

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND OBTINEREA PELICULELOR DE OXIZI PE SUPRAFEȚELE SEMICONDUCTOARE CU APLICAREA PLASMEI

CZU: 621.9.048.4

Pavel TOPALA, dr. hab., prof. univ.,
Vladislav RUSNAC, dr., conf univ.,
Dorin GUZGAN, doctorand,
Alexandr OJEGOV, asist. univ.,
Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți;
Vasile MELNIC, doctorand,
Anton BALANDIN, doctorand,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Summary: *The paper presents the results of experimental investigations aimed at the formation of thin oxide films on semiconductor surfaces by plasma applying. The morphology of obtained films depending on the electrode base material is examined. A special interest presents clusters formed on the semiconductor surfaces after processing, which highlights new properties that differ from the properties of the separate molecules and of the base material.*

Key-words: *discharge, impulse, cluster.*

1. Introducere

Micșorarea gabaritelor și sporirea siguranței de funcționare a sistemelor electronice necesită crearea aparatelor noi, precum modificarea tehnologiilor și a mijloacelor tehnice în elaborarea acestor sisteme. Dezvoltarea actuală, a nano-tehnologiilor, stimulează dezvoltarea metodelor de cercetare a peliculelor subțiri [8]. Acest tip de pelicule se utilizează pe larg în prezent în așa domenii cum sunt: microelectronica, tehnica de calcul, optica, optoelectronica, diferite domenii tehnice etc.

Tehnica peliculelor subțiri se bazează pe utilizarea straturilor de metale, dielectrice sau semiconductoare cu grosimea de la 10 nm și până la 1 μm .

Proprietățile acestor straturi (pelicule), în mare măsură, depind de natura materialului de bază și, nu în ultimul rând, de tehnologia de obținere a acestora.

Există mai multe procedee de obținere a peliculelor subțiri, fiecare dintre ele prezentând avantaje și dezavantaje, în funcție de tipul și compoziția peliculei ce urmează a fi realizată și anume [8]:

- evaporarea termică în vid și condensarea vaporilor pe suporturi solizi aflați la temperaturi adecvate;
- pulverizarea catodică;
- depunerea electrochimică din soluții de electroliți;
- descompunerea pe suporturi solizi a unor compuși metaloorganici sau metaloanorganici;
- restabilirea chimică a metalelor din soluții de săruri (pe cale termică);
- restabilirea metalelor din săruri prin bombardament ionic;
- epitaxia cu fascicule de ioni etc.

2. Metodica cercetării experimentale

Cercetările experimentale s-au efectuat în condiții normale, în aer, la temperatura camerei. Pentru efectuarea cercetărilor experimentale privind prelucrarea suprafețelor semiconductoare cu aplicarea plasmăi a fost utilizată o instalație specială, schema electrică a căreia este prezentată în figura 1.

Instalația este alcătuită din următoarele părți principale: generatorul de impulsuri de tipul RC (1); blocul de amorsare (2) și blocul de comandă (3). Blocul de comandă permite reglarea fină a frecvenței de descărcare în limitele 1...300 Hz. Dacă ne referim la această schemă, se observă că blocul de comandă este destinat nu numai pentru variația frecvenței de descărcare, dar permite și efectuarea sincronizării impulsurilor de amorsare cu impulsurile de putere.

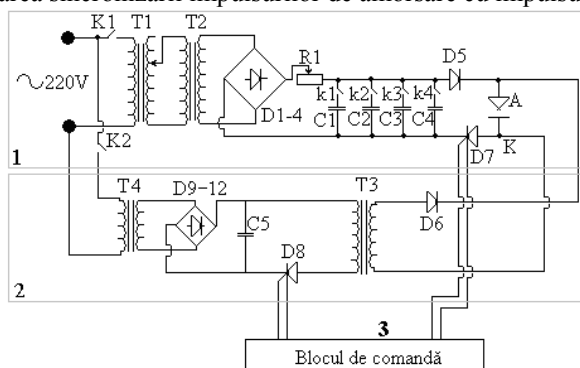


Fig. 1. Schema electrică principală a instalației [1]:
(1 – generator de impulsuri de putere; 2 – blocul de amorsare);

Într-un șir de surse bibliografice [2, 3, 4], a fost menționat că mărirea interstițiului influențează esențial calitatea suprafeței obținute în urma prelucrării cu aplicarea plasmăi. În afară de aceasta, poziția electrozilor de bază în raport cu piesa de prelucrat tot trebuie să fie selectată în limitele largi. Acest lucru este necesar cu scopul modificării ariei zonei de atac.

Vederea generală a dispozitivului mecanic utilizat la prelucrarea suprafețelor semiconductoare este prezentată în figura 2.

Anterior, a fost menționat că suprafața anodului în procesul plasmăi suferă o încălzire mai puternică în comparație cu suprafața catodului, din motivul că acestuia îi revine o mai mare parte de energie. Reieșind din aceste considerente, pe parcursul cercetărilor experimentale piesa de prelucrat se conecta în circuitul de descărcare în calitate de catod.

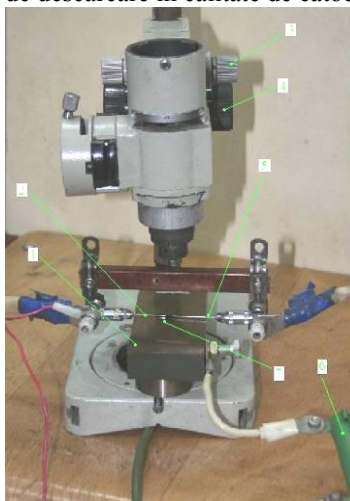


Fig. 2. Vederea generală a dispozitivului mecanic utilizat la prelucrarea suprafețelor semiconductoare:
(1 – placa conductoare; 2, 5 – electrozii de bază; 3 – mîner de reglare fină a interstițiului; 4 – mîner de reglare brută a interstițiului; 6 – rezistența activă; 7 – plăcuța semiconductoare).

În cazul prelucrării materialelor semiconductoare, dimensiunea zonei de atac depinde de proprietățile termoelectrice ale materialului supus prelucrării. Aplicarea impulsurilor de amorsare și a celor de putere conduce la străpungerea electrică a semiconductorului, acesta pierzându-și proprietățile de semiconductor, din care motiv a fost utilizată o nouă schemă tehnologică elaborată de autorii lucrărilor [5].

Vederea generală a acestei scheme tehnologice se prezintă în figura 3.

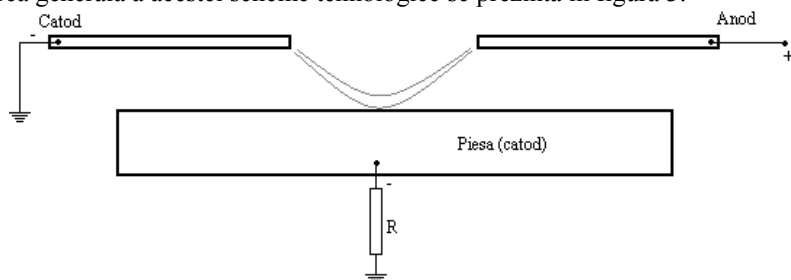


Fig. 3. Schema tehnologică de prelucrare a suprafețelor probelor executate din materiale semiconductoare

După cum se observă din această schemă, descărcarea electrică în impuls apare între electrozii de bază (anod și catod) și nemijlocit piesa de prelucrat confecționată din material semiconductor, care la rândul său tot se conectează în circuitul de descărcare în calitate de catod numai prin intermediul unei rezistențe active R , ceea ce permite a evita străpungerea ei. În acest caz, canalul de plasmă ce apare în rezultatul descărcării electrice între electrozii de bază, datorită conectării piesei de prelucrat în calitate de catod prin intermediul rezistenței active R , contactează parțial cu suprafața probei, modificând proprietățile acesteia.

Este necesar de menționat că cu scopul localizării precise a descărcării electrice în impuls între electrozii de bază capetele active ale acestora prealabil se ascuțeau [6]. În calitate de electrozi de bază în procesul de prelucrare se utilizau electrozi confecționați din oțel slab aliat și wolfram (W), iar în calitate de material semiconductor plăcuțe de siliciu (Si).

Suprafețele semiconductoare prelucrate cu aplicarea plasmei se cercetau cu ajutorul microscopului MBS-9, XJM600T și microscopului electronic. Este necesar de menționat că utilizarea schemei prezentate în figura 3 permite a obține pe suprafețele semiconductoare pelicule subțiri de oxizi fără deteriorarea acestora. În procesul cercetărilor experimentale, mărimea interstițiului nemijlocit între electrozii de bază constituia $S_{e,b} = 2\text{mm}$, iar între electrozii de bază și piesă $S_{e,p} = 1,5\text{mm}$.

3. Rezultatele cercetărilor experimentale și analiza lor

În rezultatul prelucrării semiconductorului cu aplicarea plasmei conform schemei prezentate în figura 3, pe suprafața acestuia se formează o peliculă subțire de oxid. Apariția peliculei subțire de oxid se explică prin existența petei de contact între canalul de plasmă și suprafața prelucrată [7]. În afară de aceasta, plasma ce se formează în interstițiu conține ionii pozitivi de oxigen, care sub acțiunea forțelor electrodinamice se deplasează la suprafața piesei prelucrate. Datorită acestui fapt, are loc activarea suprafeței semiconductorului ce duce nemijlocit la oxidarea acesteia și difuzia elementelor mediului înconjurător în adâncimea piesei.

În figurile 4, 5 și 6 este prezentată morfologia suprafețelor probelor semiconductoare oxidate în urma aplicării plasmei. În general, în procesul prelucrării materialului de siliciu, pot apărea două tipuri de oxizi: monoxidul de siliciu (SiO) și dioxidul de siliciu (SiO_2). Monoxidul de siliciu reprezintă o îmbinare nestabilă care în mediul înconjurător lent se oxidează până la SiO_2 . Reprezintă un strat de culoare cafenie întunecată cu proprietăți dielectrice și mecanice sporite. De obicei, monoxidul de siliciu în stare solidă nu se dizolvă în acizi. În prezent, prin diferite procedee pot fi obținute pelicule subțiri de monoxid de siliciu posedând proprietăți de izolare, protecție, pasivare, optice în dispozitive semiconductoare etc. Dioxidul de siliciu pe larg este răspândit în natură. Reprezintă o substanță extrem de dură și rezistentă la temperaturi înalte. Se caracterizează prin proprietăți dielectrice și de ecranare în procesele de impurificare controlată (maskare). Stratul de dioxid de siliciu (SiO_2) se comportă ca o barieră la pătrunderea impurităților în substratul de siliciu (Si).

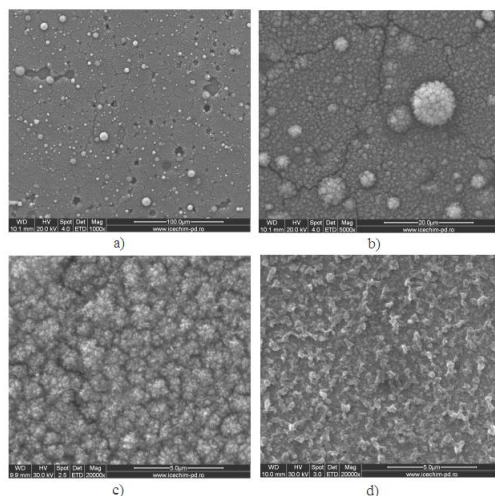


Fig. 4. Morfologia suprafeței probei semiconductoare după oxidarea superficială cu aplicarea plasmiei: (Materialul electrozilor de bază – oțel cu conținut mic de carbon; $S_{e,p} = 1,5\text{mm}$; $S_{e,b} = 2\text{mm}$; $U = 100\text{V}$; $C = 100\mu\text{F}$).

Morfologia peliculelor de oxizi, obținute în urma prelucrării suprafețelor semiconductoare cu aplicarea plasmiei, în mare măsură depinde de materialul electrozilor de bază. Dacă comparăm suprafețele obținute în urma prelucrării, putem afirma că în cazul electrozilor de bază confecționați din oțel, morfologia peliculei de oxid este mai pronunțată și neuniformă (fig. 4, a – d).

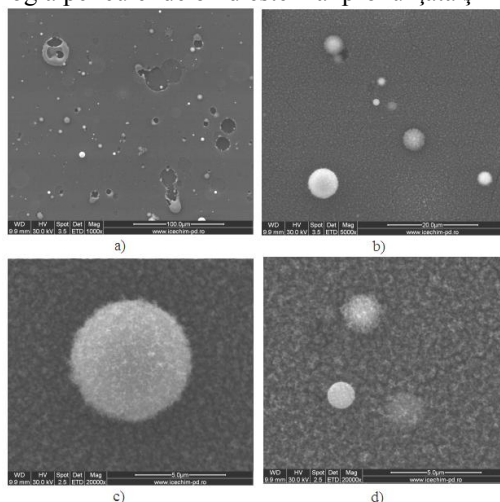


Fig. 5. Morfologia suprafeței probei semiconductoare după oxidarea superficială cu aplicarea plasmiei: (Materialul electrozilor de bază – W; $S_{e,p} = 1,5\text{mm}$; $S_{e,b} = 2\text{mm}$; $U = 120\text{V}$; $C = 100\mu\text{F}$).

Utilizarea electrozilor de bază confecționați din wolfram (W) permite de a obține pelicule de oxizi cu morfologia mai fină și mai uniformă (fig. 5, 6, a - d).

Din analiza morfologiei suprafețelor semiconductoare obținute în urma prelucrării cu aplicarea plasmiei, se observă că concomitent cu formarea peliculelor subțiri, este posibilă și formarea clusterelor. Sub noțiunea „cluster” se înțelege un grup de atomi, molecule sau ioni, ce se află la distanțe mici unul de altul și între care există forțe de legătură puternice. După esență, nu există o diferență calitativă între clusteri mici și molecule, cu excepția că cluster are posibilități de creștere pe calea adăugării atomilor noi.

După gradul măririi sistemului de clusteri, aceasta evidențiază proprietăți noi ce diferă de proprietățile atât ale moleculelor separate, cât și ale materialului de bază. În natură există mai multe tipuri de clusteri: clusteri metalice; fulerene; clusteri moleculare; clusteri semiconductoare etc.

În general, clusteri pot exista în orice stare a materiei: stare solidă, lichidă, gazoasă sau în stare de plasmă. După cum se observă din fig. 4 – 6, numărul de clusteri și dimensiunile acestora

ra depind de materialul electrozilor de bază și regimuri energetice de prelucrare. În cazul electrozilor de bază confecționați din oțel, pe suprafețele oxidate este prezent un număr foarte mare de clustere, dimensiunile cărora variază în limitele largi. Utilizarea electrozilor de bază, confecționați din wolfram, permite de a micșora numărul de clustere și dimensiunile acestora ce apar în urma prelucrării suprafețelor semiconductoare (fig. 6, a - d).

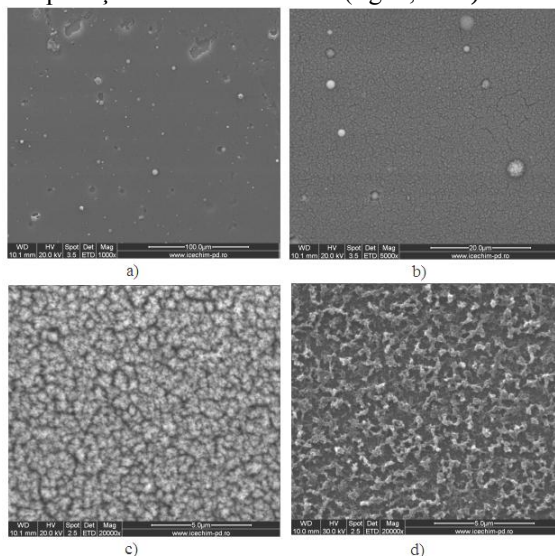


Fig. 6. Morfologia suprafeței probei semiconductoare după oxidarea superficială cu aplicarea plasmei: (Materialul electrozilor de bază – W; $S_{e,p} = 1,5\text{mm}$; $S_{e,b} = 2\text{mm}$; $U = 100\text{V}$; $C = 100\mu\text{F}$).

Efectuînd analiza rezultatelor experimentale, se observă că în afară de pelicule de mono-oxid de siliciu SiO și dioxid de siliciu SiO_2 , pe suprafețele semiconductoare pot apărea clustere metalice, semiconductoare și combinate care conțin atomii ambelor materiale. Posibil că formarea clusterelor în urma prelucrării cu aplicarea descărcărilor electrice are loc datorită ionizării interstițiului dintre electrozi (emisii ionice) și condensării vaporilor de materiale utilizate.

4. Concluzii

- apariția peliculei subțire de oxid se datorește existenței petei de contact între canalul de plasmă și suprafața prelucrată;
- concomitent cu formarea peliculelor subțiri de oxizi de siliciu, pe suprafețele semiconductoare în procesul prelucrării, în dependență de regimuri energetice și natura materialului electrozilor de bază pot apărea și clustere care reprezintă un grup de atomi, molecule sau ioni aflate în strînsă legătură între ele;
- clustere obținute pot fi formate din atomii unui singur material sau a mai multor materiale utilizate în procesul de prelucrare.

Bibliografie:

7. РУЧАК, Владислав, ГУЗГАН, Дорин, *Влияние магнитного поля на формирование конусов Тэйлора в процессе электроимпульсной обработки материалов, Машиностроение и техника XXI века*, Том 3, Донецк, 2010, с. 67-72.
8. TOPALĂ, Pavel, *The energy distribution in the gap at the gap technological applying of the electrical discharges in impulses*, Iași, Editura PIM, Nonconventional technologies review, 2007, Nr. 1, p. 129-132.
9. TOPALA, Pavel; STOICEV, Petru, *Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls*, Chișinău, Tehnica Info, 2008, 265 p.
10. САФРОНОВ, И. И.; ТОПАЛА, П. А.; ГОРБУНОВ, А. С., *Электроэрозионные процессы на электродах и микроструктурно-фазовый состав легированного слоя*, Chișinău, Tehnica-Info, 2009, 393 p.
11. TOPALĂ, Pavel, *Electrical charge as measure for removed metal mass the electrical discharge machining*, Iași, Editura PIM, Nonconventional technologies review, 2007, Nr. 4, p. 103-108.
12. HIRBU, Arefa; TOPALA, Pavel; CANTER, Valeriu; OJEGOV, Alexandr, *Multi-canal electrode for plasma formation by electrical discharges in impulse with auto-ionization*. The 18-th International

salon of research, innovation and technological transfer „Inventica 2014”, 2-4 July 2014, Iasi, Editura Performantica, 2014, p. 553-554.

13. TOPALA, Pavel; TIGHINEANU, Ion; STOICEV, Petru; OJEGOV, Alexandr; HIRBU, Arefa, *Metod of formation nano-metric oxide and hydro-oxide strata in amorphous state*. The 18-th International salon of research, innovation and technological transfer „Inventica 2014”, 2-4 July 2014, Iași, Editura Performantica, 2014, p. 556-557.

14. *Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития* // Под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса и П.Аливисатоса: Пер. с англ. Москва, Мир, 2002, 292 с.