

CONVERTOARE FOTOVOLTAICE  $\text{TiO}_2/p\text{-CdTe}$  ȘI  $\text{TiO}_2/n\text{-CdSe}$ 

Petru DUMITRIU, Tamara POTLOG

Universitatea de Stat din Moldova

În această lucrare este descris procesul de fabricare și proprietățile fotoelectrice ale convertoarelor fotovoltaice bazate pe structurile  $\text{TiO}_2/\text{CdSe}$  și  $\text{TiO}_2/\text{CdTe}$ . Cele mai bune valori ale tensiunii circuitului deschis și ale densității curentului de scurtcircuit pentru structura  $\text{TiO}_2/\text{CdSe}$  sunt 0,43 V și, respectiv, 9,12  $\text{mA}/\text{cm}^2$ , iar pentru dispozitivul cu CdTe – 0,59 V și 9,5  $\text{mA}/\text{cm}^2$ , respectiv. Eficiența cea mai ridicată pentru structura  $\text{TiO}_2/\text{CdSe}$  este de 1,63%, iar pentru  $\text{TiO}_2/\text{CdTe}$  – de 1,98%.

**Cuvinte-cheie:** straturi  $\text{TiO}_2$ , CdTe, CdSe, parametri fotovoltaici, eficiență cuantică externală.

 **$\text{TiO}_2/p\text{-CdTe}$  AND  $\text{TiO}_2/n\text{-CdSe}$  PHOTOVOLTAIC DEVICES**

This paper describes the fabrication process and photoelectrical properties of thin film photovoltaic devices based on  $\text{TiO}_2/\text{CdSe}$  and  $\text{TiO}_2/\text{CdTe}$  structures. The best open circuit voltage and the current density achieved for photovoltaic devices with CdSe reaches 0.43 V and 9.12  $\text{mA}/\text{cm}^2$ , but for devices with CdTe 0.59 V and 9.5  $\text{mA}/\text{cm}^2$ , respectively. The highest efficiency achieved for  $\text{TiO}_2/\text{CdSe}$  photovoltaic devices is 1.63%, for  $\text{TiO}_2/\text{CdTe}$  – 1.98%.

**Keywords:**  $\text{TiO}_2$ , CdTe, CdSe thin films, photovoltaic parameters, external quantum efficiency.

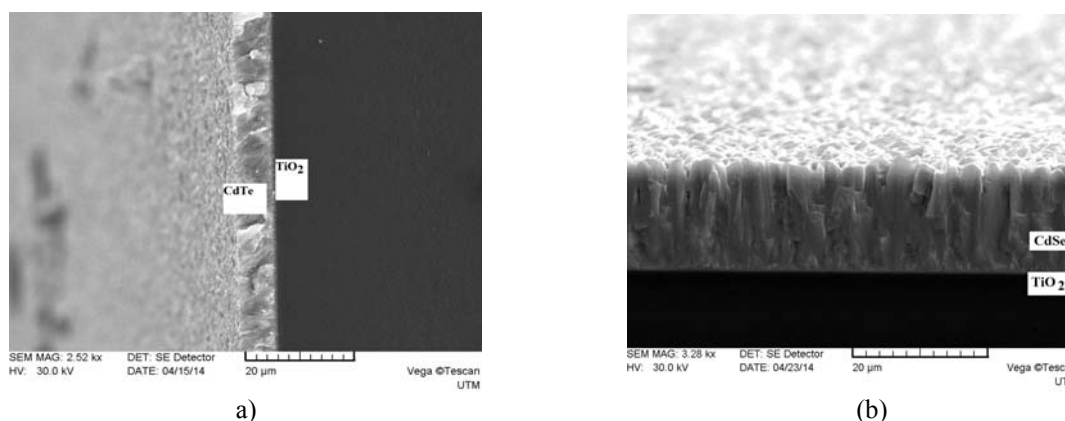
Obținerea în volum cvasiînchis a straturilor subțiri pe baza compușilor binari s-a realizat în două reac-toare, care permit creșterea straturilor de CdSe și CdTe. Ca substraturi pentru depunerea straturilor CdSe și CdTe pentru realizarea celulelor solare au fost folosite plăchete de sticlă cu suprafața de 2x2 cm, acoperite cu strat de  $\text{TiO}_2$ . Straturile de  $\text{TiO}_2$  după depunere prin pulverizare catodică erau tratate în flux de  $\text{H}_2$  la diferite temperaturi. Rezistența stratului și efectul Hall au fost măsurate cu ajutorul metodei proba cu patru contacte. Valorile măsurate ale conductanței electrice specifice și ale concentrației purtătorilor de sarcină la 295 K pentru straturile subțiri de  $\text{TiO}_2$  sunt prezentate în Tabelul 1. Straturile de  $\text{TiO}_2$  tratate la temperaturi mici aveau rezistența prea mare pentru a putea fi măsurată cu ajutorul metodei proba cu patru contacte. După cum putem vedea din Tabelul 1, straturile își modifică rezistența la temperatura de tratare termică mai mare ca 400°C.

Tabelul 1

Parametrii electrici ai straturilor de Nb- $\text{TiO}_2$  tratate în atmosferă de  $\text{H}_2$ 

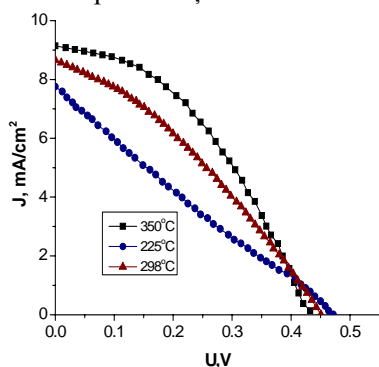
$T^\circ\text{C}$	$\rho, \Omega\cdot\text{cm}$	$\delta, (\Omega\cdot\text{cm})^{-1}$	$\mu, \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$	$n, \text{cm}^{-3}$
420°C	0,74	1,34	3,4	$2,4 \cdot 10^{18}$
460°C	0,4	2,5	0,13	$1,7 \cdot 10^{20}$

Imaginile SEM ale secțiunilor transversale ale structurilor  $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$  (a) și  $n\text{-TiO}_2/n\text{-CdSe}$  (b) sunt ilustrate în Figura 1.

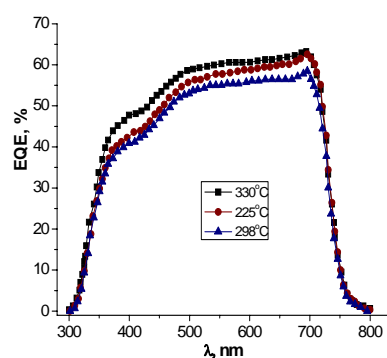


**Fig.1.** Imaginile SEM ale secțiunilor transversale ale heterojuncțiunilor  $n\text{-TiO}_2/p\text{-CdTe}$  (a) și  $n\text{-TiO}_2/n\text{-CdSe}$  (b).

Observăm că straturile subțiri de CdTe și CdSe au o morfologie columnară. Caracteristicile fotovoltaice ale structurilor TiO<sub>2</sub>/CdTe și TiO<sub>2</sub>/CdSe au fost măsurate la 300 K și la iluminare de 100 mW/cm<sup>2</sup> prin TiO<sub>2</sub> cu banda interzisă mai largă. Caracteristicile voltamperice ale structurilor fotovoltaice TiO<sub>2</sub>/CdSe obținute la diferite temperaturi ale suportului la depunerea CdSe sunt arătate în Figura 2. Parametrii fotovoltaici ai acestor structuri sunt prezentați în Tabelul 2.



**Fig.2.** Caracteristicile I-U de sarcină ale structurilor fotovoltaice TiO<sub>2</sub>/CdSe la iluminarea 100 mW/cm<sup>2</sup> și 300 K.



**Fig.3.** Eficiența cuantică externă a structurilor fotovoltaice TiO<sub>2</sub>/CdSe la diferite temperaturi ale suportului CdSe.

**Tabelul 2**

**Parametrii fotovoltaici ai structurilor TiO<sub>2</sub>/CdSe**

$T_s, ^\circ\text{C}$ ,	$J_{sc}, \text{mA/cm}^2$	$U_{oc}, \text{V}$	$FF$	$\eta, \%$
225	7,74	0,47	0,24	0,87
298	8,73	0,45	0,33	1,26
350	9,12	0,43	0,42	1,63

Cei mai buni parametri fotovoltaici au fost atinși la structura cu CdSe depusă la  $T=350^\circ\text{C}$ . Cum se vede din Tabelul 2, valorile tensiunii de circuit deschis și ale densității curentului de scurt-circuit pentru aceasta ating 0,43 V și 9,12 mA/cm<sup>2</sup>, respectiv. Factorul de umplere, în general, este mic pentru toate structurile. Din caracteristica voltamperică la fel se observă că valoarea rezistenței serie este înaltă pentru toate structurile și aceasta se datorează faptului că rezistența stratului de TiO<sub>2</sub> este destul de ridicată. Eficiența cea mai înaltă calculată pentru structurile TiO<sub>2</sub>/CdSe este 1,63%.

Unul dintre factorii cei mai importanți ce determină eficiența celulelor solare este distribuția spectrală a eficienței cuantice care influențează formarea componentelor de drift și difuzie ale fotocurentului și, prin urmare, a densității curentului de scurt-circuit. Localizarea pragului de absorbție a distribuției spectrale a randamentului cuantic extern la lungimi de undă mari este într-o corelație foarte bună cu energia lărgimii benzii interzise a CdSe.

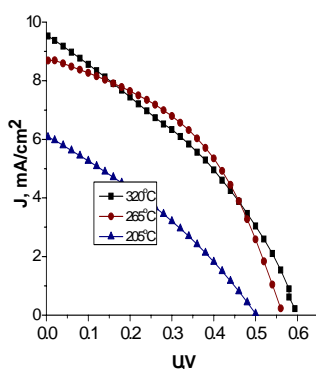
Caracteristicile de sarcină ale structurilor TiO<sub>2</sub>/pCdTe iluminate sunt prezentate în Figura 4. Parametrii fotovoltaici depind de forma curbilor J-U, care sunt influențate de temperatura suportului la depunerea stratului de CdSe. Datele cuprinse în Tabelul 3, unde sunt prezentați parametrii fotovoltaici, denotă că eficiența structurilor este mică din cauza valorii mici a tensiunii de circuit deschis și a factorului de umplere. În prezent, toate eforturile sunt îndreptate spre mărirea parametrilor fotovoltaici ai structurilor sus-numite.

**Tabelul 3**

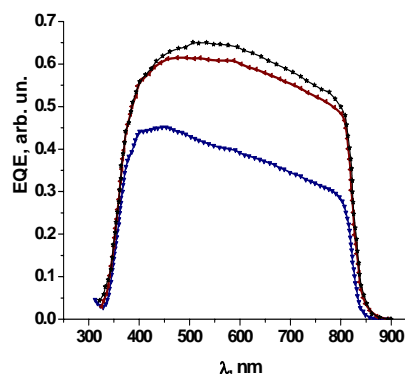
**Parametrii fotovoltaici ai structurilor TiO<sub>2</sub>/CdTe**

$T_s, ^\circ\text{C}$ ,	$J_{sc}, \text{mA/cm}^2$	$U_{oc}, \text{V}$	$FF$	$\eta, \%$
225	6,1	0,51	0,27	0,85
298	9,12	0,43	0,42	1,63
320	9,5	0,59	0,36	1,98

Eficiența cuantică externă a structurilor TiO<sub>2</sub>/pCdTe, când iluminarea are loc prin componenta cu banda interzisă largă (TiO<sub>2</sub>), este arătată în Figura 5.



**Fig.4.** Caracteristicile I-U de sarcină ale structurilor fotovoltaice TiO<sub>2</sub>/CdTe la iluminarea 100 mW/cm<sup>2</sup> și 300 K.



**Fig.5.** Eficiența cuantică externă a structurilor fotovoltaice TiO<sub>2</sub>/CdTe la diferite temperaturi ale suportului CdTe.

Cum se vede din Figura 5, eficiența cuantică externă se extinde de la 350 nm la 860 nm, adică acoperă întreaga gamă vizibilă a spectrului solar și o regiune consistentă din UV. Valorile eficienței cuantice atestă că odată cu mărirea temperaturii suportului stratului de CdTe concentrația purtătorilor crește. Ambele regiuni, albastră și roșie, ale spectrului arată că redistribuirea sarcinii în structură este afectată, regiunea roșie într-un mod mai semnificativ. Cauza poate fi creșterea vitezei de recombinare a purtătorilor. Se consideră că recombinarea are loc în special la interfață, dar și la contactele frontal și din spate în aceste structuri.

Componentele II-VI au fost și continuă să fie cercetate ca generatoare de energie electrică de la radiația solară cu scopul de a le mări eficiența păstrându-se un preț scăzut. Printre straturile subțiri II-VI, modulele fotovoltaice pe bază de CdTe au arătat progrese remarcabile la comercializare și au devenit prima tehnologie fotovoltaică la un preț mai mic – 1\$/Wp. Oxidul de titan, unul din oxizii conductivi cu cel mai bun viitor, este utilizat pe larg în diferite structuri cu semiconductori datorită transparenței sale înalte pentru lumina vizibilă, valorii largi a indicelui de refracție, rezistenței specifice controlabile, adeziei bune și rezistenței chimice înalte. De asemenea, TiO<sub>2</sub> este ecologic. Valoarea energetică a benzii interzise a TiO<sub>2</sub> variază de la 3,15 la 3,6 eV, depinzând de structura cristalină și de tehnologia de depunere, ceea ce este aproape cu 1 eV mai largă decât la CdS și ZnSe. Această caracteristică a TiO<sub>2</sub> permite extinderea regiunii spectrale a fotosensitivității heterojoncțiunii bazate pe CdTe spre lungimi de undă scurte. Structurile fotovoltaice pe baza straturilor subțiri *n*-TiO<sub>2</sub>/*p*-CdTe și *n*-TiO<sub>2</sub>/*n*-CdSe au fost fabricate prin depunerea CdTe și CdSe pe straturile subțiri TiO<sub>2</sub> preparate prin tehnologia pulverizării magnetronice reactive la CC. Eficiența mică a acestor structuri poate fi atribuită, în primul rând, la rezistența înaltă a stratului de TiO<sub>2</sub> și, în al doilea rând, la concentrația relativ înaltă a defectelor localizate la interfața heterojoncțiunilor TiO<sub>2</sub>/CdTe și TiO<sub>2</sub>/CdSe. Heterojoncțiunile TiO<sub>2</sub>/CdTe și TiO<sub>2</sub>/CdSe au fost fabricate fără aplicarea tratărilor adăugătoare. Este evident că schimbarea controlabilă a parametrilor tehnologici de depunere a straturilor subțiri de TiO<sub>2</sub>, modificarea suprafeței de CdTe, tratarea heterojoncțiunilor în diferite atmosfere, precum și introducerea straturilor intermediare adăugătoare pot reduce concentrația stărilor de suprafață la interfețele TiO<sub>2</sub>/CdTe și TiO<sub>2</sub>/CdSe și pot mări eficiența conversiei fotovoltaice. În final, pentru ca structurile fotovoltaice TiO<sub>2</sub>/CdTe și TiO<sub>2</sub>/CdSe să fie competitive cu tehnologiile mondiale de record, trebuie de rezolvat problemele legate de rezistența de contact, mărirea concentrației purtătorilor în CdTe și CdSe, identificarea și reducerea densității stărilor defecte de la limita intragranulară, definirea și depășirea limitelor de performanță la formarea contactului din spate la CdTe.

#### Bibliografie:

1. SPĂNULESCU, I. *Celule solare*. București: Editura Științifică și Enciclopedică, 1983.
2. CHOPRA, K.L., DAS, S.R. *Thin Film Solar Cells*, Springer, 1983. ISBN 0306411415, 9780306411410
3. FURUBAYASHI et al. A transparent metal: Nb-doped anatase TiO<sub>2</sub>. In: *Applied Physics Letters*, 86, 252101, 2005, p.252101-1–252101-3.
4. YAN, M.F., RHODES, W.W. Effect of cation contaminants in conductive TiO<sub>2</sub> ceramics. In: *J. Appl. Phys.*, 53 (12), 1983, p.8809–8818.

Prezentat la 20.05.2014