

Nanostructuri de GaN în calitate de senzori de gaze

Olesea Volciuc

Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei, Ștefan cel Mare 168, MD-2004 Chişinău, Moldova

Abstract

În lucrare este prezentat răspunsul la gaze a nanostructurilor de GaN fabricate prin metoda Litografiei cu Sarcina de Suprafață. Sensibilitatea bună față de CO și H₂ precum și timpurile mici de răspuns și restabilire demonstrează aplicabilitatea tehnologiei noi de nanostructurare a nitrurii de galiu pentru fabricarea senzorilor de gaze

1. Introducere

Nitrura de galiu este un semiconductor cu banda largă (3,4 eV) și posedă o serie de proprietăți avantajoase cum ar fi stabilitatea chimică și la iradiere cu particole la energii înalte, potențialul de operare la temperaturi înalte și putere mare, suportarea heterostructurării, biocompatibilitatea ș.a. Ca urmare, acest material a găsit aplicabilitate în domeniul senzorilor de gaze și bio, optoelectronică (îndeosebi emițătoare și detectori în spectrul ultraviolet), electronica de putere și cea de frecvență înalta datorită formării gazului bidimensional degenerat la interfața AlGaIn/GaN ce posedă o mobilitate înaltă a electronilor. În literatură poate fi găsită aplicația nitrurii de galiu în calitate de senzori de gaze utilizând structurile Schottky [1] și 2DEG FET [2]. Recent a fost propusă utilizarea peliculelor nanostructurate de GaN în calitate de senzori de gaze care posedă și o selectivitate față de metan în atmosferă de alcool, astfel că integrând 2 structuri gazo-senzorice cu sensibilități diferite față de metan și alcool se poate face diferențierea semnalelor și ca rezultat o selectivitate satisfăcătoare față de metan [3]. Nanostructurarea peliculelor de GaN în diferite condiții în acest caz are ca scop mărirea suprafeței efective a detectorului, astfel ca un număr mai mare de molecule gazoase, disociind pe suprafața nanostructurată, să modifice conductibilitatea stratului bufer de GaN.

Un alt procedeu tehnologic de mărire a sensibilității față de gaze elaborat și demonstrat în cadrul Centrului Național de Studiu și Testare a Materialelor este fabricarea nanostructurilor de GaN în mod dirijat utilizând tehnologia Litografiei cu Sarcină de Suprafață [4]. Această tehnologie ne oferă posibilitatea fabricării mezo- și nanostructurilor în baza GaN fără aplicarea

metodelor standarte litografice și de decapare în plasmă. Ca urmare se reduce prețul de fabricare și se minimizează defectele legate de decaparea uscată.

2. Partea experimentală

Pentru fabricarea nanostructurilor de GaN în calitate de senzori de gaze a fost utilizat GaN crescut prin metoda MOCVD cu o grosime de 2 μm, $n \approx 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ pe substrat de safir.

Profilul viitorilor senzori a fost format cu ajutorul razei focalizate de ioni de galiu cu energie de 30keV la o doză de $6,6 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ utilizând echipamentul FEI Strata FIB 201.

Contactele ohmice au fost formate prin evaporarea e-beam a 50 nm de Ti și 150 nm Au. Tratarea termică rapidă necesară îmbunătățirii calității contactelor ohmice nu a fost efectuată pentru a nu modifica proprietățile suprafeței nitrurii de galiu, care de obicei este exprimată prin pierderea atomilor de azot de la suprafață.

Decaparea fotoelectrochimică s-a efectuat în soluție agitată de 0,1M KOH la temperatura camerei timp de 5 minute. Ca rezultat au fost obținute nanostructuri cu grosime de cca 100nm care se conectează la contactele ohmice prin intermediul a 2 suprafețe triunghiulare mezastructurate (fig.1).

Investigarea proprietăților gazo-senzorice s-a efectuat în diapazonul temperaturilor de 180 - 280°C în medii de CO și H₂, gazul purtător fiind N₂.

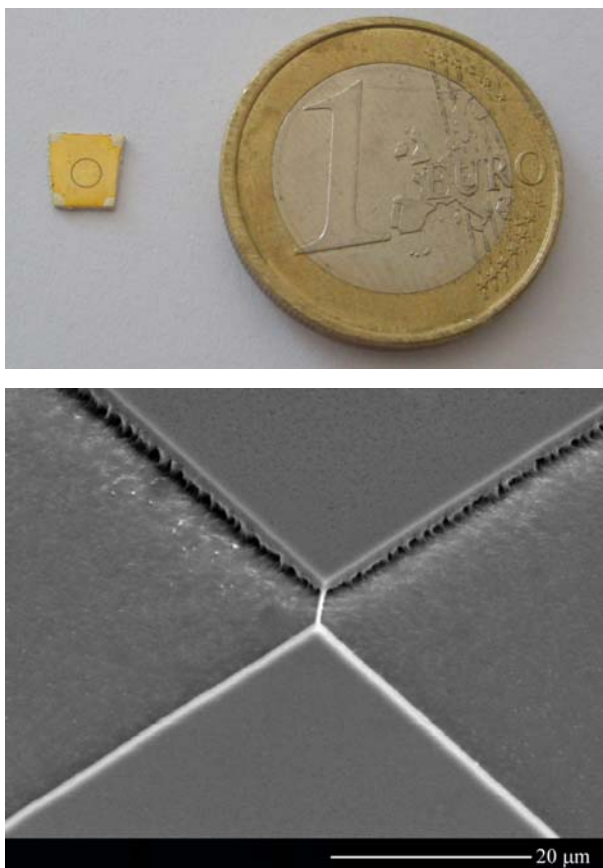


Fig. 1: Detectorul cu contacte ohmice (sus) și nanostructura de 100 nm (jos)

3. Rezultate și discuții

Pentru ridicarea caracteristicilor tranzitorii a senzorilor au fost înregistrate variațiile rezistențelor în timp la diferite temperaturi pentru CO și H₂. Valoarea sensibilității relative a fost estimată conform relației $S = (R_{N_2} - R_{gaz}) / R_{N_2} * 100\%$ și este prezentată în figura 2 în funcție de temperatură.

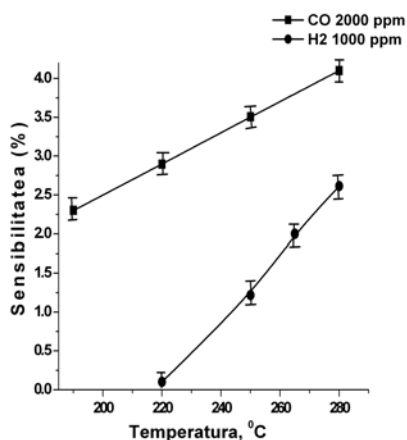


Fig.2 Dependența sensibilității de temperatură pentru CO și H₂

Din aceste grafice se observă o dependență liniară a sensibilității funcție de temperatură pentru ambele gaze investigate. De asemenea s-a determinat existența temperaturii de prag pentru fiecare gaz, care este în strânsă legătură cu energia necesară disocierii moleculei de gaz, astfel ca pentru 1000 ppm H₂ e necesară o temperatură de 215°C, iar pentru 2000 ppm CO - 110°C. Schimbarea rezistenței față de CO și H₂ este prezentată în fig. 3.

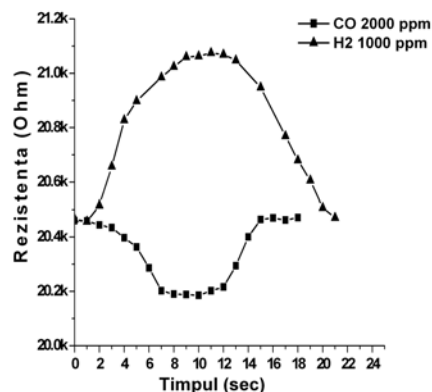


Fig.3 Variația rezistenței în timp la detectarea CO și H₂ (T=280°C)

Aceste dependențe ne demonstrează timpuri de răspuns și restabilire foarte scurte de pînă la 5 secunde pentru cazul monoxidului de carbon, acestea fiind atribuite specificului aparatului de caracterizare, în special mișcării gazului de la controler la suprafața senzorului. În cazul detectării hidrogenului timpul de răspuns este estimat la cca 10 secunde iar cel de restabilire la 15 secunde.

Un factor important al detectorului examinat este direcția de variație a rezistenței, astfel că în cazul CO are loc micșorarea rezistenței odată cu detectarea gazului, pe cînd la detectarea H₂ are loc mărirea rezistenței. Acest fapt poate fi utilizat pentru detectarea selectivă a acestor 2 gaze.

Răspunsul nanostructurilor de GaN la gaze este atribuită modulării conductibilității acestora sub influența moleculelor de gaze ce disociază pe suprafața fierbinte a materialului. Astfel că disocierea moleculei de H₂ formează un strat polarizat de ioni de H⁺ care atrag la suprafață electronii liberi din canal. Aceștea fiind legați de stratul polarizat nu pot participa în conducție și ca rezultat observăm mărirea rezistenței nanostructurilor în mediu de H₂. Situația inversă este pentru CO care disociind formează un strat polarizat de donori de electroni la suprafața nanofirelor datorită ionilor de O⁻. Se presupune și influența altor factori, cum ar fi oxidul nativ de galiu (Ga₂O₃) asupra răspunsului la gaze, dar impactul acestora credem ca este incomparabil cu mecanismul descris mai sus.

4. Concluzii

În rezultatul investigaţiei răspunsului gazosensor a nanofirelor de GaN am determinat că timpul de răspuns şi de restabilire sînt cele mai mici în comparaţie cu alţi senzori în baza corpului solid. De asemenea, în baza senzorilor propuşi pot fi elaboraţi detector selectivi faţă de CO şi H₂.

Pentru mărirea sensibilităţii detectorilor în baza nanofirelor de GaN trebuie mărită eficacitatea modulării canalului conductiv de moleculele gazoase. Aceasta poate fi efectuată prin 2 posibilităţi - micşorarea secţiunii transversale a nanostructurilor sau depunerea straturilor subţiri de metale catalitice, spre exemplu Pt.

Autorul aduce mulţumiri memb. cor. A.Ş.M. dlui. Ion Tighineanu şi dlui. Dr. Veaceslav Popa pentru îndrumări şi susţineri.

Bibliografie

- [1] Pt Schottky diode gas sensors formed on GaN and AlGa_xN/GaN heterostructure, Kazushi Matsuo et al, *Applied Surface Science* 244 (2005) 273-276
- [2] Hydrogen Sensors Based on AlGa_xN/AlN/GaN Schottky Diodes, Wang Xin-Hua et al, *Chinese Physics Letters* 25 (2008) 266-269
- [3] GaN based two-sensor array for methane detection in ethanol environment, Popa Veaceslav et al, *Semiconductor Science and Technology* 21 (2006) 1518-1521
- [4] Fabrication of GaN nanowalls and nanowires using surface charge lithography, Popa Veaceslav et al, *Materials Letters*, Vol 62, Issue 30(2008) 4576-4578