



UNIVERSITATEA "ALEXANDRU IOAN CUZA" IAȘI
FACULTATEA DE FIZICĂ

STUDIUL PROCESELOR DE INTERACȚIUNE A PLASMELOR DE TEMPERATURĂ JOASĂ CU MATERIALE ORGANICE DE INTERES BIOMEDICAL

- Rezumatul tezei de doctorat -

Andrei Vasile NĂSTUȚĂ

Coordonator științific Prof. Dr. Gheorghe POPA

Septembrie 2012

În atenția

UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” IASI

Vă face cunoscut că în ziua de 28 septembrie 2012, orele 11:00, în sala de conferințe Ferdinand, domnul Andrei Vasile NĂSTUȚĂ va susține, în sesiune publică, teza de doctorat *Studiul proceselor de interacțiune a plasmelor de temperatură joasă cu materiale organice de interes biomedical* în vederea obținerii titlului științific de doctor în domeniul Fizică.

Comisia de doctorat are următoarea componență:

Prof dr. Diana-Mihaela MARDARE

Președinte
Director al Școlii Doctorale de la
Facultatea de Fizică
Universitatea „Al. I. Cuza”, Iași

Prof. dr. Gheorghe POPA

Conducător științific
Facultatea de Fizică
Universitatea „Al. I. Cuza”, Iași

Prof. dr. Sorin Dan ANGHEL

Referent
Facultății de Fizică
Universitatea „Babeș-Bolyai”
Cluj-Napoca

C. P. I dr. Gheorghe DINESCU

Referent
Institutul National pentru Fizica
Laserilor, Plasmei si Radiatiilor,
Bucuresti

Conf. dr. Lucel SÎRGIHI

Referent
Facultatea de Fizică
Universitatea „Al. I. Cuza”, Iași

Vă invităm pe aceasta cale să participați la sesiunea publică de susținere a tezei.

Cuprinsul tezei

1 Descărcări electrice produse în gaze la presiune atmosferică	1
1.1 Descărcări electrice produse în gaze la presiune atmosferică . . .	1
1.2 Descărcările electrice cu barieră dielectrică...	2
1.3 Surse de plasmă aplicate în medicină	4
1.3.1 Surse de plasmă termice	5
1.3.2 Surse de plasmă non-termice	6
1.3.3 Alte surse de plasmă utilizate în aplicații bio-medicale.	10
1.4 Procesele elementare fizico-chimice la interfața plasmă-mediul lichid și solid	12
1.4.1 Modificarea suprafețelor în plasmă la presiune atmosferică . . .	13
1.4.2 Polimerizarea în plasma produsă la presiune atmosferică . . .	15
1.4.3 Decontaminarea / sterilizarea asistată de plasmă...	17
2 Caracterizarea electrică a plasmelor	20
2.1 Metode electrice de diagnostic a plasmelor	21
2.1.1 Parametrii globali ai descărcării	21
2.2 Influența naturii electrodului asupra curentului de descărcare	26
2.2.1 Influența electrodului solid	27
2.2.2 Influența electrodului reprezentat de o stare lichidă	28
2.2.3 Metode electrice de determinare a vitezei medii...	29
3 Caracterizarea optică și spectroscopică a plasmelor	34
3.1 Metode spectroscopice de diagnostic a plasmelor	35
3.1.1 Spectroscopia optică de emisie	35
3.1.2 Spectroscopia ultra-violet în vid (<i>Vacuum Ultra Violet Spectroscopy</i>)	38
3.1.3 Distribuția spațială a speciilor excitate în plasmă...	40
3.1.4 Variația temporală a concentrațiilor speciilor excitate în plasmă... .	41
3.1.5 Determinarea temperaturii rotaționale	42
3.1.6 Determinarea temperaturii vibraționale	44
3.2 Metode optice de diagnostic a plasmelor	47
3.2.1 Termografia descărcării electrice la presiune atmosferică	47
3.2.2 Fotografierea ultra-rapidă a descărcării la presiune atmosferică . .	49
3.2.3 Determinarea dimensiunilor și vitezelor jetului de plasmă	53

4 Interacțiunea plasmă de tip „jet” - „material biologic”	59
4.1 Interacțiunea plasmă - „material biologic”	59
4.2 Plasma în contact cu țesutul viu uman	60
4.3 Plasma în contact cu țesutul animal	67
5 Interacțiunea plasmă de tip „jet” - microorganisme / țesut epitelial	73
5.1 Interacțiunea plasmă - microorganisme	73
5.1.1 Inactivarea microorganismelor asistată de plasmă	76
5.2 Interacțiunea plasmă - țesuturi vii	79
5.2.1 Coagularea sângelui utilizând descărcarea DBD	79
5.2.2 Stimularea regenerării țesutului epitelial lezat - modelul animal	81
6 Concluzii	86
Anexă	91
Publicații	100
Listă de tabele	107
Listă de figuri	107
Bibliografie	112

Mulțumiri

Această teză de doctorat a fost realizată în cadrul Laboratorului de Fizica Plasmei, Facultatea de Fizică, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași, România. În perioada doctoratului (2009-2012) am beneficiat de o bursă doctorală finanțată de către Fondul Social European în România, sub responsabilitatea Autorității de Management pentru Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, proiectul „Studii doctorale: portal spre o carieră de excelență în cercetare și societatea cunoașterii” [grant POSDRU/88/1.5/S/47646].

Pentru o perioadă de 8 luni (mai-decembrie 2011) am beneficiat de o bursă doctorală pentru un stagiu de cercetare, finanțată din [grant POSDRU/88/1.5/S/47646], la Leibniz Institute for Plasma Science and Technology (INP Greifswald), sub îndrumarea Prof. Dr. K.-D. Weltmann (director INP) și Prof. Dr. Th. von Woedtke (Program manager Experimental Plasma Medicine).

Doresc să adresez sincere mulțumiri domnului Prof. Dr. Gheorghe Popa, conducătorul de doctorat, pentru sprijinul și îndrumarea acordată pe tot parcursul acestei teze.

Adresez mulțumiri tuturor membrilor Facultății de Fizică, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza”, care m-au îndrumat pe toată perioada pregătirii pentru susținerea tezei, mai ales pentru sugestiile și ideile date.

De asemenea, deosebită recunoștință grupului de la Laboratorul de Fizica Plasmei, în mijlocul căruia m-am simțit ca într-o familie și am găsit un mediu adecvat realizării acestei lucrări.

Nu în ultimul rând doresc să mulțumesc familiei pentru sprijinul și înțelegerea acordată tot acest timp.

Această teză de doctorat a fost realizată pe parcursul a 3 ani (1 octombrie 2009–30 septembrie 2012). Pregătirea tezei s-a derulat în cadrul Laboratorului de Fizica Plasmei, Facultatea de Fizică, Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași, România și în cadrul Laboratorului de Surse de Plasmă, Leibniz Institute for Plasma Science and Technology– INP, din Greifswald, Germania.

Teza „Studiul proceselor de interacțiune a plasmelor de temperatură joasă cu materiale organice de interes biomedical” este structurată pe 5 capitole urmate de concluziile generale, o anexă, lista cu publicații, lista cu tabele, lista cu figuri și bibliografia. Primul capitol are caracter documentar, prezentând sursele de plasmă utilizate în domeniul biomedical cât și procesele generale ce au loc la interfața dintre descărcările electrice în gaze la presiune atmosferică și diferite medii solide sau lichide. Următoarele două capitole (2-3) prezintă diagnoza electrică, optică și spectroscopică a surselor de plasmă utilizate experimental de autor. Capitolele 4 și 5 prezintă studiul interacțiunii dintre plasmă caracterizate în capitolele anterioare și unele materiale de interes biomedical. Capitolele 2-5 cuprind contribuțiile originale ale autorului, urmate de un capitol care se referă la concluziile generale ale studiilor întreprinse. Teza mai cuprinde o anexa ce cuprinde informații referitoare la țesutul epitelial, leziunile pielii, regenerarea epidermei sau stresul oxidativ. Documentarea științifică a tezei este materializată prin cele 131 referințe bibliografice, reprezentând titluri relevante din literatura de specialitate.

Obiectivele acestei teze sunt de a caracteriza din punct de vedere electric, optic și spectroscopic o sursă de plasmă de temperatură joasă la presiune atmosferică, de tip „jet de plasmă” și a proceselor de interacțiune a acestor tipuri de descărcări electrice cu suprafața materialelor organice de interes biomedical.

Teza începe cu un capitol bibliografic: **Descărcări electrice produse în gaze la presiune atmosferică** în care este prezentată o scurtă introducere în care se precizează încadrarea subiectului lucrării în domeniul interdisciplinar „Plasma - Medicine”. După aceasta urmează prezentarea celor mai utilizate surse de tip jet de plasmă la presiune atmosferică, parametri de lucru sau configurațiile electrodice ale acestora. Capitolul este dedicat surselor de plasmă produse la presiune atmosferică întâlnite în literatură cât și cele existente deja pe piață (cum sunt: „Plason”, „Plasma Needle”, „MicroPlaSter”, „Plasma Pencil”, „FE-DBD”, „KINPen”, „hairlINePlasma” sau „2D multi jet”). Urmează prezentarea celor mai importante procese fizico-chimice care au loc la interfața plasmă - medii solide/lichide. Sunt prezentate general procese cum ar fi: activarea și funcționalizarea, gravarea, reticularea, polimerizarea în plasmă, decontaminarea și sterilizarea.

În capitolul 2 **Caracterizarea electrică a plasmei** sunt prezentate metodele clasice de caracterizare electrică a plasmelor la presiune atmosferică investigate folosindu-se metoda vizualizării și măsurării tensiunii electrice pe descărcare și a intensității curentului electric prin descărcare. Astfel au fost determinate puterea consumată de descărcare și cantitatea de sarcină electrică transportată.

Experimental au fost investigate două descărcări electrice în gaze de tip jet de plasmă, la presiune atmosferică: o descărcare cu barieră dielectrică (DBD) și o descărcare cu barieră rezistivă (RBD).

Pentru cazul sursei de plasmă DBD au fost utilizate trei aranjamente ale electrozilor descărcării, și anume:

* doi electrozi: cel de putere dispus pe tub iar cel legat la împământare, foița metalică acoperită cu dielectric, dispus la o distanța „d” în fața tubului descărcării, *DBD-1*;

* un electrod de putere dispus pe tubul de cuarț al descărcării, *DBD-2*;

* doi electrozi: cel de putere și cel legat la împământare sunt dispuși pe tubul de cuarț al descărcării, *DBD-3*.

Experimental a fost aplicată o diferență de potențial de tip treaptă între electrozii descărcării cu amplitudinea de 4-8 kV pentru sursele de plasmă *DBD-1*, *DBD-2*, și *DBD-3*, cu o frecvență de repetiție de 2 kHz. Pentru sursa de plasmă *RBD* a fost aplicată o diferență de potențial de tip sinus între electrozii descărcării cu amplitudinea de 1,8-5,2 kVpp, cu o frecvență de repetiție de 18 kHz.

Pentru a urmări influența naturii electrodului suplimentar introdus în plasma descărcării electrice de tip jet a fost utilizată sursa de plasmă *DBD-3*. Poziționând contraelectrodul (bandă de aluminiu, sticla, deget uman) la o distanță de 1 cm de marginea tubului descărcării au fost achiziționate oscilogramele evoluțiilor temporale ale intensităților, respectiv ale căderilor de tensiune pe descărcarea *DBD-3*.

Se observă experimental că, pentru cazul în care descărcarea funcționează cu 2 electrozi valoarea maximă a primului puls de curent apare la 3,5 μ s cu o amplitudine de 3,06 mA, iar la al doilea puls de curent apare la 28,8 μ s cu o amplitudine de 0,6 mA.

În capitolul 3 **Caracterizarea optică și spectroscopică plasmei** sunt prezentate tehnicile de diagnoză optice și spectroscopice utilizate în lucrarea de față. Utilizând spectroscopia optică de emisie au fost identificate speciile atomice și moleculare generate în plasmă. Prin această tehnică au fost determinate și caracteristicile energetice ale descărcării, prin intermediul temperaturilor de rotație și vibrație-rotatie al unor molecule simple. Experimental au fost investigate sursele de plasmă: *DBD-1*, *DBD-2*, *DBD-3* și *RBD*. Descărcările electrice în gaze de tip „jet de plasmă” studiate prezintă în spectru de emisie optică (250-850 nm) liniile emise de gazul de lucru He, dar și linii / benzi ale impurităților: N₂, N⁺₂, OH, O [1–4]. Experimental se observă o redistribuire a intensităților liniilor/benzilor spectrale, în funcție de sursa de plasmă studiată.

În subcapitolele **Determinarea temperaturii rotaționale** și **Determinarea temperaturii vibraționale** sunt prezentate metodele de determinare a temperaturilor de rotație și de rotație-vibrație a ionilor moleculari respectiv a moleculelor de azot prezente în volumul descărcărilor investigate. Au fost determinate valorile T_r ca fiind 560 K și 470 K (\pm 30 K) pentru sursa *DBD-1* respectiv *DBD-2/3*. De asemenea au fost determinate valorile temperaturii T_v în spațiul dintre electrozii descărcării ca fiind cuprinsă între 3500 și 2600 K (\pm 50 K).

Deoarece descărcările DBD-1, DBD-2 respectiv DBD-3 sunt plasme de neechilibru estimarea temperaturii gazului descărcării este uneori supraestimată.

În subcapitolul **Fotografierea ultra rapidă descărcării la presiune atmosferică** este prezentată tehnica de fotografiere rapidă a descărcărilor electrice în gaze utilizate. Cu ajutorul acestei tehnici se pot pune în evidență etapele formării și evoluției spațiale ale descărcării. Astfel, utilizând o camera ultra rapidă (ICCD), a fost înregistrată radiația luminoasă emisă de plasma surselor DBD-1, DBD-2, DBD-3 și RBD cu o expunere de 50 ns [1, 5]. Din imaginile ultra rapide achiziționate se observă comportamentul de „plasma bullet” atât ale surselor DBD-1, DBD-2 cât și a sursei RBD.

Utilizand imaginile ICCD au fost obținute informații privind caracteristicile geometrice și cinetice ale formațiunilor de plasmă. Aceste rezultate experimentale sunt prezentate în subcapitolul **Determinarea dimensiunilor și vitezelor jetului de plasmă**. În cazul configurației DBD-1, valoarea vitezei plasmei variază între 10 și $30 \cdot 10^4$ m/s în direcția de curgere a gazului.

În cazul configurației DBD-2, valoarea vitezei plasmei variază între 0.1 și $14 \cdot 10^4$ m/s. Pentru sursa de plasmă RBD au fost determinate valori ale vitezei medii ale formațiunii de plasmă cuprinse între 0.3 și $15 \cdot 10^3$ m/s [1]. Valorile diametrelor structurilor de plasmă pentru sursele DBD-1, DBD-2, DBD-3 respectiv RBD au fost determinate ca având valori între 0,1 și 9,0 mm și valori ale ariilor corespunzătoare cuprinse între 0,03 și 23,15 mm².

Capitolul 4 **Interacțiunea plasmă de tip „jet” - „material biologic”** este dedicat interacțiunii plasmei cu materialul biologic.

În subcapitolul **Plasma în contact cu țesutul viu uman** au fost efectuate studii privind timpul de viață al descărcării DBD-3 în contact cu pielea degetului uman. Au fost înregistrate valorile tensiunii aplicate pe electrozi și a intensității curentului de descărcare. Spectrul de emisie optică al descărcării de tip jet cuprinde speciile excitate ale He și benzile / liniile OH, N₂, N₂⁺, O. Se observa pentru cazul în care am folosit un contraelectrod că benzile corespunzătoare speciilor de azot emise de plasmă cresc în intensitate, în detrimentul liniilor corespunzătoare He și O.

Pentru o mai bună înțelegere a dinamicii plasmei în vecinătatea țesutului viu studiat (deget) a fost utilizată tehnica de fotografiere rapidă. Experimentele au vizat sursa DBD-3 în He, în doua cazuri: având ca și contraelectrod un dielectric (disc de cuarț) sau deget uman. După expansiunea plasmei în afara tubului dielectric al descărcării în aer a fost pusă în evidență, din imaginile ICCD, existența unei formațiuni de plasmă de tip „donut-shape”. Dacă plasma de tip jet este concentrată asupra unui contraelectrod, formațiunea de plasmă se răspândește pe suprafața acestuia până la extincție.

În subcapitolul **Plasma în contact cu țesutul animal** au fost efectuate studii privind comportamentul electric și spectral al descărcării de tip jet DBD-3 în contact cu trei tipuri de țesut animal „mort” pentru a urmări interacțiunea complexă a plasmei la interfața cu țesutul biologic. Ca și în studiul anterior (interacțiunea plasmă-țesut viu deget), au fost utilizate metode electrice și optice de diagnoză a

plasmei la interfața cu țesutul animal (adipos, epitelial, muscular de origine porcină).

Experimental au fost înregistrate diferențe între trasele curent-tensiune în funcție de natura țesutului animal studiat. De asemenea diferențe au fost observate și în spectrele de emisie cât și în trasele obținute cu fotomultiplicatorul. Un aspect important, din punct de vedere aplicativ în bio-medicină, este că apar benzile corespunzătoare moleculelor de NO în spectrele de emisie a sursei de plasmă, doar la interfața cu țesutul tratat. Totuși atât semnalele globale cât și cele pe specii, obținute cu fotomultiplicatorul, au amplitudini și durate mai mici decât în cazul studiului interacțiunii plasmă-suprafața degetului.

Capitolul 5 al tezei **Interacțiunea plasmă de tip „jet” - microorganisme / țesut epitelial** este dedicat aplicării jeturilor de plasmă pentru sterilizare, inactivare a microorganismelor și pentru studii afectării țesuturilor vii.

Primul subcapitol **Inactivarea microorganismelor asistată de plasmă** se axează pe studiul efectului de inactivare a bacteriilor *Escherichia coli* și *Pseudomonas aeruginosa* sub acțiunea plasmei DBD. Pentru ambele tipuri de bacterii s-a constatat o dependență liniară a creșterii diametrului zonei inhibitate de timpul de expunere în plasmă (în intervalul 25 – 100 s), efectul inhibitor fiind atribuit speciilor reactive din plasmă: N_2 , N_2^+ , O și chiar O_3 [4].

În subcapitolul **Stimularea regenerării țesutului epitelial lezat - modelul animal** sunt prezentate rezultate experimentale privind stimularea vindecării (reepitelizare) țesutului epitelial (piele) animal în urma tratamentelor în descărcarea electrică în gaze de tip „jet de plasmă” DBD-1, la presiune atmosferică.

Experimentele au fost efectuate pe șobolani Wistar, urmărind un protocol elaborat de Dr. C. Grigoraș. Astfel au fost utilizate 3 grupe de șobolani Wistar sănătoși, împărțite astfel: **CG** = grup de control; **UTW** = șobolani cu arsuri de piele ce s-au vindecat natural; **PTW** = șobolani cu arsuri de piele care au fost tratați în plasma de tip jet.

Pentru a studia reepitelizarea indusă de plasmă, a fost utilizat un model de arsură, chimică, pe pielea de șobolan Wistar. După efectuarea rănilor, exemplare aparținând grupului PTW au fost supuse tratamentelor în descărcarea DBD-1. Durata tratamentului în plasmă a fost de 40 s pentru fiecare leziune, timp de 21 de zile.

După efectuarea tratamentelor în plasmă a leziunilor, au fost prelevate probe biologice în zilele 3, 8, 14 și 21 de producere a rănilor pentru teste biochimice și de histologie [3, 6].

În urma efectuării testelor biochimice s-a observat că, pentru probele tratate în plasmă (PTW), în primele zile (3-8) valorile acestor parametrii sunt ușor mai mari decât cele ale probelor martor (CG), ulterior, pentru zilele de analiză 14 și 21 apropiindu-se de normal. Acest fapt, pentru probele PTW, poate fi pus pe seama speciilor de oxigen reactive din plasmă. De asemenea, nivelul crescut al stresului oxidativ, în aceste probe, are ca efect o decontaminare locală și stimularea celulelor sănătoase.

Testele de histologie au oferit informații asupra comportamentului componentelor pielii în urma tratamentelor în plasmă față de leziunile regenerate spontan. În urma acestor teste s-a observat o accelerare a epitelizării zonelor lezate, pentru cazul în care rănille au fost tratate în plasmă. Pentru o reepitelizare completă durata necesară refacerii scade aproximativ la jumătate (3 săptămâni) pentru leziunile tratate în plasmă față de cele netratate.

În finalul manuscrisului tezei sunt conturate principalele **Concluzii** desprinse din capitolele 2-5:

1) Pe baza măsurărilor efectuate asupra parametrilor electrici ai descărcării electrice în gaze de tip „jet de plasmă” la presiune atmosferică DBD și ținând cont de geometria descărcării au fost calculați parametrii caracteristici plasmei: intensitatea curentului electric (1-2 mA) prin plasma DBD, tensiunea electrică pe regiunea de plasmă (4-8 kV), precum și puterea electrică transferată descărcării (15-20 W). De asemenea a fost prezentată o metoda electrică pentru estimarea vitezei medii de propagare a jetului de plasmă.

2) În studiul de față a fost investigată influența naturii contraelectrodului (solid / lichid, conductor / izolator) asupra intensității curentului de descărcare. Au fost utilizați ca și contraelectrozi bandă de aluminiu, lamele de sticlă, soluții de apă distilată, soluție buffer, ser fiziologic și țesut viu (deget uman). S-a observat experimental atât o deplasare cât și o creștere a duratei pulsurilor de curent a descărcării de tip jet în funcție de tipul contraelectrodului.

3) Au fost identificate speciile active din acest tip de plasmă: OH, N₂, N⁺₂, O prin intermediul spectroscopiei optice de emisie. În urma determinării valorilor temperaturilor caracteristice rotaționale și vibraționale s-a ajuns la concluzia că descărcarea de tip „jet” este o plasmă „rece”. Acest fapt este pus în evidență prin valoarea temperaturii de rotație, T_r 560 K (± 30 K) în cazul sursei DBD-1, respectiv T_r 470 K (± 30 K) în cazul sursei DBD-2. Valorile temperaturii de vibrație-rotație (T_v) a moleculelor de azot, pentru cele două configurații utilizate ale descărcării, sunt cuprinse între 3500 K (± 50 K), în apropierea electrodului de înaltă tensiune, și 2600 K (± 50 K) la 10 mm față de tubul descărcării. Aceste valori sunt apropiate de cele raportate în literatura de specialitate pentru acest tip de plasmă.

4) Fotografierea ultra rapidă a fost utilizată pentru a surprinde evoluția spațio – temporală a descărcării de tip „jet de plasmă”. Am observat un maxim al valorii vitezei de propagare a jetului de plasma de 30*10⁴m/s pentru DBD-1 și 14*10⁴m/s pentru DBD-2 în cazul descărcării primare, respectiv 7 * 10⁴m/s pentru DBD-1 și 4 * 10⁴m/s pentru DBD-2 în cazul descărcării secundare. Pentru sursa RBD valorile vitezei de propagare a jetului de plasmă sunt cuprinse între 0,3 și 15 * 10³m/s. De asemenea trei regiuni ale vitezei de propagare a jetului de plasmă au fost identificate: o regiune de accelerare, o regiune de viteză constantă respectiv o regiune de decelerare, având distribuții spațiale diferite, în funcție de configurația electrozilor descărcării.

5) Dinamica plasmei în vecinătatea țesutului viu (deget) a fost studiată utilizând metode electrice, optice și spectroscopice de diagnoză cu scopul de a

„modela” interacțiunea plasmă-organism viu. Utilizând tehnica fotografierii rapide a fost pusă în evidență existența unei formațiuni de plasmă aflată în imediata vecinătate a degetului. Atât dimensiunile spațiale cât și durata de ședere a acesteia în vecinătatea degetului au fost determinate. Valorile duratei de interacțiune au fost determinate ca fiind cuprinse între 10–16 μ s, iar dimensiunile de interacțiune plasmă-suprafața degetului au valori cuprinse între 0,8–2,4 mm.

6) Pentru a urmări interacțiunea plasmă-țesut animal (mort), au fost efectuate studii privind durata de viață a formațiunii de plasmă din vecinătatea țesutului animal. Dinamica plasmei în vecinătatea țesutului animal mort (adipos, epitelial sau muscular) a fost studiată utilizând metode electrice și spectroscopice. Un aspect important, din punct de vedere aplicativ, este că apar benzile corespunzătoare moleculelor de NO, doar la interfața plasmă-țesut animal.

7) În urma tratamentelor în descărcarea electrică a microorganismelor am observat o creștere a zonelor de inhibare a coloniilor de *Escherichia coli* și *Pseudomonas aeruginosa* odată cu creșterea duratei de tratament (20-100 s). Efectul bactericid al descărcării DBD fiind pus pe seama a speciilor reactive din plasmă.

8) Plasma de tip jet a fost utilizată și pentru tratarea arsurilor epiteliale efectuate pe pielea dorsală a șobolanilor Wistar. Aceste leziuni au fost produse utilizând tehnica arsurii chimice (soluție de acid sulfuric). În urma tratamentelor în plasma de tip jet s-a observat experimental o reepitelizare accelerată a leziunilor față de cele care s-au vindecat natural. Astfel, utilizând sursa DBD-1 pentru tratarea zilnică a rănilor, timp de 40 s, durata necesară regenerării țesutului epitelial lezat se înjumătățește față de durata necesară vindecării naturale a acestora.

Articole publicate:

1. T. Gerling, **A. V. Nastuta**, R. Bussiahn, E. Kindel, K.-D. Weltmann, Back and forth directed plasma bullets in a helium atmospheric pressure needle-to-plane discharge with oxygen admixtures, *Plasma Sources Sci. Technol.*, 21(3):034012; IUN 2012, 2 citari, s.i.a.: 0,843

2. I. Topala, **A. V. Nastuta**, Helium atmospheric pressure plasma jet: diagnostics and application for burned wounds healing, *Plasma for Bio- Decontamination, Medicine and Food Security*, Ed. Springer Netherlands, 335-345, ISBN:978-94-007-2852- 3; FEB 2012

3. **A. V. Nastuta**, I. Topala, G. Popa, ICCD imaging of atmospheric pressure plasma jet behavior in different electrode configurations, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 39(11-1):2310-2311, NOV 2011, 1 citare, s.i.a.: 0,423

4. **A. V. Nastuta**, I. Topala, C. Grigoras, V. Pohoata, G. Popa, Stimulation of wound healing by helium atmospheric pressure plasma treatment, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 44(10):105204; MAR 2011, 3 citari, s.i.a.: 0,898

5. C. Grigoras, I. Topala, **A. V. Nastuta**, D. Jitaru, I. Florea, L. Badescu, D. Ungureanu, M. Badescu, N. Dumitrascu, Influence of atmospheric pressure plasma treatment on epithelial regeneration process. *Rom. J. Phys.*, 56(S):54-61; IUN 2011

6. A. Poiata, I. Motrescu, **A. V. Nastuta**, D. E. Creanga, G. Popa, Microorganism response to atmospheric pressure helium plasma DBD treatment. J. Electrostat., 68(2):128-131; APR 2010, 3 citari, s.i.a.: 0,457
7. A. S. Chiper, B. G. Rusu, **A. V. Nastuta**, G. Popa, On the discharge parameters of a glow-mode DBD at medium and atmospheric pressure. IEEE Trans. Plasma Sci., 37(10):2098-2102; OCT 2009, 6 citari, s.i.a.: 0,445

Articole publicate în afara temei tezei:

1. Crisan D., Dragan N., Raileanu M., Crisan M., Ianculescu A., Luca, D., **Nastuta A.**, Mardare D., Structural study of sol-gel Au/TiO₂ films from nanopowders. Appl. Surface Sci., 257(9):4227-4231; FEB 2011, s.i.a.: 0,549
2. Schrittwieser R., Ionita C., Murawski A., Maszl C., Asandulesa M., **Nastuta A.**, Rusu G., Douat C., Olenici S. B., Vojvodic I., Dobromir M., Luca D., Jaksch S., Scheier P., Cavity-hollow cathode-sputtering source for titanium films. J. Plasma Phys., 76(3-4):655-664; IAN 2010, 1 citare, s.i.a.: 0,305

În perioada octombrie 2009-septembrie 2012 am participat la un numar de 13 conferințe naționale/internaționale : 4 prezentari orale, 9 prezentari poster.
s.i.a.= scor de influență absolut

Bibliografie selectivă

- [1] T. Gerling, A. V. Nastuta, R. Bussiahn, E. Kindel, K.-D. Weltmann. Plasma Sources Sci. Techn., 21(3):034012, 2012.
- [2] A. S. Chiper, B. G. Rusu, A. V. Nastuta, G. Popa. IEEE Trans. Plasma Sci., 37(10):2098-2102, 2009.
- [3] A. V. Nastuta, I. Topala, C. Grigoras, V. Pohoata, G. Popa. J. Phys D: Appl. Phys., 44(10):105204, 2011.
- [4] A. Poiata, I. Motrescu, A. V. Nastuta, D.E. Creanga, G. Popa. J. Electrostat., 68(2):128-131, 2010.
- [5] A. V. Nastuta, I. Topala, G. Popa. IEEE Trans. Plasma Sci., 39(11):2310-2311, 2011.
- [6] C. Grigoras, I. Topala, A. V. Nastuta, D. Jitaru, I. Florea, L. Badescu, D. Ungureanu, M. Badescu, N. Dumitrascu. Rom. J. Phys., 56(S):54-61, 2011.