datorează dezvoltării tehnologiei de creștere și procesare a siliciului care până în prezent ocupă mai mult de jumătate din întreaga ramură a industriei semiconductoare. Totuși, limitele tehnologice în ceea ce privește dimensiunile (teoretic – 30 nm pentru tranzistori) și proprietățile electrofizice ale acestui semiconductor au determinat savanții din domeniu să găsească alternative materialului respectiv.

Datorită potențialului aplicativ și proprietăților sale superioare față de siliciu, ținta unui studiu profund au devenit, mai cu seamă, semiconductorii grupei III-V. Ca rezultat, dispozitive optoelectronice, senzori, tranzistori de putere și frecvențe înalte au fost elaborate și implementate în baza arsenurii de galiu (GaAs) [1], fosfuri de indiu (InP) [2], nitrurii de galiu (GaN) [3], carburii de siliciu (SiC) [4] și soluțiilor solide ale acestora. Totuși, cheltuielile mari legate de procesare și prețurile înalte ale cristalelor sunt principalele obstacole ce limitează implementarea pe scară largă a acestor semiconductori.

În acest context, o deosebită atenție se acordă în prezent elaborării și dezvoltării metodelor de procesare a semiconductorilor cu bandă largă din grupa III-V, îndeosebi a nitrurii de galiu – un material important pentru optoelectronică și electronica de putere. O comparație a proprietăților electrofizice cu alți semiconductori, precum și calculul unui coeficient de merit (CM) ce pune în evidență proprietățile termice, de putere și frecvență este prezentată în *tabela 1* [5].

Tabela 1

Parametrul	Si	GaAs	4H-SiC	GaN
Lățimea benzii interzise E_g (eV)	1,12	1,42	3,25	3,40
Câmpul de străpungere E_{str} (MV/cm)	0,25	0,4	3,0	4,0
Mobilitatea electronică μ (cm^2/Vs)	1350	6000	800	1300
Viteza maximă V_c ($10^7 cm/s$)	1,0	2,0	2,0	3,0
Conductibilitatea termică χ (W/cmK)	1,5	0,5	4,9	1,3
Permeabilitatea dielectrică ϵ	11,8	12,8	9,7	9,0
$CM = \chi \epsilon \mu V_s E_{str}^2 / (\chi \epsilon \mu V_s E_{str}^2)_{Si}$	1	8	458	489

Stabilitatea chimică a nitrurii de galiu, fiind un avantaj aplicativ al acestui material, ridică unele probleme tehnologice în comparație cu alți compuși din grupa III-V. Procesul de decapare, necesar formării mezostructurilor pe GaN, se realizează de obicei prin metoda RIE (Reactive Ion Etching) [6] și derivatele acesteia (ECR - Electron Cyclotron Resonance, ICP - Inductively Coupled Plasma, MRIE - Magnetron RIE) care, însă, cauzează defecte în cristal ca urmare a energiei înalte a ionilor.

O tehnologie alternativă de creare a mezo- și nanostructurilor în baza GaN este decaparea fotoelectrochimică [7], care se impune prin dirijarea vitezei de decapare într-un diapazon larg, costul redus și lipsa defectelor inerente procesului de decapare. Utilizarea acestei tehnologii a făcut posibilă elaborarea senzorilor de gaze selectivi pentru detectarea scurgerilor de metan [8] în cadrul Centrului Național de Studiu și Testare a Materialelor. Principiul funcționării acestui detector este bazat pe faptul că nitrura de galiu, nanostructurată în diferite condiții, posedă sensibilitate diferită față de metan și vaporii de alcool – sursa interferentă cea mai des întâlnită în condiții casnice, fiind prezentă în produse alimentare și chimice. Astfel că integrând într-un detector două regiuni nanostructurate de GaN cu sensibilități diferite față de metan și vapori de alcool și diferențiind semnalul de pe aceste structuri, este posibilă detectarea sigură a prezenței concentrației de 1% metan în atmosferă de 1000 ppm alcool.

Recent, în cadrul Centrului Național de Studiu și Testare a Materialelor, a fost elaborată o metodă nouă de mezo- și nanostructurare a nitrurii de galiu, fără utilizarea procesului de litografie, numită *Litografia cu Sarcină de Suprafață* (Surface Charge Lithography - SCL) [9]. Ideea tehnologiei noi constă în faptul că la introducerea în mod dirijat a defectelor de suprafață se obține „încapsularea elec-

tronilor” în aceste regiuni prin formarea nivelelor capcană în banda interzisă.  n procesul expunerii materialului unei radia ii ultraviolete are loc generarea foto-golurilor care recombină cu electronii încapsulați în regiunile tratate preliminar  i se produce oxidarea semiconductorului în regiunile adiacente.  n timpul decapării fotoelectrochimice nitrura de galiu se află în solu ie de KOH care lasă intact regiunile cu defecte de suprafa . Acestea pot fi formate prin diverse metode, cea mai tehnologică  i eficientă fiind utilizarea razei focalizate de ioni, folosită în regim „sputtering”, care poate „desena” structuri cu dimensiuni limitate la diametrul razei ionice ce nu depăşesc 20-30 nm.

Dacă comparăm tehnologia nouă SCL cu decaparea uscată RIE atunci trebuie men ionate următoarele avantaje pentru prima:

- excluderea procesului de litografie necesar formării unui strat de protec ie la bombardarea cu plasmă în timpul decapării uscate;
- excluderea impurificării suprafe ei cu produsele din fotorezist  i a defectelor inerente procesului RIE;
- poten ialul fabricării structurilor limitate doar de diametrul razei ionice;
- viteza de decapare mai mare  i cheltuielile legate de proces mai mici pentru SCL fa  de RIE.
- Un exemplu de implementare a tehnologiei noi este prezentat în figura 1 - suprafa  stabilă la decaparea fotoelectrochimică a fost selectiv tratată preliminar cu ioni de argon.



Fig.1. Fabricarea mezostructurilor în baza GaN utiliz nd tehnologia SCL

Această tehnologie nouă va găsi implementare la fabricarea dispozitivelor electronice  i optoelectronice în baza GaN at t la dimensiuni nano, c t  i la mezostructuri pentru dispozitive de putere, un factor important în ceea ce priveşte curenţii superficiali  i tensiunea de străpungere fiind starea suprafe ei structurii.

Pentru că nitrura de galiu este un material chimic stabil capabil să func ioneze la temperaturi ridicate  i este rezistent la iradierea cu particule ionizate, fapt demonstrat recent de grupul nostru în colaborare cu Institutul de Cercetări Nucleare din Dubna (Rusia) [10], este evidentă aplicabilitatea acestui material la fabricarea senzorilor de gaze utiliz nd tehnologia nouă. Acest tip de senzori este necesar îndeosebi pentru aplica ii în condi ii extremale, cu nivele de radia ie foarte mari, la care alte materiale semiconductoare degradează rapid.

 n laboratorul nostru se desfăşoară deja cercetări pentru fabricarea în mod dirijat a nanofirelor  i nanopereţilor de GaN pentru aplica ii gazo-senzorice.  n acest scop, se optimizează tehnologia de fabricare a nanostructurilor rezistive, conductibilitatea cărora va fi modulată de speciile gazoase (fig.2) [11].

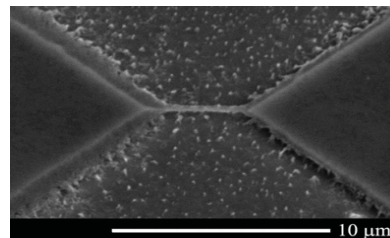


Fig.2. Nanofir de GaN fabricat prin metoda SCL pentru aplica ii gazo-senzorice

Lucrarea a fost efectuată la Centrul Național de Studiu  i Testare a Materialelor în cadrul UTM sub conducerea dlui Ion Tighineanu, membru corespondent al A.Ş.M.

Bibliografie

- [1] **GaAs High-Speed Devices: Physics, Technology, and Circuit Applications** C. Y. Chang, Francis Kai, ISBN: 978-0-471-85641-2
- [2] **InP-based devices and their applications for merged FET-HBT technologies** P. Parikh, K. Kiziloglu, M. Mondry, P. Chavarkar, B. Keller, S. Denbaars *Micro-wave and Optical Technology Letters* 1998 vol. 11, issue 3, p. 121-125
- [3] **GaN Electronics** S.J. Pearton, F. Ren, *Advanced Materials* 2000, vol. 12, issue 21, p. 1571-1580
- [4] **Recent progress in SiC-based device processing** Toshiyuki Ohno, *Electronics and Communications in Japan* 1999, vol. 82 issue 2, p. 48-54
- [5] **Fabrication and performance of GaN electronic devices** S.J. Pearton, F. Ren, A.P. Zhang, K.P. Lee, *Material Science and Engineering* 2000, vol. R30, p. 55-212
- [6] **Ar + -ion milling characteristics of III-V nitrides** S.J. Pearton, C.R. Abernathy, F.J. Ren, R. Lothian, *Journal of Applied Physics* 1994, vol. 76, p. 1210
- [7] **Highly anisotropic photoenhanced wet etching of n-type GaN** C. Youtsey, I. Adesida, G. Bulman, *Applied Physics Letters* 1997, vol. 71, p. 2151
- [8] **GaN based two-sensor array for methane detection in ethanol environment** V. Popa, I.M. Tiginyanu, V.V. Ursaki, O. Volciuc, and H. Morkoc, *Semiconductor Science and Technology* 2006, vol. 21, p. 1518-1521
- [9] **Surface-charge lithography for GaN microstructuring based on photoelectrochemical etching techniques** I.M. Tiginyanu, V. Popa, and O. Volciuc, *Applied Physics Letters* 2005, vol. 86, p. 174102
- [10] **Nanostructuring induced enhancement of radiation hardness in GaN epilayers** V. Ursaki, I.M. Tiginyanu, O. Volciuc, V. Popa, V. A. Skuratov, H. Morkoc, *Applied Physics Letters* 2007, vol. 90, p. 61908
- [11] **Fabrication of GaN nanowalls and nanowires using surface charge lithography** V. Popa, I. Tiginyanu, O. Volciuc, A. Sarua, M. Kuball, P. Heard, *Materials Letters* 2008, vol. 62, p. 4576 - 4578.