Raport de cercetare

Senzori MicroLIBS pentru misiuni robotizate de explorare planetară și astrobiologice

PN-III-P4-ID-PCE-2020-0332/ 04/01/2021- 31/12/2023. **Unitatea Executiva pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării si Inovării (UEFISCDI)**

Raport de faza
Stabilirea parametrilor experimentali și configurarea programelor de modelare pentru explorări spațiale,
perioada 04/01/2021 - 30/12/2021

Director de proiect: Conf. univ. dr. habil. S. Gurlui
Pagina web, proiect: http://spectroscopy.phys.uaic.ro/robim.html

Metoda cu element finit de modelare și simulare în COMSOL a fenomenelor fizice pentru analiza parametrilor în vederea folosirii dublului puls laser pentru spectroscopia LIBS & PLD

Tehnologia cu dublu puls laser are ca scop îmbunătățirea etapei ablative și emisive a plasmei obținută în spectroscopia LIBS. Modelarea și simularea numerică reprezintă una dintre etapele necesare pentru dezvoltarea tehnologiei miniaturizate pentru detecția la distanță a speciilor chimice pe baza metodelor spectroscopice care implică ablația laser, urmând ca rezultatele obținute să fie validate de cele experimentale și reciproc.

Studiul creșterii efectelor emisive la interacțiunea a două pulsuri laser cu materialul țintei

În vederea sporirii efectelor emisive din timpul revenirii atomilor din starea excitată în starea lor fundamentală, este necesar ca energia transferată în procesul de ablație laser să fie una de nivel ridicat. În acest scop, se încearcă eficientizarea iradierii laser cu pulsuri de un anumit nivel energetic prin cuplarea a două sisteme laser care să opereze după anumite intervale de timp unul față de celălalt. Astfel, optimizarea parametrilor include în acest caz și diferența de timp între acțiunea celor două radiații (decalaj de timp sau “time delay”), pe lângă durata pulsului, lungimea de undă, energia pulsului, raza spotului sau lungimea de undă specifice fiecărui laser în parte. Modelarea și simularea numerică are rolul de a reduce numărul de încercări și de a acoperi o plajă largă de valori de încercare a parametrilor aleși a fi variați. Simularea condusă în softul COMSOL Multiphysics a fost realizată pentru diverse lungimi de undă și pe ținte din materiale diferite, cu varierea decalajului de acțiune în timp dintre cele două lasere (time delay). S-au simulat iradieri cu radiații laser de lungimi de undă de 532 nm, 266 nm, 355 nm și combinații ale acestora, energia pulsului, raza spotului, frecvența de repetiție și durata pulsului de 10 ns

s-au menținut constante, iar diferența de timp între acțiunea celor două pulsuri laser a fost variată din “parametric sweep”.

Modelul teoretic și matematic este conform cu publicațiile anterioare prin care laboratorul nostru, LOASL, a raportat simulări ale interacțiunii radiației laser cu materia în procese de ablație laser [1-3] și dezvoltat în continuare pentru a descrie acțiunea unui sistem de două lasere pulsate decalate în timp.

Pentru a simula în COMSOL (software pentru analiza cu element finit-FEA care are la bază metoda cu element finit - FEM) a interacțiunii radiației cu dublu puls laser cu filme subțiri se selectează modulul “Heat Transfer in Solids”. Modelarea este una specifică pentru analiza cu element finit – FEA și implică o serie de etape. Prima constă în elaborarea modelului geometric care să descrie cât mai exact sistemul ce urmează a fi studiat. Acest lucru se realizează prin selectarea geometriei 3D sau 2D, a formelor geometrice, adăugarea de strat subțire, precum și a spotului pe care acționează radiația laser. Pentru descrierea geometrică a spotului radiației laser va fi folosită funcția “work plane”, descriind astfel interacțiunea radiației laser cu suprafața materialului țintei. Sunt adăugate apoi materialele corespunzătoare fiecărei component geometrice accesând baza de date COMSOL sau introducând manual material noi cu toate detaliile de caracteristici necesare.

Următoarea etapă constă în “compactarea” geometriilor componente și în stabilirea condițiilor de transfer de căldură acolo unde acestea au loc sau a condiției de izolare termică (adiabată) acolo unde este cazul. Condițiile vor fi selectate din secțiunea “Heat Source” și “Initial Values”, iar pentru izolare adiabată se activează “Thermal insulation”.

Discretizarea (mesh) se va face mai avansat pe domeniul de interes și anume pe spot și pe grosimea stratului subțire, iar pentru restul geometriei se va face o discretizare mai grosieră. Urmează stabilirea modelului matematic și implementarea acestuia în conexiune cu modelul matematic furnizat de modulul ales, completâdu-l și extinzându-l pe acesta din urmă conform fenomenelor și proceselor studiate. Astfel, modulul ales (Heat Transfer in Solids) furnizează ecuația generală de transfer de căldură și anume: $\rho(T)C_p(T)\frac{\delta T}{\delta t} = \nabla[\text{Ƙ}(T)\nabla T] + Q$ unde ρ(T), CP(T) și Ƙ(T) sunt constante de material: densitate, căldura specifică la presiune constantă și conductivitatea termică. Ele sunt definite ca funcții de temperatura T prin funcții polinomiale pe intervale de temperatură. Deoarece aceste funcții sunt stabilite experimental de obicei până la temperatura de topire sau până la temperatura de vaporizare,

pentru temperaturi mai mari (cum sunt cele la care are loc ablația care pot ajunge și la 10^4K sau mai mari) este folosită opțiunea “nearest function” pentru extrapolarea funcțiilor respective.

În ecuația transferului de căldură este necesară definirea sursei de căldură Q. În acest caz, al iradierii cu laser pulsat, sursa este radiația laser. Modelul matematic pentru sursa Q se regăsește în articolele Cocean et al, "Study of the pulsed laser deposition phenomena by means of Comsol Multiphysics", U.P.B. (2017) și Cocean et al "Thermal effects induced by laser ablation in non-homogeneous limestone covered by an impurity layer", Appl. Surf. Sci. (2017) unde sursa de căldură este definită prin relația $Q = I_0 \cdot (1 - R) \cdot \alpha \cdot an1 \cdot an2 \cdot I_z$ [W/m^3], unde I_0 este densitatea de putere a radiației laser incidente, R este reflectivitatea, α este coeficientul de absorbție al materialului la lungimea de undă a radiației laser, an1 și an2 sunt funcții care redau distribuția gaussiană pe suprafață și în timp a fasciculului laser, iar I_z este atenuarea intensității fasciculului cu grosimea materialului în funcție de coeficientul de absorbție al acestuia, conform legii Beer-Lambert ($I_{zi} = e^{-\alpha_i|z|}$). Modelul matematic se introduce în secțiunea “Variables”, iar componentele din formula introdusă se vor prelua din secțiunile “Parameters” și “Analytics” unde trebuie să le definim, după cum urmează: în secțiunea “Parameters” se introduc parametrii de lucru sub formă numerică sau ca formulă de calcul, iar în secțiunea “Analytics” se introduc cele două funcții de distribuție gaussiană an1 și an2. În modelul pentru două pulsuri laser vor fi definite două surse Q_1 și Q_2 , fiecare cu parametrii specifici privind durata pulsului, lungimea de undă a radiației laser, energie/fluență etc. De asemeni, se ține cont de decalajul de timp între cele două pulsuri laser (time delay) și care poate fi modelată prin gaussiana de timp an2. Astfel, dacă pentru primul puls gaussiana de timp este cea descrisă în lucrările amintite mai sus și anume: $an_{2.1}(t) = e^{-3.5\cdot\left(\frac{t-\tau}{\tau}\right)^2}$, pentru al doilea puls, funcția analitică care îl descrie trebuie să cuprindă și diferența de timp dt (time delay) și anume: $an_{2.2}(t) = e^{-3.5\cdot\left(\frac{t-\tau-dt}{\tau}\right)^2}$. Pentru o analizã în funcție de decalajul de timp dintre cele două pulsuri laser, time delay (dt), se aplică “parametric sweep” pentru un domeniu cu un pas dat sau optând pentru anumite valori discrete ale dt. Pentru a descrie spotul radiației, formula analitică este aceeași pentru ambele pulsuri laser, $an_1(x, y) = e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\cdot\sigma_x^2}-\frac{(y-y_0)^2}{2\cdot\sigma_y^2}}$, eventualele diferențe putând fi doar valorice, decurgând din coordonatele spotului laser.

Astfel, sistemul va conține două variabile pentru sursa de energie Q, descrise de ecuațiile generale din Figura 1.

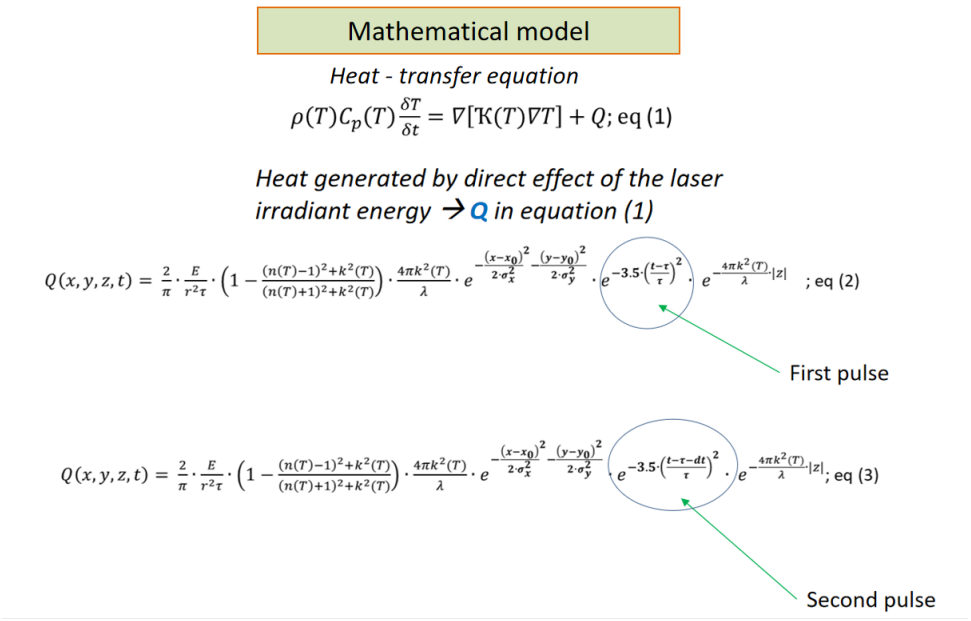


Figura 1. Schema modelului matematic al acțiunii sistemului de două lasere pulsate cu decalaj de timp *dt (din prezentarea orală susținută la Conferința ICPAM 13 din 24 -30 September 2021: "Dual-pulse ns-laser-induced Raman and breakdown spectroscopy to enhance performance on atoms and molecular detection" by A. Cocean, C. Postolachi, S. Garofalide, D. Pata, M. Diaconu, F. Husanu, G. Bulai, B. Munteanu, N. Cimpoesu, D. G. Dimitriu, I. Cocean, S. Gurlui)*

Materialul studiat în simularea prezentată aici este selenura de cadmiu (CdSe) și a fost ales pentru că prezintă o fluorescență foarte bună și pentru proprietățile sale de conductivitate termică și electrică, fiind astfel de așteptat să se obțină efecte termice semnificative, astfel încât să se obțină rezultate semnificativ distincte la acțiunea pulsurilor atât în vizibil cât și în ultraviolet.

Scopul simulării este de a determina decalajul de timp teoretic pentru iradierea cu dublu puls laser pentru a obține parametri optimi pentru cele mai mari efecte de încălzire în conformitate cu scopul aplicației pe care o vom dezvolta și care este senzorii MicroLIBS.

Rezultatele s-au obținut sub forma unor ploturi (grafice) 3D, 2D, 1D ale variației temperaturilor (K) ce pot fi exprimate și sub forma energiilor (eV). Acestea reprezintă diagrame de fază analizate pe suprafețe sau în grosimi de material, urmărindu-se zonele de topire, vaporizare sau formare de plasmă din material.

O primă simulare ia în considerare energia de 150 mJ pe pulsul cu durata de 10 ns şi frecvența de repetiție de 10 Hz, pentru o radiație cu raza spotului de 300 µm pentru fiecare dintre cei doi laseri. Lungimea de undă este de 532 nm pentru primul laser şi de 355 nm pentru al doilea laser, iar decalajul dintre cele două pulsuri (time delay), adică timpul după care este emis pulsul celui de-al doilea laser față de primul, este *dt = 0, 10, 20, 30, 100 şi 200 ns*, transpuse în simulare prin parametric sweep pe valorile date de *0[ns], τ, 2*τ, 3*τ, 10*τ, 20*τ,* unde *τ* este durata pulsului şi are valoarea de 10 ns pentru studiul prezentat în simularea aceasta. Rezultatele sunt prezentate în figura 2 (b) şi (d) şi sunt comparate cu cele pentru iradierea cu un singur laser, adică cu cel de 532 nm lungime de undă.

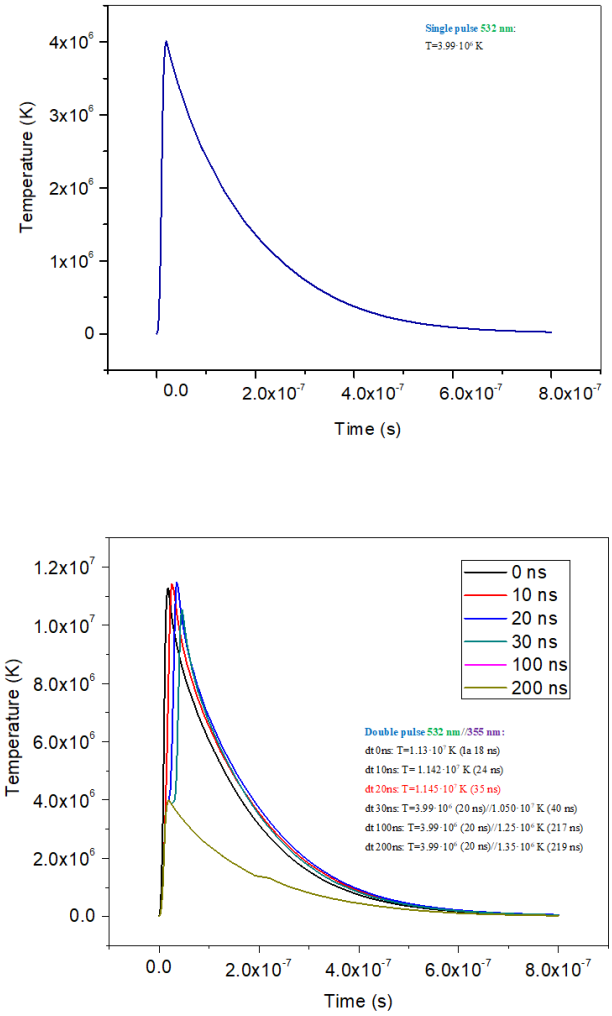


Figura 2. Diagramele de fază pentru simularea iradierii cu un singur puls laser de 532 nm lungime de undă şi cu două pulsuri laser la decalaje de timp 532 nm// 355 nm şi valorile temperaturilor maxime, în grade Kelvin, rezultate din simularea iradierii cu un singur puls şi cu două pulsuri la decalaje de timp.

Analiza influenței celui de-al doilea puls laser în funcție de decalajul de timp (dt) este analizată în diagrama din Figura 3 care prezintă evoluția temperaturilor maxime pentru fiecare dt (datele conform Figura 2 d) pornind de la temperatura maximă obținută în simularea cu un singur puls de 532 nm (datele conform cu figura 2 c). În Figura 3, Tmax (dt) reprezintă temperaturile maxime în funcție de dt, Tref este temperatura maximă de referință, adică cea obținută la simularea pentru iradiere cu un singur laser pulsat cu lungime de undă de 532 nm, iar Tmax este temperatura maximă înregistrată pentru toate cazurile de variere prin paramtric sweep a decalajului (time delay) dt.

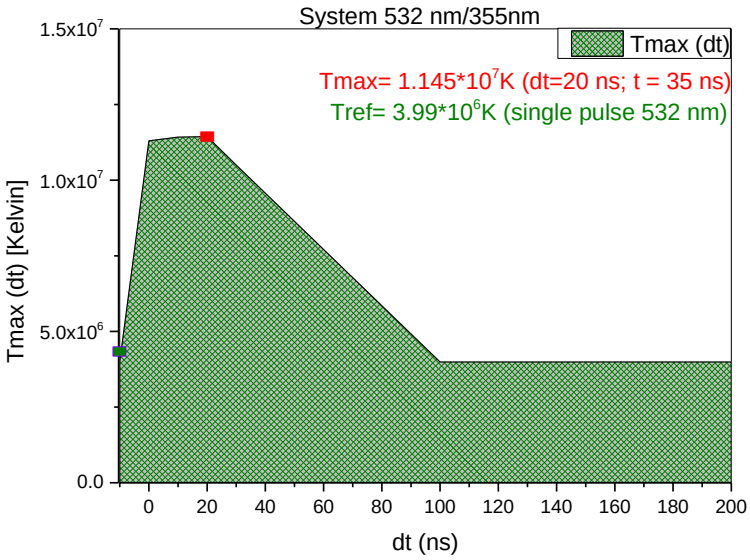


Figura 3. Variația temperaturilor maxime (Tmax) la iradierea cu sisteme dublu puls laser de 532 nm primul puls şi 355 nm al doilea puls comparat cu temperatura maximă obținută la iradierea cu un singur laser de 532 nm lungime de undă (Tref).

Următoarea simulare folosește inversarea pulsurilor laser, în sensul că primul puls este al laserului de 355 nm (lungimea de undă în UV), iar cel al doilea puls este al laserului în vizibil, cu 532 nm lungime de undă. Rezultatele sunt prezentate în Figura 4 și în Figura 5.

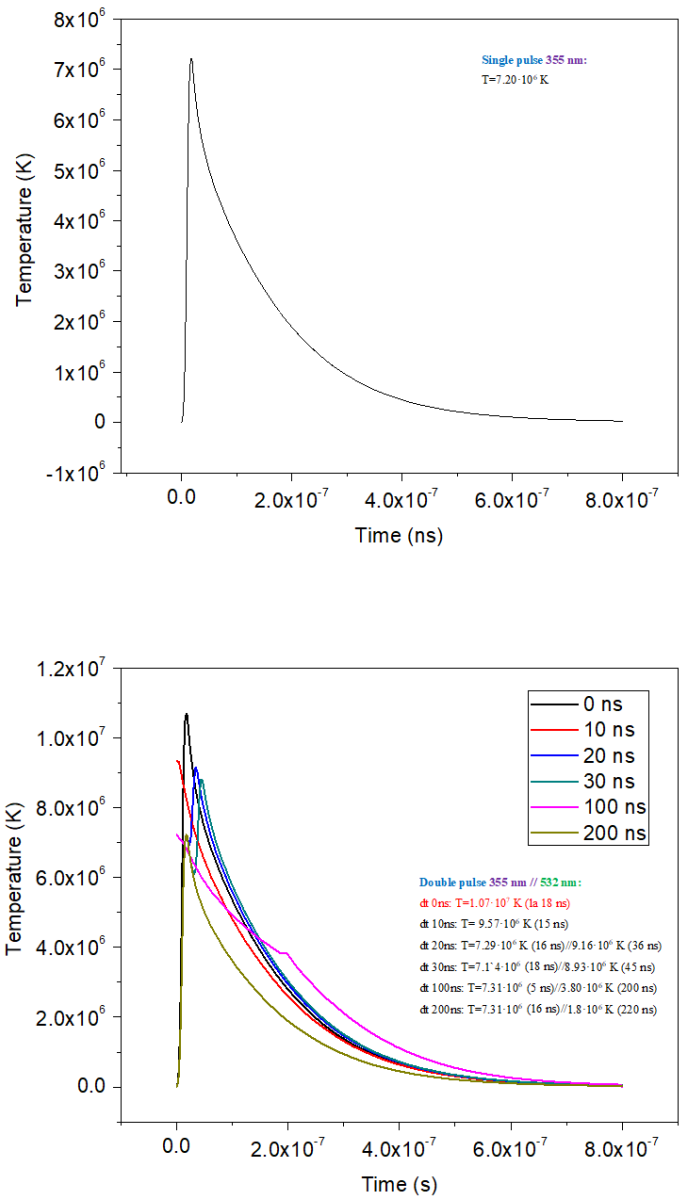


Figura 4. Diagramele de fază pentru simularea iradierii cu un singur puls laser la 355 nm lungime de undă și cu două pulsuri laser la decalaje de timp 355 nm//532 nm și valorile temperaturilor maxime, în grade Kelvin, rezultate din simularea iradierii cu un singur puls și cu două pulsuri la decalaje de timp

În cazul sistemului de două pulsuri laser în care primul este în UV (355 nm), iar al doilea este în vizibil (532 nm), adică inversarea modului de iradiere față de prima simulare, se arata că intensificarea maximă a efectului termic indus de radiațiile laser este dată de acțiunea simultană a celor două pulsuri, fără decalaj (dt = 0), variația maximelor de temperatură în funcție de decalajul dintre cele două pulsuri fiind prezentată în diagrama din figura 5.

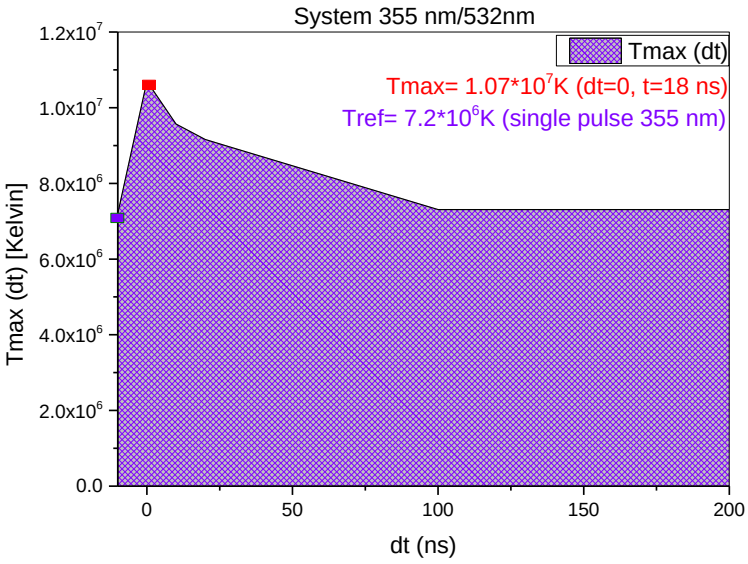


Figura 5. Variația temperaturilor maxime (Tmax) la iradierea cu sistem dublu puls laser de 355 nm primul puls şi 532 nm al doilea puls comparat cu temperatura maximă obținută la iradierea cu un singur laser de 532 nm lungime de undă (Tref).

Pentru a compara rezultatele obținute prin cele două simulări pentru temperaturile maxime în funcție de decalajul dintre cele două pulsuri, au fost realizate diagramele din figura 6.

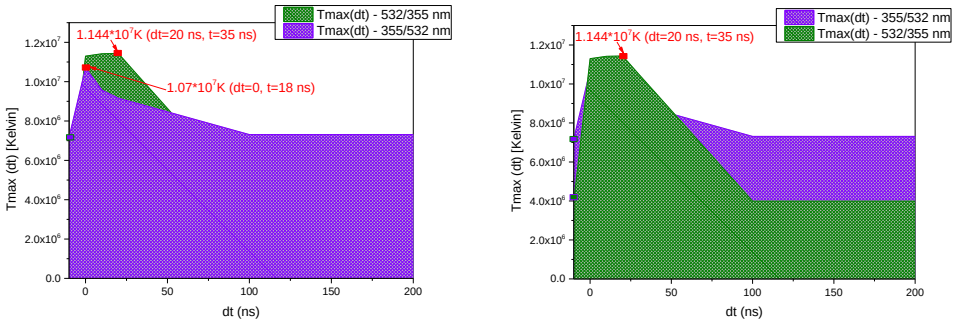


Figura 6. Diagramele comparate pentru variația Tmax (dt) în cazul celor două sisteme de dublu puls laser analizate prin simulare COMSOL

Se constată faptul că intensificarea efectului termic indus prin iradierea cu primul puls laser se obține în cazul ambelor sisteme studiate şi anume atât pentru 532 nm//355 nm, cât și pentru 355 nm//532 nm comparativ cu folosirea doar a unui singur puls. Cea mai eficientă metodă între cele două comparate rezultă a fi cea care folosește sistemul 532 nm//355 nm (VIS//UV.

Concluzii preliminare:

Rezultatele oferă informații despre eficiența laserului cu dublu puls în furnizarea de condiții îmbunătățite de ablație și despre parametrii laser cei mai convenabil și întârzierea timpului pentru a atinge obiectivul dorit în ceea ce privește creșterea performanței LIBS.

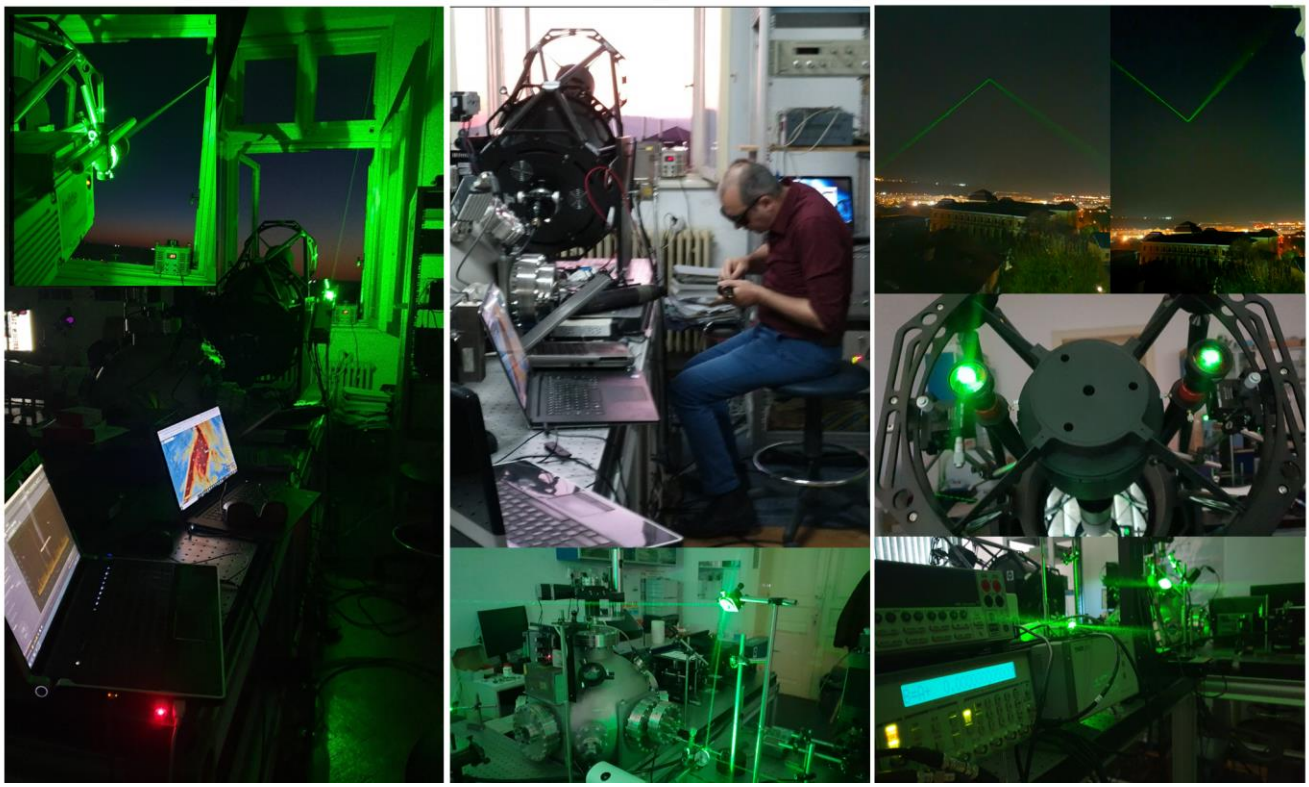
Montaje experimentale ROBIM cu dublu puls laser pentru LIBS și măsurători atmosferice – LIDAR.

I. Montajul LIDAR dublu puls laser

Instalația constă din utilizarea următoarelor componente optice și spectrometrice:

- 2 laseri pulsați cu frecventa de repetitie de 10 Hz, lungimi de unda de 1064 nm, 532 nm, 355 nm si 266 nm.
- Generator de întârziere între pulsurile laser care acționează în același domeniu optic cuplat la osciloscop multicanal pentru analiza pulsurilor laser și a timpului de întârziere dintre ele.
- Telescop optic pentru investigarea radiațiilor optice retroimprăștiate din atmosferă în urma interacțiunii cuplajului de pulsuri laser cu aerosolii.
- Două expandoare de fascicule laser corespunzatoare celor două fascicule laser utilizate în sistemul integrat LIDAR (cu rol de a lărgi suprafața de interacțiune a fasciculelor laser cu aerosolii din atmosferă)
- Sisteme optice pentru ghidarea radiației retroimprăștiate spre sistemul spectrometric
- Spectrometru cu tripla rețea de difracție și sistem de imagerie optică Princeton Instruments SP 2750 (f =750 mm)
- Cameră cu intensificare ultrarapidă ICCD cu timp de integrare de 2 ns

Instalația permite înregistrarea spectrelor RAMAN induse de dezexcitarea sistemelor moleculare din atmosfera sub acțiunea fasciculelor laser incidente, cu pulsuri decalate temporal și suprapuse în același domeniu din spațiu, pentru a obține o creștere semnificativa a raportului semnal- zgomot, pentru a identifica dinamica aerosolilor din punct de vedere chimic, din atmosferă, aflați pe diferitele pături atmosferice, la altitudine ridicată. Câteva imagini înregistrate cu realizarea și punerea la punct al acestui nou echipament ROBIM sunt prezentate alăturat:



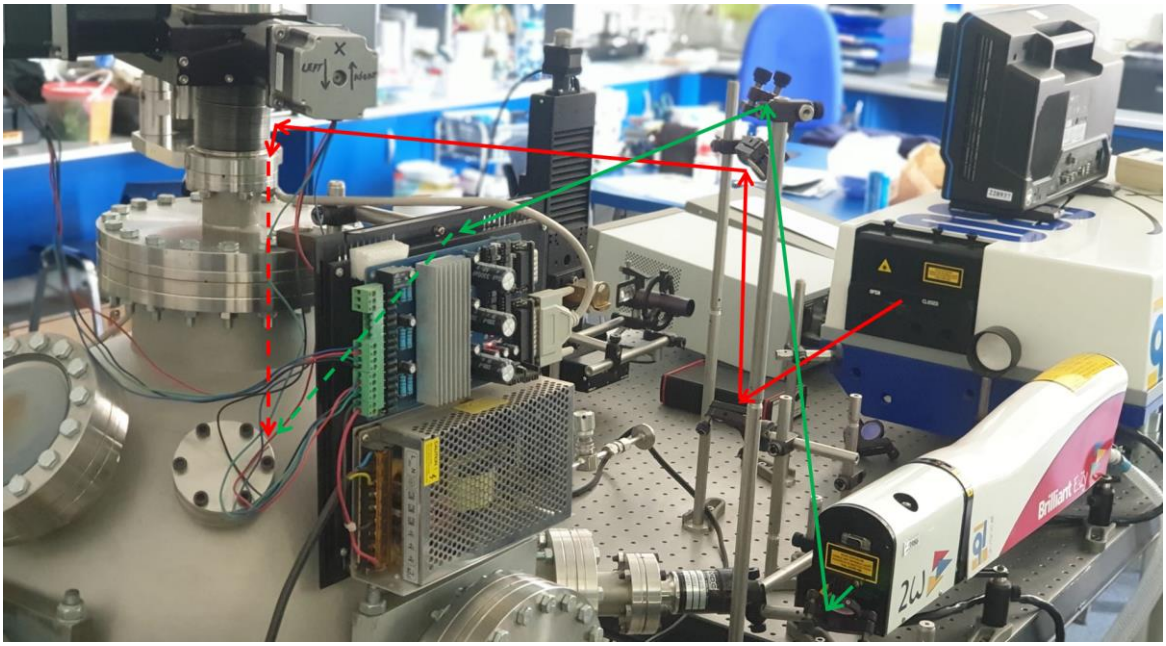
Montaj experimental ROBIM al instalației LIDAR cu dublu puls laser cu întârziere controlată pentru investigații ale compoziției chimice atmosferice, la altitudine variabilă, cu rezoluție temporala de până la 2 ns.

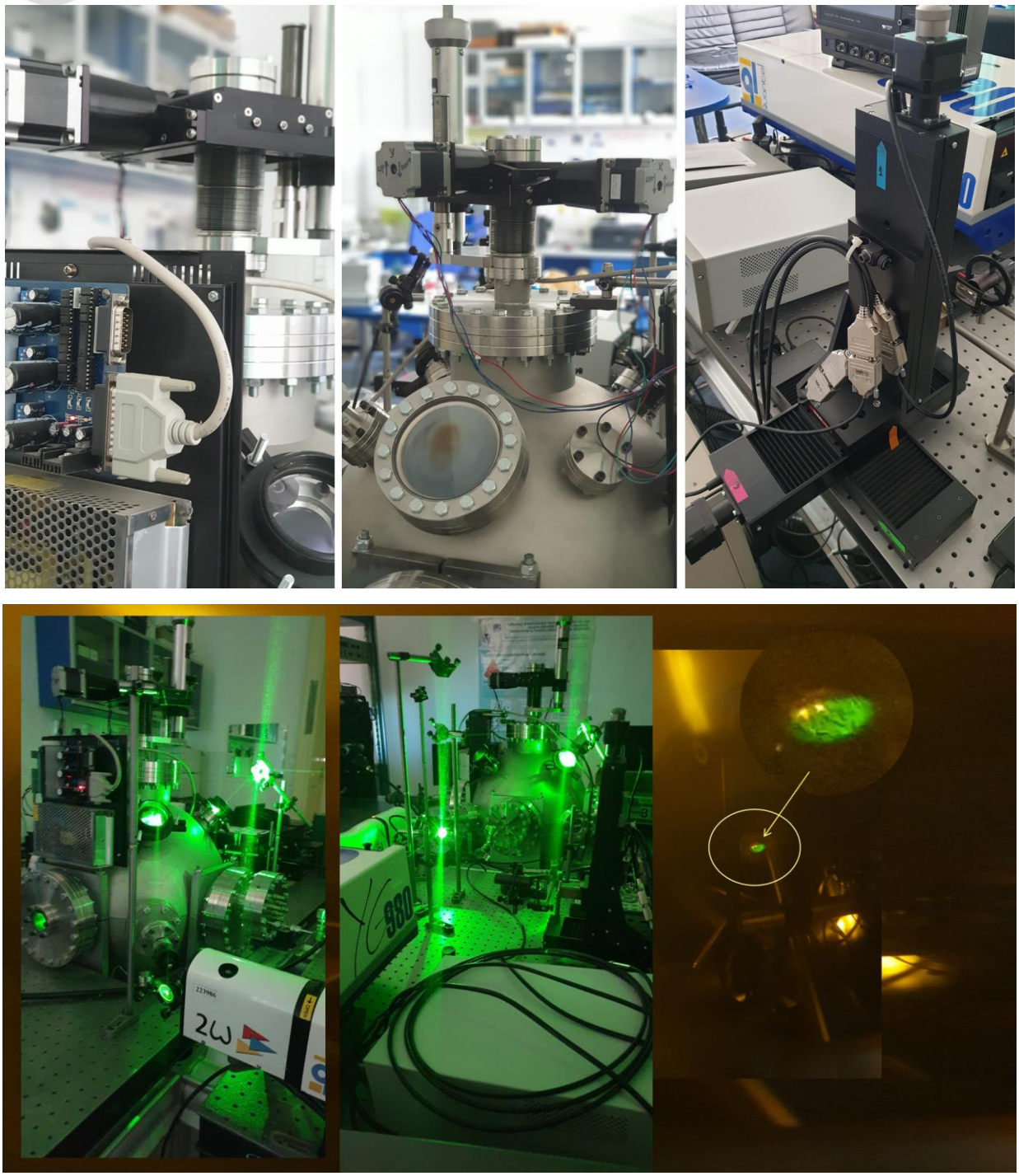
II. Montajul LIBS dublu puls laser

Acest montaj presupune utilizarea unor componente optice de ghidare și focalizare a două fascicule optice laser într-o zona bine delimitată asupra unor materiale aflate în condiții de mediu controlate (presiune gaz, compoziție gaz, temperatura). Instalația este astfel realizată încât cele două pulsuri laser sunt focalizate în același punct pe eșantionul analizat iar pluma (norul de particule de ablație laser) are o direcție de expansiune pe verticală, în lungul direcției fantei spectroscopului. În această perioadă de timp, întreg sistemul de ghidare al eșantionului are o mișcare controlată, computerizat, de două motoare pas cu pas și o traiectorie de mișcare definită printr-un soft dedicat. Plasma tranzitorie laser este analizată și rezolvată spațio-temporal prin sisteme de diagnoză electrice și spectrale specifice (folosim același

spectrometru SP2750i cuplat cu camera PIMAX-3 2 ns). Sistemul permite eșantionarea plasmei de ablație laser în felii cu grosimi de pana la 0.2 mm, fiecare felie fiind supusa investigațiilor spectrale și de imagistică, rezolvate în timp.

Câteva imagini ale instalației realizate, cu dublu puls laser, sunt prezentate mai jos:





Montaj experimental ROBIM pentru realizarea cercetărilor LIBS/ PLD cu dublu puls laser. In primele imagini, direcția celor doua fascicule laser sunt evidențiase cu verde respectiv roșu.

Referințe:

1. A. Cocean, I. Cocean and S. Gurlui, Influence of the impurities to the composite materials in laser ablation phenomena, U.P.B. Sci. Bull., Series A, Vol. 83, Iss. 3, 2021[IF= 0.903 (2020); AIS=0.160 (2020)]

2. A. Cocean, V. Pelin, M. M. Cazacua,, I. Cocean, I. Sandu, S. Gurlui, F. Iacomi, Thermal effects induced by laser ablation in non-homogeneous limestone covered by an impurity layer, Applied Surface Science 424, 324-329 (2017), http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.03.172 [IF = 4.439; AIS = 0.627]

3. A. Cocean, I. Cocean, S. Gurlui, F. Iacomi, Study of the pulsed laser deposition phenomena by means of Comsol Multiphysics, U.P.B. Sci. Bull., Series A, (Vol. 79, Iss. 2, 2017) ISSN 1223-7027, [IF = 0.461; AIS = 0.094]

4. Lide, D.R. CRC Handbook of Chemistry and Physics 88TH Edition 2007-2008. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL 2007, p. 4-86

5. Lide, D.R. CRC Handbook of Chemistry and Physics 88TH Edition 2007-2008. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL 2007, p. 4-54

6. O'Neil, M.J. (ed.). The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., 2006., p. 264

7. *Haynes, William M., ed. (2011). CRC Handbook of Chemistry and Physics (92nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. p. 4.54. ISBN 1439855110.*

*****

Lucrări publicate:

[1]. A. Cocean, I. Cocean, N. Cimpoesu, G. Cocean, R. Cimpoesu, C. Postolachi, V. Popescu and S. Gurlui, Laser Induced Method to Produce Curcuminoid-Silanol Thin Films for Transdermal Patches Using Irradiation of Turmeric Target, Appl. Sci. 2021, 11(9), 4030.

[2]. A. Cocean, I. Cocean, G. Cocean, C. Postolachi, D. A. Pricop, B. S. Munteanu, N. Cimpoesu and S. Gurlui, Study of Physico-Chemical Interactions during the Production of Silver Citrate Nanocomposites with Hemp Fiber, Nanomaterials 2021, 11, 2560. https://doi.org/10.3390/nano11102560 [IF=5.076]

[3]. Konrad-Soare C.T., Enescu F., Dimitriu D.G., Dobromir M., Teodorescu-Soare E.G., Mazzanti F., Irimiciuc S.A., Ionita C., Schrittwieser R., Concentric double hollow grid cathode discharges. Spectral investigations and phenomenological approach, Plasma Sources Science and, Volume 30, Issue 8, August 2021, Article number 085006

[4]. Cocean, A., Cocean, I., Gurlu, S., Influence of the impurities to the composite materials in laser ablation phenomena, (2021), UPB Scientific Bulletin, Series A: Applied Mathematics and Physics, 83 (3), pp. 225-238

[5]. Kadri, L., Bulai, G., Carlescu, A., George, S., Gurlui, S., Leontie, L., Doroftei, C., Adnane, M., Effect of target sintering temperature on the morphological and optical properties of pulsed laser deposited TiO2 thin films, (2021), Coatings, 11 (5), art. no. 561

[6]. Catalin Panaghie, Ramona Cimpoesu, Bogdan Istrate, Nicanor Cimpoesu, Mihai-Adrian Bernevig, Georgeta Zegan, Ana-Maria Roman, Romeu Chelariu and Alina Sodor, New Zn3Mg-xY Alloys: Characteristics, Microstructural Evolution and Corrosion Behavior, Materials 2021, 14, 2505.

Participări cu lucrări invitate, orale sau postere la Conferințe internaționale:

ICPAM 13: 24 -30 September 2021

[1]. Alexandru COCEAN, Cristina POSTOLACHI, Silvia GAROFALIDE, Diana PATA, Maria DIACONU, Francisca HUSANU, Georgiana BULAI, Bogdan MUNTEANU, Nicanor CIMPOESU, Dan- Gheorghe DIMITRIU, Iuliana COCEAN, Silviu GURLUI, Dual-pulse ns-laser-induced Raman and breakdown spectroscopy to enhance performance on atoms and molecular detection

[2]. Alexandru COCEAN, Iuliana COCEAN, Georgiana COCEAN, Cristina POSTOLACHI, Bogdanel Silvestru MUNTEANU, Nicanor CIMPOESU and Silviu GURLUI, Keratin-based polymer nanofilm membranes for medical applications

[3]. Cristina POSTOLACHI, Alexandru COCEAN, Iuliana COCEAN, Georgiana COCEAN, Bogdanel Silvestru MUNTEANU, Nicanor CIMPOESU, and Silviu GURLUI, Study of Si/SiO2 core/shell Quantum Dots produced by Pulsed Laser Deposition.

AdvPhotoCat-EE2021 (28 - 29 June 2021)

[1]. Invited Speaker: Silviu Gurlui: Trace elements Photo-Analysis for environmental applications: a case study, Alexandru Cocean, Iuliana Cocean, Georgiana Bulai, Cristina Postolachi, Bogdan Munteanu, Nicanor Cimpoesu, Silviu Gurlui

[2]. Oral Presentation: Laser induced chitin deacetylation- cutting-edge technology for "natural biological waste”, Alexandru COCEAN, Iuliana COCEAN, Cristina POSTOLACHI, Georgiana COCEAN and Silviu GURLUI

[3]. Oral Presentation: Photo-degradation of some landfill contaminants on the surrounding waters, Iuliana COCEAN, Maria DIACONU, Alexandru COCEAN, Cristina POSTOLACHI and Silviu GURLUI

[4]. Poster Presentation: AMC-COMSOL: the new finite element technique to increase solar cell conversion, Alexandru Cocean, Dorin Botoc, Monica Siroux, Cristina Postolachi, Iuliana Cocean, Silviu Gurlui

[5]. Poster Presentation: Quantum Dots Pulsed Laser Deposition – a new simulation technique, Alexandru Cocean, Cristina Postolachi, Iuliana Cocean, Silviu Gurlui

[6]. Poster Presentation: CdSe Quantum Dots insertion effect on the alpha-keratin PLD-thin films, Cristina POSTOLACHI, Mirela SUCHEA, Ioan-Valentin TUDOSE, Alexandru COCEAN, Iuliana COCEAN, Bogdanel Silvestru MUNTEANU, Nicanor CIMPOESU and Silviu GURLUI

[7]. Poster Presentation: Chemical processes induced by light on the AuNP-citrate surface, Daniela Angelica PRICOP, Alexandru COCEAN, Florin BRANZA, Cristina POSTOLACHI, Iuliana COCEAN, Adina COROABA, Dorina Emilia CREANGA, Felicia IACOMI, Silviu GURLUI

[8]. Poster Presentation: High pulsed-laser effect on the hemp composite - advanced materials, Iuliana COCEAN, Alexandru COCEAN, Cristina POSTOLACHI, Bogdanel Silvestru MUNTEANU, Nicanor CIMPOESU and Silviu GURLUI

[9]. Poster Presentation: Light interaction, pollution and SARS-Cov2: protection Mask biocompatibility-overview, Silviu Gurlui, Alexandru Cocean, Cristina Postolachi,Georgiana Cocean, Iuliana Cocean

[10]. Poster Presentation: Washing municipal streets – the origin of some photo-contaminants pollution, Iuliana COCEAN, Maria DIACONU, Silvia GAROFALIDE, Alexandru COCEAN, Cristina POSTOLACHI, Vasile PELIN and Silviu GURLUI

[11]. Poster Presentation: Huge ice lump fell from the atmosphere: effect of complex cumulative pollution phenomenon, Iuliana COCEAN, Daniela Angelica PRICOP, Alexandru COCEAN, Francisca HUSANU, Nicanor CIMPOESU, Bogdanel MUNTEANU, Maria DIACONU, Cristina POSTOLACHI and Silviu GURLUI

[12]. Poster Presentation: Photochemical effects on heritage asset because environmental stress, Vasile PELIN, Alexandru COCEAN, Cristina POSTOLACHI, Silvia GAROFALIDE, Francisca HUSANU, Iuliana COCEAN and Silviu GURLUI

Director de proiect
Conf. dr. S. Gurlui