



Teză de abilitare

PLASME DE NE-ECHILIBRU LA PRESIUNE ATMOSFERICĂ. DIAGNOZĂ ȘI APLICAȚII

Rezumat

Conf. univ. dr. Alina Silvia CHIPER

Iași, 2024

Rezumatul tezei de abilitare

Teza de abilitare, intitulată „*Plasme de ne-echilibru la presiune atmosferică. Diagnoză și aplicații*”, prezintă unele dintre cele mai importante realizări științifice, publicate ulterior susținerii tezei de doctorat, cu accent pe contribuțiile la care mi-am adus cel mai mare aport. În ultimii 19 ani, studiile întreprinse de mine au acoperit trei direcții: (i) diagnoza plasmei de ne-echilibru la presiune atmosferică, (ii) aplicații ale plasmei la presiune atmosferică și (iii) contribuții la validarea simulărilor numerice ale unor descărcări la presiune atmosferică. Rezultatele științifice cuprinse în teză au fost selectate astfel încât să reflecte cele mai importante realizări științifice personale și, totodată, să confere tezei un caracter unitar.

Teza este structurată în 3 capitole. **Capitolul I**, intitulat: „*Investigarea regimurilor de funcționare ale DBD prin diagnoza plasmei*”, prezintă rezultatele experimentale referitoare la diagnoza plasmei descărcării cu barieră dielectrică (DBD), alimentată în pulsuri de tensiune, produsă în gaz la presiune atmosferică, cu scopul de a identifica și investiga regimurile de lucru ale descărcării. După o trecere în revistă a stadiului actual al cercetărilor în domeniu, acest prim capitol continuă cu investigarea regimului luminescent de funcționare al descărcării DBD alimentată în pulsuri de tensiune și, în particular, al descărcării secundare. În timp ce descărcarea primară este alimentată direct de circuitul electric extern și se stinge ca urmare a depunerii sarcinilor electrice pe barierele dielectrice, descărcarea secundară este alimentată de energia stocată de aceste sarcini de memorie și se stinge după ce această energie este consumată. Din aceste considerente, studiul condițiilor formării descărcării secundare este important atât din perspectiva cercetării fundamentale – prin contribuția la înțelegerea mecanismului descărcării DBD alimentate în pulsuri de tensiune – dar și al cercetărilor aplicative. Rezultatele experimentale au arătat că descărcarea secundară, ca și cea primară, prezintă toate caracteristicile unei descărcări luminescente în regim pulsat. În mod specific, prezența barierelor dielectrice care au proprietăți speciale (cum ar fi proprietatea de electret și coeficient de emisie electronică secundară cât mai ridicat) conduce la apariția unei descărcări secundare mai intense. Identificarea condițiilor experimentale pentru care descărcarea secundară este cât mai intensă contribuie la creșterea eficienței descărcării DBD în aplicații, fără consum suplimentar de energie electrică.

Capitolul I continuă cu studiul regimului pseudo-luminescent (numit și multi-puls sau multi-luminescent) al descărcării DBD, alimentată în pulsuri de tensiune, produsă în He, la presiune atmosferică. Urmează apoi un subcapitol dedicat studiului sistematic comparativ al celor două regimuri de funcționare ale DBD: (1) luminescent, obținut în flux continuu de gaz (mod numit *Flowing Gas Atmosphere* – FGA) și (2) pseudo-luminescent, obținut în gaz staționar (mod numit *Trapped Gas Atmosphere* – TGA), cu scopul de a clarifica mecanismul descărcării DBD alimentată în pulsuri de tensiune. Totodată, importanța studierii DBD în modul TGA este motivată de potențialele aplicații specifice ale surselor de plasmă produse în gaz staționar la presiune

atmosferică, cum ar fi: sterilizarea instrumentelor medicale ambalate etanș sau inactivarea bacteriilor din alimentele ambalate.

Studiul comparativ al celor două moduri de lucru ale descărcării DBD: FGA și TGA a fost realizat prin caracterizarea electrică și diagnoza spectrală a descărcării. Astfel că, din analiza complementară a evoluției temporale a intensității curentului electric prin descărcare și a distribuției spațio-temporale a radiației luminoasă emisă de plasmă, s-au identificat experimental regimurile de funcționare ale descărcării (luminescent și pseudo-luminescent). Totodată, evoluția temporală a speciilor excitate și a intensității curentului electric prin descărcare a permis investigarea proceselor elementare produse în volumul plasmei. Apoi, s-au analizat asemănările dintre efectele produse de debitul și compoziția gazului de lucru asupra caracteristicilor descărcării, iar, în final, au fost sintetizate similaritățile celor două regimuri, propunând un mecanism ce explică funcționarea descărcării în aceste situații experimentale.

O atenție deosebită a fost acordată proceselor elementare care au loc în volumul plasmei ca efect al trapării gazului de lucru. Rezultatele experimentale sugerează că ionizarea Penning este unul dintre procesele dominante prin care N_2^+ și O sunt excitate în descărcarea luminescentă (He-DBD pulsată produsă în modul FGA), în timp ce, în descărcarea pseudo-luminescentă (He-DBD în modul TGA și He+N₂-DBD în modul FGMA), excitarea prin impact electronic este dominantă, din cauza scăderii densității atomilor aflați în stare metastabilă și a duratei lor de viață, Mai mult decât atât, durata de viață a stării metastabile a atomilor atinge o valoare critică (~3 μs) pentru care descărcarea trece de la regimul luminescent la regimul pseudo-luminescent, indiferent de parametrul variabil considerat.

Capitolul II, intitulat: „Contribuții privind aplicațiile plasmelor la presiune atmosferică”, prezintă trei cercetări aplicative distincte. Primul subcapitol este dedicat studiului privind **modificarea stabilă a proprietăților de suprafață ale polimerilor tratați în plasma de ne-echilibru la presiune atmosferică**. Pe această temă, au fost prezentate în teză două studii reprezentative. În primul studiu au fost investigate comparativ proprietățile suprafeței polimerilor naturali pe bază de celuloză și a unui polimer artificial (polisulfonă), expuși în plasma DBD la presiune atmosferică, produsă în He și Ar. Rezultatele experimentale indică modificări remarcabil de stabile și eficiente ale suprafețelor expuse în plasmă, cum ar fi: umectabilitatea, adeziunea, energia de suprafață, polaritatea, gradul de oxidare precum și morfologia suprafeței, indiferent de gazul de lucru al descărcării. Totodată, plasma produce o încorporare semnificativă a oxigenului în materialele pe bază de celuloză, care conțin intrinsec o cantitate mare de oxigen în structura lor. Compararea proprietăților polimerului sintetic impermeabil, omogen, ce are suprafața netedă cu cele ale polimerilor pe bază de celuloză, ce sunt poroși și eterogeni, evidențiază ratele diferite de modificare indusă de plasmă, observându-se o modificare progresivă a proprietăților suprafeței celulozice pe durate de expunere mai îndelungate. De asemenea, s-a observat că această metodă de tratament în plasmă atinge un prag de îmbunătățire a proprietăților de suprafață, care este aproximativ același pentru diferite tipuri de polimeri.

Deși plasmelor generate în heliu sunt foarte potrivite pentru modificarea proprietăților suprafețelor polimere, datorită gradului înalt de reticulare și funcționalizare fără degradarea

suprafețelor, costul ridicat al heliului și consumul mare de gaz – cauzat de procesarea la presiune atmosferică în flux continuu de gaz – conduce la necesitatea optimizării continue atât a surselor de plasmă produse în He, cât și a procedurii de tratare a polimerilor. În aceste condiții, s-a desfășurat un studiu care explorează posibilitatea de a depăși dezavantajul utilizării unui flux continuu de gaz scump. Studiul constă în investigarea comparativă a efectelor induse de plasma DBD produsă în gaz staționar (modul TGA) și în flux continuu de gaz (modul FGA) asupra proprietăților suprafețelor a patru tipuri de polimeri diferiți ca structură, grad de oxidare și funcționalitate. Caracteristicile descărcării, specifice fiecărui mod de operare, au fost analizate în corelație cu modificările proprietăților suprafeței tratate în plasmă. Rezultatele sugerează că tratarea polimerilor de tip hidrocarburi în plasma DBD, în modul TGA, este mai eficientă datorită funcționalizării îmbunătățite a suprafeței (>15÷40%) și mai rentabilă ca urmare a reducerii considerabile a consumului de heliu.

Cel de-al doilea studiu aplicativ prezentat în teză a vizat **aplicațiile biologice ale plasmei în vederea prelungirii valabilității alimentelor perisabile**. Acest studiu **interdisciplinar** a fost realizat la *Risø National Laboratory for Sustainable Energy, Technical University of Denmark*, în colaborare cu *Division of Industrial Food Research, National Food Institute* din Danemarca. Inactivarea bacteriilor alterante sau patogene este esențială pentru prelungirea duratei de valabilitate a alimentelor, iar cererea pentru alimente proaspete și foarte puțin conservate stimulează cercetarea privind noi metode de inactivare, printre care se numără și descărcările electrice în gaze. În particular, tratarea cu plasmă a alimentelor perisabile, în vederea prelungirii valabilității acestora, necesită îndeplinirea unor condiții speciale precum: producerea plasmei în containere închise etanș umplute cu gaz, precum CO₂ în amestec cu Ar. Din aceste considerente, pentru caracterizarea sistematică a plasmei, s-au realizat o serie de experimente independente, privind: efectul trapării gazului asupra parametrilor plasmei, efectul gazului molecular CO₂ asupra parametrilor plasmei și efectul indus de prezența eșantioanelor biologice asupra plasmei, și, nu în ultimul rând, efectul indus de plasmă asupra eșantioanelor de pește inoculate cu bacterii. Cercetările au fost îndreptate către evaluarea efectului plasmei reci privind inactivarea bacteriilor frecvent întâlnite în produsele din pește (*Photobacterium phosphoreum*, *Lactobacillus sakei* și *Listeria monocytogenes*) și optimizarea procesării cu plasmă pentru obținerea unei eficiențe ridicate de inactivare, fără schimbări senzoriale negative ale alimentelor expuse în plasmă (textură, temperatură, miros și culoare).

Un alt studiu interdisciplinar abordat a vizat **aplicațiile plasmei în descompunerea poluanților gazoși**. Acesta a fost realizat la *Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas* în colaborare cu *Laboratoire de Chimie Physique, Université Paris-Sud* din Franța. Comparativ cu metodele tradiționale de descompunere termică a poluanților gazoși, în plasmă de ne-echilibru, poluanții pot fi descompuși fără a încălzi întregul volum de gaz transportor. Datorită acestui fapt, plasmă de ne-echilibru prezintă avantajul consumului minim de energie necesară eliminării poluanților din aer. În acest context, plasmă de ne-echilibru la presiune atmosferică sunt investigate ca metodă fezabilă de eliminare a compușilor organici volatili (COV) indezirabili din aerul ambiental. Totuși, oxidarea totală a moleculelor poluante nu este încă complet realizată prin această metodă. Mai precis, în urma descompunerii COV în plasmă, pe lângă CO₂, se obțin și alți

produși de reacție, de masă moleculară mai mică, care ar putea fi la rândul lor poluanți. Eficiența și selectivitatea fiind limitate în plasmă, sunt necesare metode hibride de depoluare a aerului, cum ar fi: plasma combinată cu catalizator. Optimizarea cuplajului plasmă–catalizator este îmbunătățită dacă se cunosc toți produșii secundari obținuți pentru fiecare poluant în parte.

Scopul studiului de depoluare a aerului constă în înțelegerea mecanismelor fizico-chimice implicate în procesul de degradare în plasma non-termică a unui compus organic volatil (COV) tipic, precum 2-heptanona. Odată cu investigarea experimentală a influenței mai multor parametri ai DBD asupra randamentului de eliminare al 2-heptanonei, rezultatele conduc la mecanisme diferite de descompunere, ce depind de compoziția gazului de lucru al descărcării. În timp ce, în plasma N_2 –DBD predomină ruperea legăturilor C–C ca urmare a interacțiunilor cu electronii sau moleculele de azot în stare excitată, în plasma N_2+O_2 –DBD produșii de reacție rezultă din procese de oxidare, în urma interacțiunilor cu O, OH. De asemenea, rezultatele experimentale au arătat că randamentul de descompunere al 2-heptanonei poate fi mărit cu 30 % prin ajustarea proporției de O_2 din gazul majoritar N_2 .

Problema obținerii de produși de reacție poluanți (cum ar fi acetaldehida sau formaldehida), în urma descompunerii 2-heptanonei în plasmă, poate fi rezolvată fie prin utilizarea unei energii specifice mai mari, fie prin adăugarea unor catalizatori sau aditivi adecvați. Din aceste considerente, analiza a fost extinsă și asupra produșilor de reacție, studiind descompunerea acetaldehidei în plasma DBD, produsă în aer uscat și umed. Rezultatele experimentale arată că, oxidarea acetaldehidei în plasmă depinde atât de natura gazului – prezența vaporilor de apă crescând proporția de radicali OH – cât și de tipul de tensiune electrică aplicată pe descărcare – randamentul de descompunere fiind maxim în descărcările alimentate în pulsuri de tensiune.

Capitolul III, intitulat „*Evoluția și planul de dezvoltare al carierei științifice și profesionale*”, prezintă: **activitatea didactică universitară**, specificând: disciplinele predate de-a lungul anilor, materialele didactice realizate (autoare/ co-autoare a 3 cărți de lucrări de laborator), vizitele de lucru cu studenții în industrie; **activitatea de cercetare științifică**, concretizată în 27 articole ISI (dintre care 18 ca prim autor și 4 ca autor corespondent; 9 publicate în reviste ISI din quartila Q1, iar 8 în reviste ISI din quartila Q2; peste 530 citări; factor Hirsh: 15); **capacitatea de coordonare de echipe de cercetare** (dovedită prin coordonarea a două granturi de cercetare) și de explicare și facilitare a învățării și cercetării (dovedită prin coordonarea și finalizarea a 13 lucrări de licență și 5 lucrări de disertație în domeniul Fizicii Plasmei și alte 28 lucrări de disertație în domenii interdisciplinare, dar și prin coordonarea studenților participanți la conferințe studențești); **cooperările internaționale** pe plan didactic și științific. La finalul acestui capitol este prezentat **planul de dezvoltare al carierei** universitare didactice și de cercetare științifică, fiind propuse 4 direcții de cercetare.

Teza de abilitare se încheie cu 3 anexe, în care sunt incluse tranzițiile spectrale ale speciilor excitate reprezentative, ratele de reacție, secțiunile eficace de excitare pentru speciile reprezentative din plasmă și o listă de abrevieri folosite în teză; iar, la final, este inclusă lista bibliografică.