



MD 3737 F1 2008.10.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat  
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) **3737** (13) **F1**  
(51) Int. Cl.: *H01L 31/18* (2006.01)  
*H01L 31/04* (2006.01)

(12) **BREVET DE INVENȚIE**

<b>Hotărârea de acordare a brevetului de invenție poate fi revocată în termen de 6 luni de la data publicării</b>	
(21) Nr. depozit: a 2007 0084 (22) Data depozit: 2007.03.26	(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2008.10.31, BOPI nr. 10/2008
(71) Solicitant: INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI, MD	
(72) Inventatori: SIMAȘCHEVICI Alexei, MD; ȘERBAN Dormidont, MD; BRUC Leonid, MD; USATÎI Iurie MD; FEDOROV Vladimir, MD	
(73) Titular: INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI, MD	
(74) Reprezentant: ANSIMOVA Liudmila	

(54) **Celulă solară bilaterală și procedeu de fabricare a acesteia**

(57) **Rezumat:**

Invenția se referă la convertizoarele bilaterale ale energiei solare în energie electrică și la procedeele de fabricare a acestora.

Celula solară bilaterală constă din material semiconductor de bază, două joncțiuni, formate pe părțile frontală și dorsală, și grile metalice de contact. Joncțiunile formate sunt izotipice în raport cu materialul semiconductor de bază.

Procedeul de fabricare a celulei solare bilaterale include formarea a două joncțiuni pe părțile frontală și dorsală ale materialului semiconductor de bază și a grilelor metalice de contact. Joncțiunea

5 10 15  
frontală este formată ca o structură de tip semiconductor-izolator-semiconductor prin metoda de pulverizare pirolitică a soluției chimice. Structura joncțiunii frontale poate fi nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>ITO, iar în calitate de soluție chimică poate fi utilizată compoziția formată din 1M InCl<sub>3</sub>:1M SnCl<sub>4</sub>:C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH în proporție de 9:1:10.

Revendicări: 3

Figuri: 3

MD 3737 F1 2008.10.31

## MD 3737 F1 2008.10.31

### Descriere:

Invenția se referă la convertizoarele bilaterale ale energiei solare în energie electrică și la procedeele de fabricare a acestora.

5 Sunt cunoscute celule solare bilaterale care prezintă niște dispozitive semiconductoare de perspectivă, executate cu posibilitatea de a transforma în energie electrică radiația solară incidentă pe ambele părți ale celulei, ceea ce permite majorarea eficienței acestora. Au fost elaborate și cercetate diferite configurații ale celulelor solare bilaterale, construcțiile cărora în funcție de tipul și de numărul joncțiunilor pot fi divizate în următoarele grupuri [1]:

- 10 - structură cu două joncțiuni anizotipe p-n;
- structură cu o joncțiune anizotipă p-n și o joncțiune izotipă n-n<sup>+</sup> sau p-p<sup>+</sup>;
- structură cu o joncțiune anizotipă p-n.

15 Dezavantajele acestei soluții constau în aceea că celulele solare bilaterale cu construcția de primul tip nu sunt rentabile pentru utilizare practică, deoarece energiile generate de fiecare joncțiune nu se sumează, ci se scad și la ieșire se obține diferența lor. Construcția celulelor solare bilaterale de tipul doi este complicată, iar celulele solare bilaterale de tipul trei nu asigură o eficiență suficientă la iluminarea părții posterioare a acestora.

Se mai cunoaște o celulă solară bilaterală cu structura n<sup>+</sup>-n-p<sup>+</sup> în baza siliciului monocristalin, fiind compusă din două joncțiuni diferite: una anizotipă n-p<sup>+</sup>Si pe suprafața frontală a plachetei de Si și a doua izotipă n-n<sup>+</sup>Si pe suprafața posterioară.

20 Joncțiunile menționate în cea mai apropiată soluție sunt obținute prin difuzia impurităților în placheta de siliciu. În cazul formării simultane a joncțiunilor izotipe și anizotipe ale celulelor solare bilaterale în placheta de Si în același timp are loc difuzia impurităților (fosfor și bor), care acționează în mod contrar asupra proprietăților siliciului [2].

25 Dezavantajele acestei celule solare bilaterale constau în complexitatea construcției și a procedurii de preparare, necesitatea protecției locului formării joncțiunilor de impuritățile nedorite. Este evident că în acest caz este necesară elaborarea măsurilor de protecție a regiunii formării joncțiunii izotipe de acțiunea impurităților de bor, care formează joncțiunea anizotipă și viceversa, ce este o problemă complicată; efectuarea procesului de difuzare în condiții ne optimale privitor la temperatură și timp. La efectuarea difuziei simultane a două impurități pentru formarea în același timp a joncțiunilor n-p<sup>+</sup>Si și n<sup>+</sup>-nSi nici temperatura și timpul formării primei joncțiuni și nici ale celei de a doua nu pot fi optimale, deoarece parametrii sus numiți trebuie să satisfacă simultan condițiile a două procese contrarii. Temperatura și timpul formării joncțiunii n-p<sup>+</sup>Si din față trebuie să asigure uniformitatea și adâncimea minimală a joncțiunii, pe când temperatura și timpul formării joncțiunii n<sup>+</sup>-nSi din spate trebuie să asigure uniformitatea și adâncimea maximală a acesteia.

35 Afară de aceasta, procedeul de formare a joncțiunilor prin difuzie necesită: cheltuieli energetice esențiale, deoarece acest procedeu are loc la temperaturi ridicate de 850...1300°C. Pentru obținerea și menținerea acestor temperaturi este necesară o cantitate mare de energie electrică pentru ridicarea temperaturii, stabilizarea ei și efectuarea procesului de difuzie; sunt necesare condiții speciale pentru efectuarea procesului de difuzie. Pentru aceasta este necesar un reactor în care sunt introduse plachetele de siliciu, iar reactorul, la rândul său, trebuie amplasat într-un cuptor electric. Prin reactor se transmite un flux de gaze (în majoritatea cazurilor un amestec de azot cu oxigen sau argon cu oxigen), care creează în reactor o atmosferă specială pentru procesul de difuzie și distribuie spre plachetele de siliciu impuritățile necesare pentru dopare, control și reglare precise. Pentru introducerea în reactor a concentrației necesare de impurități se cere un control strict al fluxurilor de gaze ce parvin în reactor. Acest control se realizează cu ajutorul rotametrelor. Este necesar și un control strict al temperaturii în zona reactorului, unde are loc difuzia impurităților în siliciu.

40 Problema pe care o rezolvă invenția constă în reducerea costului, simplificarea construcției și procedurii de preparare a celulei solare bilaterale.

45 Celula solară bilaterală conform invenției înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că este compusă din material semiconductor de bază, două joncțiuni, formate pe părțile frontală și dorsală, și grile metalice de contact, totodată joncțiunile formate sunt izotipice în raport cu materialul semiconductor de bază.

50 Procedeul de fabricare a celulei solare bilaterale include formarea a două joncțiuni pe părțile frontală și dorsală ale materialului semiconductor de bază și a grilelor metalice de contact, totodată joncțiunea frontală se formează ca o structură de tip semiconductor-izolator-semiconductor prin metoda de pulverizare pirolitică a soluției chimice. Structura joncțiunii frontale poate fi nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>I<sub>2</sub>O, iar soluția chimică reprezintă o compoziție formată din 1M InCl<sub>3</sub>:1M SnCl<sub>4</sub>:C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH în proporție de 9:1:10.

## MD 3737 F1 2008.10.31

4

Rezultatul invenției constă în aceea că în loc de crearea în materialul semiconductor de bază inițial cu conductibilitate de tip n cu o suprafață puternic dopată  $n^+$  a unei joncțiuni n-p<sup>+</sup>, pe suprafața lui nedopată se formează joncțiunea n-i-n<sup>+</sup>, ce reprezintă o structură de tip semiconductor-izolator-semiconductor (SIS). Pentru aceasta pe suprafața încălzită a materialului semiconductor de bază (temperatura în acest caz este de 2...3 ori mai joasă decât temperatura de difuzie în cazul celei mai apropiate soluții) în condițiile mediului ambiant se depune prin metoda de pulverizare pirolitică un strat semiconductor cu același tip de conductibilitate electrică ca și materialul semiconductor de bază. Stratul semiconductor depus are concentrația purtătorilor de sarcină cu 2...3 ordine mai înaltă și lărgimea benzii interzise mai mare decât în materialul semiconductor de bază. Simultan la interfață se formează un strat de oxid propriu al materialului de bază, care este transparent pentru tunelarea purtătorilor de sarcină. Acest strat de oxid este situat între stratul depus și materialul de bază și contribuie la majorarea înălțimii barierei de potențial și, prin urmare, la majorarea eficienței separării de către joncțiunea n-i-n<sup>+</sup> a purtătorilor de sarcină generați de lumină.

Astfel, scopul propus este atins prin aceea că construcția celulei solare bilaterale este simplificată, fiind compusă din două joncțiuni izotipe, spre deosebire de cea mai apropiată soluție, unde este o combinație de joncțiuni izotipă și anizotipă. Modificarea construcției celulei solare bilaterale duce la simplificarea procedurii de confecționare a acesteia. Procedul de confecționare a celulei solare bilaterale propuse include formarea joncțiunii izotipe din spate prin difuzia impurității necesare în materialul semiconductor de bază la temperatura și timpul de difuzie optimale, asigură obținerea concentrației purtătorilor de sarcină cu 2...3 ordine mai mare decât în materialul semiconductor de bază. Formarea joncțiunii secunde frontale izotipe de tipul structurii SIS se realizează prin metoda de pulverizare pirolitică în condițiile mediului ambiant a soluțiilor chimice pe suprafața liberă a materialului semiconductor de bază, încălzită până la o temperatură mult mai joasă decât temperatura necesară pentru formarea joncțiunii n-p<sup>+</sup> în cea mai apropiată soluție.

Rezultatul invenției propuse constă în următoarele:

1. Toate joncțiunile din componența structurii celulei solare bilaterale sunt izotipe, ceea ce simplifică construcția și procedul de confecționare. Construcția propusă poate fi caracterizată ca un nou tip de celulă solară bilaterală.

2. Procedul de confecționare a celulei solare bilaterale propuse include realizarea procesului de difuzie numai a unui tip de impurități pentru formarea joncțiunii n-n<sup>+</sup>, de aceea acest proces are loc la temperatura și timpul optimal, fără utilizarea măsurilor de protecție a regiunii formării joncțiunii de acțiunea altei impurități.

3. Joncțiunea frontală n-i-n<sup>+</sup> se obține prin pulverizare pirolitică în condițiile mediului ambiant a soluțiilor chimice pe suprafața liberă a materialului semiconductor de bază, încălzită până la o temperatură de 2...3 ori mai joasă decât temperatura utilizată pentru formarea acestei joncțiuni în cea mai apropiată soluție, ce considerabil simplifică și ieftinește procedul de confecționare a celulei solare bilaterale.

Invenția se explică prin desenele din fig. 1...3, care reprezintă:

- fig. 1, celula solară bilaterală propusă;

- fig. 2, diagrama benzilor energetice în echilibru termodinamic al structurii  $n^+Si-nSi-iSiO_2-n^+ITO$ ;

- fig. 3, caracteristicile de sarcină ale celulei solare bilaterale propuse.

Celula solară bilaterală conține o plachetă de siliciu cu conductibilitate electronică 1 cu un strat puternic dopat 2. Pe suprafața ei opusă este formată o structură SIS de tipul n-i-n<sup>+</sup> în care stratul 3 este oxidul propriu al materialului de bază ( $SiO_2$ ), iar 4 este stratul ITO alcătuit din amestecul oxidilor  $In_2O_3$  și  $SnO_2$ , obținut prin metoda pulverizării pirolitice a soluțiilor de cloruri de indiu și de staniu, 5 și 6 sunt respectiv grilele metalice de contact frontală și posterioare.

Celula solară bilaterală propusă funcționează în modul următor.

Radiația solară, ce cade pe suprafața frontală a celulei solare bilaterale, trece prin partea neacoperită a grilei metalice de contact 5 și nimereste pe suprafața stratului ITO 4. Fotonii cu energia mai mică decât banda interzisă a stratului ITO, precum și a stratului  $SiO_2$ , nu sunt absorbiți și nimeresc pe suprafața plachetei de siliciu cu conductibilitate electronică 1. Radiația cu energia fotonilor în intervalul 1,1...3,4 eV este absorbită în acest material, ceea ce duce la generarea perechilor electron-gol. Purtătorii de sarcină generați sunt separați spațial de către câmpul electric al joncțiunii nSi-iSiO<sub>2</sub>-ITO, regiunea de sarcină spațială a căreia este complet amplasată în Si. Electronii sunt antrenați de către câmpul electric al joncțiunii, formate la interfața plachetei de siliciu cu conductibilitate electronică 1 și regiunea ei puternic dopată  $n^+Si$  2 și se deplasează către grila metalică de contact 6, pe când gurile tunelează prin stratul subțire  $SiO_2$ , recombina cu purtătorii majoritari în stratul ITO și încarcă pozitiv grila metalică de contact 5. Prin urmare, la iluminare între grilele metalice de contact ale celulei solare bilaterale propuse apare o diferență de potențial.

## MD 3737 F1 2008.10.31

5

Același efect apare și la iluminarea celulei solare bilaterale din spate. Radiația solară care trece în acest caz prin grila metalică de contact 6, placheta de siliciu cu conductibilitate electronică 1 cu un strat puternic dopat 2 și care ajunge până la regiunea de sarcină spațială a joncțiunii nSi-iSiO<sub>2</sub>-ITO, este absorbită și generează perechile electron-gol. Purtătorii de sarcină generați sunt separați spațial de către câmpul electric al joncțiunii nSi-iSiO<sub>2</sub>-ITO și mai departe se deplasează spre grilele metalice de contact 5 și 6, cum deja a fost descris mai sus.

5 Celula solară bilaterală propusă este confecționată în modul următor. Drept componenta 1 este utilizată o plachetă de siliciu de tip КЭФ-1, orientată în planul (100) cu conductibilitate electronică și cu grosimea de 250 μm. Pentru formarea stratului 2, adică a joncțiunii n<sup>+</sup>-nSi a fost utilizată metoda de difuzie a fosforului din sursa lichidă POCl<sub>3</sub>. Procesul de difuzie durează 30 min la temperatura de 850°C, după care plachetele sunt supuse unui tratament termic la temperatura de 940°C timp de 180 min. Ca rezultat se formează o barieră de potențial cu înălțimea de 0,1 eV situată la adâncimea de 0,8...1,0 μm de la suprafața posterioară a plachetei de siliciu. Mai departe, pe suprafața opusă a plachetei de siliciu cu conductibilitatea electronică 1 se depune stratul ITO 4 prin metoda de pulverizare pirolitică a soluțiilor clorurilor de indiu (1M) și staniu (1M) în etanol cu compoziția InCl<sub>3</sub>:SnCl<sub>4</sub>:C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH în proporție de 9:1:10 la temperatura de 450°C. Acest regim de depunere asigură formarea oxidului propriu al materialului de bază (SiO<sub>2</sub>) 3 cu grosimea de 30...40Å. Straturile subțiri ITO aveau grosimea de 0,3...0,4 μm, rezistența de suprafață de 10...12 Ω/cm și lățimea energetică a benzii interzise de 3,4 eV. Contactele ohmice în formă de grile metalice de contact 5 și 6 respectiv la straturile ITO și n<sup>+</sup>Si sunt confecționate prin evaporarea termică în vid prin măști speciale ale cuprului.

În fig. 1 se vede că în placheta de siliciu cu conductibilitate electronică se formează două joncțiuni. Prima joncțiune nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>ITO se numește frontală, deoarece radiația solară nimerește nemijlocit pe suprafața ei activă. Ea este situată la adâncimea de 0,3...0,4 μm de la suprafața, care este determinată de grosimea stratului ITO. A doua joncțiune n<sup>+</sup>Si-nSi se numește joncțiunea posterioară. Radiația incidentă nu poate să nimerească nemijlocit pe suprafața ei activă, dar poate să fie îndreptată acolo cu ajutorul diferitelor dispozitive reflectoare.

În fig. 2 este prezentată diagrama benzilor energetice ale structurii n<sup>+</sup>Si-nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>ITO, în baza căreia este confecționată celula solară bilaterală propusă. În această diagramă E<sub>c</sub> este energia nivelului inferior al benzii de conducție, E<sub>v</sub> - energia nivelului exterior al benzii de valență, E<sub>F</sub> - energia nivelului Fermi, E<sub>vac,1</sub> - energia nivelului energetic al vidului, s.c.r - regiunea de sarcină spațială, iar prin cifre sunt indicați parametrii materialelor ce formează structura și parametrii calculați ai joncțiunilor formate. Analiza acestei diagrame energetice demonstrează că structura n<sup>+</sup>Si-nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>ITO alcătuită numai din joncțiuni izotope poate fi utilizată în calitate de celulă solară bilaterală. Într-adevăr, la iluminarea structurii prin stratul ITO, după cum se vede din fig. 2, fotonii din spectrul solar cu energia  $1,1 \leq h\nu < 3,4$  eV trec liber prin stratul subțire ITO (E<sub>g</sub>=3,4 eV) și sunt absorbiți în materialul de bază nSi. Aici sunt generate perechile electron-gol, care sunt separate spațial de către câmpul electric al joncțiunii nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>ITO și fluxul de electroni se îndreaptă spre n<sup>+</sup>Si, fiind favorizat de câmpul electric al joncțiunii n<sup>+</sup>-nSi. Golurile tunelează prin stratul SiO<sub>2</sub> și recombină cu electronii situați în fanta energetică E<sub>r(ITO)}</sub>-E<sub>c(ITO)}</sub>. Aceleași procese au loc la iluminarea structurii n<sup>+</sup>Si-nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>ITO din partea n<sup>+</sup>Si. În cazul timpurilor de viață ale purtătorilor de sarcină destul de mari și, prin urmare, în cazul valorilor mari ale lungimilor de difuzie a purtătorilor generați de lumină, apar fluxuri de electroni și goluri. Cu cât este mai mare timpul de viață, cu atât mai intense vor fi aceste fluxuri. Este clar, că la iluminarea structurii din ambele părți, fluxurile de electroni și goluri, generați de lumină și separați de câmpul electric al joncțiunii nSi-iSiO<sub>2</sub>-ITO, se vor aduna și, prin urmare, dispozitivul propus Cu-n<sup>+</sup>Si-nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>ITO-Cu, confecționat numai în baza joncțiunilor izotope, este o celulă solară bilaterală de tip nou cu efect de integrare a energiei electrice generate.

În fig. 3 sunt prezentate caracteristicile de sarcină ale celulei solare bilaterale propuse, măsurate în condițiile standard AM1,5 (1000 W/m<sup>2</sup>) la iluminarea unei probe cu suprafața de 1 cm<sup>2</sup> din partea joncțiunilor frontale și posterioare. Se vede că în cazul iluminării frontale V<sub>oc</sub>=0,425 V, J<sub>sc</sub>=32,63 mA/cm<sup>2</sup>, FF=68,3%, eficiența este de 9,4%, iar la iluminarea din spate V<sub>oc</sub>=0,392 V, J<sub>sc</sub>=13,23 mA/cm<sup>2</sup>, FF=69,3%, eficiența E<sub>FF</sub> este de 3,4%, unde: V<sub>oc</sub> - tensiunea circuitului deschis, J<sub>sc</sub> - curentul de scurt circuit pe un cm<sup>2</sup>, FF - coeficientul de umplere a caracteristicii de sarcinii ale celulei solare bilaterale. Rezultatele prezentate încă nu sunt optimale, dar demonstrează convingător posibilitatea fabricării celulei solare bilaterale de tip nou în baza numai a joncțiunilor izotope.

# MD 3737 F1 2008.10.31

6

## (57) Revendicări:

- 5 1. Celulă solară bilaterală, care este compusă din material semiconductor de bază, două joncțiuni, formate pe părțile frontală și dorsală, și grile metalice de contact, **caracterizată prin aceea că** joncțiunile formate sunt izotipice în raport cu materialul semiconductor de bază.
- 10 2. Procedeu de fabricare a celulei solare bilaterale, care include formarea a două joncțiuni pe părțile frontală și dorsală ale materialului semiconductor de bază și a grilelor metalice de contact, **caracterizat prin aceea că** joncțiunea frontală se formează ca o structură semiconductor-izolator-semiconductor prin metoda de pulverizare pirolitică a soluției chimice.
- 15 3. Procedeu conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** structura joncțiunii frontale este nSi-iSiO<sub>2</sub>-n<sup>+</sup>ITO, iar soluția chimică reprezintă o compoziție din 1M InCl<sub>3</sub>:1M SnCl<sub>4</sub>:C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH în proporție de 9:1:10.

## (56) Referințe bibliografice:

1. Cuevas A. The early history of bifacial solar cells. 20<sup>th</sup> European Solar Energy Conference. Barcelona, Spain, 6-10 Iunie 2005, p.801-805
2. Cuevas A., Luque A., Eguren J., del Alamo J. High efficiency bifacial backsurface field solar cells. Solar Cells, 3, 1981, p. 337-340

**Șef Secție:**

SĂU Tatiana

**Examinator:**

GULPA Alexei

**Redactor:**

CANȚER Svetlana

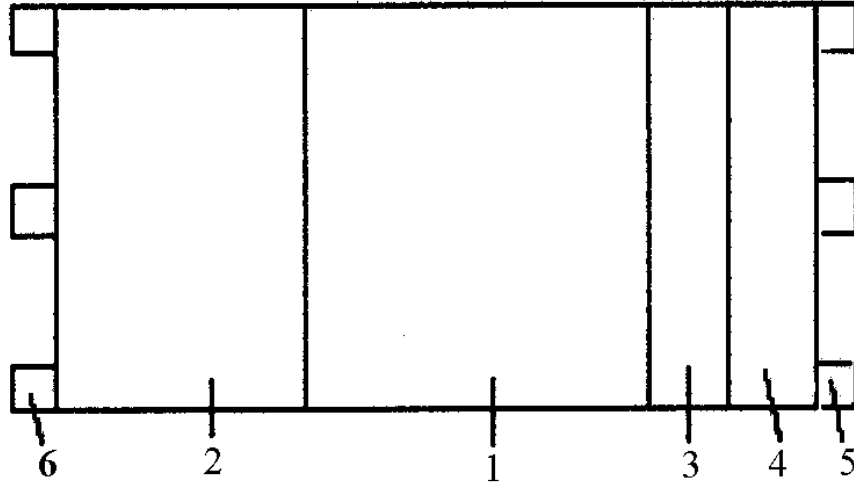


Fig. 1

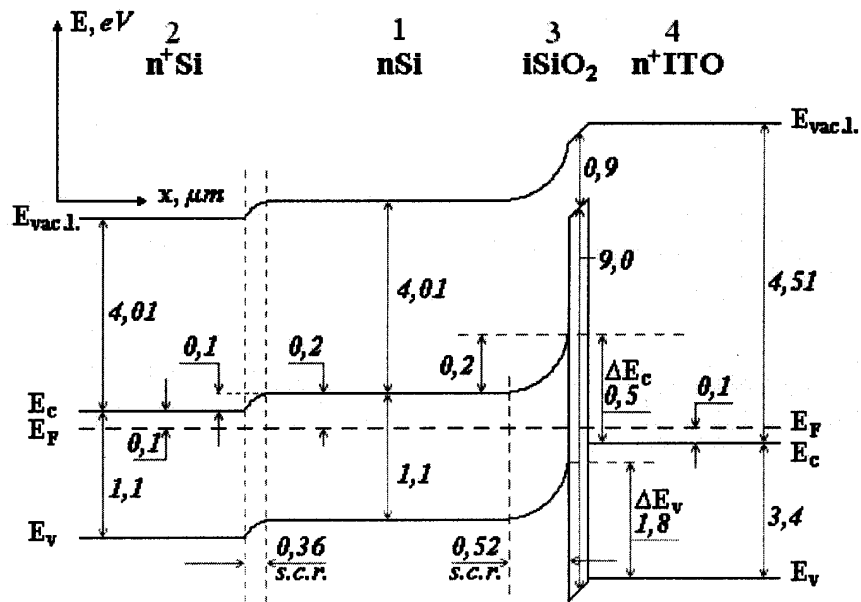


Fig. 2

# MD 3737 F1 2008.10.31

8

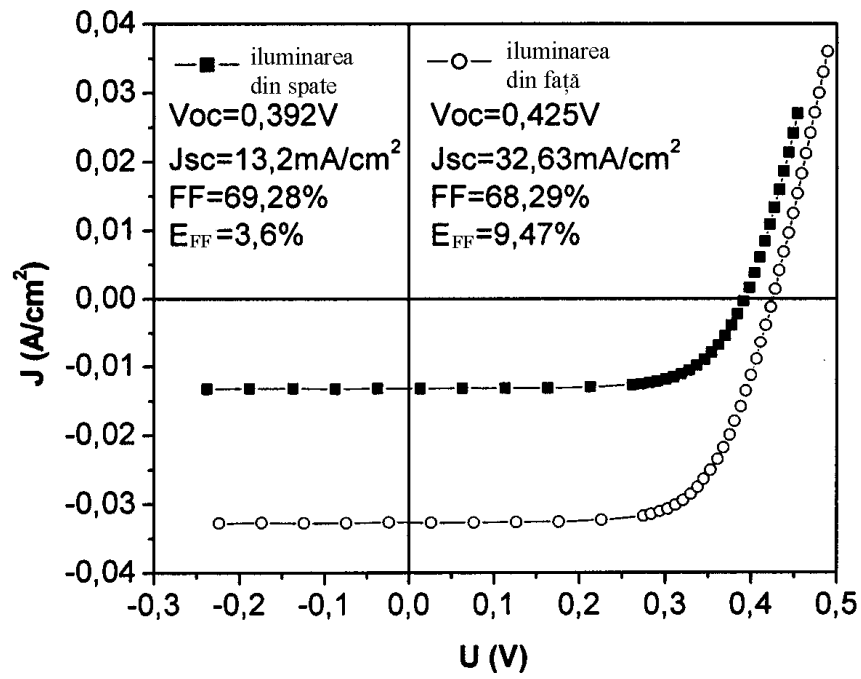


Fig. 3