



UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
Școala Doctorală de Fizică

Surse de plasmă de radiofrecvență cu barieră de dielectric

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Maximilian-Vlad Teodorescu

Conducător științific:
Cercetător Științific Gradul I Dr. Gheorghe Dinescu

-2012-

INVITAȚIE

.....
Vă invităm să participați miercuri, **24 Octombrie 2012**, ora 12⁰⁰, în
Amfiteatrul 4 al Facultății de Fizică, Universitatea din București, la susținerea publică
a Tezei de doctorat intitulată:

Surse de plasmă de radiofrecvență cu barieră de dielectric

elaborată de domnul:

MAXIMILIAN-VLAD TEODORESCU

în vederea obținerii titlului de Doctor în fizică.

Comisia de doctorat este formată din:

Președinte:	Prof. Univ. Dr. Daniela Dragoman	Director, Școala Doctorală de Fizică, Universitatea din București.
Conducător Științific:	CS I Dr. Gheorghe Dinescu Profesor Școala Doctorală de Fizică	Institutul Național de Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației. Universitatea din București.
Membri:	Conf. Dr. Mariana Osiac Prof. CSI Dr. Nicolae Mandache Prof. CSI Dr. Viorel Braic	Facultatea de Fizica, Universitatea din Craiova Institutul Național de Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației. Institutul Național pentru Optoelectronică INOE 2000

Prefață

Această teză este prezentată la Facultatea de Fizică a Universității din București (FFUB).

Lucrarea de față a fost elaborată la Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației (INCDFLPR) în Laboratorul de Plasmă de Temperatură Joasă în cadrul Grupului de Procese în Plasmă, Materiale și Suprafețe, grup condus de Cercetător științific gradul I Dr. Gheorghe Dinescu în cadrul institutului și Profesor asociat la Facultatea de Fizică a Universității din București. Prof. Dr. Gheorghe Dinescu este și conducătorul acestei teze de doctorat.

Finanțarea acestei lucrări a fost realizată în cadrul următoarelor programe de cercetare, respectiv proiecte:

Program PNCDI II:

- IDEI: Plasme reci la presiune atmosferică, fenomene de descărcare și proprietăți, ID_1999/2008 – 2011.
- CATENDO: Procesare cu plasmă pentru creșterea duratei de viață a cateterelor de endoproteza reureterală, D71-226/2008 – 2011.
- PLASMOS: Metode spectroscopice pentru controlul procesării cu plasmă de presiune atmosferică a materialelor sensibile la temperatură, D72-225/2008 – 2011.

Mulțumiri

Finalizarea acestei teze a fost posibilă numai cu ajutorul unui grup de persoane alături de care am efectuat activitatea de cercetare și care mi-au oferit sprijin și ajutor. Doresc să ofer cele mai sincere mulțumiri și toată considerația tuturor dintre aceste persoane.

În acest sens datorez o deosebită recunoștință domnului Prof. Dr. Gheorghe Dinescu, atât în calitatea sa de conducător științific cât și pentru exigența manifestată pe parcursul elaborării prezentei teze. Doresc să-i mulțumesc pentru încrederea pe care mi-a acordat-o în ultimii șase ani, perioadă în care domnia sa a avut rolul decisiv în formarea mea ca cercetator științific.

Mulțumesc onoratilor membri ai comisiei pentru că au investit timp în examinarea tezei și participarea la prezentarea publică: Prof. Dr. Daniela Dragoman, Conf. Dr. Mariana Osiac, Prof. CS I Dr. Nicolae Mandache, Prof. CS I Dr. Viorel Braic.

De asemenea, aș dori să mulțumesc colegilor și prietenilor cu care am plăcerea să colaborez în cadrul proiectelor de cercetare derulate în grupul Procese în Plasmă, Materiale și Suprafețe – Laboratorul de Plasmă de Temperatură Joasă: Dr. Bogdana Mitu, Dr. Sorin Vizireanu, Dana Ioniță, Cristian Stancu, Rosini Ioniță, Daniel Stoica, Ion Nicolae, Dr. Tomy Acseente, Claudia Stancu, Veronica Sătulu, Dr. Andrada Lazea, Monica David, Mihaela Martin, Ștefania Niculescu.

Lucrari stiintifice cotate ISI

Articolele prezentate mai jos, publicate in reviste ISI, sunt in conexiune directa cu cercetarea prezentata in aceasta teza. De asemenea tot in conexiune directa sunt si o mare parte dintre lucrarile publicate in extenso in volume *Proceedings* la conferinte (prezentate in Lista de lucrari de la finalul tezei), cat si doua brevete de inventie, de asemenea mentionate mai jos.

M. Teodorescu, M. Bazavan, E. R. Ionita and G. Dinescu, *Characterization of an argon radiofrequency plasma jet discharge continuously passing from low to atmospheric pressure*, Plasma Sources Sci. Technol. 21 (2012) 055010.

M. D. Ionita, M. Teodorescu, T. Acsente, M. Bazavan, E. R. Ionita, G. Dinescu, *Remote surface modification of polymeric foils by expanding atmospheric pressure radiofrequency discharges*, Romanian Journal of Physics, 56 (2011) 132-138.

E. C. Stancu, A.M. Stanciuc, M.D. Ionita, M. Teodorescu, L. Moldovan, G. Dinescu, *Atmospheric pressure plasma preparation of micropatterned teflon surfaces for interaction with cells*, Romanian Journal of Physics, vol 56 (2011) 149-155

M.D. Ionita, M. Teodorescu, C. Stancu, E.C. Stancu, E.R. Ionita, A. Moldovan, T. Acsente, M. Bazavan, G. Dinescu, *Surface modification of polymers at atmospheric pressure in expanding RF plasmas generated by planar dielectric barrier discharges*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 12, 3 (2010) 777-782

E.R Ionita, M.D. Ionita, C. E. Stancu, M. Teodorescu, G. Dinescu, *Small size plasma tools for material processing at atmospheric pressure*, Applied Surface Science, 255 (2009) 5448-5452

C. Stancu, M. Teodorescu, A. C. Galca, G. Dinescu, *Carbon layers cleaning from inside of narrow gaps by a RF glow discharge*, Surface & Coatings Technology, 205 (2011) P S435-S438

G. Dinescu, E.R. Ionita, M. Teodorescu, C. Stancu. T. Acsente, M. Bazavan, *Radiofrequency expanding plasma sources at atmospheric pressure applications*, 4th International Congress on Cold Atmospheric Pressure Plasmas: Sources and Applications, (4th CAPPISA) Proceedings (2009) 17-22.

Brevete de inventie

G. Dinescu, M. Teodorescu, E. R. Ionita, E. C. Stancu, "Sistem cu plasma de presiune atmosferica si metoda pentru tratarea suprafetelor interioare ale tuburilor dielectrice", aplicatie no. A/01353, (08.12.2011).

G. Dinescu, M. Teodorescu, E.C. Stancu, E. Grosu, C. Stanescu, "Modificarea in plasma de presiune atmosferica a suprafetei exterioare a obiectelor cilindrice (tuburi, fire, bare) realizate din polimeri", aplicatie no. A/01170 (16.11.2011)

Cuprins

Introducere

Capitolul I. Abordări experimentale actuale în domeniul elaborării surselor de plasmă DBD

- I.1 Aspecte generale
- I.2 Surse DBD elaborate de alți autori

Capitolul II. Metode experimentale utilizate pentru generarea și caracterizarea plasmelor DBD de radiofrecvență

- II.1 Configurații electrodice și geometrii abordate;

- II.1.1 Surse planare de plasmă de radiofrecvență cu barieră de dielectric

- II.1.1.1 Configurații DBD plan paralele cu două bariere de dielectric*

- II.1.1.2 Configurații DBD plan paralele cu o singură barieră de dielectric*

- II.1.1.3 Configurație DBD tip “pană” cu generare de jet de plasmă trapezoidal focalizat*

- II.1.1.4 Configurație DBD plan paralelă cu ieșire a plasmei prin electrod sită*

- II.1.2 Surse de plasmă cu barieră de dielectric cu simetrie axială

- II. 1.2.1 Configurație DBD cu barieră cilindrică cu electrozi longitudinali*

- II. 1.2.2 Configurații DBD cu barieră cilindrică și electrozi inelari*

- II. 1.2.3 Configurație DBD cu geometrie cilindrică cu un electrod inelar și un electrod fir în contact cu plasma*

- II. 1.2.4 Configurație DBD cu barieră cilindrică, unipolară, cu un electrod inelar și electrod de masă distribuit*

II. 1.3 Compatibilizarea surselor DBD cu sistemele de măsurători optice, electrice și spectrale

II. 1.3.1 Compatibilizarea surselor DBD cu sistemul de imagistică. Dispozitive DBD cu facilități de vizualizare în interiorul spațiului de descărcare

II. 1.3.1.a Model DBD cu geometrie planară cu electrod transparent

II. 1.3.1.b Sursa DBD tip pană cu ferestre laterale

II. 1.3.2 Compatibilizarea surselor DBD cu lanțul de măsurători electrice

II. 1.3.3 Compatibilizarea surselor DBD cu lanțul de măsurători spectrale

Capitolul III. Diagnosticarea surselor DBD planare prin metode de imagistică, electrice și spectrale

III. 1. Stabilirea regimurilor de descărcare în cazul unei surse DBD planare cu funcționare la presiuni intermediare și mari, inclusiv la presiune atmosferică

III.1.2. Aplicarea metodelor imagistice pentru vizualizarea regimurilor de descărcare în DBD

III.1.1.1 Dependența distribuției spațiale a plasmei de presiune

III.1.1.2 Investigarea fenomenului de filamentare în DBD

III.1.1. Măsurători electrice asupra descărcărilor DBD

III.1.2.1 Dependența parametrilor electrice ai descărcării de presiune și de putere

III.1.3 Corelarea măsurătorilor imagistice cu măsurătorile electrice în cazul DBD

III 2. Aplicarea spectroscopiei de emisie pentru studiul distribuției spațiale a speciilor din jetul de plasmă planar, generat la presiune atmosferică de sursa tip DBD în configurație trapezoidală

Capitolul IV. Diagnosticarea unei surse DBD cu geometrie cilindrică, generatoare de jet de plasma filamentar

III. 3.1 Stabilirea domeniilor de operare stabile prin investigații de imagistică

III. 3.2 Caracteristici electrice ale plasmei DBD axiale

III. 3.3 Specii și temperaturi în jetul de plasmă filamentar

Capitolul V. Perspective aplicative ale plasmelor DBD

IV.1. Modificarea pe interior și exterior a suprafeței tuburilor înguste

IV.1.1 Tratarea la exterior a suprafețelor unor obiecte cilindrice

IV.1.2 Tratarea la interior a suprafețelor unor obiecte cilindrice

IV.2. Descompunerea substanțelor chimice din soluții cu jeturi DBD

IV. 3. Procesare cu plasmă a suprafețelor polimerice plane.

Concluzii generale

Bibliografie

Lista lucrărilor

Introducere:

Plasmele generate la presiune joasă se regăsesc în multe aplicații în procesarea materialelor și au un rol important în realizarea dispozitivelor semiconductoare. Temperatura gazului este de obicei sub 150⁰ C, astfel încât este posibilă și procesarea materialelor care se deteriorează ușor termic. Pe de altă parte, folosirea plasmei la presiune scăzută prezintă și dezavantaje. Sistemele de vid sunt scumpe și necesită întreținere. Manipularea materialelor în vid este efectuată cu brațe robotizate iar mărimea obiectului care va fi tratat este limitată de mărimea camerei de vid.

Plasma generată la presiune atmosferică înlătură dezavantajele create de o cameră de vid, însă dificultatea menținerii unei descărcări care produce plasmă rece și de volume mari, conduce la un nou set de provocări. Este necesară o tensiune înaltă pentru străpungerea gazului la presiune atmosferică și deseori își face apariția arcul electric între electrozi sau descărcarea este filamentară.

Pentru prevenirea apariției arcului electric și pentru scăderea temperaturii gazului au fost concepute câteva geometrii speciale, cum ar fi introducerea unei plăci izolatoare între electrozi, obținând astfel o configurare de tip DBD (Dielectric Barrier Discharge-Descărcare cu Barieră de Dielectric). Sursele de plasmă bazate pe DBD-uri pot fi utilizate pentru modificarea suprafețelor și depunerea de filme subțiri la temperatură joasă și sunt potrivite pentru o arie largă de aplicații.

Tratamentele în plasmă folosind descărcări cu barieră de dielectric la presiune atmosferică sunt evident atractive pentru cei din industrie prin faptul că se evită costurile ridicate de proiectare asociate de obicei cu plasma de vid. Descărcări cu barieră de dielectric au fost folosite în principal pentru producerea industrială a ozonului (istoric numite „silent discharges”-descărcările „liniștite” sunt generatoare eficiente de ozon), tratarea polimerilor, depuneri în plasmă, depunerea de filme subțiri, în curățarea și activarea substraturilor, pentru laserii cu CO₂ de mare putere, și lămpile în UV

cu excimeri, sterilizarea suprafețelor și materialelor, în controlul poluării și display-uri plate cu plasmă de dimensiuni mari. Viitoarele aplicații vor include tehnologii pentru controlul efectelor gazelor de seră.

Capitolul II. Metode experimentale utilizate pentru generarea și caracterizarea plasmelor DBD de radiofrecvență

Configurații planare:

-configurație DBD plan paralelă cu două bariere de dielectric cu generare de jet de plasmă planar;

-configurație DBD plan paralelă cu o singură barieră de dielectric, cu generare de jet de plasmă planar;

-configurație DBD tip “pană”, cu curgere de gaz, cu generare de jet de plasmă trapezoidal focalizat;

-configurație DBD plan paralelă cu ieșire a plasmei prin electrod sită;

Configurații cilindrice:

-configurație DBD cu barieră cilindrică, cu electrozi longitudinali, plasați la exteriorul tubului de descărcare;

-configurație DBD cu barieră cilindrică, cu electrozi inelari, plasați la exteriorul tubului de descărcare;

-configurație DBD cu barieră cilindrică, cu un electrod inelar și un electrod fir în contact cu plasma;

-configurație DBD cu barieră cilindrică, unipolară, cu un electrod inelar și electrod de masă distribuit;

II.1.1 Configurații planare

II.1.1.1 Configurații DBD plan paralele cu două bariere de dielectric

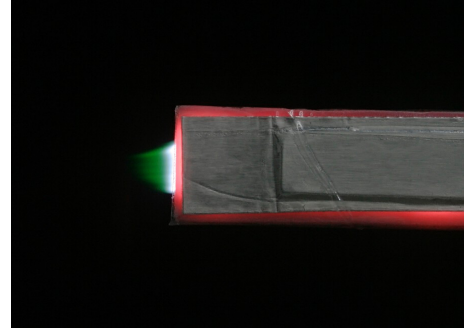
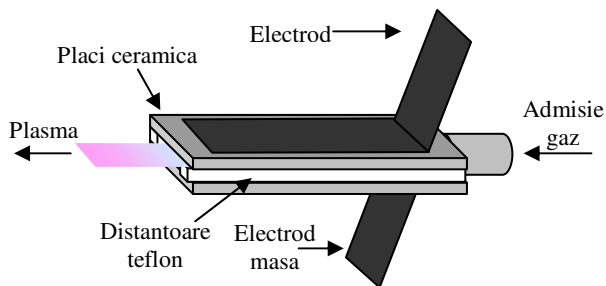


Figura II.1 Schema și imagine a descărcării DBD cu configurație plană cu două bariere de dielectric

II.1.1.2 Configurații DBD plan paralele cu o singură barieră de dielectric

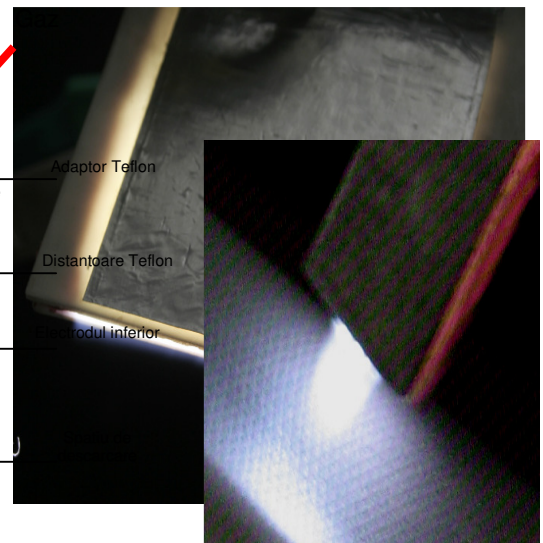
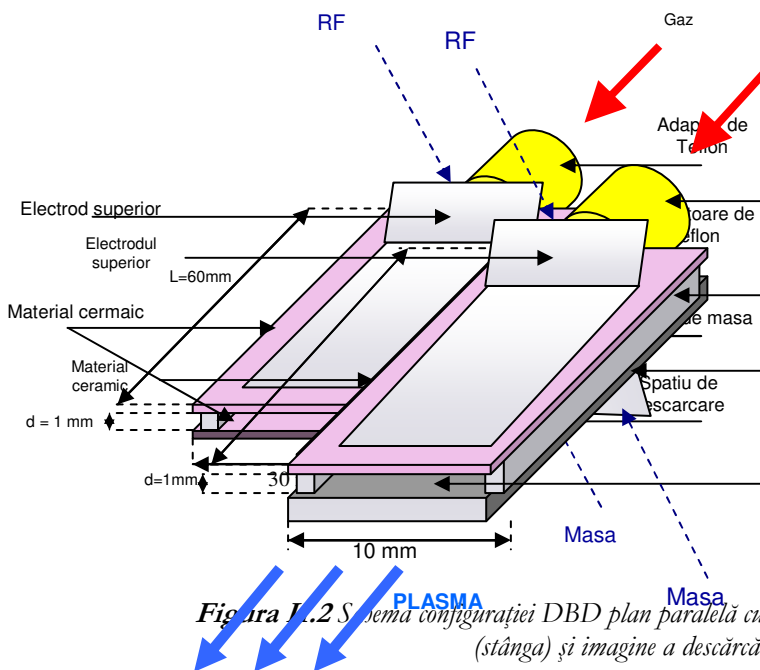


Figura II.2 Schema configurației DBD plan paralelă cu două bariere cu curgere de gaz (stânga) și imagine a descărcării (dreapta)

Figura II.3 Schema configurației DBD plan paralelă cu o singură barieră cu curgere de gaz (stânga) și imaginea descărcării (dreapta)

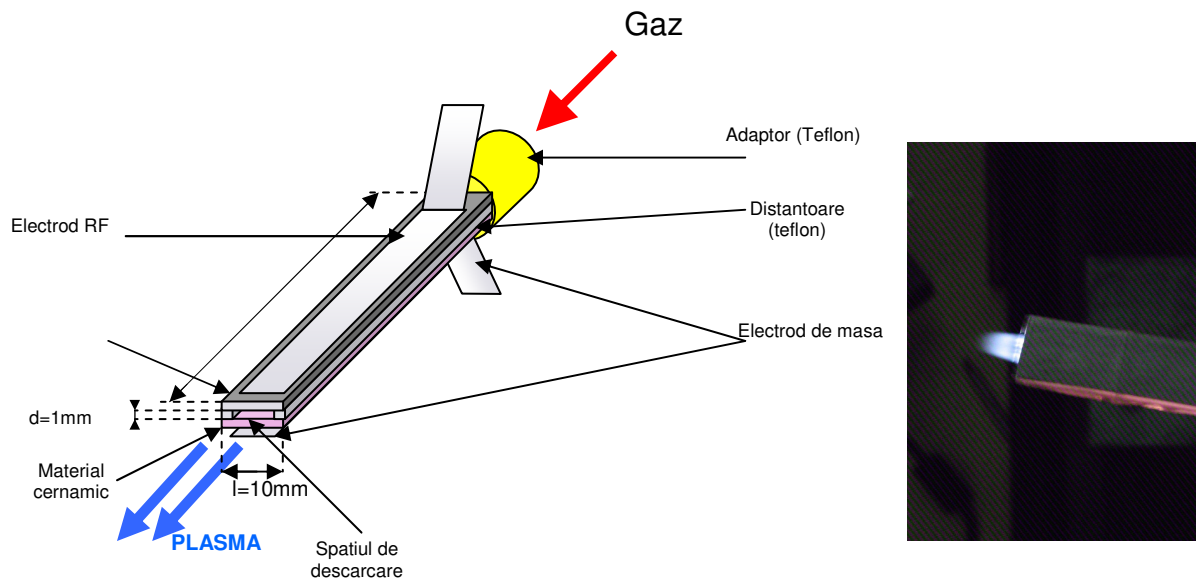


Figura II.4 Configurație DBD plan paralelă cu o singură barieră cu curgere de gaz, cu jet lung de plasmă

II.1.1.3 Configurație DBD tip “pană” cu curgere de gaz

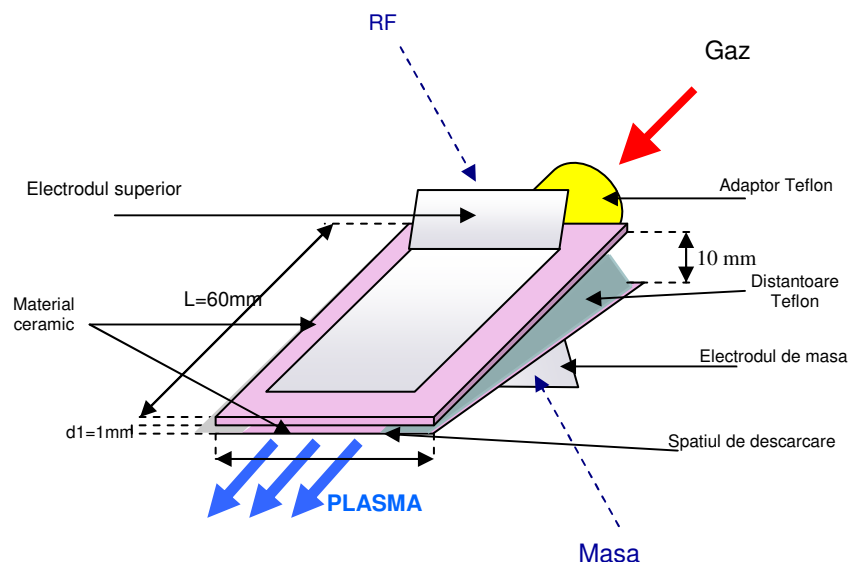
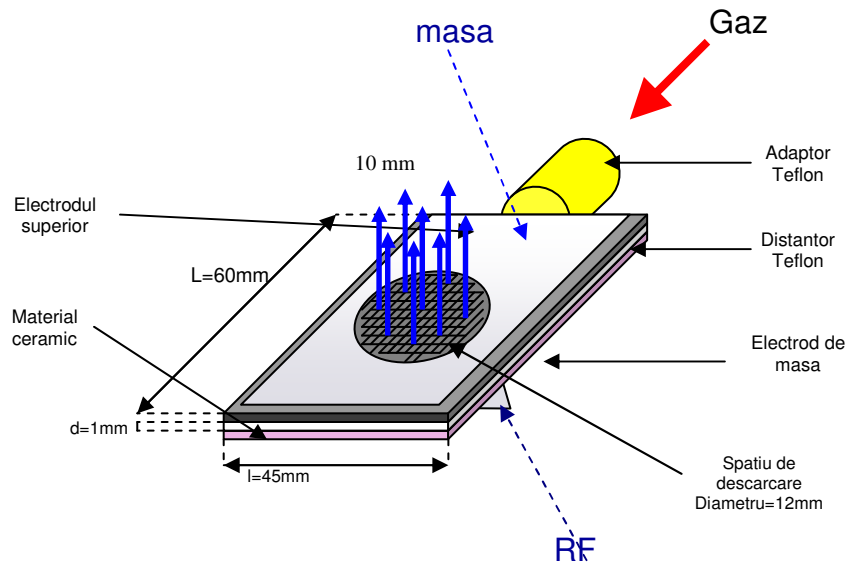


Figura II.6 Configurație DBD tip “pană” cu curgere de gaz

II.1.1.4 Configurație DBD plan paralelă cu ieșire a plamei prin electrod sită



II.1.2

Configurația cilindrică

II. 1.2.1 Configurație DBD cu barieră cilindrică cu electrozi longitudinali, plasați la exteriorul tubului de descărcare

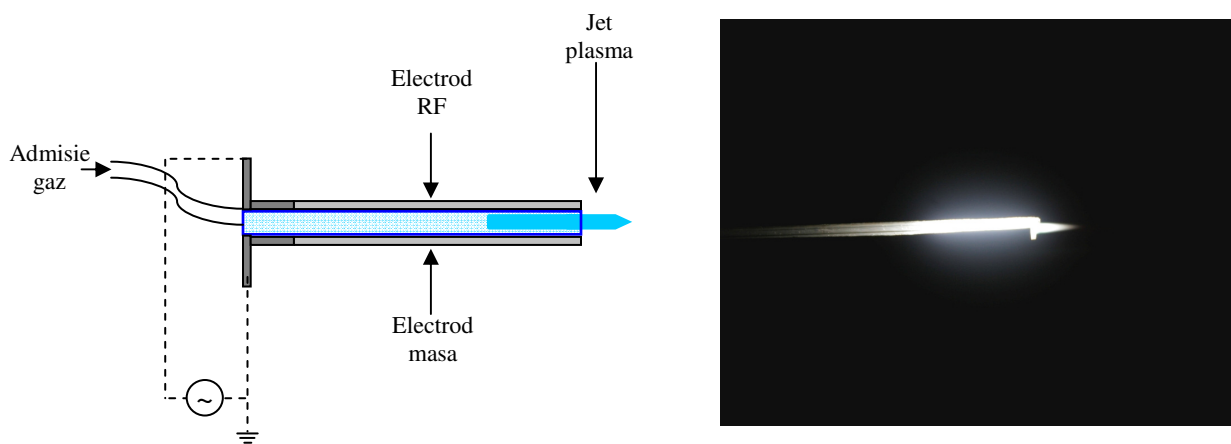


Figura II.8: Sursa la puterea minimă de funcționare 37W (se observă plasma în afara tubului de descărcare pe o distanță de 6 mm)

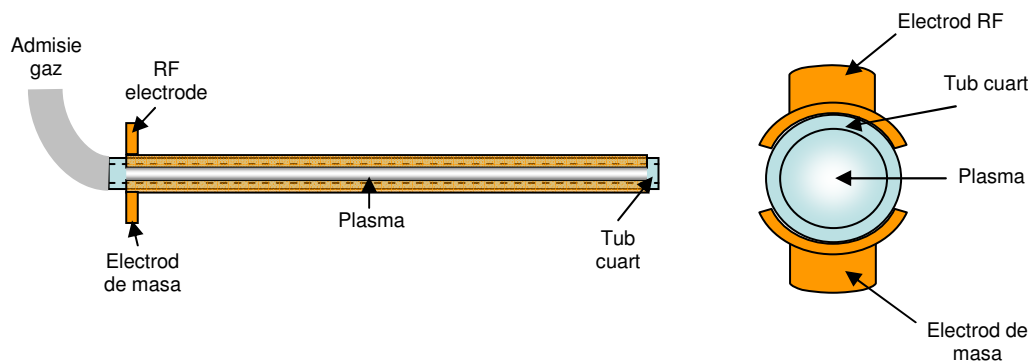


Figura II.10: Schema sursei tip DBD cu configurație cilindrică și electrozi exteriori

II. 1.2.2 Configurație DBD cu barieră cilindrică, cu electrozi inelari, plasați la exteriorul tubului de descărcare;

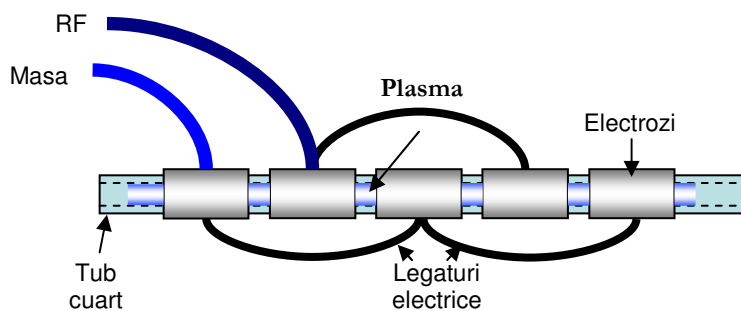


Figura II.13: Schema sursei tip DBD cu configurație cilindrică și electrozi exteriori intercalați

II. 1.2.3 Configurație DBD cu bariera cilindrica, cu un electrod inelar și un electrod fir în contact cu plasma;

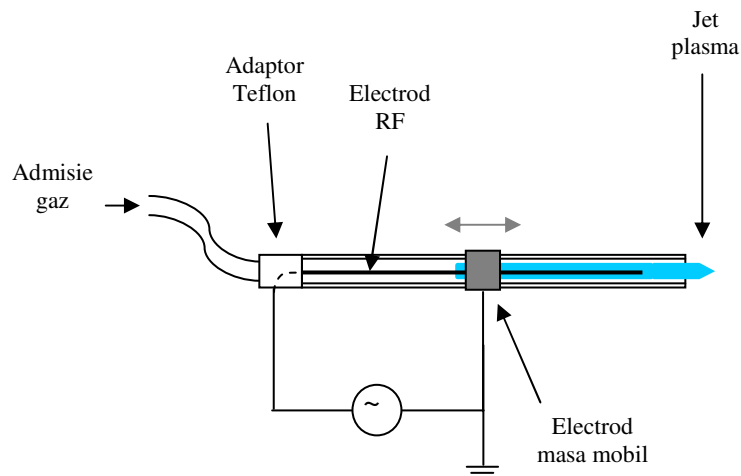


Figura II.15: Sursa de plasmă cu configurație cilindrică și electrod mobil

II. 1.2.4 Configurație DBD cu geometrie cilindrică și electrod de masă distribuit, generatoare de jet de plasmă filamentar

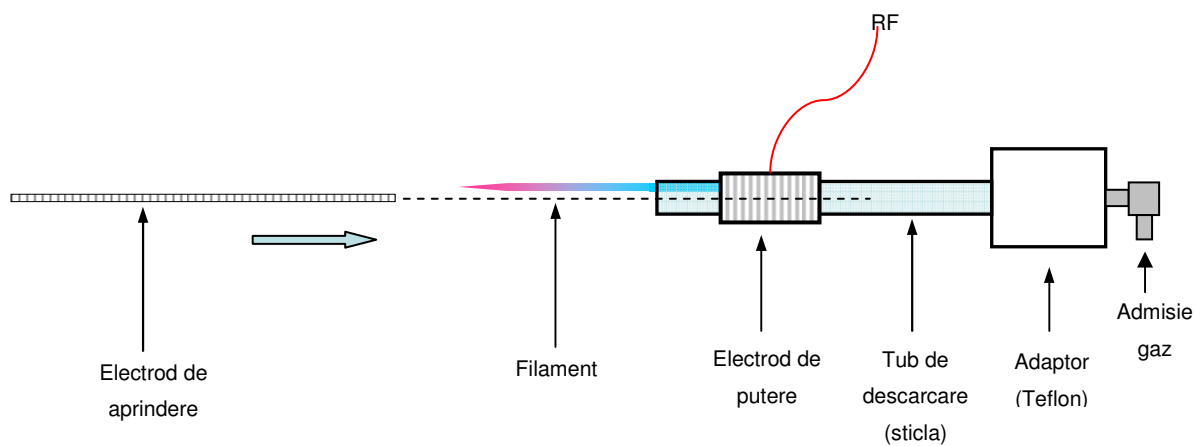


Figura II.19: Schema setup-ului utilizat în experiment: la stânga este figurat electrodul de masă mobil utilizat la inițierea descărcării, iar la dreapta sursa de plasmă cu filamentul studiat

II. 1.3 Compatibilizarea surselor DBD cu lanțurile de măsurători

II. 1.3.1. Dispozitive DBD cu facilități de vizualizare în interiorul spațiului de descărcare

II. 1.3.1.a Model DBD cu geometrie plană cu electrod transparent din ITO

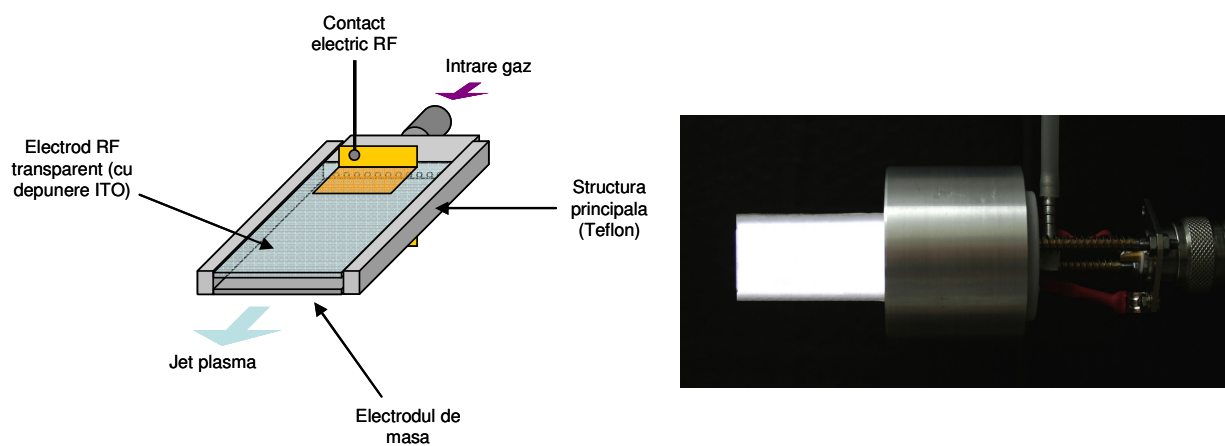


Figura II.22: Sursa DBD cu o singură barieră de dielectric și fereastra de sticlă cu depunere de ITO: **stânga:** vedere schematică a sursei, **dreapta:** imagine a sursei în timpul funcționării (debit 3000 sccm, presiune atmosferică, putere RF 15W)

II. 1.3.1.b Sursa DBD tip pană cu ferestre laterale din

cuart

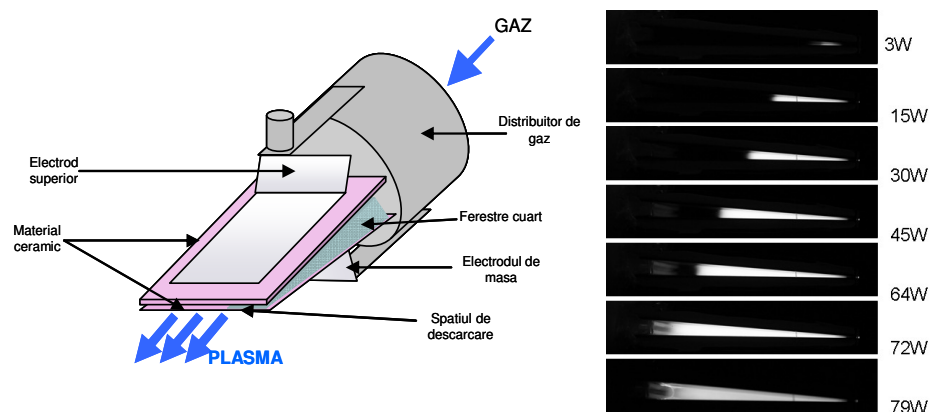


Figura II.24: Vedere schematică de ansamblu a sursei DBD cu geometrie tip "pană" și imagini ale descărcării la flux constant (200sccm) și putere variabilă (vedere laterală prin fereastra de cuarț)

Capitolul III. Diagnosticarea surselor DBD planare prin metode de imagistică, electrice și spectrale

III. 1.1. Aplicarea metodelor imagistice pentru vizualizarea regimurilor de descărcare în DBD

III. 1.1.1 Dependența distribuției spațiale a plasmei de presiune

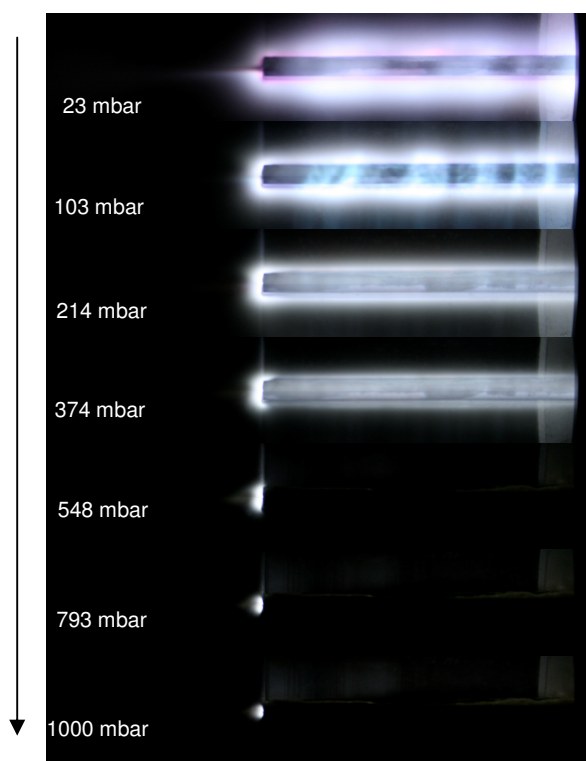


Figura III.3: Secvența prezentând evoluția descărcării în expansiune cu varierea presiunii de la valori joase la atmosferică (debit argon 3000scm, putere RF 15W, vizualizare laterală)

Evoluția descărcării poate fi structurată astfel:

a) la presiune joasă (23mbar) descărcarea are volum maxim și este situată în afara spațiului interelectrodic; ea are aspectul tipic al unei descărcări luminescente fără barieră de dielectric;

b) la presiune intermediară de lucru (23-200mbar) descărcarea ocupă un volum mai mic, fiind situată tot în afara spațiului interelectrodic; ea prezintă striatii; este observată de

asemenea și prezența unui jet de dimensiuni reduse în capătul dispozitivului DBD, în locul în care gazul care iese din DBD pătrunde în tubul vidat continuu.

c) la presiune intermediară de lucru (200-450 mbar) descărcarea este caracterizată de un volum și mai mic al plasmei, care practic îmbracă pe exterior dispozitivul DBE cu o pătură luminoasă.

d) la presiuni intermediare spre atmosferică (500-1000 mbar) descărcarea dispăre din exteriorul dispozitivului și intră complet în interiorul spațiului interelectrodic exceptând expansiunea plasmei, care formează un jet de lungime redusă.

III. 1.2. Măsurători electrice asupra descărcărilor DBD

III. 1.2.1. Dependența parametrilor electrici ai descărcării de presiune și de putere

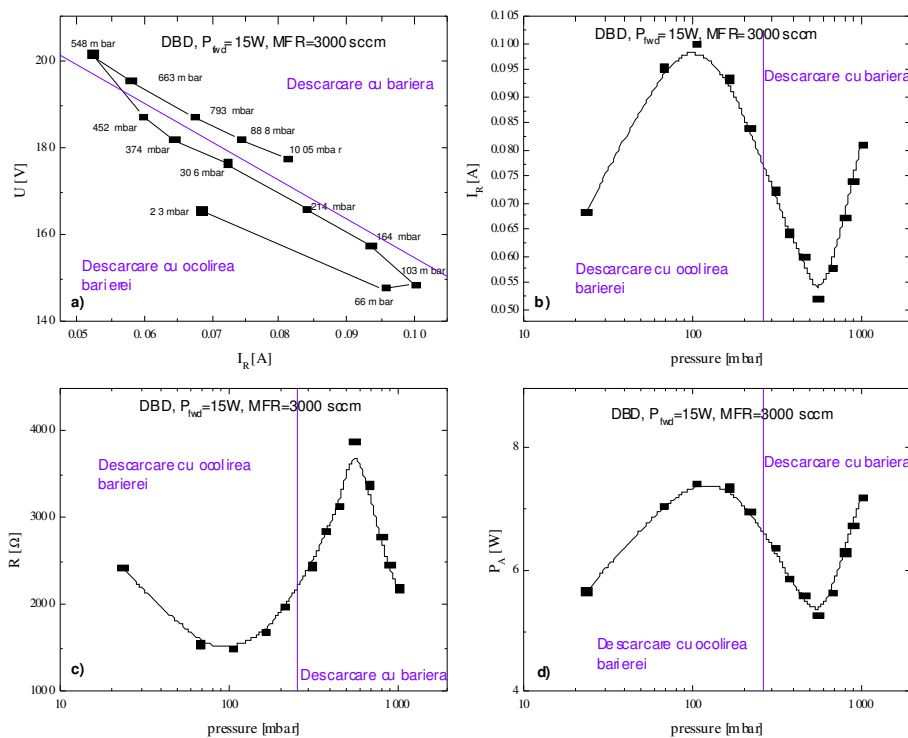


Figura III.6: a) Evoluția valorilor (I_R, U) la creșterea presiunii; b, c, d) dependențele de presiune ale curentului real, rezistenței plasmei și respectiv puterii active (sunt delimitate cele două regiuni principale: cel III. 1.3 Corelarea măsurătorilor imagistice cu măsurătorile electrice în cazul DBD

Măsurătorile electrice au fost corelate cu imagistica realizată dar corelarea este relevantă numai pentru ultimile cinci puncte, datorită faptului că descărcarea nu intră în spațiul interelectrodic

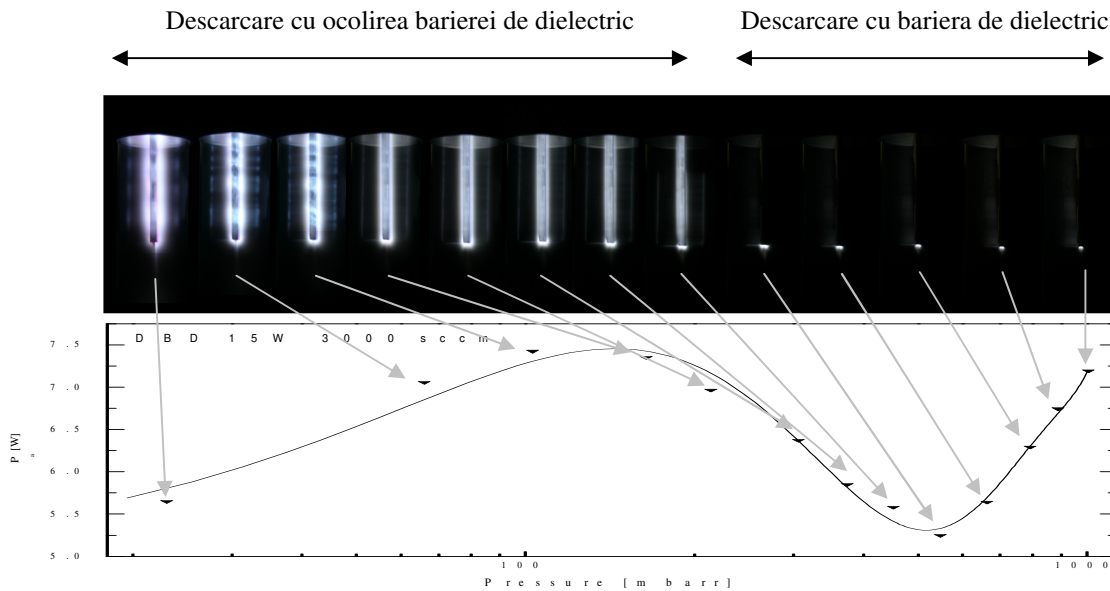


Figura III.8: Corelarea măsurătorilor electrice cu cele de imagistică pentru descărcarea cu barieră de dielectric (parametrii de lucru: putere RF 15W, debit argon 3000 sccm, presiune variabilă 23-1000 mbar)

decât la valori

ale presiunii mai ridicate de 500mbar. Acestor puncte le corespunde creșterea puterii de radiofrecvență odată cu creșterea presiunii până la 1000mbar (Figura III.8). Pe acest domeniu aspectul descărcării nu indică o schimbare de regim. Se observă totuși o diminuare a volumului jetului expansiunii la presiuni mari care se datorează intensificării proceselor de stingere colizională cauzate de creșterea presiunii.

III 2. Distribuția spațială a speciilor din plasmă generată de sursa tip DBD bidimensional cu configurație plan paralelă la presiune atmosferică

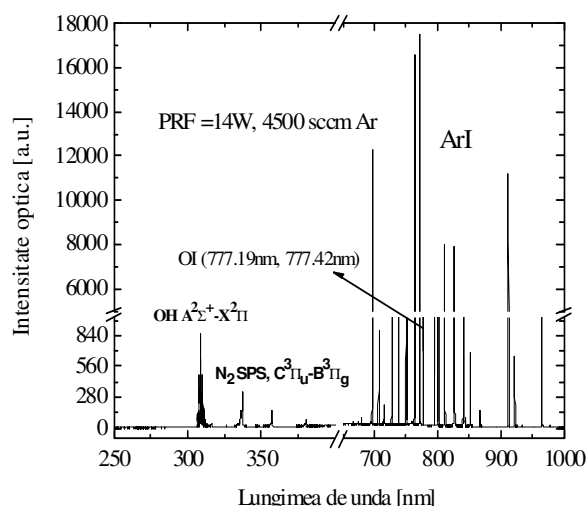


Figura III.9: Spectru general înregistrat la 0.5 mm de duză

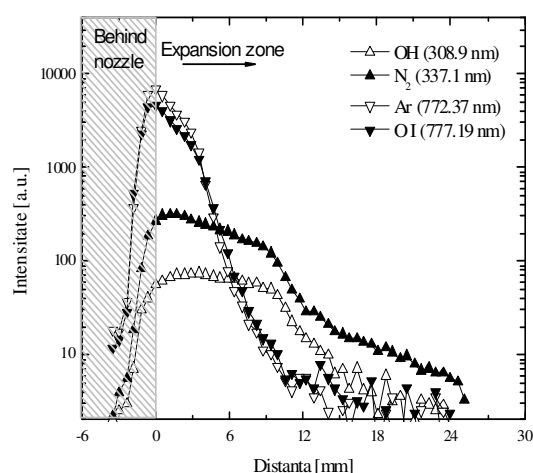


Figura III.10: Distribuția intensităților spectrale relative în lungul jetului de plasmă

Studiul a fost realizat pe jetul de plasmă al sursei DBD cu geometrie trapezoidală. Spectrul (la 0.5mm de duză) este dominat de liniile de emisie ale gazului de lucru (ArI) (Figura III.9). Deși raportul semnal zgomot al acestor spectre este mic, datorită strălucirii slabe a plasmăi, a putut fi totuși identificată semnătura spectrală a moleculei de N₂ (SPS) prezentă în mediul ambiant. Pe lângă aceasta în plasma generată au mai fost identificate benzi ale celorlalte specii specifice (OH, CN) care provin din excitarea impurităților ambientale.

Capitolul IV. Diagnosticarea unei sursei DBD cu geometrie cilindrică, generatoare de jet de plasmă filamentar

IV. 1. Stabilirea domeniilor de operare prin investigații de imagistică

Pentru stabilirea unor regimuri de stabilitate a jetului filamentar de plasmă generat de această sursă au fost aplicate metode de imagistică utilizând o cameră DSLR (Digital Single Reflex Camera-Camera Digitala Reflex) la diferiți timpi de expunere. Imagistica a vizat stabilitatea filamentului funcție de parametrii descărcării și anume debitul de gaz și puterea de radiofrecvență.

La utilizarea tubului de sticlă de diametru interior de 7mm, debit de 3000 sccm Argon, a fost observat faptul că plasma filamentară este aparent constituită dintr-o multitudine de filamente, cu caracter instabil (Figura IV.1a). Filamentul a fost fotografiat la timpi de expunere apropiați timpilor de reacție ai ochiului uman (1/30sec), cât și apoi la timpi mult mai scurți, de 1/4000 sec. Realizând acest al doilea set de imagini a fost observată natura jetului multi-filamentar: deși la timpii de expunere mai lungi jetul pare a fi format dintr-un număr mare de filamente, investigarea la timpi scurți de expunere demonstrează că originea aspectului inițial se datorează unui singur filament cu viteză mare de deplasare.

Prin varierea fluxului de gaz prin descărcare a fost obținută stabilizarea filamentului, la un flux între 500 și 1700 sccm, în cazul descărcării în tubul de sticlă de diametru interior de 3,5mm.

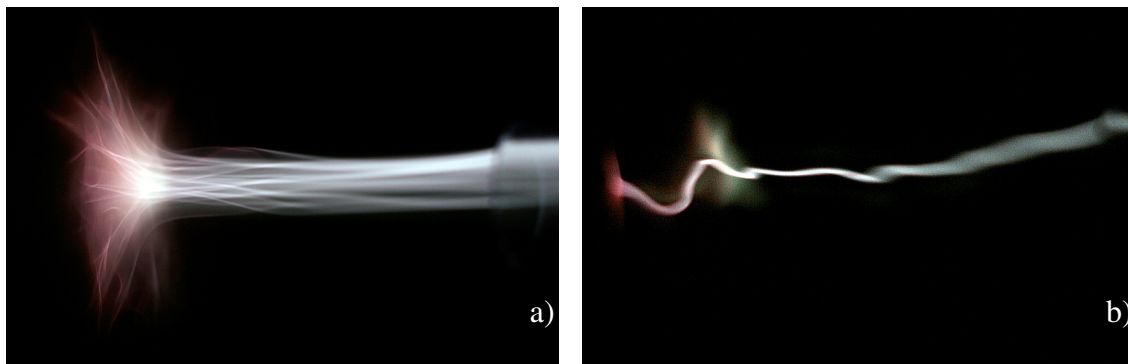


Figura IV.1: Imagini ale descărcării filamentare la doi timpi diferiți de expunere: a) aspectul multi-filamentar la 1/30s, b) aspectul uni-filamentar la 1/4000s. În ambele cazuri a fost utilizat un ecran din material ceramic pentru împrăștierea jetului pe suprafața sa.

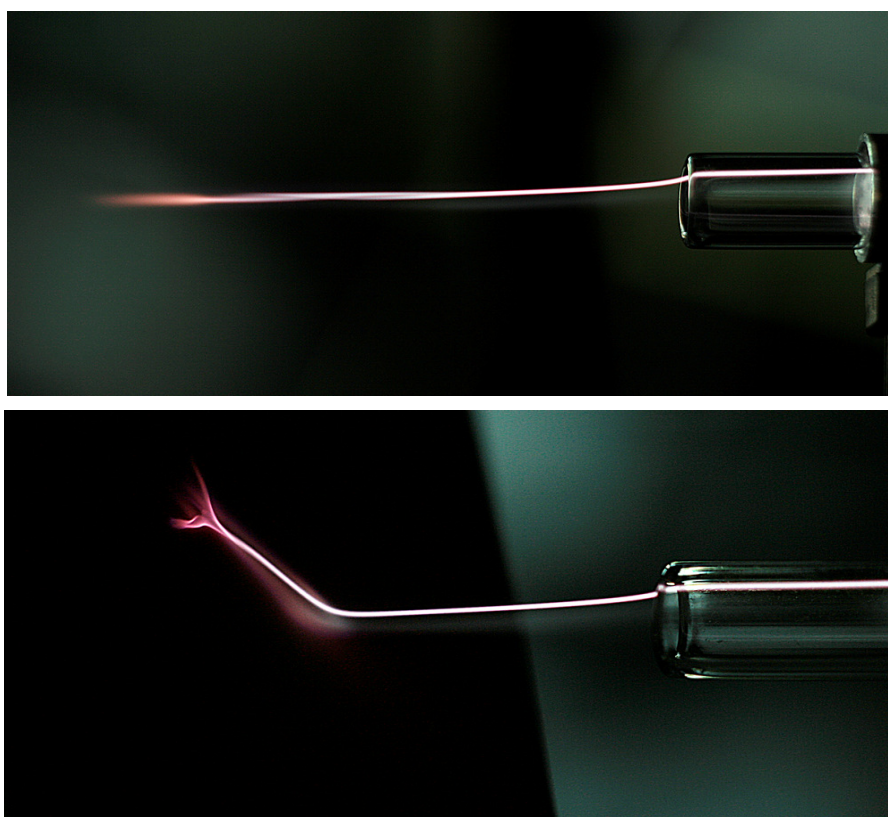


Figura IV.2: Două imagini ale filamentului stabil: **sus**- imagine a filamentului în poziție fixă, așa cum iese din tubul de descărcare; **jos**- imagine a filamentului cu forma deviată utilizând o placuță de ceramică.

De observat este faptul că pe lângă filamentul propriu-zis, mai coexistă și un alt tip de descărcare, și anume o descărcare difuză de-a lungul celei filamentare. Acest al doilea tip de descărcare se dezvoltă în momentul când filamentul intră la interiorul tubului de descărcare.

Această descărcare difuză umple tubul de la debituri de gaz de 100-200 sccm și până în momentul când ambele descărcări își încetează existența.

De asemenea a mai fost observat un caracter interesant al celor două descărcări, și anume “defixarea” filamentului în momentul când acesta intră complet în tub, și poziționarea acestuia axial la centrul tubului de descărcare, înconjurat relativ uniform de descărcarea difuză. Coexistența celor două tipuri de descărcări a mai fost descrisă și în alte lucrări.

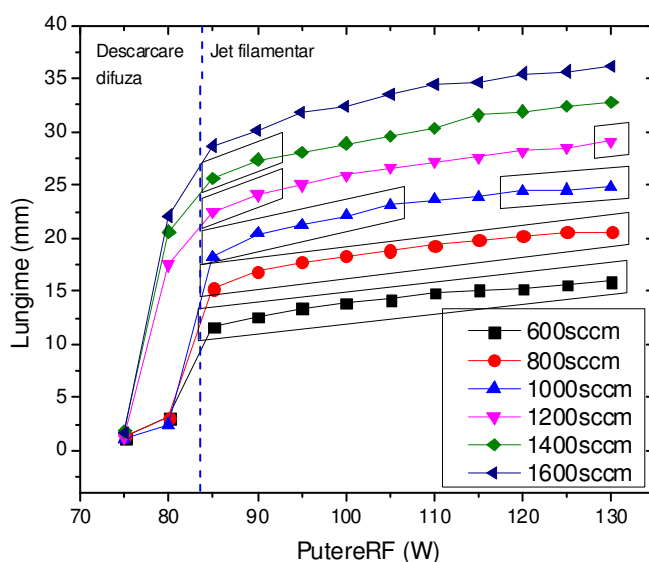


Figura IV.6 Variația lungimii filamentului funcție de puterea de radiofrecvență pentru șase valori diferite ale debitului de argon

IV.2 Caracteristici electrice ale plasmei din sursa DBD cilindrice generatoare de jet filamentar

Pentru caracterizarea electrică a descărcării s-au făcut măsurători ale formelor de undă pentru curent și tensiune. Colectarea semnalului s-a făcut în imediata apropiere a descărcării. Sonda de curent a fost Tektronix P6021 iar cea de tensiune Tektronix P6015A (x1000) iar osciloscopul TDS 3032. S-au achiziționat formele de undă I și U pentru valori crescătoare ale puterii RF furnizate descărcării (P_{fwd} - Forward power) pe intervalul 64-100 W respectiv descrescătoare 100-0 W iar valoarea de incrementare respectiv de decrementare a puterii RF a fost 2 W. Acestea au fost realizate pentru 3 valori ale debitului de gaz (argon) : 1000, 1200 și 1400 sccm. La debitul de 1400 sccm s-au realizat și măsurători în absența plasmei.

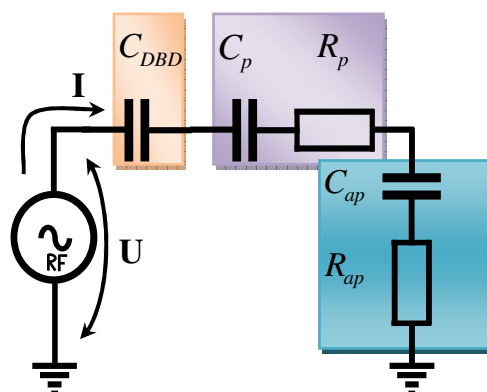


Figura IV.12: Circuitul echivalent al sursei de plasmă pentru care există descărcare la electrodul RF. C_{DBD} - capacitatea DBD, C_p - capacitatea plasmei, R_p - rezistența plasmei, C_{ap} - capacitatea antenei de plasmă și R_{ap} - rezistența de radiație a antenei de plasmă.

Pentru cazul în care avem descărcare la electrodul RF, circuitul echivalent este cel din Figura IV.12. Datorită barierei dielectrice, formată din tubul de sticlă, ce se interpune între electrodul RF și descărcare apare capacitatea DBD C_{DBD} , serie cu acesta se află capacitatea plasmei C_p generată de stratul de sarcină spațială dintre

tubul de sticlă și rezistența coloanei de plasmă R_p . În continuare, în serie cu acestea, avem ca și în Figura IV.10 capacitatea antenei C_{ap} și rezistența de radiație a antenei R_{ap} pentru noua geometrie a antenei dată de coloana de plasmă, valorile vor fi diferite de cazul din Figura IV.10. Folosind relațiile (7) și (8) se va determina rezistența echivalentă serie R_p , R_{ap} și reactanța echivalentă dată de capacitatea echivalentă a componentelor serie C_{DBD} , C_p și C_{ap} .

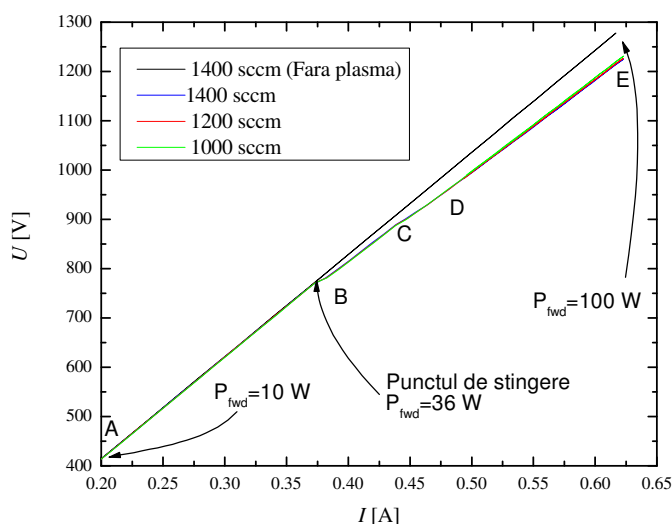


Figura IV.13: Reprezențarea amplitudinii tensiunii funcție de amplitudinea curentului pe intervalul $P_{fwd} = 10 \dots 100 \text{ W}$ în absența descărcării și în prezența descărcării.

IV. 3 Specii și temperaturi în plasma DBD axială.

Rezultatele măsurătorilor spectrale au fost obținute cu următorii parametri experimentali: putere RF de 50 W (13,56 MHz), debit de argon 2000 SCCM. Spectrograful utilizat pentru analiza spectrală a fost un Horiba Jobin Yvon FHR-1000 cu o rețea de difracție de 1200 linii/mm și o cameră CCD Andor iDus; intervalul

spectral investigat a fost 200 - 1000 nm iar deschiderea fantei de 25 micrometri.

În spectrele de emisie au fost identificate următoarele semnături spectrale (Figura IV.17):

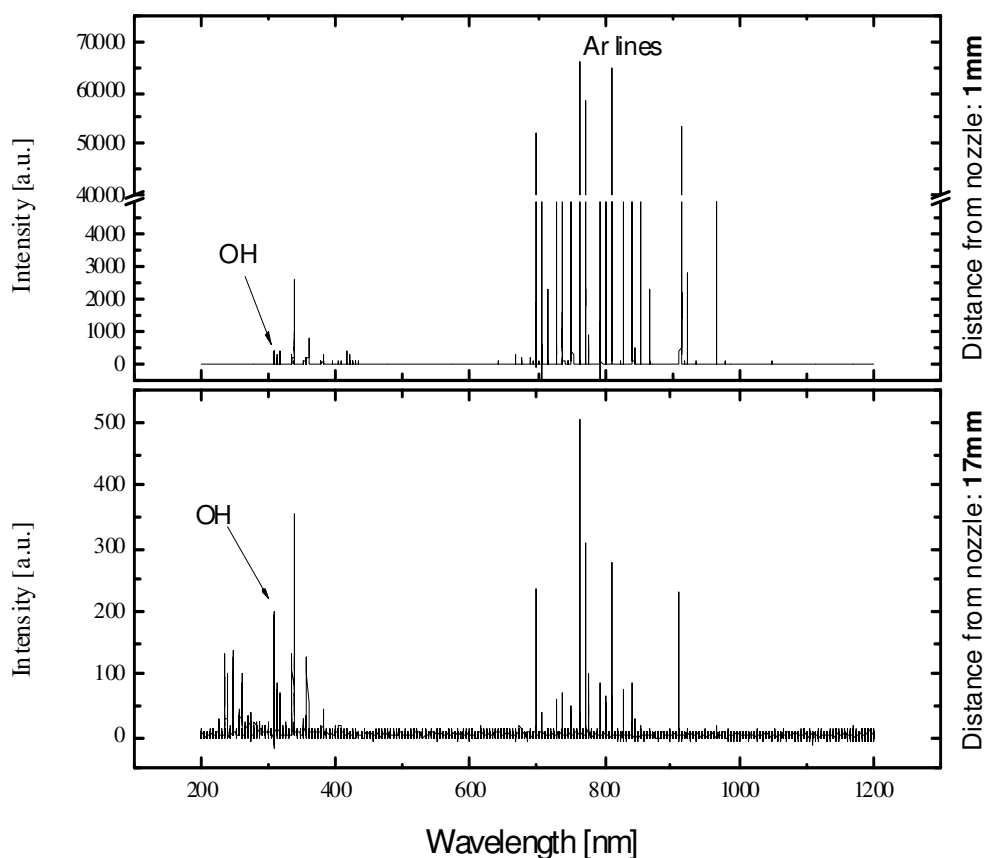


Figura IV.17: Spectre achiziționate la 1 mm (jos) și 17 mm (sus) de duză

- „linii roșii” ale argonului,
- benzile de la 306 nm ale sistemului spectral OH ($A^2\Sigma^+, v=0 \rightarrow X^2\Pi_i, v'=0$);
- al doilea sistem spectral pozitiv N_2 ($C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$)
- „linii albastre” ale argonului.

Acestea au fost folosite la fitarea spectrelor prin metoda Boltzmann pentru a putea calcula temperatura electronica.

Temperatura gazului a fost estimată ca fiind egală cu temperatura de rotație, această metodă fiind des utilizată [60]. Pentru a evalua

temperatura gazului se poate folosi emisia benzilor radiative a speciilor cum ar fi OH, N₂, NO și CN [61]. În cazul de față temperatura gazului a fost estimată folosind radicalul OH (A²Σ⁺-X²Π).

Temperatura de rotație a fost determinată prin fitarea unui spectru experimental cu un spectru simulat cu ajutorul unui software dedicat [62]. Pentru a estima densitatea de electroni, s-a folosit o metodă care se bazează pe raportul intensității liniilor de emisie ale

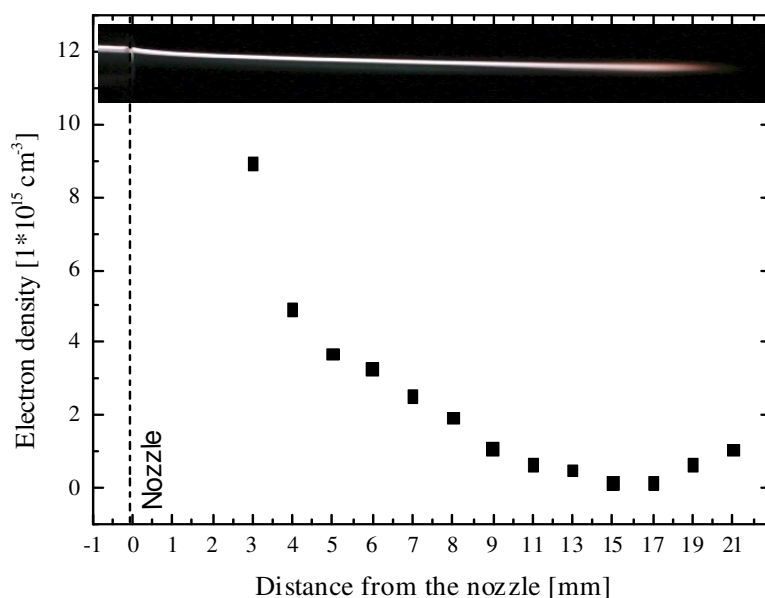


Figura IV.18: Variația densității electronice cu distanța față de duză. Descărcarea a fost menținută la 2000 sccm și 50W putere RF.

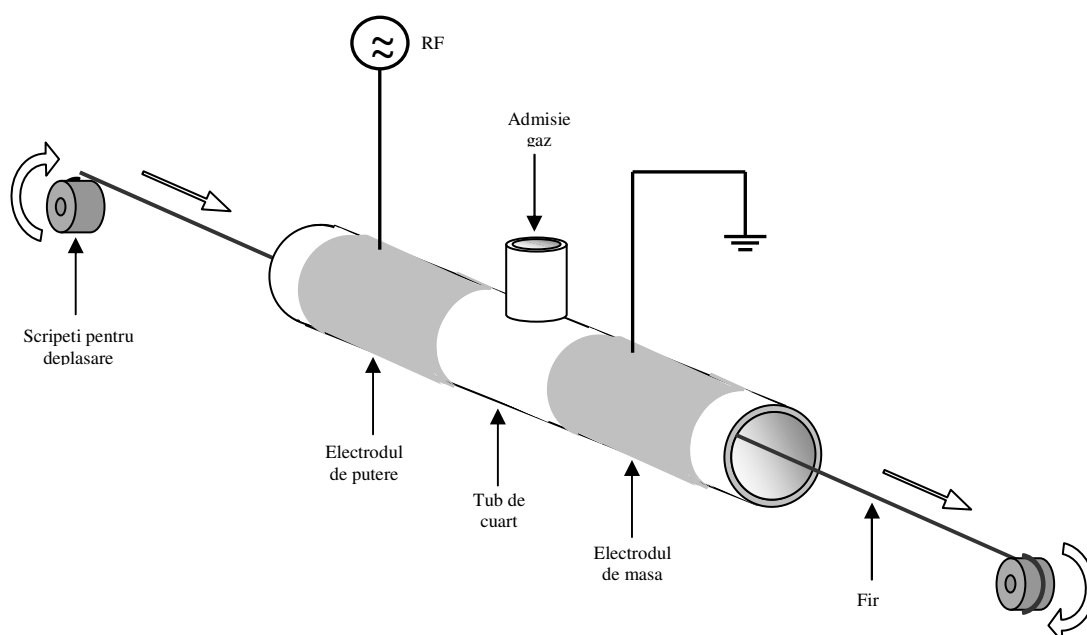
argonului.

Capitolul V. Perspective aplicative ale plasmelor DBD

V.1. Modificarea pe interior și exterior a suprafeței tuburilor înguste

V.1.1 Tratarea la exterior a suprafețelor unor obiecte cilindrice

În vederea modificării obiectelor polimerice cu geometrie complexă specifică dispozitivelor de uz medical prin expunere la plasmă s-a urmărit elaborarea unor descărcări de radiofrecvență la presiune atmosferică în configurație cu barieră de dielectric. Aceste configurații generatoare de plasmă permit tratarea suprafeței suprafeței exterioare a obiectelor de formă tubulară specifică de exemplu cateterelor ureterale. Astfel, materialele polimerice hidrofobe din fabricație devin mai hidrofile în urma expunerii la plasmă.



V.1.2 Tratarea la interior a suprafețelor unor obiecte cilindrice

Metoda se bazează pe expunerea suprafeței interioare a tubului la o plasmă care se generează în interiorul acestuia. Generarea plasmă se realizează într-o descărcare electrică de radiofrecvență cu barieră de dielectric.

Prima sursă de plasmă realizată (Figura V.4 a,b) are în configurația de bază două tuburi de sticlă concentrice (4,8), distanțate prin electrodul de masă (13). La unul din capete cele două tuburi sunt inserate într-o piesă adaptoare (7) prin care este furnizat gazul de descarcare (2) cât și alimentarea cu putere de radiofrecvență (1) către electrodul interior de putere (3) realizat din inox. La capătul opus (14)

gazul este evacuat sub forma unui jet de plasmă. Sursa este așezată pe un suport imobil (12) prin intermediul unui stativ (11).

Corpul sursei de plasmă este inserat în interiorul tubului de tratat (10) printr-unul dintre capetele acestuia. Pentru centrarea sursei la interiorul tubului este folosită o piesă de Teflon (6). Tubul de tratat este fixat pe o masă de translație X-Y automatizată (9) cu

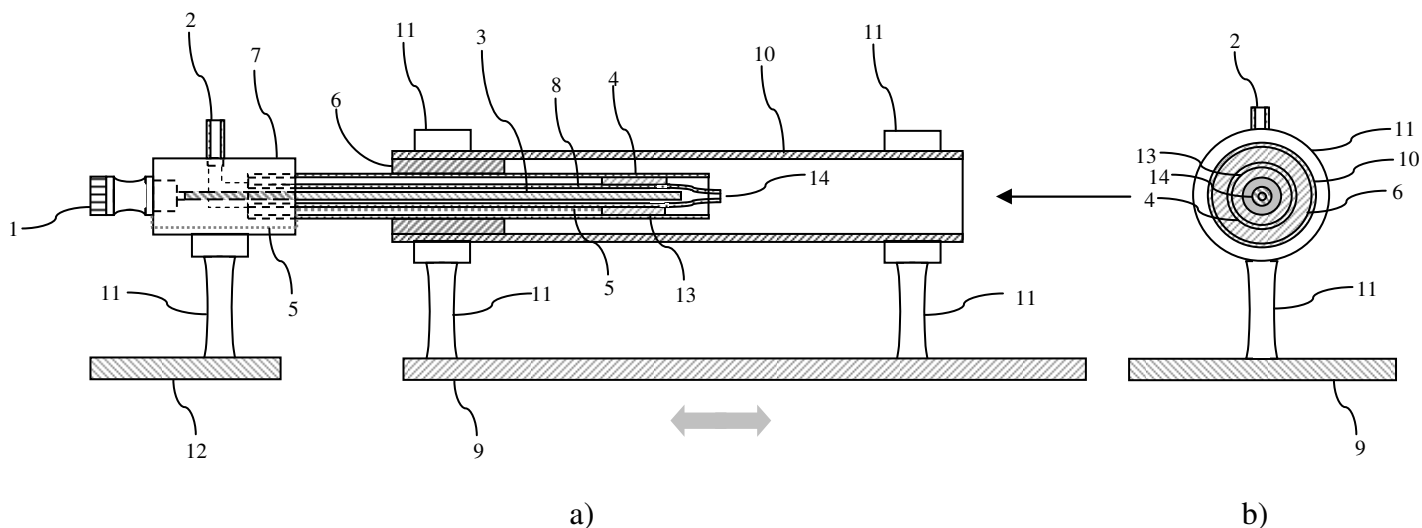


Figura V.4: Vedere schematică în secțiune longitudinală (a) și o vedere transversală în secțiune (b) a primei configurație de descărcare generatoare de plasmă împreună cu tubul de tratat. Sursa este deplasată în lungul axei tubului.

ajutorul a două stative (11).

V.2. Descompunerea substanțelor chimice din soluții cu jeturi DBD

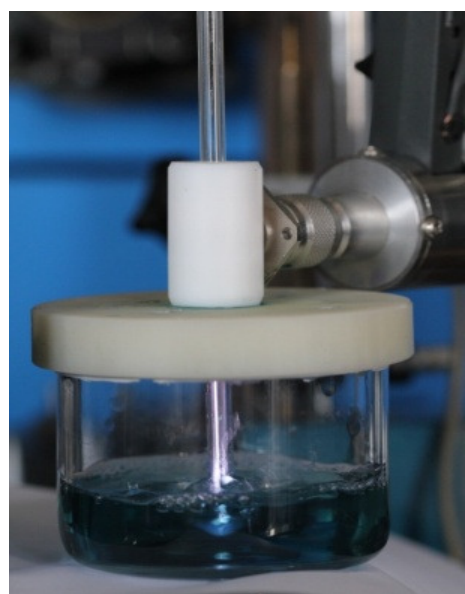


Figura V.7: Sursa de plasmă DBD cu generare de jet filamentar în timpul experimentelor imersată în substanța de AM.

Sursa de plasmă prezintă o configurație coaxială cu un singur electrod montat în exteriorul



3^A

Figura V.8: a) Soluție initială; b) Expusă la jetul DBD.

unui tub de sticlă, pe care se aplică puterea de radiofrecvență. Ea a fost descrisă în detaliu în Capitolul IV al lucrării. Electrodele de masă sunt folosite doar pentru inițierea descărcării, după care aceasta se extinde în exteriorul tubului ca un jet filamentar cu lungime de ordinul centimetrilor. Parametrii de lucru utilizați sunt următorii: tipul de gaz pentru generarea descărcării – Ar, puterea de radiofrecvență – 60 W, debitul de gaz din descărcare – 2000 sccm, gazul din atmosfera de lucru: aer. O imagine a sursei DBD imersată în soluția AM este prezentată în Figura V.7.

O imagine ilustrativă a efectului plasmă DBD (timp de 60 minute) asupra colorantului este dată în Figura V.8, unde se observă decolorarea soluției comparativ cu soluția netratată.

V.3. Modificarea suprafețelor polimerice prin tratarea cu plasmă

Experimentele au fost realizate cu două surse de plasmă tip jet, una tip DBD bazată pe configurația prezentată în Capitolul II, Figura II.5 și o configurație tip DBE. O imagine a sursei de plasmă tip DBD este prezentată în Figura V.10.

Cele două surse au fost montate pe un sistem de translație X-Y controlat de un computer, viteza de scanare a probelor fiind de 0.2 sec/mm². Astfel, tratarea suprafețelor s-a realizat prin translatarea jetului de plasmă “linie cu linie” peste suprafața tratată. Tratarea probelor a fost realizată tot în atmosfera ambiantă.

Materialele utilizate în experimente au fost folii polimerice de polietilen tereftalat (PET) și

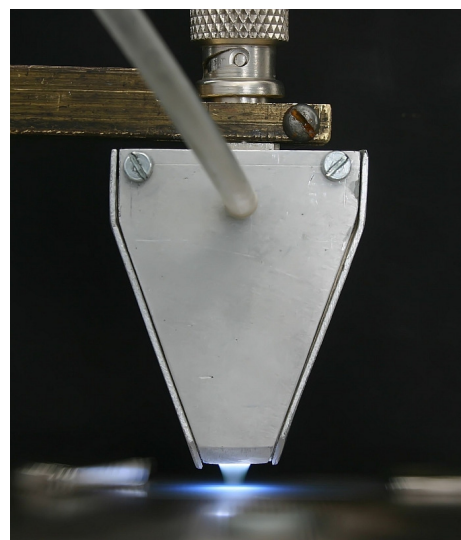


Figura V.10: Imagine a sursei de plasmă cu geometrie trapezoidală în timpul operării la presiune atmosferică

polietilena (PE). Modificările umectabilității și adeziunii foliilor polimerice au fost evaluate via măsurători de unghi de contact și teste cu benzi adezive. Pentru măsurătorile de unghi de contact a fost utilizat un sistem optic de măsurare CAM 101 (KSV Instrument Ltd) în atmosfera ambientală. Unghiurile de contact au fost determinate plasând o picătură de apă distilată de 1 μ l pe suprafața foliilor investigate. Testele de adeziune au fost realizate utilizând banda adezivă marca 3M.

Concluzii:

Urmatoarele concluzii ilustreaza contributiile personale si elementele de originalitate ale tezei:

-In cadrul acestei teze au fost proiectate si realizate surse de plasma bazate pe descarcari de radiofrecventa cu bariera de dielectric avand configuratii si geometrii constructive variate. S-a constatat ca atat sursele cu o singura bariera cat si cele cu doua bariere pot fi functionale in aceleasi conditii generale.

- Sursele de plasma functioneaza stabil permitand aprinderi/stingeri repetate fara probleme mecanice ori electrice. Ele produc jeturi de plasma cu geometrie planara sau axiala si cu viteze de curgere variate.

- Dispozitivele au fost compatibilizate cu lanturi de masuratori complexe care au permis efectuarea unor masuratori de diagnoza spectrala si electrica ale plasmelor generate. De asemenea, tot in scopul masuratorilor de diagnoza, dedicate insa descarcarii din spatiul interelectrodic, au fost realizate dispozitive cu ferestre de vizualizare, ce au permis studii de imagistica si spectrale aprofundate.

-In urma masuratorilor de spectroscopie optica de emisie s-a constatat ca emisia speciilor atomice din plasma DBD este proeminenta in apropierea duzei, in timp ce la distante mai mari moleculele de OH si N₂ domina spectrul. Tot in urma masuratorilor spectrale, prin simularea spectrelor si compararea acestora cu datele reale, a reiesit ca temperatura gazului e in domeniul 300-400 K, suficient de joasa pentru a se putea utiliza sursele la tratamentul polimerilor ori a oricaror probe sensibile la temperatura. Aceste aspecte sunt de o insemnatate deosebita pentru utilizarea acestor surse la tratarea la distanta a suprafetelor materialelor polimerice.

-In timpul experimentarilor cu diferite configuratii de descarcare cu geometrie cilindrica, a fost generat un jet stabil filamentar de plasma de lungime mare, care nu a mai fost raportat in literatura. Acesta a fost analizat prin metode spectrale, electrice si de imagistica. Au fost investigate regimurile de operare si a fost observat ca parametrul cel mai important pentru stabilitatea descarcarii este debitul de gaz. Analiza spectrala arata ca, la fel ca in cazul celorlalte surse DBD realizate, in apropierea duzei predomina liniile atomice, in timp ce la distante mai mari domina speciile moleculare. A fost extrasa temperatura rotatională, dovedindu-se ca plasma jetului este rece. Aceasta sursa de plasma a fost utilizata si la descompunerea unor substante organice (albastru de metil).

- A fost elaborat un model de circuit electric al jetului de plasma filamentar. Pentru interpretarea masuratorilor electrice a fost introdusa notiune de „rezistenta de radiatie” a plasmei, care ia in considerare efectul de antena al jetului de plasma. Pe baza modelului s-a putut evalua puterea activa, disipata in plasma.

-A fost realizata modificarea suprafetelor materialelor polimerice utilizand doua surse de plasma rece cu configuratii diferite, una DBD si alta DBE. In urma masuratorilor de unghi de contact si de aderență a rezultat ca sursa de plasma in configuratie cu bariera de dielectric este mai eficienta decat sursa in configuratie cu electrozii in contact cu plasma.

-In baza studiilor prezentate in aceasta lucrare au putut fi realizate cateva sisteme experimentale de tratare a suprafetelor interioare si exterioare a obiectelor cu forme speciale (tuburi, fire). Aceste sisteme impreuna cu metodele de lucru, fac subiectul a doua brevete de inventie.

