

CELULE FOTOVOLTAICE CU HETEROJONȚIUNEA nCdS-pInP

Vasile BOTNARIUC, Petru GAȘIN, Leonid GORCEAC, Ion INCULEȚ,
Boris CINIC, Andrei COVAL, Simion RAEVSCHI

Universitatea de Stat din Moldova

Au fost studiate proprietățile electrice și fotoelectrice ale heterojonțiunilor nCdS-pInP cu și fără strat epitaxial intermediar p⁰InP. S-a stabilit că la polarizări directe în mecanismul de transport al curentului predomină procesele de recombinare în regiunea de sarcină spațială. La polarizări inverse predomină procesele de tunelare. Prezența stratului epitaxial p⁰InP depus repetat mărește I_{SC} până la 28,2 mA·cm⁻², U_{CD} până la 0,780 V, iar eficiența conversiei energiei până la 15% la 300 K și iluminare 100 mW/cm². Fotosensibilitatea CF nCdS-p⁰InP-pInP corespunde intervalului $\lambda=550...950$ nm cu un maximum plat localizat în intervalul $\lambda=700...850$ nm.

Cuvinte-cheie: heterojonțiune, celulă fotovoltaică, eficiență, fotosensibilitate.

HETEROJONCTION nCdS-pInP FOTOVOLTAIC CELLS

Electrical and photoelectrical properties of nCdS-pInP hetero-junctions with and without intermediate p⁰InP epitaxial layer were studied. It was established that the current flow mechanism at direct biases is determined mainly by the recombination processes in the space charge region of the junction. At the reverse biases the tunneling processes are predominant. The presence of p⁰InP layer leads to the photo-electrical parameters enhancing of hetero-junction: short circuit current increases up to 28,2 mA·cm⁻², open circuit voltage up to 0,780V and the efficiency of solar energy conversion up to 15% (at 300 K and illumination of 100mw/cm²). The photo-sensitivity of nCdS- p⁰InP -pInP is in the wavelength region of $\lambda= 550-950$ nm with a maximum localized to $\lambda=700-850$ nm.

Keywords: heterojunction, fotovoltaic cells, efficiency, fotosensitivity.

Introducere

Celulele fotovoltaice (CF) din InP au avantaje față de cele, de exemplu, din Si:

- rezistență sporită la acțiunea radiației corpusculare (flux de electroni, de protoni) [8, 3];
- coeficientul dependenței puterii maxime debitate de CF cu heterijonțiune nCdS-pInP, cu structura n⁺-p⁻-p⁺, de temperatură variază în intervalul -0,28...-0,25% ·grad⁻¹, ceea ce depășește de două ori acest parametru pentru CF din Si cu structura n⁺-p-p⁺ [10]. Acest fapt permite tratarea termică a defectelor radiative în astfel de CF.

Eficiența acestor CF, evaluată teoretic, constituie 26% [7], față de eficiența de cca 19% obținută în condiții de laborator [4].

În conformitate cu datele din literatura științifică se realizează și se studiază CF din InP pe bază de homo-jonțiuni și heterojonțiuni obținute prin difuzie [1], implantare de ioni [5], tehnologii epitaxiale din faza lichidă sau gazoasă [6] ori a diferitelor combinații ale acestora.

În prezenta lucrare se studiază proprietățile electrice și fotoelectrice ale celulelor fotovoltaice pe bază de heterojonțiuni nCdS-pInP, cu strat intermediar p⁰InP.

1. Metode de obținere și de cercetare

Heterostructurile nCdS-pInP cu strat intermediar p⁰InP au fost obținute prin tehnologia epitaxiei din fază gazoasă în sistemul In-PCl₃-H₂ [2]. Stratul frontal activ/fereastră nCdS a fost depus în volum cvasiînchis, în atmosferă de hidrogen [9] cu grosimea de 5÷6 μm, concentrația electronilor $(3\div 10)\cdot 10^{18}$ cm⁻³ și mobilitatea 60÷100 cm²/V·s. În calitate de suport au fost folosite substraturi de pInP:Zn (2×2,5 cm²) cu grosimea de 400 μm, direcția cristalografică (100), deorientarea de 3÷5° spre planul (110), densitatea dislocațiilor $(3\div 5)\cdot 10^{11}$ cm⁻² și concentrația golurilor la 300 K/3·10¹⁸ cm⁻³.

Procedeele tehnologice de depunere a straturilor epitaxiale p⁰InP constă dintr-o serie de operații [9]:

- purificarea sursei de indiu prin tratarea termică prealabilă a acesteia în hidrogen;
- saturarea sursei de In deja purificat cu vapori de fosfor la temperatura de 750°C;
- pregătirea substraturilor pInP ce include șlefuirea lor și corodarea chimică în 1CH₃COOH:5HNO₃:1HCl sau metanol+5%Br, spălarea și uscarea lor;
- decaparea gazoasă a substraturilor la temperatura de 660°C în fluxul de gaz H₂+PCl₃ ce provoacă formarea HCl-gaz în urma disocierii PCl₃;
- creșterea stratului epitaxial p⁰InP dopat cu Zn pe substratul p⁺InP la temperatura de depunere de 650°C.

Au fost obținute heterostructuri nCdS-pInP de două tipuri:

- 1) heterostructuri fără strat intermediar de p⁰InP;
- 2) heterostructuri cu strat intermediar p⁰InP depus repetat.

În al doilea caz stratul p⁰InP crescut inițial a fost integral decapat în HCl-gaz, după ce în același ciclu tehnologic s-a efectuat creșterea lui repetată. Straturile subțiri de p⁰InP, obținute la prima etapă la 300 K, au concentrația golurilor $5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, iar mobilitatea $50 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Straturile epitaxiale p⁰InP, obținute repetat în același regim, au concentrația golurilor cu un ordin mai mic – $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ și mobilitatea $90 \div 100 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Micșorarea concentrației golurilor și majorarea mobilității lor este determinată de micșorarea concentrației impurităților ce pătrund din suportul de p⁺InP în stratul epitaxial p⁰InP, în procesul depunerii epitaxiale, deoarece o parte din impurități au pătruns la prima etapă, fiind înlăturate în urma decapării gazoase în HCl.

Contactul ohmic pentru stratul frontal nCdS a fost depus prin evaporarea termică în vid a In sau Ag utilizând o mască-grilă de anumită configurație geometrică. Acest contact acoperă 10% din suprafața totală a stratului frontal nCdS. Contactul verso – pe suprafața substratului pInP – s-a depus prin aceeași metodă efectuând evaporarea termică a aliajului Ag+5%Zn. Tratarea termică s-a efectuat în atmosferă de H₂ câte 10 min. separat: la 250°C (In) și la 400°C aliajul (Ag+5%Zn).

Spectrele de fotosensibilitate ale HJ obținute au fost cercetate cu ajutorul monocromatorului MDR-23 cu rezoluția 2,6 nm/mm. Toate spectrele s-au normat relativ cu numărul de fotoni incidenți. Caracteristicile curent-tensiune la întuneric și la iluminare au fost cercetate folosind complexul computerizat KEITHLEY 4200-SCS.

2. Rezultate și interpretări

Caracteristicile curent-tensiune la întuneric pentru ambele structuri sunt brusc nesimetrice. Curentul la polarizări directe depășește de 10^3 ori pe cel de la polarizări inverse. Prin extrapolarea porțiunii liniare la $I=0$ a fost determinat potențialul de difuzie, care la 300 K constituie $U_D=0,60 \div 0,65 \text{ V}$. Cu creșterea temperaturii U_D se micșorează liniar cu coeficientul termic $\alpha=(4,4 \div 4,7) \cdot 10^{-3} \text{ V/K}$.

Pentru determinarea dependenței curentului de tensiunea aplicată, la polarizări directe, a fost construită dependența $\ln I_{\text{dir}}=f(U)$ (Fig.1).

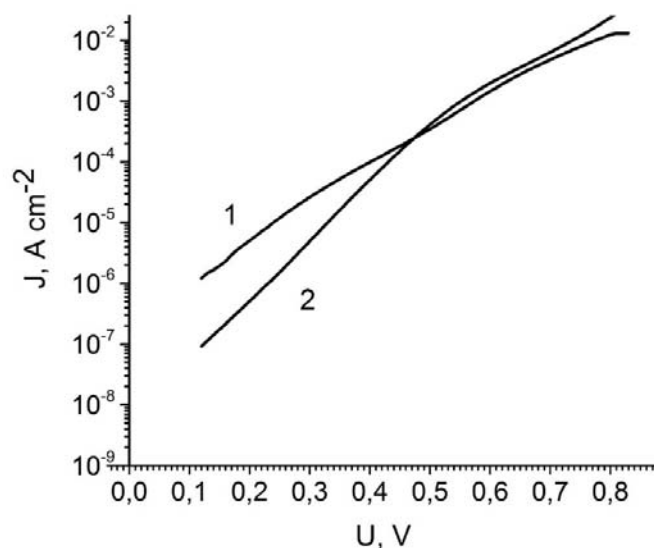


Fig.1. Caracteristicile I-U la întuneric la polarizare directă:
1 – structura nCdS-pInP; 2 – structura nCdS-p⁰InP-pInP.

Astfel, se observă că pentru ambele structuri, la tensiuni până la potențialul de difuzie, curentul depinde exponențial de tensiunea aplicată, care poate fi descrisă de expresia:

$$I = I_s \left(\exp \frac{eU}{AkT} - 1 \right),$$

în care: I_s – curentul de saturație, A – factorul de idealitate. Densitatea curentului de saturație I_s constituie $5,4 \cdot 10^{-9} \text{ A/cm}^2$ pentru structura n-p⁰-n și $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ pentru structura n-p.

Factorul de idealitate A are valoarea 1,7 pentru structura $n-p^0-n$ și 2,24 pentru $n-p$. Aceasta indică faptul că în ambele structuri, la polarizări directe, în mecanismul de transport al curentului predomină procesele de recombinare în regiunea de sarcină spațială a heterostructurilor.

La polarizări inverse curentul depinde de tensiune după funcția de putere $I \sim U^m$. Factorul de putere $m=4,0 \div 5,1$ indică la predominarea proceselor de tunelare la polarizări inverse.

Caracteristicile de sarcină, măsurate la $T=300$ K și intensitatea luminii 100 mW/cm^2 , sunt prezentate în Figura 2.

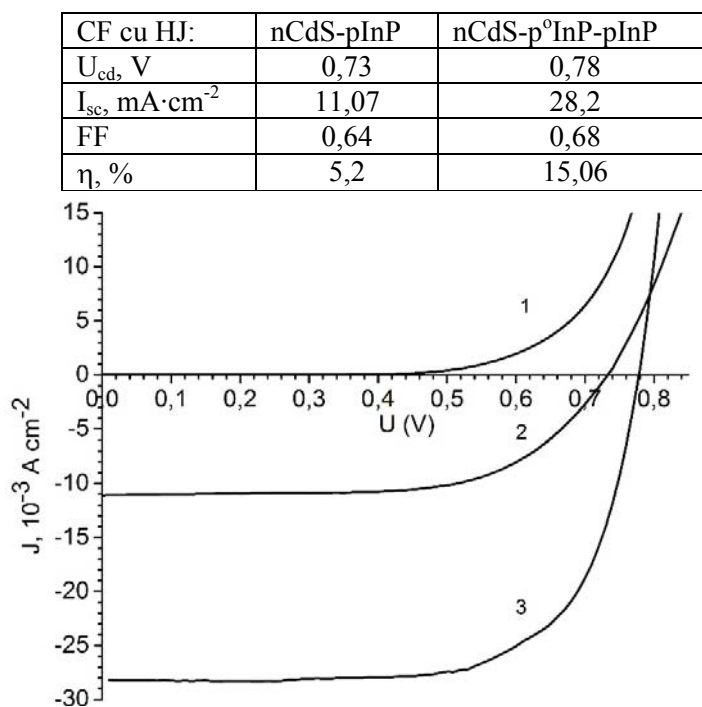


Fig. 2. Caracteristicile I-U:

- 1 – întuneric, structura nCdS-p⁰InP-pInP;
- 2 – iluminare (100 mW/cm^2), structura nCdS-pInP;
- 3 – iluminare (100 mW/cm^2), structura nCdS-p⁰InP-pInP.

Se observă că introducerea stratului intermediar de p⁰InP mărește curentul de scurtcircuit de la $11,07 \text{ mA/cm}^2$ până la $28,2 \text{ mA/cm}^2$. Acest strat influențează nesemnificativ tensiunea de circuit deschis și factorul de umplere. Eficiența de conversie a energiei luminoase în energie electrică crește de la 5,2% (structura $n-p$) până la 15,06% (structura $n-p^0-p$).

Fotosensibilitatea CF cu HJ nCdS-pInP (Fig.3, curba 1) și nCdS-p⁰InP-pInP (curba 2) cuprinde intervalul lungimilor de undă $550 \dots 950 \text{ nm}$ cu un maximum plat localizat în intervalul $700 \dots 850 \text{ nm}$.

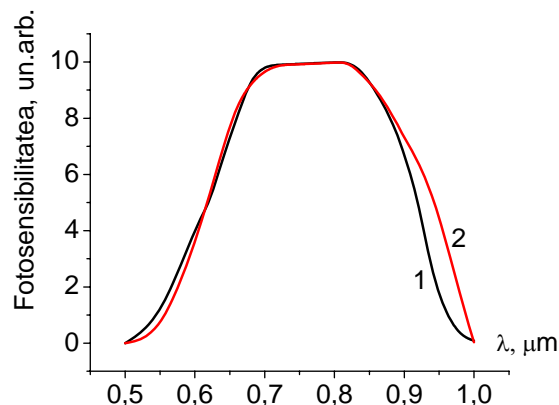


Fig.3. Fotosensibilitatea CF cu HJ: 1 - nCdS-pInP; 2 – nCdS-p⁰InP-pInP.

Astfel, s-a demonstrat avantajul HJ nCdS-pInP cu strat epitaxial intermediar p^o după repetat pentru realizarea celulelor fotovoltaice cu eficiență înaltă.

Bibliografie:

1. BOTHA, S., BHIMNATHWALA, H.C., PARAT, K.K., CHANDHI, S.K., BORREGO, J.M. *Characterization and modeling of open tube diffused n⁺-p bulk InP solar cells* / 19th IEEE Photovoltaic Spec.Conf., Orleans, La, may 4-8, 1987. New York, 1987, p.261-266.
2. BOTNARIUC, V., BENDERSCHI, A., GORCEAC, L., RAEVSCHI, S., COVA, L.A., CINIC, B. *Instalație experimentală și procedeu tehnologic pentru obținerea straturilor subțiri și a structurilor în baza compușilor A³B⁵* / Conferința fizicienilor din Moldova CFM-2009, abstract, Chișinău, 26-27 noiembrie 2009, p.30.
3. BOTNARIUK, V.M., GORCHIAK, L.V., GRIGORIEVA, G.M., KAGAN, M.M. et al. Radiation degradation of solar cells base don InP-CdS heterolonction. In: *Solar Energ.Mat.*, 1990, p.359-365.
4. GORADIA, C., GEILER, J.V., WEINBERG, I. *Modelling and desing of high efficiency radiation tolerant indium phosphide space solar cells* / 19th IEEE Photovoltaic Spec.Conf., Orleans, La, may 4-8, 1987. New York, 1987, p.937-943.
5. KEAVNEY, C.J., SPITZER, M.B. Indium phosphide solar cells made by ion implantation. In: *Appl. Phys. Lett.*, 1988, vol.52, no.25, p.1439-1440.
6. MISTURY, S., YAMAMOTO, A., YAMAGUCHI, M., UEMURA, Gh. High-efficient InP solar cells with n⁺-p-p⁺ structure grown by metalorganic chemical vapor deposition. In: *Jap. J. Appl. Phys.*, 1985, vol.24, no.9, p.1243-1244.
7. SPITZER, M.B., KEAVNEY, C.J., VERNON, S.M., HAVEN, V.E. *Junction formation tehniques for indium phosphide solar cells* / 19th IEEE Photovoltaic Spec.Conf., Orleans, La, may 4-8, 1987. New York, 1987, p.146-152.
8. YAMAGUCHI, M., ANDO, K. Mecanism for radiation resistance of InP solar cells. In: *J. Appl. Phys.*, 1988, p.555.
9. БУБНОВ, Ю.З., ЛУРЬЕ, М.С., СТАРОС, Ф.Г., ФИЛАРЕТОВ, Г.А. *Вакуумное нанесение пленок в квазизамкнутом объеме*. Москва: Советское радио, 1975. 160 с.
10. ГОРЧАК, Л.В., ГИЛАН, Э.В., ДОРОШЕНКО, В.Г., КИТОРОАГА, А.Д., КОХАНИУК, М.В., РУССУ, Е.В., ХАНОВА, Е.С. InP-CdS – гетерофотопреобразователи и их температурные характеристики под AM0. В: *Гелиотехника*, 1982, №4, с.10-13.

Prezentat la 06.06.2015