

CARACTERIZAREA HETEROSTRUCTURILOR CdS/CdTe/Te CU AJUTORUL CARACTERISTICILOR CAPACITATE-TENSIUNE

Tamara POTLOG, Nicolae SPALATU, Natalia MATICIUC

Catedra Fizica Aplicată și Informatică

Thin Film CdS/CdTe heterojunctions were fabricated by close space sublimation at the substrate temperature $340 \pm 5^\circ\text{C}$ and evaporator temperature $610^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. Capacitance-voltage characteristics in the region of temperatures 313 K – 363 K were measured. Was established that the capacitance of heterojunction CdS/CdTe/Te increases from $658 \text{ (cm}^2/\text{pF)}^2$, $T=313 \text{ K}$ to $1096 \text{ (cm}^2/\text{pF)}^2$, $T=393 \text{ K}$. The width space charge region at room temperature is $7,4 \mu\text{m}$, but at the temperature of 393 K are $0,15 \mu\text{m}$. In the above mentioned temperature region the potential contact barrier height decreases from 0,8 V at room temperature (293 K) up to 0,12 V at the temperature of 393 K. The ionized-charge concentration profile (N_A-N_D) is not constant, but it is increasing together with the enlarging of the depth of heterojunction and measure temperature, indicating to a high density of the states in the space charge region.

Introducere

Pentru a realiza dispozitive electronice și optoelectronice pe baza heterojuncțiunilor semiconductoare cu parametri funcționali înalți, este necesară cercetarea și elucidarea proceselor fizice ce au loc la contactul acestor materiale. Studiarea dependenței capacității de tensiune permite obținerea informației despre structura heterojuncțiunilor. Din aceste dependențe se pot determina: potențialul de difuzie, profilul concentrației impurităților în regiunea sarcinii spațiale a heterojuncțiunii și grosimea ei.

Eficiența conversiei celulelor solare depinde de proprietățile electrice și optice ale materialelor semiconductoare utilizate în realizarea lor, precum și de arhitectura structurii celei proiectată, toate acestea fiind în strânsă corelație cu proprietățile mediului în care sunt utilizate. În acest context, cercetările comunității științifice din domeniu sunt axate pe realizarea și caracterizarea noilor materiale semiconductoare cu proprietăți electrice și optice specifice, pe tehnologiile de design ale celei care să conducă la dispozitive optoelectronice cu performanțe ridicate, în regim de fotoelement, și cu preț de cost cât mai scăzut. Aceste deziderate au determinat sporirea interesului pentru studierea straturilor subțiri din materiale semiconductoare anorganice și organice. Din categoria celor anorganice, de mare interes, fac parte compușii semiconductori A^2-B^6 , în special compușii cu cadmiu (CdS, CdSe, CdTe) [1-4]. Heterojuncțiunile bazate pe straturi subțiri de CdS, CdSe, CdTe sunt structuri promițătoare pentru realizarea unor celule solare cu eficiența de peste 17%, datorită unei lărgimi a benzii interzise potrivite (2,4 eV - 1,45 eV), unei eficiențe cuantice ridicate în spectrul solar, absorbției puternice în acest domeniu și stabilității ridicate.

Analiza datelor bibliografice denotă că la momentul actual una dintre cele mai importante probleme în tehnologia de fabricare a celulelor solare pe baza telurului de cadmiu este obținerea unui contact ohmic stabil către componenta de bază cu conductibilitate prin goluri. În această lucrare se analizează caracteristicile capacităate-tensiune ale heterojuncțiunilor CdS/CdTe cu un strat intermediar de Te între stratul de CdTe și contactul ohmic.

Prepararea heterostructurilor CdS/CdTe/Te

Heterostructurile CdS/CdTe/Te s-au obținut pe plachete comerciale de sticlă cu suprafața de $2 \times 2 \text{ cm}^2$ acoperite cu un strat transparent de SnO_2 . Grosimea stratului de SnO_2 – $0,3 \mu\text{m}$, conductivitatea $10^{-3} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ și transparența 80%. Apoi s-au crescut consecutiv straturile n-CdS și p-CdTe prin metoda condensării în volum cvasiînchis la temperatura suportului $340 \pm 5^\circ\text{C}$ și la temperatura evaporatorului $610 \pm 5^\circ\text{C}$. Straturile CdS aveau grosimea de $0,45 \mu\text{m}$, rezistivitatea $(1,5-2,4)10^2 \Omega\text{cm}$ și transparența 85%. Rezistența specifică a straturilor CdTe nedopate constituia $10^4 \Omega\text{cm}$. După ce stratul de CdTe este depus, structura este tratată termic în aer în prezența unei soluții saturate de $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ pentru 25 min. Înainte de depunerea contactului prin evaporare termică în vid se depune un strat de Te [5]. În calitate de contact ohmic s-a utilizat nichelul (Ni).

Metodica de măsurare

La baza principiului de măsurare a capacității joncțiunii semiconductoare stă un generator de rezonanță cu contur LC. La începutul experimentului se măsoară frecvența generatorului fără proba ce se studiază și fără condensatorul de referință. Apoi, paralel cu condensatorul din conturul de rezonanță se conectează condensatorul de referință calibrat și din nou se măsoară frecvența generatorului. După aceasta se deconectează condensatorul de referință și se conectează proba studiată. Trasarea caracteristicii capacităate-tensiune se realizează cu ajutorul programului de comandă și control.

Rezultate și discuții

În Figura 1 este ilustrată dependența capacității de tensiune în forma $C=f(U)$ la diferite temperaturi de măsurare pentru heterojuncțiunea SnO₂CdS/CdTe/Ni.

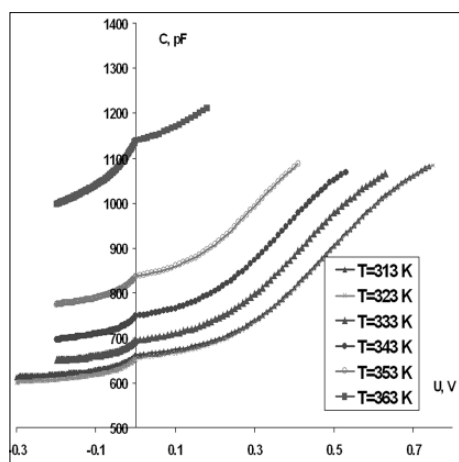


Fig.1. Caracteristica $C = f(U)$ a heterostructurii SnO₂CdS/CdTe/Te/Ni la diferite temperaturi de măsurare, frecvența 1 MHz.

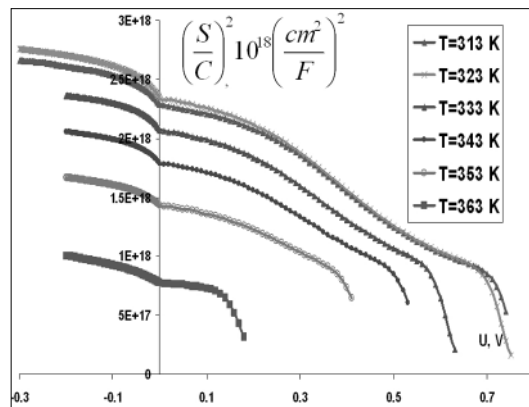


Fig.2. Dependența $(S/C)^2 = f(U)$ a heterostructurii SnO₂/CdS/CdTe/Te/Ni la diferite temperaturi de măsurare.

Observăm că capacitatea joncțiunii depinde de valoarea și polaritatea tensiunii aplicate. La polarizare directă capacitatea joncțiunii crește, iar la polarizare inversă se modifică nu atât de mult ca la polarizare directă. Cu creșterea temperaturii de măsurare capacitatea heterojoncțiunii de asemenea crește. În lipsa tensiunii capacitatea structurii este $658 \text{ (cm}^2/\text{pF)}^2$ la temperatura camerei, iar la temperatura de 363 K constituie $1096 \text{ (cm}^2/\text{pF)}^2$. Lățimea regiunii de sarcină golită la temperatura camerei este de $7,4 \text{ }\mu\text{m}$, iar la temperatura de 363 K – de $0,15 \text{ }\mu\text{m}$. Pentru a determina valoarea potențialului de contact, se construiește dependența $(S/C)^2 = f(U)$ (Fig.2).

Dependența ilustrată poate fi aproximată la două regiuni. Regiunea cu modificarea lină a mărimii C^{-2} pentru tensiunile inverse aplicate până la tensiuni directe de câteva zecimi de volt (în funcție de temperatura de măsurare) continuă cu o regiune al cărei unghi de înclinare se modifica brusc la creșterea de mai departe a tensiunii directe. Din extrapolarea porțiunilor liniare până la intersecție cu axa tensiunilor se poate estima potențialul de contact. Constatăm că are loc micșorarea înălțimii barierei de potențial de la $0,95 \text{ V}$ la temperatura camerei până la $0,75 \text{ V}$ la temperatura de 363 K. Concentrația impurităților a fost determinată după relația:

$$N_A - N_D = \frac{2}{q\epsilon_0 \epsilon \left(\frac{dC^{-2}}{dU}\right) S^2} \quad (1)$$

Estimarea gradientului concentrației de impurități ($N_A - N_D$) a permis construirea dependenței ($N_A - N_D$) în funcție de adâncimea joncțiunii. În Figura 3 este ilustrat profilul concentrației de impurități pentru heterojoncțiunea SnO₂/CdS/CdTe/Te/Ni. Observăm că profilul concentrației de impurități ($N_A - N_D$) nu este unul constant, ci crește odată cu creșterea adâncimii joncțiunii și se modifică de la $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ pînă la $3,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, în dependență de temperatura de măsurare.

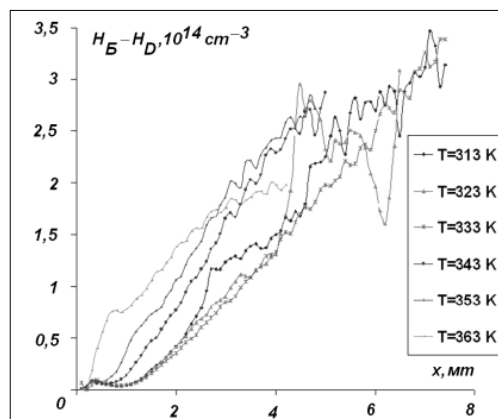


Fig.3. Profilul concentrației impurităților ($N_A - N_D$) în regiunea sarcinii spațiale a heterostructurii CdS/CdTe/Te/Ni.

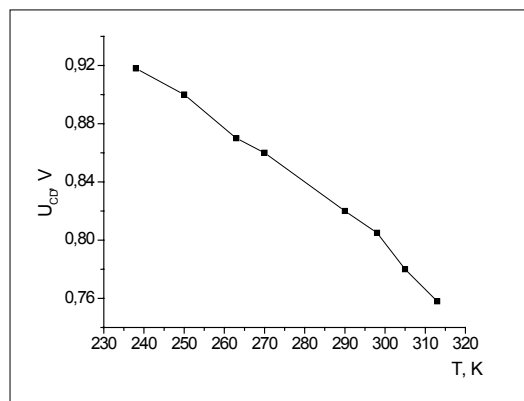


Fig.4. Dependența tensiunii de circuit deschis în funcție de temperatura de măsurare.

Astfel de comportament al capacității în funcție de temperatura de măsurare se explică prin faptul că odată cu creșterea temperaturii variază concentrația centrelor de recombinare adânci, care sunt prezente în regiunea sarcinii spațiale ce se găsește în CdTe. Afirmatia o confirmă și dependența tensiunii de circuit deschis de temperatură (Fig.4) descrisă de relația:

$$U_d = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_f}{I_0} + 1\right), \quad (2)$$

unde: n – factorul de diodă, k – constanta Boltzman, I_0 – curentul invers de saturație, care în cazul mecanismului de generare-recombinare a purtătorilor de sarcină electrică este descris de relația:

$$I_0 = \frac{qn_i W}{2} \delta N_t \vartheta_t, \quad (3)$$

unde: N_t – concentrația centrelor de recombinare, δ – secțiunea eficace a lor, iar ϑ_t – viteza termică a purtătorilor de sarcină electrică. Într-adevăr, dacă ținem cont de relația (2), tensiunea de circuit deschis descreește cu creșterea δN_t .

$$U_{cd} = \frac{nkT}{q} \left[\frac{2I_f}{qn_i W \delta N_t \vartheta_t} + 1 \right] \quad (4)$$

Așadar, pentru a mări tensiunea de circuit deschis, este necesar de a minimaliza numărul centrelor de recombinare adânci din regiunea sarcinii spațiale a heterojoncțiunii CdS/CdTe/Te.

Concluzii

Studierea caracteristicii capacitate-tensiune a heterojoncțiunilor CdS/CdTe/Te ne-a permis să determinăm concentrația impurităților ($N_A - N_D$) din regiunea sarcinii spațiale și să constatăm că nu este constantă, ci se modifică de la $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ până la $3,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, în dependență de temperatura de măsurare.

Referințe:

1. Wu X., Keane J.C., Dhare R.G., Dehart C., Albin D.S., Duda A., Gessert T.A., Asher S., Levi D.H. and Sheldon P., 2001, Proc. of 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 22-26 October, Munich, Germany, p.995.
2. Bonnet D. // Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.1012, 2007, p.249.
3. Tiwari A.N, Romeo A., Baetzner D. and Zogg H. // Progress in Photovoltaic Applications, 215, 2001, p. 211.
4. Gessert T.A., Asher S., Johnston S., Young M. et.al. // Thin Solid Films, 515, 2007, p.6103.
5. Ghimpu L., Ursaki V.V., Potlog T., Tiginyanu I. M // Semiconductor Science and Technology, 20, 2005, p.1127.

Notă: *Lucrarea a fost efectuată în cadrul Proiectului 08.805.05.05A din Programul de Stat „Nanotehnologii, materiale noi multifuncționale și microsisteme electronice”, cu suportul financiar al CSȘDT al AȘM conform Contractului de finanțare Nr. 068/P din 14 februarie 2008.*

Prezentat la 19.09.2008