

Înțelegerea fenomenelor complexe implicate în interacțiunea unui puls laser cu starea condensată este de o importanță capitală pentru dezvoltarea și optimizarea unui număr imens de aplicații în domenii diferite, de la fuziunea nucleară, la prelucrări micrometrice de precizie și sinteza unor materiale cu înalt potențial tehnologic, la științe analitice sau medicină. Conceptul de bază al ablației laser este unul foarte simplu: un puls laser este focalizat pe suprafața unei ținte solide, conducând la transformarea unui micro-volum în fază gazoasă și formarea unei structuri cu mai multe componente, în care electronii, atomii, ionii, moleculele, clusterii, nano-particulele și fotonii pot coexista. Această structură va evolua mai departe prin expansiunea în vid sau într-un gaz ambiental în diferite forme și extinderi spațiale și temporale, de asemenea dependente de condițiile experimentale. Deși această descriere este foarte simplificatoare, acoperă o complexitate ridicată, ce provine din multitudinea proceselor fizice implicate în procesul de ablație, cuplându-se fenomenele din optică și electrodinamică, termodinamică, fizica plasmă și interacțiunea laser-plasmă.

Din punctul de vedere al diagnozei plasmă, ne dorim să cunoaștem compoziția chimică, dinamica plasmă și regimul de expansiune, energiile cinetice, temperaturile caracteristice, etc., iar toate aceste informații trebuie să le obținem, dacă este posibil, rezolvate temporal și spațial. Dificultatea principală în obținerea unei descrieri complete a plasmă de ablație laser provine din caracterul său tranzitoriu, cu un timp de viață tipic de ordinul 10 μ s, dar cu fenomene interioare mai rapide.

În ultimii 15 ani, autorul prezentei lucrări a efectuat împreună cu diferite grupuri de cercetare studii sistematice (deopotrivă experimentale și teoretice) asupra caracterizării plasmă obținute prin ablație laser în diferite regimuri temporale (ns,ps,fs), sau folosind materiale ale țintei extrem de variate (de la metale simple Al, Cu, Mn, Ni, In, Te, W, la unele cu aplicații în domenii specifice Li, Xe, Sn, C). Metodele experimentale au fost atât electrice cât și optice, căutându-se în permanență corelații între rezultatele obținute prin cele două clase de diagnostice și interpretări pertinente în contextul modelelor teoretice elaborate sau existente în literatură. Prezenta lucrare se constituie în cea mai mare parte într-o sinteză a rezultatelor prezentate în aproximativ 30 articole științifice publicate în reviste de prestigiu din străinătate. Pentru aproape jumătate dintre acestea autorul prezentei lucrări a avut calitatea de Autor Principal, iar jurnalele au fost preponderent în zona Q1 (ex. Applied Physics Letters, Physical Review E, Applied Surface Science, Spectrochimica Acta) și în zona Q2 (ex. Physics of Plasmas, Journal Applied Physics, etc.). Structura lucrării respectă în principal cronologia, dar și apartenența și colaborările cu diverse instituții de cercetare, sau diverse teme de studiu abordate. Fiecare dintre capitole conține o scurtă parte introductivă, de prezentare a stadiului actual, urmată de rezultate originale și contribuții proprii la dezvoltarea domeniului.

În Capitolul 1, intitulat "Surse de radiații X bazate pe plasma produsă cu ajutorul laserului" sunt prezentate rezultate obținute în perioada 2004-2006 la Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo, Japonia. Contextul acestor cercetări a

fost dat de necesitatea identificării unor surse viabile (din punct de vedere al strălucirii, calității spectrale, eficienței energetice de conversie, etc.) pentru litografia folosind radiația cu lungimea de undă de 13.5 nm utilizată în prezent. În acest capitol a fost investigată emisia radiației din domeniul ultraviolet extrem de către plasma de litiu produsă cu ajutorul laserului. Mai întâi, teoretic, s-a arătat că populațiile diferitelor tipuri de ioni ai litiului nu sunt influențate semnificativ de oxigen la densități coborâte ale plasmei. Experimental, au fost trimise pulsuri succesive pentru aceeași poziție a țintei, observându-se îndepărtarea stratului de oxid chiar după primul puls, valoarea cea mai ridicată a maximului intensității liniei spectrale de la 13.5 nm obținându-se la cel de-al doilea puls.

Prin spectroscopie rezolvată spațial a emisiei de radiație în domeniul ultraviolet extrem, s-a observat un domeniu spațial de emisie extins, distribuția intensității fiind semnificativ dependentă de fluența pulsurilor laser. Mecanismul dominant de lărgire a liniilor spectrale este cel prin opacitatea plasmei pentru linia Ly- α și cel prin ciocnirile electronice pentru linia Ly- β .

Capitolul 2 cuprinde rezultate din perioada 2007-2010 obținute prin colaborarea cu Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules, Université de Lille, Franța. Acestea vizează studii experimentale și teoretice pentru caracterizarea plasmei de aluminiu obținute cu ajutorul laserului în regim nanosecundă, în vederea elucidării unor fenomene fizice fundamentale. Mai întâi sunt discutate imaginile plasmei la diverse secvențe de timp, pentru a observa evoluția globală a acesteia. Folosind sonda Langmuir plasată la diferite distanțe față de țintă și pentru diferite energii ale pulsului sunt analizați ionii din plasmă și oscilațiile acestora. Măsurătorile sunt comparate cu evoluția potențialului țintei metalice la diverse polarizări ale acesteia și ale sondei. Teoretic este construit un model hidrodinamic, care prin integrare numerică conduce la distribuțiile densității și câmpului de viteze, rezultatele fiind comparate cu cele experimentale.

În cadrul aceleiași colaborări, metodele de diagnosticare sunt extinse ulterior în Capitolul 3, pentru investigații ale plasmei produse cu laser în regim femtosecundă și diferite tipuri de ținte metalice, cu scopul identificării unor corelații între parametrii plasmei și cei ai materialului țintei. Cuplând funcțiile de distribuție ale electronilor și ionilor prin intermediul unei mase efective se discută scările de timp pentru măsurare, iar o atenție specială este acordată procesului de convoluție a semnalului indus de sistemul de înregistrare. A fost evidențiată de asemenea experimental, pentru prima dată, existența a două tipuri de oscilații ale intensității curentului de pe sonda Langmuir. Apariția acestor oscilații este influențată de polarizarea electrică exterioară aplicată țintei metalice utilizate.

Mai departe, plasma de carbon produsă cu ajutorul laserului cu excimer și îmbunătățirea formării dimerului sunt studiate în Capitolul 4, prin colaborare cu grupul de cercetare de la Institutul de Chimie Macromoleculară "Petru Poni" Iași, rezultatele fiind publicate în lucrări științifice din ultimii 4 ani, sau trimise deja spre publicare. Mai întâi a fost investigată, folosind diverse metode experimentale, expansiunea în vid a plasmei având o formă particulară de V.

Formarea acesteia a fost explicată prin interacțiunea a trei plasmă vecine, care își au originea în trei regiuni cu densități energetice diferite delimitate pe același spot focalizat: o regiune centrală în care fasciculul laser are cea mai ridicată densitate de energie care dă naștere unei plasmă în expansiune rapidă și altele două laterale cu densitate mai mică de energie ce conduc la formarea a două plasmă mai lente. Studiul profilelor craterelor de ablație a evidențiat o regiune centrală mai adâncită pentru fluențe ridicate, în conexiune cu forma neobișnuită de V obținută în diverse regimuri de ablație. Dominanța în spectrele de emisie optică înregistrate în regiunile laterale (de interacțiune) a trăsăturilor specifice moleculei de C_2 , ce radiază obișnuit doar în vecinătatea țintei și la momentele inițiale, ne-a permis să concluzionăm că această specie se formează în principal prin procese de recombinare prin ciocnire triplă. Măsurătorile electrice efectuate folosind un colector Faraday, plasat în poziții unghiulare diverse în raport cu direcția axială de expansiune, întăresc această ipoteză. Dependența unghiulară a curentului ionic prezintă un maxim pe direcția axială și o scădere continuă la deplasarea în lateral. Îmbogățirea cu dimeri de carbon în plasma având forma de V o putem considera mai favorabilă depunerii nano-structurilor de calitate înaltă bazate pe carbon, care vor fi subiectul unor investigații viitoare.

Studiul spectroscopic a permis deducerea temperaturii de vibrație și a celei asociate spectrului continuu, care evidențiază rolul gazului ambiental de a reîncălzi plasma la distanțe mari de țintă. În ipoteza lărgirii și deplasării liniilor spectrale prin mecanisme Stark, au fost evaluate densitățile electronice, iar dependența liniară dintre cele două mărimi confirmă dominanța ciocnirilor electronice. Concordanța dintre evoluțiile temperaturilor și cele ale densităților electronice arată validitatea scenariului dinamicii plasmă construit pentru această formă neobișnuită de plasmă. Au fost evidențiate de asemenea oscilații ale curentului ionic înregistrat de analizorul electrostatic, ce se produc la tensiuni mai ridicate aplicate grilei de retardare. Trasele temporale relevă frecvențe diferite pe partea de început și pe cea de sfârșit, atribuite structurilor de plasmă ce conțin diferite tipuri de ioni.

În final, Capitolul 5 descrie planuri de evoluție și dezvoltare a propriei cariere profesionale, științifice și academice, respectiv direcții de cercetare, aplicații practice și moduri probabile de acțiune. Sunt prezentate de asemenea o serie de aspecte care dovedesc capacitatea individuală a candidatului la obținerea Atestatului de abilitare de a coordona echipe de cercetare, de a organiza și gestiona activități didactice, de explicare și facilitare a învățării și cercetării.