

## OBTINEREA STRUCTURILOR $n^+SnO_2/nSi$ ȘI CERCETAREA PROPRIETĂȚILOR ACESTORA

**Eugenia BOBEICO\***, **Leonid BRUC**, **Mihail CARAMAN**, **Andrei COVAL**, **Vladimir FEDOROV**,  
**Alexei SIMAȘCHEVICI\***, **Dormidont ȘERBAN\***, **Iurie USATÎI**

*Laboratorul Fizica Semiconductorilor*

*\*Institutul de Fizică Aplicată al AȘM*

By the method of pyrolytic spraying spirit solutions of chlorides of tin and antimony transparent (transmission ~ 85%) and conductive ( $\sigma \sim 10^2 \text{ Ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) layers of  $SnO_2:Sb$  were obtained. By using these layers izotype SIS structures  $In/n^+SnO_2:Sb/SiO_2/nSi/Cu$  are produced. Their electrophysical properties are studied. The energy diagram of heterostructure  $n^+SnO_2:Sb/nSi$  is constructed and the mechanism of current transition is determined.

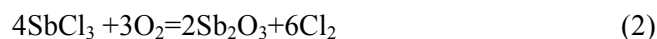
Conversia fotovoltaică contemporană a energiei solare este asigurată de dispozitivele în baza corpului solid [1]. Celulele solare respective în cea mai mare parte funcționează datorită proceselor fizice ce au loc în joncțiunile p-n, obținute în siliciu cristalin, policristalin sau în straturi de siliciu amorf. Generarea forței electromotrice la absorbția luminii din cauza separării purtătorilor de sarcină de neechilibru poate fi realizată nu numai cu ajutorul joncțiunilor p-n, dar și în baza structurilor semiconductor-izolator-semiconductor (SIS), folosind pentru fabricarea lor materialele semiconductoare solare (Si, InP, GaAs, CdTe) și oxizii conductivi și transparenți (TCO) [2-9]. Pentru formarea structurilor SIS cel mai frecvent se utilizează oxidul ITO, care prezintă amestecul oxizilor  $In_2O_3$  și  $SnO_2$  în proporție de cca 10:1. Acest reprezentant al materialelor TCO posedă o conductivitate electrică metalică ( $10^3-10^4 \text{ Ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) și practic este absolut transparent (95%) pentru radiația solară ce se absoarbă în materialele semiconductoare nominalizate. Însă, în componența ITO se conține în majoritate indiu – element chimic ale cărui zăcămintele nu sunt cu precizie determinate, din care cauză este destul de costisitor. În ultimul timp sunt efectuate încercări de înlocuire a straturilor subțiri ITO în structurile SIS cu straturile subțiri din  $SnO_2$ , care sunt mai puțin costisitoare [10].

Din aceste considerente, obiectivele principale ale prezentei comunicări sunt:

1) elaborarea procedurii de obținere a straturilor subțiri  $SnO_2$  și a structurilor fotovoltaice în baza acestora și a Si cristalin;

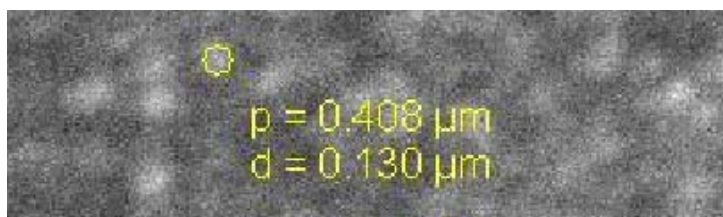
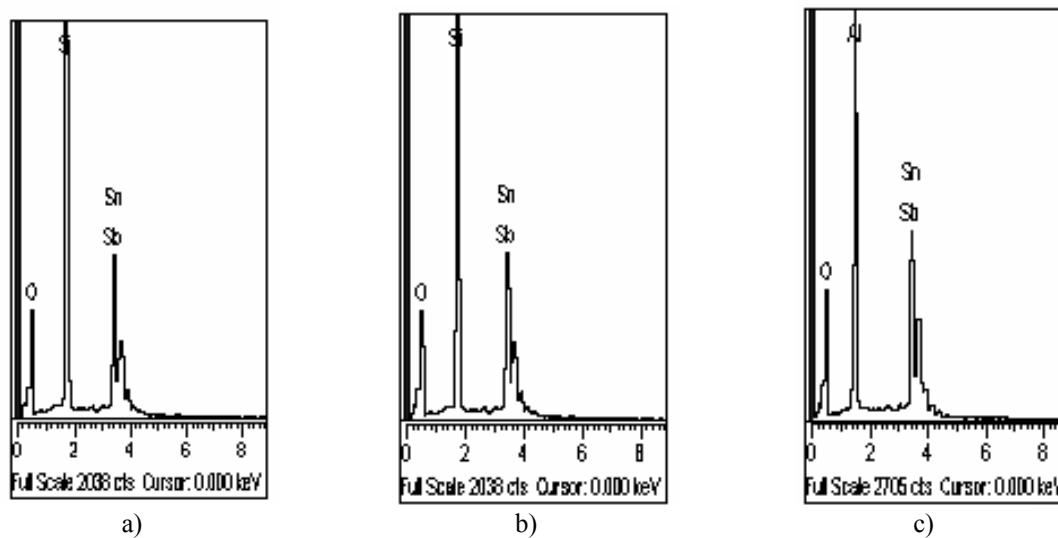
2) studiul proprietăților electrice și fotoelectrice ale structurilor obținute.

Straturile  $SnO_2$  au fost obținute prin metoda pulverizării pirolitice. Instalația respectivă este descrisă în [9]. Procesul de pulverizare pentru depunerea și doparea straturilor  $SnO_2$  cu Sb se descrie prin următoarele reacții pirolitice:



Pentru obținerea straturilor  $SnO_2$  au fost utilizate soluțiile  $SnCl_4$  (0,5M) în etanol și, pentru dopare cu Sb,  $SbCl_3$  (0,1M) în etanol. În soluția de bază  $SnCl_4$  (11 ml) se adaugă soluția  $SbCl_3$  (până la 2 ml) și acest amestec se pulverizează timp de 60-80 sec. la temperatura de  $450^\circ\text{C}$  pe substraturi de sticlă, cuarț, safir și siliciu în formă de plachete cristaline cu diferite concentrații ale purtătorilor de sarcină. Suprafața maximală a substraturilor a fost de  $78,5 \text{ cm}^2$ .

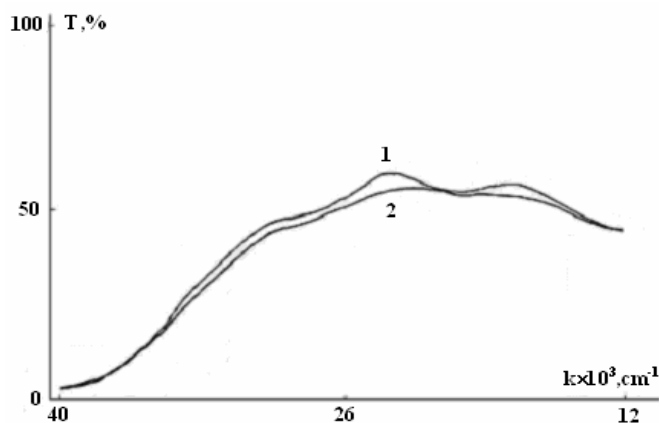
Structura și componența straturilor  $SnO_2$  nedopate și dopate cu Sb au fost cercetate în Centrul Național de Testare a Materialelor cu ajutorul microscopului electronic de baleiaj și al analizei microstructurale cu raze X. După cum se vede din Figura 1, straturile  $SnO_2$  sunt microcristaline. Grosimea lor (p) este de 0,3-0,4  $\mu\text{m}$ , iar diametrul cristalitelor (d) este de cca 100 nm.

Fig.1. Imaginea suprafeței stratului SnO<sub>2</sub> în SEM.Fig.2. Componenta straturilor SnO<sub>2</sub>, obținute pe diverse suporturi:  
a) – sticlă; b) – cuarț; c) – safir.

Rezultatele studiului compoziției chimice a straturilor SnO<sub>2</sub> sunt prezentate în Figura 2. Se observă că în rezultatul dopării, indiferent de substrat, atomii de Sb sunt prezenți în compoziția tuturor straturilor.

În Figura 3 sunt prezentate distribuțiile spectrale ale transparenței straturilor subțiri SnO<sub>2</sub>, depuse pe suporturi din cuarț și safir. Transparența optică în domeniul vizibil al spectrului solar al straturilor depuse variază de la 85% la 54% în cazul nivelului maximal de dopare.

Creșterea lină a transparenței straturilor SnO<sub>2</sub> cu creșterea numărului de undă demonstrează, spre confirmarea celor menționate mai sus, că structura acestor straturi conține cristalite de dimensiuni micrometrice. Marginea benzii de transparență din partea undelor scurte se află în regiunea 4,96 eV și nu depinde de natura substratului pe care a fost depus stratul SnO<sub>2</sub>.

Fig.3. Spectrele de transmisie a straturilor SnO<sub>2</sub> depuse pe cuarț (1) și safir (2).

Transparența mai mică a straturilor depuse pe safir poate fi determinată de valorile mai mari ale indicelui de reflexie la interfețele SnO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-aer decât în cazul interfețelor SnO<sub>2</sub>-cuarț și cuarț-aer. Indicele de refracție  $n$  al cuarțului în această regiune a spectrului este egal cu 1,46, pe când pentru safir  $n = 1,75$ . Prin aceasta se explică și diferența în intensitatea benzilor de interferență în regiunea transparenței înalte a acestor straturi ( $\lambda > 0,36 \mu\text{m}$ ). Aceste spectre au permis determinarea grosimii straturilor subțiri SnO<sub>2</sub>, egală cu valorile determinate prin SEM, și a lărgimii energetice a benzii interzise a SnO<sub>2</sub>, care s-a dovedit a fi de 4,7 eV.

Prin metodele pulverizării pirolitice a soluției clorurilor de staniu și de stibiu în etanol cu compoziția pe suprafața plachetelor cristaline de siliciu de conductibilitate prin electroni, evaporării în vid a cuprului pe partea opusă a acestor cristale și depunerii prin aceeași metodă a grilei de contact din indiu pe stratul SnO<sub>2</sub>:Sb au fost obținute structurile In/n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb/SiO<sub>2</sub>/nSi/Cu, prezentate în Figura 4.

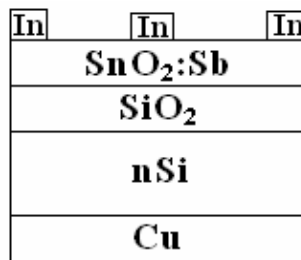


Fig.4. Imaginea schematică a structurii In/n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb/SiO<sub>2</sub>/nSi/Cu.

În structurile obținute parametrii electrici ai straturilor SnO<sub>2</sub>:Sb erau următorii: concentrația electronilor  $1,4 \cdot 10^{20} \text{cm}^{-3}$ , mobilitatea  $\sim 9,2 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , ce asigură conductibilitatea electrică a straturilor de  $2 \cdot 10^2 \text{Ohm}^{-1} \text{cm}^{-1}$ .

Informația despre proprietățile electrice ale structurilor In/n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb/SiO<sub>2</sub>/nSi/Cu a fost obținută prin efectuarea măsurătorilor la întuneric a dependențelor curent – tensiune (I-V) și capacitate – tensiune (C-V) cu utilizarea calculatorului personal pentru înregistrarea și prelucrarea automată a datelor experimentale.

În Figura 5 sunt prezentate dependențele I-V în scară semilogaritimică în intervalul de temperaturi 77-400 K. Spre deosebire de joncțiunile p-n, o particularitate a acestor dependențe constă în faptul că ele sunt paralele pentru 4-5 ordine ale curentului și panta lor se modifică nesemnificativ la variația temperaturii. Abaterea de la această legitate se observă la temperaturi comparativ joase. Acest fapt, cât și dependența slabă a curentului la întuneric de temperatură mărturisește că în structurile cercetate la aplicarea polarizării externe au loc procesele de tunelare, deși nivelul de dopare a siliciului este prea mic ( $N_d \sim 10^{15} \text{cm}^{-3}$ ) pentru tunelări directe prin stratul de sarcină spațială. Probabil, tunelarea electronilor din banda de conducție a Si în banda de conducție a SnO<sub>2</sub> are loc cu participarea capcanelor din regiunea sărăcită de purtători de sarcină. Acest mecanism corespunde modelului Riben și Feucht [11,12], care au luat în considerație tunelarea consecutivă printr-o scară de stări învecinate din stratul sărăcit.

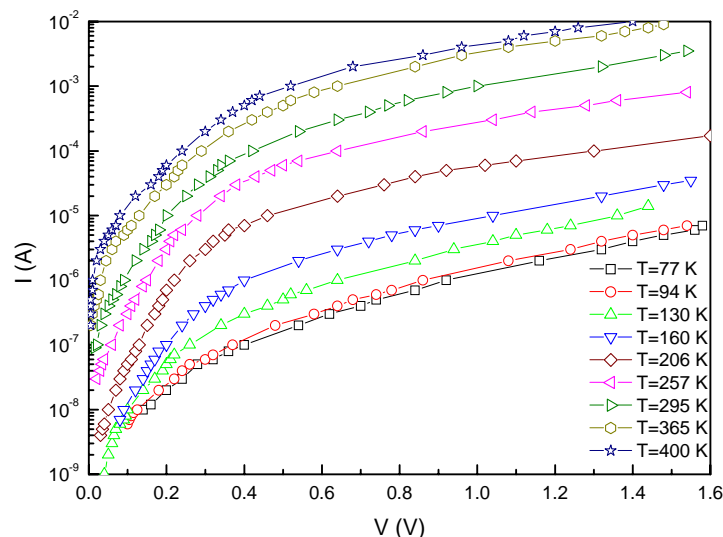


Fig.5. Dependența I-V a structurii n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb/nSi polarizate direct la diferite temperaturi.

Conform acestui model:

$$I = I_t' \exp[A(V - V_D)], \quad (3)$$

unde:  $A = \frac{d \ln I}{dV} = \frac{8\pi}{3h} \left( \frac{m_e^* \epsilon_s S}{N_d} \right)^{1/2}$ ;  $m_e^*$  – masa efectivă a electronului;  $\epsilon_s$  – permitivitatea siliciului;

$S$  – variația relativă a energiei purtătorilor de sarcină pentru fiecare etapă a procesului de tunelare. Mărimea  $I_t'$  este proporțională densității capcanelor.

Dependența potențialului de difuzie  $V_D$  de temperatură este prezentată în Figura 6.

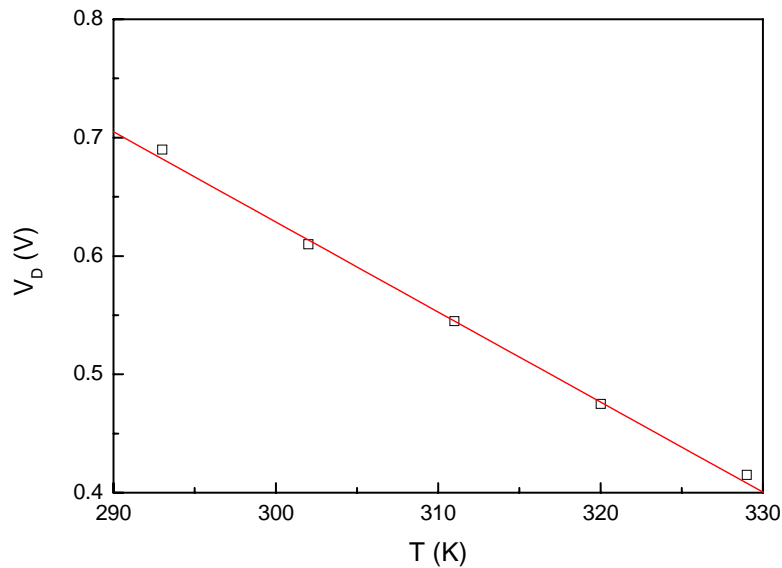


Fig.6. Dependența potențialului de difuzie  $V_D$  a joncțiunii  $n^+SnO_2:Sb/nSi$  de temperatură.

Această dependență este liniară și poate fi reprezentată prin formula:

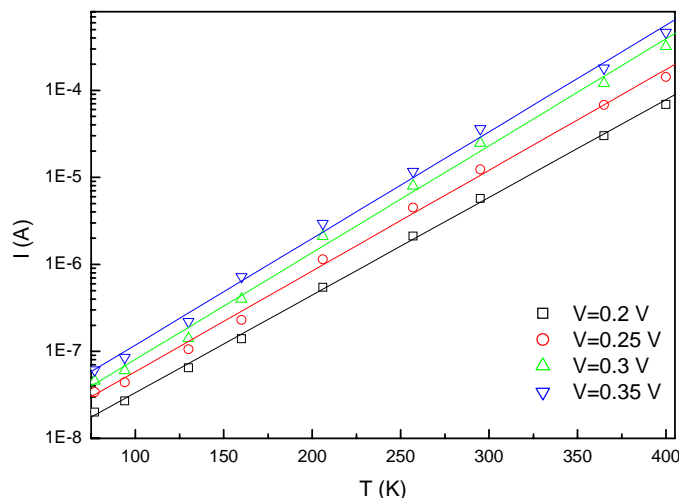
$$V_D = V_0 - \alpha T, \quad (4)$$

unde:  $V_0$  – valoarea potențialului de difuzie la 0K;  $\alpha$  – coeficientul de variație a potențialului de difuzie cu temperatura. Valorile obținute ale coeficientului  $\alpha$  pentru probe diferite sunt aproximativ egale și constituie  $6 \cdot 10^{-3} V/K$ . Despre dependența  $V_D$  de grosimea stratului dielectric pentru structura SIS ITO-nSi s-a menționat în [13]. Autorii acestei lucrări au stabilit că valoarea potențialului de difuzie a acestei structuri se micșorează odată cu creșterea timpului de oxidare a suprafeței siliciului. Această reducere a  $V_D$  odată cu creșterea grosimii stratului izolator în [13] se explică prin existența sarcinii pozitive în stratul dielectric. Deoarece potențialul de difuzie  $V_D$ , conform ecuației (4), se micșorează odată cu creșterea temperaturii, expresia (3) poate fi transcrisă în forma:

$$I = I_t \exp(AV) \exp(BT), \quad (5)$$

unde A și B – constante; prima nu depinde de temperatură, iar a doua – de tensiune.

Conform expresiei (5), dependența  $\ln I$  de temperatură la o polarizare constantă aplicată structurii trebuie să fie liniară. Acest fapt este confirmat de rezultatele cercetărilor structurii  $SnO_2/nSi$  reprezentate în Figura 7. Analizând dependențele  $\ln I = f(V)$  și  $\ln I = f(T)$ , prezentate în Figura 6 și în Figura 7, au fost determinate valorile numerice ale lui A și B, care constituie, respectiv,  $30 V^{-1}$  și  $0,03 K^{-1}$ .

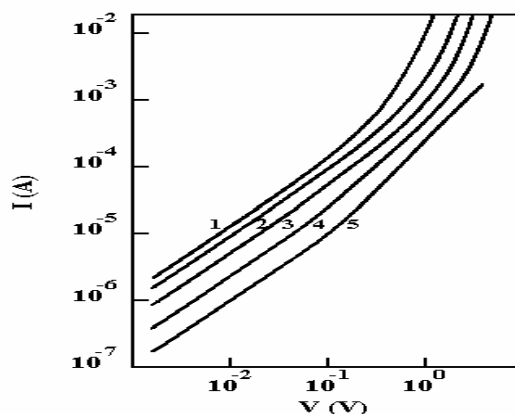


**Fig.7.** Dependentele  $\ln I=f(T)$  ale structurii  $n^+SnO_2:Sb/nSi$  polarizate direct la diferite tensiuni de polarizare.

Cunoscând valoarea coeficientului  $A$  s-a calculat mărimea  $1/S$  (egală cu 11), al cărui sens fizic în modelul lui Riben și Feucht constă în numărul treptelor în procesul de tunelare a purtătorilor de sarcină pentru trecerea prin stratul de sarcină spațială.

Astfel, caracteristicile curent-tensiune ale structurii SIS formate de  $SnO_2$  și  $nSi$  demonstrează că în heterostructurile izotipe  $n^+SnO_2/nSi$  trecerea curentului la aplicarea polarizării directe este determinată de un flux de electroni ce tunelează prin multiple trepte prin stratul de sarcină spațială.

În Figura 8 sunt prezentate caracteristicile  $I-V$  ale structurii  $n^+SnO_2:Sb/nSi$  măsurate la întuneric la polarizare indirectă în domeniul de temperaturi 77-400 K și reprezentate în scară logaritmică. Observăm că curentul ce trece prin structura menționată crește simultan cu mărirea tensiunii electrice aplicate până la valoarea de 0,5 V după o funcție de putere  $I \sim V^m$ , unde  $m$  este aproape de unitate.



**Fig.8.** Caracteristicile curent-tensiune ale joncțiunii izotipe  $n^+SnO_2:Sb/nSi$  invers polarizate la diferite temperaturi în K: 1-370, 2-335, 3-290, 4-215, 5-77.

Cu majorarea în continuare a tensiunii indicele puterii  $m$  crește și devine egal cu 4-7, de unde rezultă schimbarea mecanismului de trecere a purtătorilor de sarcină. A fost presupusă tunelarea purtătorilor de sarcină prin interfața structurii și, atunci, conform [11,12], dependența curentului indirect de tensiune se exprimă în felul următor:

$$I_{inv} = C(-V_a) \exp\left[-\alpha(V_D - V_a)^{-1/2}\right], \quad (6)$$

unde:  $C$  și  $\alpha$  – constante,  $V_D$  – potențialul de difuzie,  $V_a$  – potențialul aplicat structurii la polarizare indirectă. După cum a fost notat în [14], dependența (6) poate avea forma funcției de putere.

Confirmarea corectitudinii acestei ipoteze despre mecanismul de trecere a curentului prin heterojuncțiunea izotipă  $\text{SnO}_2$ - $n\text{Si}$  polarizată indirect este dependența  $\ln I_{inv} = f([V_D - V_a]^{-1/2})$  liniară.

Dependența  $C^2=f(V)$  pentru  $n^+\text{SnO}_2:\text{Sb}/n\text{Si}$  cu concentrația purtătorilor de sarcină în semiconductorul de bază  $\sim 10^{15}\text{cm}^{-3}$  prezintă o linie dreaptă, confirmând caracterul abrupt al joncțiunii formate. Extrapolarea acestei curbe experimentale până la intersecția cu axa tensiunilor determină valoarea potențialului de difuzie de  $0,6\text{ V}$ , mărime comparabilă cu  $0,63\text{ V}$  determinată din dependența I-V la temperatura camerei. Lărgimea regiunii de sarcină spațială a joncțiunii  $\text{SnO}_2/\text{Si}$  în echilibru termodinamic,  $W$ , este egală cu  $0,25\ \mu\text{m}$ .

În Figura 9 este prezentată diagrama energetică a structurii izotipe  $n^+\text{SnO}_2/n\text{Si}$  în echilibru termodinamic. Majoritatea mărimilor fizice utilizate pentru construirea acestei diagrame au fost măsurate experimental, iar mărimile care nu au putut fi măsurate au fost luate din datele bibliografice.

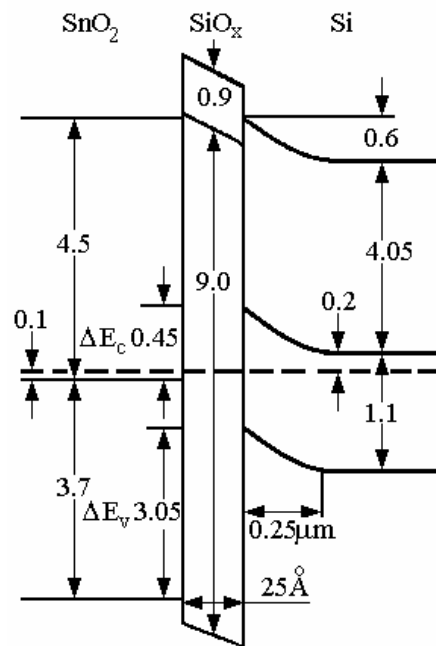


Fig.9. Diagrama benzilor energetice ale structurii izotipe  $n^+\text{SnO}_2:\text{Sb}/n\text{Si}$ .

Trebuie menționat rolul important al stratului dielectric la interfața structurilor SIS cercetate pentru formarea condițiilor de injecție a purtătorilor de sarcină. La polarizarea directă a structurii  $n^+\text{SnO}_2:\text{Sb}/n\text{Si}$  o parte din tensiunea aplicată va cădea pe volumul semiconductorului, iar o altă parte – pe stratul dielectric. Mărirea polarizării duce la micșorarea curburii benzilor energetice la suprafața siliciului și la creșterea căderii de tensiune pe stratul izolator. Sub influența acestei tensiuni are loc modificarea benzilor energetice ale dielectricului, astfel că la început se compensează curbarea acestor benzi datorată diferenței de potențial de contact, iar apoi are loc curbarea în direcția inversă. Datorită acestui fapt, are loc mișcarea în întâmpinare a nivelului superior al benzii de valență  $E_v$  al Si și a nivelului Fermi  $E_F$  al stratului  $\text{SnO}_2$ . Deci, poate apărea situația când nivelul Fermi  $E_F$  în  $\text{SnO}_2$  și nivelul superior al benzii de valență  $E_v$ , al semiconductorului de bază, se vor apropia la distanța  $kT$  sau chiar se vor situa la același nivel energetic. Însă, în acest caz o injecție intensivă a purtătorilor minoritari (golurilor) în  $n\text{Si}$  nu va avea loc, deoarece în  $n^+\text{SnO}_2$ , de unde golurile trebuie să se injecteze, golurile, de asemenea, sunt purtători de sarcină minoritari.

La aplicarea tensiunii indirecte, curentul ( $I_{pe}$ ) prin heterostructura izotipă  $n^+$ - $n$  este determinat de recombinarea prin stările de suprafață ale purtătorilor de sarcină minoritari din banda de valență a  $n\text{Si}$  cu electronii din banda de conducție a  $n^+\text{SnO}_2:\text{Sb}$ . Din cauza că acest flux este neglijabil de mic, curentul prin heterojuncțiunea izotipă  $n\text{Si}/\text{SiO}_2/n^+\text{SnO}_2:\text{Sb}$  la tensiuni indirecte până la  $0,5\text{ V}$  este determinat de curenții de scurgere ce se caracterizează prin  $n = 1$ . Majorarea tensiunii indirecte, care cade atât pe semiconductor, cât și pe stratul

izolator  $\text{SiO}_2$ , aduce la restructurarea înclinării benzilor în dielectric [15]. Este posibilă situația când nivelul Fermi în  $\text{SnO}_2$  se va apropia la o distanță energetică  $kT$ , sau chiar se va situa la același nivel energetic ca nivelul inferior al benzii de conducție la suprafața siliciului. La crearea acestei situații mecanismul de trecere a curentului prin heterojoncțiunea  $n\text{Si}/\text{SiO}_2/n^+\text{SnO}_2:\text{Sb}$  se va schimba din cauza pătrunderii tunel a electronilor din banda de conducție  $n^+\text{SnO}_2$  prin stratul izolator  $\text{SiO}_2$  în banda de conducție  $n\text{Si}$ . Fluxul de electroni va fi considerabil, deoarece este un flux de purtători de sarcină majoritari ( $I_{nD}$ ). Ca rezultat, curentul prin structură cercetată va crește semnificativ.

Regiunea spectrală a fotosensibilității heterostructurii este limitată de lungimea de undă prag a materialului de bază și de lungimea de undă la care începe recombinarea intensă de suprafață în materialul frontal al joncțiunii.

În Figura 10 este reprezentată distribuția spectrală a fotosensibilității structurilor  $\text{SnO}_2/n\text{Si}$  cu concentrația purtătorilor în semiconductorul de bază  $\sim 10^{15}\text{cm}^{-3}$ .

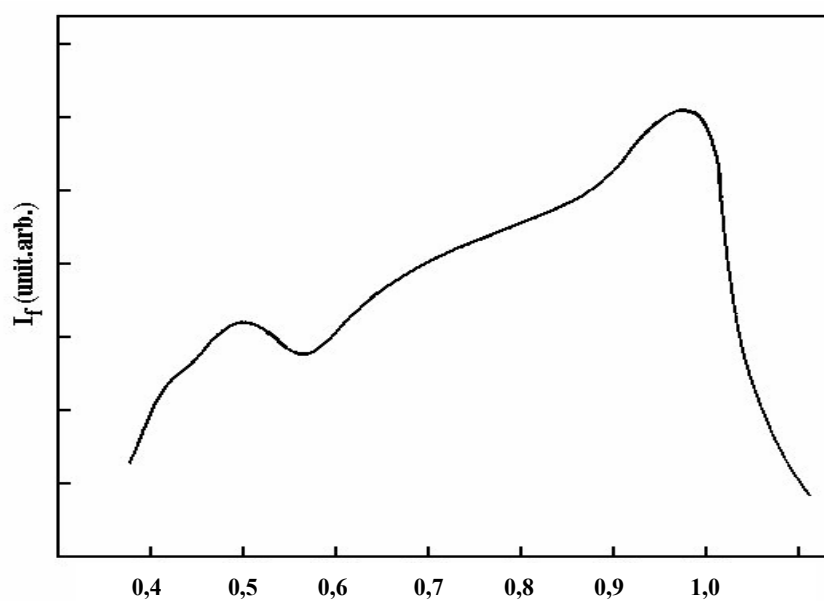


Fig.10. Distribuția spectrală a fotosensibilității structurilor izotipe  $\text{SnO}_2$ - $n\text{Si}$ .

Din figură se observă că regiunea sensibilității probei cercetate cuprinde regiunea spectrală  $0,35$ - $1,15\ \mu\text{m}$ , adică toată regiunea vizibilă a spectrului radiației solare. Iluminarea probei s-a efectuat din partea materialului structurii cu bandă largă, deci, din partea semiconductorului frontal  $\text{SnO}_2:\text{Sb}$ . Pentru fotonii cu energia apropiată de lărgimea energetică a benzii interzise a siliciului semiconductorul frontal este transparent, de aceea radiația trece neabsorbită stratul  $\text{SnO}_2:\text{Sb}$  și ajunge până la siliciu (efectul de fereastră). La energiile fotonilor, ce sunt suficiente pentru realizarea tranzițiilor directe, în semiconductorul de bază crește absorbția radiației, generarea și separarea perechilor electron-gol și, deci, crește fotosensibilitatea. În intervalul energiilor  $1,2$ - $3,1\ \text{eV}$  ( $0,4$ - $1,05\ \mu\text{m}$ ) structura cercetată  $\text{SnO}_2/n\text{Si}$  posedă o sensibilitate maximală. Absorbția fotonilor ce posedă energia  $>3,3\ \text{eV}$  are loc, preponderent, în stratul superficial al semiconductorului frontal  $\text{SnO}_2:\text{Sb}$ . Perechile generate electron-gol recombină aici neparticipând în fotocurent, dar îl susțin indirect. La recombinarea electronilor și golorilor pot apărea fotoni cu energie mai mică pentru care coeficientul de absorbție în acest material este mai mic. O parte din acești fotoni poate ajunge până la regiunea de separare și, ca rezultat, să genereze perechile electron-gol și să aducă aportul lor în fotosensibilitate. În Figura 10 se observă, de asemenea, că fotosensibilitatea structurilor cercetate în regiunea lungimilor de undă scurte este mai mică decât în cea din regiunea lungimilor de undă lungi.

Forma caracteristicilor spectrale ale fotosensibilității structurilor  $n^+\text{SnO}_2:\text{Sb}/n\text{Si}$  depinde de parametrii componentelor ce formează structura, de grosimea stratului dielectric la interfața semiconductorului frontal și a celui de bază și de temperatura mediului ambiant.

Rezultatele obținute permit formularea următoarelor **concluzii**:

1. Prin metoda pulverizării pirolitice a soluției clorurilor de staniu și stibiu în etanol la temperatura de 450°C au fost obținute straturi subțiri (0,3–0,4 μm) SnO<sub>2</sub>:Sb cu Eg = 4,7 eV de conductivitate electrică 2·10<sup>2</sup> Ohm<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> și transparență ce variază de la 85% la 54%, în dependență de creșterea nivelului de dopare.
2. Utilizând metoda nominalizată, prin depunerea straturilor subțiri SnO<sub>2</sub>:Sb pe plachetele de siliciu cu diametrul 100 mm, preventiv tratate chimic, au fost preparate structurile izotipe SIS In/n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb/SiO<sub>2</sub>/nSi/Cu.
3. Studiul proprietăților electrice a demonstrat că structurile obținute sunt abrupte, potențialul de difuzie este de 0,6 V, al cărui coeficient de variație cu temperatura este de cca 10<sup>-3</sup> VK<sup>-1</sup>.
4. Trecerea curentului prin structurile izotipe n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb/nSi polarizate direct este determinată de fluxul de electroni din banda de conducție a siliciului, care prin multiple trepte de tunelare prin stratul de sarcină spațială și stratul izolator SiO<sub>2</sub> pătrund în banda de conducție a n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>.
5. Dependența curent-tensiune a obiectului de studiu, polarizat indirect, la aplicarea tensiunilor electrice mici (până la 0,5 V) demonstrează prezența curenților de scurgere ce indică funcția de putere a dependenței. Majorarea tensiunii aplicate conduce la restructurarea benzilor energetice ale structurii n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb/nSi și la pătrunderea tunel a electronilor din banda de conducție n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb prin stratul SiO<sub>2</sub> în banda de conducție nSi. Fluxul de electroni este considerabil, deoarece este un flux de purtători de sarcină majoritari.
6. Structurile izotipe n<sup>+</sup>SnO<sub>2</sub>:Sb/nSi sunt fotosensibile. Regiunea sensibilității acoperă intervalul lungimilor de undă 0,35-1,15 μm.

#### Referințe:

1. Simașchevici A., Gorceac L., Serban D. Conversia fotovoltaică a energiei solare. - Chișinău: CE USM, 2002. - 249 p.
2. Shewchun J., Dubow G., Myszowsky A., Singh R. The operation of the semiconductor-insulator-semiconductor (SIS) solar cells: Theory. // J. Appl. Phys. - 1978. - Vol.49. - No9. - P.855-864.
3. Shewchun J., Dubow G., Wilmsen C., Singh R., Bark D., Wager J. The operation of the semiconductor-insulator-semiconductor (SIS) solar cells: Experiment // J. Appl. Phys. - 1979. - Vol.50, - No9. - P.2832.
4. Adeeb N., Kretsu I., Sherban D., Sushkevich V., Simashkevich A. Spray deposited ITO-CdTe solar cells // Sol. Energy Mater. - 1987. - Vol.15. - No1. - P.9-19.
5. Gagara L., Gorcheac L., Simashkevich A., Radu C., Radu S., Sherban D. Photovoltaic converters of solar energy on the base of SIS structures // Proceedings of the Int. Conf. „Euro-Sun 96”. München. - 1996. - Vol.2. - P.665-669.
6. Simashkevich A., Do Quoc Hung, Bobeico E., Gorcheac L., Sherban D. Solar cells based on SIS structures // Proc. of the 3<sup>rd</sup> Int. Workshop on Material Science. Hanoi. - 1999. - Part 1. - P.56-59.
7. Simashkevich A., Sherban D., Bobeico E. Spray deposited SiO<sub>2</sub>-Si solar cells // Balcan Phys. Letters (suppl.). - 1998. - No4. - P.21-15.
8. Andronic I., Simashkevich A., Gagara L., Gorceac L., Potlog T., Sherban D. InP based radiation stable solar cells // Proc of the 2<sup>nd</sup> World Conf. on PV Solar Energy Conversion. Vienna. -1998. - Vol.1. - P.249-252.
9. Simashkevich A., Sherban D., Bruk L. et al. Spray-deposited ITO-nSi solar cells with enlarged area // Proceedings of the 20<sup>th</sup> European PV Solar Energy Conference. Barcelona. - 2005. - P.980.
10. Брук Л., Караман М., Симашкевич А., Шербан Д., Федоров В., Усатый Ю. Исследование тонких слоев SnO<sub>2</sub>:Sb, полученных пиролизической пульверизацией // Abstr. of Int. Conf. „Physics of low-dimensional structures”. - Chișinău, 2007, p.41.
11. Riben R.A., Feucht D.L. Electrical transport in nGe-pGaAs heterojunctions // Int. J. Electronics. - 1966. - Vol.20. - P.583-587.
12. Riben R.A., Feucht D.L. nGe-pGaAs. Heterojunctions // Solid State Electron. - 1966. -Vol.9. - P.1055-1065.
13. Ashok S., Sharma P.P., Fonash S. Spray-deposited ITO-silicon SIS heterojunction solar cells // IEEE Trans. Electron Devices. - 1980. - ED-27. - P.725-730.
14. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник // Пер. с англ. - Москва: Мир, 1975. - 432 с.
15. Roderick E.H. Metal-semiconductor contacts. - Oxford: Clarendon Press, 1980. - 201 p.

**Notă:** Lucrarea a fost efectuată în cadrul Programului de Stat „Nanotehnologii, materiale noi multifuncționale și microsisteme electronice”, codul Proiectului 06.408.02.02P.

Prezentat la 13.08.2007