

## CERCETAREA CELULELOR SOLARE CU HETEROJONCTIUNEA nCdS-pInP

**Leonid GORCEAC, Vasile BOTNARIUC, Simion RAEVSCHI,  
Andrei COVAL, Andrei CHITOROAGĂ**

LCȘ „Fizica Semiconductorilor”

Photoelectrical dependencies of nCdS-pInP solar cells, as a function of electro physical parameters, crystallographic orientation of InP substrate and of the deposition duration of the nCdS epitaxial for layer are presented. It was established that the maximum value of the efficiency of solar energy into electrical one is obtained for the holes concentration in the substrate of  $2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , crystallographic orientation (100) and layer growth duration of 25 min. The hetero structure parameters influencing the named dependencies are determined.

### Introducere

Actualitatea cercetării celulelor solare (CS) cu heterojoncțiunea nCdS-pInP este determinată de randamentul relativ înalt al conversiei energiei solare (~15%) și de rezistența sporită la influența fluxurilor de electroni și protoni în comparație cu CS obținute pe bază de Si și GaAs [1-2].

În lucrare sunt prezentate rezultatele cercetărilor parametrilor fotoelectrici ai CS nCdS-pInP în dependență de orientarea cristalografică și parametrii electrofizici ai substratului pInP. Concomitent sunt descrise și rezultatele influenței timpului de depunere a stratului epitaxial frontal nCdS asupra parametrilor CS confecționate.

### Metoda experimentului

Heterojoncțiunile nCdS-pInP pot fi obținute prin metoda volumului cvasiînchis [3], prin tehnologia depunerii straturilor frontale nCdS din surse separate sau prin evaporarea și condensarea compusului CdS în sistem deschis. Faptul că în prezenta lucrare a fost utilizată prima metodă – volumul cvasiînchis cu decurgerea procedurii tehnologice în flux de hidrogen – este determinat de autodoparea straturilor depuse din nCdS în procesul creșterii ce simplifică procedeul tehnologic de obținere a heterojoncțiunilor nCdS-pInP. Mecanismul autodopării straturilor epitaxiale CdS cu impurități donoare poate fi asigurat de defectele provocate de vacanțele de sulf ce se manifestă ca defecte electrice active sau de atomii de In ce difundează din substratul InP, substituind Cd în rețeaua cristalină a compusului CdS. Ultima variantă poate fi cea mai probabilă, ținându-se cont de valorile razelor covalente ale In și Cd ( $R_{\text{In}}(1,44 \text{ \AA}) < R_{\text{Cd}}(1,48 \text{ \AA})$ ), precum și ale P și S ( $R_{\text{P}}(1,1 \text{ \AA}) < R_{\text{S}}(1,04 \text{ \AA})$ ).

Heterostructurile nCdS-pInP au fost obținute utilizând plachete monocristaline din pInP cu grosimea 450...500  $\mu\text{m}$ , tăiate din lingouri crescute prin metoda Czochralsky și parametri fizici prezentați în Tabel.

**Tabel**

Substratul	Orientarea cristalografică	Concentrația purtătorilor de sarcină, $p, \text{ cm}^{-3}$	Rezistența specifică, $\rho, \Omega \cdot \text{cm}$	Mobilitatea purtătorilor de sarcină, $\mu, \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
InP	(100)	$(2 \dots 100) \cdot 10^{16}$	0,02...6,3	50...140
	(111)A	$(4 \dots 40) \cdot 10^{16}$	0,23...1,28	99...123

Înainte de desfășurarea procedurii de creștere a straturilor nCdS, substraturile pInP au fost supuse polierii mecanice urmate de spălarea în degresanți și apă deionizată, corodării chimice (folosind corodantul  $\text{CH}_3\text{COOH}:\text{HClO}_4:5\text{HNO}_3:\text{HCl}$ ), corodării în vapori  $\text{H}_2+\text{HCl}$ .

În calitate de sursă s-a folosit compusul nCdS cu marca TY MXJI 2718-63 resublimat.

Regimul de creștere: gradientul de temperatură între sursă și substrat – (80...100)°C; debitul fluxului de  $\text{H}_2$  – 500  $\text{cm}^3/\text{min}$ ; durata proceselor de creștere a straturilor nCdS variază în intervalul de 10...60 minute. Suprafața totală a substratului pInP a variat între 1...5  $\text{cm}^2$ .

Parametrii electrici ai stratului frontal crescut nCdS au fost determinați prin metoda Van-der-Pau, utilizând substraturi InP semiizolatoare –  $\rho \sim 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ .

Contactele ohmice au fost depuse prin metoda evaporării termice în vid, utilizând In sau Ag pentru stratul frontal nCdS și aliajul (0,95Ag+0,05Zn) pentru substratul pInP. Temperaturile tratamentului termic al contactelor efectuat în flux de  $\text{H}_2$  a constituit 250°C (In) și 400°C (Ag sau 0,95Ag+0,05Zn).

### Rezultatele obținute și analiza lor

În Figura1 sunt prezentate caracteristicile de sarcină și de putere maximă ale CS nCdS-pInP cu structura strat-substrat obținute în condițiile AM0 ( $E=1360 \text{ W/cm}^2$ ).

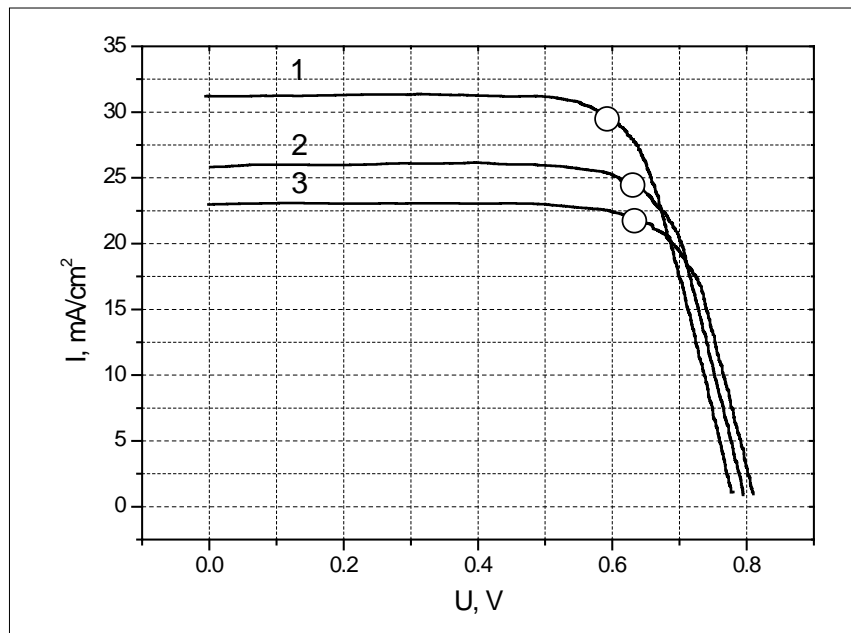


Fig.1. Caracteristica de sarcină a CS nCdS-pInP (AM0).

$p$ , cm<sup>-3</sup>: 1 –  $2 \cdot 10^{16}$ ; 2 –  $6 \cdot 10^{16}$ ; 3 –  $3 \cdot 10^{17}$ .

$P_{\max}$ , W·m<sup>-2</sup>: 1 – 165,8; 2 – 156,0; 3 – 138,0.

Observăm că curentul de scurtcircuit maxim  $I_{sc} = 30,4$  mA·cm<sup>-2</sup> se obține pentru gradul de dopare a substratului  $p = 2 \cdot 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>. În acest caz, tensiunea de circuit deschis  $U_{cd} = 0,785$  V, coeficientul de umplere a caracteristicii de sarcină  $FF=0,69$ , iar eficiența conversiei energiei solare  $\eta = 12\%$ . Creșterea concentrației golurilor în substrat, la aplicarea aceleiași tehnologii de obținere a heterostructurii nCdS-pInP, conduce la micșorarea curentului  $I_{sc}$ , cauza fiind diminuarea domeniului sarcinii spațiale ( $W$ ) de la 117 nm pentru  $p = 5 \cdot 10^{16}$  cm<sup>-3</sup> la 75 nm pentru  $p = 3 \cdot 10^{17}$  cm<sup>-3</sup> ( $W$  s-a determinat din caracteristicile C-U ale structurilor). Dependența  $I_{sc}$  de nivelul de dopare a substratului în intervalul  $(6 \dots 300) \cdot 10^{16}$  cm<sup>-3</sup> se confirmă și de diminuarea fotosensibilității CS nCdS-pInP în intervalul spectrului cu lungimi de undă lungi – de la cca  $500 \mu\text{A} \cdot \text{mW}^{-1}$  până la cca  $180 \mu\text{A} \cdot \text{mW}^{-1}$ .

În Figura 2 sunt prezentate dependențele  $I_{sc}$ ,  $U_{cd}$ ,  $FF$  și ale eficienței CS nCdS-pInP de concentrația golurilor în substrat pentru aceleași condiții ale luminii incidente.

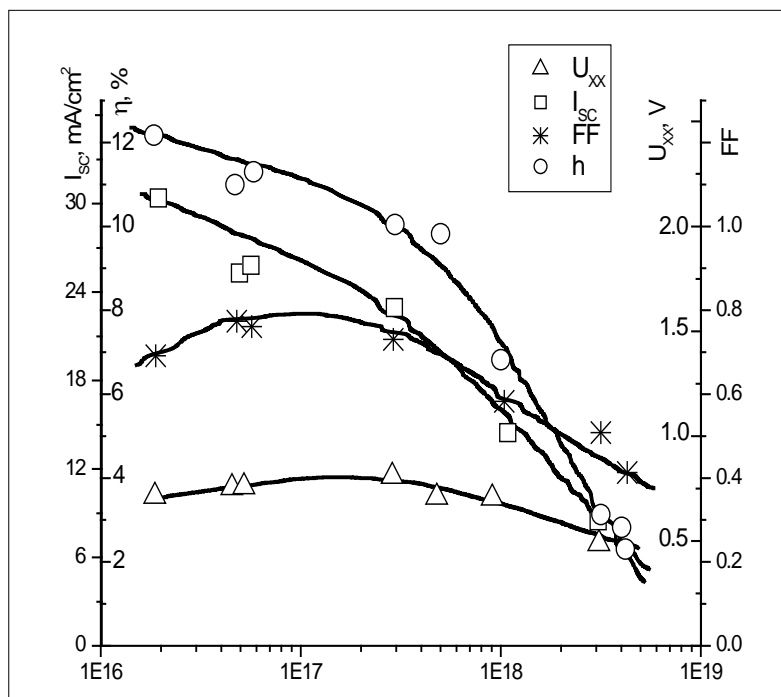


Fig.2. Dependența parametrilor fotoelectrici ai CS nCdS-pInP de concentrația golurilor în substrat (AM0).

Observăm că majorarea concentrației golurilor în substratul pInP în intervalul  $p = 2 \cdot 10^{16} \dots 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  conduce la majorarea neesențială a tensiunii de circuit deschis, respectiv de la 0,793 V până la 0,807 V. Această majorare ( $\Delta U_{cd} = 14 \text{ mV}$ ) poate fi legată de schimbarea potențialului de difuzie la interfață: 1,12 V pentru  $p = 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  și 1,25 V pentru  $p = 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Constatăm că pInP cu concentrația golurilor mai mică complică obținerea contactelor cu rezistență mică, ceea ce influențează negativ asupra parametrului FF. Cu adevărat, parametrul FF se micșorează de la 0,76 pentru  $p = 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  la 0,69 pentru  $p = 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Utilizarea substraturilor pInP cu concentrația golurilor de cca  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  conduce la diminuarea mai pronunțată a parametrilor energetici ai CS nCdS-pInP legată de majorarea lățimii domeniului sarcinii spațiale în nCdS și de diminuarea colectării purtătorilor de sarcină din pInP. Din dependența spectrală a fotosensibilității observăm că: pInP joacă rolul principal în formarea fotocurentului; pentru pInP cu  $p \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$   $U_{cd} = 0,760 \text{ V}$ ,  $I_{sc} = 21 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,  $FF = 0,57$ ,  $\eta = 6,7\%$ . Creșterea concentrației golurilor în pInP ( $> 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) conduce la diminuarea de mai departe a parametrilor CS nCdS-pInP confecționate:  $U_{cd} = 0,546 \text{ V}$ ,  $I_{sc} = 12,3 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,  $FF = 0,64$ ,  $\eta = 3,2\%$ . Așa micșorare a parametrilor poate fi legată cu creșterea proceselor de recombinare ce rezultă din majorarea parametrului  $n$  în expresia  $I = I_L - I_0(\exp eV/nkT - 1)$ , precum și a curentului de saturație  $I_0$ . Cercetarea caracteristicilor C-U ale structurilor nCdS-pInP la întuneric demonstrează că în cazul substratului pInP cu  $p = 5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$   $I_0 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ , iar pentru  $p = 3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$   $I_0 = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$ .

Optimizarea parametrilor CS nCdS-pInP cu structura p-n include și selectarea convenabilă a orientării cristalografice a substratului pInP. În conformitate cu datele prezentate în Tabel, au fost utilizate substraturi cu orientarea cristalografică (100) și (111)A. S-a constatat că conductibilitatea electrică ( $\sigma$ ) a stratului epitaxial crescut nCdS în primul caz variază în intervalul  $700 \dots 1140 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ , iar în al doilea –  $30 \dots 70 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Respectiv, rezistența specifică a straturilor nCdS crescute pe substraturi pInP cu orientarea cristalografică (100) este mai mică decât în cazul celor crescute pe planul cristalografic (111), ceea ce, probabil, este legat de viteza de creștere diferită. Aceasta se confirmă și de valoarea coeficientului de umplere a caracteristicii de sarcină, care este mai mare (0,72...0,75) pentru CS obținute în cazul direcției cristalografice (100) și, respectiv, a randamentului CS (12%).

După cum s-a menționat, a fost cercetată și influența timpului de creștere a stratului frontal nCdS asupra parametrilor CS nCdS-pInP, care a variat de la 10 până la 60 minute. Din Figura 3 observăm că parametrii energetici ai CS sunt maximi în cazul CS cu durata de creștere a stratului nCdS de 25 minute, ceea ce, probabil, asigură o grosime și o morfologie optimă a stratului CdS crescut. În acest caz,  $U_{cd} = 0,804 \text{ V}$ ,  $I_{sc} = 24,9 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,  $FF = 0,79$ ,  $\eta = 11,7\%$ .

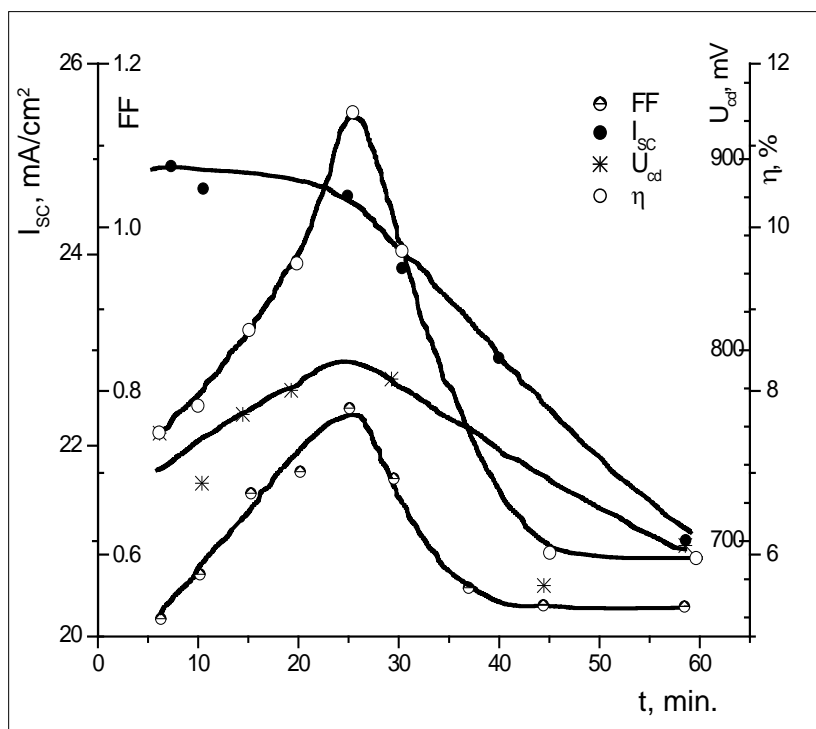


Fig.3. Dependența parametrilor fotoelectrici ai CS nCdS-pInP de durata de creștere a stratului frontal (CdS).

Figura 4 denotă că curba fotosensibilității în regiunea lungimilor de undă lungi ale spectrului nu se însoțește de schimbări cu majorarea timpului de creștere a straturilor nCdS – (6...60 minute), fiind limitată de pragul de absorbție a fotonilor în pInP.

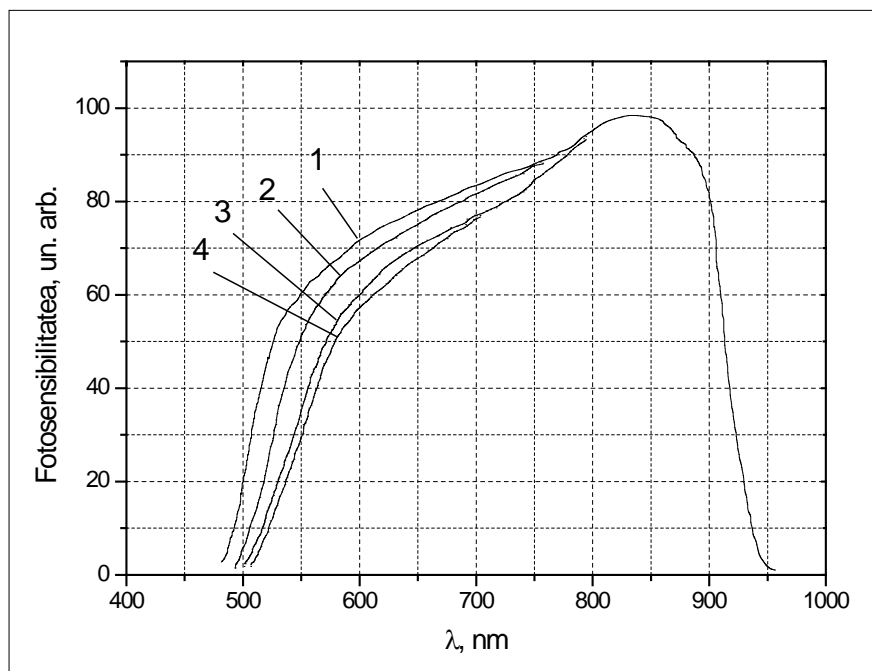


Fig.4. Dependenta fotosensibilității CS nCdS-pInP de durata de creștere a stratului frontal (CdS).  
minute: 1 – 6; 2 – 15; 3 – 45; 4 – 60.

Cu micșorarea timpului de creștere a stratului nCdS curba fotosensibilității are tendința de a se extinde în regiunea de unde scurte a spectrului. Valoarea absolută maximă a fotosensibilității este de cca  $450 \mu\text{A}\cdot\text{mW}^{-1}$  pentru CS nCdS-pInP cu durata de creștere a stratului frontal de 6-25 minute. Majorarea ultimului conduce la diminuarea fotosensibilității absolute a CS confecționate.

### Concluzii

✓ Cercetarea dependenței parametrilor fotoelectrici și a fotosensibilității CS nCdS-pInP de concentrația gurilor în substraturile pInP a demonstrat că valorile lor maxime se obțin pentru  $p \sim 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Aceasta se datorează diminuării domeniului sarcinii spațiale cu majorarea concentrației gurilor în substrat și minimizării proceselor de recombinare a purtătorilor de sarcină minoritari.

✓ Substraturile pInP cu orientarea cristalografică (100) permit obținerea CS nCdS-pInP cu eficiența majorată față de cele crescute pe direcția cristalografică (111), drept urmare a rezistenței în serie mai reduse.

✓ Lucrările de optimizare a timpului de creștere a stratului nCdS demonstrează că parametrii energetici ai CS nCdS-pInP –  $U_{cd}$ ,  $I_{sc}$ , FF,  $\eta$  și fotosensibilitatea sunt mai avansați pentru durata de creștere de 25 minute. Aceasta se datorează vitezei de creștere și morfologiei stratului nCdS mai convenabile.

### Referințe:

1. Himrane F., Pearsall N., Hill R. High efficiency indium phosphide solar cells with thermally evaporated cadmium sulphide window layers // 18 th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., Las Vegas, Nev., Oct. 21-25 1985. – New York, 1985, p.338-343.
2. Botnariuc V., Gorceac L. et al. Radiation degradation on solar cells based on InP-CdS heterojunctions // Solar Energy Materials. -1990. – Vol.20. – P.355-361.
3. Горчак Л., Руссу Э., Киторога А., Коханюк М., Гилан М. Солнечные элементы на основе гетероперехода InP-CdS с  $p^+p-n^+$ -структурой // Журнал Технической Физики. – 1983. – №53. – Том.1. – С.199-201.
4. Raevschi S., Gorceac L., Gaugaș P., Coval A. Obținerea și cercetarea straturilor subțiri cu nCdS // Analele Științifice ale Universității de Stat din Moldova. Seria „Științe fizico-matematice”. –2001. – P.209-211.

**Notă:** Lucrarea a fost efectuată în cadrul Proiectului instituțional 06.408.039F.

Prezentat la 25.09.2009