

## SINTEZA LUCRĂRII

Programul:	<b>IDEI</b>
Tipul proiectului:	<b>Proiecte de cercetare exploratorie</b>
Cod proiect:	<b>ID_54</b>

### CONTRACTOR:

**Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare  
pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației**

**Contract de finanțare nr. 19 / 28.09.2007**

### Titlul proiectului:

*“Noi structuri pulsate cu tensiuni înalte,  
generatoare de jeturi de plasmă rece la presiunea atmosferei terestre,  
cu aplicații bio-medicale”*

**Faza 2: 31 octombrie 2008**

### Obiectivele fazei:

- 1. Realizarea de diverse structuri geometrice  
pentru generarea de jeturi de plasmă pulsată rece la presiune atmosferică.*
- 2. Elaborarea de metode de activizare chimică  
a jeturilor de plasmă pulsată rece la presiune atmosferică.*

În ultimul deceniu, mulțimea aplicațiilor posibile a impulsionat puternic cercetările din domeniul plasmelor reci la presiune atmosferică (“atmospheric pressure cold plasmas”). Aceste plasmă sunt sisteme în neechilibru, având temperatura electronică mult mai mare decât cea ionică. Plasma este “rece” (non-termică) la nivel microscopic, având aproximativ temperatura mediului ambiant. Obținerea plasmei reci la presiune atmosferică reprezintă un avantaj hotărâtor de simplitate și de cost, în comparație cu plasmăle obținute la presiuni reduse, în instalații speciale.

Plasma rece este produsă în mediu gazos, prin descărcări în câmpuri electrice sau prin excitare cu câmpuri electromagnetice de radio-frecvență. Pentru obținerea sa cu eficiență maximă, cele mai potrivite medii de lucru sunt gazele inerte : heliu, argon. Din păcate, aceasta intră în contradicție cu necesitatea ca plasma să fie și activă chimic, pentru diversele aplicații avute în vedere. Rezolvarea acestei contradicții constituie cheia succesului în acest domeniu de cercetare.

Prezenta propunere de proiect are în vedere în primul (dar nu în singurul) rând aplicații bio-medicale. Este vorba de tratamente pe zone bine delimitate de țesuturi biologice, precum și de tratamente de celule specifice (inclusiv tumorale). De aceea, proiectul urmărește obținerea de plasmă reci la presiune atmosferică în zone spațiale restrânse. Dimensiunile mici (milimetrice sau chiar sub-milimetrice) au impus denumirea de “microplasmă”.

În ultimii ani microplasmă la presiune atmosferică sub formă de micro-sferă (“plasma needle”) sau micro-jet (“plasma pencil”, “plasma plume”) au fost obținute în câmpuri electromagnetice de radio-frecvență. Deși aceste cercetări au condus la multe rezultate valoroase, există totuși o problemă dificil de depășit : menținerea temperaturii macroscopice a plasmei în limite acceptabile, în condițiile în care sarcina electrică “văzută” de generatorul de radio-frecvență este variabilă (fiind dependentă de distanța până la obiectul tratat, de starea

suprafeței tratate, etc.). O mică abatere a acestei sarcini electrice de la valoarea optimă conduce la dezadaptarea generatorului de radio-frecvență și în consecință la o supraîncălzire nepermisă a microplasmiei.

Problema enunțată poate fi eliminată printr-o tehnică nouă, care constituie esența prezentei propuneri de proiect: utilizarea, pentru producerea plasmelor reci la presiune atmosferică, a impulsurilor de înaltă tensiune (zeci de kV), scurte (zeci, sute de nano-secunde), repetitive (zeci, sute de impulsuri pe secundă). Impulsurile se aplică între doi electrozi metalici, de diverse forme, separați sau nu de o barieră din material dielectric. Are loc o descărcare electrică într-o incintă, prin care circulă un flux de gaz la presiune atmosferică. Incinta are un orificiu (ajutaj) prin care plasma descărcării este expulzată în exterior. În condiții optime, plasma este emisă sub formă de jet, cu lungimi de ordinul centimetrilor, dar cu diametre milimetrice sau sub-milimetrice. Întrucât zona plasmei de descărcare este separată spațial de zona de tratament, sarcina electrică pentru generatorul de impulsuri de înaltă tensiune este practic constantă, existând adaptare și transfer energetic maxim posibil.

Ținând seamă de aceste considerații, a fost normal ca primul obiectiv al proiectului să fie *“Realizarea generatorului de impulsuri de înaltă tensiune, care alimentează dispozitivul emițător de jeturi de plasmă rece la presiune atmosferică”*.

Sunt prezentate în continuare cercetările prin care au fost realizate cele două obiective ale prezentei faze de proiect.

### ***1. Realizarea de diverse structuri geometrice pentru generarea de jeturi de plasmă pulsată rece la presiune atmosferică.***

Au fost realizate și testate structuri geometrice de tip vârf-plan, vârf-vârf, plan-plan, fir-plan. Cele mai bune performanțe au fost obținute cu următoarele structuri:

- a) Structură vârf-plan.
- b) Structură vârfuri-plan.
- c) Structură fir-plan.

Toate structurile au fost realizate și testate cu sau fără barieră dielectrică.

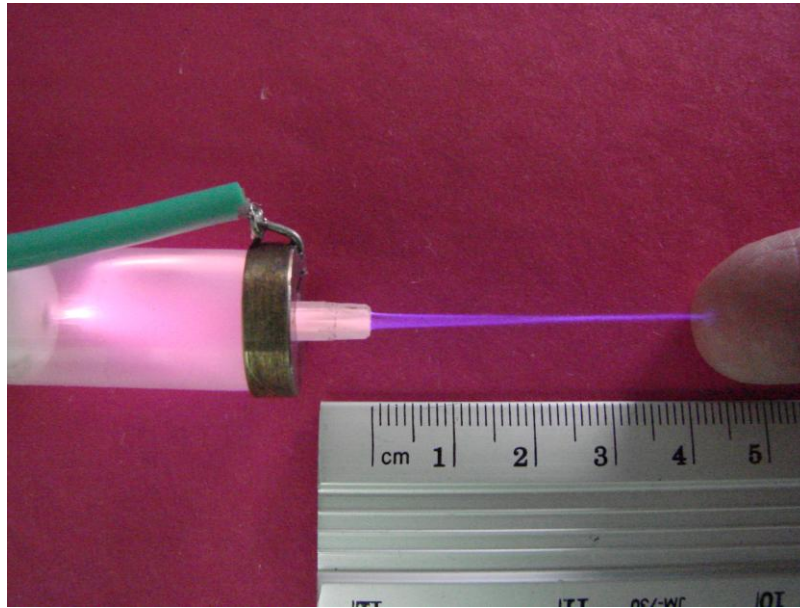
În urma experimentelor, se va merge pe direcția structurilor cu barieră dielectrică între electrozii metalici. În lipsa acestei bariere, apar frecvent descărcări în arc între cei doi electrozi, ceea ce conduce la încălziri inacceptabile atât ale structurii, cât și ale jetului de plasmă.

Prezentăm în continuare cele mai semnificative rezultate obținute cu cele trei tipuri de structuri menționate.

#### ***1.1. Structură vârf-plan***

În Fig. 1 este prezentată generarea unui jet de plasmă non-termică la presiune atmosferică, utilizând o structură vârf-plan.

În interiorul unui cilindru dielectric (în aceste experimente – o seringă medicală) este montat un piston, de asemenea din material izolant. Axul pistonului este străbătut de electrodul de înaltă tensiune, care iese din piston sub forma unui vârf metalic. Porțiunea metalică din afara pistonului are dimensiunea de 1 – 2 mm. Electrodul de masă este montat pe exteriorul cilindrului dielectric, în jurul orificiului de ieșire a jetului de plasmă. Pistonul permite modificarea ușoară a distanței dintre electrozi.



*Fig. 1. Generarea unui jet de plasmă non-termică la presiune atmosferică, utilizând o structură vârf-plan.  
Impulsul de tensiune dintre electrozi are amplitudinea de 20 kV.  
Gaz de lucru: He, 4 l/min.*

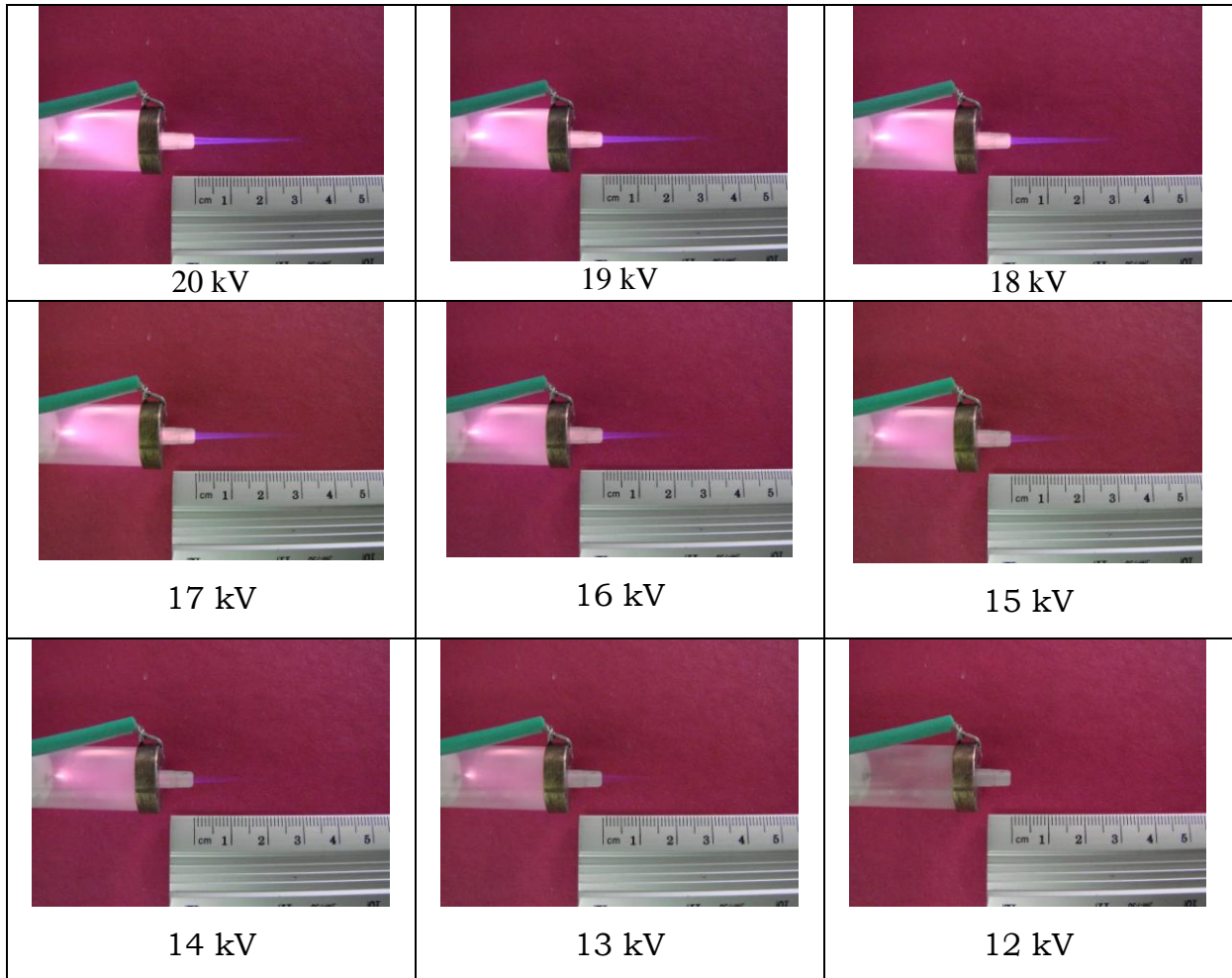
Pentru introducerea în spațiul de descărcare a amestecului de gaze au fost experimentate două soluții: 1) Introducerea amestecului de gaze printr-un canal lateral al pistonului; 2) Introducerea gazului inert (He, Ar) majoritar prin canalul lateral al pistonului, gazul de activizare chimică ( $O_2$ , etc.) fiind introdus prin interiorul electrodului metalic de înaltă tensiune plasat pe axul pistonului. În acest scop, acest electrod metalic este tubular, fiind deocamdată un fragment de ac de seringă.

Diametrul interior al cilindrului dielectric este de 14 mm. Distanța de la vârful metalic la electrodul de masă este de ordinul a 20 – 30 mm. În aceste condiții, tensiunile care produc jeturi de plasmă în exteriorul cilindrului, au amplitudini de 15 – 20 kV. Au fost obținute jeturi de plasmă cu lungimi de ordinul centimetrilor. În Fig. 2 se prezintă jeturi de plasmă obținute cu diverse amplitudini de înaltă tensiune aplicată între electrozi.

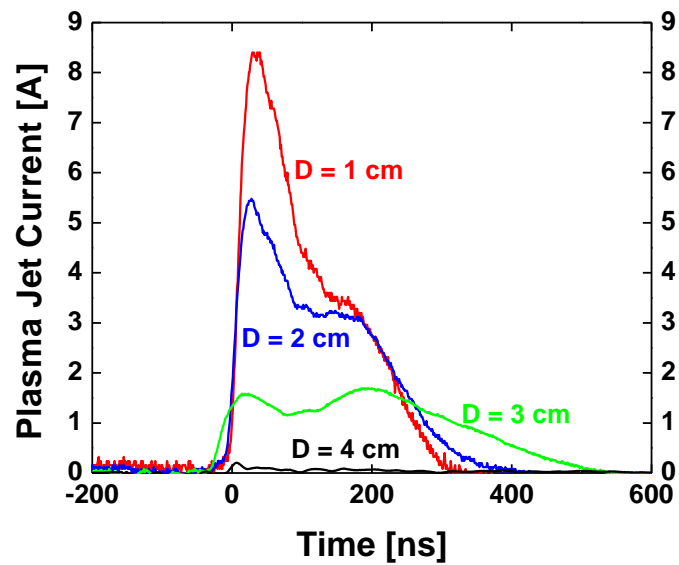
Se constată că odată cu scăderea amplitudinii impulsurilor de înaltă tensiune, descărcarea din interiorul cilindrului dielectric este din ce în ce mai slabă, iar lungimea jetului de plasmă este din ce în ce mai mică. Pentru amplitudini mai mici de 15 kV jetul de plasmă este foarte slab, iar la amplitudinea de 12 kV, descărcarea dintre electrozi dispare.

Curentul jetului de plasmă variază de-a lungul lungimii jetului. Pentru măsurarea acestui parametru, jetul de plasmă este interceptat, la diverse distanțe față de orificiul de ieșire, de către o plăcuță metalică. Un fir metalic face contact între această plăcuță și degetele experimentatorului. Se realizează astfel un cuplaj capacitiv la masă. Curentul prin firul metalic, egal cu cel al jetului de plasmă, este măsurat cu o sondă de curent Tektronix P6021.

În Fig. 3 sunt prezentate impulsurile de curent electric ale jetului de plasmă, pentru diverse distanțe  $D$  față de orificiul de ieșire. Se constată că pentru primii 3 cm, curenții sunt semnificativi. Deci obiectul tratat poate fi plasat la 1 – 2 cm față de orificiul de ieșire.



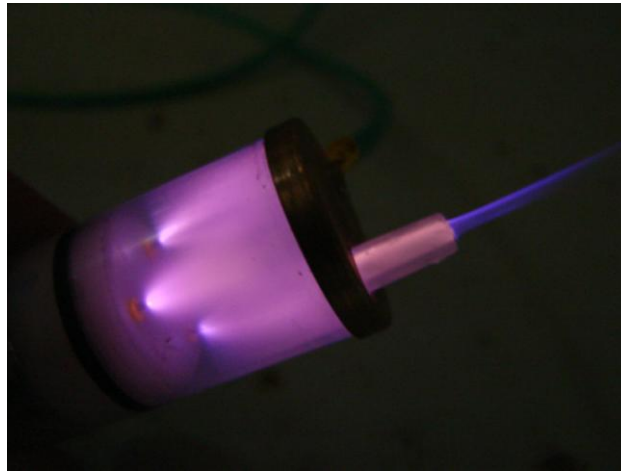
**Fig. 2.** Jeturi de plasmă  
obținute cu diverse amplitudini de înaltă tensiune aplicată între electrozi.  
Gaz de lucru: He, 4 l/min. Frecvența de repetiție: 100 impulsuri pe secundă.



**Fig. 3.** Impulsurile de curent electric ale jetului de plasmă,  
pentru diverse distanțe  $D$  față de orificiul de ieșire.  
Gaz de lucru: He, 4 l/min. Distanța dintre electrozi: 22 mm.

### 1.2. Structură vârfuri-plan

Geometria este similară cu cea prezentată anterior. Deosebirea constă în faptul că există trei electrozi de înaltă tensiune, montați în interiorul pistonului (Fig. 4).



**Fig. 4.** Obținerea jeturilor de plasmă non-termică pulsată cu o structură vârfuri-plan.  
Gaz de lucru: He, 4 l/min.

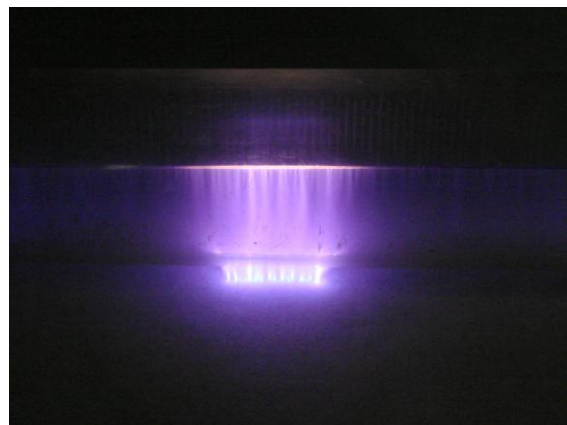
Gazul inert majoritar este introdus prin partea laterală a pistonului. Gazul de activizare chimică poate fi introdus fie prin partea laterală a pistonului, fie prin interiorul celor trei electrozi tubulari de înaltă tensiune.

Avantajul acestei structuri este ca în interiorul cilindrului dielectric se produc simultan trei canale de descărcări electrice, ceea ce va crește concentrația de specii chimic active din jetul de plasmă.

### 1.3. Structură fir-plan

Această nouă structură a fost elaborată cu intenția de a acoperi mai bine suprafețele obiectelor tratate cu plasmă non-termice. Pentru a acoperi o arie dată, structurile anterioare necesită baleieri pe două direcții. Cu structura fir-plan poate fi suficientă baleierea pe o singură direcție.

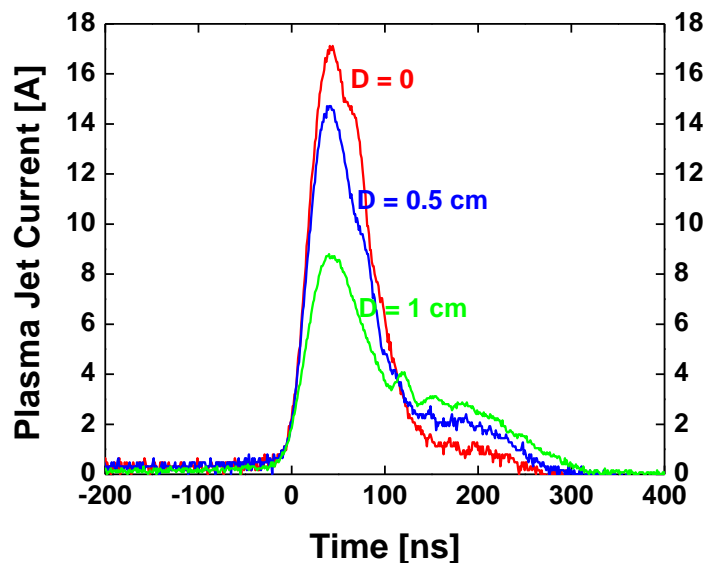
O structură fir-plan realizată în această etapă este prezentată în Fig. 5: electrodul de înaltă tensiune este reprezentat de un fir metalic cu diametrul de 0,5 mm, plasat pe axul cilindrului dielectric. Cilindrul are diametrul interior egal cu 38 mm. Legătura electrică la masă se realizează prin cuplaj capacitiv al obiectului tratat.



**Fig. 5.** Generarea de plasmă non-termică pulsată cu o structură fir-plan.  
Gaz de lucru: He, 4 l/min.

Gazul de lucru (sau amestecul de gaze) este introdus printr-un capăt al cilindrului. Ieșirea are loc printr-o fantă cu lungimea de 3 cm și lățimea de 1 mm, practică în zona centrală a unei generatoare a cilindrului. Ieșirea gazului prin această fantă facilitează obținerea unei „pânze” de plasmă non-termică pulsată, cu o lățime egală cu lungimea fantei. Se pot astfel trata suprafețe mai mari într-un timp mai scurt.

Similar cu măsurătorile efectuate la structura vârf-plan, au fost determinate și aici impulsurile de curent de plasmă, la diverse distanțe de fanta de ieșire. În Fig. 6 se prezintă impulsurile de curent electric ale „pânzei” de plasmă, pentru diverse distanțe  $D$  față de fanta de ieșire. Se constată că această structură permite plasarea obiectului tratat la cel mult 1 cm distanță față de fanta de ieșire a plasmei.



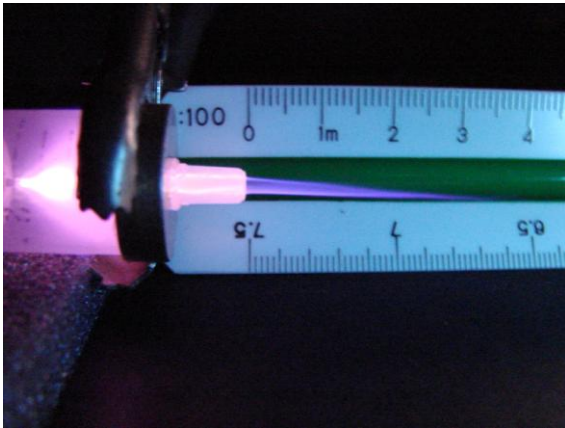
**Fig. 6.** Structura fir-plan.  
Impulsurile de curent electric ale „pânzei” de plasmă,  
pentru diverse distanțe  $D$  față de fanta de ieșire.  
Gaz de lucru: He, 4 l/min.

## 2. Elaborarea de metode de activizare chimică a jeturilor de plasmă pulsată rece la presiune atmosferică.

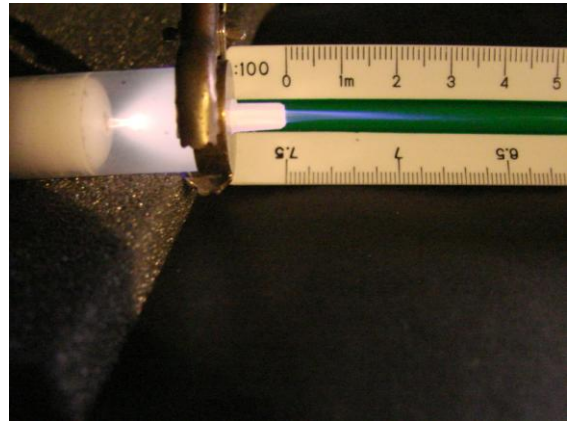
Pentru activizare chimică, gazul chimic activ introdus în jetul de gaz inert este oxigenul. Introducerea de oxigen are ca efect scăderea curentului plasmei de descărcare. O concentrație prea mare de oxigen duce chiar la stingerea descărcării și la dispariția jetului de plasmă. De aceea, concentrațiile de oxigen din gazul majoritar inert trebuie să fie cel mult de ordinul procentelor.

Din butelia de înaltă presiune, oxigenul trece mai întâi printr-un reductor de presiune. În continuare, debitul este reglat cu un debitmetru („mass flow controller”), în gama 0 – 100 ml/min, sau 0 – 500 ml/min, în funcție de tipul aparatului. Au fost achiziționate debitmetre de la firma Aalborg, SUA. În condițiile în care debitul gazului majoritar inert este de ordinul litrilor pe minut, aceste debitmetre permit un reglaj fin al concentrațiilor de oxigen în gama 0 – 3 %, gamă care acoperă cele mai probabile concentrații optime.

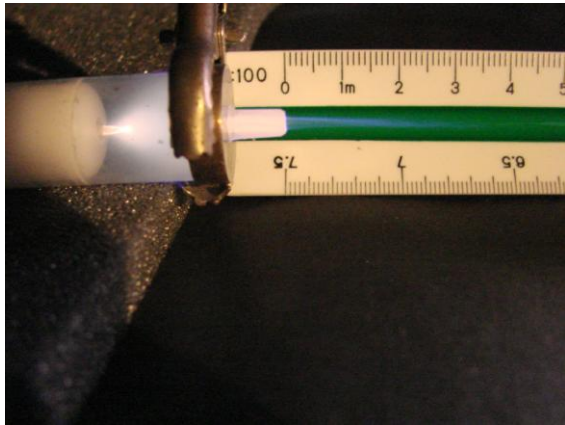




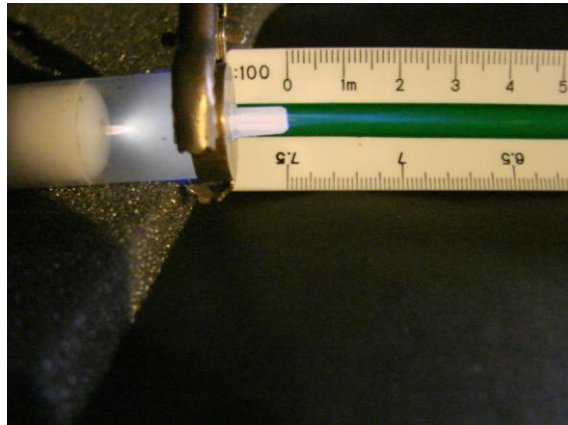
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> - 0 %



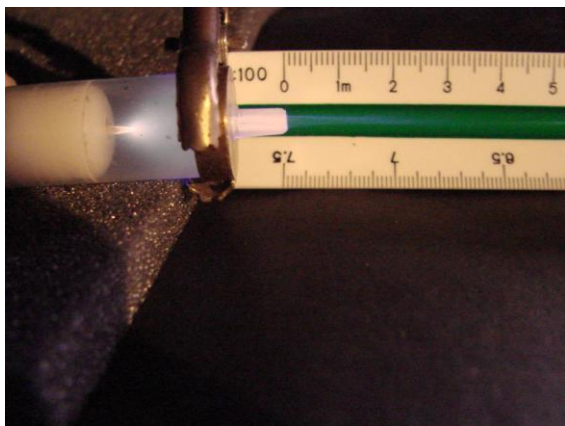
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> - 10 ml/min (0,25 %)



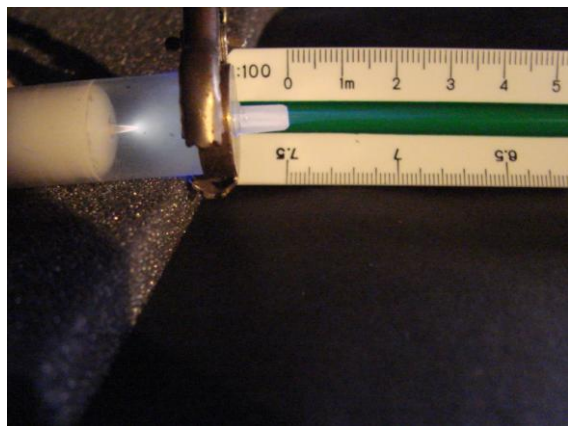
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> - 20 ml/min (0,5 %)



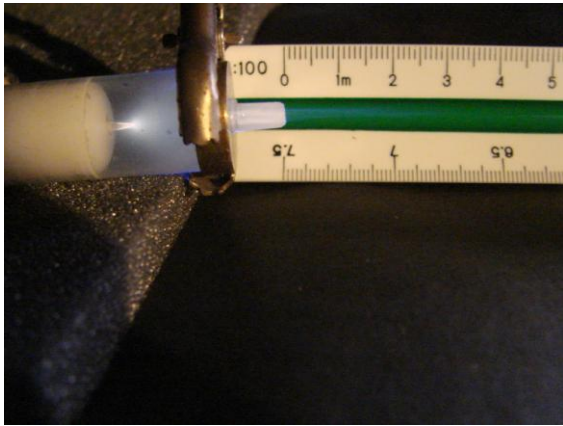
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> - 30 ml/min (0,75 %)



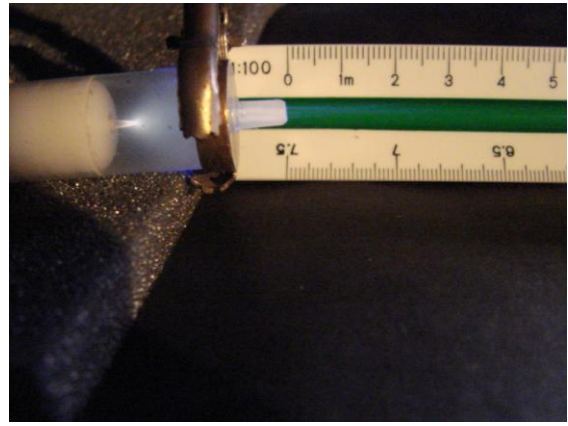
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> - 40 ml/min (1 %)



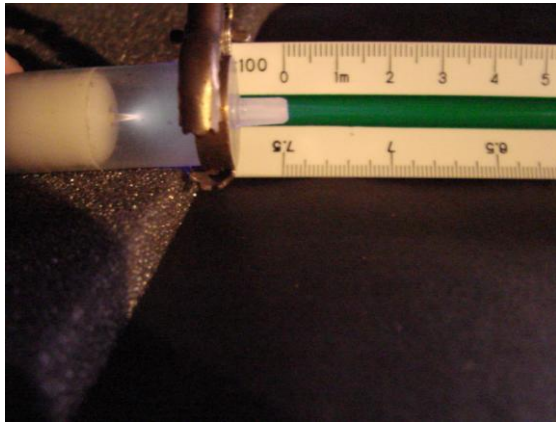
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> - 50 ml/min (1,25 %)



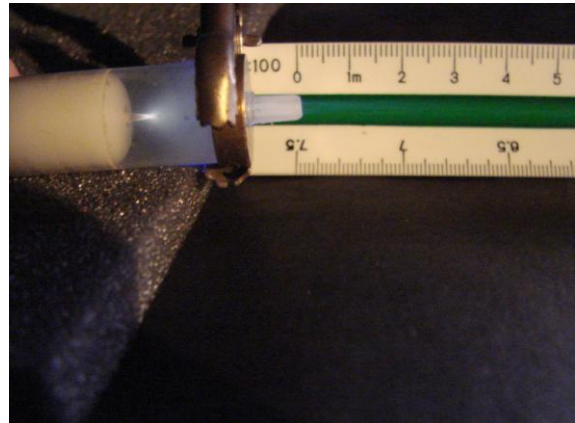
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> – 60 ml/min (1,5 %)



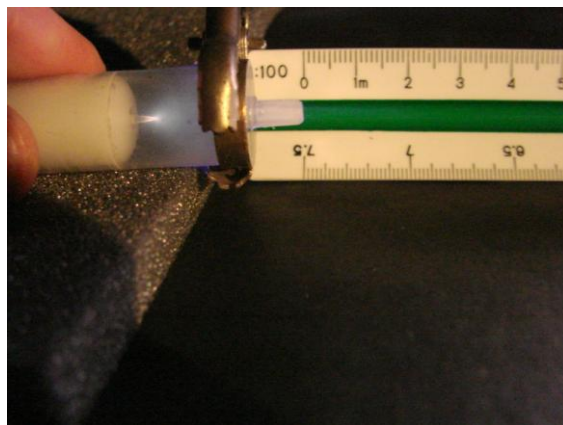
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> – 70 ml/min (1,75 %)



He - 4 l/min; O<sub>2</sub> – 80 ml/min



He - 4 l/min; O<sub>2</sub> – 90 ml/min



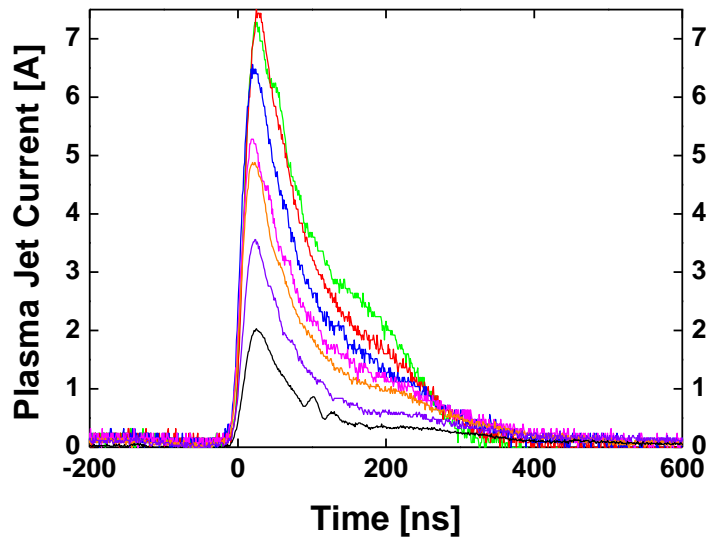
He - 4 l/min; O<sub>2</sub> – 100 ml/min

**Fig. 7.** Activizare chimică cu oxigen.  
Aspectul descărcării dintre electrozi și al jetului de plasmă pentru diverse concentrații de oxigen în heliu, de la 0 la 2,5 %.

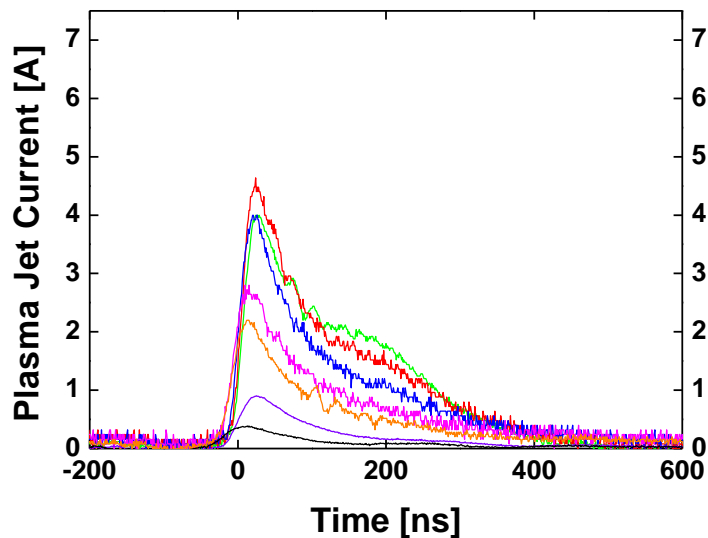


Așa cum am menționat, în cazul structurilor de tip seringă, oxigenul este introdus fie printr-un canal lateral al pistonului seringii, fie prin interiorul electrodului tubular de înaltă tensiune.

În Fig. 7 se prezintă aspectul descărcării din interiorul seringii și al jetului de plasmă pentru concentrații de oxigen, de la zero până la 2,5 %. Se constată că pe măsură ce crește concentrația de oxigen, descărcarea din interiorul seringii este din ce în ce mai slabă, iar jetul de plasmă din exterior este din ce în ce mai puțin luminos și din ce în ce mai scurt. Măsurătorile de curent al jetului de plasmă demonstrează același lucru: curentul jetului de plasmă este din ce în ce mai slab, odată cu creșterea concentrației de oxigen. În Fig. 8 a, b, se prezintă curenții jetului de plasmă la distanța de 1 cm, respectiv 2 cm față de orificiul de ieșire, pentru diverse concentrații de oxigen, de la 0,2 % până la 2 %.



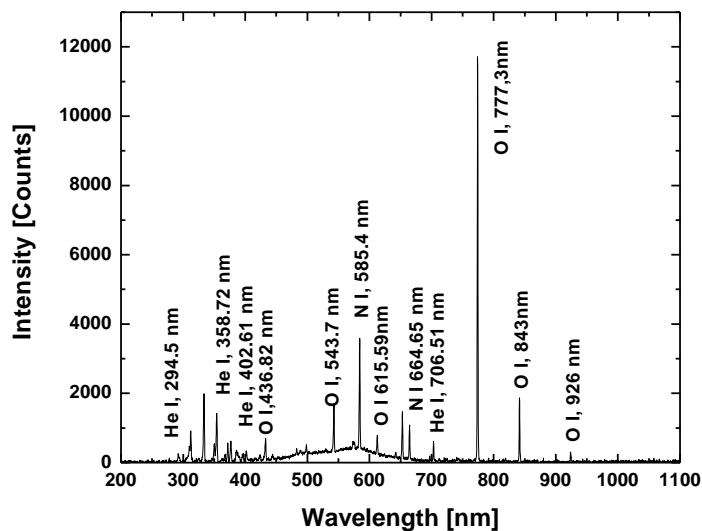
a)



b)

**Fig. 8.** Curentul jetului de plasmă la distanța de 1 cm (a) și 2 cm (b) față de orificiul de ieșire, pentru diverse concentrații de oxigen în heliu (debitul de heliu = 4 l/min). De la curentul cel mai intens până la curentul cel mai slab, concentrațiile de oxigen sunt respectiv de: 0,2 %; 0,4 %; 0,6 %; 0,8 %; 1 %; 1,5 %; 2 %.

Activizarea chimică a jetului de plasmă este demonstrată de spectrele de emisie ale acestuia (Fig. 9). Spectrele au fost obținute cu ajutorul spectrometrului cu fibră optică de înaltă rezoluție HR4000 (Ocean Optics Inc. – USA), cuplat la un calculator echipat cu programul SpectraSuite.



*Fig. 9. Spectrul de emisie al jetului de plasmă obținut cu structura vârf-plan, activat chimic cu oxigen.*

*Debitul de heliu = 4 l/min ; Debitul de oxigen = 40 ml/min (concentrație de 1 %) ;*

*Amplitudinea tensiunii dintre electrozi = 18 kV ;*

*Frecvența de repetiție = 100 impulsuri pe secundă.*

Se constată prezența liniilor de oxigen atomic, ceea ce demonstrează existența unui mediu chimic activ. În continuare, cercetările vor fi direcționate spre optimizarea concentrației de oxigen, a frecvenței de repetiție și a celorlalți parametri fizici, în vederea obținerii unor jeturi de plasmă cât mai intense, cu activitate chimică ridicată.

**Director Proiect,**

**Dr. Ing. Nicolae GEORGESCU**