



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 00994

(22) Data de depozit: 20.10.2010

(41) Data publicării cererii:
28.12.2012 BOPI nr. 12/2012

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
FIZICA LASERILOR,
PLASMEI ȘI RADIAȚIEI,
STR. ATOMIȘTILOR NR.409, MĂGURELE,
IF, RO;
• INCDMNR - IMNR, BD. BIRUIŢEI
NR. 102, PANTELIMON, IF, RO;

• INSTITUTUL DE ȘTIINȚE SPAȚIALE,
STR. ATOMIȘTILOR NR.409, MĂGURELE,
IF, RO;
• UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI,
BD.MIHAIL KOGĂLNICEANU NR.36-46,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• INVENTATORI NEDECLARAȚI, *, RO

(54) ELECTROD TRANSPARENT DIN ZnO PENTRU CELULE
SOLARE ȘI METODĂ DE DEPUNERE BAZATĂ PE ARC
TERMOIONIC ÎN VID

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un electrod transparent din ZnO și la o metodă de depunere, cu acest electrod, a unor filme subțiri din ZnO pe suport flexibil, utilizând tehnica de depunere fizică din vapori pe bază de arc termoionic în vid, metoda fiind folosită pentru producerea celulelor fotovoltaice pe bază de compozite. Electrocul conform invenției are o rezistență de 4...3,5 kΩ·m pentru grosimi ale filmului de 450...500 nm și, respectiv, 2...2,2 kΩ·m pentru grosimi ale filmului de 950...1000 nm. Metoda conform invenției constă în depunerea unor filme de ZnO utilizând un evaporator cu arc termoionic în vid, depunere care se efectuează folosind drept anod o nacelă (5) din TiB₂, susținută de o bară (6) de wolfram, în care se introduce pulbera de ZnO, nacela (5) fiind protejată de un cilindru (7) din inox refractar, cu rol de focalizare a electronilor generați de catodul încălzit, filmele de ZnO în concentrații atomice de 30...35% oxigen relativ la zinc au grosimi de 450...500 nm și se depun pe substraturi aflate la distanța de 250...300 mm deasupra nacellei (5), având o viteză de creștere a filmului de 0,05...0,1 nm/s, iar filmele de ZnO în concentrații atomice de 45...50% oxigen relativ la zinc au grosimi de 950...1000 nm se introduce oxigen cu o

viteză de curgere de 0,2...1 ml/s, în așa fel încât presiunea totală în camera de depunere să fie în domeniul 2...5 x 10⁻³ Pa, substraturile situându-se la o distanță de 250...300 mm deasupra nacellei (5), viteza de creștere a filmului fiind de 1,5...2 nm/s.

Revendicări: 4
Figuri: 7

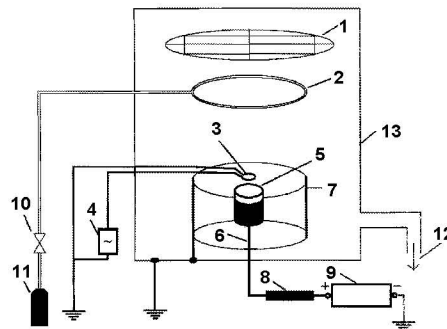
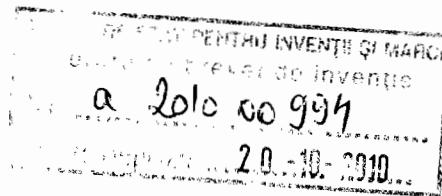


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





Domeniul invenției

Prezenta invenție se referă la un proces pentru depunerea filmelor din oxid de zinc, pe suport flexibil prin evaporare cu arc termoionic în vid și se referă în special la un proces de depunere fizică din vapori dezvoltat plecând de la tehnica pe baza de arc termoionic în vid. Implică un proces care cuprinde o depunere fizică prin vapori pentru depunerea unor filme care să constituie electrozii transparenți și conductori ai celulelor solare de tip CIS (Cu, In, Se).

Depunerile de filme subțiri de grosime 450 -1000 nm formate din ZnO se folosesc pentru producerea celulelor fotovoltaice pe baza de compozite CIS. Acestea trebuie să fie depuse pe suporturi flexibile (Kapton) pentru a asigura versatilitatea celulelor solare. Filmele de acest tip sunt generate pentru funcționarea celulelor solare pe substraturi flexibile, asigurând un cost de producție redus și o eficiență ridicată.

Prezintă un mare interes pentru funcționarea celulei solare alegerea materialelor care să constituie electrodul inferior (film flexibil din nichel) și electrodul superior (film flexibil din oxid de zinc cu două funcții: (i) conductivitate mărită și (ii) transparență crescută în domeniul vizibil.

Având în vedere costurile semnificative asociate celulelor solare pe baza de siliciu mono-cristalin, un efort substanțial a fost alocat cercetării în domeniul utilizării materialelor semiconductoare alternative. O variantă adoptată pe scară largă a fost utilizarea filmelor subțiri de tip siliciu-hidrogen, fie în formă microcristalină, fie amorfă, care conțin și alte elemente, cum ar fi azot, carbon, germaniu, cositor, etc. În plus, o varietate de compuși de tip semiconductori binari, compuși ternari și cuaternari, au fost utilizați la scară largă la producerea de dispozitive fotovoltaice; combinații de interes special includ compuși de tipul: II / VI, III / V, I / III / VI și II / IV / V.

Un compus deosebit de valoros de tip semiconductor ternar pentru a fi utilizat în dispozitive fotovoltaice este compusul de tip I / III / VI, diselenita de cupru-îndiu (CuInSe₂ sau CIS). Acest compus are coeficienți mari de absorbție optică peste o mare parte a spectrului solar și poate absorbi 90% din spectrul solar util într-o grosime de mai puțin de 1000 nm. Proceduri exemplificatoare pentru prepararea de dispozitive fotovoltaice inclusiv straturi semiconductoare CIS sunt raportate în SUA; Pat. Nr 4335266, Mickelsen et al.; U. S. Pat. Nr 4581108, Kapur et al. și U. S. Pat. Nr 4465575.

Love et al. O metodă de preparare a unui film CIS prin pulverizare magnetron în descarcare în curent continuu, mai întâi de cupru și apoi de indiu utilizând catozi separați, urmate de încălzire a filmului compozit, în prezența unui gaz care conține seleniu, este prezentată în SUA (Pat. Nr 4798660, Ermer et al.).

Structura celulei de bază a unei celule solare CIS, cuprinde un electrod frontal ZnO transparent, un strat subțire de CdS interfacial, un strat absorbant de CuInSe₂ și un electrod secundar din Mo sau Ni. Eficiența acestor dispozitive și densitatea de putere care rezultă din modulele cu suprafețe mari de CIS este puternic dependentă de un număr mare de factori, inclusiv efectul electrodului frontal cu privire la densitatea fotocurentului din celula, pierderile rezistive ale modulelor. Modulele solare ce conțin filme subțiri presupun cerințe stricte cu privire la proprietățile straturilor conductoare transparente. În structurile celulelor ce conțin filme subțiri, stratul transparent conductor de obicei, acționează atât ca un transmițător optic cât și ca un electrod conductor. Ca un emițător optic, conductorul transparent trebuie să aibă o transmisie ridicată în spectrul de absorbție al filmului semiconductor absorbant, de exemplu, CIS. CIS are banda interzisă optică de aproximativ 1 eV, astfel că este esențial ca materialul conductor să transmită în totalitate lungimile de undă mai mari ("roșu") ale spectrului solar, care necesită ca efectele de absorbție să fie minime. Structurile celulelor solare CIS sunt, de obicei structuri heterojuncțiune capabile de a fi receptivă la cea mai scurtă lungime de undă a spectrului solar "albastru", care impune ca materialele conductoare transparente, cele cu latime de bandă largă, astfel încât să transmită radiațiile cu lungime de undă mai scurte. A treia cerință optică, adesea dorită din partea conductorului transparent este un indice de refracție adecvat optic și structura de suprafață, astfel încât să reducă la minimum reflexia optică. Concepției de module bazate pe filme subțiri îi lipsesc de obicei, grilele frontale de colectare a curentului, prin urmare, rezistența foii de electrod conductor transparent este mult mai importantă în module individuale decât în celulele solare grid. În special, rezistența foii joacă un rol important în determinarea puterii maxime realizabile pentru un modul. Pentru module CIS de putere mare, densități ale fotocurentului pe ordinul a 40 mA/cm² necesită electrozi de înaltă conductivitate pentru a minimiza pierderile rezistive. Structurile de celule solare cu filme subțiri rezolvă cerințele stricte optice și electrice de pe conductoarele transparente, prin adăugarea de

straturi suplimentare optice în structura celulei. De exemplu, o structură de celule obisnuita CIS incorporeaza un conductor transparent optimizat pentru conductanță și claritate optica, și utilizează separat un strat anti-reflexie, cum ar fi SiO_x pentru a optimiza fotocurentul celulei. Utilizarea de conductor separat transparent și straturi anti-reflexie adauga complexitate si costuri suplimentare procesului de fabricatie al modulului. Un factor suplimentar care trebuie să fie luat în considerare în optimizarea electrozilor transparenti pentru fabricarea de modul de celule solare este efectul filmului electrod asupra conectorilor electrici între celulele modulului. Este esential sa existe un contact cu rezistență scăzută dintre fata electrodului unei celule si electrodul din spate a celulei adiacente. În plus, stratul de electrod transparent ar trebui să fie ușor de fabricat.

Filmele transparente si conductoare depuse prin metoda propusa in cadrul acestei inventii, vor fi utilizate pentru realizarea celulelor fotovoltaice de tip CIS si vor fi testate in conditii de iluminare in mediu natural cu expunere la lumina intensa si intemperii.

Depunerea filmelor subtiri ZnO se poate face prin numeroase metode, dintre care cele mai folosite sunt cele care utilizeaza fenomenul de pulverizare cu plasma a tintelor. Pulverizarea este un fenomen prin excelenta superficial iar materialul de pulverizat ramane tot timpul in starea solida initiala. In timpul procesului tehnologic se va pulveriza materialul de interes (ZnO), dar pe substratul supus depunerii, gazul de lucru utilizat pentru producerea plamei (Ar, He, etc) se va regasi in structura filmului depus, ducand la formarea de defecte.

Metodele de depunere prin evaporare in vid au avantajul ca nu utilizeaza gaze buffer in camera de depunere, ceea ce face ca incluziunile gazoase in depuneri sa fie practic absente si aceasta cu atat mai mult cu cat presiunea din camera de depunere este mai mica.

Metoda propusa consta in generarea filmelor cu stoichiometrie controlata de oxid de zinc si se referă la utilizarea de oxid de zinc în producerea de dispozitive fotovoltaice.

Metodologie

Metoda propusa a fi folosita este aceea a descarcarii termoionice in vid (TVI) inaintat in materialul evaporat prin bombardament electronic si depus sub forma de atomi si ioni pe substrat in conditiile monitorizarii energiei ionilor materialului de depus si a

concentratiei stoichiometrice a filmului din oxid de zinc, prin controlul fluxului de oxigen in timpul depunerii.

In cazul arcului termoionic in vid, vaporii materialului de depus sunt creati folosind un flux de electroni accelerati la tensiune inalta (1-5 kV). facand posibila aprinderea plasmei la curent scăzut (sute de mA). Curentul ridicat folosit in aceste descarcari de tip arc catodic conduc la formarea aglomerarilor de materiale cu rugozitate mare, fiind necesara o filtrare speciala pentru devierea clusterilor de material care s-ar putea depune pe stratul in crestere. Din acest punct de vedere, sistemul TVA este superior arcurilor in plasma cunoscute.

Principiul de baza al arcului termoionic in vid este aprinderea unei plasme de arc in vaporii materialului de interes.

Originalitatea metodei consta in faptul ca energia introdusa in sistem pentru aprinderea plasmei este data simultan de un tun electronic si de o sursa de tensiune inalta. Crearea de vapori este obtinuta prin incalzirea materialului care este in fapt anodul, cu electroni accelerati intre electrozi. Prin acest bombardament electronic, materialul este evaporat cu viteza de evaporare mica si nu se produc formatiuni de particule, spre deosebire de plasmile de arc standard. Metoda TVA este foarte eficienta prin faptul ca filmele obtinute folosind aceasta tehnologie se caracterizeaza printr-un grad foarte ridicat al aderenței, densității si purității.

Un alt avantaj important al metodei TVA este gradul de controlabilitate a energiei ionilor si a fluxului prin parametrii plasmei. Aceasta se datoreste faptului ca plasma TVA este localizata si ionii se deplaseaza in vid in linie dreapta pana la peretii/substraturile legate la pamant. Energia le este data de potentialul plasmei, usor de controlat de curentul arcului, al filamentului si de tensiunea anodica.

Dispozitivul experimental pentru realizarea depunerilor prin metoda TVA consta intr-un catod la potential zero, un filament de Wolfram incalzit cu o sursa externa inconjurat de un cilindru tip Wehnelt pentru focalizarea electronilor si anodul, care este de obicei o nacela in care se afla materialul de depus, in stare de pulbere.

Dupa cum am mentionat este posibil a se depune materiale conductoare printre care nichel, fier, cupru, etc. in conditii de puritate crescuta (in vid inaintat).

-Evaporarea se face sub temperatura de topire a materialului;

-Depunerea se poate face cu atomi neutri evaporati din suprafata materialului:

-Depunerea se poate face si prin generarea plasmei in vaporii evaporati. catre substrat sosind atat atomi neutri cat si ioni din materialul de depus;

-Ionii generati in plasma se pot accelera aplicand un potential de ordinul suteilor de volti pe suportul izolat electric. Se pot aplica tensiuni mari pe probe (ioni de energie mare) controland tensiunea anodica prin reducerea curentului de incalzire a filamentului emisiv (I_f).

Potrivit inventiei, sistemul de evaporare este format din: suportul rotativ, incalzit 1, utilizat pentru fixarea substraturilor flexibile, dispozitivul pentru introducerea gazului aditional, oxigen, format dintr-un tub circular din otel inoxidabil, 2, avand orificii de diametru 0,5-1mm dispuse la intervale de 10-20 mm, catodul incalzit, din fir de W, 3, de diametru 1 - 2 mm alimentat cu ajutorul unei surse de curent alternativ, 4, care poate genera current in domeniul 0-150A si 0-24V; nacela 5 din material TiB_2 in care se introduce pulberea ZnO si care constituie anodul descarcarii in arc termoionic in vid, bara de wolfram, 6, de diametru 2-4mm si lungime 50-100 mm care suporta nacela din TiB_2 si care datorita diametrului redus limiteaza transmiterea caldurii catre incinta; cilindriul din material inoxidabil refractar 7, care are rolul de a focaliza electronii generati de catodul incalzit; rezistenta de balast 8 de valoare 30-120 Ω cu rolul de stabilizare a plasmei produse in vaporii de oxid de zinc, sursa de tensiune inalta 9, care poate genera curenti de 0-4A la tensiuni de 0-5kV; reductorul de gaz, 10, butelia de oxigen 11, sistemul de vidare 12, care asigura prin intermediul unei pompe de vidare preliminar cuplata cu o pompa de difuzie cu ulei un vidare rezidual de 10^{-5} Pa si 13, camera de depunere cu pereti din otel inoxidabil, racit cu apa.

In detaliu, se poate obtine un film ZnO prin variatia parametrilor de descarcare pe astfel:

a) Temperatura filamentului. Se incalzeste un anumit catodul din wolfram cu un curent variabil furnizat de sursa externa de curent mare (I_f) si tensiune mica (V_f) - aceasta incalzire asigura un curent de emisie termoelectronica a catodului in spatiul din preajma sa. Sa presupunem ca tensiunea aplicata este de V_f iar curentul este I_f . Puterea introdusa este $I_f V_f$ care asigura o crestere a temperaturii filamentului pana la valoarea T_f determinata de egalarea acestei puteri introduse cu puterea disipata. Presupunand ca

principalul fenomen de disipare este radiatia termica determinata de $\epsilon\sigma T_f^4$ obtinem urmatoarea ecuatie care determina temperatura filamentului:

$$I_f V_f = \epsilon\sigma T_f^4 \Rightarrow V_f^2/R_f = \epsilon\sigma T_f^4 \quad (1)$$

unde ϵ este emisivitatea termica a filamentului, σ -constanta Stefan – Boltzmann. T_f temperatura filamentului, R_f rezistanta filamentului. Se observa faptul ca variind tensiunea aplicata pe filament putem varia temperatura filamentului. Cum curentul termoemis de filament variaza dupa legea Richardon Dushman care spune ca:

$$I_{em} \sim \exp(\Phi/kT_f) \sim \exp[-\Phi(R_f\epsilon\sigma/k^4 V_f^2)^{1/4}] \quad (2)$$

unde I_{em} este curentul termoemis de filament, Φ lucrul de iesire al wolframului folosit ca material catodic (energia cheltuita pentru extragerea unui electron), k -constanta Boltzmann.

b) Tensiunea aplicata pe anod, V_a care accelereaza electronii termoemisi de catod.

Acesti doi parametri (T_f si V_a) pot fi variati dupa dorinta in timpul depunerii. Daca curentul care este dirijat catre anod (determinat atat de curentul termoemis de catod cat si de potentialul aplicat pe anod) este I_d atunci cand aplicam o tensiune pe acesta egala cu V_a energia introdusa in anod prin bombardamentul electronic este $I_d V_a$ care se disipa in principal prin radiatie termica, temperatura anodului va fi data de ecuatia:

$$I_d V_a = \epsilon\sigma T_a^4 \quad (3)$$

Iar viteza de evaporare a atomilor din anod este data in principal de :

$$V_{ev} \sim A \exp(-B/kT_a) = A \exp[-B(\epsilon\sigma/I_d V_a k^4)^{1/4}] \quad (4)$$

Unde A si B sunt constantele caracteristice materialului de evaporat iar V_{ev} este viteza de evaporare egala cu numarul de atomi evaporati intr-o secunda de pe unitatea de suprafata a anodului.

In cazul depunerii cu plasma ionii ce sosesc la probe pot fi accelerati si prin aplicarea unui potential negativ pe probe (tensiune de polarizare) care sa mareasca energia ionilor care bombardeaza filmului ZnO in timpul cresterii. Sursa pentru polarizare trebuie sa asigure o tensiune de -500 ~ -1000 V la un curent de 10-100 mA.

Acesti ioni energetici pot provoca o inlaturare a atomilor care nu sunt bine integrati in structura cristalina care se formeaza, pe de o parte, si pot provoca o incalzire locala a atomilor care capata astfel o mobilitate mai mare, ceea ce duce la o mai buna organizare a lor in retea, pe de alta parte.

Prin alegerea adecvata a punctului de functionare stabila a descarcarii in arc termoionic in vid este posibil sa se controleze energia ionilor care au bombardat stratul in timpul cresterii.

In acest mod se pot depune filme stoichiometrice cu viteze de ordinul nanometrilor pe secunda, la concentratii relative foarte variate.

Pentru aceasta trebuie ca instalatia sa asigure un vid de cel putin $5 \cdot 10^{-3}$ Pa, sa fie asistata de o sursa electrica de joasa tensiune (variabila in domeniul 0-24V), curent mare (0-150 A) si de o sursa de inalta tensiune (0-5 kV) si de curent mediu (0-4 A).

Substraturile pe care se vor depune straturile trebuie sa fie incalzite la $200 \pm 20^\circ\text{C}$ si sa se roteasca in timpul depunerii. Suportul lor trebuie montat izolat pentru a se putea aplica tensiuni de accelerare a ionilor ce vin la substraturi pentru a obtine un strat dens si aderent.

Exemplul 1.

Se efectueaza evaporarea pulberii de ZnO (puritate 99,99%) cu viteze de depunere in domeniul 0,05 - 0,1 nm/s, pastrand presiunea in camera de depunere la valori in domeniul $1-3 \cdot 10^{-3}$ Pa. Grosimea totala a filmului depus, masurat pe probe situate la distante de $X = 0, 50, 100, 150$ si respectiv 200mm fata de o linie imaginara orizontala, avand punct de origine verticala corespunzatoare anodului din TiB_2 , este usor descrescatoare in domeniul 450-500 nm, asa cum se poate observa din Fig.2.

Raportul concentratiilor relative de Zn si O determinat cu ajutorul microprobei EDS (energy dispersive spectroscopy – spectroscopie dispersiva de energii) nu se modifica semnificativ. Asa cum se observa in Fig. 3, concentratia atomica relativa a oxigenului creste monoton atunci cand proba se departeaza de zona centrala de evaporare ($X=0$) in timp ce concentratia relativa a Zn descreste. Astfel, de la o concentratie atomica relativa de oxigen de aproximativ 30% in pozitia $X=0$, se obtine o concentratie de oxigen de aproximativ 35% in pozitia $X = 200$ mm. In figura 4 este prezentata transmisia optica prin filmul de ZnO. Rezistenta filmelor obtinute, masurata cu metoda celor 4 puncte a variat in domeniul 4-3,5 $\text{k}\Omega \cdot \text{m}$.

Exemplul 2.

În al doilea exemplu, viteza de evaporare a fost crescută de 2 ori, până la aproximativ 1,5 - 2 nm/s, în plus, introducându-se oxigen în camera de depunere, cu o viteză de curgere de 0,2 - 1 ml/s, în așa fel încât presiunea totală să fie în domeniul $3 - 5 \cdot 10^{-3}$ Pa. În acest nou regim de lucru, grosimea totală a filmului compozit depus a variat în domeniul 950-1000 nm (Fig. 5), cu o variație de maximum 5% între grosimea obținută în zona centrală față de zona situată la 200 mm față de origine. Concentrația atomică relativă de oxigen față de Zn s-a situat în domeniul 45- 50% (Fig. 6). În figura 7 este prezentată transmisia optică prin filmul de ZnO. Rezistența filmelor obținute fiind în domeniul 2 - 2,2 k Ω -m.

Efectul creșterii concentrației de oxigen în filmele depuse poate fi explicat calitativ considerând particularitățile plasmelor în vapori de ZnO: potențialele de ionizare ale celor 2 elemente sunt 17.06 eV Zn și 13.61 eV O. Astfel, un "gaz" format din atomi de O cere mai puțină putere electrică pentru a fi ionizat. Această situație este reflectată în puterea generată de sursa de înaltă tensiune. La o tensiune aplicată pe electrozi, de aproximativ 1,2 kV, curentul stabilit în descărcarea în arc este de ordinul a 1,5 A. Prin adăugarea de atomi de oxigen în timpul depunerii, concentrația relativă de oxigen crește, obținându-se filme stoichiometrice ZnO.

În timpul procesului de evaporare a pulberii ZnO și introducerea simultană de oxigen, am observat că filmul de ZnO nu este afectat drastic de presiunea totală în camera de reacție în domeniul $1-5 \cdot 10^{-3}$ Pa. O presiune reziduală mai mare poate conduce la creșterea concentrației atomice de oxigen în filmul în formare.

Utilizând metoda descrisă mai sus s-au realizat filme din ZnO de grosime 450-1000 nm, cu concentrații atomice relative de 30-35% oxigen și respectiv 45-50% oxigen, variind parametrii de depunere.

Electrod transparent din ZnO pentru celule solare si metoda de depunere bazata pe arc termoionic in vid

Revendicari

1. Electrod transparent din ZnO pentru celule solare avand rezistenta de 4-3,5 k Ω ·m la grosimi ale filmului de 450-500 nm si respectiv 2 - 2,2 k Ω ·m la 950-1000 nm.
2. Metoda de depunere filme ZnO in concentratii atomice de 30-35% oxigen relativ la zinc, de grosime 450-500 nm, caracterizata prin aceea ca depunerea se efectueaza cu ajutorul a unui evaporator cu arc termoionic in vid, constand dintr-o nacela de TiB₂ umpluta cu pulbere de ZnO, substraturile situandu-se la distanta de 250 - 300 mm deasupra acesteia, viteza de crestere a filmului fiind de 0,05 - 0,1 nm/s.
3. Metoda de depunere filme ZnO in concentratii atomice de 45-50% oxigen relativ la zinc, de grosime 950-1000 nm, caracterizata prin aceea ca depunerea se efectueaza cu ajutorul a unui evaporator cu arc termoionic in vid, constand dintr-o nacela de TiB₂ umpluta cu pulbere de ZnO, si introducerea in timpul depunerii a oxigenului cu o viteza de curgere de 0,2-1 ml/s, in asa fel incat presiunea totala in camera de depunere sa fie in domeniul 2-5*10⁻³Pa, substraturile situandu-se la distanta de 250 - 300 mm deasupra acesteia, viteza de crestere a filmului fiind de 1,5 - 2 nm/s.
4. Arc termoionic in vid cu catod incalzit, anod format din nacela de TiB₂ umpluta cu pulbere din ZnO de puritate 99,99% care genereaza o plasma localizata in vapori de ZnO, caracterizat prin aceea ca plasma astfel generata produce ioni de Zn si O care bombardeaza stratul de ZnO in timpul depunerii.

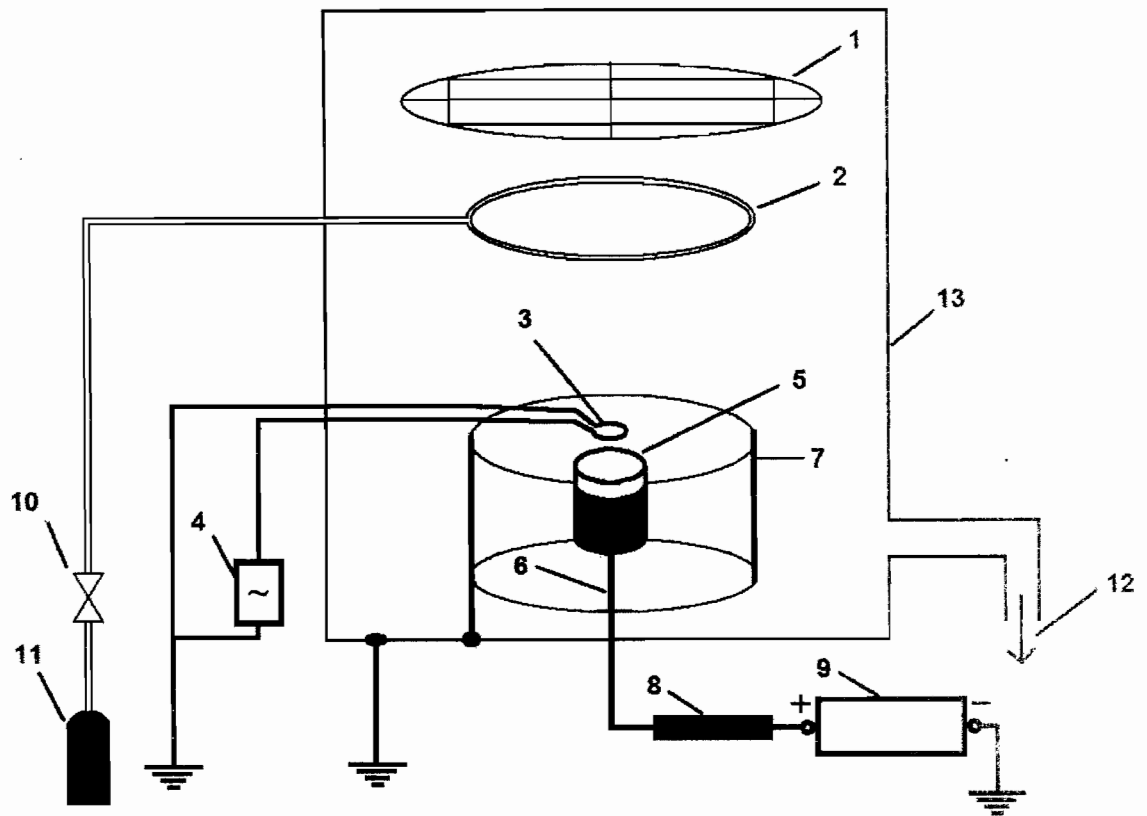


Fig. 1 Schema aranjamentului experimental pentru realizarea depunerilor de filme ZnO: 1, suport rotativ, incalzit, utilizat pentru fixarea substraturilor flexibile; 2, tub circular din otel inoxidabil; 3, catod incalzit; 4, sursa de curent alternativ, care poate genera curent in domeniul 0-150A si 0-24V; 5, nacela in care se introduce pulberea ZnO si care constituie anodul descarcarii in arc termoionic in vid; 6, bara de wolfram care suporta nacela din TiB₂; 7, cilindriul din material inoxidabil refractar cu rol de focalizare a electronilor generati de catodul incalzit; 8, rezistenta de balast cu rolul de stabilizare a plasmii produse in vaporii de oxid de zinc; 9 sursa de tensiune inalta; 10, reductorul de gaz; 11, butelia de oxigen; 12 sistem de vidare; camera de depunere cu pereti din otel inoxidabil.

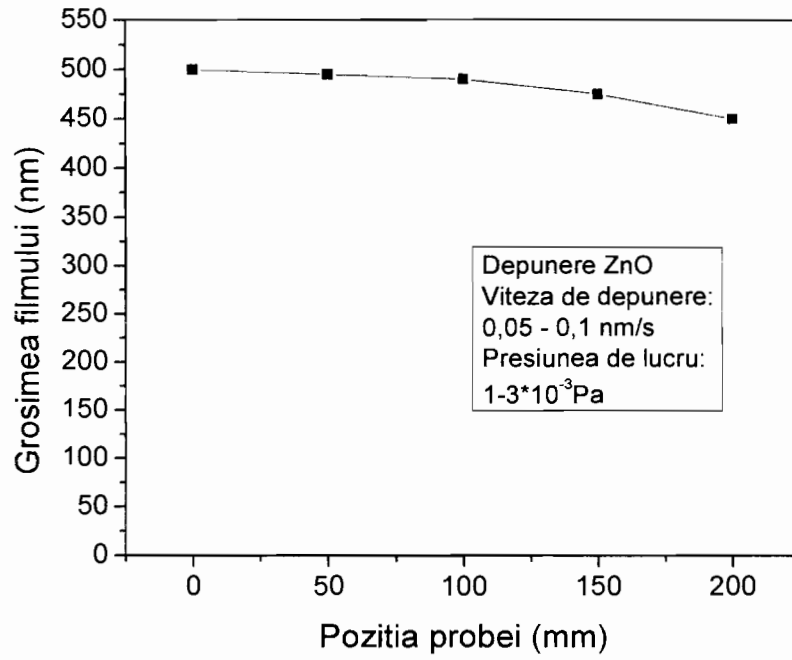


Fig. 2. Grosimea filmelor ZnO in cazul vitezei de depunere 0,05 -0.1 nm/s și presiune de lucru $1-3 \cdot 10^{-3}$ Pa

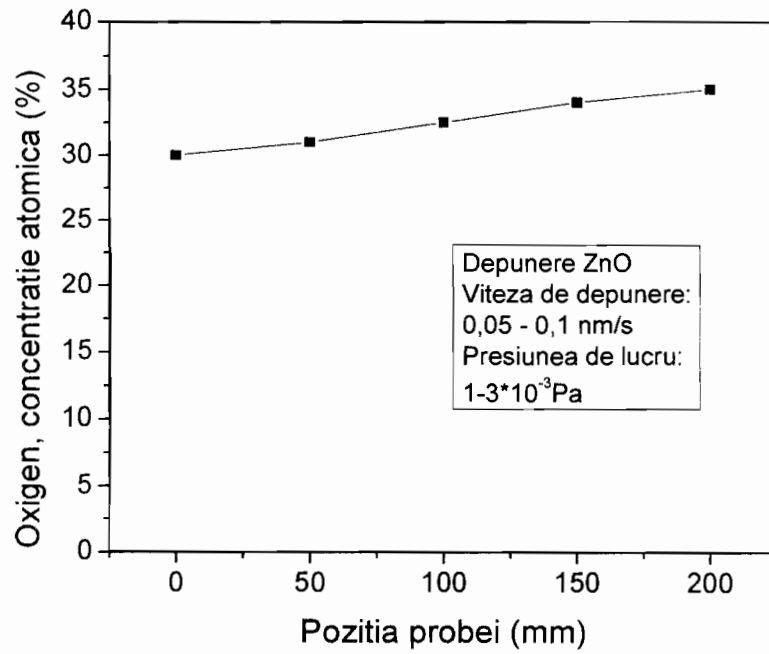


Fig. 3. Concentratia atomica relativa a oxigenului in filmul de ZnO in cazul vitezei de depunere 0,05 -0.1 nm/s si presiune de lucru 1-3*10⁻³Pa.

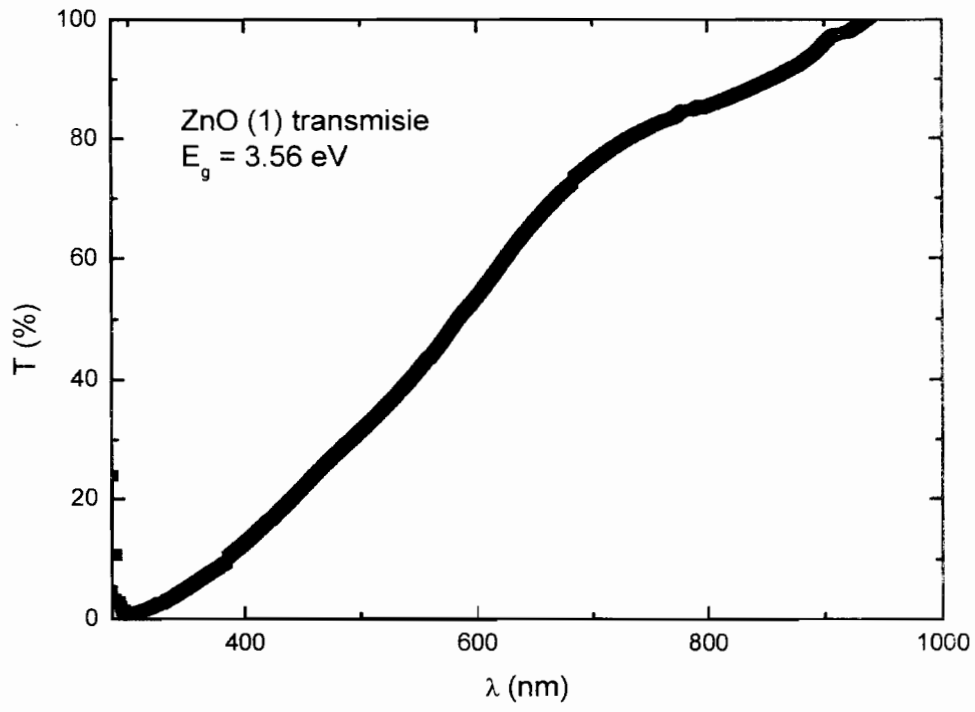


Fig.4 Transmisia optica a filmului ZnO in cazul vitezei de depunere 0,05 -0,1 nm/s si presiune de lucru $1-3 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$.

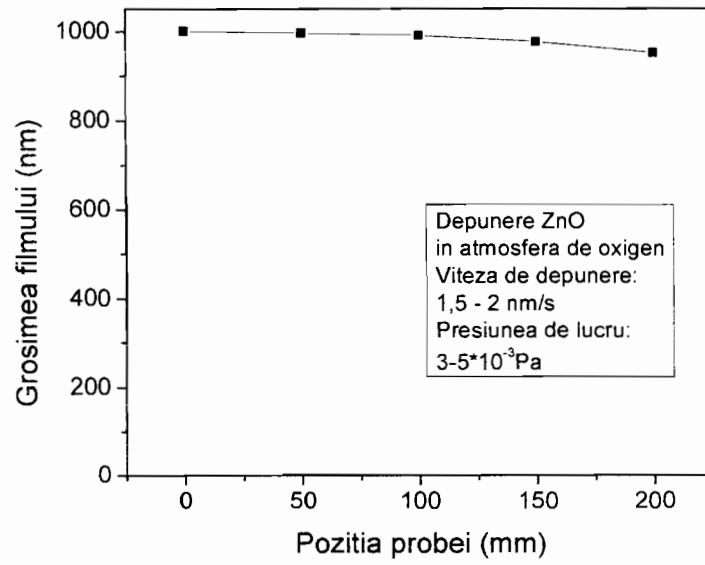


Fig. 5. Grosimea filmelor ZnO in cazul vitezei de depunere 1,5 - 2 nm/s, cu aditionare de oxigen in camera de depunere, in asa fel incat presiunea totala sa fie in domeniul $3 - 5 \cdot 10^{-3}$ Pa

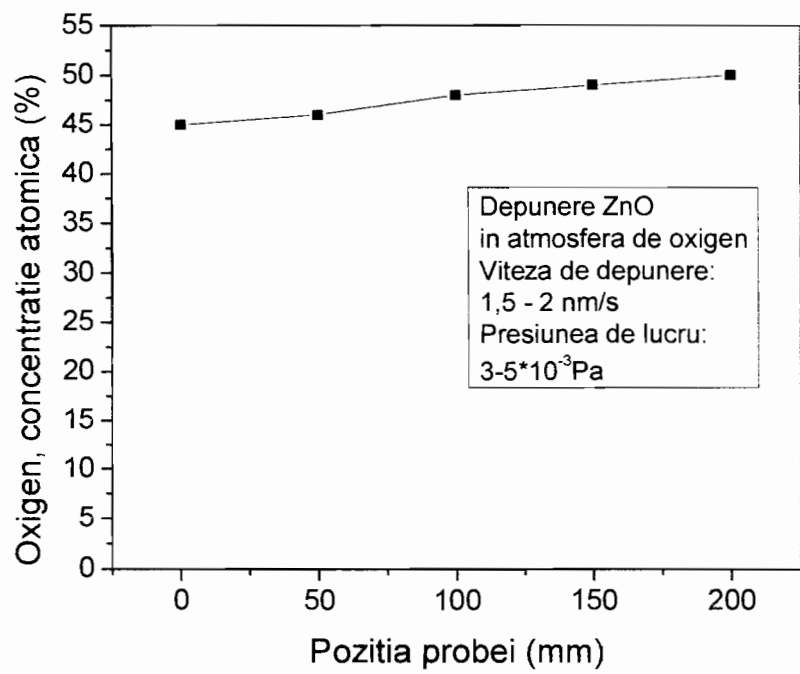


Fig. 6. Concentratia atomica relativa a oxigenului in filmul de ZnO ZnO in cazul vitezei de depunere 1,5 - 2 nm/s, cu aditionare de oxigen in camera de depunere. in asa fel incat presiunea totala sa fie in domeniul $3 - 5 \cdot 10^{-3}$ Pa

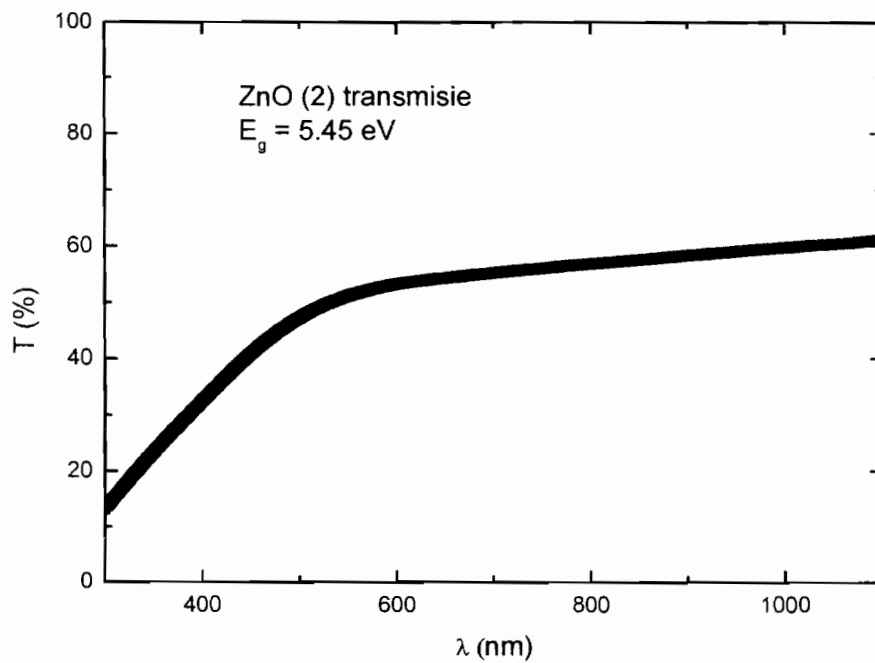


Fig. 7 Transmisia optica a filmului ZnO ZnO in cazul vitezei de depunere 1.5 - 2 nm/s, cu aditionare de oxigen in camera de depunere, in asa fel incat presiunea totala sa fie in domeniul $3 - 5 \cdot 10^{-3}$ Pa