

# Proprietățile electrice ale celulei fotovoltaice cu joncțiune reliefată fabricată prin HVPE

Simion BARANOV  
CȘI Informinstrument  
[sbaranov2002@yahoo.com](mailto:sbaranov2002@yahoo.com)

Leonid GORCEAC, Boris CINIC  
Universitatea de Stat din Moldova  
[lgorceac@yahoo.com](mailto:lgorceac@yahoo.com)

**Abstract** – In this report we are represented the electro-physical properties of the photovoltaic cell with single relief junction fabricated on gallium arsenide substrate by HVPE method. This cell have the shunt resistance of 3.8 time bigger then the plane one, that it demonstrates the decrease of energy losses on the cell surface. It increases the efficiency of charges gathering (78 % of the full coefficient). It was used the AFM and RAMAN methods of investigation.

**Index terms** – gallium arsenide, hydride vapor phase epitaxy, single relief p-n junction.

## I. INTRODUCTION

Actualmente energia solară concentrată (ESC) este utilizată în proiecte, de regulă, prin transformarea ei în căldură și transmiterea acesteia unui agent termic, care transportă căldura la locul destinat pentru utilizare. Căldura este consumată în dependență de potențialul termodinamic al agentului termic în tehnologii industriale, sau este transformată în energie electrică, de exemplu, prin turbina de abur atunci, când potențialul termodinamic este mare [1]. Dacă potențialul termodinamic este mic, căldura poate fi utilizată pentru încălzirea spațiilor comerciale, încăperilor rezidențiale etc. Transformarea directă a ESC în energie electrică prin utilizarea efectului fotovoltaic prezintă o direcție nouă în elaborarea elementelor solare de eficiență înaltă [2].

Indice important la evaluarea eficienței economice a sistemului fotoelectric de conversie a energiei solare reprezintă mărirea cheltuielilor făcute consumate la producerea unui vat putere de vârf a panoului fotovoltaic. În ultimii ani un șir de laboratoare lucrează la elaborarea celulei solare de tip nou destinate pentru utilizare în condițiile fluxului de lumină concentrat. Elementele solare efective pot avea un cost mare, dar costul lor poate fi compensat (echilibrat) cu diminuarea cheltuielilor de producere din contul dezvoltării puterii de ieșire a elementului solar, de exemplu, prin utilizarea a sistemelor optice de concentrare a radiației solare însă doar cu o condiție, ca costul acestor sisteme și a utilajului de orientare a panoului spre soare să constituie o rată neînsemnată în costul sistemului integrat.

Randamentul termodinamic de conversie a radiației solare în lucru util depășește 87% [2]. Dar distribuția pierderilor energetice în celula solară utilizată în sistemele fotovoltaice [3] demonstrează, că dispozitivele fotovoltaice conțin zone cu pierderi interne, care variază în funcție de intensitatea radiației. De exemplu, celula cu multi-joncțiuni pentru menținerea eficienței înalte de conversie a puterii în toate sub-celulele

este important de asigurat ca toate joncțiunile să rămână la același nivel de deschidere pentru curentul posibil. Celula solară cu găuri cuantice la un nivel înalt de concentrare a luminii (>200x) devine radiativă și din această cauză efectele fotonice nu pot fi exploatate pentru creșterea eficienței celulei solare. Astfel, eficiența joncțiunii unitare cu găuri cuantice din GaAsP/InGaAs demonstrează valoarea de vârf de 28,3% obținute la concentrația luminii 535x [3].

În acest raport noi prezentăm cercetarea proprietăților electro-fizice a celulei fotovoltaice cu o singură joncțiune reliefată [4] fabricată prin metoda HVPE [5] pe substrat din oxid de galiu. Scopul final al cercetărilor este înlocuirea substratului semiconductor de arseniură de galiu (GaAs) cu substrat metalic la fabricarea celulelor solare prin tehnologie epitaxială.

## II. EXPERIMENTE

### 2.1. Tehnologia joncțiunii p-n reliefată din GaAs

Dispozitivul semiconductor cu p-n joncțiune reliefată a fost confecționat pe plachete industriale de GaAs tip AGZn-30b dopate cu zinc la concentrația  $p^+ = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  în calitate de substrat pentru formarea structurii CFV. Pe substrat a fost crescut primul strat epitaxial planar de GaAs cu concentrația  $p^0 = 4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  și grosimea 7  $\mu$  prin utilizarea tehnologiei cu transport de reacții în sistemul Ga – AsCl<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>. Suprafața plană a primului strat epitaxial a fost transformată în suprafață cu multiple microdefecte prin tratament chimic în soluție acidă apoi tratat termic în reactor la temperatura 320°C timp de 5 min. Structura obținută din substrat și primul strat epitaxial cu suprafața tridimensională a fost introdusă în instalația de epitaxie și conform regimului de depunere a fost crescut stratul doi epitaxial de GaAs dopat cu telur la concentrația purtătorilor de sarcină  $n^+ = 19^{19} \text{ cm}^{-3}$  cu grosimea de 3  $\mu$ . Astfel crescut, al doilea strat epitaxial cu microstructura prezentată în fig. 1 are o suprafață

tridimensională texturată cu pas de 2 – 2,3 μ și înălțimea de 80-180 nm, formând unghiul de vârf până la 120°.

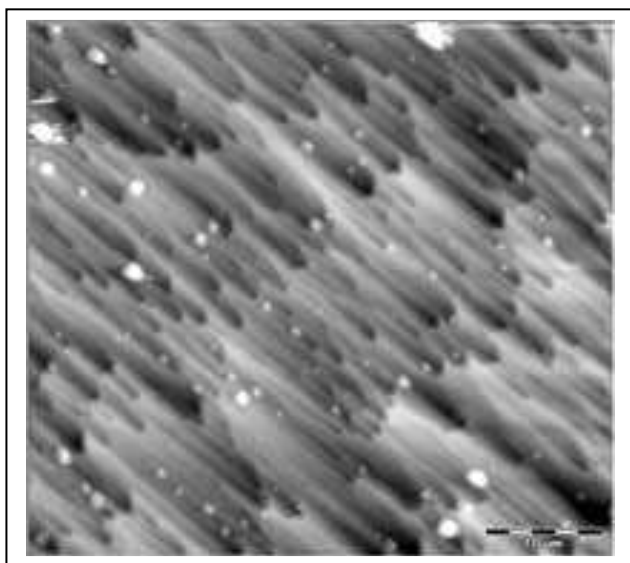


Fig. 1. Imagina AFM a stratului epitaxial reliefat de GaAs.

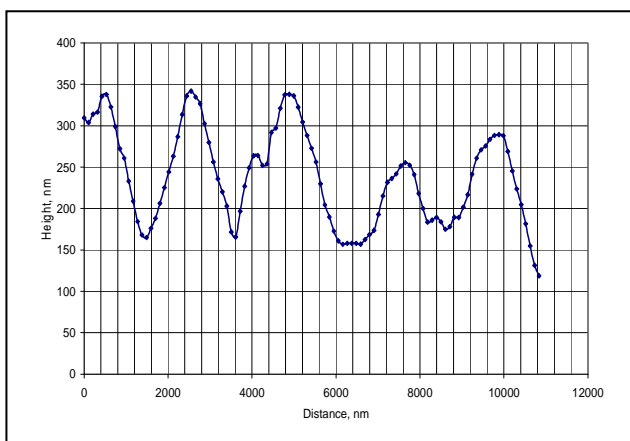


Fig. 2. Secțiunea transversală a stratului epitaxial reliefat de GaAs măsurat la MEF

Micro-relieful de pe suprafață schimbă și parametrii optici ai stratului. Spectrul de reflecție a GaAs micro-reliefat pentru patru valori a unghiului de incidență este prezentat în fig.3. După cum se observă din desen, în intervalul spectral 0,54-1,22 μ practic toate razele incidente perpendiculare ( $\alpha=0$ ) pe suprafața micro-reliefată sunt absorbite de stratul GaAs (reflecție 0,08-0,12%). Razele cu unghiul de incidență  $\alpha=5^\circ$  sunt reflectate de suprafață mai intensiv în tot intervalul spectral, crescând spre intervalul infraroșu de la 1,06% până la 2,59%. Un salt maximal al energiei reflectate se observă la unghiul de incidență  $\alpha=7^\circ$  (11,06% la  $\lambda=0,65 \mu$  și 39,05% la  $\lambda=1,12 \mu$ ). Creșterea unghiului de incidență în continuare ( $\alpha=10^\circ$ ) duce spre diminuarea energiei reflectate.

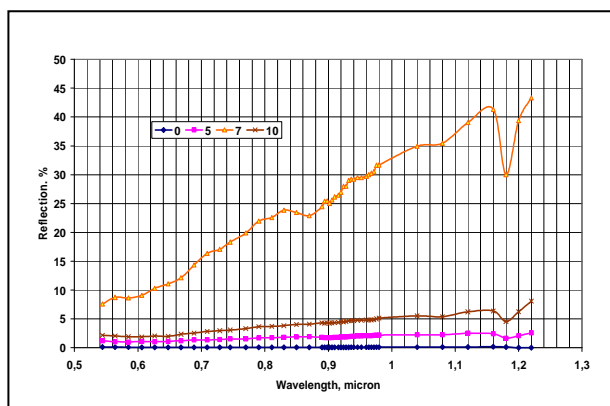


Fig. 3. Spectrul de reflecție a stratului GaAs reliefat în dependență de unghiul  $\alpha$  dintre raza incidentă și axa perpendiculară pe suprafața stratului ( $\alpha = 0, 5, 7$  și  $10^\circ$ ).

## 2.2. Verificarea structurii.

Metoda spectrală RAMAN a fost utilizată pentru verificarea structurii straturilor obținute la confecționarea celulei solare cu joncțiunea p-n reliefată. Rezultatul testelor este prezentat în tabela 1.

TABELA I. SPECTRE DE DIFUZIUNE COMBINATA ALE SUBSTRATULUI DIN GAAS,  $P_0 = 10^{18} \text{ CM}^{-3}$ , STRATULUI OXIDULUI DE GALIU ȘI STRATULUI EPITAXIAL EPITAXIAL GAAS CRESCUT PE STRATUL DE OXID,  $P_0 = 10^{18} \text{ CM}^{-3}$ .

Stratul testat	Bandă de difuziune combinată, $\text{cm}^{-1}$ .						
	113,093	123,635	193,770	-	-	273,590	296,656
Substrat GaAs, $10^{18} \text{ cm}^{-3}$	-	120,123	-	203,136	260,852	270,674	296,656
Epitaxial GaAs pe oxid de galiu, $10^{18} \text{ cm}^{-3}$	112,590	123,635	193,251	-	-	272,981	296,656

Analiza datelor din tabelă demonstrează că tehnologia HVPE permite creșterea straturilor epitaxiale perfecte și pe substrat de oxid propriu al GaAs. Benzile de difuziune combinată 123,635 și 296,656 ale substratului de GaAs și a stratului epitaxial obținut pe oxid de galiu coincid perfect. Dar benzile 113,093; 193.770 și 273.590 ale substratului sunt reflectate în stratul epitaxial cu mică diminuare a lungimii de undă. Motivele diminuării pot fi câteva la număr, care cer o cercetare mai profundă. În primul rând creșterea epitaxială a stratului GaAs pe substrat reliefat poate provoca defecte a rețelei cristaline și respectiv deplasa banda energetică a spectrului. Aceste defecte ar putea dispărea odată cu mărirea grosimii stratului epitaxial. În al doilea rând benzile energetice 203.136 și 260.851, caracteristice oxidului de galiu ar putea cauza deplasarea spectrului RAMAN a stratului epitaxial.

În continuare vom cerceta caracteristica curent-tensiune (I-V) a joncțiunii p-n reliefate în condițiile de creștere a structurii epitaxiale indicate mai sus.

### 2.3. Testarea celulei fotovoltaice texturate.

Suprafața CFVT obținute este de  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ . CFVT a fost testată la emițătorul de radiație solară ST-1000. Rezultatele testării în comparație cu parametrii CFV planare din GaAs sunt prezentate în tabelă.

TABELA II. PARAMETRII CFVT ÎN COMPARAȚIE CU CFV CLASICĂ ȘI (AM1)

Parametrul	CFVT	CFV
Randamentul, %	1,2	19
Densitatea curentului scurt circuit, $\text{mA/cm}^2$	2,7	24,7
Tensiunea optimă, V	0,475	0,475
Rezistența de șunt, $\text{Om/cm}^2$	3706	669
Rezistența consecutivă, $\text{Om/cm}^2$	52,547	0,01
Coeficientul de umplere a CVA, %	78,8	76,2

Joncțiunea p-n reliefată este mai aproape de domeniul semiconductorului care generează purtători de sarcină la acțiunea luminii, astfel este stimulată creșterea eficienței de colectare a purtătorilor (privește coeficientul de umplere 78,8%).

2. CFVT are rezistența de șunt de 3,8 ori mai mare decât CFV planară ce demonstrează reducerea pierderilor de energie pe suprafață, care se datorează slăbirii efectului de recombinare a purtătorilor de sarcină pe suprafață în lipsa straturilor optice antireflectorii.

3. Densitatea curentului în CFVT este determinată de parametrii electrofizici și cei constructivi ai primului strat epitaxial ca componentă esențială la formarea rezistenței consecutive a dispozitivului. Optimizarea parametrilor acestui strat la parametrul rezistența specifică de la  $52,5 \text{ Om/cm}^2$  la  $1 \text{ Om/cm}^2$  conduce la creșterea intensității curentului până la  $80 \text{ mA/cm}^2$ .

4. Dispozitivul semiconductor cu p-n joncțiune reliefată în varianta constructivă de convertizor de redresare a curentului se caracterizează prin fiabilitate sporită datorită omogenității câmpului electric pe toată suprafața p-n joncțiunii și diminuării intensității curentului electric în polarizare directă cauzată de extinderea suprafeței joncțiunii reliefate.

5. Temperatura de lucru a dispozitivelor semiconductoare din GaAs pot atinge valorile 260 – 300 °C.

## III. REZULTATE EXPERIMENTALE

### 3.1. Caracteristica J-V.

Caracteristica curent-tensiune poate fi exprimată folosind următoarea ecuație [6]:

$$J = J_s \{ \exp [q(V - J R_s A) / nkT] - 1 \} + (V - J R_s A) / R_{PH} A - J_{PH}$$

Unde  $J_s$  este densitatea curentului saturat,  $q$  este încărcătura electrică,  $n$  este factorul idealității,  $k$  este constanta Boltzmann,  $T$  este temperatura absolută,  $R_s$  este rezistența de serie,  $R_{SH}$  este rezistența de șunt,  $A$  este suprafața activă a celulei și  $J_{PH}$  este fotocurentul.

La deplasarea negativă sau pozitivă joasă curentul este influențat de rezistența de șunt. La deplasarea pozitivă intermediară calitatea diodei poate fi determinată de comportarea exponențială a caracteristicii J-V. La

deplasarea pozitivă înaltă curentul este limitat de rezistența de serie. La întuneric, când rezistența de șunt este extinsă, ecuația de mai sus poate fi simplificată prin următoarea [6]:

$$J = J_s \exp [q(V - J R_s A) / nkT] \quad (2)$$

Graficul J-V și semi-logaritmic J-V la întuneric este prezentat în figura 4 și figura 5 respectiv.

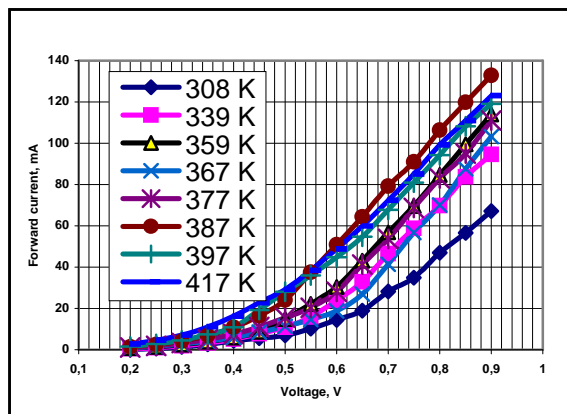


Fig.4. Caracteristica la întuneric curent-tensiune a CFVT.

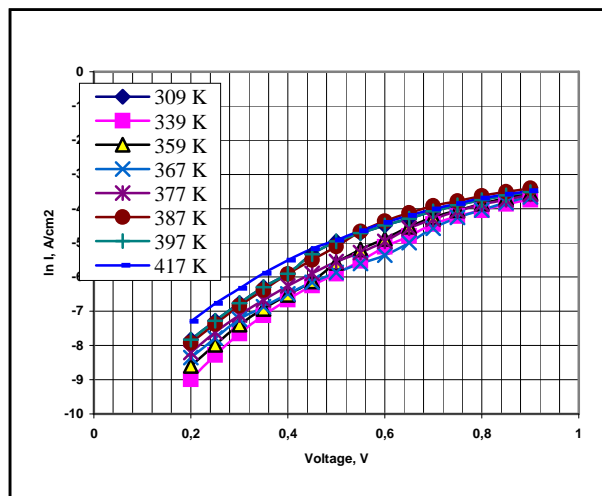


Fig.5. Caracteristica semi-logaritmică la întuneric J-V.

În regim liniar a caracteristicii J-V la întuneric și tensiune pozitivă intermediară indică o relație exponențială între densitatea curentului și tensiune. Valoarea coeficientului  $n$  și curentului  $J_s$  poate fi extrasă din acest regim.

## IV. CONCLUZII

Experiențele tehnologice în cadrul acestei cercetări au demonstrat că metoda de epitaxie a GaAs cu transport de reacții în sistemul Ga-AsCl<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> este valabilă și la creșterea straturilor epitaxiale pe suport cu multiple defecte pe suprafață, care servesc în procesul tehnologic drept centre de cristalizare. Dezvoltarea acestei tehnologii în direcția diminuării dimensiunilor texturii stratului

epitaxial până la apariția efectelor cuantice poate duce la o creștere esențială a eficienței de conversie a CFV.

Experimentele efectuate demonstrează următoarele:

1. Joncțiunea p-n reliefată este mai aproape de domeniul semiconductorului care generează purtători de sarcină la acțiunea luminii, astfel este stimulată creșterea eficienței de colectare a purtătorilor (privește coeficientul de umplere 78,8%).

2. CFVT are rezistența de șunt de 3,8 ori mai mare decât CFV planară ce demonstrează reducerea pierderilor de energie pe suprafață, care se datorează slăbirii efectului de recombinare a purtătorilor de sarcină pe suprafață în lipsa straturilor optice antireflectorii.

3. Densitatea curentului în CFVT este determinată de parametrii electrofizici și cei constructivi ai primului strat epitaxial ca componentă esențială la formarea rezistenței consecutive a dispozitivului. Optimizarea parametrilor acestui strat la parametrul rezistența specifică de la 52,5 Om/cm<sup>2</sup> la 1 Om/cm<sup>2</sup> conduce la creșterea intensității curentului până la 80 mA/cm<sup>2</sup>.

4. Temperatura de lucru a dispozitivelor semiconductoare din GaAs pot atinge valorile 300 °C.

#### REFERINȚE

- [1] Solar power tower. 2007 The PS10 european commercial thermal solar power. [www.solarpaces.org](http://www.solarpaces.org)
- [2] Chopra K. L., Das S. R. Thin Film Solar Cells. New York, London, Plenum Press, 1983.
- [3] Ekins-Daukes N J, Lee K-H, Hirst L, Chan A, Fuhrer M, Adans J, Browne B, Barnham K W J, Stavrinou P, Connolly J, Roberts J S, Stevens B, Airey R, and Kennedy K 2013 Controlling radiative loss in quantum well solar cells. J. Phys. D: Appl. Phys. 46 (2013) 264007 (8pp) doi:10.1088/0022-3727/46/26/264007
- [4] Baranov S., Cinic B., Gorceac L. Dispozitiv semiconductor cu joncțiune p-n reliefată (variante). MD Patent Document nr. 4182, MD-BOPI, 9/2012, pp. 23-24.
- [5] Baranov S., Cinic B., Gorceac L. Procedeu de fabricare a dispozitivului semiconductor cu joncțiune p-n în relief (variante). MD Patent Document nr.4261, MD-BOPI, 12/2013, pp. 21-23
- [6] Sze S M. Physics of semiconductor devices. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 1981.