Anexa 10 la Contract nr. 16N/2023

Contractor: Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale - ISIM Timișoara (anexa la procesul verbal de avizare interna nr. 1/13.06.2025)
Cod fiscal : RO 3041226

De acord,
DIRECTOR GENERAL

Dr. Ing. Nicușor-Alin SÎRBU

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM

Dr. Ing. Horia-Florin Dașcău

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 16N / 2023
Proiectul: Sistem de acoperire nanocompozit pentru energie regenerabilă
Faza: 5: Concepere program experimental și efectuarea de cercetări experimentale privind fabricația avansată a stratului antireflectorizant
Termen de încheiere a fazei: 13.06.2025

1. Obiectivul proiectului:

OS1: Validarea în laborator a unei noi tehnologii de obținere a unor sisteme de acoperire nanocompozite utilizate pentru creșterea performanțelor componentelor critice pentru producția de energie regenerabilă sau pentru protecția altor componente exploatate în condiții de solicitări termice și mecanice severe

OS2: Îmbunătățirea capacităților de cercetare aplicată prin dezvoltarea infrastructurii de cercetare, intensificarea cunoștințelor interdisciplinare și a experienței în dezvoltarea de sisteme de acoperire nanocompozite cu performanțe optice superioare, rezistență termică și mecanică îmbunătățită.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

R1: 8 studii / rapoarte;

R2: 1 site proiect;

R3: 24 articole științifice dintre care 2 open acces;

R4: dezvoltarea infrastructurii de cercetare: upgrade 2 echipamente;

R5: organizare 2 workshopuri;

R6: Participare la 2 conferințe internaționale;

R7: Participare la 2 târguri internaționale;

R8: 4 Cereri de brevete de invenție / soluții la nevoile societale;

R9: 3 tehnologii;

R10: 1 produs, sistem de acoperire nanocompozit pentru energie regenerabilă, validat în condiții de laborator.

3. Obiectivul fazei:

Concepere și efectuarea de cercetări experimentale privind fabricarea avansată a stratului antireflectorizant

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

R1: 1 studiu / raport

R3: 2 articole științifice

R8: cerere brevet de invenție / soluție la nevoie societală

R9: 1 tehnologie

5. Rezumatul fazei: *(maxim 5 pagini)*

CAPITOLUL 1: Realizare de straturi antireflex

În cadrul capitolului 1 s-a abordat pe larg tema straturilor antireflex pe bază de sticlă, pornind de la conceptele fundamentale privind reflexia Fresnel și metodele pentru obținerea unui indice de refracție intermediar între aer și substrat. S-a evidențiat faptul că peliculele subțiri pot reduce semnificativ pierderile de lumină, sporind eficiența unui dispozitiv optic, fie el panou fotovoltaic, lentilă sau geam arhitectural.

S-au detaliat metodele principale de depunere, depunerile fizice în vid (PVD, sputtering, evaporare) și abordările sol - gel. Acestea din urmă permit generarea de structuri nanoporose cu indice de refracție scăzut prin controlul porozității, asigurând totodată posibilitatea de a introduce grupe organice (metil, fluoro) pentru caracter hidrofob. Un capitol esențial l-a reprezentat discutarea nanostructurării și a modului în care distribuția porilor sub 50–100 nm previne împrăștierea și menține o reflexie minimă. Integrarea unui caracter hidrofob (unghi de contact cu apa >150°) aduce avantajul auto-curățării, util pentru suprafețele expuse condițiilor de mediu, precum panouri solare sau geamuri de clădiri.

Totodată, s-a evidențiat importanța rezistenței mecanice și stabilității în mediu a acestor straturi poroase, care pot fi vulnerabile la abraziune, radiații UV sau șocuri termice. Prin controlul atent al compoziției (inclusiv introducerea grupărilor metil în rețeaua de silice) și al tratamentelor termice, se obțin filme durabile, capabile să-și păstreze atât caracterul antireflex, cât și proprietățile hidrofobe pe termen lung. În finalul capitolului 1,

s-a subliniat potențialul acestor pelicule de a îmbunătăți semnificativ performanțele optice și rezistența în aplicații diverse, de la dispozitive optice de precizie, la panouri fotovoltaice și a centralelor termice solare cu energie concentrată, precum și la ferestre inteligente.

CAPITOLUL 2: Proiectarea programului experimental pe probe din oțel termorezistent cu straturi depuse antireflex, realizate cu procedeul sol-gel

Capitolul 2 descrie, dintr-o perspectivă tehnică și metodică, modul în care s-a conceput și implementat programul experimental dedicat unor probe de oțel termorezistent (10CrMo9.10), ulterior acoperite cu straturi antireflex prin procedeul sol-gel. Obiectivul principal este acela de a evidenția procesul de selecție și utilizare a materialelor, precum și tehnicile de depunere care conferă suprafeței atât performanțe optice îmbunătățite, cât și rezistență crescută la condițiile dure din medii cu temperaturi înalte.

În prima parte a capitolului, este prezentat materialul suport, oțelul 10CrMo9.10, recunoscut pentru proprietățile sale de rezistență la coroziune și la solicitări mecanice la temperaturi și presiuni ridicate. Totodată, sunt detaliate specificațiile chimice și mecanice care îl fac deosebit de potrivit pentru aplicațiile din industria energetică, unde fiabilitatea și durabilitatea componentelor sunt esențiale.

În continuare, capitolul se concentrează asupra studiului precursorilor de siliciu folosiți în procesul sol-gel, evidențiind rolul fiecărui compus (tetrametoxisilan, metil-trimetoxisilan, dimetoxidimetilsilan ș.a.) în formarea rețelei de silice. Se subliniază modul în care reacțiile de hidroliză și polimerizare (catalizate acid) pot fi controlate pentru a obține un strat cu proprietăți optice (antireflex) și hidrofobe, adaptat cerințelor aplicației. De asemenea, se descrie importanța ajustării concentrației de acid clorhidric (HCl) în ceea ce privește gradul de porozitate și indicele de refracție al filmului final.

Capitolul evidențiază, apoi, etapele procedeului sol-gel, pornind de la prepararea soluțiilor coloidale și formarea rețelei de siliciu, până la metodele efective de depunere (dip-coating, spray-coating, spin-coating etc.). Fiecare tehnică este asociată cu avantaje și limitări specifice, subliniindu-se criteriile de alegere în funcție de tipul de substrat, de geometrie și de grosimea dorită a stratului.

În continuare, se prezintă precursorii utilizați la obținerea gelurilor silicatice (TMOS, MTMS, MTES, DMDMS, DEDMS) și relevanța modificării cu grupări metil pentru a obține proprietăți hidrofobe și de rezistență termică. Fiecare rețetă de sinteză explică modul de preparare a soluțiilor, raportul dintre componente și parametrii de reacție (pH, perioadă de amestecare, temperaturi de uscare), evidențiind importanța procesului de îmbătrânire pentru o calitate superioară a filmelor. Se oferă o privire aprofundată asupra proiectării programului experimental, descrie protocolul de preparare al soluțiilor (sinteză sol-gel), de la combinarea apei distilate și a acidului clorhidric până la adăugarea etapizată a precursorilor organici și ai compușilor pe bază de siliciu. Se subliniază importanța condițiilor controlate de temperatură și a timpilor de amestecare pentru a se asigura omogenitatea solului și formarea unor rețele chimice stabile. Metodele de depunere, picurare sau imersie, sunt urmate de tratamente termice progresive (60°C, apoi 500°C - 600°C) care consolidează structura filmelor și sporesc stabilitatea termică, aderența și rezistența la coroziune.

Tabel 2.3.1: Parametrii procesului de sinteză

Probă Xerogel	TMOS [g]	Precursor funcționalizat [g]	Probele S1-S4, utilizate în cadrul programul experimental
S1	4	MTMS (0,5)	
S2	4	MTES (0,5)	
S3	4	DMDMS (0,5)	
S4	4	DEDMS (0,5)	

În ultima parte a capitolului, este prezentat un program experimental concret, în care s-au realizat probe cu diferite formulări chimice și tratamente termice. În continuare sunt trecute în revistă principalele metode de încercare și de analiză folosite pentru a evalua proprietățile optice, structura morfologică și comportamentul mecanic al depunerilor: spectrofotometrie UV-Vis-NIR pentru transmitanță și reflectanță, SEM pentru morfologie și porozitate, măsurători grosimi strat depus și de rugozitate a suprafeței. Aceste analize permit o evaluare completă a performanțelor foliei sol-gel aplicate pe oțel, validând potențialul lor în medii cu solicitări termice și oxidante ridicate.

CAPITOLUL 3: Rezultatele programului experimental implementat pe probe din oțel termorezistent cu straturi depuse antireflex, realizate cu procedeul sol-gel

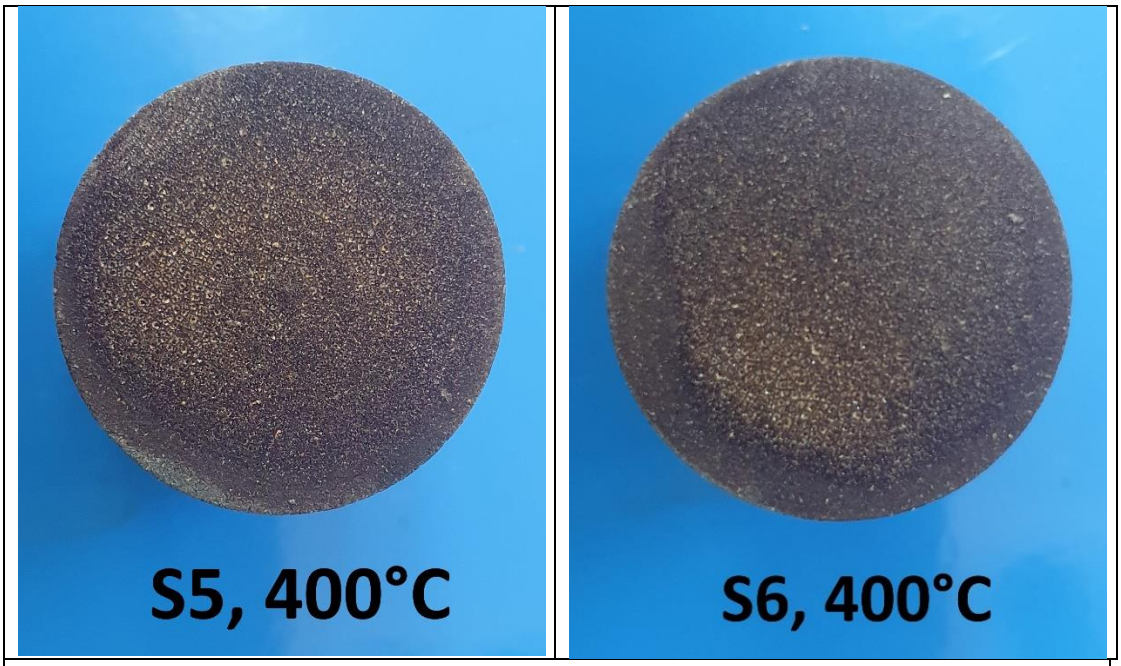
3.1 Analiza macroscopică a stratului depus prin procedeul sol-gel

Analiza macroscopică a unui strat obținut prin tehnologia sol-gel constituie un prim pas esențial în evaluarea calității peliculei formate pe un substrat. Printr-o simplă examinare vizuală, se pot identifica caracteristici relevante precum uniformitatea suprafeței, prezența unor posibile defecte (fisuri, bule de aer sau exfolieri) și nivelul de transparență al stratului. Astfel, analiza macroscopică devine un filtru esențial pentru identificarea rapidă a eventualelor probleme și pentru validarea primară a eficienței procesului de depunere sol-gel.

În figura 3.1 se prezintă aspectul macroscopic al straturilor depuse prin procedeul sol gel, tratate termic la diverse temperaturi (60°C, 400°C și 500°C).

3.2 Măsurători de grosime a stratului depus prin procedeul sol-gel

Măsurarea grosimii stratului de dioxid de siliciu (SiO_2) depus prin procedeul sol-gel pe un substrat de oțel termorezistent tip 10CrMo9.10 a fost realizată cu ajutorul unui microscop optic stereo marca Nikon SMZ745T. Acest echipament permite o vizualizare tridimensională a suprafeței, esențială pentru observarea clară a conturului și delimitării stratului depus.



Aspectul suprafețelor probelor S5, S6 cu strat depus prin procedeul sol-gel, cu tratament termic la 400°C

Prin această metodă nedistructivă, s-a obținut o estimare fidelă a grosimii stratului depus, asigurându-se totodată o verificare a uniformității și a calității depunerii. Alegerea oțelului 10CrMo9.10 ca substrat este motivată de rezistența sa la temperaturi ridicate, ceea ce face această combinație relevantă pentru aplicații industriale avansate, precum protecția la oxidare sau bariera termică în medii extreme. Rezultatele măsurătorilor se prezintă centralizat în tabelul 3.2.1.

Tabelul 3.3.1: Valorile grosimii stratului depus prin procedeul sol-gel

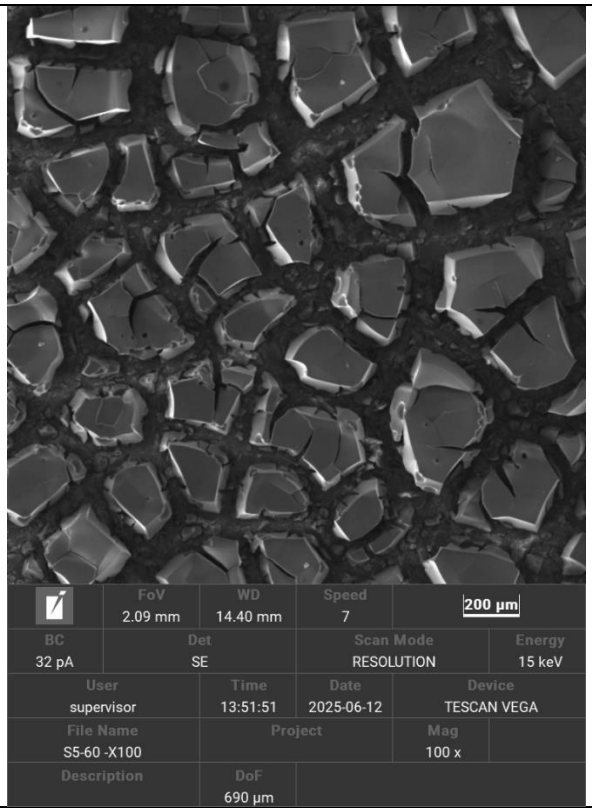
Marcaj probă	Grosime strat depus [µm] – valori măsurate		
	Tratament 60°C	Tratament 400°C	Tratament 500°C
S5	94,3	71,9	47,2
S6	90,6	83,0	118.9
S7	151,3	231,7	143,0
S8	48,8	54,9	45,9

Se observă că, la nivel macroscopic, indiferente de temperatura la care s-a realizat tratamentul termic, stratul cel mai compact este obținut cu precursorul S5, Metil-trimetoxisilan (MTMS 98%, Merck), iar cel mai puțin compact, care a prezentat exfolieri sau zone la care stratul nu a aderat la substrat este cel obținut cu precursorul S7, Dimetoxidimetilsilan (DMDMS, 99%, Aldrich).

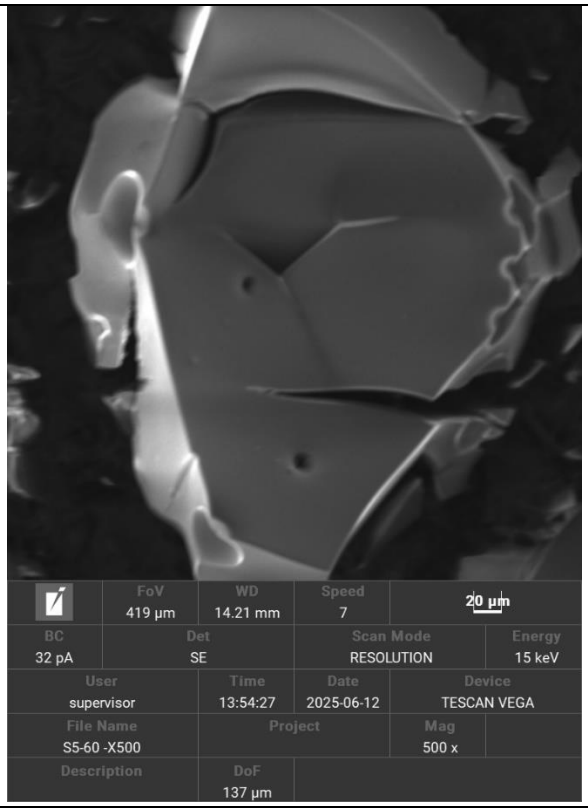
3.3 Analiza morfologiei stratului depus prin procedeul sol-gel

Microscopia electronică de scanare (SEM) reprezintă o tehnică avansată de investigare, care permite obținerea de imagini detaliate ale unei probe prin scanarea suprafeței acesteia cu un fascicul focalizat de electroni. În urma interacțiunii dintre electroni și atomii materialului analizat, se generează o varietate de semnale ce oferă informații esențiale despre topografia și compoziția chimică a suprafeței.

Figurile 3.3.1 – 3.3.10 ilustrează o selecție de imagini ce reflectă aspectul suprafețelor probelor cu depuneri de oxid de siliciu, obținute prin procedeul sol-gel, utilizând diferiți precursori și variate temperaturi de tratament termic, conform programului experimental.

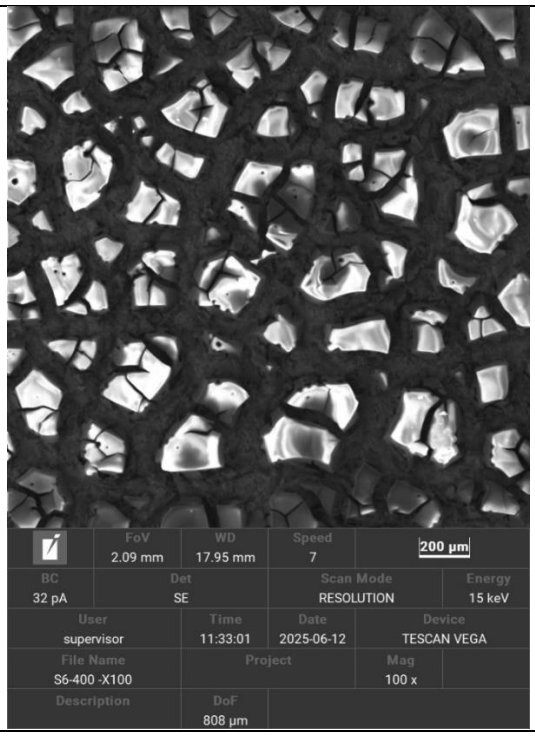


Aspectul suprafeței probei S5 - 100x

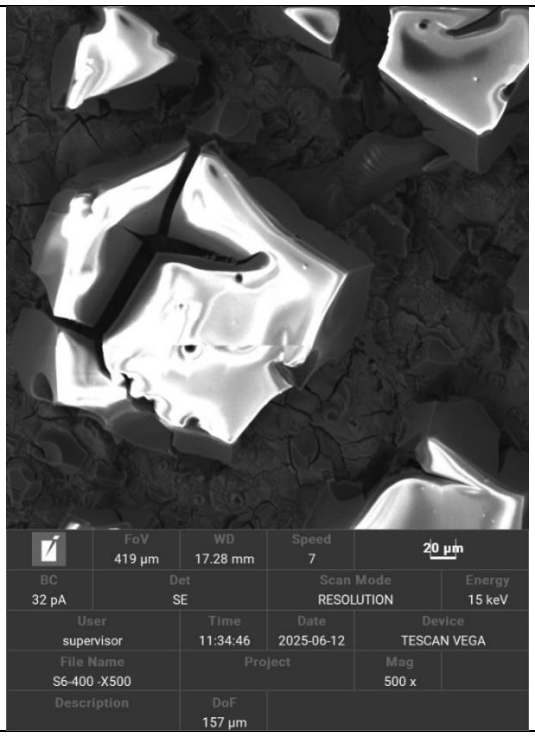


Aspectul suprafeței probei S5 - 500x

Figura 3.3.1: Aspectul suprafeței stratului de SiO_2 depus prin procedeul sol-gel, proba S5 cu tratament termic la 60°C

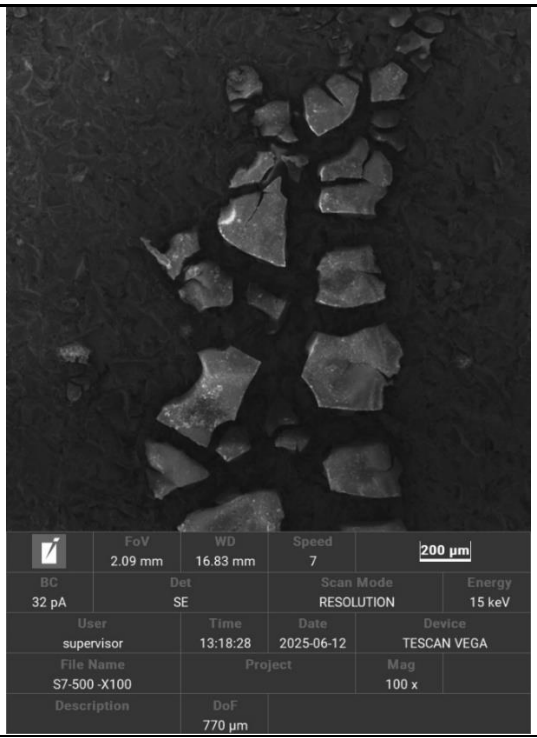


Aspectul suprafeței probei S6 - 100x

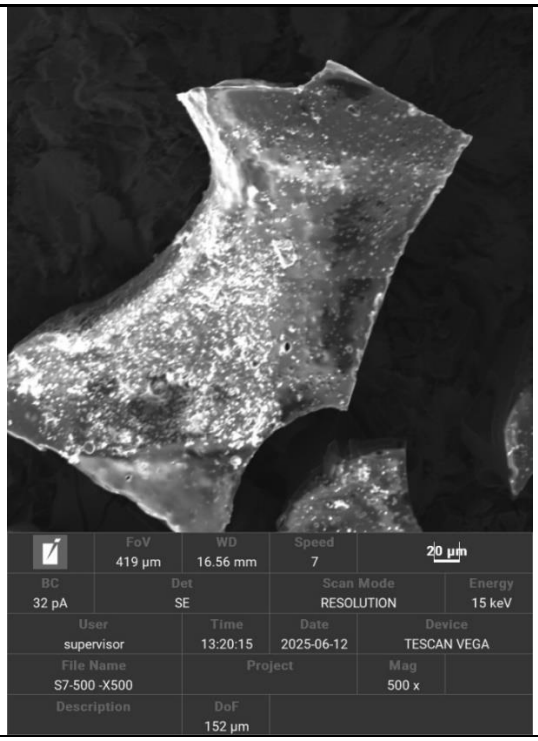


Aspectul suprafeței probei S6 - 500x

Figura 3.3.5: Aspectul suprafeței stratului de SiO_2 depus prin procedeul sol-gel, proba S6 cu tratament termic la 400°C

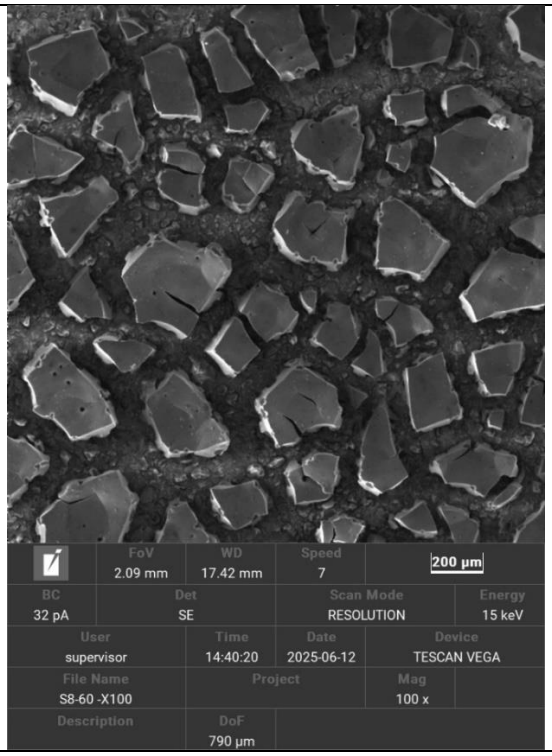


Aspectul suprafeței probei S7 - 100x

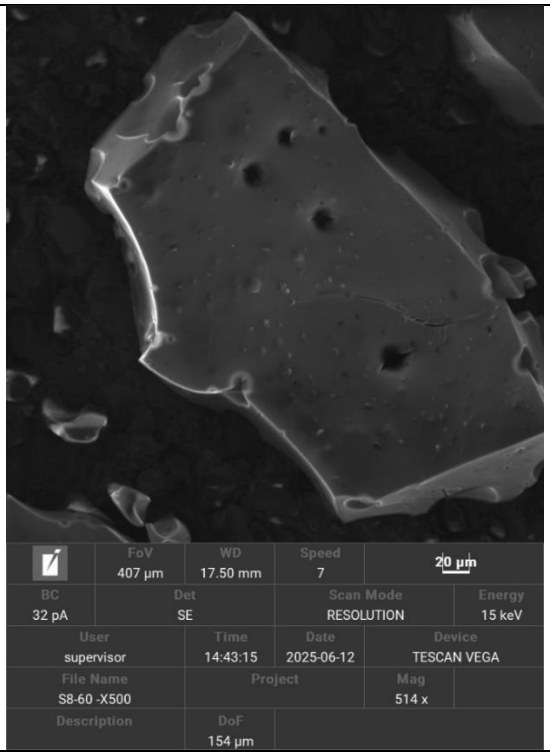


Aspectul suprafeței probei S7 - 500x

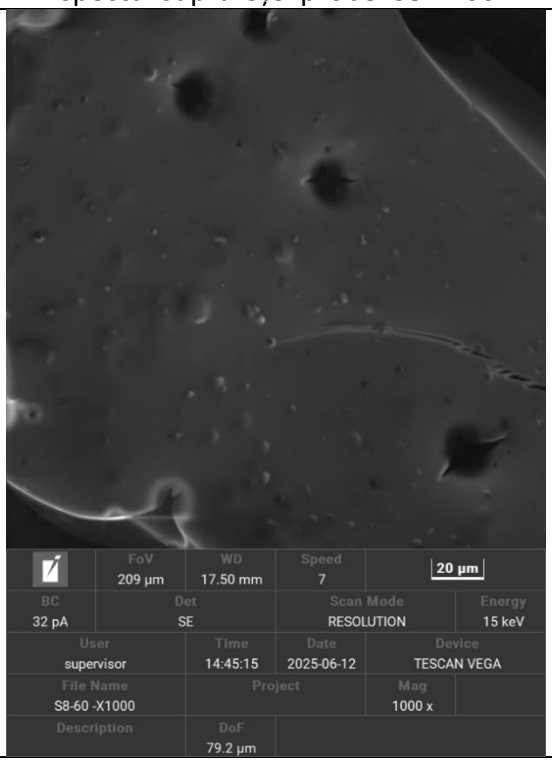
Figura 3.3.9: Aspectul suprafeței stratului de SiO_2 depus prin procedeul sol-gel, proba S7 cu tratament termic la 500°C



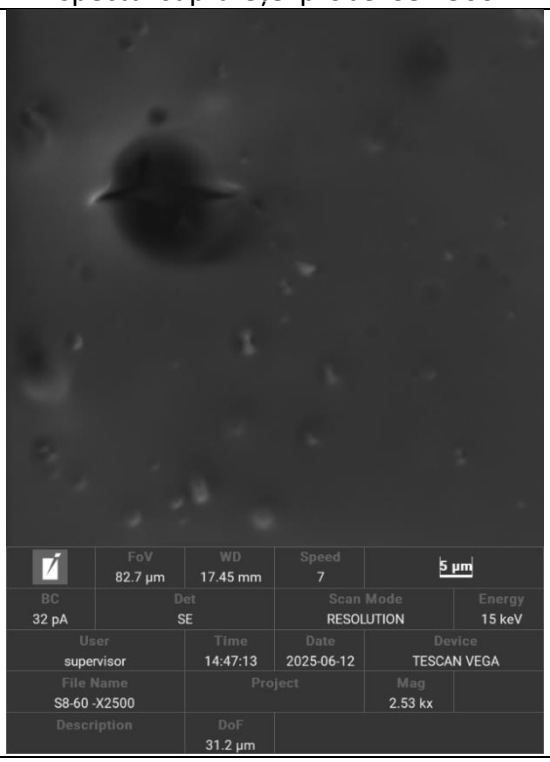
Aspectul suprafeței probei S8 - 100x



Aspectul suprafeței probei S8 - 500x



Aspectul suprafeței probei S8 - 1000x



Aspectul suprafeței probei S8 - 2500x

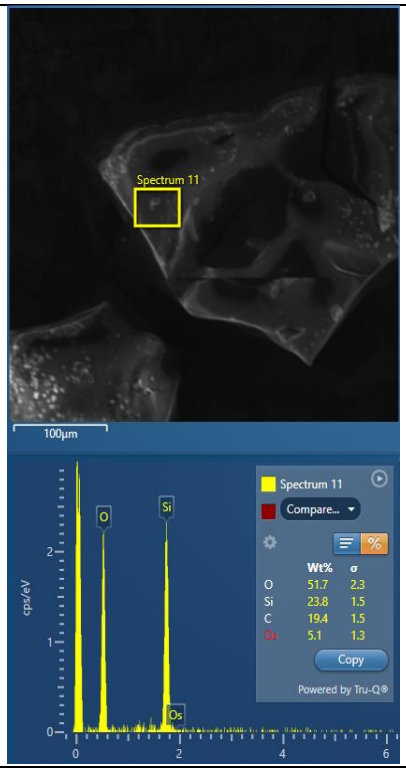
Figura 3.3.10: Aspectul suprafeței stratului de SiO_2 depus prin procedeul sol-gel, proba S8 cu tratament termic la 60°C

3.4 Analiza chimică a stratului depus prin procedeul sol-gel

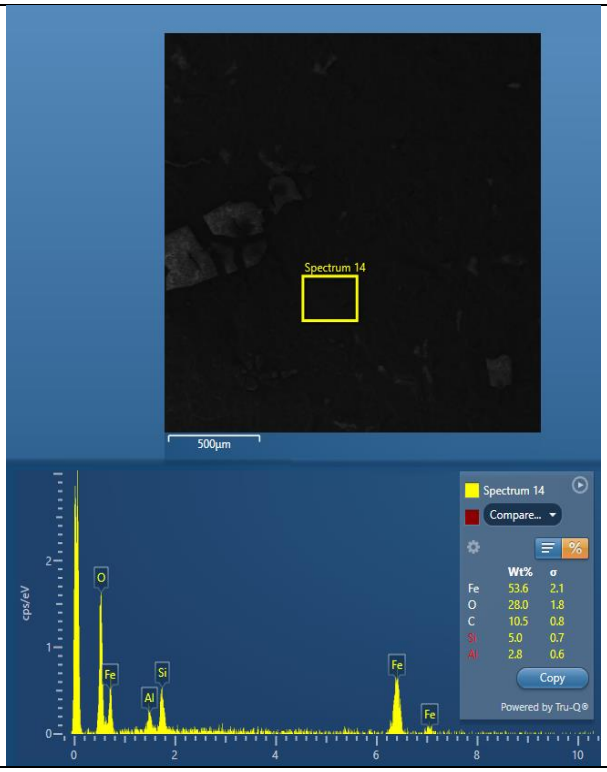
Pentru caracterizarea chimică locală a stratului depus, a fost utilizată tehnica BSE (Backscattered Electrons), aleasă datorită capacității sale de a evidenția diferențele de compoziție elementară prin contrastul atomic generat de electronii retrodispersați. Această metodă este deosebit de eficientă în detectarea variațiilor compoziționale ale materialului, oferind un contrast clar între fazele distincte și eventualele incluziuni din structură. Imaginile obținute prin BSE permit identificarea precisă a zonelor de interes, facilitând astfel o analiză chimică detaliată și exactă a stratului depus.

Combinarea microscoperiei electronice de scanare (SEM) în modul de detecție a electronilor secundari (SE), pentru analiza morfologică și microstructurală, cu imaginile obținute prin BSE pentru determinarea distribuției chimice locale, a fost esențială în obținerea unei imagini complexe și complete a calității stratului rezultat. Această abordare a permis o evaluare riguroasă a caracteristicilor stratului aplicat prin procedeul sol-gel, contribuind semnificativ la validarea rezultatelor experimentale.

În plus, microscopul SEM utilizat este dotat cu un detector EDX (Energy Dispersive X-ray Analysis), care a permis identificarea și cuantificarea elementelor chimice din probă. **Figura 3.4.1** ilustrează compoziția chimică locală în zonele ce conțin particule de oxid de siliciu pe o suprafață stratului depus.



Proba S5 – Rezultatul analizei chimice pe un grăunte de SiO_2



Proba S7 – Rezultatul analizei chimice într-o zonă în care stratul este în mare parte exfoliat

Figura 3.4.1: Analiza compoziției chimice a stratului depus

CAPITOLUL 4 Tehnologie privind fabricația avansată a stratului antireflex

Capitolul 4 descrie, într-o manieră detaliată tehnologia avansată de fabricație a unui strat antireflex dezvoltat prin metoda sol - gel și tratamente termice succesive. În contextul aplicațiilor industriale, accentul se pune pe oțelul 10CrMo9.10, un substrat des utilizat în medii cu temperaturi și presiuni ridicate, cum ar fi centralele electrice solare. Documentul evidențiază, mai întâi, etapele de pregătire a substratului, subliniind importanța atât a finisării mecanice (debitare, șlefuire), cât și a operațiunilor de sablare și degresare. Prin acestea, suprafața metalică dobândește un grad de rugozitate și curățenie adecvată pentru o mai bună aderență a viitorului film sol - gel. Aceste proceduri inițiale sunt esențiale pentru obținerea unei pelicule uniforme și a unui strat final rezistent la tensiunile mecanic și la depunerea de impurități. În continuare, se descrie procesul de preparare a solului, aceasta fiind faza critică pentru definirea caracteristicilor chimice și structurale ale stratului.

Capitolul explică modul în care precursorii metilați și tetrametoxisilanul (TMOS) sunt amestecați în mediu acid pentru a iniția reacțiile de hidroliză și polimerizare. Echilibrul dintre compoziția chimică, pH-ul soluției și timpul de maturare asigură formarea unei rețele de silice poroasă, în care grupările metil contribuie la scăderea indicelui de refracție și la obținerea unei pelicule hidrofobe. Depunerea stratului antireflex constituie o altă etapă importantă, în care solul obținut este aplicat pe substrat prin metode precum „dip-coating” și „drop-coating”.

Capitolul explică modul în care controlul vitezei de retragere, al vâscozității soluției și al parametrilor de uscare guvernează grosimea peliculei și uniformitatea acesteia. Metodele propuse sunt relativ accesibile și pot fi adaptate la diverse condiții tehnologice, fie la scară de laborator, fie industrială.

Ultima parte detaliază tratamentele termice succesive, arătând, punctual, cum creșterea graduală a temperaturii favorizează evaporarea solventului, densificarea rețelei de silice și stabilizarea proprietăților antireflex și hidrofobe. În funcție de atmosfera de lucru (aer, gaz inert) și de intervalul de temperatură (60 °C, 400 °C, 500 °C), se poate controla gradul final de reticulare, porozitatea și rezistența la agenți externi.

Astfel, capitolul 4 oferă o privire cuprinzătoare asupra procesului care conduce de la substratul metalic brut până la un film cu proprietăți optice superioare, capabil să reziste în condiții dificile de exploatare și să îmbunătățească performanța energetică. Pe lângă explicațiile teoretice, sunt reliefate avantajele practice și posibilitățile de integrare industrială, subliniind beneficiile acestei tehnologii pentru domeniul energetic și alte aplicații cu cerințe stricte de durabilitate și eficiență.

CAPITOLUL 5: Diseminare rezultate. Transferul de cunoștințe și tehnologii

Capitolul 5 aduce în prim-plan aspectele legate de diseminarea rezultatelor, precum și de transferul de cunoștințe și tehnologii, oferind o sinteză clară a modului în care informațiile și inovațiile generate prin proiect au fost comunicate atât mediului științific, cât și celui industrial. În paginile acestui capitol, se evidențiază actualizarea paginii web a proiectului, găzduită pe site-ul ISIM Timișoara, în vederea reflectării progresului înregistrat

și a asigurării transparenței față de potențialii beneficiari. Această actualizare confirmă rolul platformei online drept instrument cheie în promovarea continuă a rezultatelor, oferind date și statistici relevante despre etapele parcurse.

Un alt punct marcant îl constituie elaborarea lucrărilor științifice, finalizate sub forma a două articole care urmează să fie publicate într-o revistă de specialitate. Prin detaliile furnizate, capitolul subliniază contribuția acestor articole la creșterea vizibilității proiectului în rândul comunității academice, dar și modul în care informațiile tehnice, rezultate din cercetare, se pot integra în noi abordări științifice sau tehnologice.

Capitolul ilustrează, de asemenea, importanța inițiativei de protejare a proprietății intelectuale prin depunerea unei cereri de brevet de invenție. Acest demers atestă valoarea inovației generate și oferă o bază solidă pentru dezvoltări ulterioare, fiind un instrument de recunoaștere și protecție a soluțiilor create pentru medii agresive (temperaturi și presiuni ridicate, coroziune).

În final, capitolul descrie participarea la târguri și expoziții de renume, unde echipa de proiect a avut ocazia să prezinte rezultatele obținute și să interacționeze cu specialiști din industrie, mediul academic și alți potențiali utilizatori. Evenimente precum INVENTCOR, EUROINVENT și Demo Metal Vest s-au dovedit valoroase în consolidarea parteneriatelor, inițierea unor colaborări și diseminarea pe scară largă a tehnologiilor dezvoltate. Astfel, capitolul 5 pune în lumină dinamica transferului de cunoștințe dobândite în proiect, demonstrând modul în care cercetarea pragmatică și inovativă poate fi valorificată printr-o strategie atentă de comunicare, protejare a invențiilor și dialog constructiv cu comunitatea științifică și mediul economic.

CAPITOLUL 6: Concluzii

Implementarea proiectului până în acest stadiu a evidențiat importanța dezvoltării și utilizării materialelor avansate, cu rol semnificativ în sporirea performanței și eficienței echipamentelor energetice. Prin abordarea multidisciplinară, care îmbină expertiza în domeniul materialelor cu tehnologiile sol-gel și tratamentele termice, s-au obținut rezultate promițătoare ce deschid perspective noi în aplicații industriale cu exigențe ridicate de durabilitate.

În primul rând, cercetările desfășurate confirmă faptul că investiția în materiale inovatoare, rezistente la coroziune și la temperaturi înalte, contribuie în mod direct la prelungirea duratei de viață a componentelor supuse unor regimuri de funcționare extreme. Totodată, peliculele antireflex și hidrofobe dezvoltate prin tehnici chimice avansate pot crește randamentul sistemelor energetice prin optimizarea interacțiunii cu radiația solară și prin reducerea pierderilor cauzate de depunerile de praf sau de reziduurile lichide.

Mai mult, proiectul a demonstrat faptul că integrarea tehnologiilor sol-gel într-un flux de producție permite un control fin al parametrilor de depunere (grosime, porozitate, compoziție chimică), ceea ce se traduce printr-o flexibilitate mare în obținerea caracteristicilor optice și mecanice dorite. Beneficiile rezultate din adaptabilitatea acoperirilor, fie că este vorba despre structuri transparent - conductive sau despre straturi multifuncționale rezistente la șocuri termice, pot contribui la reducerea costurilor de întreținere și la optimizarea consumului energetic.

În ansamblu, inovarea în domeniul materialelor avansate și aplicarea sistematică a metodelor de caracterizare și testare reprezintă factori esențiali pentru progresul tehnologic. Concluziile evidențiază necesitatea consolidării parteneriatelor între centre de cercetare, instituții de învățământ superior și companii industriale, aceasta fiind cheia pentru dezvoltarea de soluții performante și robuste. Pe termen lung, rezultatele obținute pot sprijini tranziția către tehnologii energetice mai eficiente și durabile, oferind beneficii atât mediului economic, cât și societății în ansamblu.

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de îndeplinire a obiectivului cu referire la țintele stabilite si indicatorii asociați pentru monitorizare si evaluare).

În vederea atingerii obiectivelor propuse, în cadrul fazei 5 a proiectului s-a conceput și implementat un program experimental adecvat privind fabricarea avansată a unor straturi depuse cu proprietăți antireflectorizante și testarea acestora în condiții de laborator. Straturile funcționale s-au realizat prin metoda sol-gel, fiind depuse pe un suport din oțel termorezistent 10CrMo9.10, utilizând diferiți precursori de siliciu, (tetrametoxisilan, metiltrimetoxisilan, dimetoxidimetilsilan ș.a.), folosiți în procesul sol-gel la formarea rețelei de silice. Programul experimental a vizat evaluarea caracteristicilor mecanice, precum și a proprietăților optice, structura morgologică a depunerilor.

În cadrul fazei a fost elaborată o tehnologie privind fabricația avansată a stratului antireflex care prezintă etapele cheie care se parcurg în vederea obținerii unui strat antireflex cu proprietăți superioare, pornind de la precursori sol - gel specifici și tratamente termice succesive. Aplicația principală este creșterea eficienței energetice a unui sistem de acoperiri care utilizează ca substrat oțelul 10CrMo9.10, exploatat în medii cu temperaturi și presiuni ridicate, cum ar fi centrale electrice solare.

Un alt rezulat notabil este elaborarea documentație tehnice aferentă cererii de brevet de invenție pentru „Sistem de depunere dublu strat antireflex hidrofob - antistatic destinat optimizării eficienței energetice”.

Pe de altă parte, în vederea diseminării rezultatelor obținute, în cadrul fazei au fost elaborate două articole științifice, lucrări care au fost acceptate spre publicare în revista BID-ISIM, publicație clasificată B+.

În vederea creșterii vizibilității rezultatelor obținute s-a actualizat pagină web a proiectului, realizată în secțiunea „Cercetare - Program Nucleu”, a site-ului ISIM Timișoara (www.isim.ro). De asemenea rezultatele obținute au fost prezentate diverse expoziții și târguri internaționale (INVENTCOR 2025, EUROINVENT - European Exhibition of Creativity and Innovation, Demo Metal Vest 2025), unde au primit aprecieri pozitive.

Această lucrare aduce o contribuție semnificativă la aprofundarea cunoștințelor în domeniul materialelor avansate și al tehnologiilor de depunere a straturilor funcționale, furnizând un cadru optim pentru perfecționarea proceselor de fabricație și dezvoltarea unor materiale inovatoare cu performanțe superioare. Prin activitățile desfășurate, considerăm că obiectivele fazei 5 au fost îndeplinite. Pentru a extinde aria de cercetare, propunem continuarea proiectului prin faza 6/2025, intitulată: „*Concepere program experimental complex privind fabricația avansată a sistemului de acoperire componente intens solicitate termic și mecanic*.”

Responsabil proiect,

Dr. ing. Alin Constantin MURARIU