

**ACADEMIA DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI
INSTITUTUL DE INGINERIE ELECTRONICĂ ȘI NANOTEHNOLOGII
„D. GHIȚU”**

Cu titlu de manuscris

CZU 533.9

HÎRBU AREFA

**PROCESE DE EXCITARE ȘI RELAXARE A MOLECULELOR ÎN MEDII
GAZOASE**

133.01 – PROCESE FIZICE ÎN GAZE ȘI ÎN PLASMĂ

Autoreferatul tezei de doctor în științe fizice

CHIȘINĂU, 2016

Teza a fost elaborată în cadrul Institutului de Inginerie Electronică și Nanotehnologii „D. Ghițu” al Academiei de Științe a Moldovei

Conducător științific:

CANȚER Valeriu, acad., prof. univ., dr. hab. în științe fizico-matematice, specialitatea 01.04.10 – Fizica semiconductorilor și dielectricilor

Consultant științific:

TOPALĂ Pavel, prof. univ., dr. hab. în tehnică, specialitatea 242.05 – Tehnologii, procedee și utilaje de prelucrare

Referenți oficiali:

LUCA Dumitru, prof. univ., dr. ing., Universitatea „A.I. Cuza”, Iași, România

POTLOG Tamara, conf., dr., Universitatea de Stat a Moldovei

Componența Consiliului Științific Specializat (Hotărârea CNAA nr. AT-3/1 din 03.06.2016):

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. DOROGAN Valerian , prof. univ., dr. hab., UTM | - <i>președinte al CȘS</i> |
| 2. GHERMAN Corneliu , dr., IFA | - <i>secretar științific al CȘS</i> |
| 3. POPA Gheorghe , prof. univ., dr. ing., UAIC, România | - <i>membru al CȘS</i> |
| 4. NICOLAEVA Albina , prof. cerc., dr. hab., IEEN „D. Ghițu” | - <i>membru al CȘS</i> |
| 5. CARAMAN Mihai , prof. univ., dr. hab., USM | - <i>membru al CȘS</i> |
| 6. PLOHOTNIUC Eugen , conf. univ., dr., USARB | - <i>membru al CȘS</i> |

Susținerea va avea loc la **09.12.2016, ora 15⁰⁰** în ședința Consiliului Științific Specializat **D 24.133.01-01 „Procese fizice în gaze și în plasmă”** din cadrul Institutului de Inginerie Electronică și Nanotehnologii „D. Ghițu” al Academiei de Științe a Moldovei, MD 2028, Republica Moldova, Chișinău, str. Academiei 3/3.

Teza de doctor, lucrările științifice în baza cărora se susține teza și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Academiei de Științe a Moldovei și pe pagina web a C.N.A.A. (www.cnaa.md)

Autoreferatul a fost expediat la 10.06.2016

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat,
dr. în științe fizico-matematice

_____ **GHERMAN Corneliu**

Conducător științific:

acad., prof. univ., dr. hab. în științe fizico-matematice

_____ **CANȚER Valeriu**

Consultant științific:

prof. univ., dr. hab. în tehnică

_____ **TOPALA Pavel**

Autor:

_____ **HÎRBU Arefa**

(© Hîrbu Arefa, 2016)

Repere conceptuale ale cercetării

Actualitatea temei. Actualitatea temei de investigație și gradul de studiere a acesteia sunt argumentate de următoarele:

- generalizarea și argumentarea cercetărilor teoretico-experimentale a proceselor fizice de excitare și relaxare a mediilor gazoase;
- sistematizarea cunoștințelor privind obținerea plasmei descărcărilor electrice în impuls;
- dezvoltarea de noi cunoștințe prin concretizarea și elaborarea bazelor teoretice, privind procesele de interacțiune a canalului de plasmă al descărcărilor electrice în impuls cu corpuri solide;
- aplicațiile plasmei descărcărilor electrice în impuls la construcția noilor tipuri de generatoare cuantice și la excitarea multifotonică a substanțelor transparente.

Noutatea științifică a rezultatelor obținute constă în elaborarea electrozilor de construcție specială, utilizați în generatorul de impulsuri pentru obținerea plasmei fără dispozitive auxiliare de ionizare preventivă a mediului gazos cercetat; utilizarea plasmei la excitarea multifotonică a moleculelor de sticlă optică și apariția radiației secundare în ea; cercetarea interacțiunii plasmei cu suprafețele metalice în vederea obținerii micro- și nano-structurilor.

Semnificația teoretică constă în analiza bazelor teoretice privind procesele fizice de excitare și relaxare a mediilor gazoase și a corpurilor solide.

Valoarea aplicativă a lucrării este asigurată de obținerea plasmei în condițiile de laborator care evită utilizarea unor dispozitive auxiliare de ionizare preventivă a mediului activ, ceea ce nu cere sincronizarea dintre descărcarea de bază și momentul când ionizarea interstițiului este maximală. În rezultatul interacțiunii plasmei căpătate cu suprafața diferitor materiale se obțin structurile de ordin nanometric, iar însăși plasma poate fi aplicată la construcția generatoarelor cuantice în mediile gazoase neagresive, precum și în scopul sterilizării obiectelor din medicină.

Implementarea rezultatelor științifice: în baza rezultatelor din teza de doctor au fost eliberate 2 brevete de invenție și depuse 2 cereri privind procedeul și dispozitivele de obținere a plasmei în condiții de laborator. Rezultatele teoretice și experimentale obținute au fost aplicate în pregătirea specialiștilor prin studii superioare de licență la Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, specialitatea „Fizica tehnologică”, Extensiunea Universității „A.I. Cuza”, Iași, România, la promovarea cursului „Fizica plasmei”.

Problema științifică importantă pusă spre rezolvare constă în fundamentarea științifică a proceselor fizice de excitare și relaxare a moleculelor mediilor gazoase în vederea obținerii plasmei și interacțiunii ei cu substanță (sticle optice colorate și suprafețe metalice).

Contribuțiile lucrării. Teza este consacrată cercetărilor teoretico-experimentale privind procesele fizice de excitare și relaxare a moleculelor în medii gazoase. Baza teoretică a tezei este argumentată de analiza stadiului actual privind metode de excitare și relaxare a mediilor gazoase și a corpurilor solide; cercetarea posibilităților de obținere a plasmei în condițiile de laborator care evită utilizarea unor dispozitive auxiliare de ionizare preventivă a mediului activ, ceea ce nu cere sincronizarea dintre descărcarea de bază și momentul când ionizarea interstițiului este maximală.

Contribuții teoretice:

- studiul stadiului actual privind aplicarea plasmei descărcărilor electrice în impuls la excitarea nivelelor energetice oscilatorii ale moleculelor;
- descrierea tabloului general al dezvoltării străpungerii și generării avalanșelor la descărcarea electrică în impuls;
- analiza considerațiilor teoretice privind obținerea plasmei în medii gazoase;
- aprecierea fenomenelor de difuzie la descărcarea luminescentă.

Contribuții practice:

- elaborarea instalațiilor experimentale pentru obținerea plasmei descărcărilor electrice în impuls în condiții de laborator și pentru determinarea constantei de timp de relaxare VT a moleculelor de H₂;
- elaborarea electrozilor de construcție specială care permit formarea plasmei descărcărilor electrice în impuls fără ionizarea preventivă a mediului activ;
- excitarea multifotonică a moleculelor de SiO₂ și căpătarea radiațiilor secundare;
- modificarea microstructurii suprafețelor metalice și formarea nanostructurilor (asperități în forma conurilor Taylor, pelicule de oxizi, diferite clustere) la interacțiunea plasmei cu ele;
- implementarea rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale în promovarea cursurilor universitare.

În calitate de **obiect al cercetărilor** au servit procesele fizice ce au loc în mediile moleculare gazoase la excitarea și relaxarea lor, sticle optice, suprafețe metalice.

Scopul și obiectivele tezei. Scopul tezei a fost interpretarea și prezentarea rezultatelor obținute în cercetarea teoretică și experimentală a proceselor fizice de excitare și relaxare a mediilor gazoase în vederea obținerii plasmei, respectiv analiza interacțiunii ei cu substanță. Pentru realizarea scopului tezei au fost focalizate următoarele obiective majore: i) prezentarea stadiului actual privind cercetările în domeniul proceselor fizice de excitare și relaxare a particulelor care compun mediile gazoase; ii) prezentarea unor considerații teoretice și experimentale a condițiilor de obținere a plasmei în condiții de laborator; iii) proiectarea și realizarea instalației experimentale pentru obținerea plasmei în condiții de laborator; iv) prezentarea unui model matematic referitor la cercetarea proceselor fizice în medii gazoase și a interacțiunii plasmei cu substanță; v) prezentarea rezultatelor experimentale obținute în studiul interacțiunii plasmei produse în dispozitivul realizat în cadrul tezei, cu corpuri solide.

Publicații la tema tezei. Rezultatele obținute și prezentate în teza de doctorat au fost publicate în 44 de lucrări științifice, inclusiv: 4 fără coautori, 3 articole în reviste din străinătate recunoscute, 3 articole în reviste din Registrul Național al revistelor de profil (Categoría C – 1 articol, Categoría A – 2 articole), 1 articol în reviste aflate în proces de acreditare, 3 articole în culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale, 13 teze ale comunicărilor la conferințe internaționale, 2 brevete de invenții, 3 cereri de brevet de invenție, 16 materiale la saloane de invenții.

Volumul și structura tezei. Lucrarea este compusă din introducere, cinci capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 122 titluri, 123 pagini (pînă la bibliografie), 166 formule, 47 figuri, 3 tabele.

Cuvinte-cheie: descărcări electrice în impuls, plasmă, excitare, relaxare, mediu gazos, sticlă optică, suprafețe metalice.

Conținutul tezei

Introducerea conține aspecte ce țin de actualitatea și importanța temei de cercetare, alegerea obiectului cercetării, formularea scopului și obiectivelor tezei de doctorat.

În introducere se evidențiază problema importantă pusă spre rezolvare – analiza proceselor fizice de excitare și relaxare a mediilor gazoase în vederea obținerii plasmei fără ionizarea preventivă. Cel mai important aport al electronicii cuantice în spectroscopie îl prezintă studiul stărilor excitate oscilator ale moleculelor poliatomiche. Excitarea poliatomică s-a transformat într-o metodă eficientă de cercetare a nivelelor de populare înaltă a moleculelor. Descrierea calitativă a excitărilor poliatomiche a cerut un studiu al spectrelor de tranziție oscilatorie a moleculelor cu populare înaltă energetică care a dus la apariția unei direcții noi și anume spectroscopia moleculelor. În prezent există atât cantitativ, cât și calitativ baza proceselor fotofizice și celor fotochimice care au loc în moleculele poliatomiche aflate într-un câmp electric și interacțiunea lor la rezonanță. Așa procese prezintă, în primul rând, o interacțiune neliniară a modei de rezonanță cu radiație infraroșie și, în al doilea rând, interacțiunea dintre modelele oscilatorii între ele datorită anarmonismului. Ambele aceste procese sînt legate între ele și stau la baza caracteristicii moleculei poliatomiche în câmpul electromagnetic.

Capitolul I sintetizează stadiul actual al cercetărilor teoretice și experimentale privind obținerea și aplicarea plasmei a descărcărilor electrice în impuls. În acest capitol au fost analizate la nivel național și internațional: limitele de existență a descărcărilor Townsend și mecanismul străpungerii sub formă de strimer; tabloul general al dezvoltării străpungerii; stadiul generării avalanșelor; străpungerea interstițiului la tensiuni ce depășesc valoarea statică; efectul accelerării continue; formarea străpungerii; metode de excitare a nivelelor energetice oscilatorii; ionizarea gazului în câmpul electric. Cea mai simplă metodă de creare a plasmei la temperaturi joase o reprezintă descărcările în gaze sub forma de impulsuri, variind presiunea și componentele mediului gazos, dimensiunile electrozilor și distanța dintre ei.

Procesul de ionizare în plasma descărcărilor electrice este însoțită de trecerea curentului prin mediul activ gazos și poartă un caracter de avalanșă cu efect ionizator. Din aceasta rezultă, că apariția electronilor liberi în interstițiu este cauzată și de faptul, că pe parcursul liber a electronilor accelerați de câmpul electric, ei acumulează o energie suficientă pentru ionizarea particulelor neutre de gaz, ceea ce produce multiplicarea în avalanșă a electronilor și a ionilor capabili de a menține un curent staționar în interstițiu.

Fie că într-un strat de plasmă de grosime Δx se crează un volum de sarcină de aceeași densitate q , în acest caz în conformitate cu legile electrostaticii pe această lungime ia naștere un câmp electric $E=4\pi q\Delta x$. Dacă într-un volum de 1 cm^3 sunt Δn_e electroni, mai mulți ca număr, decît cei ce neutralizează sarcina ionilor, atunci densitatea volumetrică a sarcinii va fi: $q=e\Delta n_e$, în care $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ este sarcina electronului.

Câmpul electric ce ia naștere ca rezultat al seprării sarcinii este egal $E=1,8 \cdot 10^{-6} \Delta x \text{ V/cm}$. Pentru aer, la suprafața Pămîntului se conțin $n=2,7 \cdot 10^{19} \text{ molecule/cm}^3$. Presupunem că în rezultatul ionizării toate moleculele au devenit ionizate și atunci concentrația electronilor din plasmă va fi $n_e=2,7 \cdot 10^{19} \text{ electroni/cm}^3$. Dacă presupunem că pe lungimea interstițiului de 1 cm concentrarea electronilor a variat cu 1%, densitatea de sarcină va constitui $\Delta n_e=2,7 \cdot 10^{19} \text{ electroni/cm}^3$, iar aceasta va da naștere unui câmp electric de intensitate $E \approx 10^{12} \text{ V/cm}$.

Pentru crearea unui câmp electric atât de puternic ar fi necesară o energie foarte mare, din care motiv putem afirma că crearea plasmă de densitate mare are loc la distanțe foarte mici.

Dimensiunile spațiale de separare a sarcinii pot fi apreciate cu lucru ce trebuie efectuat pentru separarea sarcinii la distanța d , care se efectuează de forțele ce apar pe distanța x din partea câmpului electric de intensitate $E=4\pi n_e e x$. Ținând cont de faptul că $F=eE$, acest lucru poate fi calculat cu relația:

$$A = \int_0^d e E dx = 2\pi n_e e^2 d^2 \quad (1)$$

Lucrul respectiv nu poate să depășească energia cinetică a mișcării termice a particulelor din plasmă și pentru cazul unidimensional de mișcare a particulelor aceasta va fi egală cu:

$$\overline{W_c} = \frac{1}{2} kT \quad (2)$$

în care: k – constanta lui Boltzman, T – temperatura absolută, deci $A \leq \frac{1}{2} kT$.

Din această relație se poate de apreciat dimensiunea maximală de separare a sarcinii:

$$d = \left(\frac{\varepsilon_0 kT}{n_e e^2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Această mărime și poartă denumirea de lungime Debye. Pentru plasma de aer în condiții normale $n_e=2,7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $T=273 \text{ }^\circ\text{K}$, $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/k}$, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$:

$$d = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ cm.} \quad (3^*)$$

Lungimea d (sau raza Debye $r_0 = \frac{d}{\sqrt{2}}$) reprezintă o caracteristică de bază a plasmă,

în particular, câmpul electric creat de fiecare particulă încărcată din plasmă este ecranată de câmpul generat de către particula cu sarcină de semn opus. Pe de altă parte, mărimea d determină adâncimea de pătrundere a câmpului electric exterior în plasmă. În condiții normale orice volum de gaz conține un anumit număr de electroni și ioni. În aer la presiune atmosferică normală se conțin în mediu ~ 1000 de ioni pozitivi și negativi care iau nașterea ca rezultat al interacțiunii mediului cu radiația ultravioletă și alte tipuri de radiație, inclusiv cosmică. Datorită acestor condiții de pe suprafața electrozilor sînt zmulși un anumit număr de electroni. Viteza de ionizare a gazului și a emisiei electronilor de pe electrozi poate fi sporită, în condiții de laborator, prin aplicarea suplimentară a unor surse de radiație. La aplicarea asupra interstițiului a unei diferențe de potențial prin mediul gazos prin acesta va trece un curent densitatea căruia j este proporțională cu intensitatea câmpului electric aplicat E . Pentru intensități ai câmpului electric cuprinse în limitele $\sim 10 \div 20 \text{ V/cm}$ densitatea curentului în interstițiu va constitui $j \approx 10^{-9} \text{ A/cm}^2$. Pentru aceste condiții mediul gazos se află în echilibru, deci are loc apariția și recombinarea particulelor încărcate (mobilitățile electronilor și ionilor sînt aproximativ egale). Odată cu creșterea

intensității câmpului electric E și densității de curent j echilibru se încălcă, ceea ce duce la creșterea coeficientului de recombinare și micșorarea numărului de particule încărcate, și, ca rezultat, condiționează sporirea rezistenței active a interstițiului și micșorarea curentului. În acest caz densitatea curentului pe suprafețele electrozilor va fi:

$$j = S \cdot e \cdot \frac{dn}{dt}, \quad (4)$$

unde S este distanța dintre electrozi; e – sarcina electronului; $\frac{dn}{dt}$ – viteza totală de generare a particulelor încărcate într-o unitate de volum.

Prin urmare, densitatea curentului nu este funcție de intensitatea câmpului electric și nici de mobilitatea particulelor încărcate și în acest caz situația creată conduce la apariția fenomenului de densitate de saturație a curentului.

Dacă, după atingerea valorii de densitate de saturație a curentului, diferența de potențial dintre electrozi va continua să crească, atunci va apărea un moment când curentul din nou va crește. Caracterul creșterii curentului va depinde de presiunea gazului. Odată cu creșterea intensității câmpului electric E electronii din apropierea catodului se accelerează mai puternic și energia pe care ei o capătă depășește energia de ionizare, ceea ce dă naștere la un număr mai mare de electroni și, respectiv, curentul va crește din nou. Pentru a explica creșterea curentului Townsend a introdus mărimea α , numită primul coeficient de ionizare, ce determină numărul de ciocniri cu efect de ionizare la un cm de drum în direcția liniilor de forță a câmpului electric.

Numărul de electroni ce străbat suprafața situată în nemijlocită apropiere de suprafața catodului la distanța dx după direcția liniilor de forță a câmpului electric va fi:

$$dn = \alpha \cdot n \cdot dx. \quad (5)$$

Integrând după x relația ținând cont de faptul, că distanța de la catod pînă la suprafața elementară ce se află la distanța dx vom obține:

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = \int_0^x \alpha \cdot dx. \quad (5^*)$$

Dacă α nu depinde de x , vom obține:

$$n = n_0 \exp(\alpha \cdot x),$$

unde n_0 este numărul de electroni ce părăsesc catodul într-o secundă.

Ținând cont de faptul că, distanța dintre electrozi este S , pentru intensitatea curentului vom obține:

$$i = n_0 \cdot e \cdot \exp(\alpha \cdot S) = i_0 \cdot \exp(\alpha \cdot S), \quad (6)$$

unde $i_0 = n_0 \cdot e$ este curentul de natură fotoelectrică în apropierea catodului cauzată de radiația exterioară.

Diferența $i - i_0$ reprezintă curentul cauzat de ionii pozitivi în imediată apropiere de suprafața catodului.

Creșterea dn cauzată de ionizarea de ciocnire cu electronii din intervalul dx (n într-o secundă), cît și a celor de fotoionizare pe același interval dx , va constitui:

$$dn = \alpha \cdot n \cdot dx + n_i \cdot dx.$$

Prin metoda separării variabilelor din relația de mai sus pentru concentrația de electroni vom obține:

$$\int_0^n \frac{dn}{\alpha \cdot n + n_i} = \int_0^x dx;$$

$$\alpha \cdot n + n_i = n_i \exp(\alpha \cdot x);$$

$$n = \frac{n_i}{\alpha} [\exp(\alpha \cdot x) - 1]. \quad (7)$$

Sau pentru curentul:

$$i = \frac{n_i \cdot e}{\alpha} [\exp(\alpha \cdot S) - 1];$$

$$i_0 = \frac{n_i \cdot e}{\alpha};$$

$$i = i_0 [\exp(\alpha \cdot S) - 1]. \quad (7^*)$$

Din ultima relație se observă, că curentul total din interstițiu este funcție de mărimile α și S . Dacă lungimea parcursului liber pînă la ciocnire este λ , atunci energia medie pe care o acumulează electronul între două ciocniri consecutive va fi:

$$W = e \cdot E \cdot \lambda. \quad (8)$$

Însă lungimea parcursului liber este invers proporțională cu presiunea mediului activ:

$$\lambda \sim \frac{1}{p},$$

Coeficientul Townsend α este proporțional cu intensitatea câmpului electric E și presiunea gazului p și poate fi exprimat cu funcția:

$$\alpha = p \cdot f(e \cdot E \cdot \lambda),$$

Sau

$$\alpha = p \cdot F\left(\frac{e \cdot E}{p}\right),$$

unde F este o funcție de același tip ca și f . Deoarece e este o constantă, atunci în conformitate cu relațiile autorilor [31] vom obține:

$$\frac{\alpha}{p} = \varphi\left(\frac{E}{p}\right). \quad (9)$$

O atenție deosebită în acest capitol o prezintă metodele de excitare a moleculelor poliatomice (fig. 1) [1].

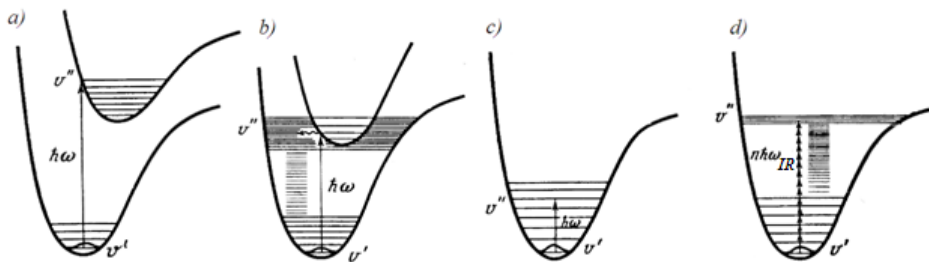


Fig. 1. Metode de excitare a moleculelor poliatomice pentru nivelele superioare ale stărilor oscilatorii: a – excitarea stării electronice cu surplus de energie oscilatorie; b – conversia internă de energie a excitării electronice în energia oscilatorie; c – excitarea obertonilor superiori de oscilație; d – excitarea polifonică a nivelelor oscilatorii cu radiație infraroșie [1]

Dacă energia de excitare a stărilor oscilator-electronică a moleculei poliatomice este mai mică decât energia de disociere a moleculei în stare electronică de bază, atunci excitând-o cu raze ultraviolete sau infraroșii, molecula, datorită legăturilor neadiabatice a mișcărilor electronice sau oscilatorii, relaxează pe nivele oscilatorii înalte ale stării electronice de bază cu una și aceeași energie (fig. 1, a, d). În cazul când energia fotonului de excitare nu se află în rezonanță cu oscilațiile proprii ale moleculei poate avea loc conversie internă (fig. 1, b) sau excitarea obertonilor superiori de oscilație (fig. 1, c) [1].

Pentru apariția radiației secundare se aplică excitarea nivelelor oscilatorii înalte a moleculelor poliatomice cu radiații ultraviolete, lungimea de undă a căreia coincide cu banda fundamentală de absorbție. Acest caz corespunde relaxării electronice directe (fig. 2, a) [1].

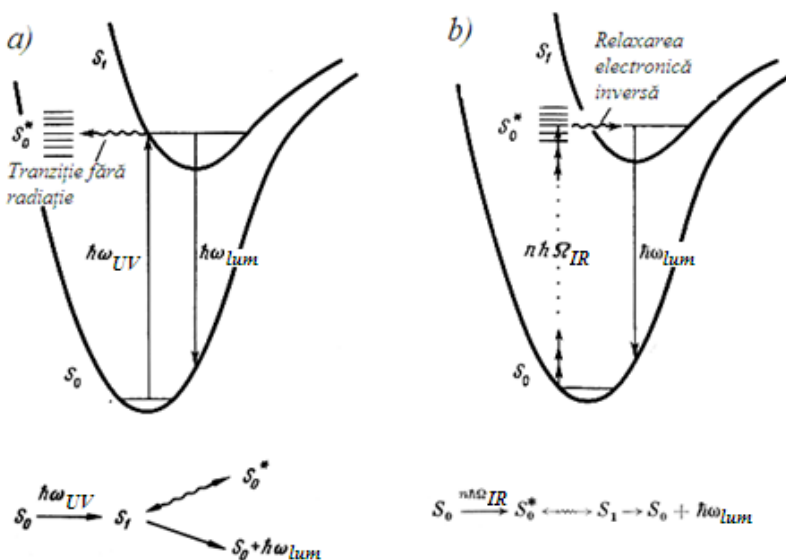


Fig. 2. Relaxarea electronică directă (a) și inversă (b) [1]

O altă metodă este cea a excitării multifotonice cu raze infraroșii. Aplicînd această metodă este posibilă excitarea nivelelor oscilatorii înalte a stării electronice de bază cu radiație infraroșie. Absorbînd la rezonanță un anumit număr de fotoni infraroșii molecula atinge nivelul excitării electronice, după care are loc relaxarea electronică inversă (fig. 2, b), însoțită de radiație secundară [1].

În capitolul II este prezentată metodică cercetărilor experimentale: elaborarea instalației experimentale pentru determinarea constantei de timp de relaxare a mediilor gazoase; descrierea instalației experimentale de formare a plasmei; construcția și modul de funcționare ale electrodului special pentru obținerea plasmei în condiții de laborator fără ionizarea prezentivă a mediului activ; este elaborată metodică cercetării interacțiunii plasmei cu substanță: cu sticle optice și cu suprafețe metalice; descrierea aparatului matematic aplicat la cercetarea proceselor de excitare și relaxare; perfecționarea instalației experimentale cu scopul mării volumului și omogenității plasmei.

Instalația experimentală pentru determinarea constantei de timp de relaxare a mediilor gazoase. În fig. 3 [2, 3] este prezentată schema instalației experimentale destinată determinării constantei de timp a relaxării energiei oscilatorii. Măsurările relaxării pentru H_2 la presiunea de 8 atm s-au efectuat în felul următor: chiuveta 1 se umplea cu gazul supus cercetării; cu ajutorul lentilei 2 se focaliza radiația laserului 3 care era orientat spre electrozii 4 prin fereastra optică 5. Radiația laser pătrunzînd în chiuvetă 1 iniția străpungerea care iese din ea prin intermediul ferestrei 6 și era colimată cu ajutorul lentilei 7. La electrozii 4 se aplica diferența de potențial de la sursă de tensiune înaltă 8 și în procesul disipării energiei oscilatorii acumulate de moleculele de H_2 la generarea primei componente Stokes la împrăștierea Raman indusă în regiunea focarului avea loc încălzirea gazului. Ca rezultat se micșora densitatea lui și între electrozii 4 apărea descărcarea sub formă de scînteie.

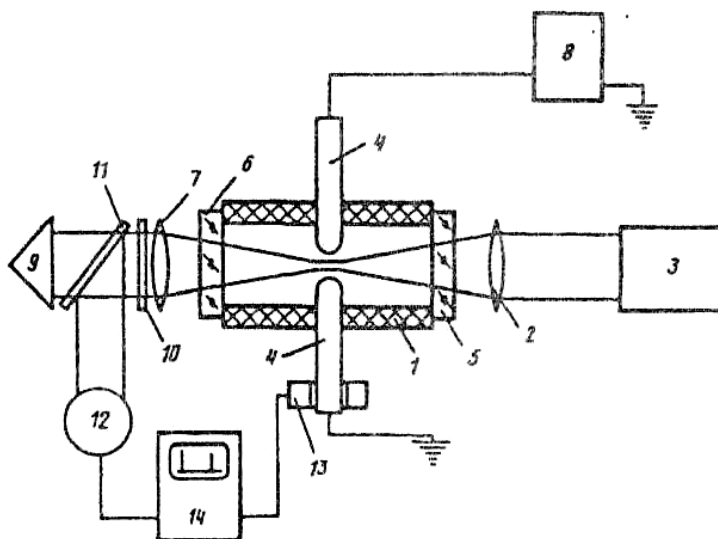


Fig. 3. Instalația experimentală pentru determinarea constantei de timp de relaxare [2, 3]:
 1 – chiuveta cu gaz; 2, 7 – lentile; 3 – laserul cu rubin; 4 – electrozii; 5, 6 – ferestre optice;
 8 – sursa de tensiune înaltă; 9 – calorimetru; 10 – filtru optic; 11 – placa optică plan paralelă; 12 – fotoreceptor; 13 – dispozitivul Rogovskii; 14 – osciloscop

Pentru a măsura energia acumulată de moleculele gazului cu ajutorul calorimetrului 9 era înregistrată energia primei componente Stokes selectată de filtrul optic 10. Cu ajutorul plăcuței plan paralele 11 o parte din radiație (I Stokes) era orientată spre fotoreceptorul 12. Întârzierile de timp între impulsul de pompage și impulsul curentului de descărcare era înregistrat cu ajutorul dispozitivului Rogovskii 13 și se măsura cu ajutorul laserului cu rubin ($\lambda_{\text{rad}}=0,6943 \mu\text{m}$) cu modulare pasivă a factorului de calitate a rezonatorului. Durata impulsului de generare a laserului cu rubin era de 50 ns cu valoarea energiei impulsului de radiație cuprinsă în diapazonul de la 0,2 pînă la 0,8 J. Distanța focală a lentilelor 2 și 7 era de 75 mm. Mărimea interstițiului era egală cu 2,5 mm.

Mărimea tensiunii de străpungere electrică se determina după ce în chiuveta a fost introdus gazul, în baza creșterii lente a tensiunii la electrozi, pînă în momentul cînd are loc străpungerea interstițiului, înregistrată cu ajutorul dispozitivului Rogovskii și osciloscopului. Mărimea tensiunii de străpungere constituia 22 kV la presiunea gazului din chiuvetă de 8 atm.

Instalația experimentală pentru obținerea plasmei, schema căreia este prezentată în fig. 4, constă din următoarele elemente [4-9]: sursa de alimentare de curent continuu care funcționează la tensiune $U=25 \text{ kV}$, eclatorul (Ecl.), bateria de condensatoare (C), rezistența de balast R, electrodul special 1 și contraelectrodul 2.

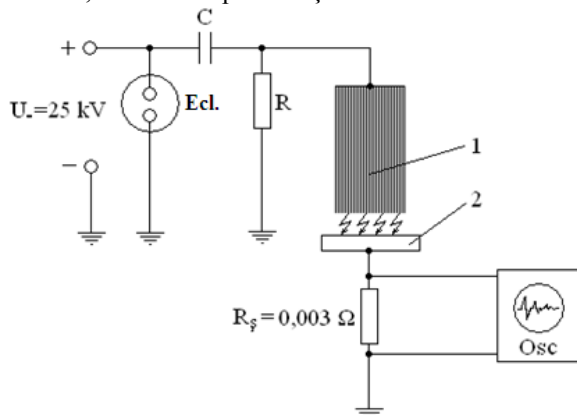


Fig. 4. Schema de principiu a instalației experimentale și măsurării parametrilor impulsurilor descărcărilor [4-9]: Ecl. – eclator, Osc – osciloscop cu memorie, R_s – rezistența de șunt; 1 – electrodul special; 2 – contraelectrod

Interstițiul dintre electrozi este $S=7 \text{ mm}$. Secțiunea transversală a electrodului special avea dimensiunea $17 \times 7 \text{ mm}$, în care erau localizate un număr de cca. 600 fire de cupru de diametrul 0,35 mm izolate între ele. Măsurarea parametrilor impulsurilor de curent (durata, forma și valoarea amplitudinei) [4-9] și vizualizarea lor se efectuează prin intermediul osciloscopului cu memorie Osc (C8-13), conectat paralel la șuntul coaxial cu rezistența activă $R_s=0,003 \Omega$. Parametrii energetici ai descărcărilor electrice în impuls a generatoarelor aplicate la formarea plasmei au fost determinați prin integrarea semnalului înregistrat de osciloscop.

Un element aparte al instalației experimentale îl constituie **electrodul special** format din mai multe fire cu rezistență activă, care cauzează divizarea curentului de descărcare prin totalitatea de canale formate. Aceasta stimulează desfășurarea descărcării

în impuls în mai multe canale simultan, ceea ce conduce la formarea unor densități mari de curent, iar aceasta conduce la sporirea randamentul utilizării energiei de descărcare și omogenizarea palasmei din interstițiu.

În fig. 5 este prezentată construcția de ansamblu și în secțiune a electrodului-multicanal proiectat și elaborat în prezenta lucrare [10-15].

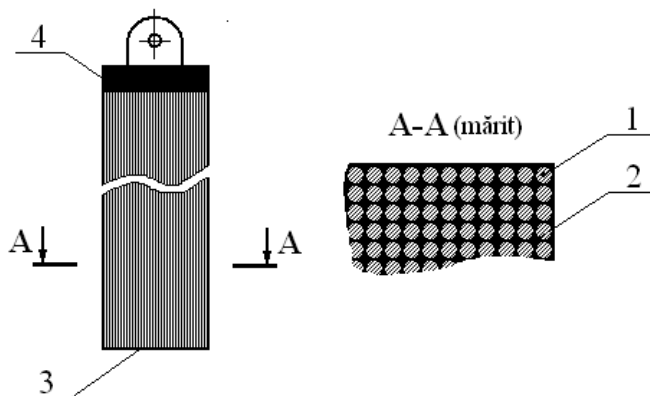


Fig. 5. Structura constructivă a electrodului-multicanal [15]:

- 1 – canale elementare; 2 – izolator; 3 – capul activ al electrodului-multicanal;
4 – borna de conectare

Construcția electrodului-multicanal propus în lucrare include: un sistem de canale de descărcare identice 1 conectate paralel între ele, lungimea cărora este determinată de diametrul lor și este cuprinsă în limitele de $1 \div 1,5$ m), iar diametrele canalului în limitele $0,3 \div 0,5$ mm. Canalele elementare reprezintă fire din cupru tehnic de marca M3 pentru a le asigura acestora rezistența activă de una și aceeași valoare. În scopul evitării străpungerii între canale acestea sunt izolate între ele cu un strat dielectric 2 cu grosimea de cca. 50-100 μm din sticlă de cuarț, iar în scopul asigurării formării unui câmp electric echipotențial la capătul de lucru 3, acesta se execută sub formă de plan format din terminațiile circulare a acestor canale. Capetele opuse (libere) 4 ale acestor canale sînt conectate electric între ele prin lipire cu ultrasunet evitând prezența materialului izolator. Electrocul-multicanal propus funcționează în calitate de catod. La aplicarea unei diferențe de potențial în impuls, electrocul confecționat servește inițial în calitate de „tun electronic”, care sub acțiunea getului de electroni emiși provoacă ionizarea mediului de lucru – aer la presiune normală, iar când atinge valoarea de ionizare maximă a mediului, automat și neîntrerupt în timp, se derulează descărcarea electrică a impulsului de bază și în interstițiul format de anod și catod apare plasma descărcării electrice. Străpungerea dintre canalele acestui electrod este omisă și prin aceea că ele reprezintă suprafețe echipotențiale pe întreaga lungime a electrodului. Dispozitivul propus are terminațiile capătului activ ale electrodului elaborat sub formă de ascuțișuri (dimensiuni mici în raport cu suprafața plană a anodului), iar contra-electrodul prezintă o suprafață plană continuă. Acesta asigură crearea între fiecare canal și această suprafață a unui câmp electric E_1 , de 1,5 ori mai mare în raport cu câmpul E pe care îl creează două suprafețe plane continue și prin acesta se facilitează emisia electronică și amorsarea descărcării electrice în impuls, acesta

funcționând la interstiții 5...7 mm și diferențe de potențial aplicate asupra lui de 25 kV. Fiecare canal conductiv 1, în afară de rezistență activă R , mai posedă și o anumită inductanță L , determinată de diametrul și lungimea lui. Deaceia la suprafața de lucru a lui mai întâi apare diferența de potențial aplicată, apoi prin aceste canale va trece curentul, mărimea căruia este determinată de numărul total de canale și energia rezervată în bateria de condensatoare. Curenții care apar în canalele de descărcare electrică concurează între ei datorită rezistenței active R și inductive a canalului (ωL), iar curentul total la descărcare este egal cu suma lor. S-a demonstrat experimental, că cu un așa electrod-multicanal care funcționează în regim de catod se asigură obținerea unui get de plasmă omogenă și distribuită într-un volum considerabil de ordinul $1\div 3 \text{ cm}^3$ pentru o durată de 0,25 μs . Totodată, durata de funcționare a electrodului-multicanal este practic nelimitată datorită distribuirii uniforme a câmpurilor electrice și de temperaturile de pe suprafața lui activă.

Metodica cercetării interacțiunii plasmei cu substanță. Pentru cercetarea excitării moleculelor în sticle optice instalația experimentală a fost modificată (fig. 6, a) în scopul concentrării energiei luminescente la descărcarea electrică în impuls [16].

Cei doi electrozi între care se capătă plasma descărcărilor electrice în impuls prezintă tuburi metalice coaxiale rotunghiți la capătul liber, în interiorul cărora se află o sîrmă metalică izolată electric cu un tub din cuarț de electrozi (fig. 7). În așa mod construcția prezintă doi condensatori conectați în paralel. Schema echivalentă a generatorului de impulsuri este prezentată în fig. 6, b [16].

Capacitatea bateriei de condensatoare este $C=1/12 \mu\text{F}$, iar rezistența de balast constituie $R=8,2 \text{ M}\Omega$. Tensiunea sursei de alimentare a generatorului este $U=25 \text{ kV}$.

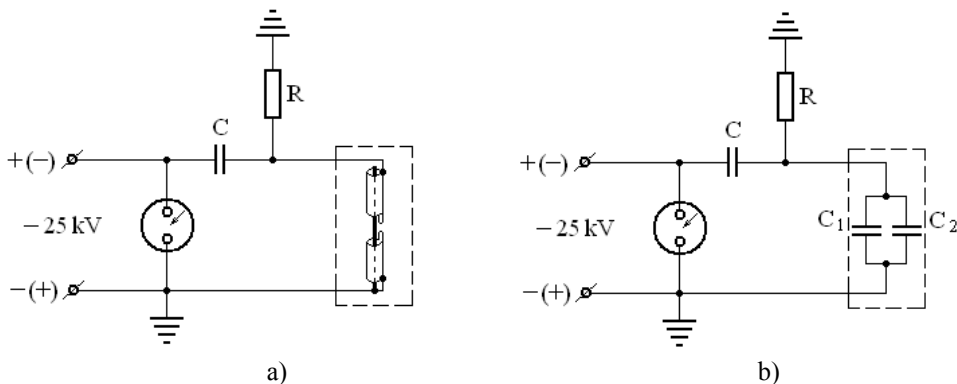


Fig. 6. Schema electrică de principiu (a) și echivalentă (b) a generatorului de impulsuri modificat pentru cercetarea excitării moleculelor în sticle optice [16]

Energia acumulată pe bateria de condensatoare:

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{1/12 \cdot 10^{-6} (25 \cdot 10^3)^2}{2} \approx 26(J)$$

Deoarece schema generatorului de impulsuri este unipolară și luînd în considerație pierderi în circuitul electric energia utilă degajată în interstițiu va fi:

$$W_S \approx 0,25 \cdot W_C = 6,5(J)$$

Capacitatea condensatoarelor din schema echivalentă (dimensiunile conform fig. 7) se calculează cu relațiile:

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_1\epsilon_0 L}{\ln \frac{a}{b}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,75 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 90 \cdot 10^{-3}}{\ln \frac{2}{3,5}} =$$

$$= 33,5 \cdot 10^{-12} (F) = 33,5 (pF)$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_2\epsilon_0 S}{d} = \frac{\epsilon_2\epsilon_0 lh}{d} = \frac{1,00057 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-3}} =$$

$$= 2,4 \cdot 10^{-15} (F) = 2,4 \cdot 10^{-3} (pF)$$

Așa dar, capacitatea totală a celei de descărcare este:

$$C_{1-2} = C_1 + C_2 \approx C_1 = 33,5 (pF)$$

Capacitatea celei de descărcare determinată prin măsurare este $C_{1-2} = 35 (pF)$ (utilizînd dispozitivul de frecvență înaltă pentru determinarea inductanței și capacității de tipul E7-5A).

Însăși instalația experimentală (fig. 7) constă din următoarele părți componente: 1 – “cutie neagră” (cutie din lemn vopsită în negru); 2 – sticla optică colorată supusă încercărilor; 3 – electrozi de lucru din cupru; 4 – tubul din cuarț; 5 – bară din cupru; 6 – dispozitiv de înregistrare (camera video) [16].

Cutia a fost vopsită în negru pentru evitarea reflecției fluxului luminos al plasmiei descărcărilor electrice în impuls.

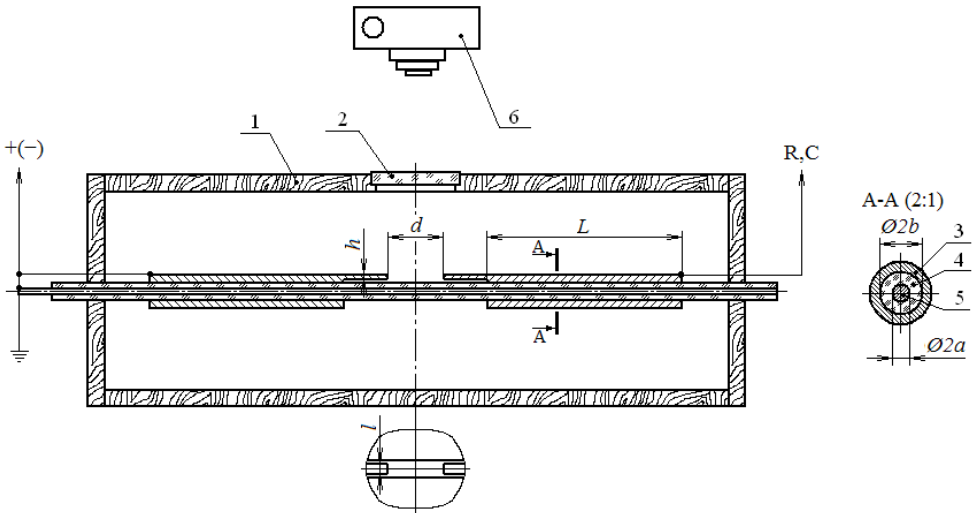


Fig. 7. Instalația experimentală pentru cercetarea excitării moleculelor în sticle optice [16]

În calitate de material de cercetare au fost utilizate sticlele optice colorate: de tipul TS (sticla întunecată), de tipul IKS (sticla infraroșie) și de tipul UFS (sticla ultravioletă). Caracteristicile spectrăle ale sticlelor optice (dependența coeficientului de transparență de lungime de undă) este prezentată în fig. 12 [17-20]. După cum se vede din fig. 12, filtrele

respective nu sunt transparente pentru regiunea vizibilă a spectrului, însă permit trecerea radiației în regiunea infraroșie. În calitate de sursă de lumină de intensitate mare s-a folosit plasma descărcărilor electrice în impuls, formată de generatorul de impulsuri de tensiune schema electrică a căruia este prezentată în fig. 4.

Fotografierea structurilor și micro-geometriei suprafețelor obținute în rezultatul acțiunii descărcărilor electrice în impuls au fost efectuate cu utilizarea microscopului metalografic XJM600T dotat cu sistem digital de înregistrare a informației. Analiza morfologiei (SEM – Scanning electron microscopy) și a compoziției chimice (EDX – Energy dispersive X-ray analysis) a straturilor superficiale a probelor supuse prelucrării, au fost efectuate cu ajutorul microscopului electronic de tip TESCAN dotat cu dispozitivele de analiză necesare. Cercetările au fost efectuate în Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova.

Metode matematice aplicate la cercetarea proceselor de excitare și relaxare.

Pentru determinarea primului coeficient Townsend a fost folosită formula semiempirică $\frac{\alpha}{p} = A \exp\left(-\frac{B}{E/p}\right)$ și coeficienții din literatură de specialitate pentru valorile reale ale intensității câmpului electric E și a presiunii p . Pentru determinarea timpului de întârziere (coeficientului de timp de relaxare) ale descărcărilor electrice în mediul cercetat (aer) a fost utilizată metoda aproximării rezultatelor măsurărilor.

Perfecționarea instalației experimentale. În scopul sporirii eficienței de obținere a plasmăi, cât și a omogenității acestei formațiuni în cea de-a patra formă de existență a materiei instalația experimentală a fost supusă unor transformări constructive și funcționale [21] și este descrisă în cele ce urmează.

Pentru a mări intensitatea câmpului electric E și respectiv mărimea interstițiului a fost aplicată schema unipolară (fig. 8, a) multiplicatoare de tensiune după Arkadiev-Marks a generatorului de impulsuri care a dat posibilitate de a avea între electrozi o tensiune de 60 kV și schema bipolară (fig. 8, b) care a dat posibilitate de a avea între electrozi o tensiune de 120 kV. Schemele date permit obținerea plasmăi descărcărilor electrice în impuls de omogenitate sporită într-un volum de cca. 3 ori mai mare decât în cazul folosirii schemei din fig. 4 [22].

O altă posibilitate de a mări omogenitatea și volumul plasmăi poate fi atinsă când ambii electrozi au o construcție specială (fig. 9). În cazul când se folosește construcția specială și pentru al doilea electrod (canalele separate au diametrul de 5 ori mai mare și lungimea de 10 ori mai mică decât al primului electrod) aceasta permite mărirea interstițiului (și respectiv intensității câmpului electric) de 2 ori. Aceasta construcție a electrozilor duce la mărirea eficienței de autoionizare și plasma acestor tipuri de descărcări electrice este mai omogenă. Energia ce se degajă într-o unitate de volum a interstițiului se micșorează, în schimb calitatea plasmăi descărcărilor electrice este mai înaltă, ceea ce are prioritate față de schema când se utilizează primul electrod de construcție specială, iar celălalt prezintă suprafață metalică plană. Pe de altă parte auto-excitarea mediului activ este mult mai eficientă [21].

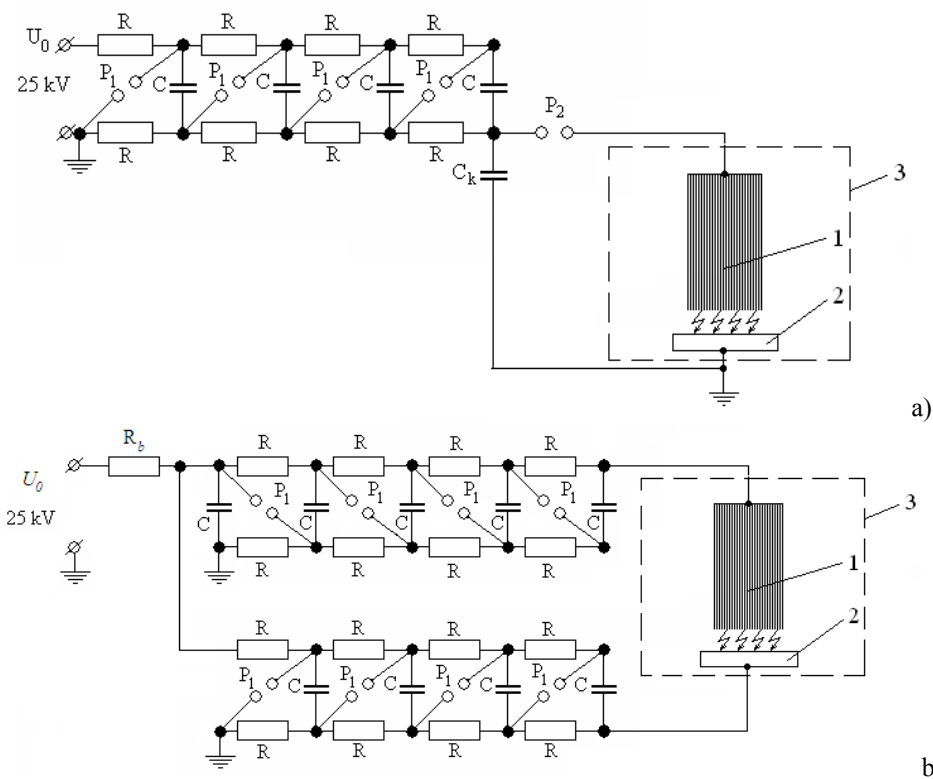


Fig. 8. Schema electrică de principiu a generatorului de impulsuri după schema unipolară (a) și schema bipolară (b) multiplicătoare de tensiune după Arkadiev-Marks [21, 22]

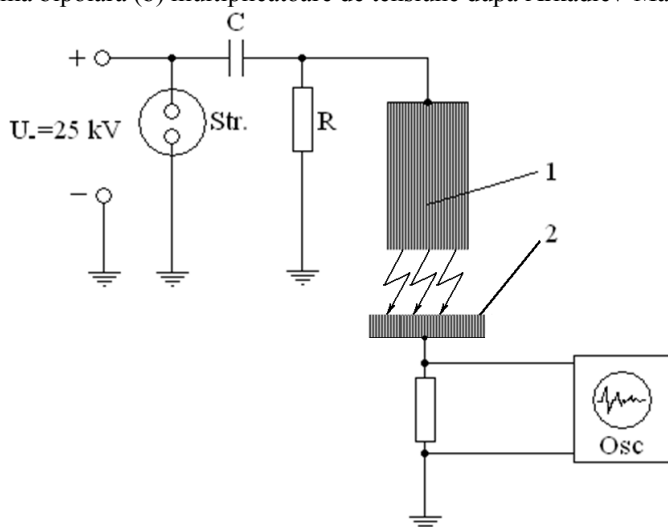


Fig. 9. Schemă electrică de principiu a generatorului de impulsuri cu ambii electrozi de construcție specială [21]

Capitolul III reprezintă rezultatele cercetărilor experimentale privind formarea și obținerea plasmei descărcărilor electrice în impuls. Sunt cercetate condițiile străpunerii interstițiului în medii gazoase, fenomene însoțitoare formării plasmei, sunt prezentate și interpretate rezultatele experimentale privind determinarea constantei de timp de relaxare oscilator-tranziționale a moleculelor.

În fig. 10 sunt reprezentate rezultatele măsurărilor întârzierilor în timp t_d a descărcării sub formă de scînteie față de impulsul de pompaj la variația energiei rezervate în diapazonul de la 0,1 pînă la 1 J/cm³ în momentul inițial de timp a energiei oscilatorii E^0 [2, 3].

După cum observăm din fig. 10 t_d crește odată cu micșorarea lui E^0 . Curba continuă din fig. 10 prezintă rezultatul aproximării tuturor punctelor experimentale a funcției $t_d = -\tau \ln \left(1 - \frac{q}{E_0} \right)$. S-a dovedit, că curba teoretică cel mai bine corespunde rezultatelor măsurărilor în presupunerea că τ este invers proporțional cu o mărime egală cu rădăcina pătrată din E^0 .

Dacă E^0 este mai mic decît o careva valoare, egală în condițiile experimentului cu 0,2 J/cm³, descărcare nu are loc. Aceasta înseamnă că energia termică degajată în procesul de disipare este mai mică decît mărimea q .

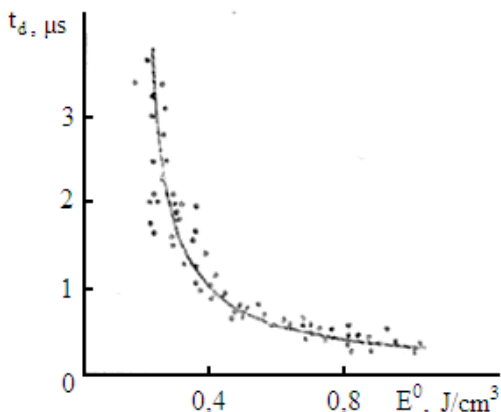


Fig. 10. Dependența timpului de întârziere t_d a curentului impulsului descărcării electrice prin scînteie față de impulsul radiației laser de mărimea energiei specifice oscilatorii rezervată E^0 : linia continuă – calculul; punctele – experimentul. Presiunea 8 atm., temperatura inițială 300 K [2, 3]

Este necesar a remarca, că apariția descărcării sub formă de scînteie este cauzată de creșterea temperaturii de transport a gazului în regiunea de pompaj. Mărimea lui τ , obținută din dependența funcțională prezintă mărimea medie a creșterii temperaturii cu ΔT . ΔT este creșterea temperaturii gazului ce corespunde degajării energiei termice de mărime q în intervalul de pompaj.

Micșorarea lui ΔT se atinge în condițiile experimentului prin micșorarea diferenței de potențial aplicate electrozilor și a diferenței de potențial a străpunerii statice.

Mărima ΔT deasemenea depinde de raportul dintre dimensiunile transversale a regiunii de pompaj către distanța dintre electrozi. A fost stabilit experimental, că pentru mărirea raportului indicat, ce depășește valoarea 0,9, o parte din radiația laser ajunge la electrozi ceea ce condiționează inițierea descărcării în timpul impulsului de pompaj.

Din fig. 10 observăm că în condițiile experimentului q alcătuiește $0,2 \text{ J/cm}^3$. Mărirea ΔT este egală cu raportul dintre q și capacitatea termică a unui cm^3 de gaz la presiune constantă și este egală cu 25 K. După cum observăm din fig. 10 în regiunea valorilor mari ale lui E^0 mărirea t_d slab depinde de E^0 . Aceasta se explică prin faptul, că t_d în această regiune este determinat de timpul necesar pentru ca unda sonoră să parcurgă drumul de la centru regiunii de pompaj pînă la suprafața electrozilor.

Străpungerea interstițiului, cum a fost deja menționat în capitole I, II și III duce în continuare la formarea plamei în interstițiu. Procesele care se produc în acesta sunt continui în timp. Acestea pentru cazul precăutat diferă pe direcția axială. Astfel la suprafețele electrozilor iau naștere petele electrodice – anodice și catodice care prezintă surse punctiforme de energie termică și câmpuri electrice și care provoacă interacțiuni de natură termică și electrică cu aceste suprafețe.

În rezultatul cercetărilor efectuate pentru mărimi ale interstițiului $d \geq 0,03 \text{ mm}$, au fost stabilite condițiile favorabile pentru evidențierea caracterului multicanal al DEI. Această legitate a fost depistată pentru prima dată de I. Gh. Nekrașevici și I. A. Bacuto [23]. Cercetând caracterul discret al amprentelor de eroziune și desfășurată în timp a spectrogramelor descărcărilor electrice, autorii [23] au înaintat ipoteza unui mecanism de migrare a petelor electrodice, conform căruia, în fiecare moment de timp, curentul în impuls nu circulă prin toată zona de interacțiune a electrozilor, ci numai printr-o porțiune de suprafață mult mai mică, iar aceasta este funcție de locul în care se află pata electrodică la moment. Acest proces se realizează prin canale cu diametre foarte mici, care continuu „migreză” în zona descărcării. Datorită diametrului foarte mic al canalului descărcării în punctul de interacțiune („pata”) cu electrodul, densitatea de curent este mare, (10^7 - 10^8 A/cm^2), ceea ce provoacă încălzirea și vaporizarea explozivă a materialului electrodului. După prelevarea prin vaporizare explozivă, canalul dispăre, ori se deplasează pe altă porțiune de suprafață. Rezultatul integral al eroziunii la o descărcare solitară este de fapt nu alt ceva decît un rezultat al eroziunilor elementare provocate de mulțimea de canale „migratoare” [23, 24].

În funcție de condițiile evoluției descărcării, în punctele de contact ale plamei din canalele de descărcare cu suprafețele electrozilor apar zone de interacțiune, denumite pete electrodice „reci” și „calde” [23-26].

Petele „reci” apar imediat după străpungerea interstițiului și „se mișcă” foarte repede (urma erozivă se prezintă sub forma unor cratere mici separate fără semne evidente de topire [25]), iar petele „calde” apar mai târziu pe locul celor „reci”, posedă o viteză mai mică „de mișcare” și produc o eroziune substanțial mai mare ca primele (în punctele de acțiune a lor apare faza lichidă a materialului electrodului [26]).

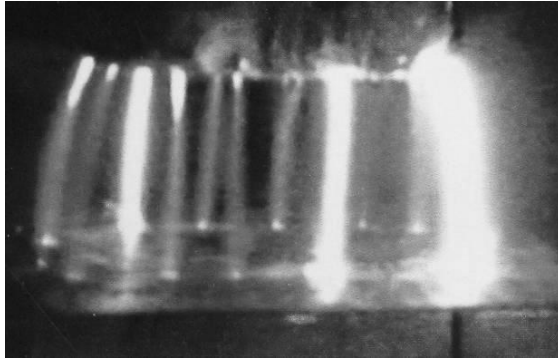


Fig. 11. Formarea petelor electrodice și a canalelor de plasmă la prelucrarea cu aplicarea DEI [24]

În fig. 11 sunt prezentate formațiunile de plasmă pentru cazul DEI la interstiții de ordinul 10-25 mm, pentru tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare de 25 kV. Din acesta se observă clar că, formațiunile de plasmă (de formă sferică) iau naștere la suprafețele electrozilor (se observă zone luminoase evidente de formă sferică) din care apoi se dezvoltă canalul de plasmă preponderent de la catod spre anod. Rezultă că, petele electrodice sunt responsabile nu numai de efectele de natură electrică și termică ce se produc la suprafețele electrozilor, dar și de efectele ce se produc în interstițiu.

Pentru interstiții $S > 3$ mm, forma norului de plasmă practic nu se schimbă, iar dimensiunile și volumul acesteia cresc proporțional cu $\approx S^{3/2}$ (fig. 12).

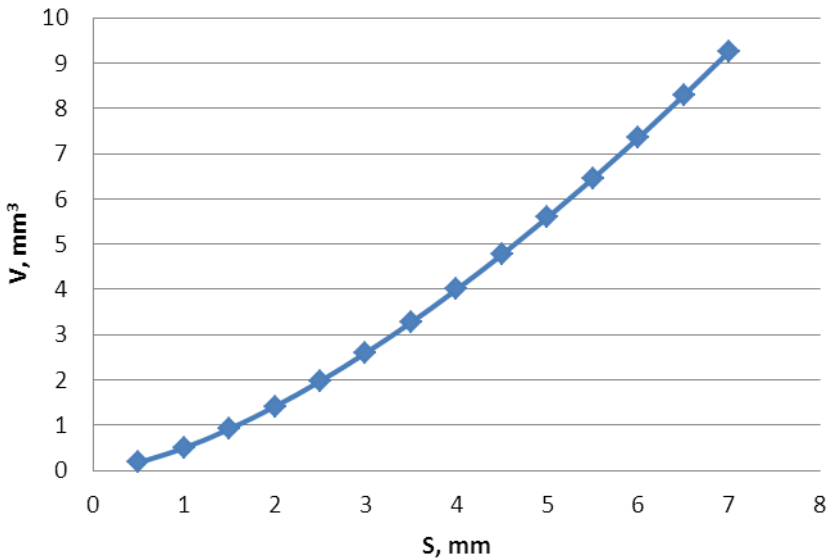


Fig. 12. Dependența volumului canalului de plasmă al descărcării de mărimea interstițiului pentru energia degajată în interstițiu $W_S = 6,5$ J

În capitolul IV a lucrării sînt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind interacțiunea radiației plasmei cu sticle optice colorate, precum și interacțiunea termică și termo-chimică a plasmei cu suprafețele metalice.

Excitarea multifotonică cu lumina infraroșie a stărilor oscilatorii a moleculei de obicei are loc în limitele stărilor de bază electronice. Molecula poliatomică poate absorbi un număr mare de fotoni infraroșii și în așa mod energia oscilatorie a ei devine comparabilă cu energia stării de excitare electronice. Aceasta este posibil dacă energia minimă a stării excitate electronic este mai mică, decît energia de disociație a moleculei. Nivelul mediu al excitărilor oscilatorii care se obține în baza excitării multifotonice este funcție de dimensiunile moleculei și este limitat numai de canalul energetic al moleculei. Un alt proces non-adiabatic radiația căreia a devenit posibilă datorită excitării multifotonice o reprezintă ruperea electronului de la ionul negativ a moleculei. În acest caz, precum și în cazul relaxării electronice inverse (REI), ruperea electronului impune o activare oscilatorie minimă a anionului cu radiația infraroșie și existența legăturii mișcării electronice, cît și mișcării nucleului care are loc înaintea procesului de excitare multifotonică. Conform calculelor pentru relaxarea electronică inversă a moleculei și apariția radiației din spectrul vizibil este necesar ca molecula să absoarbă de la 20 pînă la 40 fotoni infraroșii: $N_{IR} \cdot \omega_{osc} \approx \omega_{el}$ [22].

Interacțiunea radiației plasmei cu sticle optice. În continuare se prezintă rezultatele cercetărilor experimentale și analizele teoretice ale fenomenelor fizice secundare ce se produc la interacțiunea radiației produse de plasma descărcărilor electrice în impuls cu sticla de filtru. S-a constatat că, filtru infraroșu emite o radiație secundară în violet, filtrul întunecat emite o radiație secundară în verde, iar filtrele ultraviolete – radiație vizibilă în roșu (fig. 13). Fenomenele depistate se explică prin emiterea radiației secundare din motivul excitării multifotonice a moleculelor de SiO_2 și translarea directă-inversă de pe un nivel energetic pe altul. Fenomenul depistat poate fi aplicat în construcția aparatelor ce funcționează în baza radiației monocromatice de lumină.

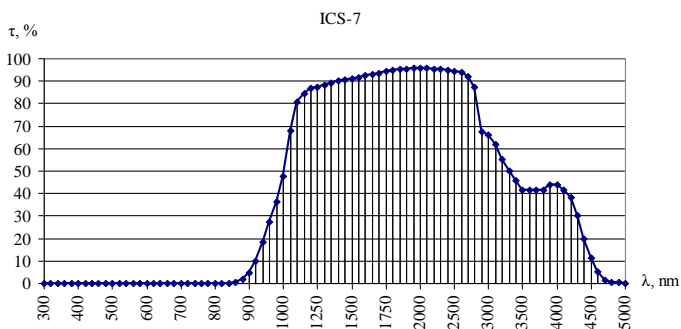
Lungimea de undă a radiației secundare în sticlele cercetate se calculează cu relația [16]:

$$\lambda = \frac{1}{\omega_{el}} = \frac{1}{\omega_{osc} \cdot N_{IR}}, \quad (10)$$

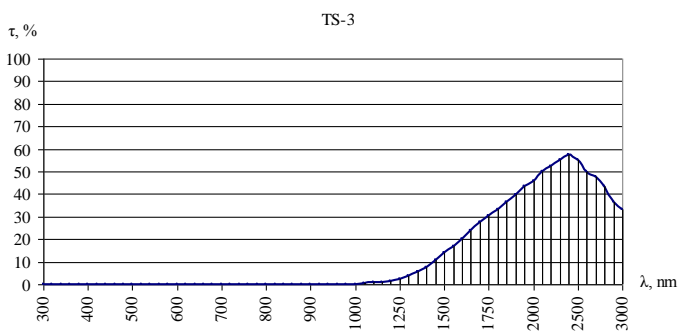
unde $\omega_{osc} = 780 \text{ cm}^{-1}$ este unul din nivele oscilatorii de rezonanță (a benzii de absorbție) pentru moleculele de SiO_2 [27]; N_{IR} este numărul de fotoni infraroșii absorbiți.

Așa dar, pentru filtrele infraroșii numărul de fotoni infraroșii absorbiți este 33, iar pentru sticlele întunecate – este 24. În acest caz lungimea de undă a radiației secundare este 388,5 nm (culoare violetă) și 534,2 nm (culoare verde) respective [16].

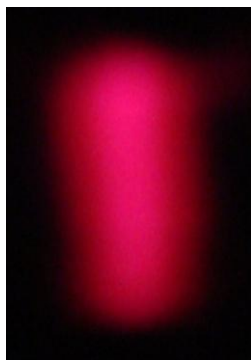
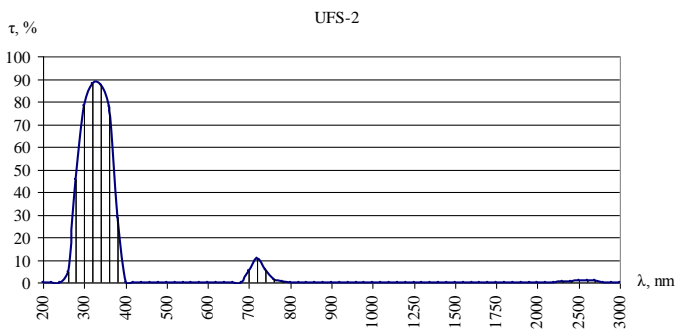
În cazul cercetării filtrelor de tipul UFS (ultraviolete) la excitarea cu plasma descărcărilor electrice în impuls în ele apare radiația secundară în roșu. Este cunoscut că la legătură neadiabatică sau spin-orbitală dintre diferiți termi are loc tranziția excitării electronice, corespunzătoare absorbției cuantului ultraviolet. Molecula fiind în stare excitată electronic trece spontan în stare de bază electronică cu emiterea unui cuant luminescent. În cazul respectiv un cuant ultraviolet excită două molecule de SiO_2 . Numărul de fotoni absorbiți este $18 \times 2 = 36$, iar radiația secundară în aceste filtre are lungimea de undă 712,3 nm (culoare roșie) [16].



a)



b)

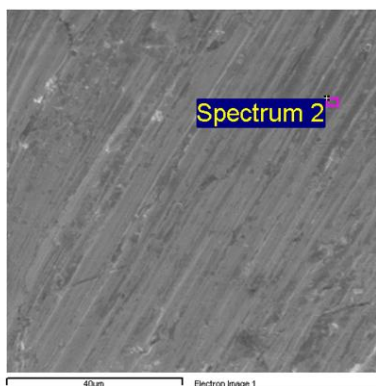


c)

Fig. 13. Radiația secundară la excitarea moleculelor de SiO_2 în sticle optice prin interacțiunea fluxului luminescent al plasmei descărcărilor electrice în impuls:
a – IKS-7; b – TS-3; c – UFS-2 [16-20]

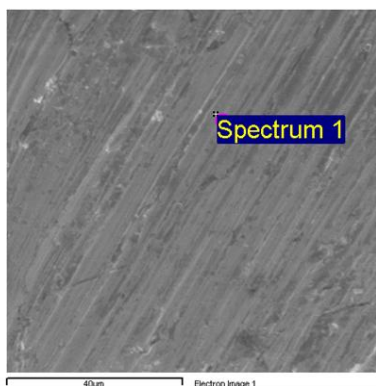
Interacțiunea plasmei cu suprafețele metalice. Suprafețele probelor se preparau prin lustruire până la stare de oglindă, iar după prelucrare acestea suportau anumite modificări: pe ele se atestau zone ale influenței termice de culoarea metalului proaspăt decapat (în acestea se produc procese de îmbogățire cu elemente ce se conțin în mediul de lucru (fig. 14) [24-26]) și zone în care s-a produs topirea suprafeței (acestea prezentau cratere sau meniscuri extrase și congelate sub formă de asperități conice (fig. 15) [28, 29]).

Pe parcursul efectuării experiențelor de formare a oxizilor pe suprafețe plane de W+10%Re proba a fost conectată în calitate de catod. În rezultat a fost obținut oxidul de wolfram 6-valent (oxid acid), judecând după conținutul atomic al suprafeței cercetate. În fig. 14 sînt prezentate rezultatele spectroscopiei EDX și imaginile obținute cu microscopul electronic.



Element	Weight%	Atomic%
C K	3.95	28.77
O K	5.10	27.90
W M	90.96	43.33
Totals	100.00	

a)



Element	Weight%	Atomic%
W M	100.00	100.00
Totals	100.00	

b)

Fig. 14. Rezultatele spectroscopiei a probei plane din W+10%Re după aplicarea DEI (a) și netratate (b) [29]

În apropierea zonei prelucrate se conțin oxizi de wolfram (fig. 14, a). În același timp probele identice curate care nu au fost tratate cu DEI conțin wolfram în cantitatea între 90 și 100% (fig. 14, b).

Din fig. 15 putem observa, că pe suprafața supusă interacțiunii cu canalul de plasmă apar zone în care chiar și la durate extrem de mici ale impulsurilor de curent se provoacă topirea locală. Din zonele de topitură sub acțiunea câmpului electric al descărcării se extrag meniscuri de formă conică, care ca rezultat al răcirii ultrarapide aceste sunt congelate pe suprafața prelucrată.

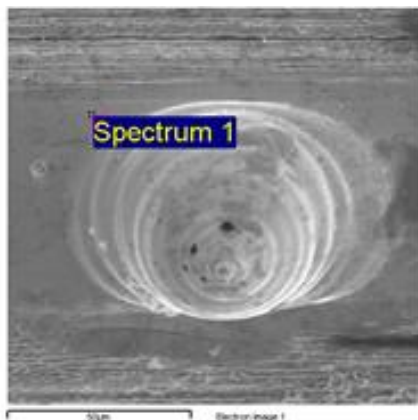


Fig. 15. Imaginea SEM a unui menisc de forma conului Taylor [29]

Divizarea canalului de plasmă într-o multitudine de micro-canaluri asigură formarea pe suprafața prelucrată a unui mare număr de meniscuri. Rezultatele cercetărilor executate anterior [28] au demonstrat, că un singur menisc extras de pe o porțiune de suprafață provoacă sporirea ariei acesteia de 8 ori. Dacă e să vorbim de capacitatea de emisie sau absorbție a suprafețelor, atunci este clar că aceasta este direct proporțională cu aria activă a suprafeței corpului, și în acest caz rezultatele obținute sunt benefice pentru aplicare în acest domeniu. Dacă în cazul aplicării descărcărilor electrice în impuls de tensiune joasă (10^2 V) aria suprafeței prelucrate la o descărcare solitară constituie $10 \dots 10^2 \mu\text{m}^2$ [26], atunci aplicarea descărcărilor electrice de tensiune înaltă și durată scurtă permite a spori prelucrarea de mai multe ori (de la $5 \dots 100 \text{ mm}^2$). Cercetând capacitatea de emisie electronică a suprafețelor catodilor aplicați în construcția tunurilor electronice [28] s-a constatat, că în aceleași condiții de funcționare, catodii cu micro-geometrie sub formă de meniscuri asigură formarea fasciculelor de electroni cu o intensitate de 10 ori mai mare în raport cu cei cu suprafață netedă.

Ca rezultat al acțiunii plasmăi căpătate cu suprafețele metalice în urma cercetării lor la microscopul electronic s-a depistat că pe ele se formează nanostructuri ce se deosebesc între ele după forma și proprietăți în dependență de tipul materialului de execuție a lor. În fig. 16 este prezentată morfologia stratului superficial al probelor prelucrate cu aplicarea plasmăi căpătate cu ajutorul instalației experimentale.

Datorită faptului că temperatura în plasma obținută cu instalația experimentală elaborată atinge valori mai mari de 10^4 K cu durata de existență a ei de ordinul sutelor de nanosecunde, ea poate fi aplicată în tehnică la formarea nanostructurilor pe suprafețe metalice, cât și la distrugerea microorganismelor din biomedicină.

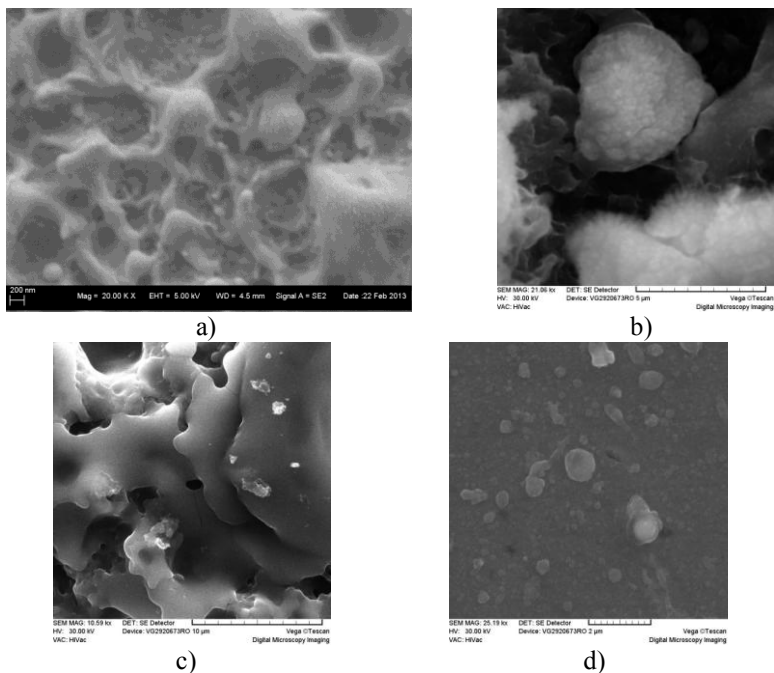


Fig. 16. Morfologia stratului superficial al electrodului 2 din fig. 4 format ca rezultat al interacțiunii plasmei cu suprafețele metalice ale probelor din:
a) oțel 45; b) aliajul titanului BT8; c) aliajul aluminiului D16; d) bronz BrA5 [30]

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Din analiza rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale care prezintă realizarea obiectivelor tezei de doctorat, reies următoarele concluzii generale:

1. Din analiza rezultatelor teoretice și experimentale privind procesele fizice de excitare și relaxare a mediilor gazoase reflectate în literatura de specialitate rezultă că cea mai simplă metodă de creare a plasmei la temperaturi joase o reprezintă descărcările în gaze sub forma de impulsuri, variind presiunea și componentele mediului gazos, dimensiunile electrozilor și distanța dintre ei, însă această metodă este insuficient cercetată.

2. Schema electrică a generatorului de impulsuri aplicată în cercetările experimentale privind interacțiunea plasmei cu substanța nu cere ionizarea preliminară a mediului activ (aer) datorită sporirii capacității de excitare prin construcția specială a electrozilor care permite obținerea unui get volumetric de plasmă omogenă (într-un volum de ordinul $1\text{--}3\text{ cm}^3$) pentru un impuls cu o durată de $0,25\ \mu\text{s}$. Electrocul special îndeplinește funcție dublă: servește inițial în calitate de „tun electronic”, iar la atingerea stării de ionizare maximă a mediului, asigură automat și neîntrerupt în timp, derularea descărcării electrice a impulsului de bază cu formarea plasmei.

3. Analizând procesele privind obținerea plasmei DEI a fost calculată valoarea lungimii Debye și valoarea primului coeficient Townsend, care pentru aer, în condiții normale constituie $d = 2,2 \cdot 10^{-8}\text{ cm}$, $\alpha = 32$; aceste valori pot fi aplicate la calculul

construcției instalațiilor de obținere a plasmei, precum și la modelarea proceselor ce au loc la descărcările în mediile gazoase.

4. Criteriul pentru amorsarea descărcării electrice luminescente este ca numărul critic de electroni să fie (datorită construcției speciale a electrodului multicanal curentul care circulă prin fiecare canal separat este limitat de rezistența inductivă a lui și nu permite descărcarea sub formă de arc), iar în vederea sporirii volumului plasmei obținute este necesar a opera cu mărirea interstițiului și energia acumulată pe baterea de condensatoare ținându-se cont de faptul că este proporțional cu mărirea interstițiului $S^{3/2}$ și energia descărcării $W^{1/3}$ (schema electrică aplicată permite formarea plasmei la interstițiul de 7 mm și energia descărcării de 6,5 J).

5. În baza analizei rezultatelor experimentale privind interacțiunea plasmei cu substanța reiese că, pentru mărirea constantă a capacității generatorului de impulsuri de curent și a energiei acumulate pe el, odată cu majorarea mărimii interstițiului, crește și raza coloanei de plasmă, ceea ce conduce la micșorarea coeficientului de concentrare a sursei de căldură pe suprafețele electrozilor și, respectiv, la micșorarea intensității deteriorării lor prin eroziune și sporește considerabil volumul sursei de radiație luminoasă.

6. S-a stabilit că în rezultatul interacțiunii radiative a plasmei cu filtrul IR se emite o radiație secundară în violet, filtrul întunecat emite o radiație secundară în verde, iar filtrele ultraviolete – radiație vizibilă roșie. Aceste fenomene se pot explica prin emiterea radiației secundare din motivul excitării multifotonice a moleculelor de SiO_2 și translarea directă-inversă de pe un nivel energetic pe altul. Fenomenul depistat poate fi aplicat în construcția aparatelor ce funcționează pe baza radiației monocromatice de lumină.

7. În conformitate cu calculele efectuate, pentru relaxarea electronică inversă a moleculei de SiO_2 și apariția radiației din spectrul vizibil este necesar ca molecula să absoarbă de la 20 până la 40 fotoni infraroșii: $N_{\text{IR}} \cdot \omega_{\text{osc}} \approx \omega_{\text{el}}$ (la interacțiunea radiației plasmei DEI obținută cu ajutorul instalației experimentale utilizate cu filtrele optice numărul de fotoni infraroșii constituie: pentru filtrul de tipul IKS – 33 de fotoni, iar pentru cel de tipul TS – 24 de fotoni).

Cercetarea într-un domeniu nu pot finaliza printr-o teză de doctorat. Aceasta este doar o contribuție modestă în acest domeniu al cercetării. De aceea, pentru viitor se propun următoarele recomandări:

- a aplica metoda de determinare a timpului de relaxare VT propusă în lucrare pentru alte tipuri de gaze de structură moleculară (azot, oxigen, bioxid de carbon, monoxid de carbon, etc.);
- a încerca alte metode de excitare a moleculelor de SiO_2 în vederea transferului energiei oscilatorii din spectrul infraroșu și ultraviolet spre spectrul vizibil;
- a analiza posibilitatea autoionizării mediului activ prin modernizarea constructivă a electrozilor pentru a spori eficiența descărcării de bază în gaze;
- a proiecta și a elabora echipamente necesare pentru căpătarea radiațiilor coerente aplicând metoda de excitare propusă în teza.

BIBLIOGRAFIE

1. Лазерная спектроскопия колебательно-возбужденных молекул / Летохов В.С., Рябов В.А., Макаров А.А. и др. М.: Наука, 1990. – 278 с. ISBN 5-02-000095-7.
2. Авторское свидетельство СССР SU 1824548 A1. Способ определения времени колебательно-поступательной релаксации в газах / Ананьев В.Ю., Лобанов А.Н., Лыткин А.П., Хырбу А.В. 30.06.93. Бюл. № 24.
3. Ананьев В.Ю., Лобанов А.Н., Лыткин А.П., Хырбу А.В. Измерение постоянной времени колебательно-поступательной релаксации в сжатом водороде с использованием ВКР. Известия Академии Наук. Серия Физическая, т. 59, № 6, 1995, с. 100-108.
4. Pavel Topala, Arefa Hirbu, Alexandr Ojegov. New directions in the practical application of electro erosion, *Nonconventional Technologies Review* – no. 1/2011, pg. 49-56.
5. Pavel Topala, Arefa Hirbu, Alexandr Ojegov. Acțiunea plasmei descărcărilor electrice asupra suprafețelor metalice, *Fizica și Tehnologiile Moderne*, vol. 10, nr. 1-2, 2012, pg. 13-21.
6. Hirbu A. Plasma formation in the air medium under ordinary pressure and its interaction with solid metal surfaces. *Moldavian Journal of the Physical Sciences*. Vol. 14, No. 1-2, Chisinau, 2015, p. 119-126. ISSN 1810-648X.
7. Topala P., Kantser V., Hirbu A. Theoretical and experimental study of mechanisms governing the occurrence of electric discharges in gases. *Moldavian Journal of the Physical Sciences*. Vol. 14, No. 3-4, Chisinau, 2015, p. 221-230. ISSN 1810-648X.
8. Hirbu A., Topală P., Ojegov A. Auto-ionization plasma in laboratory condition. Tezele comunicărilor la Conferința Științifică Internațională „10 Years of Nanotechnology Development in the Republic of Moldova”, Bălți, 22-23 octombrie, 2012, p. 33.
9. Hirbu A., Topala P., Ojegov A. Auto-ionization laboratory plasma. *ModTech International Conference “Modern Technologies in Industrial Engineering”*, Book of abstracts, June 27-29, 2013, Sinaia, Romania, p. 359. ISSN 2286-4369.
10. Hirbu A., Topala P., Canțer V., Ojegov A. Multi-canal electrode for plasma formation by electrical discharges in impulse with auto-ionization. *Materials of the XIX-th International Exhibition of Research, Inovation and Tehnological Transfer Inventica 2015*. pp. 326-327. ISSN 1844-7880.
11. Hirbu A., Topala P., Canțer V., Ojegov A. Method and device for plasma formation by electrical discharges in impulse. *Materials of the XIX-th International Exhibition of Research, Inovation and Tehnological Transfer Inventica 2015*. pp. 327-329. ISSN 1844-7880.
12. Hirbu A., Topala P., Băncilă S., Ojegov A., Beșliu V. Construcția dispozitivului de obținere a plasmei fără ionizarea preventivă a mediului activ. „*Materialele Conferinței Științifice Internaționale „Invățământul de performanță la disciplinele din ariile curriculare științe exacte și natural, obiective, strategii, perspective”*”. Universitatea de Stat din Tiraspol, Chișinău, 26-28 septembrie 2014, Chișinău 2015, p.165-170.
13. Hirbu A., Topala P., Ojegov A., Beșliu V. Aplicarea electrozilor de construcție specială pentru mărirea eficienței plasmei. *Catalog oficial Expoziția Internațională Specializată INFOINVENT*, 25-28 noiembrie 2015. AGEPI 2015. P. 91.
14. Topala P., Ojegov A., Beșliu V., Hirbu A., Pinzaru N. *Sculă cu mulți electrozi pentru prelucrarea suprafețelor prin descărcări electrice în impuls*. Brevet de invenție.

MD 4325 C1 2015.09.30. Data publicării 2015.02.26.

15. Hirbu A., Topala P., Cañter V., Ojegov A. Electrode-multicanal destinat obținerii plamei prin descărcări electrice în impuls cu auto-ionizare. Cerere de brevet de invenție. Nr. depozit: a 2013 0052. Data depozit: 2013.07.25.

16. Hirbu A., Topală P., Ojegov A. Secondary Radiation in Color Optical Filter Glasses by the Action of Plasma. Modern Technologies in Industrial Engineering II, ModTech 2014, Trans Tech Publications, Switzerland, pg. 158-163.

17. Цветное оптическое стекло и особые стекла. Каталог / Под ред. Г.Т. Петровского. – М.: Дом оптики, 1990. – 229 с.

18. И. Вейнберг. Каталог цветного стекла. М.: Машиностроение, 1967. – 62 с.

19. ГОСТ 9411-91. Стекло оптическое цветное. Технические условия. М.: Комитет Стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 48 с.

20. ГОСТ 23136-93. Материалы оптические. Параметры. Минск: Межгосударственный совет по метрологии, стандартизации и сертификации, 1993. – 22 с.

21. Hirbu A., Topala P., Băncilă S., Ojegov A., Beșliu V. Increasing excitation efficiency at plasma formation by electrical discharges. *The Third International Conference on Modern Manufacturing Technologies in Industrial Engineering*. Book of Abstracts. Romania, 2015. p. 258. ISSN 2286-4369.

22. Воробьев Г.А., Месяц Г.А. Техника формирования наносекундных импульсов. М.: Атомиздат, 1963. – 167 с.

23. Некрашевич И.Г., Бакуто И.А. Механизм эрозии металлов при электрическом импульсном разряде. В кн.: Сб. научных трудов ФТИ АН БССР, вып. 6, Минск: изд-во АН БССР, с. 193-215.

24. Ojegov Alexandr. Obținerea peliculelor subțiri de oxizi pe suprafețele metalice ale aliajelor de fier, cupru, aluminiu și titan, cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Autoreferatul tezei de doctor în tehnică. Editura “Tehnica UTM”, Chișinău, 2014, 32 p.

25. Topală P., Stoicev P. Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Chișinău: Editura Tehnica-Info, 2008, 265 p.

26. Topala P. Cercetări privind obținerea straturilor de depunere din pulberi metalice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Teza de doctorat în tehnică. București: Universitatea Politehnica, 1993, 161 p.

27. Ефимов А.М. Оптические свойства материалов и механизмы их формирования. СПб: СПбГУИТМО, 2008. – 103 с.

28. Topala P., Guzman D., Rusnac V., Ojegov A., Besliu V. Specifics of Surface Micro-Geometry Modification under the Action of Temperature and Electric Field of Electrode Spots. Trans Tech Publications, Switzerland. Applied Mechanics and Materials Vols. 809-810. 2015. pp. 399-404.

29. Topala P., Ojegov A., Besliu V., Rusnac V., Guzman D., Hirbu A., Plesco I. Oxidation of Taylor cone-shaped asperities by application of plasma in normal condition. Romanian Association of Nonconventional Technologies. *Nonconventional Technologies Review*. Nr. 2, Romania. 2015. pp. 56-61. ISSN 2359 – 8646.

30. Hirbu A. Plasma formation in the air medium under ordinary pressure and its interaction with solid metal surfaces. Moldavian Journal of the Physical Sciences. Vol. 14, No. 1-2, Chisinau, 2015, p. 119-126. ISSN 1810-648X.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE LA TEMA TEZEI

1. Articole în diferite reviste științifice

1.1. în reviste din străinătate recunoscute

1. Ананьев В.Ю., Лобанов А.Н., Лыткин А.П., **Хырбу А.В.** Измерение постоянной времени колебательно-поступательной релаксации в сжатом водороде с использованием ВКР. Известия Академии Наук. Серия Физическая, т. 59, № 6, 1995, с. 100-108.
2. Topala P., **Hirbu A.**, Ojegov A. New directions in the practical application of electro erosion. Nonconventional Technologies Review – no. 1/2011, pp. 49-56. ISSN 1454-3087.
3. Topala P., Ojegov A., Besliu V., Rusnac V., Guzman D., **Hirbu A.**, Plesco I. Oxidation of Taylor cone-shaped asperities by application of plasma in normal condition. Romanian Association of Nonconventional Technologies. Nonconventional Technologies Review. Nr. 2, Romania. 2015. pp. 56-61. ISSN 2359 – 8646.

1.2. în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, cu indicarea categoriei

4. Topala P., **Hirbu A.**, Ojegov A. Acțiunea plasmei descărcărilor electrice asupra suprafețelor metalice. Fizica și tehnologiile moderne, Vol. 10, nr. 1-2, 2012, pp. 13-21. Categoria C.
5. Topala P., Kantser V., **Hirbu A.** Theoretical and experimental study of mechanisms governing the occurrence of electric discharges in gases. Moldavian Journal of the Physical Sciences. Vol. 14, no. 3-4, Chisinau, 2015, pp. 221-230. ISSN 1810-648X. Categoria A.
6. **Hirbu A.** Plasma formation in the air medium under ordinary pressure and its interaction with solid metal surfaces. Moldavian Journal of the Physical Sciences. Vol. 14, no. 1-2, Chisinau, 2015, pp. 119-126. ISSN 1810-648X. Categoria A.

1.3. în reviste aflate în proces de acreditare

7. **Hirbu A.** Electrode destinat obținerii plasmei în impuls cu funcție dublă. Fizica și tehnica, 2013, nr. 2, pag. 24-27. ISSN 1857-0437.

2. Articole în culegeri științifice

2.1. culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale

8. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Secondary radiation in color optical filter glasses by the action of plasma. Advanced Materials Research, Vol. 1036, Trans Tech Publications, Switzerland, 2014, pp. 158-163. ISSN: 1662-8985.
9. **Hirbu A.**, Topala P., Băncilă S., Ojegov A., Beșliu V. Căpătarea radiației coerente la interacțiunea plasmei cu substanță. Materialele Conferinței Științifice Internaționale „Invățământul de performanță la disciplinele din ariile curriculare științe exacte și natural, obiective, strategii, perspective. Universitatea de Stat din Tiraspol, Chișinău, 26-28 septembrie 2014, Chișinău 2015, p.160-165.
10. **Hirbu A.**, Topala P., Băncilă S., Ojegov A., Beșliu V. Construcția dispozitivului de căpătare a plasmei fără ionizarea preventivă a mediului activ. Materialele Conferinței Științifice Internaționale „Invățământul de performanță la disciplinele din ariile curriculare științe exacte și natural, obiective, strategii, perspective.

3. Materiale/ teze la forurile științifice

3.1. conferințe internaționale (peste hotare)

11. Ananiev V.Yu., Lytkin A.P., Suchkov A.F., **Hyrbu A.V.** Initiated by Stimulated Raman Scattering Spark Discharge in H₂. International Conference on Phenomena in Ionized Gases ICPIG XX, Pisa, Italia, 8-12 July, 1991, p. 31.
12. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Secondary physical phenomena at the interaction of EDI plasma radiation and filter glass. ModTech International Conference "Modern Technologies in Industrial Engineering", Book of abstracts, June 27-29, 2013, Sinaia, Romania, p. 358. ISSN 2286-4369.
13. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Secondary excitement of SiO₂ molecules in ultra-violet glass via electrical discharges in impulse. ModTech International Conference "Modern Technologies in Industrial Engineering", Book of abstracts, June 27-29, 2013, Sinaia, Romania, p. 360. ISSN 2286-4369.
14. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Auto-ionization laboratory plasma. ModTech International Conference "Modern Technologies in Industrial Engineering", Book of abstracts, June 27-29, 2013, Sinaia, Romania, p. 359. ISSN 2286-4369.
15. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Secondary radiation in color optical filter glasses by the action of plasma. 2nd ModTech International Conference "Modern Technologies in Industrial Engineering", Book of abstracts, July 13-16, 2014, Gliwice, Poland, p. 279. ISSN 2286-4369.
16. **Hirbu A.**, Topala P., Bancila S., Ojegov A., Besliu V. Increasing excitation efficiency at plasma formation by electrical discharges. ModTech 2015. June 17-20, 2015. Mamaia, Romania The Third International Conference on Modern Manufacturing Technologies in Industrial Engineering. Book of Abstracts. Romania, 2015. p. 258. ISSN 2286-4369.

3.2. conferințe internaționale în republică

17. Ojegov A., **Hirbu A.**, Topala P. Dispozitiv de căpătare a plasmei în aer în condiții normale. "Proprietățile fizice ale substanțelor în diverse stări": Tezele comunicărilor la Conf. șt. intern., 9-10 oct. 2009, Bălți: Presa univ. bălțeană, 2009, p. 28-29. ISBN 978-9975-931-66-3. CZU 54(082) P 94.
18. **Hirbu A.**, Băncilă S. Căpătarea radiației luminescente la excitarea moleculei de SiO₂ cu raze infraroșii. "Proprietățile fizice ale substanțelor în diverse stări": Tezele comunicărilor la Conf. șt. intern., 9-10 oct. 2009, Bălți: Presa univ. bălțeană, 2009, p. 60-61. ISBN 978-9975-931-66-3. CZU 54(082) P 94.
19. **Hirbu A.**, Băncilă S. Particularitățile străpunerii mediilor gazoase sub acțiunea impulsului de tensiune. "Proprietățile fizice ale substanțelor în diverse stări": Tezele comunicărilor la Conf. șt. intern., 9-10 oct. 2009, Bălți: Presa univ. bălțeană, 2009, p. 61-62. ISBN 978-9975-931-66-3. CZU 54(082) P 94.
20. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Auto-ionization plasma in laboratory condition. Tezele comunicărilor la Conferința Științifică Internațională „10 Years of Nanotechnology Development in the Republic of Moldova”, Bălți, 22-23 octombrie, 2012, p. 33. ISBN 978-9975-50-085-9.

21. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. SiO₂ molecules excitement by electrical discharge plasma radiation. Tezele comunicărilor la Conferința Științifică Internațională „10 Years of Nanotechnology Development in the Republic of Moldova”, Bălți, 22-23 octombrie, 2012, p. 34. ISBN 978-9975-50-085-9.
22. Topala P., **Hirbu A.**, Ojegov A. Secondary light radiation obtained by the action of plasma. International Scientific Conference Light and Photonics: Science and Technology dedicated to International Year of Light and Light-based Technologies-2015. BOOK OF ABSTRACTS. 22nd May, 2015. Alecu Russo Balti State University, Republic of Moldova Bălți, 2015. p. 32. ISBN 978-606-93704-1-4.
23. **Hirbu A.** Formation of electrical discharge plasma at laboratory condition applying electrodes of special construction. International Scientific Conference Light and Photonics: Science and Technology dedicated to International Year of Light and Light-based Technologies-2015. BOOK OF ABSTRACTS. 22nd May, 2015. Alecu Russo Balti State University, Republic of Moldova Bălți, 2015. p. 29. ISBN 978-606-93704-1-4.

4. Brevete de invenții, patente, certificate de înregistrare, materiale la saloanele de invenții

24. АС СССР SU 1824548 А1. № 4949695/25. Способ определения времени колебательно-поступательной релаксации в газах // В.Ю. Ананьев, А.Н. Лобанов, А.П. Лыткин, **А.В. Хырбу**. 30.06.93. Бюл. №24.
25. Патент РФ RU 2012117 С1. № 4950347/25. Пассивный затвор для модуляции добротности резонатора лазера // В.Ю. Ананьев, А.П. Лыткин, **А.В. Хырбу**. 30.04.94. Бюл. № 8.
26. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Excitarea moleculelor de SiO₂ în sticla întunecată TS-3. Catalogul oficial al Expoziției Internaționale Specializate INFOINVENT 2013, 19-22 noiembrie, 2013, p. 193.
27. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Excitarea moleculelor de SiO₂ în sticle infraroșii. Catalogul oficial al Expoziției Internaționale Specializate INFOINVENT 2013, 19-22 noiembrie, 2013, p. 193.
28. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Excitarea moleculelor de SiO₂ în sticla ultravioletă UFS-2. Catalogul oficial al Expoziției Internaționale Specializate INFOINVENT 2013, 19-22 noiembrie, 2013, p. 194.
29. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Formarea plasmei de laborator fără ionizarea preventivă a mediului activ. Catalogul oficial al Expoziției Internaționale Specializate INFOINVENT 2013, 19-22 noiembrie, 2013, p. 194.
30. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. SiO₂ molecules excitement in ultraviolet glass UFS-2. The 17th international salon of research and technological transfer „INVENTICA 2013”, p. 720-721.
31. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. Laboratory plasma formation without preventive ionisation of the active medium. The 17th international salon of research and technological transfer „INVENTICA 2013”, p. 721-722.
32. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. SiO₂ molecules excitement in infrared glasses. The 17th international salon of research and technological transfer „INVENTICA 2013”, p. 722.

33. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A. SiO₂ molecules exitement in dark glass TS-3. The 17th international salon of research and technological transfer „INVENTICA 2013”, p. 722-723.
34. Topala P., Tighineanu I., Ojegov A., **Hirbu A.** Procedeu de formare a straturilor nanometrice de oxizi și hidro-oxizi în stare amorfă. Cerere de brevet de invenție. Nr. depozit: a 2013 0049. Data depozit: 2013.07.25.
35. **Hirbu A.**, Topala P., Canțer V., Ojegov A. Procedeu și dispozitiv de obținere a plasmei prin descărcări electrice în impuls. Cerere de brevet de invenție. Nr. depozit: a 2013 0050. Data depozit: 2013.07.25.
36. **Hirbu A.**, Topala P., Canțer V., Ojegov A. Electrode-multicanal destinat obținerii plasmei prin descărcări electrice în impuls cu auto-ionizare. Cerere de brevet de invenție. Nr. depozit: a 2013 0052. Data depozit: 2013.07.25.
37. **Hirbu A.**, Topala P., Canțer V., Ojegov A. Multi-canal electrode for plasma formation by electrical discharges in impulse with auto-ionization. The 18th International Conference „Inventica 2014”, Editura PERFORMANTICA, pp.553-554. ISSN 1844-7880.
38. **Hirbu A.**, Topala P., Canțer V., Ojegov A. Method and device for plasma formation by electrical discharges in impulse. The 18th International Conference „Inventica 2014”, Editura PERFORMANTICA, pp.554-556. ISSN 1844-7880.
39. Topala P., Tighineanu I., Stoicev P., Ojegov A., **Hirbu A.** Method of formation nano-metric oxide and hydro-oxide strata in amorphous state. The 18th International Conference „Inventica 2014”, Editura PERFORMANTICA, pp.556-557. ISSN 1844-7880.
40. **Hirbu A.**, Topala P., Ojegov A., Beșliu V. Aplicarea electrozilor de construcție specială pentru mărirea eficienței plasmei. Catalog oficial Expoziția Internațională Specializată INFOINVENT 25-28 noiembrie 2015. AGEPI 2015. P. 91.
41. **Hirbu A.** Condiții de obținere a plasmei în medii gazoase și aplicarea ei în nanotehnologii. Catalog oficial Expoziția Internațională Specializată INFOINVENT 25-28 noiembrie 2015. AGEPI 2015. P. 91-92.
42. Topala P., Tighineanu I., Ojegov A., **Hirbu A.** Method of formation nano-metric oxide and hydro-oxide strata in amorphous state. Materials of the XIX-th Internation Exhibition of Research, Inovation and Tehnological Transfer Inventica 2015. pp. 329-331. ISSN 1844-7880.
43. **Hirbu A.**, Topala P., Canțer V., Ojegov A. Multi-canal electrode for plasma formation by electrical discharges in impulse with auto-ionization. Materials of the XIX-th Internation Exhibition of Research, Inovation and Tehnological Transfer Inventica 2015. pp. 326-327. ISSN 1844-7880.
44. **Hirbu A.**, Topala P., Canțer V., Ojegov A. Method and device for plasma formation by electrical discharges in impulse. Materials of the XIX-th Internation Exhibition of Research, Inovation and Tehnological Transfer Inventica 2015. pp. 327-329. ISSN 1844-7880.

ADNOTARE

Hîrbu Arefa. **Titlul** Procese fizice de excitare și relaxare a moleculelor în medii gazoase. **Lucrarea este compusă** din introducere, cinci capitole, concluzii generale, bibliografie din 120 titluri, 117 pagini (pînă la bibliografie), 166 formule, 47 figuri, 3 tabele. Rezultatele obținute sînt publicate în 51 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: descărcări electrice în impuls, plasmă, excitare, relaxare, mediu gazos, sticlă optică, suprafețe metalice.

Domeniul de studiu – fizică. **Scopul tezei** este cercetarea teoretico-experimentală a proceselor fizice de excitare și relaxare a mediilor gazoase în vederea obținerii plasmei și analizei interacțiunii ei cu substanță. **Obiectivele lucrării:** studiul stadiului actual privind cercetările proceselor fizice de excitare și relaxare a mediilor gazoase; cercetarea teoretică și experimentală a condițiilor de obținere a plasmei în condiții de laborator; proiectarea și elaborarea instalației experimentale pentru obținerea plasmei în condiții de laborator; elaborarea modelului matematic referitor la cercetarea proceselor fizice în medii gazoase și interacțiunea plasmei cu substanță; cercetarea experimentală a interacțiunii plasmei cu corpuri solide.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării constă în: elaborarea electrozilor de construcție specială utilizați în generatorul de impulsuri electrice pentru obținerea plasmei fără dispozitive auxiliare de ionizare preventivă a mediului gazos cercetat; utilizarea plasmei la excitarea multifonică a moleculelor de sticlă optică și apariția radiației secundare în ea; cercetarea interacțiunii plasmei cu suprafețele metalice în vederea obținerii micro- și nano-structurilor.

Problema științifică importantă soluționată: *fundamentarea științifică a proceselor fizice de excitare și relaxare a moleculelor mediilor gazoase în vederea obținerii plasmei și interacțiunii ei cu substanță (sticle optice colorate și suprafețe metalice).*

Importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării este asigurată de: analiza bazelor teoretice privind procesele fizice de excitare și relaxare a mediilor gazoase și a corpurilor solide; obținerea plasmei în condițiile de laborator care evită utilizarea unor dispozitive auxiliare de ionizare preventivă a mediului activ, ceea ce nu cere sincronizarea dintre descărcarea de bază și momentul cînd ionizarea interstițiului este maximală; în rezultatul interacțiunii plasmei căpătate cu suprafața diferitor materiale se obțin structurile de ordinul nanometric, iar însăși plasma poate fi aplicată la construcția generatoarelor cuantice în mediile gazoase neagresive, precum și în scopul sterilizării obiectelor din medicină.

АННОТАЦИЯ

Автор – Хырбу Арефа. **Тема** – Физические процессы возбуждения и релаксации газовых сред. **Работа состоит** из введения, пяти глав, выводов, библиографии, включающей 120 наименований, 117 страниц (до библиографии), 166 формул, 47 рисунков, 3 таблицы. Полученные результаты опубликованы в 51 научной работе.

Ключевые слова: электрические импульсные разряды, плазма, возбуждение, релаксация, газовая среда, оптическое стекло, металлические поверхности.

Область исследования – физика. **Целью диссертации** является теоретико-экспериментальные исследования физических процессов возбуждения и релаксации газовых сред для получения плазмы и анализа ее взаимодействия с веществом. **Задачи диссертации:** изучение текущего состояния по проблеме исследований физических процессов возбуждения и релаксации газовых сред; теоретические и экспериментальные исследования условий получения плазмы в лабораторных условиях; проектирование и разработка экспериментальной установки для получения плазмы в лабораторных условиях; разработка математической модели по исследованию физических процессов возбуждения и релаксации в газовых средах и взаимодействию плазмы с веществом; экспериментальные исследования взаимодействия плазмы с твердым веществом.

Новизна и научная оригинальность работы заключается в следующем: разработка электродов специальной конструкции, используемых в генераторе электрических импульсов для получения плазмы без вспомогательных устройств для предварительной ионизации исследуемой газовой среды; использование плазмы для многофотонного возбуждения молекул оптического стекла и появления вторичного излучения в нем; исследование взаимодействия плазмы с металлическими поверхностями с целью получения микро- и наноструктур.

Решаемая научная проблема: *научное обоснование физических процессов возбуждения и релаксации молекул газовых сред с целью получения плазмы и ее взаимодействия с веществом (цветными оптическими стеклами и металлической поверхностью).*

Теоретическое и прикладное значение данной работы заключается в следующем: анализ теоретических основ по вопросу физических процессов возбуждения и релаксации газовых сред и твердых тел; получение плазмы в лабораторных условиях без использования вспомогательных устройств для предварительной ионизации рабочей среды, что не требует синхронизации основного разряда и моментом, когда ионизация межэлектродного промежутка максимальна; в результате взаимодействия получаемой плазмы с поверхностью различных материалов формируются наноразмерные структуры, а сама плазма может быть использована в конструировании квантовых генераторов в неагрессивных газовых средах, а также с целью стерилизации медицинских инструментов.

ANNOTATION

Author – Hirbu Arefa. **Title** – Physical processes of excitement and relaxation of gaseous media. **The paper consists** of introduction, five chapters, general conclusions, bibliography containing a list of 120 sources, 117 pages (until the bibliography), 166 formulas, 47 figures, and 3 tables. The obtained results are published in 51 scientific papers.

Key words: electrical discharges in impulse, plasma, excitement, relaxation, gaseous medium, optical glass, metal surfaces.

Field of study – physics. **The purpose of dissertation** is theoretico-experimental investigations aimed at the physical processes of excitement and relaxation of gaseous media in view of plasma formation and analysis of its interaction with the substance. **The objectives of dissertation** are: the study of actual state on the investigations of physical processes of excitement and relaxation of gaseous media; theoretical and experimental investigations on the conditions of plasma formation in the laboratory conditions; design and development of experimental setup for plasma formation in the laboratory conditions; development of mathematical model on the investigations of physical processes of excitement and relaxation of gaseous media and plasma interaction with the substance; experimental investigations on plasma interaction with solid substance.

Novelty and scientific originality of dissertation consist in: the development of electrodes of special construction used in the generator of electrical impulses for plasma formation without additional devices for preventive ionization of the studied gaseous medium; the use of the plasma in multiphotonic excitement of optical glass molecules and the appearance of secondary radiation in it; the investigations on the plasma interaction with metal surfaces with the aim of micro- and nano-structures formation.

The important scientific problem: *scientific explication of physical processes of excitement and relaxation of gaseous media molecules with the aim of plasma formation and its interaction with substance (color optical glass and metal surfaces).*

Theoretical importance and applied value of dissertation are provided by: the analysis of theoretical bases on the physical processes of excitement and relaxation of gaseous media and solids; plasma formation in the laboratory conditions without the use of additional devices for preventive ionization of the active medium, that avoid synchronization between the main discharge and the moment when the ionization of the gap is maximal; as a result of interaction of the obtained plasma with the surface of different materials the nanodimensional structures are formed, and the plasma itself can be used in the construction of quantum generators in non-aggressive gaseous media, as well as with the aim of medicinal tools' sterilization.

HÎRBU AREFA

**PROCESE DE EXCITARE ȘI RELAXARE A MOLECULELOR ÎN MEDII
GAZOASE**

133.01 – PROCESE FIZICE ÎN GAZE ȘI ÎN PLASMĂ

Autoreferatul tezei de doctor în științe fizice

Bun de tipar 09.06.2016
Hârtie ofset. Tipar RISO
Coli de tipar 2,0

Formatul hârtiei 60x84 1/16
Tirajul 75 ex.
Comanda nr. 260

Tipografia Universității de Stat „Alec Russo” din Bălți, m Bălți, str. Pușkin, 38
Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți
Presa universitară bălțeană, 2016

