

CELULE SOLARE CU HOMOJONCTIUNE DIN FOSFURĂ DE INDIU

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

Universitatea de Stat din Moldova

Homojonctiunea $p^+p^-n^+InP$ cu și fără strat frontal nCdS a fost obținută aplicând metoda de epitaxie din faza gazoasă în sistemul $In-PCl_3-H_2$ (p^+InP , n^+InP) și metoda de volum cvasiînchis (nCdS). La studierea proprietăților electrice și fotoelectrice ale acestor structuri s-a constatat că fotosensibilitatea a crescut cu două ordine, iar eficiența CS este de 12% pentru homostructura cu strat frontal nCdS. Aceasta se datorează micșorării recombinării purtătorilor de sarcină minoritari la suprafață și particularităților proprietăților electrice și fotoelectrice ale acestor structuri.

Cuvinte-cheie: *homojonctiune, fosfură de indiu, celulă solară, procedeu tehnologic, strat epitaxial.*

SOLAR CELLS BASED ON INDIUM PHOSPHIDE HOMOJUNCTION

$p^+p^-n^+InP$ homo-junction with or without nCdS frontal layer was obtained by gaseous phase epitaxy method in a $In-PCl_3-H_2$ (p^+InP , n^+InP) system and by quasi-closed volume method (nCdS). From the studies of electrical and photo-electrical properties of these structures it has been established that their photo-sensitivity increases by two orders of magnitude and the SC efficiency is of 12% for the homo-structure with nCdS frontal layer, due to the diminishing of minority charge carriers surface recombination and the peculiarities of electrical and photo-electrical properties of these structures.

Keywords: *homojunction, indium phosphide, solar cells, technological procedure, epitaxial layer.*

Introducere

Celulele solare (CS) cu homo- sau heterojonctiune din InP rămân actuale până în prezent din următoarele considerente:

- au rezistență sporită la acțiunea radiației corpusculare, fapt stabilit atât în condiții de laborator [1,7], cât și în condiții de exploatare pe orbita geostaționară [4];
- se pot obține CS din InP cu randamentul de 26%, calculat teoretic [6], față de cca 19% obținut în condiții de laborator [3].

Analiza datelor din literatura de specialitate indică la utilizarea mai multor metode pentru confecționarea CS cu homojonctiune din InP: prin difuzie în sistem deschis sau închis, utilizând tehnologia epitaxială de creștere din faza lichidă sau gazoasă, implantarea de ioni sau diferite combinații ale acestora.

Homojonctiunile epitaxiale n^+p sau p^+nInP cu densitatea redusă a defectelor la interfață pot fi preparate prin metoda de epitaxie din faza gazoasă în sistemul $In-PCl_3-H_2$. Acest procedeu asigură obținerea straturilor epitaxiale omogene pe toată suprafața și de aceeași grosime, permite doparea lor cu diferiți dopanți – donori sau acceptori – într-un singur ciclu tehnologic. Etapele principale ale procedurii tehnologice de creștere a straturilor epitaxiale n- sau p-InP sunt:

- pregătirea sistemului de distribuție a fluxurilor gazoase și a reactorului pentru procedeu;
- saturația sursei de In cu fosfor;
- pregătirea substraturilor n- sau p-InP;
- creșterea straturilor epitaxiale n- sau p-InP. Procedeu de creștere este anticipat de corodarea gazoasă a suprafeței substratului din InP, care și asigură o densitate redusă a defectelor la interfața homostructurii;
- doparea straturilor epitaxiale p-, n-InP crescute cu Zn sau, respectiv, cu Te, în intervalul concentrațiilor de acceptori sau de donori $10^{16} \dots 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ prin metoda de dopare individuală. În acest caz se folosesc două fluxuri separate de gaz: unul conține elementul dopant, altul – componenta principală care se amestecă în fața zonei de creștere a straturilor.

Procedeu tehnologic de depunere a straturilor epitaxiale InP din faza gazoasă în sistemul $In-PCl_3-H_2$ este descris de autori în [2].

1. Tehnologia de obținere a straturilor

În calitate de substrat au fost utilizate plachete pInP tăiate din lingouri crescute prin metoda Czochralsky dopate cu Zn la nivelul concentrației purtătorilor de sarcină de 10^{18} cm^{-3} . Orientarea cristalografică a substraturilor corespunde direcției (100), dezorientarea constituie $3 \dots 5^\circ$ spre planul (110), densitatea dislocațiilor este de $(3 \dots 5) \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, grosimea de cca 400 μm , aria totală a plachetelor – până la 5 cm^2 .

Respectând procedeul tehnologic descris în [5], saturația sursei de In cu P a fost efectuată la temperatura de cca 750°C, iar creșterea straturilor epitaxiale n- sau pInP s-a produs la temperaturile 640...660°C în zona substraturilor și la 750°C în zona sursei. Astfel au fost preparate structuri de tipul p⁺InP-pInP-n⁺InP (p⁺=(1...4)·10¹⁸ cm⁻³, p=10¹⁶...10¹⁷ cm⁻³, n⁺=10¹⁹ cm⁻³). Straturile epitaxiale nInP au fost depuse într-un ciclu tehnologic cu stratul pInP sau separat.

Concomitent, au fost preparate și structuri de tipul p⁺InP-pInP-n⁺InP-n⁺CdS, care permit asamblarea celulelor fotovoltaice cu strat fereastră pentru a modifica gradul de utilizare a spectrului luminii incidente pe suprafața structurii. Stratul nCdS a fost preparat prin metoda de volum cvasiînchis cu derularea procedurii de creștere în flux de H₂ (debitul 500 cm³/min) [8]. Gradientul de temperatură între sursa CdS și substrat constituie 80...100°C, temperatura sursei CdS fiind de cca 800°C. Parametrii electrici ai straturilor nCdS depuse pe suprafața frontală a homostructurii specificate constituie: ρ=10⁻²...10⁻³ Ω·cm, μ=150...260 cm²·V⁻¹·s⁻¹, n=10¹⁸...10¹⁹ cm⁻³. Straturile nCdS, pentru care parametrii electrici au fost studiați prin metoda Van der Paw, au fost crescute pe substrat InP semiizolant (ρ~10⁶ Ω·cm). Autodoparea straturilor CdS în procesul de creștere prin difuzia In din substrat, substituind Cd în rețeaua cristalină a CdS, și determină rezistența mică a acestor straturi (ρ cca 10⁻³ Ω·cm).

În calitate de contact ohmic pentru stratul frontal de n-CdS s-a utilizat In sau Ag depuse prin evaporarea termică în vid, utilizând o mască-grilă de anumită configurație geometrică. Suprafața fotoactivă a celei solare constituie cca 85...90% din cea totală. Pentru contactul verso, către suprafața substratului pInP s-a folosit aliajul Ag+(5%Zn) depus, de asemenea, prin evaporarea termică în vid. Contactele frontal și verso au fost tratate în hidrogen separat câte 10 min. la 250°C (In) și la 400°C (Ag sau Ag+(5%Zn)). Astfel de contacte asigură pentru structurile cu strat frontal nCdS rezistența în serie (R_{ss}) de (6...21) Ω·cm², iar rezistența de șuntare (R_{sh}) – (600...1800) Ω·cm².

2. Rezultate și interpretare

În Figura 1 sunt prezentate caracteristicile de sarcină ale homojoncțiunilor p⁺InP-pInP-n⁺InP cu și fără strat frontal nCdS depus după procedeul descris. Caracteristicile au fost cercetate la temperatura camerei și la puterea luminii incidente de 100 mW/cm². Se observă o îmbunătățire esențială a caracteristicii de sarcină în cazul structurilor cu homojoncțiune și strat frontal nCdS: tensiunea de circuit deschis (U_{cd}) 0,758 V, densitatea curentului de scurt circuit (J_{sc}) 22,5 mA/cm², coeficientul de umplere (FF) 0,7, puterea maximă (P_{max}) 11,9 mW/cm² și randamentul (η) 11,95%. Majorarea parametrilor fotoelectrici specificați este determinată de faptul că: CdS de grosime sub 10 μm are rolul de fereastră optică și conduce la diminuarea vitezei de recombinare la suprafața structurii. Aceasta se datorează faptului că lărgimea benzii interzise a compusului CdS (2,42 eV) și a InP (1,34 eV) asigură apariția câmpului electric, care se opune deplasării purtătorilor de sarcină minoritari spre suprafață și, respectiv, micșorează procesul de recombinare a lor. Astfel, stratul nCdS în structura nCdS-nInP-pInP-p⁺InP mai joacă și rolul de pasivator.

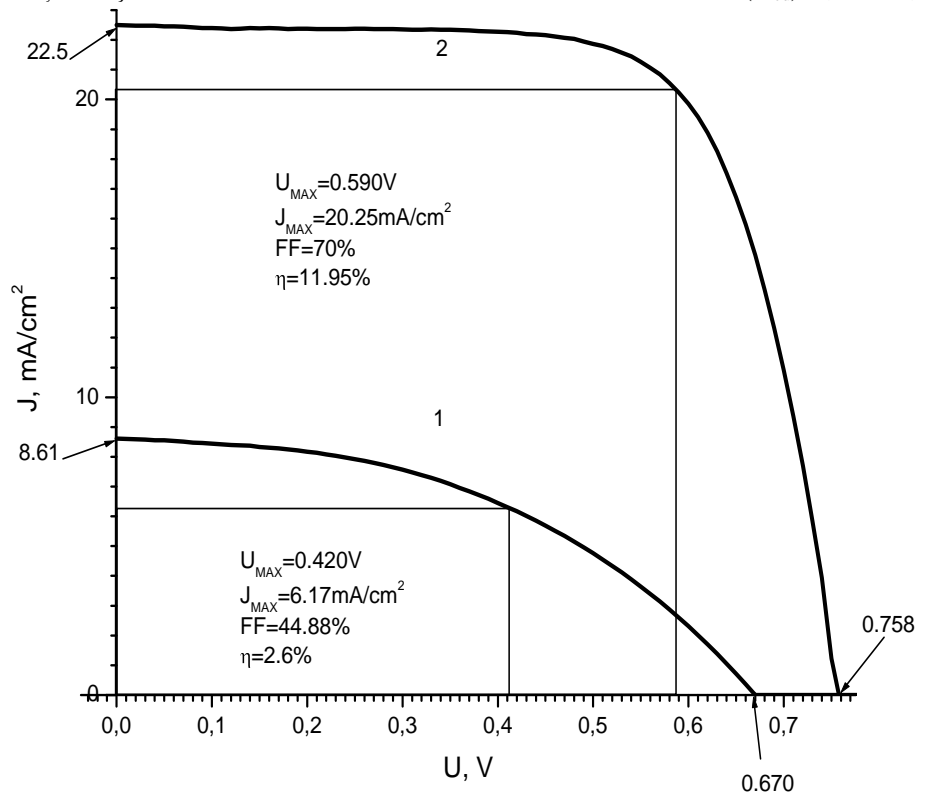


Fig.1. Caracteristica de sarcină a homojoncțiunii epitaxiale p⁺InP-pInP-n⁺InP cu (2) și fără (1) strat frontal nCdS. E=100 mW·cm⁻².

În afară de aceasta, în folosul acestui fenomen este și faptul că constantele rețelei cristaline a compușilor CdS și InP diferă doar cu cca 0,3%. Coeficientul ideal n determinat din dependența exponențială a curentului de tensiune la întuneric $I = I_o \exp \frac{eU}{kT}$, în care I_o – curentul de saturație, U – tensiunea aplicată la bornele homojoncțiunii, T – temperatura, k – constanta Boltzmann, constituie 1,85...2. Aceasta fapt indică la mecanismul generare-recombinare de trecere a curentului prin homojoncțiune. Valoarea densității curentului de saturație la întuneric, determinată din aceeași caracteristică, nu depășește (0,6...3) nA·cm⁻², ceea ce demonstrează că interfața homostructurii p⁺-p⁻-n⁻InP cu strat frontal nCdS este perfectă.

Depunerea pe suprafața homojoncțiunii p⁺InP-pInP-nInP a stratului frontal nCdS nu modifică tipul joncțiunii, ceea ce rezultă din caracteristica spectrală (Fig.2).

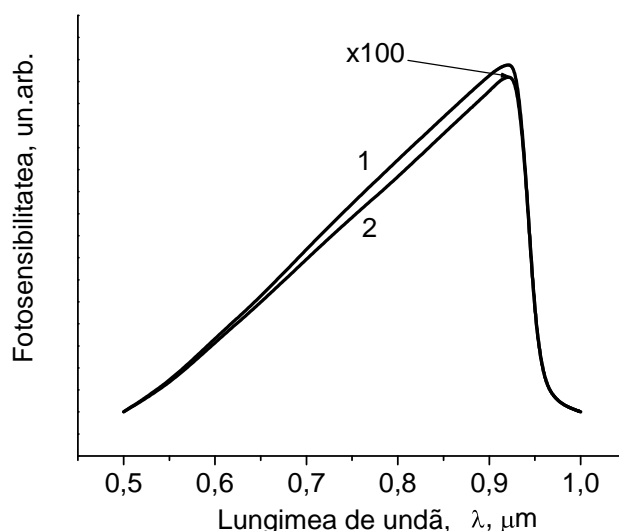


Fig.2. Caracteristica spectrală a homojoncțiunii epitaxiale p⁺InP-pInP-n⁺InP cu (1) și fără (2) strat frontal nCdS.

Fotosensibilitatea homostructurii cu strat frontal nCdS cuprinde intervalul lungimilor de undă 500...950 nm cu maximumul la 930 nm și este mai mare cu 2 ordine decât în cazul homostructurilor fără strat frontal nCdS. Căderea fotosensibilității în intervalul undelor lungi corespunde lărgimii benzii interzise în InP, iar în intervalul undelor scurte se datorează creșterii vitezei de recombinare la suprafață.

Concluzii

Au fost confecționate și cercetate proprietățile fotoelectrice ale homostructurilor p⁺InP-pInP-n⁺InP cu și fără strat frontal nCdS. S-a constatat că homostructura p⁺-p⁻-n⁻InP cu strat frontal nCdS are fotosensibilitatea cu două ordine mai mare, iar eficiența CS pe baza lor este de cca 12%. Acest fapt se datorează micșorării recombinării purtătorilor de sarcină minoritari la suprafață și particularităților proprietății structurii: mecanismul de trecere a curentului, valorile densității curentului de saturație și ale rezistenței în serie a contactului frontal. Eficiența CS din InP cu strat frontal nCdS poate fi majorată prin optimizarea parametrilor homojoncțiunii de tipul p⁺InP-pInP-n⁺InP.

Bibliografie:

1. BOTNARIUC, V.M., GORCHIAK, L.V., GRIGORIEVA, G.M., KAGAN, M.V. Radiation degradation of solar cells based on InP-CdS heterojunction. In: *Sol. Energy Materials*, 1990, no.20, p.359-365.
2. BOTNARIUC, V., GORCEAC, L., PLEȘCA, V. Particularități tehnologice la creșterea straturilor epitaxiale InP. În: *Analele Științifice ale USM. Seria „Științe fizico-matematice”*, 1999, p.79-83.
3. GORADIA, C., GEILER, J.V., WEINBERG, I. Modeling and desing of high efficiency radiation tolerant indium phosphide space solar cells. In: *19th IEEE Photovoltaic Spec. Conf.*, New Orleans, La, 4-8 Illay 1987. New York, 1987, p.937-943.

4. OKUZAKI, H., TAKAMOTO, T., KUKAMURA, H., KAMEI, T., URA, M. Production of indium phosphide solar cells for space power generation. In: *20th IEEE Photovoltaic Spec. Conf.*, Las Vegas, Nev., 26-30 Sept. 1988: Conf. Rec. vol.2. New York, 1988, p.886-892.
5. PLEȘCA, V. *Realizarea joncțiunilor semiconductoare pe baza fosfurii de indiu și cercetarea proprietăților foto-electrice*: Teză de doctor. Chișinău, 1996.
6. SPITZER, M.V., KEAVNEY, C.J., VERNON, S.M., HAREN, V.T. Junction formation techniques for indium phosphide solar cells. In: *19th IEEE Photovoltaic Spec. Conf.*, New Orleans, La, 4-8 May 1987, New York, 1987, p.146-152.
7. SHIBUKAWA, A., YAMAGUCHI, M., YAMAMOTO, A., UEMURA, C. Electron irradiation in n⁺-pInP solar cells. In: *17th IEEE Photovoltaic Spec. Conf.*, Kissimmee, Fla, 1-4 May, 1984, New York, 1984, p.905-909.
8. YADHIKAWA, S., SAKAI, Y. High efficiency n-CdS-p⁺InP solar cells prepared by the close/spaced technique. In: *Solid. State Electronics*, 1977, vol.20, p.133-137.

Notă: Lucrarea a fost elaborată în cadrul Proiectului instituțional 11.817.05.12A finanțat de către CSȘDT al AȘM.

Prezentat la 16.06.2013