

Extinderea Suprafeței Membranelor Ultra-Subțiri în Baza GaN în Procesul de Fabricare prin Utilizarea Litografiei cu Sarcină de Suprafață

Batîri M., Ciobanu V., Braniște F., Monaico E.
Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor,
Universitatea Tehnică a Moldovei
MD-2004, Chișinău, Republica Moldova
monaico@mail.utm.md

Tiginyanu I.
Institutul de Inginerie Electronică și Nanotehnologii,
Academia de Științe a Moldovei,
MD-2028 Chișinău, Republica Moldova
tiginyanu@asm.md

Abstract — we propose for the implementation a cost effective technological route in the obtaining process of ultrathin GaN membranes. Our technique is based on the modified version of previously described Surface Charge Lithography method. In achieving this goal, several steps were involved such as ion treatment of the surface in a controlled manner and photoelectrochemical etching process. As a result, choosing the right parameters of the Ar⁺ plasma treatment, mask design, and etching conditions it is possible to obtain ultrathin continuous GaN membranes with large surface area.

Termeni cheie — nitrura de galiu, membrane ultrasubțiri, decapare fotoelectrochimică, SCL.

I. INTRODUCERE

GaN este un semiconductor cu bandă largă, cu stabilitate chimică înaltă și stabilitate termică ridicată cu aplicații în electronica de mare putere, optoelectronica, pentru LED-uri și lasere, senzori de gaze, etc. [1,2].

În ultimul timp a fost demonstrat fabricarea membranelor de GaN cu grosime de dimensiune nm folosind conceptul de SCL [3,4]. SCL este o abordare bazată pe scrierea directă pe suprafața a semiconductorilor de către un fascicol de ion focalizat de sarcină negativă care protejează materialul contra corodării fotoelectrochimice (PEC). La Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor din cadrul UTM, 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) [5]. Ideea tehnologiei noi constă în faptul că la introducerea în mod dirijat a defectelor de suprafață se obține „încapsularea electronilor” în aceste regiuni prin formarea nivelelor capcană în banda interzisă. În procesul expunerii materialului unei radiații ultraviolete are loc generarea foto-golurilor care recombinează cu electronii încapsulați în regiunile tratate preliminar și se produce oxidarea semiconductorului în regiunile adiacente. În timpul decapării fotoelectrochimice nitrura de galiu se află în soluție de KOH care lasă intact regiunile cu defecte de suprafață. Acestea pot fi formate prin diverse metode, cea mai tehnologică și eficientă fiind utilizarea razei focalizate de

ioni, folosită în regim „sputtering”, care poate „desena” structuri cu dimensiuni limitate la diametrul razei ionice ce nu depășesc 20-30 nm.

II. PARTEA EXPERIMENTALĂ

Pentru crearea membranelor ultra-subțiri au fost utilizate plachete de GaN crescute pe substrat de safir (α - Al₂O₃) prin tehnologia MOCVD crescut în două etape pentru ca calitatea cristalului să fie destul de înaltă. Stratul epitaxial de n-GaN este de aproximativ 3 μ m, iar concentrația purtătorilor de sarcină este de 10¹⁷ cm⁻³, și respectiv 10¹⁸ pentru ambele tipuri de plachete utilizate, iar nivelul dislocațiilor este de aproximativ 2E8 cm⁻².

Pentru obținerea membranelor, s-a folosit procesul de fotolitografie cu masca fotolitografică ce are un design asemenea celui din fig. 1.

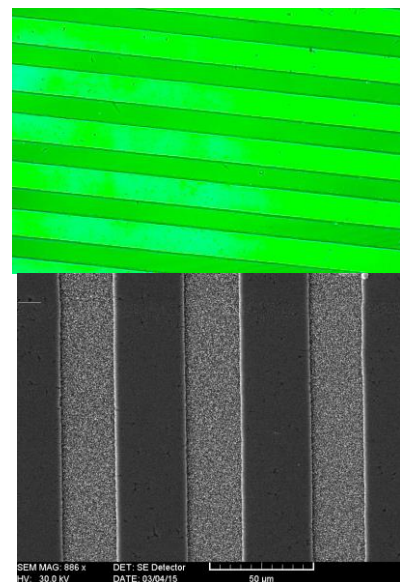


Fig.1.Vederea la microscopul optic al designul măștii folosite (imaginea de sus) și imaginea SEM a nanomembranelor de GaN (imaginea de jos).

Procesul de pregătire a probelor este schematic prezentat în Fig. 2. Fotorezistul negativ ma-N 400 a fost depus pe suprafața plăchetei cu viteza de 4000 rotații/min, timp de 45 secunde. Procesul este urmat de uscarea fotorezistului la temperatura de 100 °C timp de 1 min. După expunerea cu lumină UV timp de 80 s (Fig. 2.2), fotorezistul din zonele care au fost supuse iluminării a fost dizolvat timp de 90 s în dezvoltant pentru fotorezist negativ (Fig. 2.3).

Ulterior, probele au fost supuse tratamentului în plasma de Ar⁺ cu consum redus de energie $\geq 10^{11}$ cm² (Fig.2.4). Astfel, prin ferestrele deschise în fotorezist, ionii de Ar bombardând suprafața neprotejată de GaN introduc sarcină la suprafață, care în procesul de corodare fotoelectrochimică ne va servi ca scut împotriva corodării GaN. În final, fotorezistul a fost înlăturat și efectuat procesul de corodare (Fig.2.5).

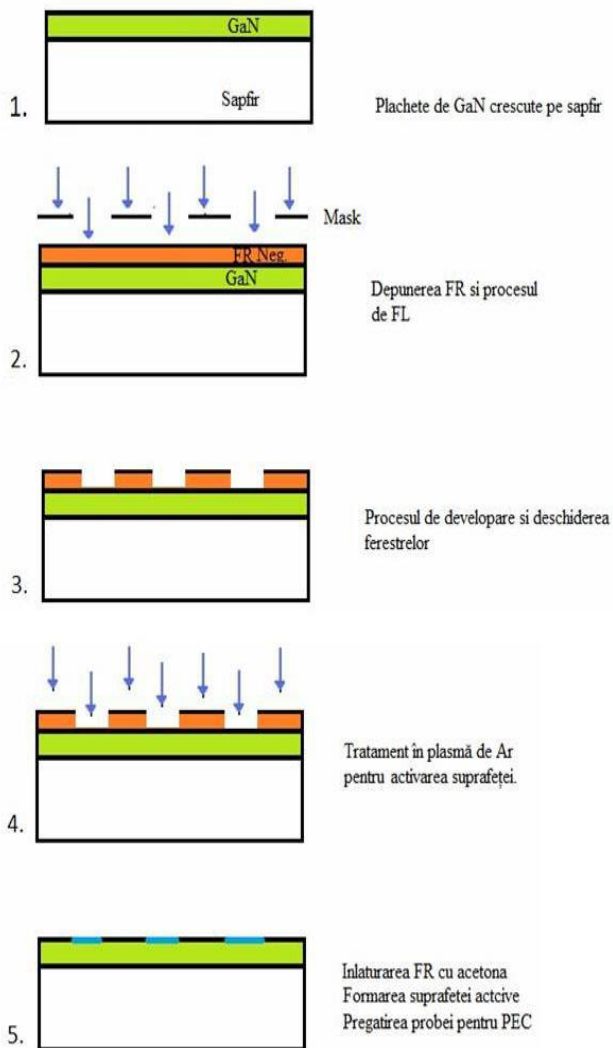


Fig.2. Procesul de fotolitografie și tratamentul în plasmă de Ar.

Decaparea PEC a fost efectuată într-o soluție apoasă 0,1 mol de KOH cu agitare mecanică și iluminare cu lumină ultravioletă (UV). Reprezentarea schematică a instalației de corodare PEC este prezentată în fig. 3.

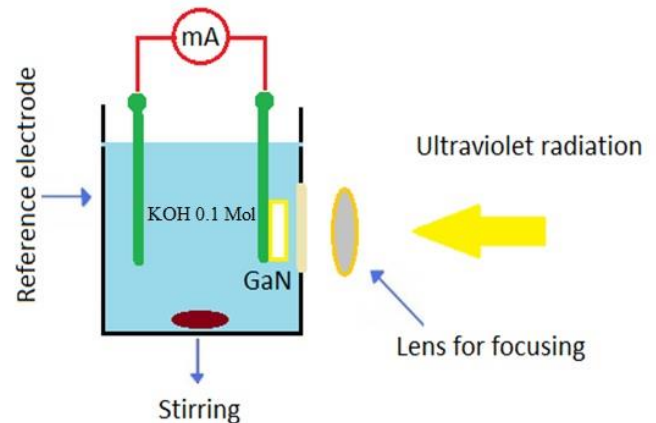


Fig. 3. Reprezentarea schematică a instalației pentru decaparea fotoelectrochimică a GaN.

III. REZULTATE

Reprezentarea schematică în secțiune transversală a menținerii nanomebranei de GaN de nanostructuri aceforme este arătată în fig. 4.

Imaginile SEM ale probelor după procesul de corodare PEC cu diferite durate de timp sunt prezentate în Fig. 5. La durate mici de corodare se observă dizolvarea materialului GaN sub fâșiile iradiate cu flux de Ar din ambele părți. Simultan are loc formarea nanofirelor/nanocoloanelor de GaN ce reprezintă defectele native din material. Aceste nanostructuri aceforme servesc și ca suport pentru menținerea membranei de GaN ce se formează.

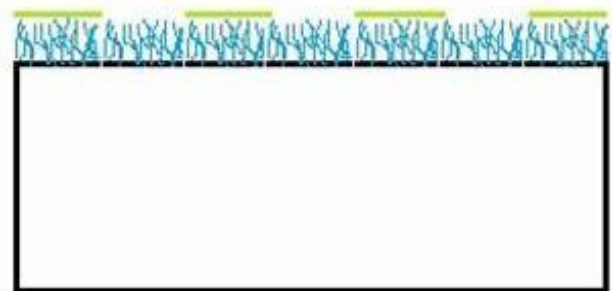


Fig.4. Reprezentarea membranei ultrasubțiri după procesul de corodare PEC.

Odată cu mărirea timpului de decapare are loc corodarea laterală și tot mai bine se evidențiază membrana de GaN (vezi fig. 5b). După aproximativ 30 min de corodare PEC are loc formarea membranei ultrasubțiri prin dizolvarea materialului GaN sub ea (fig. 5c). Evoluția formării membranelor se evidențiază bine în fig. 5 a-c.

De menționat faptul, că pentru formarea membranelor cu o lățime mai mare, este necesar de mai mult timp. Însă, la durate mari de corodare se începe dizolvarea nanostructurilor aceforme de GaN ce servesc ca sprijin pentru membrane.

Topografia membranei depinde și de intensitatea de agitare mecanică a electrolitului în procesul decapării fotoelectrochimice. La viteze relativ de înalte de agitare se evidențiază formarea membranelor ondulatorii, asemănătoare undelor.

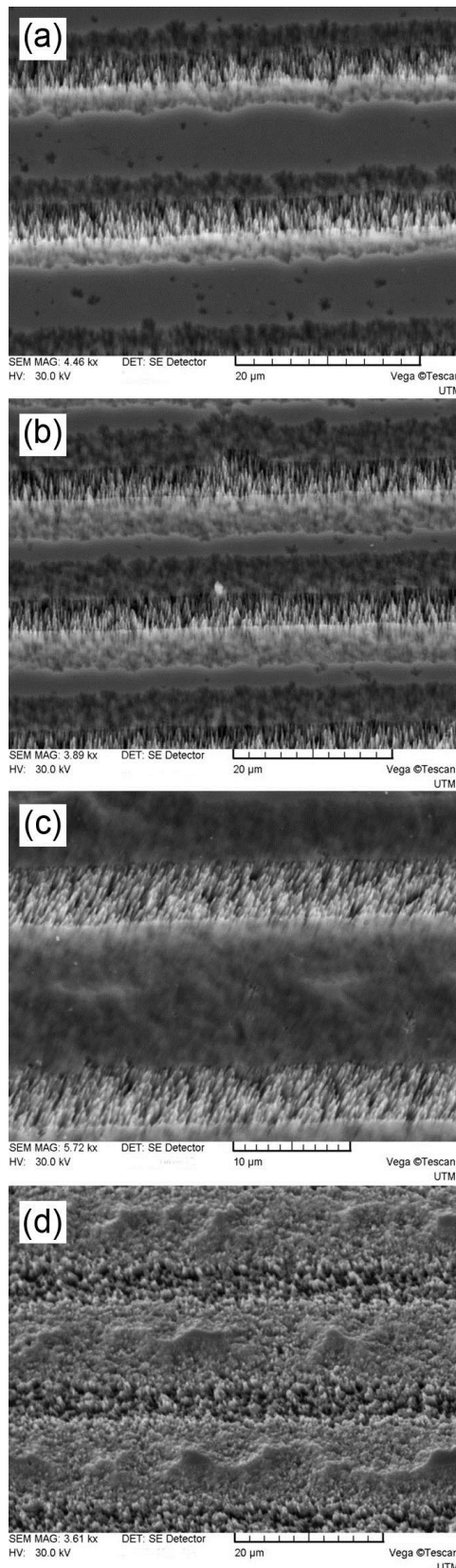


Fig. 5. Imaginile SEM ale membranelor ultrasubțiri în baza GaN pentru diferite durate de corodare fotoelectrochimică: a) 10 min, b) 20 min, c) 30 min și d) 60 min.

Membranele ultra-subțiri de GaN prezintă catodoluminescență galbenă și se dovedesc a poseda conductivitate electrică înaltă. Membranele implică oportunități deschise unice de explorare a proprietăților nanostructurilor dimensionale pe bază de GaN, în special caracteristici magnetice interesante pentru aplicații în dispozitive spintronice.

CONCLUZII

A fost demonstrată o metodă cost-efectivă de obținere a membranelor ultra-subțiri de GaN pe suprafețe mari cu ajutorul litografiei cu sarcină de suprafață. Pentru realizarea acestui scop au fost implicate mai multe etape așa ca procesul de fotolitografie, tratamentul în plasma de Ar și corodarea fotoelectrochimică. În rezultat, alegând designul măștii fotolitografice (lățimea fâșiilor, distanța între fâșii) este posibil de acoperit suprafețe mari cu membrane de GaN.

MULȚUMIRI

Lucrarea dată a fost susținută financiar parțial de AȘM prin Proiectul Instituțional 15.817.02.29A.

BIBLIOGRAFIE

- [1] V.Popa, “The photoelectrochemical etching as a tool for gas sensor fabrication”, *Электронная обработка материалов*, vol. 4, pp.7-10, August 2005.
- [2] Veaceslav Popa, Olesia Volciuc, “Noi tehnologii de nanostructurare a materialelor semiconductoare pentru dispozitive electronice”, *Akademos*, nr.4 (11), p.85, Decembrie 2008.
- [3] Ion Tiginyanu, Veaceslav Popa, Marion A. Stevens-Kalceff, “Ultra-Thin GaN Membranes Fabricated by Using Surface Charge Lithography”, *ECS Transactions*, vol. 35, no 6, pp. 13-19, May 2011.
- [4] Tiginyanu I. M., Popa V., Saura A., et al, “Surface charge lithography for GaN micro- and nanostructuring”, În: *Proc. of SPIC*, vol. 7216, p. 72160, 2009.
- [5] I.M. Tiginyanu, V. Popa & O. Volciuc, “Surface-charge lithography for GaN microstructuring based on photoelectrochemical etching techniques”, *Applied Physics Letters*, vol. 86, 174102, April 2005.