

DISPOZITIVE FOTOVOLTAICE PE BAZA FTALOCIANINEI DE CUPRU FABRICATE PRIN METODA VOLUMULUI CVASIÎNCHIS

Dumitru DUCA, Tamara POTLOG

Universitatea de Stat din Moldova

În cadrul acestui studiu au fost cercetate proprietățile fizice ale straturilor subțiri de ftalocianină de cupru (CuPc) depuse în vid prin metoda volumului cvasiînchis, dar și a dispozitivelor fotovoltaice pe baza acestora. A fost studiată influența tratării termice asupra structurii și proprietăților optice ale straturilor CuPc utilizând metoda difracției de raze X și spectroscopia optică (transmitanța, reflectanța). Au fost fabricate structurile ITO/CuPc/Al și ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al și studiate proprietățile fotoelectrice ale acestora. S-a constatat ca utilizarea stratului de PEDOT:PSS îmbunătățește parametrii fotovoltaici, în special tensiunea de circuit deschis.

Cuvinte-cheie: dispozitive fotovoltaice, ftalocianină de cupru, PEDOT:PSS, absorbanță, tensiune de circuit deschis.

PHOTOVOLTAIC DEVICES BASED ON COPPER PHTHALOCIANINE FILMS DEPOSITED VIA CSS METHOD

In this study, properties of copper phthalocyanine (CuPc) films deposited by close space sublimation and photovoltaic devices based on them were investigated. The effect of the thermal treatment in different conditions on the structure and the optical properties were investigated by XRD analysis and optical spectroscopy (transmittance and reflectance). The ITO/CuPc/Al and ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al structures were fabricated and the photoelectric properties were studied. Was established that the utilization of the PEDOT:PSS layer in the fabrication of the structure improve photovoltaic parameters, especially open circuit voltage.

Keywords: Photovoltaic devices, copper phthalocyanine, PEDOT:PSS, absorption, open circuit voltage.

Introducere

Dispozitivele fotovoltaice organice sunt o altă alternativă la materialele convenționale utilizate pentru a produce module fotovoltaice. Deși este o tehnologie extrem de nouă, este considerată promițătoare din moment ce oferă o soluție foarte ieftină. Structura semiconductoarelor organice consta din unități moleculare a căror caracteristică principală sunt legăturile π -conjugate [1]. Acest tip de legături dau naștere unor orbitali delocalizați, care pot fi ocupați sau liberi. Datorită acestei structuri, semiconductoarele organice permit transportul electric și interacționează cu lumina. Spre deosebire de semiconductoarele anorganice, în cele organice structura solidă se datorează existenței unor interacțiuni slabe, în principal Van der Waals și dipol-dipol, între molecule. Semiconductoarele organice și-au găsit aplicație în realizarea de dispozitive și circuite electronice, cum ar fi tranzistoare cu efect de câmp [1, 2], celule solare [1,3-7], dispozitive de emisie-LED-uri și laseri, dispozitive de afisaj [1]. Dintre semiconductoarele moleculare cu conducție de tip n , cel mai utilizate sunt: pentacenu (P5), rubenu, structuri moleculare care au la bază inelul tiofen (6T, DH-6T, DH-4T, benzodithiofen: BDT, derivați ai andratiofenului – ADT), metaloftalocianinele, iar dintre cele de tip p – oligotiofenele cu niveluri energetice moleculare modificate prin substituie cu grupări cyan, perfluoroalkyl/aryl și alkyl/arylcarbonyl și cei bazați pe naftalen și perylen. Dintre metaloftalocianine o aplicație mai largă are ftalocianina de cupru (CuPc). CuPc are structură polimorfă cu fazele α , β , γ , δ , ϵ , π , s și c . Ftalocianina de cupru aparține sistemului monoclinic cu baze centrate, a cărei celulă elementară are constantele de rețea: $a = 19,6 \text{ \AA}$, $b = 4,8 \text{ \AA}$, $c = 14,6 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 124^\circ$. Din punctul de vedere al structurii cristaline, CuPc este stabil sub aspect termic și chimic.

Studiul bibliografic realizat arată ca celule solare pe baza structurii ITO/PEDOT:PSS/CuPc /PTCBI /Al au fost realizate de V.P. Singh și colaboratorii [5-6] cu densitatea curentului de scurtcircuit de $0,042 \text{ mA/cm}^2$ la grosimea CuPc de 15 nm și de $0,124 \text{ mA/cm}^2$ la grosimea de 120 nm . S.Marda [8] a realizat celulele solare pe baza structurii ITO/CdS/ CuPc/PEDOT:PSS/Au cu valori ale tensiunii de circuit și densității curentului de scurtcircuit de $0,59 \text{ V}$ și de $0,7 \text{ mA/cm}^2$, respectiv. Makoto Iwase și colaboratorii [9] au raportat celule bazate pe structura ITO/TiOx/ CuPc:PCBM /PEDOT:PSS/Au cu un randament de conversie de $2,6 \times 10^{-2} \%$, factor de umplere (FF) de $0,32$, densitatea curentului de scurt-circuit $0,23 \text{ mA/cm}^2$ și tensiunea de circuit deschis de $0,35 \text{ V}$. În lucrarea de față vor fi studiate proprietățile fizice ale straturilor de CuPc obținute în premieră prin metoda volumului cvasiînchis, ale structurilor pe baza lor și proprietățile fotoelectrice ale acestora.

I. Tehnici experimentale utilizate pentru depunerea, caracterizarea straturilor subțiri și a dispozitivelor pe baza lor

I.1. Depunerea straturilor subțiri CuPc prin volum cvasiînchis

Prin volum cvasiînchis înțelegem un volum izolat necomplet, în care schimbarea densității vaporilor în urma scurgerii în spațiul exterior în timpul condensării este neglijabilă [5]. Camera de evaporare reprezintă un cilindru cav, baza de sus și baza de jos ale căruia îndeplinesc funcțiile de evaporator și condensator. Pentru confecționarea camerei a fost utilizat grafitul, care prezintă proprietăți, precum termocapacitatea, inerția chimică relativă, termoconductibilitatea moderată, necesară pentru obținerea gradientului termic, capacitatea de evacuare a gazelor reziduale și prelucrarea mecanică ușoară. Dimensiunile camerei de evaporare variază în limitele scopului propus de procesul tehnologic. Dimensiunile camerei de evaporare: diametrul $2 \cdot 10^{-1}$ m, înălțimea $2,2 \cdot 10^{-1}$ m. Materialul de evaporare și substratul de condensare se încălzesc cu două cuptoare. Temperatura de evaporare și de condensare se controlează și se reglează conform indicatorilor termocuplurilor instalați pe bazele camerei de evaporare. Încălzitorul este confecționat din conductor de Wolfram care se trece prin tuburi de cuarț instalate în baza camerei. Pentru mărirea randamentului încălzitorului, tuburile se plasează în două-trei rânduri. Încălzitorul cu asemenea construcție permite ridicarea temperaturii de evaporare până la 1200...1400°C. Depunerea straturilor subțiri de CuPc în volum cvasiînchis se reduce la următoarele operații tehnologice. Se produce asamblarea camerei de evaporare – încărcarea sursei de evaporare, instalarea substratului etc. Camera este plasată în instalația cu vid, care se evacuează până la presiunea reziduală 10^{-5} ... 10^{-6} Torr, înregistrată de datele indicatorului manometric. Următoarea operație tehnologică este menținerea camerei în vid, necesară pentru alinierea presiunilor reziduale în camera de evaporare și instalația cu vid. Apoi se include încălzitorul și toată camera se încălzește în regim spulimentar de degazare. Urmează instalarea regimului termic necesar pentru evaporare și condensare ($T_{\text{evaporare}} > T_{\text{condensare}}$) și precipitarea condensatului, care asigură la regimul termic dat grosimea necesară a condensatului. Temperatura evaporatorului a fost menținută la 460°, iar suportul nu s-a încălzit. În calitate de substrat a fost utilizată sticla curată și sticla acoperită cu ITO. Calitatea de pregătire a suprafeței suportului către depunere are o influență decisivă asupra structurii și perfecțiunii cristaline a straturilor preparate. De aceea, suporturile se prelucrau în prealabil într-o soluție de amestec de crom ($7gK_2Cr_2O_7 + 10ml H_2O + 100ml H_2SO_4$) la temperatura camerei timp de 2-3 ore, mai apoi erau minuțios spălate în apă distilată și în ultima fază se uscau la un cuptor cu temperatura de 200°C în atmosferă de hidrogen. La ieșirea din regimul de lucru la început se stinge încălzitorul zonei de evaporare și doar când temperatura din partea de evaporare a camerei va coborî până la temperatura de condensare se stinge încălzitorul zonei de condensare și camera se răcește concomitent de-a lungul întregii lungimi.

I.2. Depunerea straturilor subțiri PEDOT:PSS prin centrifugare (spin coating)

„Spin-coating” (centrifugarea) [5-6] este o metodă de depunere de straturi subțiri uniforme pe un substrat plat. O cantitate de soluție în exces este plasată pe un substrat care se rotește cu o viteză ridicată în vederea împrăstierii soluției cu ajutorul forței centrifuge. Rotirea se continuă până când fluidul se întinde până la marginile substratului și până când se obține stratul de grosimea dorită. Solventul folosit este în mod obișnuit volatil și se evaporă imediat. Astfel, cu cât mai mare este viteza unghiulară a spinnerului, cu atât mai subțiri sunt straturile ce se obțin. Grosimea stratului poate fi ajustată variind viteza de rotație, timpul de rotație și concentrația soluției folosite. Procedul de depunere poate fi divizat în patru etape (Fig.1): 1) depunerea – lichidul în exces este împrăștiat pe suprafața substratului; 2) spin-up – lichidul este împins radial de forța centrifugă; 3) spin-off – stratul lichid se micșorează în grosime prin dispensarea de exces la margine; în timpul micșorării grosimii crește rezistența la curgere, stabilindu-se o grosime minimă a lichidului; 4) evaporarea – reprezintă ultimul mecanism de subțiere a stratului, în care solventul se evaporă.

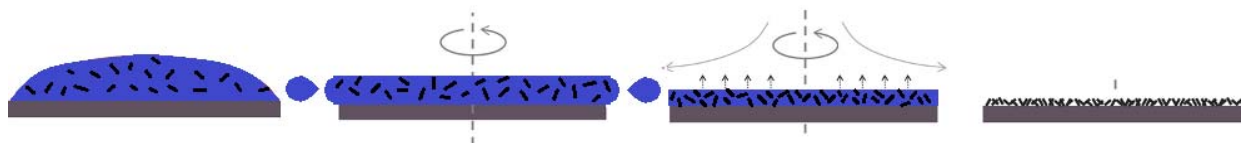


Fig.1. Etapele de depunere a straturilor subțiri prin metoda „spin-coating”.

Aplicarea fluidului pe substrat se face cu ajutorul unei seringi pe suprafața substratului. În general, se aplică mai multă soluție decât este necesară în mod real pentru acoperirea substratului. Soluția de PEDOT:PSS a fost diluată cu metanol în proporție de 1:1, din care s-au depus straturi subțiri la temperatura camerei pe substraturi de sticlă și suporturi ITO/sticlă prin spin-coating. Sistemul taler-suport a fost pus în mișcare de rotație, cu o viteză de 1000 rotații/min. Straturile depuse au fost uscate cu ajutorul unui uscător cu aer cald. Procedura a fost repetată de cel puțin 3-5 ori, în vederea realizării de straturi subțiri transparente cu grosimi cuprinse între 100 nm și 400 nm. După depunere straturile au fost supuse tratamentului termic la diferite temperaturi și durate de tartare termică. Tratarea termică îmbunătățește ordinea moleculară și mărimea cristalitelor din straturile subțiri și, ca rezultat, conduce la performanțe mai bune la dispozitiv.

1.3 Fabricarea dispozitivelor fotovoltaice ITO/CuPc/Al și ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al

Stratul subțire de ITO depus pe sticlă optică cu transmitanță > 85% în vizibil și, respectiv, rezistența superficială < 10 Ω/sq la grosimi < 100 nm servește ca substrat și, totodată, ca anod. Substraturile au fost curățate prin ultrasonicare folosind izopropanol și apă distilată. Stratul de poli(etilendioxitiofenă) polistiren sulfonic (PEDOT-PSS) cu grosimea de 100 nm a fost depus peste stratul de ITO, prin tehnica de spin-coating. Timpul necesar depunerii a fost 60 de secunde, la o viteză unghiulară de 1000 rot/s. Stratul de PEDOT facilitează transferul golurilor între electrodul de ITO și stratul activ, deoarece, pe de o parte, reduce rugozitatea filmului de ITO, iar, pe de altă parte, face legătura dintre lucrul de extracție al stratului de ITO (4,7 eV) și nivelul HOMO al semiconductorului organic. Peste stratul de PEDOT a fost depus prin volum cvasiînchis stratul de CuPc. Pentru a completa structura fotovoltaică, prin evaporare termică în vid a fost depus un strat subțire de Al servind ca electrod de spate.

1.4. Metode de investigație utilizate

Cu ajutorul microscopiei electronice de scanare (scanning electron microscopy, SEM) a fost obținută informație despre morfologia și topologia suprafeței.

Difracția de radiații X este utilizată pentru a furniza informații despre structura cristalină a materialului, de obicei înregistrându-se curba intensitate-2θ obținută în geometrie θ-2θ. Calitativ, principalele informații obținute sunt tipul de structură (cristalină/amorfă) și fazele din compoziția materialului. Condiția de difracție este îndeplinită dacă este îndeplinită relația lui Bragg:

$$2d \cdot \sin\theta = \lambda \quad (1)$$

Dimensiunea cristalitelor poate fi determinată cu ajutorul formulei lui Debye-Scherrer:

$$D = \frac{0.9\lambda}{w \cdot \cos\theta}, \quad (2)$$

unde w este lărgimea picului XRD, exprimată în radiani, măsurată la $I_{\max}/2$. Analiza structurii eşantioanelor a fost realizată prin difracție de radiații X utilizând difractometrul Bruker D8 Discover cu radiația $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$).

Spectroscopia optică este o metodă pe larg utilizată în caracterizarea straturilor subțiri. Din simularea spectrelor optice pot fi determinate grosimea stratului subțire, densitatea de sarcină, lărgimea zonei interzise, mobilitatea purtătorilor de sarcină. Transmitanța, T , a unei probe este definită de raportul dintre intensitatea fasciculului transmis I_T și intensitatea fasciculului incident I_0 . Reflectanța, R , este definită ca raportul dintre intensitatea fasciculului reflectat I_R și intensitatea fasciculului incident. Pentru straturi subțiri, din măsurători de transmisie (T) și reflectivitate (R) poate fi determinat coeficientul de absorbție, conform ecuației:

$$\alpha = \frac{1}{a} \ln \frac{(1-R)^2}{T}, \quad (3)$$

unde d este grosimea stratului. Proprietățile optice (transmisia și absorbanța) straturilor subțiri au fost înregistrate cu spectrofotometrul UV-VIS Perkin Elmer Lambda 35.

2. Rezultate și discuții

2.1. Morfologia și structura straturilor CuPc

Imaginile SEM ale suprafeței straturilor CuPc și CuPc dopate cu In depuse pe suport de ITO/sticlă sunt ilustrate în figurile 2 și 3. Pe suprafața stratului de CuPc nedopat pot fi observate formațiuni cu aspect lenticular cu spații goale între unele dintre ele. În cazul când straturile sunt dopate cu In, suprafața straturilor devine compactă cu o distribuție mai uniformă și chiar se observă o schimbare semnificativă în orientarea cristalitelor (Fig.3).

În Figura 4 este ilustrată imaginea SEM a secțiunii transversale a graniței de separare ITO/CuPc. Se observă că stratul de CuPc nu este omogen după grosime, interfața dintre straturi prezintă o linie bine conturată ce indică lipsa interdifuziei între componentele structurii. Structura straturilor subțiri de CuPc a fost analizată într-un interval unghiular cuprins între 2 și 60 grade. Indexarea maximelor (peak-urilor) de difracție de radiații X (XRD – X-Ray Diffraction) s-a făcut în acord cu datele JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards). Lărgimea la semiînălțime a „clopotului” Gauss fitat, denumită FWHM (Full Width at Half Maximum), a fost folosită la estimarea dimensiunilor cristalitelor din straturile subțiri depuse, folosind formula lui Debye-Scherrer. În Figura 5 sunt prezentate spectrele XRD pentru straturi subțiri de CuPc depuse pe substraturi din sticlă, atât după depunerea în vid, cât și după tratarea termică în diferite medii. În grafic sunt prezente difractogramele stratului după depunere, după tratarea termică în vid la temperatura de 80-90°C și după tratarea termică în flux de hidrogen la temperatura de 200°C. S-a constatat că toate straturile au structură policristalină, se observă un maxim dominant ce pare să corespundă reflexiei pe familia de plane (200) a fazei α .

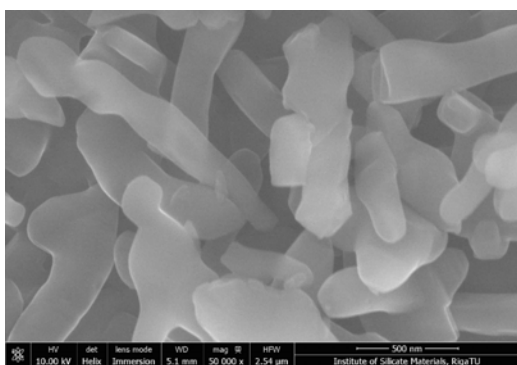


Fig.2. Imaginea SEM a stratului de CuPc pe suport ITO/sticlă.

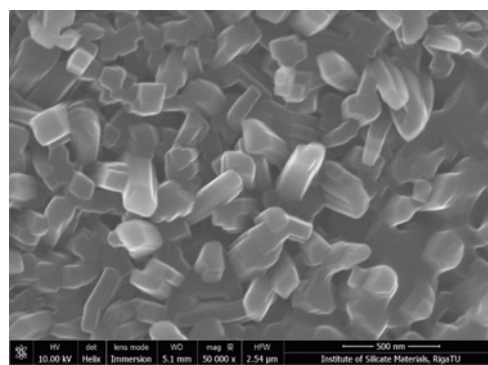


Fig.3. Imaginea SEM a stratului de CuPc dopat cu In pe suport ITO/sticlă.

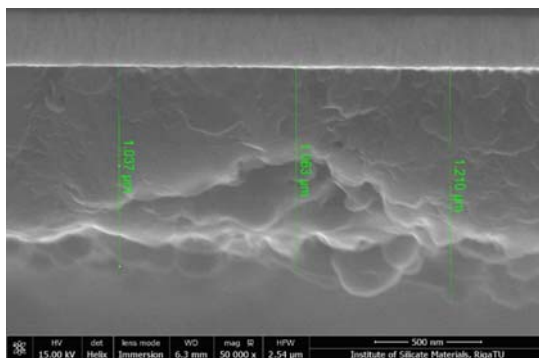


Fig.4. Imaginea SEM a secțiunii transversale a interfeței structurii ITO/CuPc.

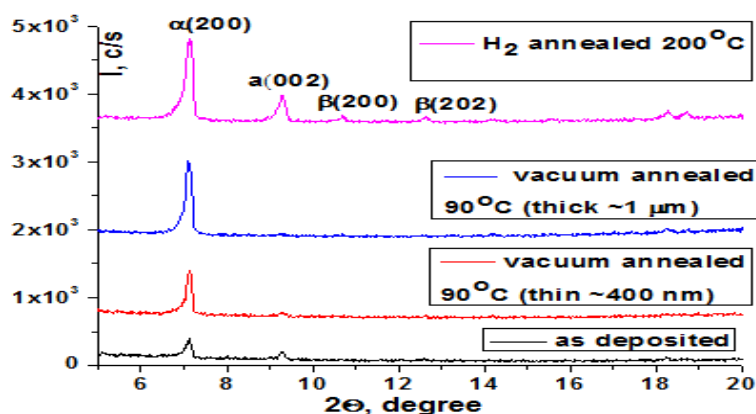


Fig.5. Tabloul XRD al straturilor de CuPc după depunere și tratare termică în diferite medii.

În straturile CuPc tratate termic în flux de H₂ apare și faza β. Celula elementară a straturilor CuPc aparține sistemului cristalografic triclinic cu parametrii rețelei $a = 12,8860 \text{ \AA}$, $b = 3,7690 \text{ \AA}$, $c = 12,0610 \text{ \AA}$ (faza α) și $a = 19,4236 \text{ \AA}$, $b = 4,8134 \text{ \AA}$, $c = 14,6478 \text{ \AA}$ (faza β). Valorile parametrilor rețelei cristaline sunt în concordanță cu valorile existente în literatura de specialitate [1, 7, 10, 11].

2.2. Absorbanta straturilor CuPc

Studiul spectrului electronic de absorbție a straturilor de CuPc (Fig.6) arată ca în regiunea UV a spectrului de absorbție se observă o bandă largă (așa-numita banda Soret, notată cu B) cu trei picuri și două shoulders (umeri) care este precedată de pragul de absorbție a benzii în UV a moleculei de CuPc.

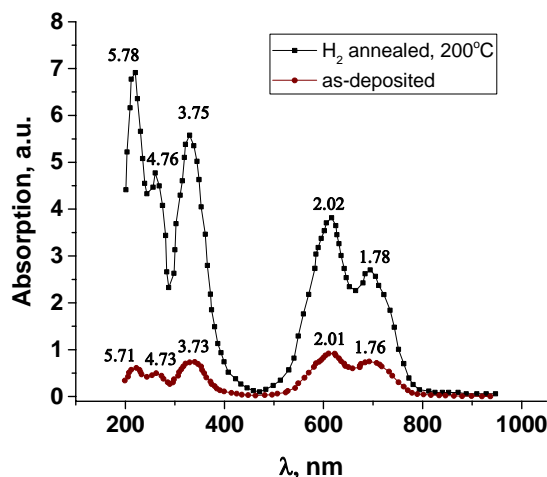


Fig.6. Spectrul electronic de absorbție a straturilor CuPc.

O altă bandă largă (numită Q) se observă în regiunea 550 nm și 750 nm. Aceste picuri ale benzii Q pot fi interpretate în termenii de excitare dintre orbitalii moleculari de legătură și cel antilegatură. După cum vedem, în ambele cazuri banda Q este despicată în două picuri (despicarea Davydov) despărțite de câteva lungimi de undă. Picul cu intensitatea cea mai mare a benzii Q poate fi atribuit primei tranziții p-p* pe macrociclul de ftalocianină. Al doilea pic este atribuit tranziției secundare p-p*. În apropiere de 288 nm se observă absorbție puternică din cauza că CuPc are banda d parțial ocupată. Deci, în banda Soret în apropiere de 288 nm spectrul de absorbție indică prezența benzii d asociată cu prezența atomului metalic de Cu. Se crede ca sunt implicate tranzițiile p-d. Banda de absorbție din regiunea (275–210) nm (numită banda Soret) se datorează tranzițiilor d-p*, care la fel implică banda d.

2.3. Efectul fotovoltaic în structurile pe bază de straturi organice CuPc

În Figura 7 este prezentată diagrama energetică a dispozitivului fotovoltaic, având ca bază structura ITO/CuPc/Al. Principiul de funcționare a dispozitivelor fotovoltaice pe baza structurilor organice ITO/CuPc/Al și ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al diferă puțin de cel al dispozitivelor pe baza structurilor anorganice și se realizează în patru etape consecutive: 1) absorbția fotonului, ceea ce duce la formarea unei stări excitate electron – gol (exciton); 2) difuzia excitonului spre o regiune, în care 3) are loc separarea purtătorilor de sarcină.

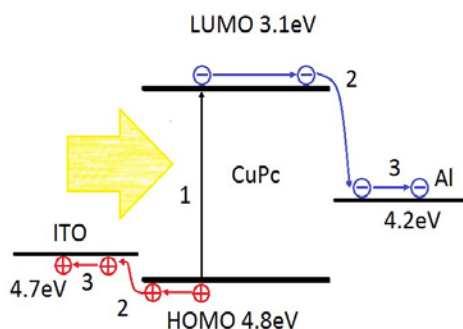


Fig.7. Diagrama energetică a structurii iluminate.

4) În final – transportul sarcinii la anod (golurile) și la catod (electronii), pentru a genera un curent printr-un consumator. În figurile 8 și 9 sunt prezentate caracteristicile I-U ale structurilor ITO/CuPc/Al și ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al la întuneric și la iluminare 100 mW/cm^2 , la temperatura camerei atât la polarizare directă, cât și inversă.

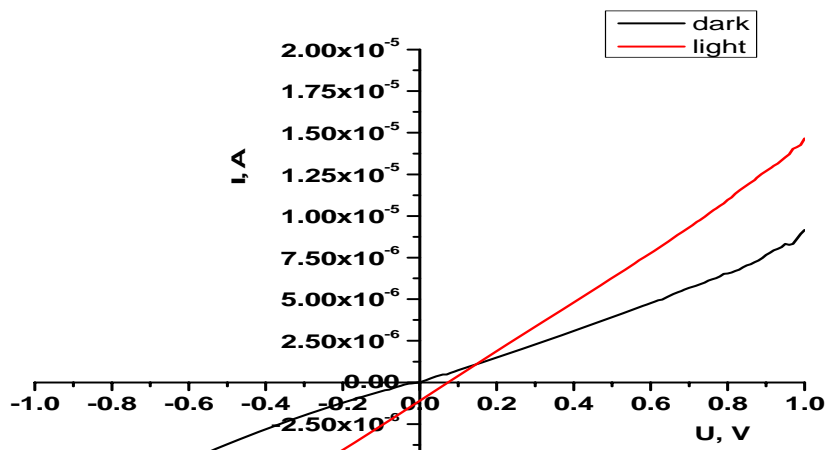


Fig.8. Caracteristica I-U a structurii ITO/CuPc/Al la întuneric și la iluminare 100 mW/cm^2 , 300 K.

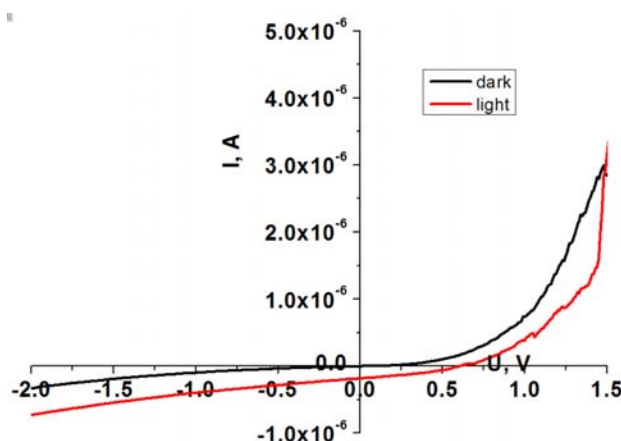


Fig.9. Caracteristica I-U a structurii ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al la întuneric și la iluminare 100 mW/cm^2 , 300 K.

Caracteristica I-U completă a dispozitivelor fotovoltaice ilustrate (figurile 8 și 9) este descrisă de ecuația (4):

$$I = I_L - I_0 \exp\left[\frac{q(V + IR_S)}{nkT}\right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad (4)$$

unde I_L – fotocurentul generat; I_0 – curentul de saturație; k – constanta Boltzman; n – factorul de idealitate ce indică la mecanismul de transport al purtătorilor de sarcină electrică prin structura respectivă; R_s – rezistența serie; R_{SH} – rezistența șunt.

În cazul structurii ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al dependența obținută este asimetrică, cu un factor de redresare de 50 la 1,0 V. Din cadranul patru al caracteristicii I-U a dispozitivului fotovoltaic, la iluminare prin ITO, cu lumină integrală, au fost determinați parametrii fotovoltaici (a se vedea Tabelul), ce caracterizează eficiența acestuia: curentul de scurtcircuit (I_{sc}), tensiunea de circuit deschis (U_{CD}), factorul de umplere (FF). Deși valoarea tensiunii de circuit deschis pare promițătoare după introducerea stratului de PEDOT:PSS, curentul de scurtcircuit este însă foarte mic, iar rezistența serie a structurii este mare. Factorul de umplere măsurat la structura optimizată are valoarea $FF = 34\%$, curentul invers de saturație, $I_0 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ A}$ și factorul de idealitate, $n = 1,6$. În cazul structurii neoptimizate, coeficientul de redresare este foarte mic, iar parametrii fotovoltaici, destul de modești, nu prezintă interes.

Tabel

Parametrii fotovoltaici ai dispozitivelor fotovoltaice studiate

Proba	I_{SC} , μA	U_{CD} , V	FF	η , %	R_{ss} , kOhm	R_{sh} , kOhm	n
ITO/CuPc/Al	1,11	0,073	0,25	0,00065	60,6	60,6	2,15
ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al	0,18	0,607s	0,34	0,00011	44	1600	1,6

Observăm că introducerea stratului conductiv de PEDOT:PSS îmbunătățește parametrii fotovoltaici datorită faptului că reduce rugozitatea și crește lucrul de extracție al electronilor din electrodul de ITO.

Distribuția spectrală a structurii ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al este ilustrată în Figura 10.

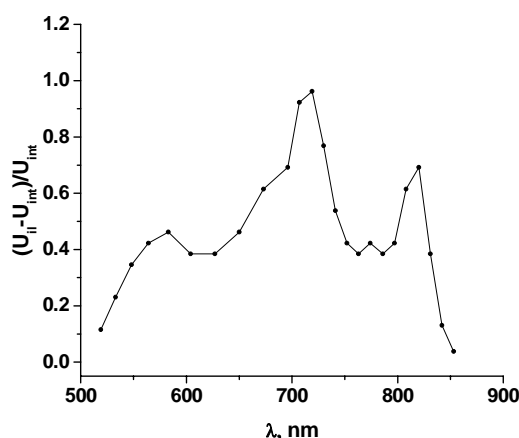


Fig.10. Distribuția fotosensibilității spectrale a dispozitivului fotovoltaic pe baza structurii ITO/PEDOT/CuPC/Al.

Fotonii cu energie mai mică decât energia de prag în ITO sunt absorbiți dominant în regiunea de interfață și în bază (stratul de CuPc). Fotonii absorbiți în regiunea de interfață își aduc aportul la peak-ul din spectrul de la 535 nm, iar cei puternic absorbiți în stratul organic participă la cele două peak-uri din spectrul de fotosensibilitate centrate pe aproximativ 720 nm și, respectiv, pe 815 nm. Această comportare sugerează faptul că regiunea de câmp intern este puternic extinsă în stratul de CuPc, cum este și firesc, deoarece concentrația de purtători de sarcină de echilibru în CuPc este mult mai mică. Ca urmare, interfața CuPc/Al este responsabilă pentru proprietățile electrice și optice ale dispozitivului. La interfață se creează o barieră Schottky, care se extinde aproape integral în stratul organic, de-a lungul căruia se realizează câmpul electric intern, în care purtătorii de sarcină generați prin disocierea excitonilor sunt separați și colectați la cele două contacte, ITO/ (colector de electroni), respectiv CuPc/Al (colector de goluri).

Concluzii

Straturile subțiri de CuPc au fost depuse prin metoda volumului cvasiînchis, pe substraturi din sticlă optică și ITO/sticlă. Analiza structurală a probelor, prin difracție de raze X, a scos în evidență faptul că straturile de CuPc au o structură triclinică a fazei α , cu planul (200) orientat preferențial în direcția de creștere. Pentru straturile de CuPc tratate termic în flux de hidrogen apare și faza β . Studiul spectrelor absorbției straturilor CuPc indica două benzi: banda Soret B și banda Q. Picurile benzii Q sunt atribuite tranzițiilor p-p* primare și secundare pe macrociclul de ftalocianină. Picurile benzii Soret sunt atribuite tranzițiilor p-d și d-p*, care implică banda d. Structura ITO/CuPc/Al și ITO/PEDOT:PSS/CuPc/Al realizate au parametrii fotovoltaici destul de modești și necesită îmbunătățiri pentru a mări eficiența optică și colectarea purtătorilor de sarcină. Introducerea stratului conductiv de PEDOT:PSS îmbunătățește considerabil tensiunea de circuit deschis: de la 0,073 până la 0,607 mV. Strategia de creștere a performanțelor dispozitivelor fotovoltaice va consta, printre altele, în crearea unei interfețe extrem de rugoase între straturile componente, pentru a optimiza transferul sarcinii și, de asemenea, pentru a îmbunătăți colectarea purtătorilor de sarcină la electrozi.

Referințe:

1. SUN, S-S and SARICIFTCI, N.S. *Organic Photovoltaics: Mechanisms, Materials, and Devices*. (Eds.) Taylor & Francis: Boca Raton, FL, 2005.
2. PUIGDOLLERS, J., VOZ, C. Copper phthalocyanine thin-film transistors with polymeric gate dielectric. In: *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352, 2006, p.1778-1782.
3. GAYATRI, S.S. *Schottky diode photovoltaic cells based on Copper Phthalocyanine (CuPc)*. Master's Thesis Report, Aug 2007.
4. MI YEON SONGA KANG-JIN KIMA and DONG YOUNG KIM. Enhancement of photovoltaic characteristics using a PEDOT interlayer in TiO₂/MEHPPV heterojunction devices Solar Energy. In: *Materials and solar cells*, vol.85, issue 1, 2005, p.31-39.
5. RAJAPUTRA, S., VALLURIPALLI, S., SINGH, V.P. Copper Phthalocyanine based Schottky diode solar cells. In: *Journal of Material Science M.*, 2007, vol.18, p.1147-1150.
6. SINGH, V.P, SINGH, R.S., PARTHASARATHY, B. and AGUILERA, A. Characterization of high-photo voltage CuPc-based solar cell structures. In: *Applied Physics Letters*, 2005, 86.
7. WALTER, M., RUDINE, A. et al. Porphyrins and phthalocyanines in solar photovoltaic cells. In: *J. Porphyrins Phthalocyanines*, 2010, 14, p.759-792, DOI: 10.1142/S1088424610002689
8. MARSA, S. *Photovoltaic cells based on copper phthalocyanine and cadmium sulphide heterojunction*. University of Kentucky Master's Theses, 2008.
9. IWASE, M., SUZUKI, A., AKIYAMA, T. and OKU, T. Fabrication and Characterization of Phthalocyanine-Based Organic Solar Cells. In: *Materials Sciences and Applications*, 2014, 5, p.278-284. doi: 10.4236/msa.2014.55033
10. DENG, L., WANG, K., ZHAO, C.X. et al. Phase and Texture of Solution-Processed Copper Phthalocyanine Thin Films Investigated by Two-Dimensional Grazing Incidence X-Ray Diffraction". In: *Crystals*, 2011, 1, p.112-119; doi:10.3390/cryst1030112
11. Ibidem.

Notă: Lucrarea a fost efectuată în cadrul Proiectului instituțional 15.817.02.39 A.

Prezentat la 27.06.2016