

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2011 00735

(22) Data de depozit: 25.07.2011

(41) Data publicării cererii:
28.11.2014 BOPI nr. 11/2014

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA
"ALEXANDRU IOAN CUZA" DIN IAȘI,
BD. II CAROL I, NR.22, IAȘI, IS, RO

(72) Inventatori:
• SIRGHI LUCEL, STR. TITU MAIORESCU
NR. 2, BL. B1, SC. B, AP. 12, IAȘI, IS, RO;
• TIRON VASILE, STR. BURIDAVA NR. 16,
BL. U3, SC. C, AP. 25, IAȘI, IS, RO;
• POPA GHEORGHE, STR. CODRESCU
NR. 7A, BL. D3, SC. A, ET.3, AP. 15, IAȘI,
IS, RO

(54) INSTALAȚIE ȘI PROCEDU DE SINTEZĂ ȘI CONTROL AL
DOPAJULUI CU ATOMI METALICI A STRUCTURILOR
SUBȚIRI ÎN DESCĂRCAREA MAGNETRON PULSATĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o instalație și un procedeu de sinteză și control al dopajului cu atomi metalici a straturilor subțiri, obținute prin depunere în descărcare magnetron pulsată. Instalația conform invenției este compusă din următoarele: o cameră de depunere (1), legată, prin intermediul unei trape (4), la un sistem de vidare, alcătuit dintr-o pompă (2) mecanică uscată și dintr-o pompă (3) turbomoleculară, un catod (5) de tip magnetron, ecranat electric cu un ecran (6) conectat electric, împreună cu camera (1) de depunere, la masă, o țintă (7) magnetron, sub forma unui disc, două controlere (8, 9) de debit masic, pentru reglarea debitelor de gaze, un generator (10) de pulsuri de tensiune, care asigură, în intervalul de timp dintre pulsuri, o valoare constantă a intensității curentului electric, prin descărcarea magnetron, și o sursă (11) de curent continuu, care asigură o valoare constantă a tensiunii de polarizare pe un electrod (12) auxiliar. Procedeu conform invenției constă în două descărcări electrice care operează simultan în amestec de gaz inert și gaz reactiv, descărcarea magnetron pulsată fiind folosită pentru pulverizarea materialului țintei (7), iar descărcarea auxiliară fiind folosită pentru pulverizarea atomilor dopanți, controlul dopajului făcându-se modificând valoarea tensiunii la bornele sursei (11).

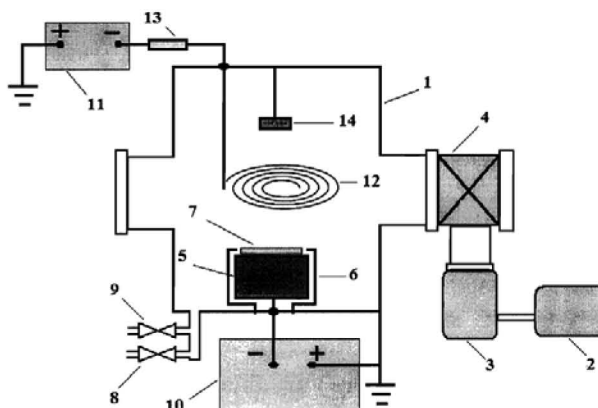


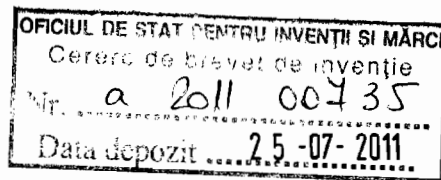
Fig. 1

Revendicări: 3

Figuri: 9

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).





**INSTALATIE SI PROCEDEU DE SINTEZA SI CONTROL AL DOPAJULUI CU
ATOMI METALICI A STRATURILOR SUBTIRI IN DESCARCAREA
MAGNETRON PULSATA**

Inventia se refera la o instalatie pentru sinteza si controlul dopajului cu atomi metalici a straturilor subtiri in descarcare magnetron pulsata. Instalatia este folosita in procedeul de sinteza de straturi subtiri dopate in mod controlat cu atomi metalici. Exemplul de realizare a inventiei se refera la instalatia si procedeul de sinteza a straturilor subtiri de ZnO dopate in mod controlat cu atomi de aluminiu in vederea obtinerii de straturi subtiri conductoare de electricitate si optic transparente.

Sinteza de straturi subtiri asistata de plasma descarcarii electrice in gaze la joasa presiune constituie in prezent o metoda intens folosita in industria microelectronica. Sunt cunoscute mai multe metode de depunere de straturi subtiri in plasma, cum ar fi: depunere chimica in atmosfera de vapori, arcul termoionic in vid, ablatia laser, si nu in ultimul rand, depunere fizica sau chimica prin pulverizare magnetron. Sistemele de pulverizare magnetron au avantajul ca permit un control usor al procesului de depunere, automatizarea tehnologiilor, dopajul, precum si obtinerea de proprietati deosebite ale straturilor subtiri depuse: duritate si grad de compactitate mare, aderenta buna la substrat si uniformitate pe suprafete foarte mari.



Sinteza si doparea filmelor subtiri realizate prin pulverizare magnetron folosesc descarcari magnetron in gaze inerte sau reactive, in curent continuu (DC) sau de radiofrecventa (RF), in regim pulsant sau continuu, sau combinatii ale acestora. O solutie des folosita pentru depunerea de materiale compozite, sau pentru dopajul straturilor subtiri depuse prin pulverizare magnetron, consta in utilizarea a doua descarcari magnetron paralele, instalatia de depunere dispunand de doua tinte. Procedul are dezavantajul ca este costisitor si nu asigura un dopaj uniform pe toata suprafata filmului datorita configuratiei geometrice particulare a sistemului.

Un alt procedeu de realizare a dopajului unui film depus prin pulverizare magnetron consta in folosirea unor tinte magnetron compozite. In general, in functie si de conditiile particulare ale depunerii, procentul de atomi dopanti din tinta se regaseste in filmul depus. Dezavantajul acestei metode este ca nu permite un control al dopajului in timpul depunerii.

Alte procedee de realizare a dopajului filmelor depuse folosesc introducerea materialului dopant sub forma de gaz sau spray (World Patent WO 9625537), metoda care are dezavantajul ca poate fi aplicata doar materialelor dopante gazoase sau lichide.

Problema pe care o rezolva inventia consta in realizarea unei instalatii ce permite controlul dopajului cu atomi metalici a straturilor subtiri in timpul depunerii acestora, precum si stabilirea procedurii de realizare a acestui proces in cazul sintezei de straturi subtiri ai unor oxizi metalici, nitruri, carburi, etc.

Instalatia pentru sinteza si dopajul controlat cu atomi metalici a filmelor subtiri obtinute prin depunere in descarcare magnetron pulsata, **conform inventiei, inlatura dezavantajele mentionate mai sus prin aceea ca** foloseste o descarcare auxiliara descarcarii magnetron, prin plasarea unui electrod auxiliar de forma unei spirale plane confectionata din materialul dopant, electrod amplasat central intre tinta magnetron si port-substratul depunerii si polarizat electric in curent continuu la valori negative ale potentialului electric.

Descarcarea magnetron in pulsuri este asigurata de un generator special de pulsuri (European Patent Appl. No. 4447072.2/22.03.2004) care permite aplicarea unei tensiuni de preionizare inainte de initierea pulsului, in felul acesta obtinandu-se pulsuri de curent de foarte mare intensitate (zeci de amperi) pe durate de timp scurte (cateva microsecunde). Valoarea tensiunii de preionizare variaza in functie de presiunea gazului



O₂/Ar), de raportul debitelor celor doua gaze, de frecventa si durata pulsurilor de tensiune, si de valoarea setata a intensitatii curentului electric de preionizare.

Camera de depunere a filmelor subtiri consta intr-o incinta de lucru din otel inoxidabil ce este depresurizata pana la o presiune limita inferioara de 10⁻⁷ Torr folosind un sistem de vid alcatuit dintr-o pompa mecanica uscata si o pompa turbomoleculara, sistem ce asigura puritatea straturilor subtiri depuse.

Descarcarea magnetron reactiva foloseste un catod de tip magnetron plan-circular, cu racire indirecta, cu o structura standard de camp magnetic realizata cu ajutorul unui magnet permanent si a unei piese polare. Tinta magnetron este confectionata din materialul sursa (conductor sau semiconductor) a filmelor depuse in descarcarea magnetron reactiva si se prezinta sub forma unui disc cu valori determinate ale diametrului si grosimii.

Parametrii definiti ai descarcarii magnetron pulsate sunt, presiunea gazului de lucru, raportul debitelor masice ale gazului reactiv si gazului inert, amplitudinea pulsului de tensiune aplicat pe catod, frecventa de repetitie a pulsului de tensiune, durata pulsului de tensiune, si tensiunea de preionizare corespunzatoare unei valori setate a intensitatii curentului de preionizare.

Monitorizarea densitatii atomilor dopanti in faza gazoasa se face prin metoda absorbtiei laser cu ajutorul unei diode laser care emite radiatie cu lungimea de unda corespunzatoare uneia dintre tranzitiile specifice atomului dopant.

Determinarea concentratiei de atomi dopanti in straturile subtiri depuse se face cu ajutorul analizei spectrelor de emisie fotoelectronica a suprafetelor straturilor iradiate cu radiatie X (XPS -X ray photoelectron spectroscopy).

Proprietatile fizice si structura mesoscopica ale straturilor subtiri sunt studiate prin masuratori de spectroscopie de difractie cu raze X (XRD -X ray diffraction spectroscopy), spectroscopie optica de transmisie (UV-VIS), fotoluminiscenta, rezistivitate electrica si microscopie cu forta atomica.

Procedeul pentru sinteza si dopajul cu atomi metalici a straturilor subtiri obtinute prin depunere in descarcare magnetron pulsata, **conform inventiei**, este utilizat la sinteza si dopajul cu atomi metalici a straturilor subtiri.

Procedeul foloseste doua descarcari electrice ce opereaza simultan in amestec de gaz inert (de obicei Ar) si gaz reactiv (oxigen, hidrogen, azot, etc.), descarcare magnetron



pulsata cu tinta din materialul sursa necesar sintezei straturilor subtiri (metal, carbon, siliciu, etc.), si descarcarea auxiliara in curent continuu pe un electrod confectionat din materialul dopant, introdus in plasma luminii negative a descarcarii magnetron. Descarcare auxiliara este dependenta de descarcarea magnetron (neautonoma), ea fiind aprinsa intre plasma luminii negative a descarcarii magnetron (care joaca rol de anod al descarcarii neautonome) si electrodul auxiliar. Acest electrod, in forma de spirala, joaca rolul celui de-al doilea catod al sistemului si pulverizarea lui introduce in stare de vapori atomii dopanti. Ca urmare a diferentei de potential dintre electrodul auxiliar si plasma densa a luminii negative a descarcarii magnetron, are loc o accelerare puternica a ionilor pozitivi de argon spre suprafata electrodului si bombardarea suprafetei acestuia, fenomen care are ca efect pulverizarea atomilor dopanti.

Densitatea de atomi ai materialului dopant pulverizati in faza gazoasa depinde de valoarea medie a intensitatii curentului electric prin descarcarea auxiliara, intensitate care la randul ei depinde de valoarea potentialului negativ de polarizare a electrodului auxiliar. Ca urmare, la valori stabilite ale amplitudinii pulsurilor de tensiune aplicate pe catod, frecventei si duratei pulsurilor, presiunii gazului de lucru, si a distantei dintre electrodul auxiliar si catod, controlul dopajului se obtine variind valoarea potentialului negativ de polarizare a electrodului auxiliar.

Controlul doparii este confirmat de masuratori de absorbtie rezonanta laser ale concentratiei de atomi dopanti in faza gazoasa si de masuratori XPS ale procentului atomic de atomi dopanti in filmele depuse la diferite valori ale potentialului de polarizare a electrodului auxiliar.

Instalatia si procedeul pentru sinteza si dopajul controlat cu atomi metalici ai straturilor subtiri, **conform inventiei, prezinta urmatoarele avantaje:**

- posibilitatea modificarii procentului de dopant chiar in timpul depunerii, ceea ce permite obtinerea de filme cu diferite concentratii de dopare, cu gradient de concentratie de dopant, sau a structurilor de tip sandwich, formate din straturi dopate alternativ cu straturi nedopate;
- posibilitatea obtinerii unui interval larg de valori ale concentratiei materialului dopant in straturile subtiri depuse, la valori mari ale concentratiei atomilor dopanti obtinandu-se straturi subtiri compozite;



- obtinerea unor straturi subtiri omogen dopate datorita unei bune amplasari geometrice a celor doua surse de vapori (tinta magnetron, ca sursa de vapori ai materialului sursa, si electrodul auxiliar, ca sursa de vapori al materialului dopant);
- mentinerea unei relatii de dependenta a densitatilor in faza gazoasa ai atomilor dopantului (pulverizati de pe suprafata electrodului auxiliar) si, respectiv, ai atomilor materialului sursa (pulverizati de pe suprafata tinte magnetron), chiar si in cazul descarcarii magnetron pulsate. Aceasta, datorita dependentei descarcarii auxiliare de descarcarea principala (descarcarea magnetron pulsata);
- metoda de dopare controlata poate fi folosita pentru orice material conductor de electricitate (metal, carbon, semiconductor);
- aplicarea tensiunii de preionizare inainte de initierea pulsului are efect de stabilizare a descarcarii si a proceselor de depunere si dopaj;
- aplicarea pulsurilor de curent de foarte mare intensitate (zeci de amperi) pe durate de timp foarte scurte (cateva microsecunde) asigura o rata mare de depunere, un grad ridicat de ionizare al plasmei si obtinerea unui flux de atomi sursa cu energii cinetice mari, fapt ce conduce la imbunatatirea calitatii stratului depus (duritate și grad de compactitate mare, aderența buna la substrat, etc.);
- in cazul sintezei de straturi subtiri de ZnO:Al, procedeul permite obtinerea de straturi subtiri cu transparenta optica si conductivitate electrica foarte bune, fapt ce califica acest procedeu pentru obtinerea de electrozi optic transparenti;
- costul redus al solutiei adoptate de prezenta inventie, descarcarea auxiliara necesitand un consum mic de materiale si manopera.

Se da in continuare un exemplu de realizare a inventiei in legatura cu Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, si 9 care reprezinta:

- **Fig 1.** Schema instalatiei pentru sinteza si doparea controlata cu atomi metalici a filmelor subtiri in descarcare magnetron pulsata;
- **Fig. 2.** Variatiile temporale ale tensiunii si intensitatii curentului electric prin descarcarea magnetron pulsata pe durata unui puls;
- **Fig. 3.** Variatiile temporale ale intensitatii curentului electric prin descarcarea magnetron (*I*magnetron) si a curentului prin electrodul auxiliar (*I*electrod);



5

- **Fig. 4.** Dependenta intensitatii medii a curentului prin descarcarea auxiliara de potentialul de polarizare a electrodului auxiliar;
- **Fig. 5.** Dependenta concentratiei atomilor de aluminiu in faza gazoasa de valorile potentialului electric si intensitatii medii a curentului electric prin electrodul auxiliar;
- **Fig. 6.** Dependenta de valoarea potentialului de polarizare a electrodului auxiliar a concentratiei atomilor de aluminiu in filmele depuse;
- **Fig. 7.** Conductivitatea electrica a filmelor ZnO:Al depuse;
- **Fig. 8.** Transparenta optica a filmelor de ZnO:Al depuse la diferite valori ale potentialului de polarizare a electrodului de Al;
- **Fig. 9.** Spectrele XRD indicand maxime de difractie caracteristice structurii cristaline a straturilor de ZnO:Al depuse la diferite valori ale concentratiei atomilor dopanti de Al.

Instalatia conform inventiei este compusa dintr-o camera de depunere (1) sub forma unei incinte cilindrice cu diametrul de 15 cm si lungimea de 30 cm, din otel inoxidabil, prevazuta cu ferestre pentru diagnoza optica a plamei, incinta ce poate fi depresurizata pana la o presiune limita inferioara de 10^{-7} Torr. Pentru aceasta se foloseste un sistem de vid alcatuit dintr-o pompa mecanica uscata (2) si o pompa turbomoleculara (3), sistem conectat la camera de depunere (1) prin intermediul unei trape (4) (Fig. 1). In incinta este montat un catod 5 de tip magnetron, ecranat electric cu un ecran 6 conectat electric impreuna cu incinta la masa. Catodul magnetron de forma plan-circulara, cu racire indirecta, are o structura standard de camp magnetic a carei componenta paralela cu tinta (7) a inductiei magnetice este in jur de 1000 Gauss. Tinta (7) se prezinta sub forma unui disc cu diametrul de 56 mm si grosimea de 4 mm, disc confectionat din zinc de mare puritate. Ca gaz de lucru, este folosit un amestec argon/oxigen, la presiunea optima de operare a descarcarii magnetron (50 mTorr), raportul debitelor de gaze oxigen/argon fiind mentinut 1/100 cu ajutorul a doua controlere de debit masic, (8) si (9). Descarcarea magnetron este operata in regim pulsat cu ajutorul unui generator (10), special (European Patent Appl. No. 4447072.2/22.03.2004) de pulsuri de tensiune, generator ce asigura in intervalul de timp dintre pulsuri o valoare constanta, setata de operator, a intensitatii curentului electric prin descarcarea magnetron (curent electric de preionizare). Parametrii definiti de operator ai descarcarii magnetron puse sub presiunea



gazului de lucru, raportul debitelor masice ale oxigenului si argonului, amplitudinea pulsului de tensiune aplicat pe catod, frecventa de repetitie a pulsului de tensiune, durata pulsului de tensiune, si tensiunea de preionizare corespunzatoare unei valori setate a intensitatii curentului de preionizare. Descarcarea auxiliara, dependenta de descarcarea magnetron, este operata in regim continuu cu ajutorul unei surse (11) de curent continuu, care asigura o valoare constanta a tensiunii de polarizare pe electrodul auxiliar (12). Circuitul electric al descarcarii auxiliare contine un rezistor (13) de 1 k Ω pentru stabilizarea descarcarii. Electrocul auxiliar (12), cu forma de spirala plana, confectionat din sarma de aluminiu cu puritatea de 99.99% cu grosimea de 1.5 mm si lungimea de 50 cm, este amplasat central, intre port-substratul (14) de depunere si tinta (7) a catodului magnetron, la o distanta de 30 mm de tinta si de 20 mm de port-substrat.

Procedeu pentru sinteza si dopajul cu atomi metalici a straturilor subtiri prin depunere in descarcare magnetron pulsata, conform inventiei, este utilizat la fabricarea straturilor de ZnO dopate cu atomi de Al in concentratii determinate de valorile setate de operator ai parametrilor de functionare ai instalatiei descrise mai sus. Pentru aceasta, descarcarea magnetron pulsata este operata cu tinta (7) de Zn de puritate mare in amestec de gaze Ar/O₂ (1% O₂) la presiunea de 50 mTorr. Parametrii descarcarii magnetron pulsate sunt: amplitudinea pulsului de tensiune aplicat pe catod = -900 V, frecventa de repetitie a pulsului de tensiune = 1 kHz, durata pulsului de tensiune = 6 μ s, tensiunea de preionizare = -45 V, corespunzatoare unei valori setate a intensitatii curentului de preionizare de 8 mA. Figura 2 prezinta variatia tipica a tensiunii si intensitatii curentului electric prin descarcarea magnetron pe durata unui puls. Pe durata pulsului de tensiune, intensitatea curentului electric sufera variatii mari atingand valoarea maxima de 20 A. In afara pulsului de tensiune intensitatea curentului electric prin descarcare este mentinuta de generatorul special de pulsuri de tensiune la valoarea presetata de 8 mA.

Pentru realizarea dopajului controlat cu atomi de aluminiu a straturilor de ZnO depuse in descarcarea magnetron pulsata, se opereaza descarcarea auxiliara in regim continuu cu ajutorul unei surse (11) de curent continuu care asigura o valoare constanta a tensiunii de polarizare a electrodului auxiliar (12). Intensitatea curentului electric in descarcarea auxiliara depinde de parametrii de operare a descarcarii primare (descarcarea magnetron) si are o variatie temporala tipica ce este prezentata in Fig. 3. Se observa ca, in afara intervalului de



timp corespunzatoare pulsurilor de tensiune aplicate descarcarii magnetron, intensitatea curentului electric prin electrodul auxiliar are valori negative ce indica existenta curentului ionic de bombardament cu ioni pozitivi a electrodulului auxiliar. Valoarea medie a curentului prin descarcarea auxiliara, de care depinde densitatea de atomi de aluminiu pulverizati in faza gazoasa, depinde de tensiunea de polarizare a electrodulului auxiliar si aceasta dependenta este prezentata in Fig. 4. Se observa o dependenta liniara a celor doi parametri.

Controlul doparii cu atomi de aluminiu a straturilor de ZnO depuse este confirmat de masuratori de absorbtie rezonanta laser ale concentratiei de atomi de Al, in faza gazoasa si de masuratori XPS ale procentului atomic de atomi de Al in filmele de ZnO depuse la diferite valori ale tensiunii de polarizare a electrodulului auxiliar. Masuratorile de absorbtie rezonanta laser au fost facute la nivelul substratului, la o distanta de 1 mm de portsubstratul (14). Figura 5 prezinta dependenta densitatii de atomi de Al in faza gazoasa de potentialul de polarizare a electrodulului auxiliar, sau de intensitatea medie a curentului electric prin acesta. Se observa o puternica dependenta a celor doua marimi, densitatea de atomi in faza gazoasa crescand monoton de la valoarea 10^{13} atomi/m³ la potentialul de polarizare de -500 V, la concentratia de $2,5 \times 10^{15}$ atomi/m³ la potentialul de polarizare de -850V.

Controlul dopajul cu atomi de Al a filmelor ZnO:Al depuse este confirmat de masuratorile efectuate cu ajutorul tehnicii XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) a concentratiei de atomi de Al din filmele de ZnO:Al depuse. Pastrand aceleasi conditii pentru descarcarea magnetron (presiunea gazului de lucru 50 mTorr, raportul debitelor de gaze oxigen/argon = 1/100, valoarea amplitudinii tensiunii aplicate pe catod = -900 V, frecventa de repetitie a pulsului = 1 kHz, durata pulsului = 6 μ s, si timp de depunere = 60 minute) si modificand valoarea potentialului de polarizare a electrodulului de Al intre -500 si -850 V s-au obtinut filme de ZnO:Al cu concentratii diferite de Al. Dependenta concentratiei atomice a atomilor de Al in filmele depuse de valoarea potentialului de polarizare a electrodulului auxiliar este prezentata in Fig. 6. Se observa ca evolutia acesteia in functie de potentialul de polarizare a electrodulului auxiliar din Al, urmareste evolutia concentratiei de atomi de Al in faza gazoasa. Astfel se confirma faptul ca prin cresterea valorii potentialului de polarizare a electrodulului auxiliar de la -500V la -850V se obtine o crestere a concentratiei atomice de Al in filmele depuse de la 0.1% la 23.1%.



Rezistivitatea electrica a filmelor obtinute a fost determinata folosind metoda de masura in patru puncte a straturilor subtiri. Valori minime ale rezistivitati (cuprinse intre $3.6 \cdot 10^{-3} \Omega \times \text{cm}$ si $8 \cdot 10^{-2} \Omega \times \text{cm}$) au fost determinate pentru filmele cu concentratie de dopant cuprinsa intre 1.3% si 3.3% (Fig. 7).

Filmele obtinute au grosimi cuprinse intre 700 nm si 1150 nm (rata de depunere este usor afectata de polarizarea electrodului auxiliar) si prezinta o buna transparenta optica in domeniul spectral 350 nm – 1100 nm, asa cum indica Fig. 8.

Informatii despre structura mesoscopica a filmelor ZnO:Al depuse sunt obtinute cu un difractometru de raxe X. Pozitia si intensitatea maximelor de difractie indica prezenta unei anumite faze, respectiv ponderea fazei respective. iar semilargimea maximului ofera informatii despre dimensiunile microcristalitelor (Fig. 9). Pentru valori mici ale concentratiei de Al in filme, oxidul de zinc prezinta o structura de tip wurzite, iar microcristalitele cu dimensiuni de ordinul a 10 nm nu prezinta o orientare preferentiala. Pentru valori mai mari ale concentratiei de Al in filme se observa aparitia unui maxim de difractie corespunzator oxidului de aluminiu Al_2O_3 , iar maximul de difractie ZnO (002) creste considerabil si este foarte larg. Acest lucru indica prezenta a doua faze, ZnO si Al_2O_3 , iar microcristalitele de oxid de zinc sunt orientate dupa axa c si au dimensiuni de ordinul a 5 nm.



REVENDICARI

1. Instalatia pentru sinteza si controlul dopajului cu atomi metalici a straturilor subtiri obtinute prin depunere in descarcare magnetron pulsata **caracterizata prin aceea ca** in camera de depunere (1), conectata electric la masa, se foloseste o descarcare auxiliara descarcarii magnetron pulsate, prin plasarea unui electrod auxiliar (12) de forma unei spirale plane confectionata din materialul dopant, electrod amplasat central intre tinta magnetron (7) si port-substratul (14) depunerii si polarizat electric in curent continuu la valori negative ale potentialului electric. Descarcarea magnetron pulsata este asigurata de un generator special de pulsuri (10) ce asigura intre pulsuri un curent de preionizare de intensitate constanta si reglabila. Controlul dopajului se face modificand valoarea tensiunii la bornele sursei (11) de curent continuu care polarizeaza electric electrodul auxiliar.

2. Procedeu de sinteza de straturi subtiri dopate in mod controlat cu atomi metalici, **in legatura cu revendicarea 1, caracterizat prin aceea ca** foloseste doua descarcari electrice ce opereaza simultan in amestec de gaz inert si gaz reactiv: descarcarea magnetron pulsata, ca descarcare principala, si descarcarea auxiliara, dependenta de descarcarea principala, avand drept catod electrodul auxiliar (12). Descarcarea magnetron pulsata este folosita pentru pulverizarea materialului tintei (7), in timp ce descarcarea auxiliara este folosita pentru pulverizarea atomilor dopanti din care este confectionat electrodul auxiliar (12).

3. Procedeu de realizare a straturilor subtiri optic transparente si conductoare de ZnO:Al, **in legatura cu revendicarile 1 si 2, caracterizat prin aceea ca** opereaza simultan in amestec O₂/Ar o descarcarea magnetron pulsata cu tinta (7) de zinc si o descarcarea auxiliara pe un electrod (12) de aluminiu, introdus in plasma luminii negative a descarcarii magnetron si polarizat la un potential electric negativ. Prin optimizarea parametrilor de depunere (amplitudinea tensiunii pulsurilor de tensiune aplicate pe catod, frecventa si durata pulsurilor, presiunea gazului de lucru, raportul amestecului de gaze, si potentialul de polarizare a electrodului auxiliar) se obtin straturi de ZnO:Al transparente optic si bune conductoare de electricitate.



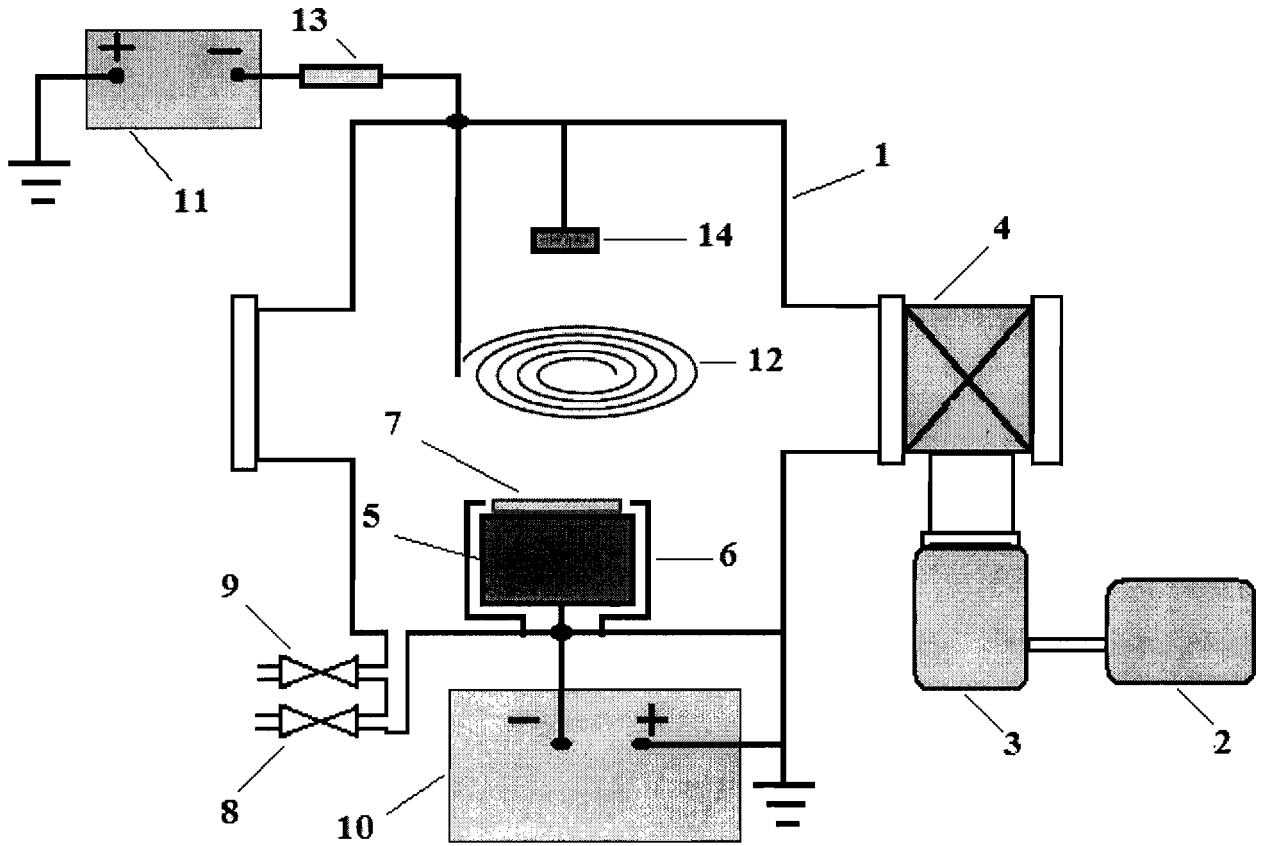
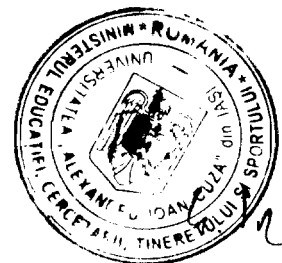


Fig. 1



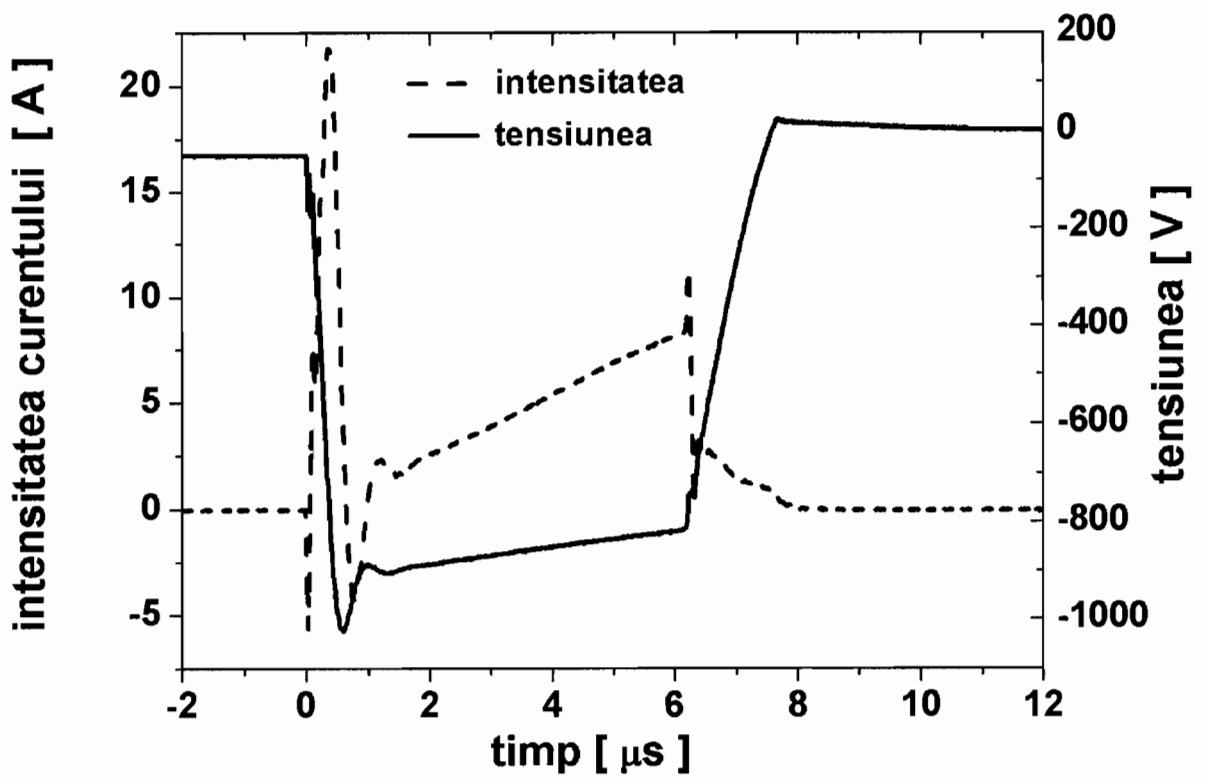


Fig. 2



48

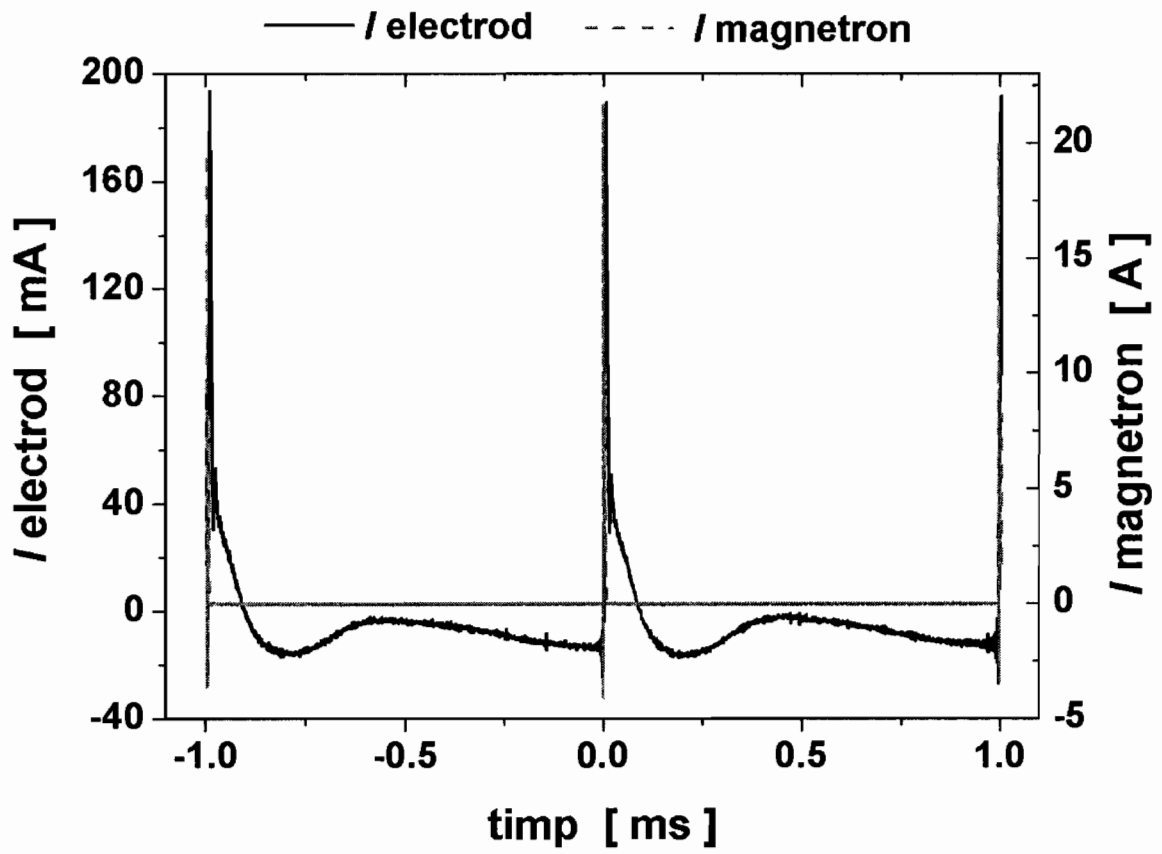


Fig. 3



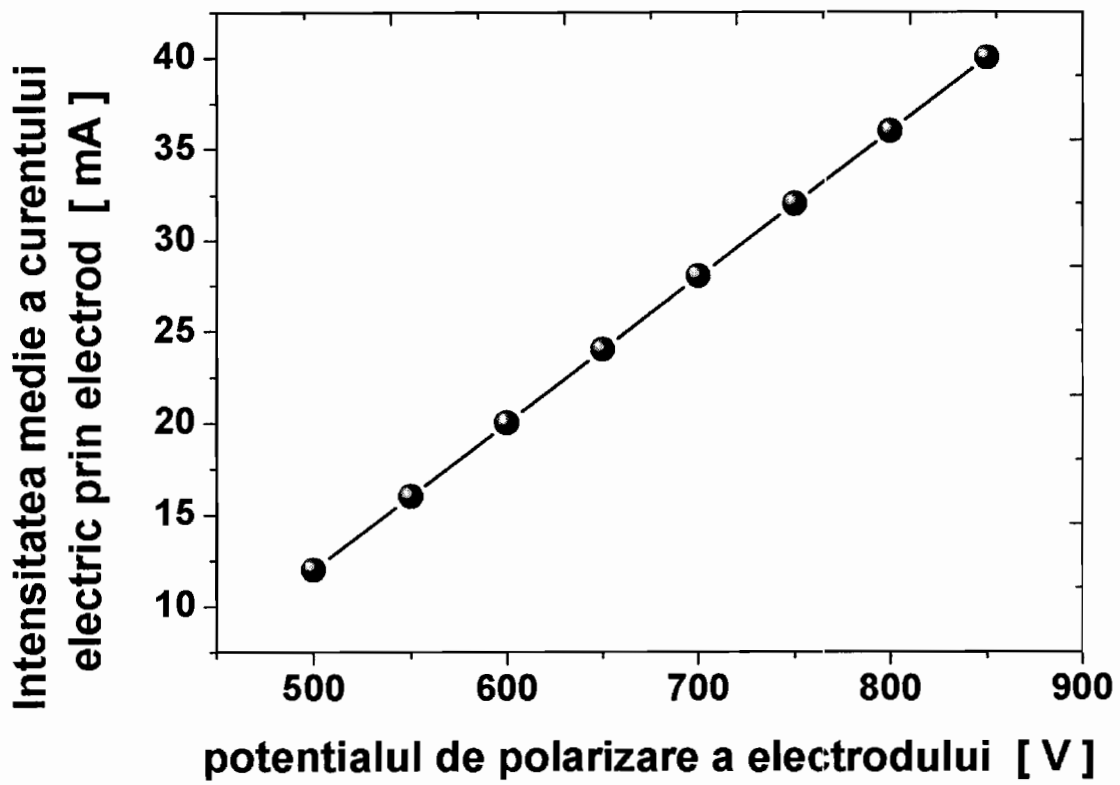


Fig. 4



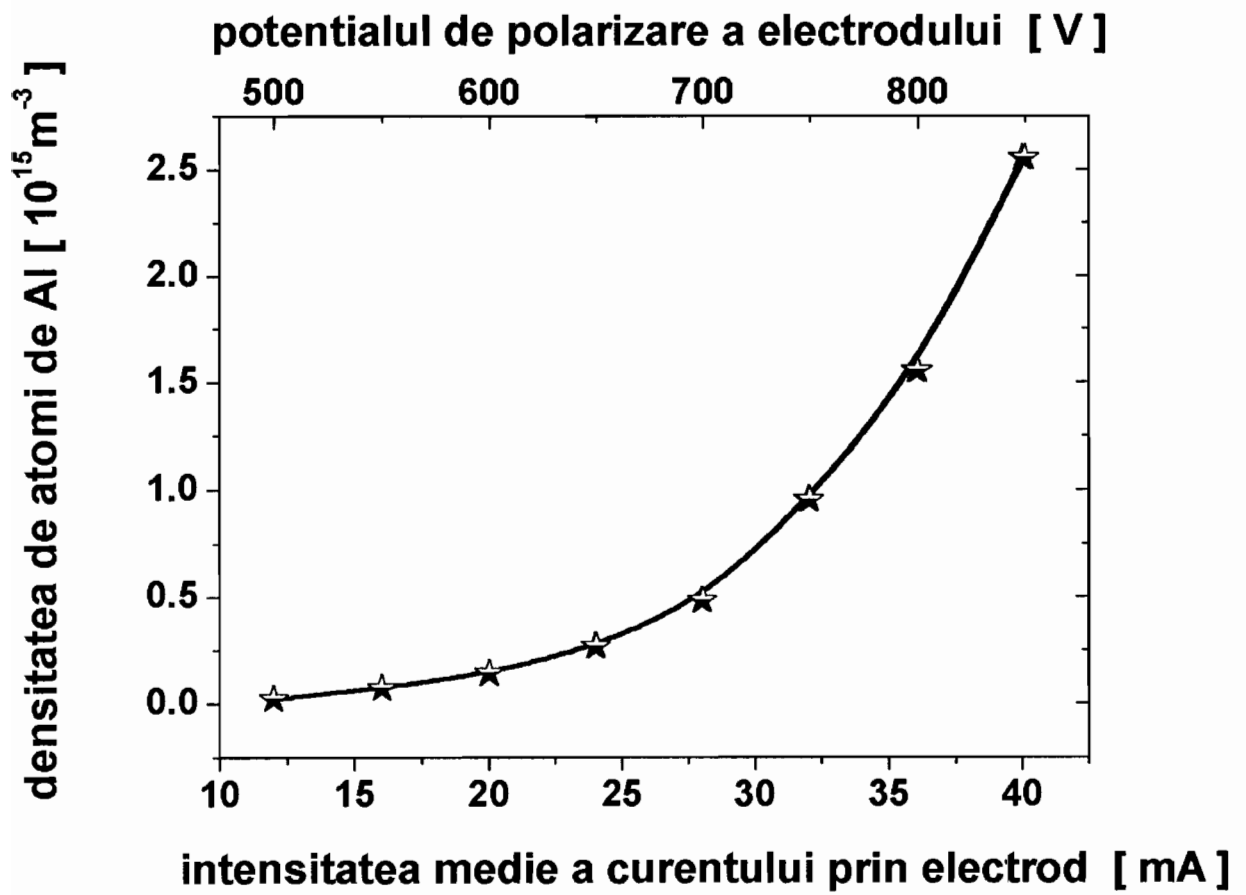


Fig. 5



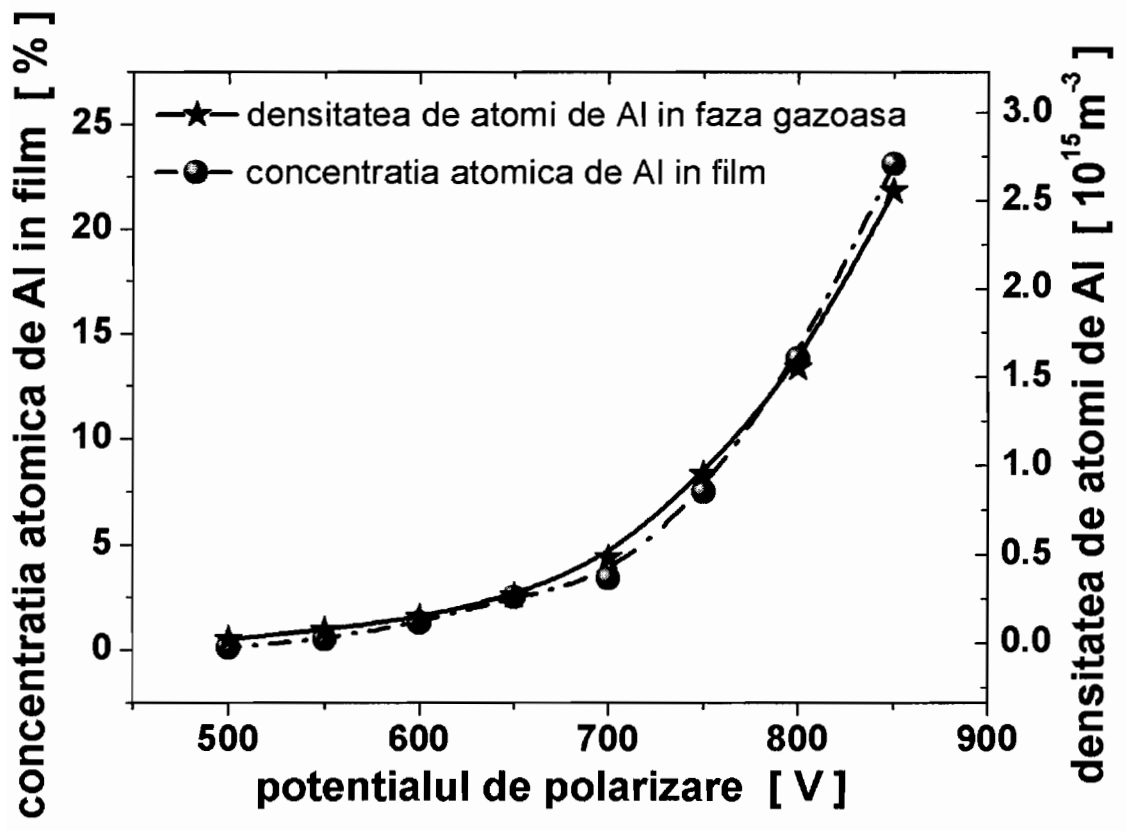
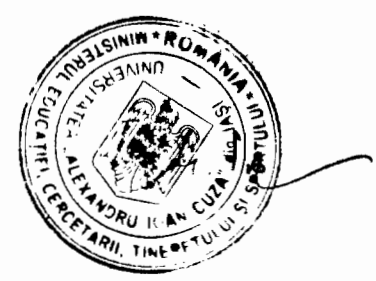


Fig. 6



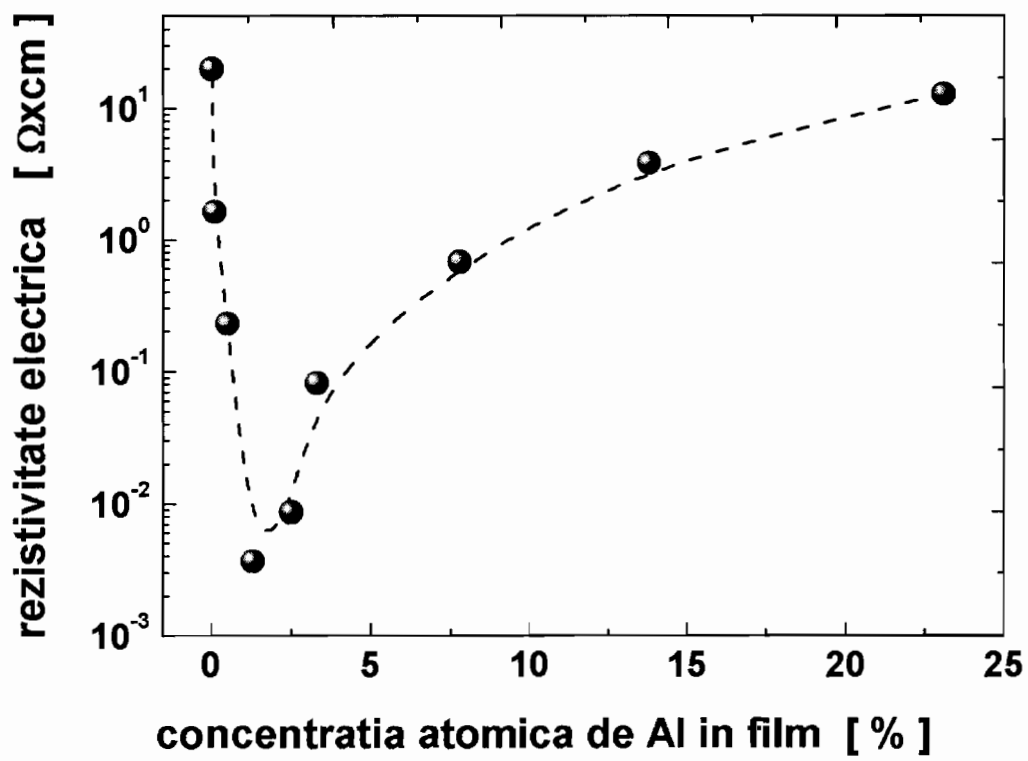
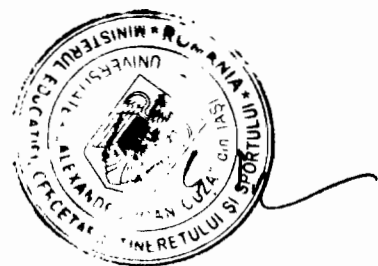


Fig.7



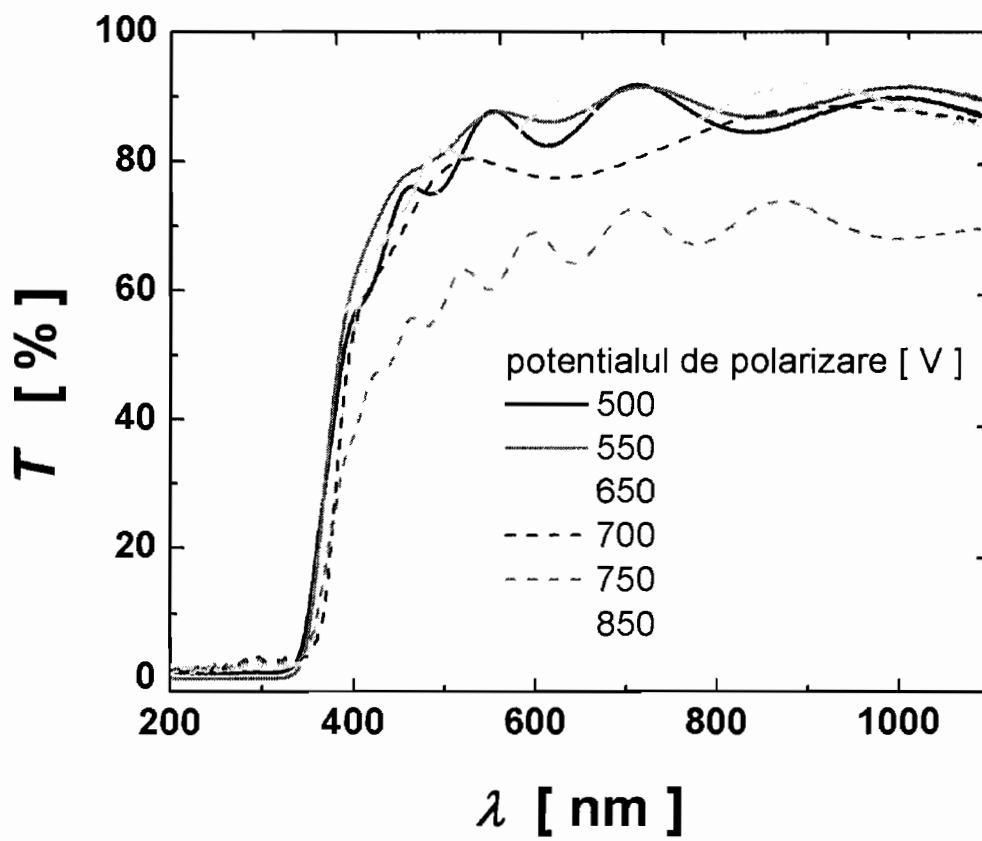


Fig. 8



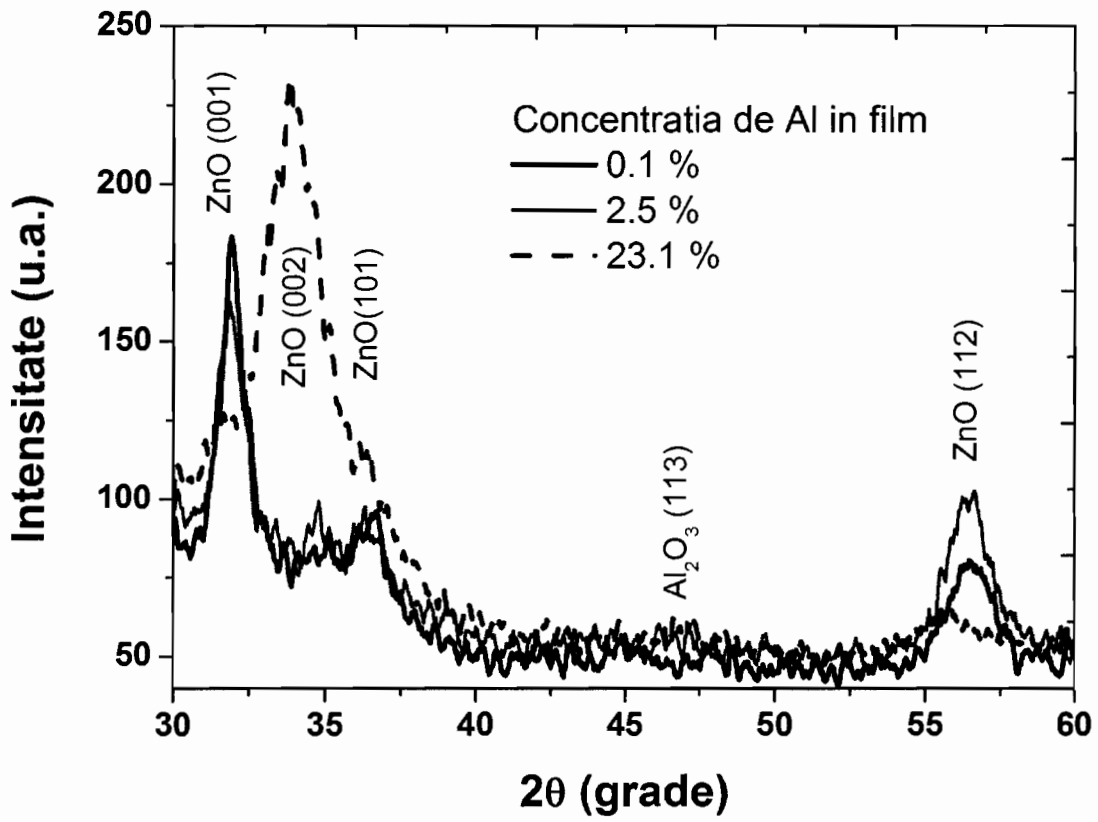


Fig. 9

