

PROPRIETĂȚILE ELECTRONICE A SUPRAFETEI STRATURILOR DE CdS DEPUSE PE SUPORTURI DE ZnO ȘI SnO₂

SURFACE ELECTRONIC PROPERTIES OF CdS THIN FILMS ON ZnO AND SnO₂ SUBSTRATES

Corneliu ROTARU, ORCID: 0000-0003-0787-4379

LCȘ Fizica Semiconductorilor și Dispozitivelor, Facultatea de Fizică și Inginerie,
Universitatea de Stat din Moldova, Republica Moldova

CZU: 621.793

e-mail: corneliu.rotaru@usm.md

Electronic properties of the CdS thin films deposited by Close-Spaced Sublimation have been investigated by Kelvin Probe (KP) and Photoelectron Yield Spectroscopy (PYS). The Fermi level position changes between 180 meV and 320 meV below the conduction band minimum for the CdS/AZO heterojunction while the CdS thin films on SnO₂ substrates show degeneration. An influence of the technology aspects on the energetic structure of the CdS nanolayer is shown.

Cuvinte-cheie: CdS, ZnO, SnO₂, Sondă Kelvin (KP), Spectroscopie fotoelectronică (PYS),

INTRODUCERE

Proprietățile electronice ale suprafețelor filmelor subțiri pentru a fi utilizate într-o structură multistrat influențează esențial alinierea benzilor energetice la interfețele respective și, în consecință, funcționalitatea dispozitivelor [1, 2]. În multe cazuri proprietățile fizice de suprafață ale straturilor subțiri diferă esențial față de volumul materialului (tipul de conductivitate, concentrația de purtător etc.). În acest studiu sunt investigate proprietățile electronice ale suprafeței straturilor de CdS în funcție de tehnologia de preparare pe diferite suporturi astfel ca ZnO și SnO₂ pentru aplicare în fotovoltaică. Lucrul de ieșire, care indică poziția nivelului Fermi, este determinat din măsuratori cu utilizarea sondei Kelvin (KP). Energia de ionizare, care definește poziția maximului benzii de valență, este determinată cu ajutorul spectroscopiei fotoelectrice (PYS). Rezultatele măsurătorilor sunt aplicate pentru construirea diagramelor de benzi energetice.

EXPERIMENT

Nanostraturi subțiri ale CdS au fost preparate prin metoda CSS pe substraturi TCO (AZO, SnO₂)/sticlă, variind temperatura substratului între 280-460°C și menținând constantă temperatura de evaporare la 630°C, tehnologia CSS fiind prezentată și descrisă în [3]. Măsurătorile KP și PYS au fost efectuate în atmosferă de N₂ cu utilizarea aceleiași sonde. Pentru măsurătorile PYS a fost folosită sursa UV cu deuteriu cu spectrul cuprins între 172 nm - 364 nm (7,20 eV - 3,40 eV). Teoria și metoda de analiză sunt descrise în [4].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele analizei comune a KP și PYS (Fig. 1 a, b, c) arată o dependență spectrală tipică pentru semiconductori (cu un exponent de putere $n=3$ [4,5]). Extrapolarea dependențelor respective face posibilă determinarea energiei de ionizare în raport cu nivelul de vid local. Influența temperaturii substratului asupra proprietăților electronice ale suprafeței CdS este prezentată în Fig. 2. În cazul CdS preparat pe ZnO:Al se observă o micșorarea clară și abruptă a lucrului de ieșire cu o valoare de cca. 0,25 eV pe măsură ce temperatura substratului se mărește la 463°C, în timp ce schimbarea substratului cu o structură în bază de SnO₂ determină micșorarea generală a lucrului de ieșire cu mai puțin de aprox. 55 meV (Fig. 2.a). Energia de ionizare crește aproape liniar odată cu creșterea temperaturii substratului pentru cazul CdS/SnO₂, în timp ce în cazul structurii CdS/ZnO:Al se observă o saturație în dependența acesteia de temperatura suportului pentru valori >350°C (Fig. 2. b). Rezultatele obținute demonstrează o influență a temperaturii substratului pentru depunerea de CdS asupra poziției nivelului Fermi și, respectiv, asupra concentrației purtătorilor de sarcină. Poziția nivelului Fermi se schimbă între 180 meV și 320 meV sub minimul benzii de conducție (CBM) pentru CdS în structura CdS/AZO (pentru cea mai înaltă temperatură, poziția nivelului Fermi este 0,026 eV deasupra CBM), în timp ce filmele subțiri CdS pe substraturi SnO₂ prezintă degenerare. Concentrația purtătorilor de sarcină determinată prin considerarea poziției nivelului Fermi demonstrează o creștere liniară odată cu creșterea temperaturii substratului, indiferent de substratul utilizat (Fig. 2. c). Din analiza ulterioară a datelor KP și PYS, și considerând lărgimea benzii interzise a CdS din măsurători optice, au fost propuse diagramele benzilor energetice pentru filmele subțiri CdS în cazul folosirii diferitor substraturi (Fig. 3. a., b.).

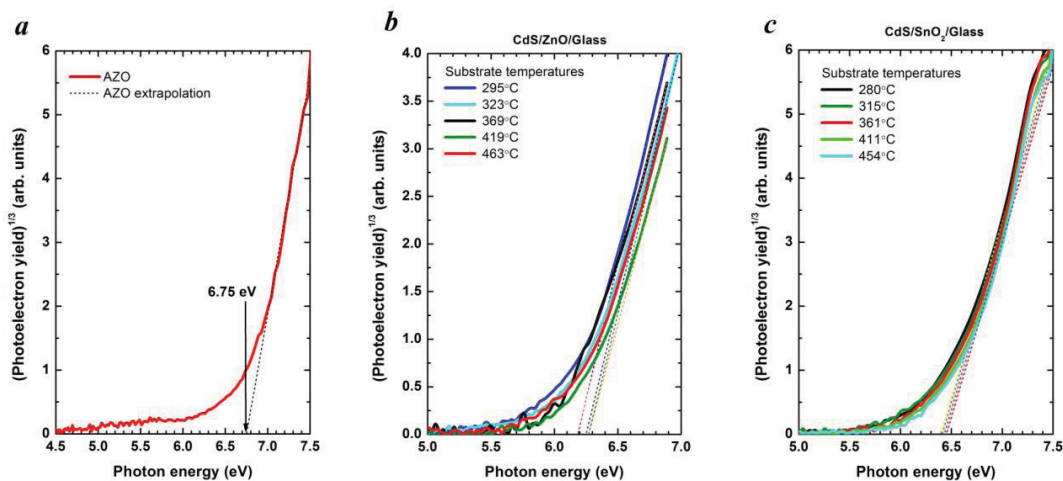


Fig. 1. Dependențele PYS pentru structurile ZnO:Al/Glass (a), pentru CdS depus pe ZnO:Al/Glass (b) și SnO₂/Glass (c) în funcție de temperatura suportului.

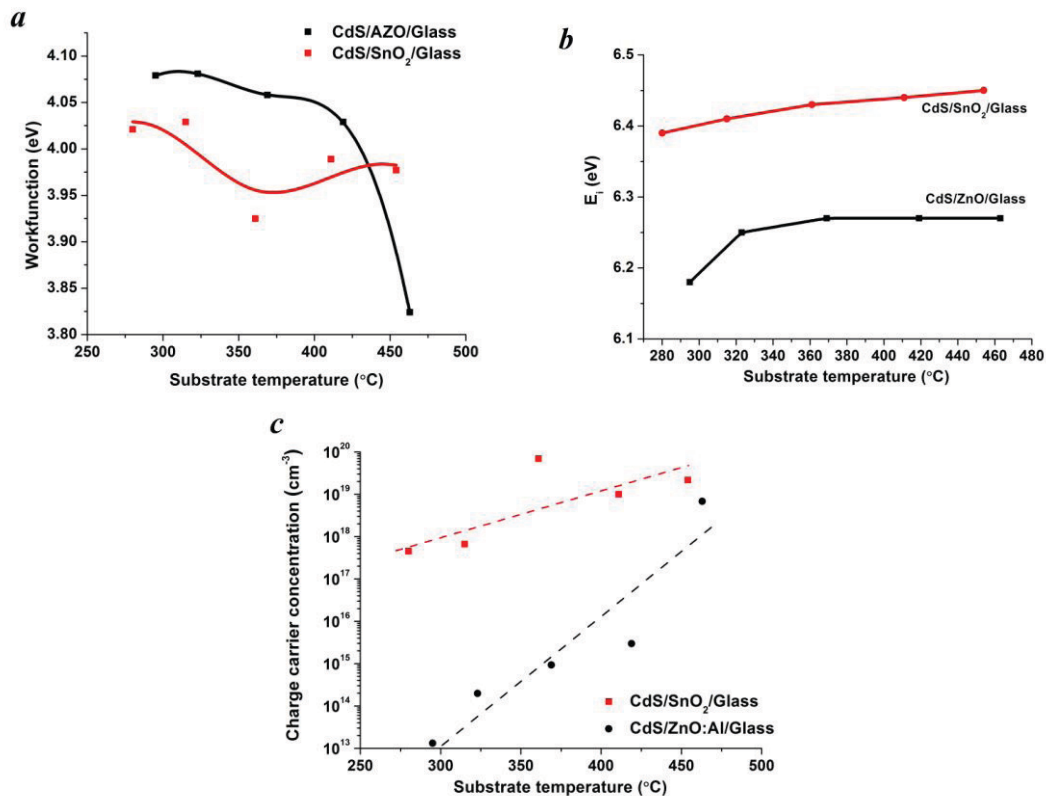


Fig. 2. Lucrul de ieșire (a), energia de ionizare (b) concentrația purtătorilor de sarcină (c) în structurile CdS/ZnO:Al/Glass și CdS/SnO₂/Glass preparate la diferite temperaturi ale suportului.

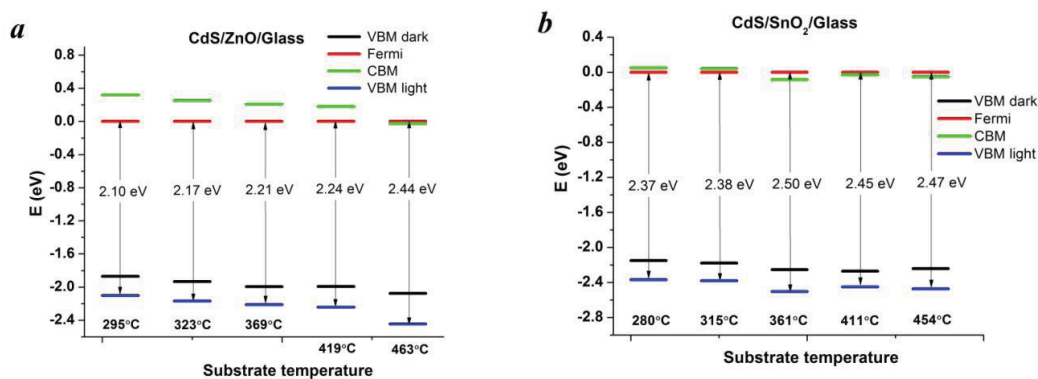


Fig. 3. Diagramele de benzi energetice a nanostraturilor de CdS preparate pe ZnO:Al/Glass (a) și SnO₂/Glass (b) în funcție de temperatura suportului.

CONCLUZII

Lucrul de ieșire a straturilor de CdS depinde de substratul aplicat și temperatura de depunere. La înlocuirea substratului de ZnO:Al cu SnO₂ a fost observată o tendință de micșorare a lucrului de ieșire. O tendință similară a fost observată odată cu mărirea temperaturii suportului. În același timp, mărirea temperaturii substratului rezultă în saturarea energiei de ionizare a CdS depus pe AZO, în timp ce același parametru demonstrează o dependență liniară pentru starturile de CdS depuse pe SnO₂. Valorile concentrației purtătorilor de sarcină în CdS pot fi variate între $1 \cdot 10^{13}$ - $2 \cdot 10^{18}$ cm⁻³ și între $7 \cdot 10^{17}$ - $2 \cdot 10^{19}$ cm⁻³ pentru structuri cu substraturile ZnO:Al și respectiv SnO₂.

Referințe:

1. SZE S., Physics of Semiconductor Devices, 2nd ed. (Wiley Interscience, New York, 1991).
2. SADEWASSER S., GLATZEL TH., RUSU M., JÄGER-WALDAU A. AND LUX-STEINER M.CH. High-resolution work function imaging of single grains of semiconductor surfaces. In: *Appl. Phys. Lett.*, 2002, vol. 80 (16), pp. 2979-2981.
3. VATAVU S. et al., A comparative study of (ZnO, In₂O₃: SnO₂, SnO₂)/CdS/CdTe/(Cu/Ni) heterojunctions. In: *Thin Solid Films*, 2013, vol.535, pp.244-248. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2012.11.105>
4. RUSU, M., KODALLE, T., CHOUBRAC, L., BARREAU, N., KAUFMANN, C. A., SCHLATMANN, R., UNOLD, T. Electronic Structure of the CdS/Cu(In,Ga)Se₂ Interface of KF- and RbF-Treated Samples by Kelvin Probe and Photoelectron Yield Spectroscopy. In: *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2021, vol.13(6), pp. 7745-7755. <https://dx.doi.org/10.1021/acsami.0c20976>
5. KANE, E. Theory of Photoelectric Emission from Semiconductors. In: *Phys. Rev.*, 1962, vol.127, pp. 131-141. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.127.131>

Articol elaborat în cadrul Proiectului: „Materiale și structuri multifuncționale pentru detectarea radiațiilor electromagnetice”. Cifru: 20.80009.5007.12

Autorul vine cu mulțumiri dlui dr. conf. univ. Marin RUSU și dlui dr. conf. cerc. Sergiu VATAVU pentru ajutorul în analiza rezultatelor experimentale obținute.