

Raport de cercetare

Membrii echipei proiectului

- Silviu Octavian GURLUI, Conferentiar. dr.
- Georgiana BULAI, Post-doc;
- Marius CAZACU, Post-doc;
- Adrian TIMOFTE, Post-doc;
- Ilarion MIHAILA, Post-doc;
- Lungu Petrica Cristian CS I
- Porosnicu Corneliu Constantin CS III ****
- Jepu Ionut CS III
- Chiru Petrica CS
- Pompilian Oana AC
- Butoi Gabriel Bogdan ACS
- Dinca Paul Pavel ACS
- Luculescu Catalin CS II

Rezumat faza

Au fost efectuate studii privind influenta compozitiei chimice a unor tinte diferite asupra dinamicii plasmei de ablatie laser, asupra calitatii straturilor subtiri depuse prin tehnica PLD respectiv TVA. Au fost astfel analizate plasmele tranzitorii ale unor tinte complexe (chalcogenuri, ferita de cobalt, etc). Masuratorile preliminare au aratat influenta concentratiei unor dopanti in structura chimica a chalcogenurilor de tip $(\text{GeSe}_2)_{100-x}(\text{Sb}_2\text{Se}_3)_x$ care modifica intr-o masura foarte mare dinamica plumei de ablatie laser. S-a aratat de asemenea existenta unui prag al concentratiei dopantilor pentru care apare un regim liniar de accelerare a plumei de ablatie laser. Aceste rezultate sunt importante pentru obtinerea unor filme subtiri cu caracteristici optice si electronice deosebite. Tehnica (TVA) a fost folosita pentru producerea unor noi materiale functionale aplicate ca si acoperiri pentru bariere termice din industrie. Structurile de tip strat sau multistrat au fost depuse in diferite conditii experimentale si au fost caracterizate structural, chimic, optic si magnetic prin diferite metode. Au fost depuse filme compozite de tip W-Fe-Ni cu o variatie mare a fiecarui element si au fost iradiate direct cu fascicul laser defocalizat astfel incat toata suprafata esantionului sa fie iradiata, neatingandu-se pragul de ablatie. Nanoparticulelor obtinute in faza lichida respectiv proprietatile morfologice si fizice ale straturilor depuse prin tehnici PLD si TVA, mapare 3D, etc au fost analizate prin tehnici de fluorescenta de raze X, masuratori tribologice si microscopie electronica (SEM).

Publicatii

Numarul articolelor publicate in semestrul I (iulie – decembrie 2015)
1
Numarul de participari la conferinte/workshop-uri in semestrul I (iulie - decembrie 2015)
11

Obiective

Proiectul ELIAN se concentrează asupra a două mari direcții: a) studierea aspectelor fundamentale care caracterizează interacția dintre ablația laser de mare fluentă și materialul solid prin metode experimentale și dezvoltarea unui nou model teoretic care să descrie proceselor implicate (modificarea stării solide după iradiere, generarea și expansiunea plasmei etc.); b) imbunătățirea proprietăților stării solide studiate prin iradiere laser, reducerea contaminării plasmei pentru a crește timpul de viață a plasmei, a obține rate de absorbție scăzute și temperaturi de topire ridicate. Scopul acestui proiect este unul dublu: întai să ofere răspunsuri unei probleme științifice complexe, cu impact tehnologic ridicat iar apoi să dezvolte, în jurul unui nucleu științific deja existent, o rețea de colaborare care unește atât teoreticieni cât și experimentaliști pentru realizarea studiilor fundamentale și dezvoltarea posibilelor aplicații.

Obiective generale

1. Largirea cunoașterii unui domeniu interdisciplinar și actualizarea lui, promovarea și caracterizarea noilor materiale;
2. Ridicarea standardelor în cercetarea interdisciplinară de bază prin cooperarea unui număr mare de cercetatori din diferite centre de cercetare și instituții de educație academică;
3. Exploatarea eficientă a resurselor existente ale partenerilor;
4. Im bunătățirea performanțelor personalului de cercetare la nivel național/internațional, integrarea cercetătorilor tineri în echipa proiectului;
5. Specializarea cercetătorilor prin stagii de lucru în instituții academice prestigioase;
6. Mărirea "vizibilității" partenerilor la nivel național și internațional, prin diseminarea rezultatelor proiectului în comunitatea științifică și economică precum și publicului larg.

Obiective specifice

1. Studii privind influența unumitor factori externi asupra cantității de material expulzat prin ablație laser (vid, atmosferă în gaz de lucru tampon sau amestec de gaze spectrale, radiație laser).
2. Obținerea și monitorizarea plasmei de ablație laser și a filamentelor de plasmă folosind metode complementare de diagnoză: spectroscopie de emisie optică rezolvată spațial și temporal, imagerie ICCD rapidă a plasmei, fluorescență indușă laser (LIF), imagerie velocimetrică a particulelor (PIV), imagerie de umbra rezolvată temporal, interferometrie și diagnoză electrică a plasmei cu sondă Langmuir.
3. Analiza suprafetelor materialelor iradiate prin tehnici precum microscopie de forță atomică (AFM), spectroscopie (FT-IR), microscopie electronică de baleaj și tehnici de difracție de radiații X (XRD) etc.

Obiectivele fazei. Caracterizarea plasmei de ablație laser de mare fluentă prin metode optice, spectrale și electrice: influența parametrilor experimentală. Structuri nanodimensionale și multistrat: dezvoltare, caracterizare și implantare ionică

Descrierea științifică și tehnică

A. Au fost studiate proprietățile dinamicii plumei de ablație laser prin utilizarea unor tipuri speciale de chalcogenuri $(\text{GeSe}_2)_{100-x}(\text{Sb}_2\text{Se}_3)_x$ și influența unor dopanți (Sb_2Se_3). Plasma tranzistorie laser a fost analizată folosind tehnici de imagerie ultrarapidă la nivelul unor tempi de integrare de ordinul zecilor de ns. În Figura 1 este indicată instalația experimentală folosită. Aceasta este compusă dintr-o incintă de vid în care se pot integra experimente variate incluzând cele de caracterizare a plasmei de ablație laser prin metode electrice și spectrale respectiv de obținere a unor straturi subțiri prin tehnica PLD, configurații geometrice variate funcție de tipul și natura strurilor subțiri depuse. Calitatea strurilor subțiri este corelată cu dinamica particulelor din pluma de ablație laser (evoluția spațio-temporală a particulelor excitate din plasma tranzistorie laser: atomi, ioni, fragmente moleculare, nanoparticule, etc).

Pentru realizarea acestor experimente, instalația experimentală a fost configurată pentru a asigura diferite condiții:

- Studiul plasmei de ablatie laser la fluente diferite
- Studiul spectral al plasmei de ablatie laser prin rezolvarea spatiala si temporala a dinamicii particulelor ejectate din tinta
- Studiul influentei proprietatilor electrice ale tintei de ablatie laser si a polarizarii electrice
- Caracterizarea plasmei de ablatie laser prin tehnici de imagerie ICCD
- Studiul plasmei de ablatie laser in vecinatatea unui perete sau a suportului/ substratului utilizat pentru obtinerea de straturi subtiri prin aplicarea unor potențiale de accelerare sau frinare a particulelor incarcate electric

Figura 2 reprezinta configuratia utilizata pentru studiu plasmei de ablatie laser la incidenta normala. Pluma de ablatie laser este obtinuta prin iradierea tintei dupa incidenta normala, prin focalizarea unui fascicul laser Nd:YAG (10 ns, 532 nm) cu ajutorul unei lentile convergente cu distanta focala de 25 cm. Pentru a studia dinamica spatio-temporală a deferitelor particule din plasma de ablatie laser, sistemul din Figura 2 prezinta un ansamblu de electrozi (tinta si substrat) izolate electric si care pot fi polarizate diferit. Pentru masuratori spectrale, sistemul este conceput astfel incit lentila de focalizare este fixata de tinta iar baleierea fiecarei sectiuni de plasma este realizata prin deplasarea sistemului tinta-lentila si implicit a plumei de ablatie laser dupa o directie perpendiculara la axa optica a spectrometrului. Aceasta tehnica asigura o rezolutie spatiala de pina la 0.2 mm.

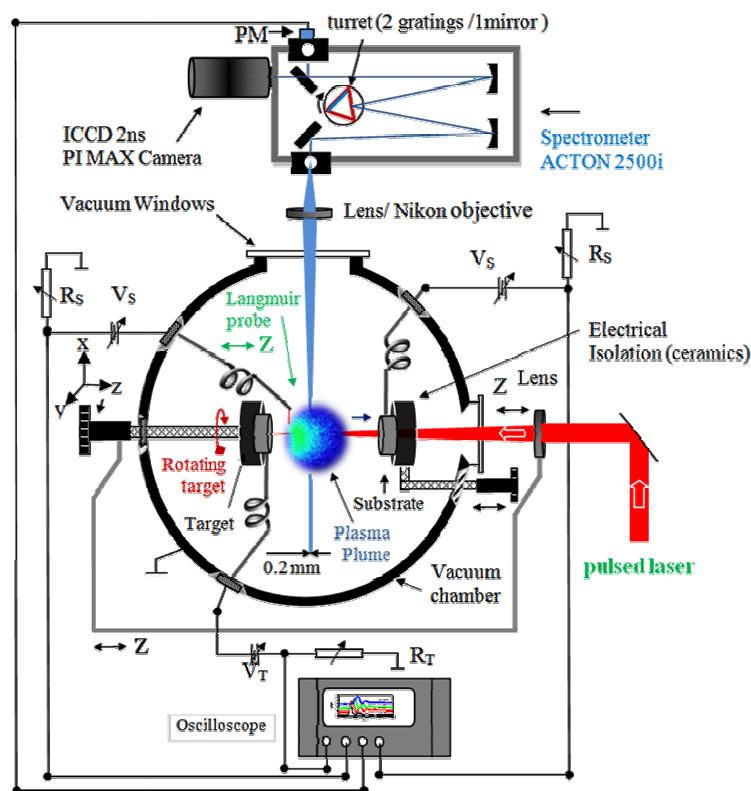


Figura 1. Instalatia experimentala utilizata pentru studiul plasmei tranzitorie laser si de obtinere a unor straturi subtiri PLD

Pentru a asigura iradierea dupa directie normala la tinta, s-a practicat prin substrat o fanta dreptunghiulara cu deschiderea de $5 \times 10 \text{ mm}^2$. Distanta dintre tinta si substrat s-a pastrat fixa si egala cu 4.27 cm. In figura 3 sunt indicate imagini ale plasmei de ablatie laser pentru (GeSe2)100-

$x(\text{Sb}_2\text{Se}_3)x$ folosind camera PIMAX 1024i cu timp de integrare de 20 ns. Fiecare imagine este inregistrata dupa un anumit timp de intirziere (time delay) masurat dupa pulsul laser. Rezultatele preliminare evidențiază în mod surprinzător obinerea unei autostructurări a plasmei în trei formațiuni bine delimitate. Acest lucru nu a mai fost pus în evidență în masurările noastre anterioare folosind fie tinte metalice (Al, Cu, W, etc) sau materiale cu compozitie chimică complexă (ferrite de cobalt, chalcogenuri, materiale ceramice, etc).

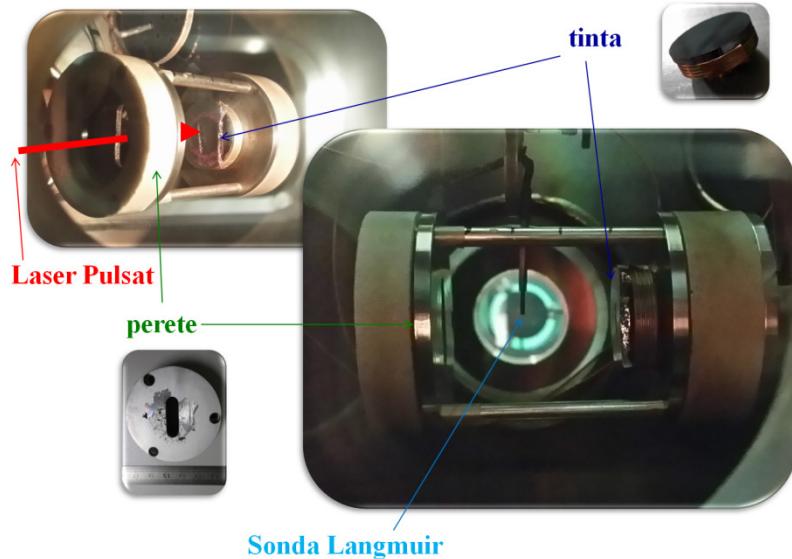


Figura 2. Imagini ale ansamblului tinta-substrat-sonda Langmuir. Ablatia laser se realizeaza prin iradierea sub incidenta normala a fasciculului laser pe tinta utilizata (tinta metalica, chalcogenuri sau ferita de cobalt). Sonda Langmuir se afla in planul fantei spectrometrului (masuratorile spectrale se realizeaza in acelasi plan cu cele electrice)

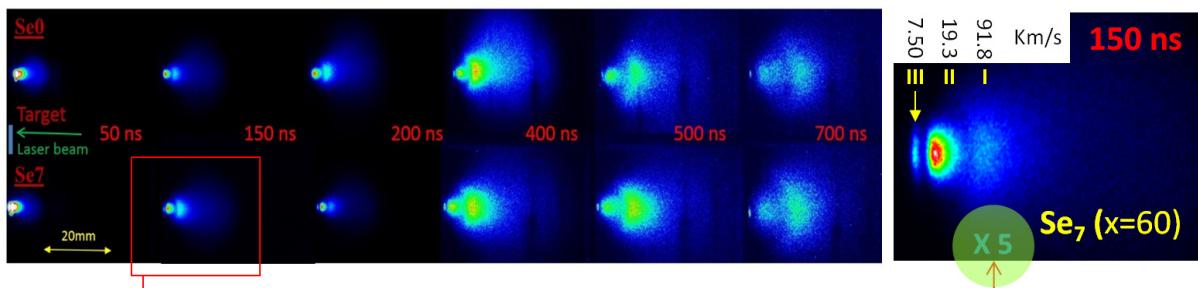


Figure 3. Imagini ICCD ale plasmei de ablatie laser utilizind tinte de GeSe₂ si Ge9.5Sb28.6Se61.9

O a treia structura de plasma, de forma alungita, formata linga tinta si care are o delimitare neta a mai fost raportata in alte lucrari unde s-au utilizat tinte de LiMn₂O₄ in atmosfera de oxigen. Rezultatele noastre preliminare subliniaza faptul ca evolutia spatio-temporală a celor trei formațiuni de plasma depinde sensibil de concentrația dopantului Sb₂Se₃ pentru fiecare tinta folosita. Divizarea plumei de ablatie laser in mai multe structuri ar putea fi cauzata pe de o parte de ciocnirile multiple ale particulelor ejectate din tinta si gazul de lucru respectiv de efectele cimpurilor electrice locale generate prin difuzia diferita a particulelor incarcate electric (electroni si ioni cu mobilitati difereite). De asemenea, originea structurii de plasma lipite de tinta ar putea fi explicata datorita ciocnirilor dintre primul front de particule energetice (ioni proveniti din structura rapida de ablatie laser, ulterior frinati prin ciocnirea cu gazul de lucru) si cele din structura de plasma lenta (atomi excitati, fragmente moleculare). Rezultatul fiind un nor de particule termalizat si cu structura chimica complexa (formarea de clusteri). Intelegerea mecanismului de formare al

acestor clusteri este de maxima importanta pentru procesele de obtinere a straturilor subtiri PLD, obtinerea unor filme de chalcogenuri cu diferite proprietati electrice si optice. Pentru a obtine filme subtiri cu astfel de proprietati sunt necesare masuratori complementare privind dinamica speciilor prezente in plasma de ablatie laser pentru fiecare structura de plasma. In acest scop au fost efectuate masuratori spectrale si electrice dupa directie axiala de propagare a plumei de ablatie laser. Din masuratorile optice si electrice au fost realizate masuratori preliminare privind viteza de expansiune a speciilor din plasma, viteza de expansiune a unor ioni, atomi sau a maximului de intensitate a plumei de ablatie laser respectiv a densitatilor de volum si temperaturilor de excitare electronice si ionice.

In figura 4 sunt indicate rezultatele preliminare ale vitezei de expansiune a plasmei de ablatie laser pentru cele trei structuri functie de concentratia dopantului Sb₂Se₃. In figura 5 este indicat in calitate de exemplu spectrul de emisie al unei felii de plasma cu grosimea de 0.2 mm la o distanta de 5 mm in raport cu tinta de (GeSe₂)₄₀(Sb₂Se₃)₆₀. Din masuratorile spectrale, considerind ca exista satisfacuta conditia echilibrului termodinamic local LTE, pentru calcularea temperaturii de excitare (T) si a densitatii electronice (n_e) au fost folosite ecuatii:

$$\text{Boltzmann: } \ln\left(\frac{\lambda k_i}{A_k g_k}\right) = \left[\frac{4\pi}{N_0 h c} \ln Z(T) \right] - \frac{E_k}{k T} \quad (1)$$

$$\text{Saha-Eggert: } n_e(t) = 4.83 \times 10^{15} \frac{I^*(t)}{I^+(t)} \frac{g^+ A^+ \lambda^*}{g^* A^* \lambda^*} T(t)^{\frac{3}{2}} \times e^{\frac{E^+ - E^* - E_i + \Delta E_i^*}{k T(t)}} \quad (2)$$

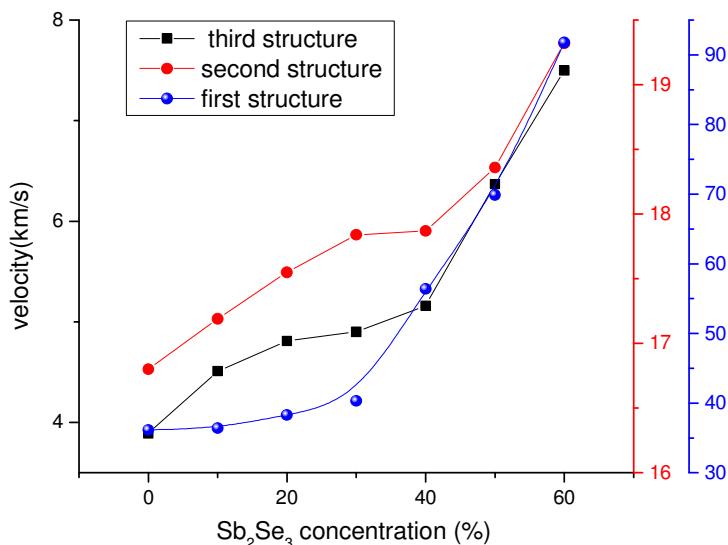


Figura 4. Viteza de expansiune a structurilor de plasma in functie de concentratia dopantului Sb₂Se₃

Au fost observate modificari clare ale vitezei de expansiune ale structurilor de plasma cu concentratia dopantului si acest lucru scoate in evidenta fenomene fizice complexe atat in faza gazoaza cit mai ales in faza condensata de depuere a straturilor subtiri PLD (Figura 4). Astfel se arata ca viteza de expansiune creste cu concentratia dopantului si atinge un maxim corespunzator (60% Sb₂Se₃) la 9.18×10^4 m/s pentru prima structura (rapida) respectiv 1.92×10^4 m/s pentru a doua structura (lenta) si 7.5×10^3 m/s pentru a treia structura (clusteri). De asemenea, s-a observat un regim de accelerare liniara a plasmei de ablatie laser daca concentratia dopantului depaseste o

valoare critica (30% Sb₂Se₃). Acest rezultat este de importanță maximă pentru tehnica PLD, pentru obținerea unor particule de implant cu energii cinetice mari.

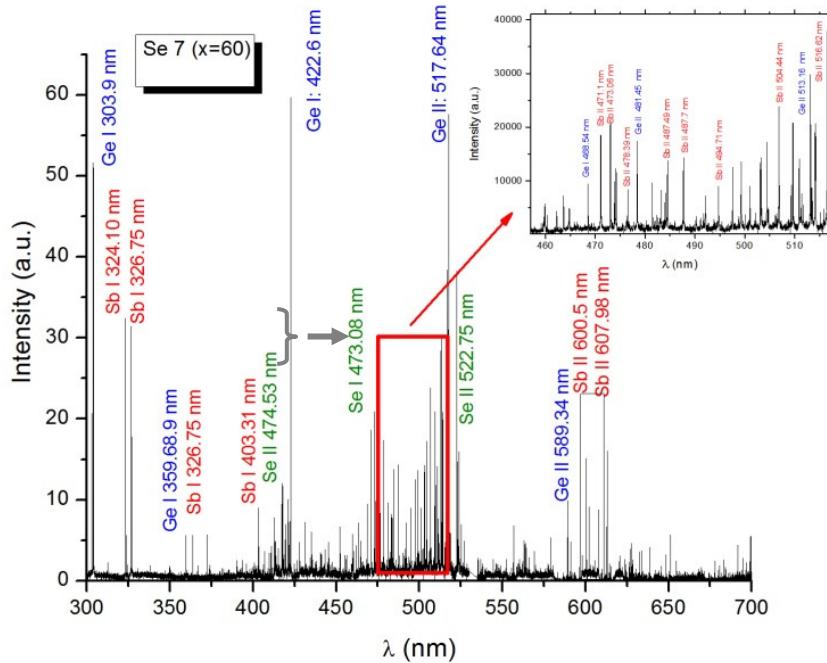


Figure 5. Spectrul tipic de emisie a plasmei de ablatie laser obtinut la distanta de 5 mm de planul tintei de $(\text{GeSe}_2)_{40}(\text{Sb}_2\text{Se}_3)_{60}$

B. Straturi subțiri de ferită de cobalt cu structură cristalografică preferențială, compoziție chimică controlată și anizotropie magnetică au fost obținute prin PLD. Proprietățile lor sunt influențate de condițiile experimentale și, astfel, de caracteristicile plasmei. Scopul acestui studiu a fost de a obține informații cu privire la dinamica plasmei generate prin iradiere laser (532 nm, 10 ns, 10 Hz) a trei tipuri de materiale: ferita de cobalt nedopata și dopată cu pământuri rare (RE = Dy, Gd). Investigații suplimentare efectuate au aratat ca plasma este formată din două structuri: componenta "rapida" este în principal formată de ioni în timp ce cea de a doua se datorează în principal contribuției neutriliilor (a se vedea Figura 6). Folosind distributia Boltzmann, au fost obținute profilele spațiale și temporale ale temperaturii de excitație pentru toate cele trei tipuri de materiale. Au fost observate dependențe similare. Cu toate acestea, la distanțe scurte fata de suprafață a ţintei, temperatura de excitație obținută pentru CoFe_{1.8}Dy_{0.2}O₄ a fost mai mare decât cea a găsită pentru CoFe_{1.8}Gd_{0.2}O₄. Atât comportamentul temperaturii de excitație cat și cel al vitezelor speciilor individuale au fost explicate pe baza valorilor diferite ale caldurilor de vaporizare și ale temperaturilor de topire. Studii suplimentare legate de analiza plasmei obținută în diferite condiții de iradiere și presiune sunt considerate.

O altă activitate de cercetare efectuată în timpul Fazei a II-a a proiectului a fost legată de proprietățile structurale, chimice și magnetice ale nanoparticulelor de ferită de cobalt obținute prin ablatie laser. Scopul acestui studiu a fost de a investiga influența condițiilor de iradiere (energie laser, dimensiunea spotului laser). Ablatia laser este o metodă care poate asigura formarea de straturi subțiri cu proprietăți specifice dar și sinteza de particule de dimensiuni nanometrice cu structură cristalină, fără segregări și / sau aglomerări și cu răspuns magnetic important. Dimensiunea nanoparticulelor și distributia de particula a probelor obținute prin ablatie laser au fost investigate prin analiza TEM.

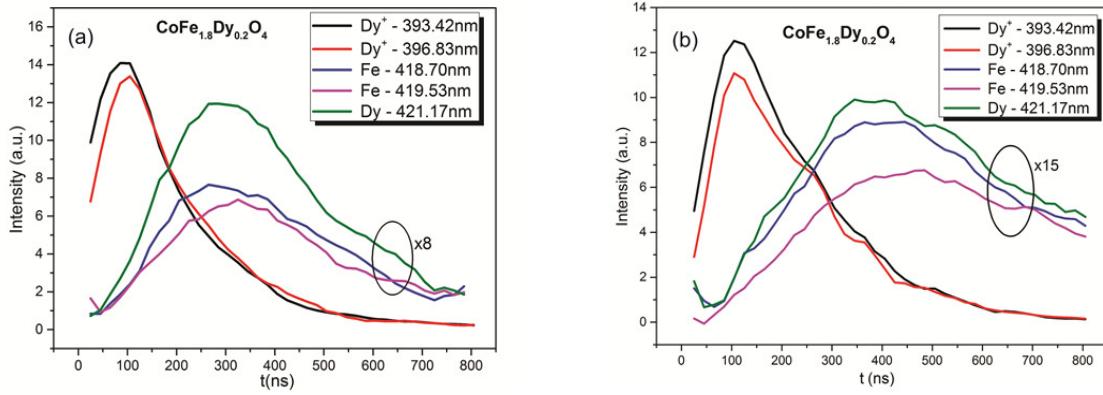


Fig. 6. Profilele temporale ale catorva linii spectrale observate in cazul plasmei de ferita de cobalt dopata cu Dy. A fost analizata o fasie de plasma de 0.1 mm grosime aflata la distanta de 1.2 mm (a) si 1.9 mm (b) de suprafata tintei si inregistrata folosind un gate delay de 50ns

Majoritatea particulelor sunt sferice și au un diametru de circa 15-25 nm cu o distribuție asimetrică a dimensiunilor. Imaginele TEM au arătat prezenta unor particule mari de 100 de nm și aglomerări care apar după procesul de iradiere cu laser. Imaginele mărite ale nanoparticulelor investigate au relevat că miezurile au densități electronice mai mari în raport cu straturile exterioare fapt ce indică o schimbare a caracteristicilor structurale. Prezența mediului apos în care aceste nanoparticule de ferita de cobalt au fost generate, împreună cu reactivitatea lor mare conduc la formarea de nanoparticule magnetice acoperite de oxid. Proprietăatile structurale au fost analizate folosind și difractia de raze X iar proprietăatile magnetice au fost studiate folosind magnetometrul cu probă vibranta. Lipsa liniilor de difractia indică existența unui material amorf. Ciclurile de histeresis au arătat ca probele studiate prezintă un comportament magnetic în care campul coercitiv este influențat de dimensiunea de particulă și de compozitia chimică a materialului.

C. În scopul obținerii unor filme subtiri cu aplicații industriale ca și bariere termice, etc s-au utilizat tehnologii complementare de tip TVA (thermionic vacuum arc). S-au realizat sisteme de tip multistrat cu elemente de tip (W, Fe, Ni) prin abordarea a două configurații experimentale, cu sistem fix sau în miscare rotativă uniformă. Pentru masuratori privind compozitia chimică și structurală a filmelor depuse prin tehnica TVA s-a utilizat tehnica de fluorescentă de raze X (μ XRF). Au fost propuse geometrii special folosind trei surse de evaporare iar rezultatele au fost comparate cu cele realizate prin simulari (Figura 7)

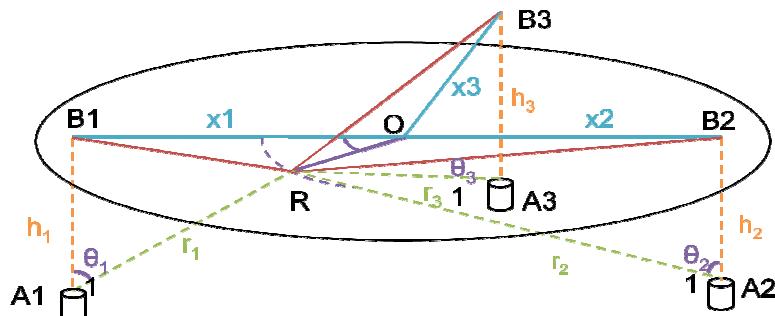


Figura 7. Montaj experimental ce contine trei surse de evaporare pentru depunerea de filme subtiri de tip multistrat W-Fe-Ni

Un total de 148 probe (substrat de siliciu cu 10 mm x 10 mm) au fost măsurate, având un pas de măsurare de 20 mm (fiecare probă măsurată o dată). Probele de pe suportul cu diametru de 300 mm au fost împărțite în 4 zone distincte pentru a găsi optim maxim corespunzător intervalului de

deplasare a axei motorizate XYZ. Rezultatul combinat al celor 4 zone este prezentat ca si mapare de culoare 3D cu un profil de contur in Figura 8. Axa Z reprezinta intensitatea valorii arie integrata a diferitelor linii caracteristice K sau L energetice corespunzatoare elementelor W, Fe si Ni. Se arata ca cea mai mare grosime este obtinuta deasupra zonei anodice a electrodului de Ni (marcate cu zona rosie) sugerand o rată de evaporare mare, în timp ce stratul mai subtire apare in zona de depunere situata la periferie, opusă anodului d Ni (marcat de zona cyan în Fig. 8).

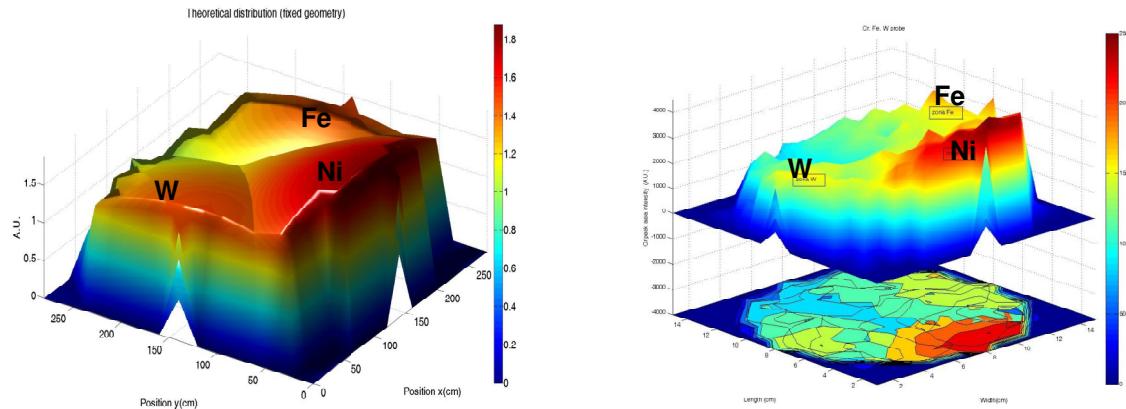


Fig. 8 Reprezentarea tridimensională a suprafetelor de filme depuse in configurația de geometrie fixă cu elemente de W, Fe, Ni (Experim./Theoretic.)

Pentru cazul sistemului cu geometrie depunere fixa, s-au efectuat interpretări atât experimentale cat și teoretice. In figurile 9-10 sunt estimate tendințele de depunere prin folosirea formulei Langmuir-Knudsen care simulează ratele de depunere care apar în metoda TVA.

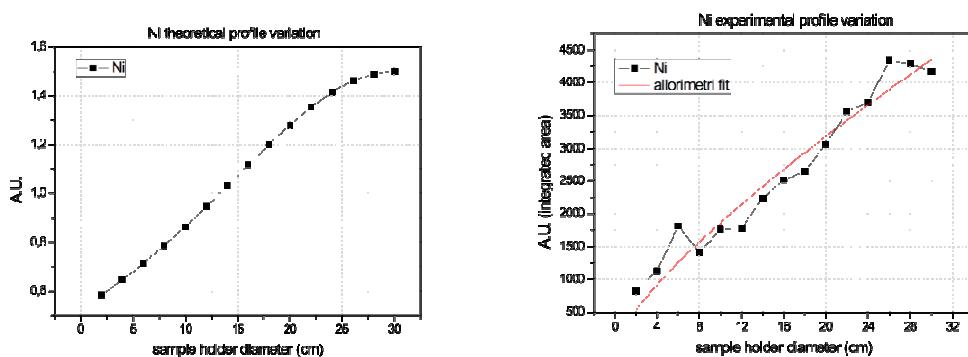


Fig. 9-10 Experiment versus distributie teoretica bidimensionala a Ni

Concluzii

Au fost efectuate studii privind influenta compozitiei chimice a unor tinte diferite asupra dinamicii plasmei de ablatie laser, asupra calitatii straturilor subtiri depuse prin tehnica PLD respectiv TVA. Au fost astfel analizate plasmele tranzitorii ale unor tinte de metale pure dar si ale unor materiale chimic complexe (chalcogenuri, ferita de cobalt, ferita de cobalt dopate cu elemente din grupa lantanidelor, Cu). Masuratorile preliminare au aratat influenta concentratiei unor dopanti in structura chimica a chalcogenurilor de tip $(GeSe_2)_{100-x}(Sb_2Se_3)_x$ care influenteaza intr-o masura foarte mare dinamica plumei de ablatie laser (modificari ale vitezei de expansiune, temperatura de excitare, densitatea electronica, etc). S-a aratat de asemenea existenta unui prag al concentratiei dopantilor pentru care apare un regim liniar de accelerare a plumei de ablatie laser.

Aceste rezultate sunt importante pentru obtinerea unor filme subtiri cu caracteristici optice si electronice deosebite.

Tehnica (TVA) a fost folosita pentru producerea unor noi materiale functionale aplicate ca si acoperiri pentru bariere termice din industrie. Structurile de tip strat sau multistrat au fost depuse in diferite conditii experimentale (presiune, distanta tinta-substrat, temperatura substratului, irafiere, fluenta) si au fost caracterizate structural, chimic, optic si magnetic prin diferite metode. Prin metoda TVA au fost depuse filme compozite de tip W-Fe-Ni cu o variație mare a fiecarui element (intre 20 si 80%). In total au fost obtinute 148 de esantioane. Ele au fost iradiate direct cu laser avand o putere de 3.5W/puls, lungimea de unda de 355 nm, timp de 5 secunde, fascicolul fiind defocalizat astfel incat toata suprafata esantionului sa fie iradiata, neatingandu-se pragul de ablatie.

Nanoparticulelor obtinute in faza lichida respectiv proprietatile morfologice si fizice ale straturilor depuse prin tehnici PLD si TVA, mapare 3D, etc au fost analizate prin tehnici de fluorescenza de raze X, masuratori tribologice si microscopie electronica (SEM). Rezultatele experimentale au fost corelate cu cele din operatiile de simulare corespunzatoare depunerilor filmelor subtiri de W, Fe si Ni.

Bibliografie

1. P Němec, B Frumarová, M Frumar, J Oswald, Optical properties of low-phonon-energy Ge₃₀Ga₅Se₆₅:Dy₂Se₃ chalcogenide glasses, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Volume 61, Issue 10, October 2000, Pages 1583-1589, ISSN 0022-3697, [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3697\(00\)00042-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3697(00)00042-1).
2. P. Němec, M. Olivier, E. Baudet, A. Kalendová, P. Benda, V. Nazabal, Optical properties of (GeSe₂)_{100-x}(Sb₂Se₃)_x glasses in near- and middle-infrared spectral regions, *Materials Research Bulletin*, Volume 51, March 2014, Pages 176-179, ISSN 0025-5408, <http://dx.doi.org/10.1016/j.materresbull.2013.11.050>.
3. V. Nazabal, F. Charpentier, J.-L. Adam, P. Nemec, H. Lhermite, M.-L. Brandily-Anne, et al., Sputtering and Pulsed Laser Deposition for Near- and Mid-Infrared Applications: A Comparative Study of Ge₂₅Sb₁₀S₆₅ and Ge₂₅Sb₁₀Se₆₅ Amorphous Thin Films, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 8 (2011) 990–1000. doi:10.1111/j.1744-7402.2010.02571.x.
4. M. Frumar, B. Frumarova, P. Nemec, T. Wagner, J. Jedelsky, M. Hrdlicka, Thin chalcogenide films prepared by pulsed laser deposition – new amorphous materials applicable in optoelectronics and chemical sensors, *J. Non-Cryst. Solids.* 352 (2006) 544–561. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2005.11.043.
5. J.S. Sanghera, I.D. Aggarwal, Active and passive chalcogenide glass optical fibers for IR applications: a review, *J. Non-Cryst. Solids.* 256–257 (1999) 6–16. doi:10.1016/S0022-3093(99)00484-6.
6. G. Pfeiffer, M.A. Paesler, S.C. Agarwal, Reversible photodarkening of amorphous arsenic chalcogens, *J. Non-Cryst. Solids.* 130 (1991) 111–143. doi:10.1016/0022-3093(91)90449-G.
7. K.E. Youden, T. Grevatt, R.W. Eason, H.N. Rutt, R.S. Deol, G. Wylangowski, Pulsed laser deposition of Ga-La-S chalcogenide glass thin film optical waveguides, *Appl. Phys. Lett.* 63 (1993) 1601–1603. doi:10.1063/1.110730.
8. P. Nemec, S. Zhang, V. Nazabal, K. Fedus, G. Boudebs, A. Moreac, et al., Photo-stability of pulsed laser deposited Ge_xAs_ySe_{100-x-y} amorphous thin films, *Opt. Express.* 18 (2010) 22944–22957. doi:10.1364/OE.18.022944.
9. L. Calvez, Z. Yang, P. Lucas, Light-Induced Matrix Softening of Ge-As-Se Network Glasses, *Phys. Rev. Lett.* 101 (2008) 177402. doi:10.1103/PhysRevLett.101.177402.
10. G. Yang, H. Jain, A. Ganjoo, D. Zhao, Y. Xu, H. Zeng, et al., A photo-stable chalcogenide glass, *Opt. Express.* 16 (2008) 10565–10571.
11. W.H. Wei, L. Fang, X. Shen, R.-P. Wang, Crystallization kinetics and thermal stability in Ge–Sb–Se glasses, *Phys. Status Solidi B.* 250 (2013) 59–64. doi:10.1002/pssb.201248284.

12. O. Pompilian, G. Dascalu, I. Mihaila, S. Gurlui., M. Olivier, P. Nemeč, V. Nazabal, N. Cimpoesu, C. Focsa, Pulsed laser deposition of rare-earth-doped gallium lanthanum sulphide chalcogenide glass thin film, *Applied Physics A-Materials Science & Processing*, Volume: 117 Issue: 1 Pages: 197-205, DOI: 10.1007/s00339-014-8359-6 (2014)
13. G. O. Pompilian, S. Gurlui, P. Nemeč, V. Nazabal, M. Ziskind, C. Focsa, *Plasma Diagnostics in Pulsed Laser Deposition of GaLaS Chalcogenides*, *Appl. Surf. Science*, 278, Pages 352-356 (2013)
14. M. Olivier, P. Němec, G. Boudebs, R. Boidin, C. Focsa, and V. Nazabal, *Optical Materials Express* Vol. 5, Issue 4, pp. 781-793 (2015) doi: 10.1364/OME.5.000781
15. C. Focsa, P. Nemeč, M. Ziskind, C. Ursu, S. Gurlui, V. Nazabal, *Laser ablation of As_xSe_{100-x} chalcogenide glasses: Plume investigations*, *Applied Surface Science*, 255 (10), pp. 5307-5311 (2009);
16. S. Canulescu, E.L. Papadopoulou, D. Anglos, Th. Lippert, C. Schneider, A. Wokaun, Mechanisms of the laser plume expansion during the ablation of LiMn₂O₄, *Journal of Applied Physics*, Vol. 105, No. 6, 2009, p. 063107.
17. Y. Ralchenko, A.E. Kramida, J. Reader, and NIST ASD Team (2008). NIST Atomic Spectra Database (version3.1.5) (Online: <http://physics.nist.gov/asd3>). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
18. C. Ursu, S. Gurlui, C. Focsa, G. Popa, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* 267 (2009) 446.
19. S. Gurlui, M. Agop, P. Nica, M. Ziskind, C. Focsa, *Phys. Rev. E* 78, 026405 (2008)
20. Alex Goldman, *Modern Ferrite Technology* (2006), Ed. Springer Science+Business Media, Inc.;
21. Mah Rukh Siddiquah, Effect of doping of various metal cations on structural, electrical and magnetic properties of nano cobalt ferrites, (2008);
22. N. Moumen, M. P. Pilani, Control of the Size of Cobalt Ferrite Magnetic Fluid, *J. Phys. Chem.*, Vol. 100, No. 5, (1996), pp. 1867-1873;
23. K. Kamala Bharathi, Effect of partial substitution of some rare earth ions on magnetoelastic properties of Ni ferrite, (2009);
24. Myrti L. Kahn, Z. John Zhang, Synthesis and magnetic properties of CoFe₂O₄ spinel ferrite nanoparticles doped with lanthanide ions, *Applied Physics Letters*, Vol. 78, No. 23 (2001), pp. 3651-3653.
25. J. Barbosa, B. G. Almeida, J. A. Mendes, A. G. Rolo, J. P. Araújo and J. B. Sousa, Nanogranular BaTiO₃-CoFe₂O₄ thin films deposited by pulsed laser ablation, *J. Appl. Phys.* Vol. **101** (2007), 09M101.
26. Y. Kitamoto, S. Kantake, F. Shirasaki, M. Abe, and M. Naoe, Co ferrite films with excellent perpendicular magnetic anisotropy and high coercivity deposited at low temperature, *J. Appl. Phys.*, Vol. **85**, No. 8 (1999), pp. 4708-4710;
27. J. H. Yin, B. H. Liu, J. Ding, Y. C. Wang, High coercivity in nanostructured Co-ferrite thin films, *Bull. Mater. Sci.*, Vol. **29**, No. 6, November (2006), pp. 573-580;
28. J.H. Yin, J. Ding, J.S. Chen, X.S. Miao, Magnetic properties of Co-ferrite thin films prepared by PLD with in situ heating and post-annealing, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* Vol. **303** (2006), pp. e387-e391;
29. T Yu, Z X Shen, Y Shi and J Ding, Cation migration and magnetic ordering in spinel CoFe₂O₄ powder: micro-Raman scattering study, *J. Phys.: Condens. Matter*, Vol. **14** (2002), pp. L613
30. S. W. da Silva, T. F. O. Melo, M. A. G. Soler, E. C. D. Lima, M. F. da Silva, and P. C. Morais, Stability of Citrate-Coated Magnetite and Cobalt–Ferrite Nanoparticles Under Laser Irradiation: A Raman Spectroscopy Investigation, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 39, No. 5 (2003), pp. 2645-2647;

SE APROBA
Rector
Prof. Univ. Dr. Vasile ISAN

Indicatori de realizare a fazei

Denumirea indicatorilor	Numar/ Mii Ron	
	Planificat	Realizat
1. Investitii noi in infrastructura CDI	-	-
2. Gradul mediu de utilizare a echipamentelor CDI	-	-
3. Numar de entitati sustinute pentru cresterea capacitatii de ofertare a serviciilor de experiment	-	-
4. Numar de articole publicate in reviste indexate ISI sau incluse in alte baze de date recunoscute international	-	-
5. Carti, atlase, dictionare si alte produse cu caracter stiintific publicate anual, in tara si in strainatate	-	-
6. Numar de conferinte organizate, din care internationale	-	-
7. Numar de expozitii finantate	-	-
8. Valoarea investitiei in infrastructura si servicii de comunicatii	-	-
9. Ponderea cercetatorilor care au acces la resursele de informare on-line	-	-
10. Numar de reviste dedicate popularizarii stiintei	-	-
11. Numar de proiecte de comunicare stiinta-societate	-	-
12. Numar de proiecte de studii perspective	-	-
13. Numar de proiecte de pregatire a unor participari la programe internationale	-	-
14. Numar de participari in proiecte internationale	-	-
15. Valoarea apelurilor tematice comune lansate	-	-
16. Participari conferinte nationale si internationale	4	18
17. Lucrari publicate prin conferinte	1	2

Director de proiect,
Conf. Univ. Dr. Silviu GURLUI

ANEXA 4
Raport Anual de Activitate

Annual Summary Document Template¹

1. Cover Page (1 page):

- Group list (physicists, staff, postdocs, students):
 - Silviu Octavian GURLUI, Assoc. Prof. PhD
 - Georgiana BULAI, Post-doc;
 - Marius CAZACU, Post-doc;
 - Adrian TIMOFTE, Post-doc;
 - Ilarion MIHAILA, Post-doc;
 - Lungu Petrica Cristian CS I
 - Porosnicu Corneliu Constantin CS III
 - Jepu Ionut CS III
 - Chiru Petrica CS
 - Pompilian Oana AC
 - Butoi Gabriel Bogdan ACS
 - Dinca Paul Pavel ACS
 - Luculescu Catalin CS II
- Specific scientific focus of group

The group from “Alexandru Ioan Cuza” University of Iasi is focused on the following research domains: Optics and Lasers, Laser Ablation Spectroscopy, Pulse Laser Deposition (PLD), Atmosphere Optics, Self-organization and Nonlinear Dynamics, Discharge Plasma.

- <http://spectroscopy.phys.uaic.ro/>

The scientific focus of the partner group is elementary processes in plasma and applications such as plasma material processing using the thermionic vacuum arc (TVA) technology.

- <http://eppa.inflpr.ro/>

- Summary of accomplishments in the last year

Research activity: Plasma plume dynamics of both pure (W, Ni, Al, etc) and chemically complex materials, influence of the wall physical parameters, obtained nanoparticle and studies by laser ablation in different conditions, Deposition of ternary W containing layers - W/Fe/Ni and W/Be/C.

Results: 2 ISI paper, 1 ISI submitted paper, 18 conferences

¹ Please fill in all the required items and do not alter the template

2. Scientific accomplishments (max. 3 pages) – Results obtained in the last year.

A. In order to study the influence of the substrate wall to the dynamics of the transient laser ablation plasma plume, a cylindrical metallic wall has been used. Set as a coupled mechanical system, both the target and substrate wall have been electrical isolated, and placed at different distances from each other. Moreover, in the center of the substrate wall a slit of 5 mm wide and 10 mm height was made, by which the pulsed laser beam is focused on target. In our experiment a distance of 4.27 cm between the target and wall substrate was fixed. Typical recorded ICCD images (20 ns gate time) of the expanding (GeSe₂)_{100-x}(Sb₂Se₃)_x plasma plume at different delays after the laser pulse are given in Figure 1. The images of these structures reveal a splitting process of the plasma blobs into three plasma structures. These preliminary results seem to be interesting while only two plasma formations have been previously evidenced using chalcogenide targets. Nevertheless, a third plume component close to the target with well defined interface and large contact area with the surface has been also observed in the ablation of the LiMn₂O₄ in an oxygen atmosphere.

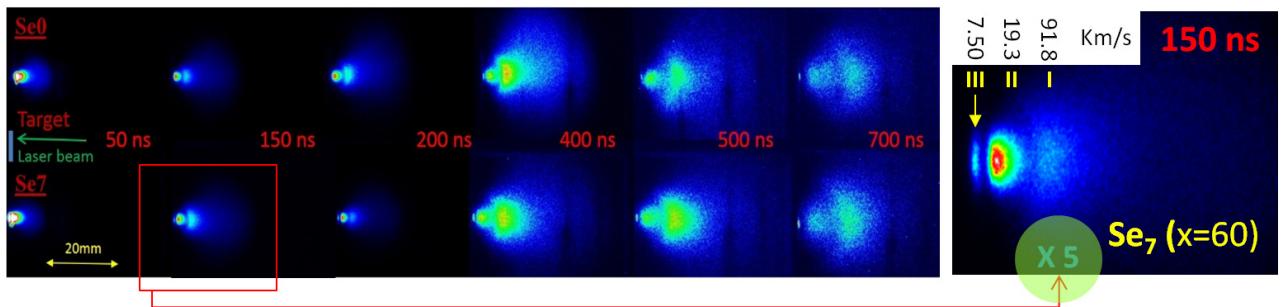


Figure 1. ICCD images of laser produced plasmas on GeSe₂ and Ge_{9.5}Sb_{28.6}Se_{61.9}.

Therefore, our preliminary results underlined that the three plasma formations behavior seem as depending of the Sb₂Se₃ concentration of each used bulk target and the splitting of the plasma plume expansion could be linked to multiple scattering interactions between the background gas molecules and the fast expanding plasma plume. The interaction of the backscattered particles with the incoming particles gives rise to the third plume clustered component. The obtained clusters created by collisions with a background gas in the third component plasma plume can be useful in PLD applications to obtaining films with well different electronic properties. Moreover, the collision between different plasma species may contribute to the slight deceleration of the third plasma plume velocity. Because the splitting plasma plume suggests the presence of complex excitation processes, complementary space- and time-resolved optical and electrical diagnosis of the internal plasma plume structures were analyzed. To understand the plume expansion mechanism and its evolution with the dopant, the velocities of the three plasma formations have been calculated by measuring the position of the maximum emissivity at different delays. Indeed, the dopant concentration may induce interesting physical phenomenon since the expansion velocity profiles are clearly influenced. Thus, the velocity of all three plasma formation increases with the Sb₂Se₃ dopant to a high maximum (60% Sb₂Se₃) of about 9.18×10^4 m/s for the first and fast plasma structure, 1.92×10^4 m/s for the second plasma structure and 7.5×10^3 m/s for the third plasma structure, respectively. Thus, the preliminary results underline the interesting behavior plasma formations since the 30% Sb₂Se₃ dopant seems to be the critical point where the first plasma plume presents a linear accelerated regime and consequently obtaining high kinetic energy species in the plume hitting the surface of a growing film in the PLD applications.

B. Cobalt ferrite thin films with preferential crystallographic structure, controlled composition and perpendicular magnetic anisotropy have been obtained by pulsed laser deposition. Their properties are influenced by the experimental conditions and thus by the deposition plasma plume characteristics. The aim of this study was to obtain information on the dynamics of the expanding plasma generated by laser irradiation (532nm, 10 ns, 10Hz) of three bulk materials of pure and rare-earth doped (RE=Dy, Gd) cobalt ferrite. Further investigations done by space- and time-resolved spectroscopy analysis revealed that the previously observed “fast” component is mainly formed by ions, while the second one is mainly due to neutral contribution (see Figure 2). Using Boltzmann plot, spatial profiles of neutral iron excitation temperature were plotted for all three types of bulk materials and similar dependences were observed. However, at short distances from the target surface, the excitation temperature found for the CoFe_{1.8}Dy_{0.2}O₄ plasma was 600K higher than the one found for CoFe_{1.8}Gd_{0.2}O₄. Both excitation temperature and individual velocity variations

were explained on the basis of the different vaporization heat and melting temperature values of the two rare-earth elements. Further studies of the plasma plume obtained in different conditions of pressure and fluence are considered.

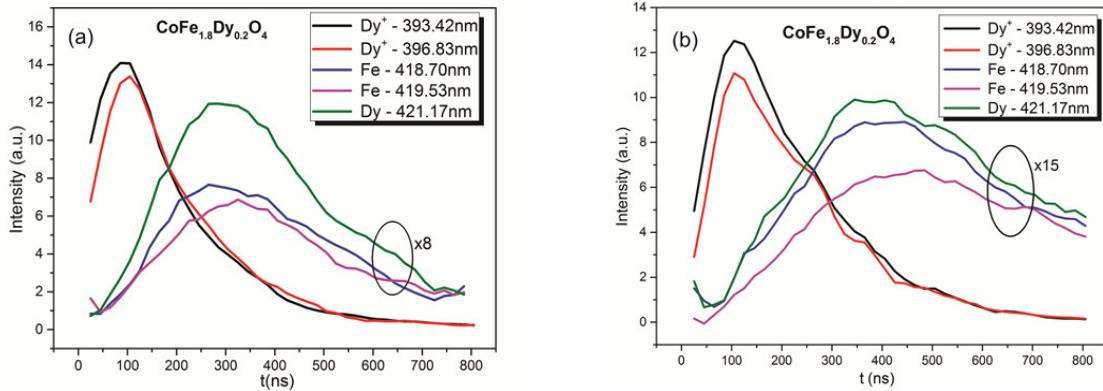


Fig. 2. Temporal profiles of several spectral lines observed for the Dy-doped cobalt ferrite plasma slice (0.1 mm wide) centered at distance of 1.2 mm (a) and 1.9 mm (b) from the target surface and recorded using a 50ns ICCD gate width. Multiplicative factors were applied to the neutrals signal for better visibility.

Another research activity done during Phase II of the project was related to the structural, chemical and magnetic properties of the cobalt ferrite nanoparticles obtained by laser ablation. The aim of this study was to investigate the influence of laser irradiation conditions (laser energy, spot size diameter). Pulsed laser ablation is a method that can ensure the formation of thin films with specific properties but also the synthesis of nano-sized particles with crystalline structure, no segregations and/or agglomerations and large magnetic response. The morphology and size distributions of the nanoparticles synthesized by laser ablation were investigated by TEM imaging. Most particles are spherical and have a diameter of about 15-25 nm with an asymmetric distribution of sizes. TEM images also showed some particles as large as 100 nm and also agglomerations that occur after the laser irradiation process. The magnified images of the investigated nanoparticles revealed that the cores have higher electron densities compared with the grey outer layers indicating a change in the structural characteristics. The presence of the aqueous medium in which these cobalt ferrite nanoparticles were generated together with their high reactivity lead to the formation of magnetic nanoparticles covered in oxide shell. Further structural characterization was done using X-Ray diffraction and the magnetic properties were studied by VSM measurements. The absence of the diffraction lines indicates that the analyzed material is amorphous. The hysteresis curves showed that the analyzed samples have a magnetic behavior and their coercive field is influenced by the size and chemical composition of the nanoparticles.

C. Using thermionic vacuum arc (TVA) method mixed layers (W, Fe, Ni) in fixed and rotated deposition geometries were produced. X-ray micro-beam fluorescence (μ XRF) method was used as non-invasive solution in order to quantify film composition on specific position on a disc holder of 300 mm in diameter. The geometrical dependence on a planar substrate using three independent evaporators was studied comparing 2D μ XRF mapping with theoretical results. For fixed deposition setup, within elemental combinations of W-Fe-Ni, a surface mapping campaign was conducted. A total of 148 samples (silicon substrate with 10 mm x 10 mm) were measured, with a measuring point step of 20 mm (each sample measured once). The samples on the 300 mm diameter holder were divided in 4 distinct areas in order to fit in the maximum moving area range of the motorized XYZ axis. The recombined result of the 4 zones is shown by a 3D color map surface plot with a contour profile (Fig.3). In the color map, the Z axis represents the intensity of the integrated area value of different characteristic energetic K or L lines corresponding to W, Fe and Ni elements. Contour plot shows that the highest deposition thickness is situated above Ni anode area (marked with the red area) suggesting a higher evaporation rate while the thinnest deposition area is situated in a line profile from the central to periphery opposite to the Ni anode (marked by cyan area in Fig.3).

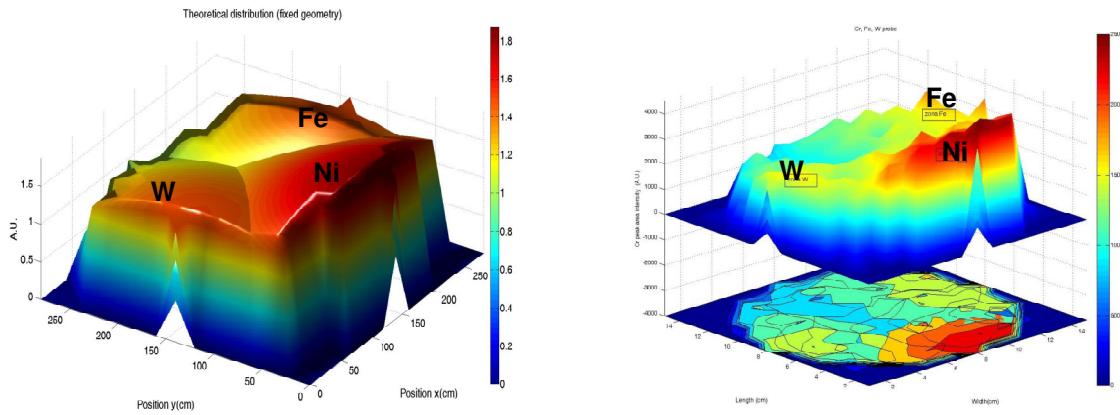


Fig. 3 Color map 3D surface plot of fixed geometry of W, Fe, Ni deposition (Experim./Theoretic.)

For fixed deposition geometry, both experimental and theoretical interpretations were conducted. Starting from the Langmuir-Knudsen formula that simulates the deposition rates occurring in the TVA method we can anticipate the deposition tendencies (Fig.3-4).

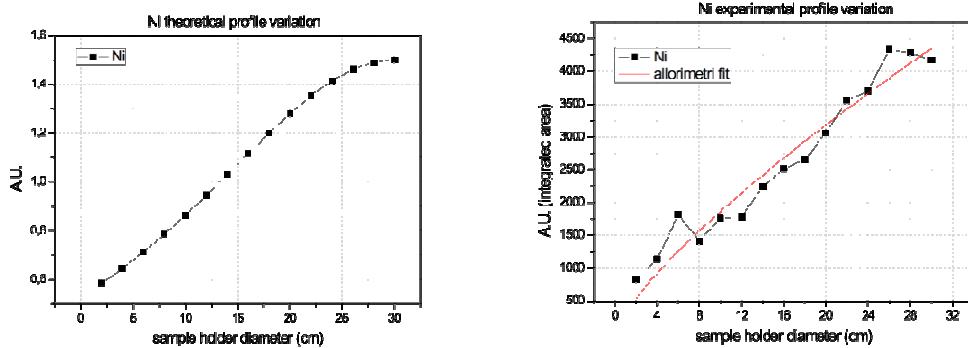


Fig. 4 Experimental / theoretical 2D plot distribution of Ni on ample holder surface

TVA method is used to produce functional materials applied as thermal barrier coatings in industry. XRF method was used as a non-invasive solution adapted for thin functional coatings layers. XRF method is capable to determine the variation of elemental concentration for various elements in stationary and rotated deposition setups.

3. Group members (table):

- List each member, his/her role in project and the Full Time Equivalent (FTE) % time in project. The FTE formula to be used is: $FTE = \text{Total number of worked hours in the last year}/2040 \text{ hours}^2$;
- Silviu Octavian GURLUI, Conferentiar. dr. , FTE=11.96%
- Georgiana BULAI, Post-doc; FTE=19.8%
- Marius CAZACU, Post-doc; FTE=19.8%
- Adrian TIMOFTE, Post-doc; FTE=16.07%
- Ilarion MIHAILA, Post-doc; FTE=8.04%
- Lungu Petrica Cristian CS I, FTE=2.79%
- Porosnicu Corneliu Constantin CS III , FTE=4.5%
- Jepu Ionut CS III, FTE=5.63%
- Chiru Petrica CS, FTE=3.43%
- Pompilian Oana AC, FTE=9.21%
- Butoi Gabriel Bogdan ACS, FTE=4.16%
- Dinca Paul Pavel ACS, FTE=0.88%

² 2040 hours = 170 average monthly hours x 12 months

- Luculescu Catalin CS II, FTE=2.00%
- List of PhD/Master students and current position/job in the institution:
- Paul Pavel DINCA, PhD Student, Assistant Researcher

4. Deliverables in the last year related to the project:

- List of papers (journal or conference proceeding);
 1. G. Bulai, S. Gurlui, O. F. Caltun, C. Focsa, Pure and rare earth doped cobalt ferrite laser ablation: space and time resolved optical emission spectroscopy, Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures Vol. 10, No. 3, July - September 2015, p. 1043 – 1053;
 2. Mustata, C. Porosnicu, I. Jepu, C. P. Lungu, Simultaneous and Alternate Thin Film Depositions by Thermionic Vacuum Arc (TVA) Method, Romanian reports in Physics, Volume 60, Number 9-10, 2015, in press;
 3. S. Gurlui, N. Petru, M. Agop, M. Osiac, M. Ziskind, C. Focsa, Peculiar effects in transient plasmas generated by high - fluence laser ablation, Submitted at Plasma Sources Science and Technology, Article reference: PSST-100900/2015
- List of talks of group members (title, conference or meeting, date);

Conference participations:

1. G. Bulai, V. Nica, B. Chazallon, S. Gurlui, C. Focsa, Influence of rare earth addition on structural and magnetic properties of cobalt ferrite thin films, EMRS Spring Meeting, 2015, Lille, France;
2. G. Bulai, B. Chazallon, I. Dumitru, S. Gurlui, C. Focsa, Influence of deposition conditions on rare earth doped cobalt ferrite thin films obtained by PLD, Conference on Laser Ablation, 2015, Cairns, Australia;
3. G. Bulai, S. Gurlui, B. Parvatheeswara Rao, Ovidiu Florin Caltun, Alternating target laser ablation deposition of Cu doped cobalt ferrite thin films, International Conference on Magnetism, 2015, Barcelona, Spain;
4. G. Bulai, A. Fifere, I. Dumitru, M. Pinteala, C. Focsa, S. Gurlui, Structural and magnetic properties of cobalt ferrite nanoparticles obtained by laser ablation in liquid, International Conference on Magnetism, 2015, Barcelona, Spain;
5. M. Strat, N. Cimpoesu, V. Pohoata, E. Buruiana, G. Bulai, S. Gurlui, Selforganization of Nanoaggregates Polyurethane Coumarins, Frontiers in Polymer Science, 2015, Riva del Garda, Italy;
6. F. Husanu, G. Bulai, M. Pinteala, C. Focsa, S. Gurlui, Studiul nanoparticulelor de ferită de cobalt obținute prin ablație laser în lichid, Conferinta Națională Fizica și Tehnologiile Educaționale Moderne, Iași, 2015, Romania;
7. S. A. Irimiciuc, S. Gurlui, P. Nica, M. Agop, M. Osiac, C. Focsa, Langmuir Probe Measurements on Femtosecond Laser Ablation of Several Metals, EMRS Spring Meeting, 2015, Lille, France;
8. S. A. Irimiciuc, S. Gurlui, P. Nica, M. Agop, M. Osiac, C. Focsa, Electrical and optical investigation of plasma plumes generated by femtosecond laser ablation of various metals, The 13th Conference on Laser Ablation (COLA-2015) Cairns, Australia;
9. S. A. Irimiciuc, S. Gurlui, P. Nica, M. Agop, M. Osiac, C. Focsa, Optical and electrical investigations of transient plasmas generated by femtosecond laser ablation, XXXII ICPIG, 2015, Iasi, Romania;
10. M. M. Cazacu, A. Timofte, O. Rusu, B. Albina, G. Bulai, L. Leontie, and S. Gurlui, Advanced Optical Remote Sensors For Airborne And Spaceborne Platforms, The 4TH International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices, August 2015, Budva, Montenegro;
11. B. C. Hodoroaba, S. A. Irimiciuc, G. Bulai, C. Focsa, S. Gurlui, Studiul plasmei de ferita de cobalt produsa prin ablatie laser, FTEM, 2015, Iasi, Romania;

12. B. Butoi, C. Porosnicu, P. Dinca, O. Pompilian, I. Jepu, C. Lungu, Characterization of TVA deposited Ag/Cu thin film with antibacterial properties for use in Smart Ventilation Systems, 42th European Physics Society Conference on Plasma Physics, 2015, Lisbon, Portugal, 22nd—26th June 2015;
13. P. Constantin - Workshop-ul PQM-NET IST-2 Training Course Practical Aspects of Managing ITER-related Contracts & Tools in Use (at F4E, ITER-IO, European Fusion Labs), Budapest, Ungaria - 11-16 mai 2015;
14. L. Mihail, 52nd Culham Plasma Physics Summer School, 13th - 24th July 2015;
15. C. Porosnicu, I. Jepu, C. Lungu, M. Lungu, P. Dinca, O. Pompilian, I. Tiseanu, Laser Induced Tribological modifications of Composite Layers Obtained by TVA, 15th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, Romania, Constanta, 2-4 iulie 2015.
16. S.A. Irimiciuc, B.C. Hodoroaba, S. Gurlui, P. Nica, M. Agop, C. Focsa, “Nanosecond and femtoseconds laser ablation plasmas investigated by time-resolved electrical methods” at “International Conference on Extreme Light” (ICEL), 23-27 November 2015, Bucharest, Romania
17. S.A. Irimiciuc, B.C. Hodoroaba, G. Bulai, S. Gurlui, M. Agop, C. Focsa, “Space- and time-resolved optical diagnosis of transient plasmas generated by nanosecond laser ablation of metallic targets” at “International Conference on Extreme Light” (ICEL), 23-27 November 2015, Bucharest, Romania
18. S. Gurlui, P. Nica, M. Agop, C. Focsa, “Oscillatory behaviour and double-layer effects in high-fluence laser ablation plasmas” at “International Conference on Extreme Light” (ICEL), 23-27 November 2015, Bucharest, Romania

5. Further group activities (max. 1 page):

- Collaborations, education, outreach.

6. Financial Report for the last year (see the Annex).

7. Research plan and goals for the next year (max. 1 page):

- a. In order to obtaining a better understanding of the wall thermal and mechanical effects during the laser ablation process and TVA but also the fundamental of high kinetics charged species behavior ejected from irradiated wall, complementary models in the COMSOLE platform will be furthermore developed.
- b. A theoretical model will be elaborated in order to explain the obtained experimental data and to improve the environmental conditions. Both laser surface matter and plasma wall interactions in different time scale (nanosecond, picosecond and femtosecond regimes) will be moddelized based on fractal theory that has already proposed [M. Agop, P. E. Nica, S. Gurlui, C. Focsa, V. P. Paun and M. Colotin, **Implications of an extended fractal hydrodynamic model**, The European Physical Journal D - Atomic, Molecular, Optical and Plasma Physics, Volume 56, Number 3, 405-419, (2010) DOI: 10.1140/epjd/e2009-00304-5; M. Colotin, G. O. Pompilian, P. Nica, S. Gurlui, V. Paun, M. Agop, **Fractal transport phenomena through the scale relativity model**, Acta Physica Polonica A, 116 (2), pp. 157-164 (2009); S. Gurlui, M. Agop, P. Nica, M. Ziskind, C. Focsa, **Experimental and theoretical investigations of transitory phenomena in high-fluence laser ablation plasma**, Phys. Rev. E 78, 026405 (2008)].