

SENZORI DE PRESIUNE ÎN BAZĂ DE AERO-GaN

Vladimir CIOBANU

Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: Au fost elaborați și caracterizați senzori de presiune în baza aero-materialului ultraporos de GaN. Aeromaterialul este obținut prin creșterea epitaxială din fază hidridă de vapori a unui strat de câteva zeci de nanometri de nitrură de galiu pe o rețea interpenetrată de tetrapozi din oxid de zinc. În timpul procesului de creștere substratul de ZnO este descompus, obținând în final o rețea interpenetrată de microtuburi de GaN, sensibilitatea cărora a fost caracterizată la presiune hidrostatică. Sensibilitatea senzorilor în bază de Aero-GaN până la 40 atm oferă posibilitatea utilizării acestora într-o gamă largă de aplicații, cum ar fi în domeniul auto, aerospațial, submarine și altele. Nivelul de răspuns al curentului de ordinul zecilor de mA permit ca acești senzori să fie ușor de folosit în echipamente portabile.

Cuvinte cheie: nitrura de galiu, senzori de presiune ultra-ușori, aeromaterial, creștere HVPE.

Introducere

Nitrura de Galiu (GaN), un semiconductor cu banda interzisă largă ($E_g=3.4$ eV la 300 K), posedă un șir de proprietăți unice cum ar fi lucru la frecvențe înalte, conductivitate electrică înaltă, stabilitate termică și la radiații cu energie înaltă, ceea ce a dus la implementarea acestuia în domenii precum electronica de putere/de frecvențe înalte, optică, optoelectronică, aplicații ca senzori, etc. Pe lângă proprietățile enumerate, GaN mai posedă proprietatea piezoelectrică pronunțată ceea ce deschide o gamă largă de aplicații în piezotronică, nanogeneratori, senzori SAW, sisteme micro-electro-mecanice [1-4]. Recent, grupul de la Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor a demonstrat senzori de presiune în baza aerogelului de grafenă decorat cu nanocristalite de GaN [5], precum și memristori în baza membranelor ultrafine de GaN de numai 15 nm, un analog al sinapselor biologice [6].

Pentru multe aplicații, senzorii de presiune trebuie să posede stabilitate la accelerații și vibrații, temperaturi înalte, radiație, stabilitate chimică. Senzorii de presiune în baza aeromaterialului GaN, denumit în continuare Aero-galnit (A-GaN) posedă proprietățile enumerate mai sus și poate fi folosit până la presiuni de 40 atm ceea ce presupune posibila utilizare a astfel de senzori în domeniul auto, submarinelor, precum și în domeniul aerospațial.

Aeromaterialele, reprezintă materiale ultra-ușoare cu gradul de porozitate înalt format din rețele de nanostructuri de diferite forme și mărimi precum nanofire, nanotuburi, nanotetrapozi sau alte structuri 3D [7]. Elaborarea și dezvoltarea procedurilor de obținere a aeromaterialelor are loc datorită demonstrării în ultimul timp a mai multor aplicații ale acestora precum senzori, celule solare, supercondensatori [8], sisteme de transport a medicamentelor, inginerie tisulară, dispozitive implantabile [9], și altele.

Rezultate și discuții

Aeromaterialul GaN folosit în această lucrare, a fost crescut prin metoda creșterii Epitaxiale Hidride din Fază de Vapori (HVPE) ce presupune depunerea unui strat subțire de GaN pe un templat de sacrificiu compus din rețele de micro-tetrapozi de ZnO cu porozitate înaltă. Pentru creșterea HVPE a fost utilizat un reactor cu 4 zone de temperatură controlabile. Ca surse de material au fost utilizate Ga metalic, amoniac (NH_3), și clorură de hidrogen, în timp ce gazul de transport a fost hidrogenul. În zona de reacție, are loc formarea GaCl ca rezultat al reacției dintre Ga și HCl la temperatura de 850 °C. Reacția dintre GaCl și NH_3 în zona de reacție duce la formarea GaN care se depune pe templatul de sacrificiu de ZnO. Creșterea GaN are loc în două etape: prima etapă fiind nuclearea unui strat de GaN timp de 10 min la temperatura de 600 °C, iar în a doua etapă temperatura este crescută până la 850 °C și timpul de depunere fiind 10 min, crescându-se astfel un strat calitativ de GaN. Odată cu creșterea stratului de GaN la temperaturi înalte, în același timp, are loc și descompunerea miezului de ZnO, ce în final duce la obținerea tetrapozilor goi de GaN cu grosimea pereților de aproximativ 70 nm.

În figura 1 sunt reprezentate imagini SEM a rețelelor de microtetrapozi de ZnO ce reprezintă substratul de sacrificiu, și micro-tetrapozii de GaN obținuți după creșterea nitrurii de galiu. Gradul de porozitate, ε , a A-GaN are valoarea de aproximativ 93% conform calculului $\varepsilon=(1-\rho_a/\rho_t)\times 100\%$,

unde ρ_a reprezintă valoarea densității aparente a aerogelului, iar ρ_t fiind densitatea reală a materialului masiv ($\rho_{\text{GaN}}=6.4\text{g/cm}^3$).

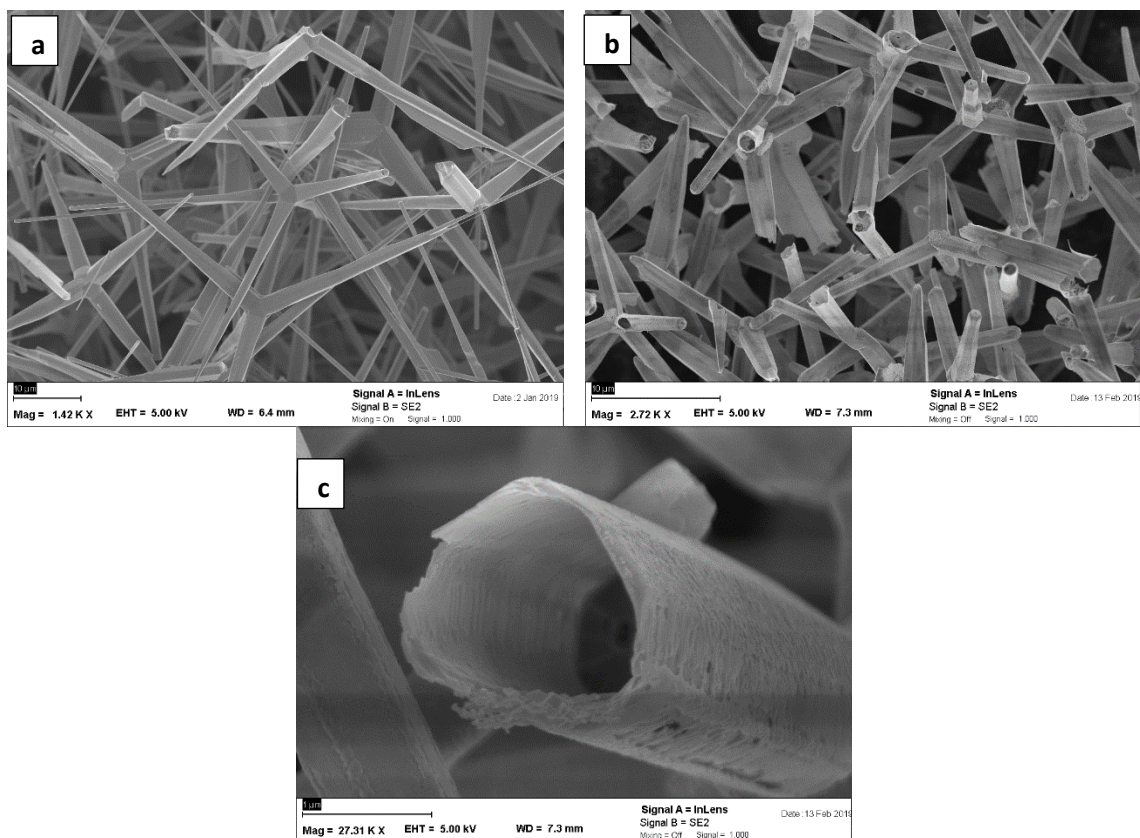


Figura 1. Imagini SEM a micro-tetrapozilor de (a) ZnO și (b, c) GaN.

Caracterizarea electrică a senzorilor în baza A-GaN a fost făcută utilizând echipamentul Keithley 4200 SCS conectat la senzor care se află într-o cameră unde presiunea este crescută până la 40 atm pompând azot pur în interior. Camera de lucru este calibrată pentru creșterea presiunii până la 40 atm. Toate măsurătorile sunt controlate de la calculator. În figura 2 este ilustrat schematic echipamentul utilizat pentru caracterizarea senzorilor de presiune elaborați.

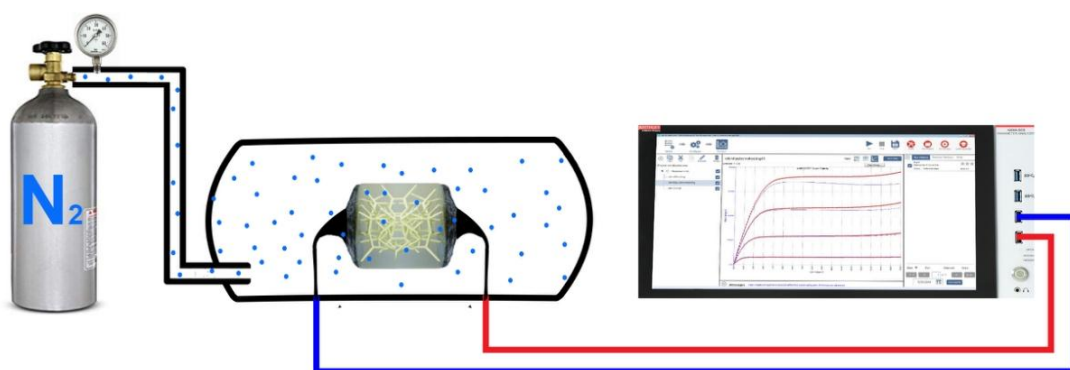


Figura 2. Reprezentarea schematică a echipamentului de măsurare a senzorilor de presiune în baza Aero-GaN [10]

Din caracteristica IV, a fost extrasă conductanța, G , în funcție de presiunea aplicată, după cum este ilustrat în figura 3a. Se observă o dependență neliniară, conductanța scade odată cu creșterea nivelului de presiune.

Răspunsul nelinear al senzorului în baza Aero-GaN poate fi atribuit în mare parte variației rezistenței de contact între microtetrapozi dar și variației rezistivității intrinseci a materialului. Sensibilitatea senzorului definită ca $S = (\Delta G / G_0) / \Delta P$, unde $G_0 = G(P_0 = 1 \text{ atm})$, este una neliniară și variază de la 16.2×10^{-3} la presiuni joase (5 atm), la 7.4×10^{-3} la presiuni înalte (40 atm).

Pentru studiul stabilității în timp a senzorului de presiune, a fost aplicată o tensiune constantă de -3.2 V și înregistrat curentul. Se poate observa din figura 3b că este necesar un timp scurt de stabilizare a curentului, timp în care are loc rearanjarea microstructurilor, acest timp fiind comparabil cu cel al senzorilor în baza structurilor hibride grafenă-GaN [11].

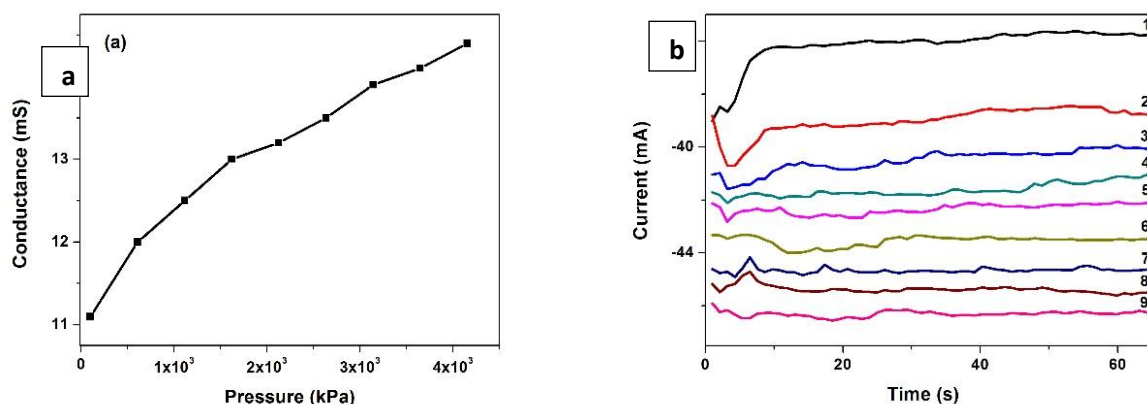


Figura 3. Dependența (a) conductanței și (b) a curentului în timp la diferite nivele de presiune (1- 1 atm, 2- 6 atm, 3-11 atm, 4- 16 atm, 5- 21 atm, 6- 26 atm, 7- 31 atm, 8-36 atm, 9- 41 atm) [10]

Concluzii

Au fost elaborați și demonstrați senzori de presiune în baza aero-materialului GaN. Sensibilitatea acestora variază de la 16.2×10^{-3} la presiuni joase (5 atm) la 7.4×10^{-3} la presiuni înalte (40 atm). Nivelul dat de sensibilitate și răspunsul curentului de ordinul zecilor de mA fac ca acești senzori să fie fezabili pentru echipamentele portabile.

Referințe

1. M.S. Kang, C.-H. Lee, J.B. Park, H. Yoo, G.-C. Yi, Gallium nitride nanostructures for light-emitting diode applications, *Nano Energy* 1 (2012) 391–400, <https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2012.03.005>.
2. X. Wang, W. Peng, R. Yu, H. Zou, Y. Dai, Y. Zi, C. Wu, S. Li, Z.L. Wang, Simultaneously enhancing light emission and suppressing efficiency droop in GaN microwire-based ultraviolet light-emitting diode by the piezo-phototronic effect, *Nano Lett.* 17 (2017) 3718–3724, <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.7b01004>
3. M. Peng, Y. Liu, A. Yu, Y. Zhang, C. Liu, J. Liu, W. Wu, K. Zhang, X. Shi, J. Kou, J. Zhai, Z.L. Wang, Flexible self-powered GaN ultraviolet photoswitch with piezo-phototronic effect enhanced on/off ratio, *ACS Nano* 10 (2016) 1572–1579, <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b07217>
4. X. Wang, R. Yu, W. Peng, W. Wu, S. Li, Z.L. Wang, Temperature dependence of the piezotronic and piezophototronic effects in a-axis GaN nanobelts, *Adv. Mater.* 27 (2015) 8067–8074, <https://doi.org/10.1002/adma.201504534>
5. M. Dragoman, L. Ghimpu, C. Obreja, A. Dinescu, I. Plesco, D. Dragoman, T. Braniste, and I. Tiginyanu, Ultra-lightweight pressure sensor based on graphene aerogel decorated with piezoelectric nanocrystalline films, *Nanotechnology* 27, 475203 (2016).
6. M. Dragoman, I. Tiginyanu, D. Dragoman, T. Braniste, and V. Ciobanu, Memristive GaN ultrathin suspended membrane array, *Nanotechnology* 27, 295204 (2016).
7. S. M. Jung, H. Y. Jung, M. S. Dresselhaus, Y. J. Jung, J. Kong, *Sci. Rep.* 1 2012, 2, 849.
8. J. Mao, J. Iocozzia, J. Huang, K. Meng, Y. Lai, and Z. Lin, *Energy Environ. Sci.* (2018).
9. H. Maleki, L. Duraes, C.A. Garcia-Gonzalez, P. del Gaudio, A. Portugal, and M. Mahmoudi, *Adv. Colloid Interface Sci.* 236, 1 (2016).
10. M. Dragoman, V. Ciobanu, S. Shree, D. Dragoman, T. Braniste, S. Raevschi, A. Dinescu, A. Sarua, Y. K. Mishra, N. Pugno, R. Adelung, and I. Tiginyanu, Sensing up to 40 atm Using Pressure-Sensitive Aero-GaN, *PSS RRL*, 1900012 (2019), <https://doi.org/10.1002/pssr.201900012>
11. L. Durães, H. Maleki, C. A.García-González, P. del Gaudio, A. Portugal, and M. Mahmoudi, Synthesis and biomedical applications of aerogels: possibilities and challenges, *Advances in Colloid and Interface Science* 236, 1-27 (2016).