

## STUDIUL PROPRIETĂȚILOR ELECTRICE ȘI FOTOVOLTAICE ALE STRUCTURILOR ITO-Si ÎN BAZA SILICIULUI MULTICRISTALIN

Alexei SIMAȘCHEVICI, Dormidont ȘERBAN, Leonid BRUC, Leonid GORCEAC\*, Andrei COVAL\*, Vladimir FEDOROV\*, Iurie USATII

Institutul de Fizică Aplicată al AȘM

\*LCȘ „Fizica semiconductorilor”

ITO-polycrystalline p-type silicon structures with surface barriers are obtained by pyrolytical spraying of indium and tin chloride solutions and their electrical and photoelectrical properties are studied. The spectral sensibility range, current transport mechanisms and the parameters of the heterostructure under forward and reverse bias are determined. It is shown the possibility of using these heterojunctions in solar radiation conversion.

### Introducere

Structurile fotovoltaice nITO-nSi în baza siliciului monocristalin au fost obținute și cercetate într-un șir de publicații [1-3]. În aceste lucrări s-a demonstrat posibilitatea de utilizare a lor în calitate de celule solare (CS). Însă, fabricarea acestui tip de CS depinde de costul plachetelor de siliciu monocristalin care crește permanent. Prețul de „spot” atinge în ultimul timp valoarea de 100\$/kg. Pentru micșorarea sinecostului CS este de dorit înlocuirea plachetelor de siliciu monocristalin cu asemenea plachete de siliciu multicristalin (Si(mc)). Utilizarea materialelor semiconductoare ieftine împreună cu tehnologiile simple de formare a joncțiunilor prin pulverizarea soluțiilor chimice permite obținerea CS la un preț redus.

Scopul lucrării este de a studia posibilități de obținere a structurilor fotovoltaice nITO-SiO<sub>2</sub>-Si(mc) și de a cerceta proprietățile electrice și fotovoltaice ale acestora. Determinarea mecanismelor de trecere a curentului prin bariera de potențial va da posibilitatea elaborării structurilor fotovoltaice cu eficacitate satisfăcătoare.

### 1. Tehnologia de preparare și structura CS

Pentru obținerea structurilor nITO-Si(mc) au fost selectate plachete de siliciu multicristalin de tip n și p, de grosime 300 μm, cu rezistivitatea 1 Ohm·cm și 10 Ohm·cm, comercializat de Vacker SILSO. Investigarea dispozitivelor fotovoltaice obținute în baza materialelor menționate prin pulverizarea soluțiilor chimice a demonstrat că în structurile cu nSi(mc) bariera de potențial nu se formează. Din această cauză, urmează a fi prezentate rezultatele cercetării structurilor fotovoltaice în baza pSi(mc).

La prepararea structurilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) a fost utilizată experiența obținerii structurilor cu bariera de potențial puțin adâncă nITO-nSi(monocristalin), ITO-CdTe, ITO-InP [4-6]. Procedeul tehnologic conține următoarele etape principale:

- **Degresare:** apă distilată (43%) + NH<sub>4</sub>OH (27%) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(30%);
- **Eliminarea SiO<sub>2</sub>:** HF;
- **Corodare:** HF + HNO<sub>3</sub>;
- **Spălare:** apă distilată;
- **Pulverizarea ITO:** soluția InCl<sub>3</sub> + SnCl<sub>4</sub> în alcool;
- **Protecția stratului ITO:** lac rezistent la tratări chimice;
- **Șlefuirea suprafeței din spate:** praf abraziv;
- **Spălare:** apă distilată;
- **Depunerea contactelor din spate:** evaporarea Al în vid;
- **Depunerea contactelor frontale:** evaporarea Cu în vid.

După efectuarea procedeelor enumerate au fost obținute structurile fotovoltaice, care sunt prezentate schematic în Figura 1.

Pe suprafața frontală ITO a fost depusă grila de contacte din cupru. În calitate de contact ohmic pe suprafața din spate a fost folosit aluminiu.

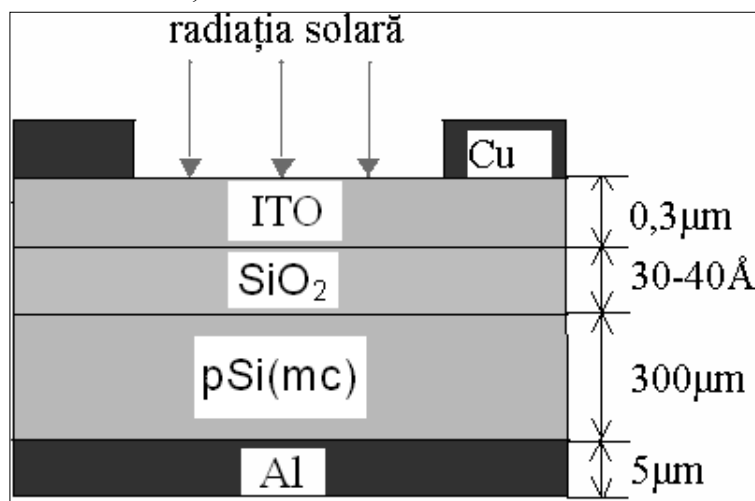


Fig.1. Imaginea schematică a structurilor investigate.

## 2. Proprietățile electrice și fotovoltaice

Pentru elucidarea mecanismelor de trecere a curentului electric prin structurile nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) au fost măsurate și cercetate caracteristicile curent-tensiune (I-V) la diverse temperaturi.

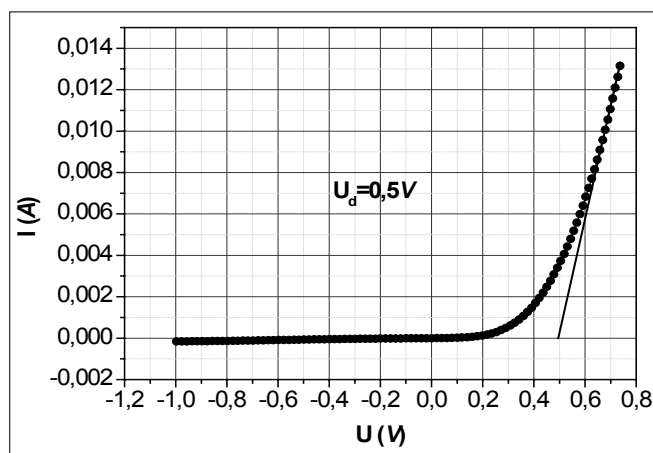


Fig.2. Caracteristicile I-V ale structurilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc).

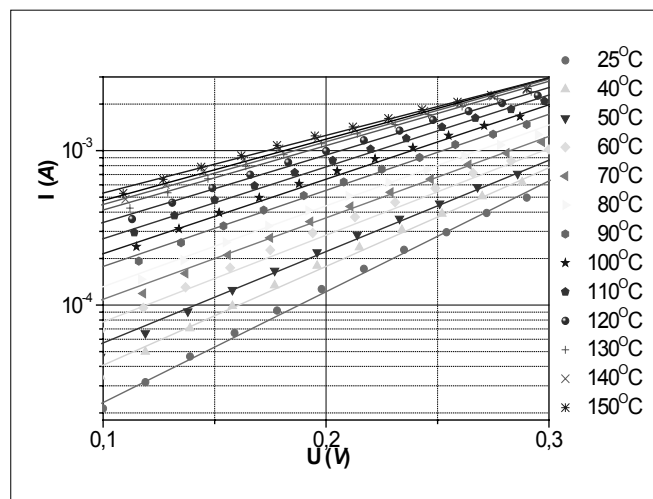


Fig.3. Caracteristicile I-V ale structurilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) la diverse temperaturi.

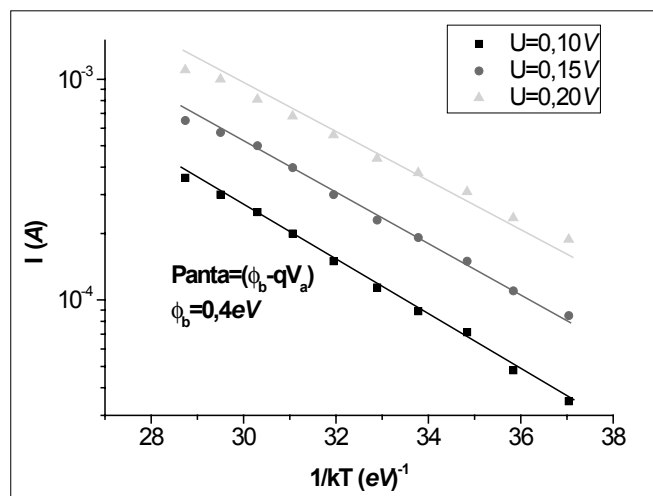


Fig.4. Dependența  $I = f(1/kT)$  pentru structura nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc).

$\phi_B$  în structura cercetată ITO-pSi(mc), deoarece panta dependenței menționate va fi egală cu  $\phi_B - qV_a$ .

În Figura 4 sunt prezentate dependențele  $\ln I = f(1/kT)$  la trei valori constante ale tensiunii, din care rezultă că înălțimea barierei de potențial  $\phi_B$  în structurile ITO-pSi este de 0,4 eV.

Caracteristicile I-V au fost măsurate utilizând instalația computerizată special elaborată. Instalația permite înregistrarea rezultatelor pe monitorul calculatorului și prelucrarea ulterioară a acestora cu diverse programe (de exemplu, Exel și Origin). Limitele măsurării curenților constituie 10<sup>-7</sup>A...10<sup>-1</sup>A. Mărima tensiunii se programează de la -10V până la +10V. Pasul măsurării tensiunii este de 10 mV. Datele experimentale se înregistrează cu intervalul de timp 10 ms. Diapazonul de schimbare a temperaturii probelor poate fi variat de la 20°C până la 250°C.

În Figura 2 este prezentată caracteristica I-V tipică a structurilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc). Se observă că heterostructura este brusc asimetrică și potențialul de difuzie constituie ~0,5V.

Pentru determinarea mecanismului de trecere a curentului prin joncțiunea structurilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) au fost examinate caracteristicile I-V, măsurate în intervalul de temperaturi 25°C...150°C, care sunt prezentate în Figura 3.

Conform considerațiilor teoretice [7], dependența curentului prin joncțiunea de tip metal-izolator-semiconductor (MIS) de tensiunea aplicată din exterior este descrisă de următoarea relație:

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

unde:  $I$  – curentul prin joncțiune,  $V$  – tensiunea aplicată,  $I_0$  – curentul de saturație,  $A$  – coeficientul de neidealitate,  $k$  – constanta Boltzman,  $q$  – sarcina elementară,  $T$  – temperatura la care se efectuează experimentul.

Dacă structura studiată n<sup>+</sup>ITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) este o structură de tip MIS, atunci caracteristica I-V în coordonatele  $\ln I = f(V)$  trebuie să prezinte o dependență liniară. Într-adevăr, după cum se observă din Figura 3, aceste legături pentru tensiunile aplicate mai mici de valoarea  $V_d$  se respectă.

Pantele dependențelor curent-tensiune se modifică la variația temperaturii, ce se certifică prin mărirea constantă a parametrului  $A$  din relația (1), care este de cca 2 pentru tot intervalul de temperaturi în care s-au efectuat măsurătorile. Acest rezultat indică emisia electronilor din ITO în siliciu pe deasupra barierei de potențial. Acest mecanism de trecere a curentului se descrie prin relația (1), care pentru polarizarea directă a probei și cu evidența expresiei pentru  $I_0$ , se transformă astfel [8]:

$$I = C \exp(-\phi_B/kT) \exp(qV_a/kT). \quad (2)$$

Din (2) se observă că dependența  $\ln I = f(1/kT)$  creează posibilitatea de a determina înălțimea barierei de potențial

Curentul prin joncțiunile în materialele semiconductoare la polarizare indirectă a tensiunii electrice aplicate din exterior este determinat de purtătorii de sarcină minoritari în componentele joncțiunii. Deoarece purtătorii de sarcină minoritari imediat sunt separați de câmpul electric intern al joncțiunii, la aplicarea tensiunii indirecte curentul este foarte mic, comparabil cu curenții de scurgere, determinați de rezistența ohmică a carcaselor joncțiunilor. Dacă curenții prin joncțiune la polarizarea indirectă a acestora sunt curenți ohmici, atunci dependența  $I = f(V)$  trebuie să fie prezentată în forma  $I = V^n$ , unde  $n = 1$ .

În Figura 5 sunt prezentate caracteristicile curent-tensiune pentru structurile studiate n<sup>+</sup>ITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) polarizate indirect. Observăm că dependențele prezentate sunt liniare la temperaturi până la 90°C, cel puțin până la valorile tensiunii indirecte egale cu 0,2V. La temperaturi peste 90°C dependențele sunt liniare în tot intervalul de temperaturi ale experimentului. Panta dependențelor determină coeficientul  $n$ , care în toate cazurile este egal cu aproximativ 1.

Distribuția spectrală a fotosensibilității structurilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) este prezentată în Figura 6, din care observăm că fotorăspunsul se înregistrează în limitele lungimilor de undă 0,5...1,2 μm și este determinat de absorbția luminii incidente și generarea purtătorilor de sarcină în Si.

Fâșia din regiunea spectrului cu lungimile de undă scurte (~0,6 μm) apare, probabil, din cauza interferenței radiației reflectate de la suprafața stratului ITO și de la suprafața Si(mc). Poziția acestui maxim variază în dependență de grosimea stratului ITO.

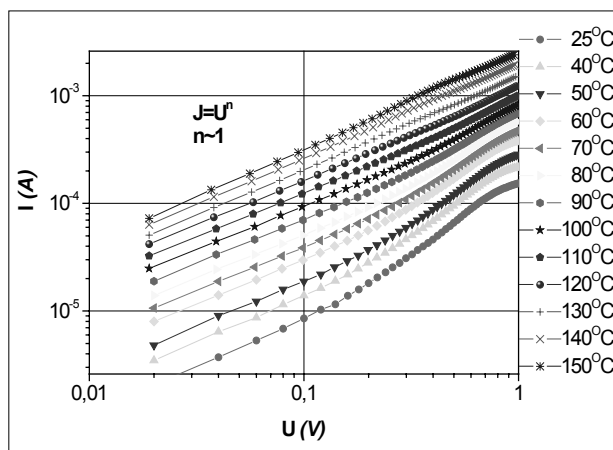


Fig. 5. Caracteristicile I-V ale nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) la polarizare indirectă la diverse temperaturi.

### Concluzii

✓ Au fost obținute structuri cu barieră de potențial puțin adâncă ITO-Si(mc) prin adoptarea procedurii de pulverizare pirolitică pe plachetele de Si multicristalin a soluțiilor etilice ale clorurilor de In și Sn.

✓ Au fost obținute structurile fotovoltaice Cu-nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc)-Al și investigate proprietățile electrice și fotovoltaice ale acestora.

✓ Studiarea caracteristicilor I-V la diverse temperaturi ale structurilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) polarizate direct a permis determinarea parametrilor  $A = 2$  și  $\phi_B = 0,4 eV$  și a mecanismului de trecere a purtătorilor de sarcină prin barieră de potențial, determinat de emisia electronilor din banda de conducție a ITO în banda de conducție Si(mc).

✓ În structurile nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc), polarizate indirect, curentul prin barieră de potențial este determinat de curenții de scurgere, exprimați prin funcția de putere cu exponentul egal cu aproximativ 1.

✓ Distribuția spectrală a fotosensibilității structurilor studiate este limitată de lungimile de undă 550...1200 nm cu maximum în apropierea de 900 nm, ceea ce demonstrează absorbția luminii în Si(mc);

✓ Este demonstrată posibilitatea de formare a joncțiunilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc) și de utilizare a acestora în calitate de structuri fotovoltaice.

### Referințe:

1. Shewchun J., Dubow G., Myszkowsky A. and Singh R. // J. Appl. Phys., 49(9), 855 (1978).
2. Vasu V., Subrahmanyam A. // Semiconductor Science and Technology, 7, 320 (1992).
3. Simashkevich A., Sherban D., Bruk L. et al. Proceedings 20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3, 980 (2005).
4. Usatîi Iu. - În: Energetica Moldovei-2005: Rapoarte la Conferința din 21-24 septembrie 2005. - Chișinău: Tipografia AȘM, 2005.
5. Adeeb N., Kretsu I., Sherban D. et al // Solar Energy Materials, 15, 9 (1987).
6. Simaschevici A., Serban D., Gorceac L., Bruk L., Coval A., Usatîi Iu. Influența tratării termice în atmosfera de hidrogen asupra parametrilor celulelor solare nITO-pInP // Revista științifică a USM „Studia Universitatis”. Seria „Științe ale naturii”. Anul I. - 2007. - Nr.1.- P.283-285.

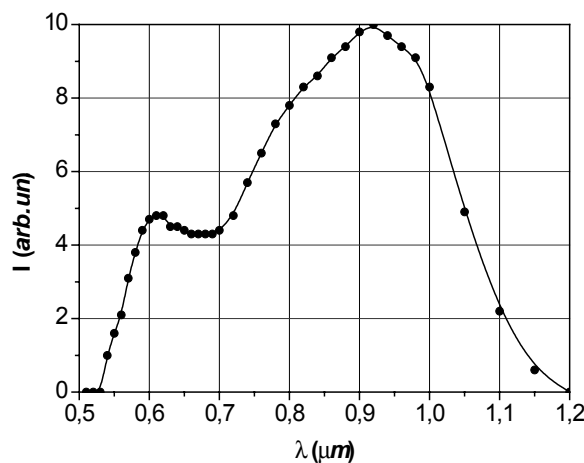


Fig. 6. Distribuția spectrală a fotosensibilității structurilor nITO-SiO<sub>2</sub>-pSi(mc).

7. Roderick E.H. Metal-semiconductor contacts. - Oxford: Clarendon Press, 1980. - 201 p.
8. Milnes A.G., Feucht D.L. Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions. - New York and London: Academic Press, 1972. - 441 p.

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

*Prezentat la 13.02.2009*