

**Contractor Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Materialelor**  
**Cod fiscal: RO9068280**

***PROPUNERE PROIECT COMPONENT***

*(Structura cadru - document: margini 2 cm, 1,2 randuri, font arial 11p)*

**Denumirea Programului Nucleu: Noi dezvoltări în domeniul materialelor avansate cu potențial aplicativ, în corelare cu provocările societale și domeniile de specializare inteligentă (MAVPA-PROSOCSPIN)**

**Denumirea obiectivului: Dezvoltări teoretice, experimentale și aplicative în domeniul materialelor funcționale pentru sectoare de înaltă tehnologie (electronică, optoelectronică, senzorică)**

**Domeniul și subdomeniile de specializare inteligentă/politici publice cărora li se adresează propunerea de proiect:**

Specializări inteligente:

2. Economie digitală și tehnologii spațiale: (2.1) Dispozitive și sisteme microelectronice pentru produse inteligente; (2.2) Rețelele viitorului, comunicații, internetul lucrurilor; (2.3) Tehnologii pentru economia spațială; (2.4) Tehnologii XR; (2.5) Sisteme de inteligență artificială; (2.6) Securitate cibernetică; (2.7) Tehnologii pentru trasabilitate; (2.8) Roboți și agenți cognitivi.

3. Energie și mobilitate: (3.3) Digitalizare în energie.

4. Fabricație avansată: (4.2) Digitalizarea și robotizarea fabricației; (4.3) Tehnologii avansate de fabricație.

5. Materiale funcționale avansate: (5.1) Optoelectronica; (5.2) Materiale compozite inteligente; (5.4) Materiale pentru aplicații electronice, electrice, fotonice, magnetice și în senzorică.

6. Mediu și eco-tehnologii: (6.1) Tehnologii pentru gestionarea, monitorizarea și depoluarea mediului.

7. Sănătate - prevenție, diagnostic și tratament avansat: (7.1) Chirurgia de precizie; (7.4)

Diagnosticare precoce; (7.5) Tehnologii pentru o viață autonomă; (7.6) eHealth; (7.8) Tehnologiile pentru sisteme portabile.

Agenda Strategică de cercetare:

*Domeniul: Digitalizare, industrie și spațiu*

IMPACT: Autonomie strategică deschisă în tehnologiile digitale și în cele emergente și centrarea pe om a acestora / Inteligența artificială cu performanțe de nivel uman, scalabilă și sigură;

Implicarea factorului uman în analiza și validarea rezultatelor generate de sistemele automate;

Calcul de nouă generație (edge, neuromorfic, bioinspirat, nano, quantum, fonic, HPC); Materiale avansate, nanomateriale; Siguranța și intuitivitate sporită în interacțiunea om-mașină.

IMPACT: Economie atractivă la nivel regional și global, sigură și dinamică, agilă din punct de vedere al datelor / Personalizarea produselor prin ecosisteme de producție conduse de date;

Tehnologii ale limbajului pentru limba română.

IMPACT: Autonomie strategică deschisă în dezvoltarea, implementarea și utilizarea infrastructurilor spațiale globale, a serviciilor, aplicațiilor și datelor / Noi materiale și tehnologii avansate cu aplicabilitate pentru domeniul spațial;

Tehnologii spațiale pentru eficientizarea activității instituțiilor și autorităților publice; Noi echipamente și materiale avansate pentru viitoarele misiuni spațiale.

*Domeniul: Climă, energie și mobilitate*

IMPACT: Tranziția sectorului energie către neutralitate și reziliență climatică / Dezvoltarea de soluții trans-sectoriale de eficientizare energetică.

IMPACT: Accesibilitatea, alimentarea cu și utilizarea eficientă a energiei / Raționalizarea consumului de energie.

IMPACT: Sisteme de mobilitate inteligente / *Big Data* și inteligența artificială pentru mobilitate

inteligentă; Sisteme de transport inteligente pentru creșterea siguranței și a rezilienței infrastructurii de transport; Optimizarea sistemelor de transport multimodal și modular, inclusiv cu ajutorul inteligenței artificiale.

*Domeniul: Hrană, bioeconomie, resurse naturale, biodiversitate, agricultură și mediu*

IMPACT: Dezvoltarea durabilă, echilibrată și incluzivă a zonelor urbane, rurale și de coastă / Soluții integrate pentru orașul inteligent; Dezvoltarea rurală durabilă și inteligentă; Dezvoltare durabilă prin integrarea digitalizării și a inteligenței artificiale în mediul construit.

*Domeniul: Sănătate*

IMPACT: Gestionarea bolilor și reducerea poverii acestora / Prevenția, detecția precoce, tratamentul și menținerea calității vieții în cancer; Reducerea poverii bolilor cardio- și cerebrovasculare și a implicațiilor acestora pe termen lung; Prevenirea, detecția precoce, tratamentul și menținerea calității vieții în bolile cronice netransmisibile, inclusiv predicția timpurie cu ajutorul biomarkerilor; Promovarea sănătății mintale, prevenirea și reducerea impactului patologiei neurodegenerative, însoțite de declin cognitiv; Reducerea poverii bolii pentru bolnavii cronici și cei aflați sub tratament de lungă durată; Înțelegerea mecanismelor patogenice ale bolilor; Gestiunea volumelor mari de date clinice și biologice diversificate, de calitate (cu "data sharing"); Interoperabilitate și standardizare în utilizarea noilor tehnologii/metodologii.

IMPACT: Noi instrumente, tehnologii și soluții digitale pentru o societate sănătoasă / Noi tehnologii de monitorizare preventivă a sănătății; Dezvoltarea telemedicinii; Utilizarea inteligenței artificiale în medicină; Medicina de precizie; Medicina personalizată.

*Domeniul: Cultură, creativitate și societate incluzivă*

IMPACT: Guvernanța democratică revigorată / Cetățenia digitală - utilizarea competența a noilor tehnologii în contextul cetățeniei democratice; Noi abordări pentru a genera și colecta participativ date cu privire la probleme ale comunității; Îmbunătățirea mecanismelor participative prin adoptarea unor caracteristici specifice jocurilor ("gamificare").

*Domeniul: Securitate civilă pentru societate*

IMPACT: Diminuarea pierderilor cauzate de calamități naturale, accidentale și de cele provocate de om / Pregătirea pentru evenimentele multi-hazard în condițiile schimbării climatice accelerate.

IMPACT: Creșterea securității cibernetice și menținerea unui mediu online mai sigur  
Dezvoltarea culturii de securitate cibernetică la nivel individual și instituțional; Identificarea conținutului instigator din mediul on-line; Pregătirea pentru amenințări cibernetice asimetrice.

### **Tipul activității de cercetare – dezvoltare, inovare și demonstrare<sup>1</sup>:**

- cercetare fundamentală;
- cercetare industrială;
- dezvoltare experimentală.

### **Rezumatul Propunerii de proiect (max ½ pagină):**

Proiectul își propune dezvoltarea de noi concepte, materiale, heterostructuri și dispozitive cu aplicabilitate în domenii legate de microelectronică: dispozitive pentru tehnologia informației (memorii, chip-uri care emulează procese de "deep learning", noi concepte în calcul cuantic), dispozitive optoelectronice, noi materiale magnetice și multiferoice, inclusiv cu proprietăți magnetostriective, magnetocalorice sau cu magnetorezistență, senzori și detectori pentru o gamă largă de radiații, dispozitive pentru microunde și pentru diverse alte aplicații în câmpuri electromagnetice, fără a uita materialele supraconductoare și înglobarea lor în heterostructuri. O caracteristică principală a Proiectului este că tratează materiale cu diferite grade de ordonare: (i) ordonare cristalină, inclusiv pentru sisteme epitaxiate; (ii) ordonare feroică (feroelectrică, feromagnetică, multiferoică); (iii) ordine caracteristică a supraconductorilor, corelații electronice; (iv)

<sup>1</sup> Se menționează tipul/tipurile de cercetare – dezvoltare, inovare și demonstrare în conformitate cu Regulamentul UE nr. 651/2014 al Comisiei de declarare a anumitor categorii de ajutoare compatibile cu piața internă, în aplicarea art. 107 și 108 din Tratat ([www.renascce.eu/documente/Exceptari\\_2014\\_ro\\_863ro.pdf](http://www.renascce.eu/documente/Exceptari_2014_ro_863ro.pdf))

ordine la mezoscală (metasuprafețe, metamateriale, structuri ordonate de domenii feroice). În afara abordării unui număr de 12 teme de actualitate, grupate în 4 direcții principale, Proiectul își propune și dezvoltarea unui know-how colectiv în domeniul materialelor avansate, ordonate, pentru tehnologii de vârf. Proiectul răspunde pro-activ provocărilor societale legate de reducerea necesară a consumurilor energetice în industria electrotehnică și electronică, aplicarea rezultatelor emergente din Proiect permițând continuarea digitalizării pe scară largă a economiei și societății pe ansamblu, precum și continuarea în bune condiții a dezvoltărilor din industria electronică, electrotehnică și energetică. De asemenea, Proiectul tratează și necesitatea reducerii consumurilor de materiale strategice și de a se re-întări industria europeană de chip-uri semiconductoare, prin înglobarea unor materiale și structuri cu randamente mai ridicate, costuri mai scăzute și viteză de operare crescută. Pentru realizarea acestor deziderate, Proiectul va folosi instalațiile CDI ale INCDFM de ultima generație, în valoare de peste 25 milioane de Euro, achiziționate prin mai multe programe europene și naționale, precum și personalul de înaltă calificare al institutului (67 % din personalul implicat fiind doctori în științe). Proiectul preconizează elaborarea a 46 articole de foarte bună calitate, publicate în reviste științifice de cel mai înalt nivel internațional și a 19 cereri de brevet de invenție, susceptibile de transfer tehnologic pe termen mediu. În urma realizării acestui Proiect, INCDFM își va consolida poziția de leadership în domeniul științei materialelor din România și va deveni o instituție fanion chiar pe plan european. Se așteaptă, de asemenea, ca după depășirea crizei economice actuale, din ce în ce mai mulți agenți economici (nu numai din România) să se arate interesați să preia rezultatele produse de acest Proiect.

## 1. Descrierea științifică (maxim 15 pagini)

### 1.1. Prezentarea scopului proiectului

*(se vor descrie rezultatele ce urmează a fi obținute (modele teoretice, modele experimentale, produse, tehnologii, servicii, soluții, etc) în corelare cu țintele propuse)*

Scopul acestui Proiect este de a agrega competențele din INCDFM în vederea răspunderii cu soluții concrete din punctul de vedere al unor noi materiale, heterostructuri sau dispozitive provocărilor societale din domeniul microelectronicii, optoelectronicii, senzoricității, economiei de energie și noilor paradigme din tehnologia informației. Proiectul este structurat în 12 teme, împărțite pe 4 paliere: (A) Primul palier tratează noi materiale pentru memorii, noi tipuri de ordonare multiferoică, aplicarea acestor structuri pentru emularea fizică a proceselor de “deep learning”, precum și noi soluții de modelare a materialelor pentru tehnologii cuantice. (B) Al doilea palier exploatează structuri mezoscopice ordonate (metamateriale, materiale obținute prin fabricație aditivă, metasuprafețe) cu aplicații în domeniul opticii de spectru larg, mergând de la unde electromagnetice, microunde, infraroșu și vizibil. (C) Al treilea palier tratează noi materiale pentru supraconductori și/sau cu proprietăți magnetice îmbunătățite, incluzând aici și soluții de materiale care să răspundă crizelor actuale geostrategice, sau materiale cu proprietăți termomagnetice sau magnetostriective. (D) Al patrulea palier se adresează materialelor și heterostructurilor pentru optoelectronică și senzorică. Proiectul propune realizarea a 44 documentații, 105 studii, 385 formule, 57 scheme, 4 planuri, 83 procedee / rețete / metode, 166 obiecte, 50 produse, 16 produse informatice, 14 tehnologii, 19 cereri de brevet și a 46 articole trimise la reviste indexate pe Web of Science (Clarivate Analytics).

O regulă generală a acestui proiect este că exploatează stări de ordonare ridicată a materiei condensate, fie că este vorba despre ordine cristalină, sisteme realizate prin epitaxie, ordonare feroică (feroelectrică, feromagnetică sau multiferoică), ordonare la scară mezoscopică (metamateriale, metasuprafețe sau structuri ordonate de domenii feroice), sau ordonarea datorată corelațiilor electronice care conduc la apariția stării supraconductoare. Proiectul intenționează să ofere comunității științifice și tehnologice internaționale un pachet de 33 soluții ca răspuns la provocările societale actuale în domeniul microelectronicii, senzoricității, optoelectronicii:

Temă	Rezultate practice estimate
A1	memorii nonvolatile; detectori IR și UV; MEMS; senzori auto-independenți
A2	nouă teorie a feroicității; teoria domeniilor feroice; sisteme multiferoice; dispozitiv fizic pentru emulare “deep learning”
A3	teoria transportului în izolatori topologici; dinamica centrilor de culoare în câmp electromagnetic; cuplaj spin-vibrație; transport în heterostructuri van der Waals
A4	dielectrici cu pierderi reduse; compozite cu derivă termică controlată; rezonatori de microunde; metafete pentru controlul reflexiei de microunde
B1	monocristale de calitate de calcogenați; nouă metodă de studiu a penetrării câmpului magnetic în supraconductori sub presiune hidrostatică
B2	noi materiale supraconductoare (pnictide), sisteme spintronice supraconductor / feromagnet; sisteme magneto-logice prin manipularea spinilor
B3	boruri cu structură 2D grafică; aplicații în supraconductori, biomedicale, magnetism
B4	magneți permanenți fără materiale critice pentru industria auto; materiale magnetorezistive, magnetostriective, magnetocalorice
C1	heterostructuri high-k / semiconductori III–V pentru aplicații în electronica ultrarapidă de consum redus și în optoelectronică
C2	matrici de senzori NIR–SWIR pentru monitorizarea transportului rutier
C3	dispozitive OLED cu perovskiți organici; fotodetectori pe matrici de nanofire
C4	structuri optoelectronice cu rezoluție sub lungimea de undă; biosenzori plasmonici; heterojuncțiuni cu focalizarea radiațiilor în celule solare tandem

### 1.2. Prezentarea obiectivelor proiectului

*(se vor avea în vedere următoarele: corelarea și contribuția la obiectivele stabilite în propunerea de Program Nucleu, gradul de originalitate și noutate al propunerii față de situația curentă în domeniu la nivel național și internațional, țintele propuse a fi atinse, fezabilitatea proiectului)*

Acest Proiect tratează integral obiectivul PN-OS2 al Programului Nucleu, care corespunde mai multor direcții strategice de cercetare din Planul Strategic de dezvoltare al INCDFM (<https://infim.ro/wp-content/uploads/2022/07/4-plan-strategic-de-dezvoltare-INCDFM-final-1.pdf>), după cum se detaliază la pct. 4. Originalitatea Proiectului constă în: (1) Sinergia teorie-experiment-aplicații. Sunt rare proiectele în care se pleacă de la noi concepte fundamentale, definite pentru prima dată (în lume) de propunători, spre modelarea lor teoretică completă, realizarea de noi experimente care să verifice aceste previziuni și dezvoltarea de aplicații susceptibile să fie lansate pe piață – totul pe parcursul a numai 3 ani. (2) Agregarea diferitelor tipuri de ordonare a materiei condensate, de la structura atomică (cristale, sisteme epitaxiate) la scala mezosopică (metamateriale, metasuprafețe, structuri de domenii feroice) și incluzând și ordine de tip (multi)feroic sau supraconductor. (3) Faptul că expertiza experimentală a propunătorilor va conduce la asamblarea, modificarea sau punerea în funcțiune de noi dispozitive de sinteză și analiză a acestor materiale (inclusiv produse informatice), care vor putea ulterior fi propuse și pentru alte cercetări. Aceste soluții tehnologice sunt susceptibile să conducă la produse viabile care să fie lansate pe piață. Toate investigațiile propuse sunt complet noi, fie prin cuplarea metodelor de investigare, fie prin noutatea materialelor studiate, fie din ambele motive. Argumentul cel mai relevant privind noutatea constă în faptul că toate fazele care vor fi enumerate în continuare propun fie cel puțin o lucrare în reviste indexate pe Web of Science, fie depunerea cel puțin a unei cereri de brevet de invenție (atât lucrările în reviste indexate, cât și brevetele de invenție trebuie în mod obligatoriu să prezinte elemente clare de noutate, altfel nu sunt acceptate). În ceea ce privește fezabilitatea, anumite soluții propuse par a fi de avangardă, însă, având în vedere expertiza propunătorilor, șansele de eșec sunt minime pentru toate cele 12 tematici propuse. S-a încercat formularea de ținte ambițioase (72, listate în Schema de Realizare), însă realiste.

### **1.3. Contribuția științifică și tehnică, metodologia de implementare**

*(se vor avea în vedere: noutatea soluțiilor propuse în proiect, prezentarea metodologiei de cercetare - descrierea fazelor și activităților necesare atingerii obiectivelor proiectului, diagrama GANTT, milestones, prezentarea infrastructurii existente pentru realizarea proiectului, dezvoltarea infrastructurii dacă este necesar pentru realizarea proiectului, aspecte de etică acolo unde este cazul).*

#### **A. Sisteme feroelectrice, multiferoice, noi paradigme computaționale, transmitere de date**

##### **A1. Noi dezvoltări în domeniul materialelor funcționale pentru aplicații de înaltă tehnologie (electronică, optoelectronică, senzorică)**

*Situația actuală:* Materialele feroelectrice și multiferoice sunt materiale multifuncționale utilizabile într-o varietate largă de aplicații, începând cu alarme de intrus și băi cu ultrasunete, până la memorii nevolatile și camera de termoviziune. Cele mai studiate și utilizate în aplicații sunt materialele cu structura de tip perovskit anorganic, cu formula chimică  $ABO_3$ , unde A și B sunt metale (suma valențelor trebuie să fie 6), iar O este oxigen. Aceste materiale, cum ar fi soluții solide de  $Pb(Zr,Ti)O_3$  sau  $(Ba,Sr)TiO_3$  sau altele similare, se obțin sub diverse forme cum ar fi ceramici, straturi subțiri sau nanostructuri. Totuși, în ultimii ani se fac eforturi pentru a se găsi materiale feroelectrice sau multiferoice cu o compoziție chimică mai simplă (e.g., materiale binare dopate de tip  $HfO_2$ ,  $ZrO_2$  sau AlN) [A1(1),A1(2)], materiale perovskitice fără metale și nanocompozite formate din pulberi ceramice și polimeri, procesabile la temperaturi mai joase) [A1(3),A1(4)], sau heterostructuri multifuncționale obținute prin combinația de straturi subțiri din materiale cu proprietăți diferite [A1(5)]. Eforturile de cercetare vor fi focalizate pe sinteza și caracterizarea unor noi tipuri de materiale și heterostructuri feroelectrice și multiferoice cu potențial aplicativ în electronică (memorii nevolatile) și senzorică (detectors IR și UV, dispozitive MEMS, senzori auto-independenți cu funcționalități multiple).

*Faza F2.1.1 (2023): Sinteza de noi materiale și heterostructuri feroelectrice și multiferoice. Obiective:* Sinteza de straturi subțiri din materiale binare dopate în vederea obținerii de proprietăți feroelectrice; Realizarea de heterostructuri pe bază de straturi feroelectrice; Nanocompozite în matrici polimerice

și materiale organice feroelectrice; Caracterizare structurală și electrică. Metodologie: Sintezele se vor realiza utilizând depunere din pulsuri laser (PLD), pulverizare în RF și DC cu magnetron, sinteze chimice din soluții. Caracterizarea structurală va include difracție de raze X (XRD), microscopie electronică de baleiaj (SEM), microscopie de forță atomică și de forță piezorezistivă (AFM/PFM) și microscopie electronică de transmisie de înaltă rezoluție (HRTEM). Masuratorile electrice vor include curbe polarizare-tensiune P–V, capacitate-tensiune C–V și curent-tensiune I–V.

*Faza F2.1.2 (2024): Optimizarea proprietăților funcționale ale structurilor feroelectrice și multiferice prin inginerie de interfețe, defecte, dopaje. Obiective:* maximizarea proprietăților funcționale (fero, piro, piezo) prin modificări ale volumelor, interfețelor, dopajelor și combinarea de materiale cu proprietăți diferite. Metodologia este parțial cea din cadrul fazei precedente, la care se adaugă sinteza de structuri multifuncționale pentru ITC și senzorică, cu auto-alimentare electrică.

*Faza F2.1.3 (2025): Investigarea proprietăților funcționale ale noilor materiale/heterostructuri feroelectrice sau multiferice. Obiective:* Analiza proprietăților feroelectrice, multiferice, dielectrice, piroelectrice, piezoelectrice și optice pentru materialele de tip *binary* dopat, heterostructuri, nanocompozite, cristal organic. Metodologie: se vor efectua analize fizice și chimice amănunțite cum ar fi spectroscopie de fotoelectroni (XPS), măsuratori magnetice și electrice în diferite condiții de temperatură și câmp; analize PFM detaliate, scopul fiind corelarea proprietăților cu structura.

*Faza F2.1.4 (2026) – Elaborarea unor modele funcționale cu aplicații în electronică și senzorică folosind noi materiale/heterostructuri feroelectrice sau multiferice. Obiective:* Fabricarea de memorii nevolatile cu stări multiple; senzori pentru radiația luminoasă în IR sau UV; memristori; tranzistori cu efect de câmp. Metodologie: Vor fi testate proprietățile de senzor ale structurilor feroelectrice noi pentru diferite tipuri de stimuli externi (lumina, temperatura, vibrații, umiditate, gaze), proprietățile foto-piroelectrice și se vor realiza fizic modele de laborator; vor fi testate și proprietățile de memorie pentru anumite tipuri de structuri (multiferici artificiali sau binari dopați).

## **A2. Feroicitate și multifericitate gestionată de sarcina acumulată la suprafețe și interfețe: de la aspecte fundamentale spre emularea de procese analogice de “deep learning”**

*Situația actuală:* O teorie coerentă a feromagnetismului încă nu este disponibilă [A2(1–2)]. Teoria care pornește de la interacțiunea de tip Heisenberg extrapolează (în mod nejustificat [A2(3)]) rezultate de la molecula de hidrogen și prezice câmpuri coercitive extrem de ridicate, de sute de Tesla [A2(4),A2(5)]. Ipoteza rotației momentelor magnetice în particule cu anizotropie [A2(6)] leagă câmpul coercitiv de constanta de anizotropie, însă teoria microscopică [A2(7),A2(8)] și evidențele experimentale [A2(9)] au arătat că aceste constante de anizotropie sunt cu trei ordine de mărime mai ridicate. Analiza mai aprofundată a domeniilor feromagnetice confirmă aceste ordine de mărime [A2(5)]. În versiunea inițială a lui Stoner [A2(10)], feromagnetismul de bandă nu prevedea temperaturi Curie rezonabile; acest lucru a fost posibil într-o versiune modificată a acestei teorii [A2(11)], care prevede și structurile metalelor de tranziție, explică valoarea redusă a câmpurilor coercitive (sub miime de Tesla), prevede și reapariția feromagnetismului la temperaturi extrem de ridicate, o explicație pentru câmpul geomagnetic [A2(12)]. Atât în teoria Stoner, cât și în cea din lucrarea [A2(11)], un ingredient de bază este densitatea de stări (DOS) a metalului. Prin modularea “umplerii” cu electroni a stărilor unui metal, se poate efectua printr-un mecanism pur electronic tranziția de la starea feromagnetică la cea paramagnetică sau invers. Aceasta se poate realiza atunci când metalul este depus pe un substrat feroelectric cu polarizare perpendiculară pe suprafață, caz în care sarcinile necesare stabilizării feroelectricului [A2(4),A2(13)] pot fi asigurate de metal, prin varierea umplerii benzii de conducție cu electroni. Primul obiectiv al acestei Teme este realizarea unor asemenea heterostructuri multiferice cu cuplaj electronic. Al doilea obiectiv este să se testeze care din criteriile [A2(10)] sau [A2(11)] descrie cel mai bine feromagnetismul metalelor. În cazul domeniilor acestor multiferici, vor exista “hărți” ale acumulărilor de sarcină în material. Proprietățile de conducție în planul suprafeței vor depinde de această topografie de polarizare. Se poate imagina o heterostructură care să realizeze în mod fizic matricile unui proces de “deep learning” [A2(14)], unde electrozi interdigitați situați la extremitățile chip-ului vor fi utilizați pentru variabilele de intrare și

de ieșire. În cursul procesului de învățare, se aplică potențialele necesare pe electrozii care corespund biților variabilei de intrare și ai variabilelor de ieșire. Sistemul se va organiza prin modificarea topografiei de domenii pentru a răspunde acestor stimuli. Topografia de domenii este asimilabilă matricilor de transfer între perceptroni și poate fi înregistrată rapid prin microscopie Kerr-Pockels, PFM sau microscopie de forță magnetică (MFM). Aceasta elimină procesul de retro-propagare din “deep learning” [A2(15)] și permite stocarea dinamică a matricilor de transfer pentru multiple asocieri între variabilele de intrare și de ieșire. Analiza corelată a matricilor de transfer va permite deducerea matricii optimale, iar această matrice va putea fi “imprimată” pe chip.

*Faza F2.2.1 (2023): Studii fundamentale teoretice și experimentale privind sisteme feroice/multiferoice* Obiective: (1) Teoria completă a feromagnetismului de bandă; (2) Teoria domeniilor ferroelectrice; (3) Sisteme multiferoice cu cuplaj electronic între substratul ferroelectric și stratul magnetic. Metodologie: Metodele teoretice sunt cele standard din mecanica cuantică și fizica solidului. Metodele experimentale presupun proceduri de curățare a substraturilor ferroelectrice, creșterea epitaxială (MBE) a straturilor metalice magnetice, cu caracterizări *in situ* prin difracție de electroni lenți (LEED), microscopie de baleiaj cu efect tunel (STM) și XPS, analiza polarizării ferroelectrice prin XPS și a anizotropiei de spin prin spectroscopie de fotoelectroni polarizați în spin.

*Faza 2.2.2 (2025): Aspecte microscopice și macroscopice în topografia domeniilor* Obiective: (1) Teoria domeniilor ferroelectrice, feromagnetice și multiferoice în structuri de tip “tablă de șah.”. (2) Analiza efectelor de formă macroscopică asupra structurii topografiei de domenii; Metodologie: Metodele teoretice sunt cele standard din fizica solidului. Metodele experimentale presupun analize ale hărților de polarizare ferroelectrică, feromagnetică și multiferoică pe probe de dimensiuni reduse și diferite forme, prin spectromicroscopie de fotoelectroni.

*Faza F2.2.3 (2025): Sisteme cu control magnetoelectric. Sinteza noilor teorii* Obiective: (1) Sistem-model cu bascularea ferroelectricității rezultând în schimbarea magnetizării; (2) Sinteza aspectelor teoretice noi în teoria sistemelor multiferoice într-o lucrare de amploare (carte). Metodologie: Pentru (1), se va implementa un sistem de polare *in situ*, iar analiza stărilor ferroelectrice se va face prin spectroscopie de fotoelectroni, analiza proprietăților magnetice prin spectroscopie de fotoelectroni cu polarizare de spin, la care se adaugă tehnici de caracterizare structurală (LEED), compozițională (XPS) și de structură atomică (STM – AFM cu rezoluție atomică).

*Faza 2.2.4 (2026): Investigarea proceselor fizice de “deep learning” pe suporturi feroice și multiferoice* Obiective: (1) Analiza posibilității emulării “deep learning” pe substraturi fizice. (2) Realizarea primelor experimente; (3) Proceduri de captare, analiză și rescriere a matricilor de transfer. Metodologie: Procedee standard din știința suprafețelor de curățare a probelor, depuneri de straturi subțiri și caracterizări *in situ* (LEED, XPS, STM, AFM). Adaptarea de tehnici microscopice (microscopie Kerr sau Pockels, PFM, MFM) pentru analiza în timpul operării a chip-urilor care emulează procesele de “deep learning”. Punerea la punct a unui sistem de analiză de tip “big data” pentru compararea matricilor de transfer și deducerea trăsăturilor comune ale acestora.

### **A3. Materiale pentru tehnologii cuantice: studii exploratorii și soluții de modelare**

*Situația actuală:* Concepte și modele teoretice definitorii pentru calculatoarele și comunicațiile cuantice sunt implementate în tot mai multe “platforme fizice” [A3(1)]. Modelarea computațională și descrierea teoretică a acestora devin astfel necesare atât din perspectiva înțelegerii fenomenelor fizice dar și pentru focalizarea investigațiilor experimentale în vederea dezvoltării de dispozitive și materiale cuantice. Se vor investiga: a) Mecanismele de cuplaj și disipație în materiale cu centri de culoare; b) Proprietățile spectrale și de transport ale unor materiale cuantice noi. Ambele clase de materiale se regăsesc în Agenda programului European Quantum Flagship [A3(2)] dedicat tehnologiilor cuantice (TC). Materialele cu centri de culoare [A3(3)] îndeplinesc condițiile esențiale pentru a fi componente de bază ale unor dispozitive cu aplicații în senzorială și comunicații cuantice: timpi lungi de coerență a spinului la temperatura camerei, răspuns controlat la semnale de microunde sau radiație laser, un cuplaj robust al gradelor de libertate (orbitale și de spin) la deformările rețelei cristalului “gazda” [A3(4)]. De asemenea, centrii de culoare sunt surse de fotoni



individuali sau corelați (entangled) cu frecvențe în domeniul telecom. Toate aplicațiile menționate presupun "initializarea" și "citirea" stărilor cuantice ale centrilor prin aplicarea unor pulsuri optice (laser) sau de microunde precum și prin măsuratori de fluorescență. Aceste operații distrug parțial informația stocată la nivelul qubiților, iar procesele de disipație și relaxare afectează calitatea protocolului de manipulare a stărilor cuantice. În particular, măsurători experimentale recente [A3(5)] evidențiază *noi procese de relaxare rapidă* a spinului centrilor de tip azot-vacanță (NV).

O alta clasă de experimente relevante pentru proprietățile de *emițători cuantici* ale materialelor cu centri de culoare exploatează cuplajul gradelor de libertate ale acestora la moduri cuantificate de vibrație. Aceste moduri sunt asociate: i) unui nanorezonator cu un "vârf" magnetic situat în vecinătatea centrului de culoare; ii) modurilor de deformare mecanică ale materialului gazdă [A3(6)]. Aplicațiile cuplajului spin-vibrație sunt multiple (de ex. răcirea vibrațională în materiale cu centri de culoare siliciu-vacanță (SiV) [A3(4)], generarea de perechi de fotoni indiscernabili pentru comunicațiile cuantice [A3(1),A3(2)]) și presupun activarea *rezonantă* a centrilor de culoare prin semnale de microunde sau laser. La nivel teoretic însă efectul cuplajului spin-vibrație este discutat mai degrabă *în absența* acestor semnale sau în regimul dispersiv (*off-resonant*).

Izolatorii topologici (IT) sunt materiale cuantice care continuă să evidențieze aspecte noi în fizica stării condensate. În ultimii ani se înregistrează un interes major pentru un nou IT de ordin superior (higher-order topological insulator - HOTI). Deocamdată, singura confirmare experimentală pentru acest tip de material se referă la structuri de bulk de bismut [A3(7)]. O altă metodă de realizare a unui HOTI constă în suprapunerea de lanțuri cuasi-1D de  $\text{Bi}_4\text{Br}_4$  [A3(8)]. Spre deosebire de izolatorii convenționali, un HOTI prezintă stări de margine cu dimensionalitate redusă. O direcție foarte recentă de cercetare vizează mecanismul de conducție în HOTI pe baza stărilor de "muchie". Acest mecanism ar conduce la un efect Hall cuantic anomal [A3(9)]. Pentru a pune în evidență aceste proprietăți izolatorul poate fi modelat teoretic ca o suprapunere de izolatori Chern 2D, cu respectarea unor simetrii punctuale și globale. Un model original se poate realiza și pornind de la rețele 2D bipartite [A3(10)]. Izolatorii topologici pot fi componente ale unor dispozitive spintronice sau magnetoelectrice, iar în combinație cu supraconductorii promet realizarea unui computer cuantic pe baza de qubiți care stochează simultan informație în mai multe stări electronice [A3(11)].

Heterostructurile 2D de tip van der Waals (vdW) rezulta în urma unui proces controlat de depunere care implica monostraturi de material TMD (transition metal dicalcogenides) și alte materiale 2D ca fosforena [A3(12)] sau nitrura hexagonală de bor (hBN) [A3(13)]. Măsurătorile arată că heterostructurile vdW permit manipularea simultană a gradelor de libertate de spin și de "vale", ultimele fiind asociate minimelor/maximelor multiple ale benzilor de energie de conducție/valență. Stocarea informației în numerele cuantice de "vale" constituie un nou domeniu: "electronica de vale" (valleytronics) [A3(14)], ale cărui dezvoltări pot conduce la concepte noi și la rezultate cu impact asupra arhitecturii calculatoarelor cuantice [A3(15)]. De asemenea, doturile cuantice realizate din materiale 2D prezintă o serie de avantaje față de doturile de GaAs sau Si. În această linie de dezvoltare se înscriu reușitele experimentale recente de definire/configurare a doturilor cuantice în materiale bidimensionale ca grafena [A3(16)] sau în monostraturi de  $\text{WSe}_2$  [A3(17)] și  $\text{MoS}_2$ .

*Faza F2.3.1 (2023): Proprietati de transport ale stărilor topologice de dimensionalitate redusă.*

**Obiectiv:** Modelarea proprietăților de transport ale unui HOTI și studierea unor tranziții de faze topologice în prezența impurităților. **Metodologie:** Elaborarea formalismului de transport pentru izolatori topologici de ordin superior cu contacte în configurație Hall. Se vor analiza transmisia electronica între firele atașate sistemului, efectul Hall cuantic anomal și dependența acestora de parametri interni și externi.

*Faza F2.3.2 (2024): Studiul proceselor de disipație în materiale cu centri de culoare. Obiectiv:*

Dezvoltarea unor metode teoretice pentru modelarea dinamicii unui centru de culoare sub acțiunea semnalelor de microunde sau optice în prezența proceselor de relaxare și disipație. **Metodologie:** Metode teoretice pentru descrierea tranzițiilor de spin ale centrilor de culoare în prezența proceselor

de relaxare și în regim de cuplaj puternic cu semnale de microunde, care vor permite analiza unor configurații *pump-probe* pentru manipularea gradelor de libertate ale centrilor.

**Faza F2.3.3 (2024): Efectele cuplajului spin-vibrație în materiale cu centri de culoare.** Obiectiv: Studiul dinamicii centrilor de culoare în prezența cuplajului spin-vibrație. Metodologie: Generalizarea metodelor elaborate în obiectivul anterior prin includerea modurilor de vibrație cuantificate. Pentru un centru de culoare de tip azot-vacanță, analiza dinamicii va include toate stările de triplet, regimul va fi rezonant, iar medierea peste modurile de vibrație va fi evitată.

**Faza F2.3.4 (2025). Studii de frontieră asupra heterostructurilor bidimensionale.** Obiectiv: Fenomene de transport asociate stărilor de spin și "vale" ale heterostructurilor 2D. Metodologie: Se vor modela stările de spin și "vale" pentru heterostructuri vdW și/sau doturi cuantice 2D, contribuția acestora la curenții de sarcină/spin, efectele interacțiilor externe asupra proprietăților topologice și de transport.

#### **A4. Materiale și dispozitive de microunde obținute prin fabricare aditivă**

**Situația actuală:** Trăim într-o lume interconectată care evoluează continuu de la Internetul Lucrurilor (IoT) la Internetul tuturor Lucrurilor (IoE) [A4(1)]. În acest context, materialele dielectrice cu pierderi reduse au fost integrate cu succes în dispozitive de microunde (MW). Tehnologia ceramică convențională nu poate răspunde tuturor cerințelor actuale. Atunci când sunt necesare materiale compozite și/sau cu forme complexe, noi tehnologii de fabricare sunt necesare. „*Fused Deposition Modeling*” (FDM) este cea mai utilizată tehnică pentru fabricarea aditivă [A4(2)] a materialelor sau compozitelor polimerice pentru o gamă largă de aplicații, fiind economică, simplă și fiabilă. Având în vedere deriva termică mare a permitivității materialelor feroelectrice, stabilitatea compozitelor și dispozitivelor raportate până în prezent rămâne problematică. Ne vom concentra pe proiectarea și studiul compozitelor cu derivă termică controlată fabricate prin amestecarea adecvată a polimerilor cu soluții solide feroelectrice  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  în vederea obținerii unor proprietăți multifuncționale care să conducă la stabilitatea, eficiența și rentabilitatea dispozitivelor de MW. „*Ceramic Robocasting*” (CRC) este o tehnică de fabricare aditivă [A4(2)], cunoscută și sub numele de *Direct Ink Writing*, bazată pe depunerea strat cu strat a unei suspensii ceramice cu proprietăți vâscoelastice specifice. Corpurile 3D sunt formate printr-un proces de extrudare controlat de computer. Fabricarea dielectricilor MW cu pierderi reduse prin utilizarea acestei tehnici fiabile de imprimare 3D este încă la început, însă proprietățile dielectrice de MW ale ceramicilor obținute prin CRC sunt încurajatoare. Așadar, tehnologia CRC poate fi folosită pentru dezvoltarea structuri și dispozitive de MW cu forme complexe. Structuri cu geometrie complexă fabricate prin CRC din materiale dielectrice cu pierderi reduse (titanati, niobați) se vor studia în vederea creșterii funcționalității dispozitivelor de MW. Un tip de dispozitive noi de microunde care a beneficiat de dezvoltarea tehnicilor de fabricare aditivă au fost structurile 1-D sau 2-D periodice, de tip metamaterial. În [A4(3)] a fost raportată o metasuprafață cu efect de filtru stop-bandă în THz. Dispozitivul constă dintr-un strat sau mai multe de rețele pătrate de fire dielectrice și prezintă rezonanțe magnetice și electrice puternice. Permitivitatea electrică relativă mică a materialului firelor conduce la o deplasare spre frecvențe mai mari a răspunsului.

**Faza F2.4.1 (2023): Obținerea prin fabricare aditivă de materiale dielectrice cu pierderi reduse și de compozite cu derivă termică controlată.** Obiectiv: Obținerea prin FDM de compozite dielectrice cu deriva termică controlată a permitivității electrice și prin CRC de materiale dielectrice cu pierderi reduse. Metodologie: proiectarea și studiul compozitelor de tip amestecuri de polimeri și pulberi feroelectrice  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ ; paste pe bază de materiale dielectrice cu pierderi reduse pentru CRC.

**Faza F2.4.2 (2024): Rezonatori obținuți prin fabricare aditivă pentru aplicații în domeniul microundelor.** Obiectiv: Dezvoltarea de rezonatori noi de microunde obținuți prin fabricare aditivă. Metodologie: Simulări electromagnetice a răspunsului în frecvență funcție de parametrii geometrici. Realizarea noilor rezonatori aplicând fabricarea aditivă. Caracterizarea în microunde a dispozitivelor.

**Faza F2.4.3 (2026): Metasuprafețe prin fabricare aditivă pentru controlul reflexiei semnalelor de MW.** Obiectiv: Dezvoltarea unor metasuprafețe cu funcționalități noi / îmbunătățite pentru controlul reflexiei semnalelor de microunde folosind fabricare aditivă cu materiale cu derivă termică controlată.

**Metodologie:** Simulări electromagnetice ale răspunsului metasuprafețelor în funcție de incidența MW. Realizarea metasuprafețelor prin fabricare aditivă și caracterizarea lor în camera anecoidă.

**Milestones A:** M2A1. Dezvoltări teoretice ale structurilor feroice și ale proprietăților de transport ale stărilor topologice (2023); M2A2. Adecvarea materialelor cu centri de culoare în domeniul informațiilor cuantice (2024); M2A3. Strategii de sinteză și caracterizare a structurilor multiferoice (2025); M2A4. Structuri dielectrice de microunde și multiferoice cu aplicabilitate practică (2026).

## **B. Supraconductori și magnetism**

### **B1. Studiul simetriei parametrului de ordine supraconductor în calcogenați pe bază de fier**

**Situația actuală:** Descoperirea supraconductivității în compușii pe bază de fier, întâi în pnictide [B1(1)], și apoi în calcogenați [B1(2)] a avut un impact imens în comunitatea științifică. Acești supraconductori pe bază de fier (Fe-SC) sunt importanți atât din punct de vedere fundamental cât și tehnologic: temperatura critică de tranziție ( $T_c$ ) atinge valori înalte, câmpul critic superior ( $H_{c2}$ ) are valori remarcabile, iar compușii sunt relativ izotropici cu valori substanțiale ale curenților critici,  $j_c$ . Pentru pnictide au fost raportate valori mari ale temperaturii critice de până la  $T_c = 55$  K pentru SmFeAsO [B1(3)]. În cazul calcogenaților,  $T_c$  a evoluat de la valori modeste cu  $T_c = 8$  K în FeSe la  $T_c = 31$  K în  $K_x\text{Fe}_{2-y}\text{Se}_2$  [B1(4)] atingând valori record de peste 100 K pentru filme subțiri monostrat de FeSe depuse pe substrat de SrTiO<sub>3</sub> [B1(5)]. Foarte important este faptul ca Fe-SC conțin elemente metalice sau metaloide, ceea ce le face relativ ușor de preparat folosind tehnologii de creștere intermetalice convenționale. Compușii pe bază de Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> și Fe<sub>2</sub>Se<sub>2</sub> sunt înrudiți structural, cristalizând într-o rețea tetragonală de tip ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>, iar în ambele cazuri planele de Fe joacă un rol esențial în apariția supraconductivității. În ciuda similarităților structurale între pnictide și calcogenați, topologia suprafețelor Fermi (SF) este semnificativ diferită; pentru FeAs, SF tipica include porțiuni corespunzătoare golurilor în mijlocul zonei Brillouin [B1(6)] în timp ce acestea lipsesc pentru FeSe [B1(7)] sau chiar sunt înlocuite de suprafețe electronice [B1(8),C1(9)]. În Fe-SC există o interdependență complexă și încă departe de a fi satisfăcătoare între multiple fenomene: antiferomagnetism datorat Fe, supraconductivitate, criticalitate cuantica, tranziții structurale ce duc la nematicitate sau unde ale densității de spin. Compușii Fe-SC sunt aproape de localizare Mott [B1(10–14)]. Corelațiile electronice sunt puternice cu o renormalizare a masei efective, de ordinul 3-4 în pnictide [B1(6)] și de 20 în calcogenați [B1(10),C1(15)]. Corelațiile electron-fonon sunt relativ slabe indicând că mecanismul de formare al perechilor Cooper este cel mai probabil mediat electronic. În ciuda eforturilor experimentale, simetria parametrului de ordine supraconductor nu este încă stabilită. Rezultatele experimentale obținute până în prezent sunt adesea contradictorii variind de la un gap supraconductor cu noduri la unul izotrop. Pentru BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> măsurători de suprafața ca ARPES (*angle resolved photoemission spectroscopy*) [B1(16)] și STM (*scanning tunneling microscopy*) [B1(17)] indică un gap izotrop, în timp ce studiile de adâncime de penetrare [B1(18)], muons [B1(19)], rezonanță magnetică nucleară [B1(20)], conductivitatea termică [B1(21),C1(22)], căldura specifică [B1(23)], împrăștiere Raman [B1(24)] sugerează un parametru de ordine anizotrop. Adesea gapul este descris ca având o simetrie de tipul  $s_{\pm}$  cu schimbarea semnului între diferite zone ale SF [B1(25),C1(26)], dar pentru calcogenați lipsa suprafețelor Fermi corespunzătoare golurilor la centrul zonei Brillouin fac ca modelul  $s_{\pm}$  să fie improbabil [B1(27)]. De asemenea, fazele secundare sunt responsabile pentru excitații de energie mică ce indică eronat prezența nodurilor în gapul supraconductor. Obiectivul central al acestei propuneri de temă este creșterea de monocristale cu bună calitate de calcogenați, caracterizarea lor generală și investigarea simetriei parametrului de ordine supraconductor printr-o metodă originală de studiu a adâncimii de penetrare a câmpului magnetic sub presiune hidrostatică.

**Faza F2.5.1 (2023): Prepararea și caracterizarea structurală și morfologică de monocristale supraconductoare de calcogenati pe baza de fier.** **Obiective:** Obținerea fluxului pentru creșterea de monocristale. Creșterea de monocristale de înaltă calitate de calcogenati pe baza de fier, în atmosferă controlată. Optimizarea profilului termic de creștere. Caracterizarea morfo-structurale a

monocristalelor obținute. Metodologie: Prepararea probelor se va face prin *self flux* de FeSe obținut din pulberi Fe și Se, în vid, în tuburi de cuarț, în cuptoare controlate. Analiza XRD, SEM, ICP-MS. *Faza F2.5.2 (2024): Caracterizarea sistemului prin măsurători de transport și termodinamice. Creșterea și caracterizarea filmelor subțiri de diverse grosimi. Obiective:* Caracterizarea prin măsurători de rezistivitate, căldura specifică și magnetizare în funcție de temperatură și câmp magnetic. Sinteza de straturi subțiri, caracterizare structurală și electrică. Metodologie: Studiul rezistivității probelor se va face prin măsurători AC în patru puncte. Pentru căldura specifică se va folosi metoda relaxării. Magnetizarea se va analiza cu un magnetometru vibrațional cu o sensibilitate de  $10^{-6}$  emu. Toate măsurătorile menționate se vor face în PPMS (*Physical Properties Measurement System*), în funcție de temperatură și câmp magnetic. ( $T_{min.} = 1.8$  K,  $B_{max.} = 14$  T). Se vor prepara și filme subțiri pe substraturi mono- sau policristaline (e.g., SrTiO<sub>3</sub>, BaTiO<sub>3</sub>) prin metode de depunere PVD sau CVD.

*Faza F2.5.3 (2025): Măsurători de rezistivitate și de adâncime de penetrare a câmpului magnetic sub presiune hidrostatică. Obiective:* Caracterizarea sub presiune hidrostatică, prin măsurători de rezistivitate în funcție de temperatură și câmp magnetic. Măsurători ale adâncimii de penetrare a câmpului magnetic. Metodologie: Pentru măsurătorile de adâncime de penetrare se va folosi un sistem original, dezvoltat în laborator, de RF. Detectorul e bazat pe un circuit oscilant de tip Proximity Detector Oscillator. Presiunea de până la 3 GPa se va obține cu ajutorul unei celule de presiune de tip cilindru cu piston, cu pereți dubli (CuBe-NiCrAl) folosind un ulei siliconic de vâscozitate mică.

## **B2. Materiale supraconductoare și structuri spintronice pentru aplicații speciale**

*Situația actuală:* Descoperirea supraconductivității în compuși conținând fier din familii de pnictizi și chalcogenizi a dat un impuls deosebit cercetărilor acestor materiale datorită proprietăților deosebite care le fac promițătoare pentru aplicații la temperatura hidrogenului lichid, în noua economie bazată pe hidrogen: temperatura critică de 40–50 K, câmp critic superior de peste 70 T, anizotropie mică (<2) și densități mari de curent critic. Cel mai studiat sistem este de tip 122 (AEFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>, cu AE un metal alcalino-pământos), cu diverse substituții. În cazul BaFe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>) s-au observat efecte anormale, cum ar fi intersecții ale curbelor de magnetizare izoterme în zona celui de-al doilea peak al magnetizării, efecte puternice de memorie magnetică și o dezordonare a sistemului de vortexuri indusă de pinning [B2(1)]. Mai recent a fost descoperit un supraconductor pnictid cu o structură nouă, de tip 1144 [B2(2)], având compoziția CaKFe<sub>4</sub>As<sub>4</sub> (CaK1144), care are proprietăți supraconductoare excepționale în ceea ce privește structura de benzi, densitatea critică de curent, câmpul critic superior și structura centrilor nanometrici de pinning. Sistemele spintronice au fost clasificate în forumul internațional "World Materials Forum" din anul 2021 ca una dintre cele zece tematici prioritare referitoare la materiale pentru tehnologiile verzi emergente [B2(3)]. Un accent deosebit se pune la ora actuală pe studiul și dezvoltarea următoarelor tipuri de sisteme spintronice: (i) heterostructurile supraconductor/feromagnet (SF) datorită proprietăților lor magnetorezistive și de transport de spin [B2(4)] ; sistemele de filme pe baza de compuși de tip Heusler datorită unei înalte polarizări în spin [B2(5),B2(6)], sisteme nanometrice cu configurații necoliniare de spin și sisteme de tip garnet cu manipulare a configurației de spin [B2(7),B2(8)]. Aceasta temă își propune fabricarea și studiul unor materiale avansate, precum sistemele supraconductoare de ultima generație din familia pnictidelor, sistemele spintronice hibride supraconductor/feromagnet cu și fără strat separator, precum și sistemele magneto-logice bazate pe manipularea spinilor, caz în care acestea vor fi optimizate din punctul de vedere al polarizării de spin. Se vor propune noi metodologii de investigare a parametrilor și anomaliilor supraconductorilor și noi sisteme spintronice, inclusiv sisteme hibride feromagnet/supraconductor, unde fi optimizate efectele senzorialice și de acțiune.

*Faza F2.6.1 (2023): Studiul potentialului de fixare și a liniei de topire a sistemului de vortexuri în monocristale supraconductoare de CaKFe<sub>4</sub>As<sub>4</sub>.*

Obiective: (i) prepararea și investigarea unor noi sisteme supraconductoare destinate aplicațiilor practice de putere mare și în prezenta unor câmpuri magnetice intense, (ii) determinarea curentului critic, a potențialului de fixare a liniilor de câmp magnetic (vortexuri) și a liniei de topire a sistemului

de vortexuri în monocristale  $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ . Metodologie: Se vor determina parametrii de interes în cazul sistemelor 1144 (caz specific  $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ ) prin realizarea de masuratori de histerezis magnetic izoterm, relaxare a magnetizării și susceptibilitate multi-armonică în câmp alternativ.

*Faza F2.6.2 (2024): Studiul dinamicii anormale a vortexurilor în monocristale supraconductoare de  $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$  supradopate.*

Obiective: (i) investigarea dinamicii anormale a vortexurilor pe diverse scale de timp în monocristale de tip 112, în speta  $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$  supradopat și (ii) studiul efectelor de memorie magnetică și potențialul de fixare a vortexurilor în monocristale de tip 112. Metodologie: Colectarea și analiza intersecțiilor curbelor izoterme de histerezis magnetic și studii de susceptibilitate multi-armonică AC, pe o plajă largă de frecvențe și măsurători de relaxare magnetică DC, pentru a pune în evidență anomaliile menționate în cazul sistemelor 122, în diverse scale de timp ( $10^{-3}$ – $10^3$  s).

*Faza F2.6.3 (2024) : Structuri spintronice supraconductor/feromagnet cu și fără strat separator, cu efect magnetorezistiv gigant.* Obiectiv: Fabricarea heterostructurilor SF, cu și fără strat izolator intercalat, cu efect magnetorezistiv gigant pentru electronica la temperaturi joase cu supraconductori. Metodologie: Se vor fabrica atât bistraturi de YBCO/CaRuO<sub>3</sub> cât și valve de spin supraconductoare de tipul CaRuO<sub>3</sub>/YBCO/CaRuO<sub>3</sub> utilizând ablația laser pulsată (PLD). În cazul valvelor de spin se va încerca optimizarea răspunsului magnetorezistiv prin folosirea mai multor materiale soft-feromagnetice depuse și prin magnetron-sputtering. În heterostructurile SF cu strat intercalat, se propune controlul rezistenței unui film feromagnetic, atât prin intermediul câmpului magnetic aplicat, cât și prin intermediul câmpului magnetic captat de către un supraconductor, la răcirea acestuia în câmp sub temperatura critică. Configurația câmpului captat și efectele de magnetorezistență vor fi controlate prin tipul și grosimea materialului supraconductor și prin grosimea stratului izolator. Vor fi folosite ca supraconductori discuri de MgB<sub>2</sub> sau straturi YBCO iar filmele feromagnetice vor fi filme metalice (Fe sau Co) sau sisteme cu polarizare ridicată de spin (sisteme Heusler sau de tip LSMO).

*Faza F2.6.4 (2026). Nanostructuri magneto-logice bazate pe manipularea spinilor.* Obiectiv: Sisteme cu polarizare crescută de spin, sisteme de investigare a gradului de polarizare de spin și utilizarea sistemelor cu polarizare de spin în obținerea de structuri necolineare de spin. Metodologie: Se va urmări prepararea și caracterizarea proprietăților structurale și magnetice ale filmelor subțiri de tip Heusler cu polarizare crescută de spin și ingineria numerică necesară pentru includerea lor în aplicații spintronice. Se vor realiza dispozitive de tip valve de spin verticale și laterale pentru determinarea gradului de polarizare de spin la temperatura camerei. Se vor investiga sisteme necolineare de spin și spin-orbitronice prin interfațarea filmelor magnetice cu straturi de metale grele cu moment magnetic orbital ridicat. Se vor investiga proprietățile magnetoelectrice. Se vor obține materiale avansate de tip garnet de pământuri rare RE<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> cu RE = Y, Ce, Tb (RIG), compensate magnetic pentru generațiile viitoare de dispozitive electronice/spintronice cu răspuns rapid.

### **B3. Materiale noi pe bază de boruri cu structura hexagonală stratificată, materiale de tipul MBenelor și derivatele acestora pentru diferite aplicații.**

*Situația actuală:* Nanomaterialele 2D prezintă interes fundamental și practic deoarece dimensiunea redusă cu manifestarea pregnantă a proprietăților de suprafață conduce la proprietăți diferite de cele din corpul solid, cel mai cunoscut exemplu fiind cel al grafenei. În combinații, materialele 2D produc la interfață efecte sinergetice, adesea surprinzătoare [B3(1)]. O clasă nouă a materialelor 'plate' este cea a MBenelor (M – metal; B – bor). Literatura indică [B3(2),C3(3)] faptul că există o cunoaștere în special teoretică a proprietăților MBenelor, iar rezultatele experimentale, deși sunt promițătoare, sunt considerate prelimiare. În borurile multistrat straturile de metal alternează cu cele de bor, reprezentatul tipic fiind AIB<sub>2</sub> cu structura hexagonală. Exfolierea acestor boruri hexagonale stratificate poate produce MBene sau chiar monostraturi similare borofenei [B3(2),C3(4)]. În prezent tehnica de obținere a MBenelor este prin delaminarea borurilor (în 'monofulgi' sau 'monofolii') [B3(2)]. Privind în sens invers, paradigma constă în transferarea proprietăților 2D la corpurile 3D. Obiectivul general constă în obținerea, caracterizarea și aplicarea unor noi materiale pe baza

borurilor cu structura 2D grafitică, de tipul MBenelor. Noutatea constă în abordările, tehnologiile de preparare (câmpuri ultrasonice, electrice și magnetice, printarea 3D), obținerea unor noi materiale (masive texturate, compozite, high entropy, materiale de tipul borofenelor, etc.) cu funcționalități superioare pentru a fi folosite în aplicații supraconductoare, biomedicale, magnetice sau structurale.

*Faza F2.7.1 (2024): Modificarea pulberilor de boruri: producere/caracterizare/proprietăți și potențialul pulberilor modificate pentru diferite aplicații. Obiectiv: Producerea și caracterizarea pulberilor de boruri cu structura 2D grafitică. Metodologie: Pulberile, de ex. de  $MgB_2$ ,  $TiB_2$  vor fi ultrasonate la energii mari în diferite medii lichide (de ex. apă, alcoolii, medii biologice, soluții de săruri). Pulberile modificate prin ultrasonare vor fi caracterizate (de ex. prin XRD, FTIR, magnetic, microscopie electronică). În funcție de proprietățile funcționale obținute, se vor propune aplicații ale acestor pulberi modificate sau se vor folosi la realizarea unor noi compozite și produse cum ar fi filamentele pentru printarea 3D din matrice polimerică și incluziuni de pulbere procesată. Remarcăm că Mg, Ti și B sunt biocompatibile, Mg și B fiind esențiale vieții și integrate în ciclurile naturii [B3(5)].*

*Faza F2.7.2 (2025). Procesarea pulberilor de boruri tip MBene modificate. Obiectiv: Obținerea și caracterizarea compactelor și corpurilor solide masive. Metodologie: Compactele vor fi obținute prin presare sau turnarea unor soluții coloidale în forme ce absorb lichidul. Se va experimenta și turnarea soluțiilor coloidale în câmp magnetic înalt (10–14 T) pentru inducerea texturii, folosind anisotropia ce decurge din caracterul 2D al materialelor. Compactele vor fi sinterizate clasic sau prin sinterizare în câmp electric intens (SPS). Probele sinterizate neorientate sau texturate vor fi caracterizate complex pentru evaluarea potențialului în aplicații (supraconductoare, biomedicale, structurale).*

*Faza F2.7.3 (2026). Fabricarea și caracterizarea unor noi materiale compozite pe baza borurilor nemodificate și modificate. Obiectiv: Compozite MBene cu incluziuni magnetice și nemagnetice pentru diverse aplicații. Metodologie: Se vor fabrica noi compozite (de ex. cu matrice texturată de boruri/MBene cu incluziuni nonmagnetice B, BN,  $B_4C$ ,  $LaB_6$  sau magnetice  $Fe_xB_y$ , MnB etc.), HEB (high entropy borides) [B3(6)], de ex.  $TiB_2-ZrB_2-HfB_2-MgB_2$ , netexturat și texturat sau compozite cu matrice de HEB și se va explora potențialul aplicativ al lor (supraconductoare, biomedicale etc.)*

#### **B4. Cercetări experimentale și dezvoltări tehnologice în direcția intermetalicilor magneto-funcționali sub forma de benzi, fire și filme subțiri**

*Situația actuală:* Prin suprapunerea unor efecte complementare potențate de diverse tranziții structurale sau magnetice, sistemele intermetalice prezintă o clasă largă de magneto-funcționalități. Aliajele intermetalice feromagnetice cu memoria formei de tip Heusler sunt materiale inteligente pentru aplicații ca actuatori, senzori și în refrigerare magnetică. Inducerea magnetică a transformării martensitice, din faza feromagnetică de temperatură înaltă (austenita) în faza paramagnetică de temperatură joasă (martensita), spre temperaturi mai scăzute, odată cu creșterea valorilor câmpului magnetic a fost descoperită în aliajele metamagnetice Ni-Mn-Sb de tip Heusler [B4(1)]. Saltul mare al magnetizării la transformarea martensitică permite inducerea acesteia prin câmp magnetic aplicat, dând astfel naștere unor proprietăți multifuncționale de interes tehnic: magnetorezistență gigantică, memoria formei magnetice, efect magnetocaloric invers. Temperaturile de transformare martensitică, magnetizarea diferitelor faze structurale, schimbarea entropiei asociată transformării martensitice și, în general, toate caracteristicile magnetostructurale care dau naștere acestor proprietăți funcționale depind de compoziție, structura și microstructura aliajelor [B4(2)].

Magneții permanenți cu conținut redus de materiale critice (Low-Mc) sunt o alternativă necesară, substituind magneții permanenți clasici, greu reciclabili, unde China deține monopolul fabricației, pentru readucerea producției sustenabile de magneți în Europa [B4(3)]. Fiind o alternativă fără materiale critice, ușor reciclabile, producția bazată pe resurse larg disponibile în Europa, magneții Low-Mc pot facilita Tranziția Verde, în domenii auto cum ar fi cutii de viteze și actuatori, componente pentru vehicule electrice, e-bikes, e-scooters. Sisteme cu proprietăți promițătoare, din clasele bazate pe MnAl și MnBi, au fost studiate și dezvoltate în ultimii 5 ani [B4(4)]. Compușii intermetalici soft magnetici prezintă un interes deosebit în special în sistemele electrotehnice și de transport

energetic. Pentru intermetalicii pe bază de B, proprietățile lor sunt legate de concentrația de B, greu de estimat prin analize elementale uzuale, în special în cazul filmelor subțiri.

*Faza F2.8.1 (2023): Aliaje intermetalice cu memoria formei pentru refrigerare magnetică, senzorială și actuație. Obiectiv: Controlul cuplajului magneto-structural în aliaje meta-magnetice de tip Heusler  $\text{Ni}_2\text{MnSb}$  prin dopaj Cu, Co și Gd, pentru efecte magnetorezistive, magnetostrictive și magnetocalorice promițătoare aplicațiilor în tehnologii ecologice. Metodologie: Metoda neconvențională de răcire ultrarapidă din topitură a aliajelor pe baza de  $\text{NiMnSb}$  cu substituții de Cu, Co, Gd. Investigații calorimetrice, termomagnetice, magnetostrictive și magnetorezistive.*

*Faza F2.8.2 (2025): Magneți permanenți cu conținut redus de materiale critice (Low-Mc) cu operativitate în domeniul auto. Obiective: (i) Proiectarea și elaborarea prin metode de sinteză complementare a unei noi clase de magneți nanocompoziți Low-Mc pe bază de Mn-Al-C, MnAl/FeCoB, MnBi; (ii) Optimizarea compoziției aliajului și a structurii de fază prin modulare compozițională în acord cu parametrii de sinteză; (iii) Investigarea caracteristicilor morfo-structurale, determinarea și optimizarea proprietăților magnetice și performanțelor, modelarea mecanismelor de interacție dintre regiunile magnetice; (iv) Conceperea, proiectarea și elaborarea de modele experimentale prin manufacturare aditivă a magneților din industria auto. Metodologie: Se vor utiliza echipamentele de sinteză de ne-echilibru precum și toate tehnicile de caracterizare structurală și magnetică existente. În premieră, se utilizează tehnicile de manufacturare aditivă.*

*Faza F2.8.3 (2026) : Materiale și sisteme intermetalice magneto-funcționale sub formă de fire, filme subțiri și multistraturi. Obiectiv: Fabricarea și investigarea de sisteme intermetalice magneto-funcționale conținând B (soft magnetice și supraconductoare) sub formă de fire, filme subțiri și multistraturi. Metodologie: Prepararea și optimizarea sistemelor soft magnetice de tip Fe-Co-B, Co-B și Fe-B, cu diverse concentrații de B, în raport cu proprietățile soft-magnetice și efecte de magnetorezistență. Caracterizarea morfo-structurală și magnetică, propunerea unei noi metodologii (utilizarea spectrometriei Mössbauer în corelație cu tehnici elementale) pentru determinarea conținutului de B și realizarea corelațiilor structură-compoziție-proprietăți magneto-funcționale.*

**Milestones B:** M2B1. Noi aliaje intermetalice cu memoria formei, cu aplicații practice imediate (2023); M2B2. Noi sisteme supraconductoare și heterostructuri implicând aceste materiale (2024); M2B3. Nouă strategie de caracterizare a materialelor supraconductoare (2025); M2B4. Compozite multifuncționale pe bază de materiale magnetice sau supraconductoare (2026).

## **C. Noi materiale și structuri pentru optoelectronică și senzorială**

### **C1. Heterostructuri high k dielectric/III-V semiconductor**

*Situația actuală:* În domeniul heterostructurilor high k dielectric/semiconductor III-V, studiile au început pe GaAs, dar în ultima decadă și alte materiale III-V au fost abordate, GaSb fiind printre acestea datorită mobilității mari a golurilor. Au fost abordate mai multe tipuri de interfețe de tip high k dielectric/GaAs și high k dielectric/GaSb, cu și fără strat intermediar de pasivare, atât ca obiecte de studiu de sine statatoare, cât și ca elemente active în dispozitive funcționale. Astfel, s-a studiat folosirea  $\text{HfO}_2$  [C1(1)],  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [C1(i-iii)],  $\text{ZrO}_2$  [C1(4)]. Investigarea  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ca dielectric high k este foarte slab abordată, la fel ca și cea a anumitor tipuri de interfețe precum  $\text{ZrO}_2/\text{GaSb}$ . Câteva cerințe sunt esențiale a fi îndeplinite într-o interfață high k dielectric/semiconductor III-V, iar multe dintre ele nu au putut fi rezolvate până în prezent: (i) valoare k mare a dielectricului și offset al benzilor de valență și conducție cu cel puțin 1 eV față de cele ale semiconductorului; (ii) stabilitatea chimică și termodinamică a interfeței; (iii) stabilitate cinetică a interfeței la temperaturi obișnuite de procesare a materialului semiconductor; (iv) interfață pasivată, lipsită de defecte și cu densitate de stări mică (sub  $10^{-11} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ), încă foarte greu de obținut [C1(5)]; (v) strat de oxid fără defecte, cu scalabilitate până la 0.5 nm, cu densitate mică de centri de captură; (vi) stabilitate electrică, termodinamică și cinetică a interfeței electrod/dielectric. Toate aceste cerințe nu sunt încă bine stăpânite, mai ales în ceea ce privește calitatea interfeței oxid/semiconductor, astfel că nu există încă aplicabilitate a acestei tehnologii în industria electronică. Densitatea mare de stări de suprafață, de centri de captură și defecte active, fixarea nivelului Fermi reduc drastic performanțele dispozitivelor actuale.

*Faza F2.9.1 (2024): Interfețe high k dielectric/GaAs. Obiective: (1) Stabilirea celor mai fezabile tipuri de interfețe; (2) Obținerea de straturi subțiri de dielectric cu parametri doriți; (3) Obținerea și caracterizarea interfețelor high k dielectric/GaAs structural, morfologic și electric.*

*Faza F2.9.2 (2025): Interfețe high k dielectric/GaSb. Obiective: (1) Stabilirea celor mai fezabile tipuri de interfețe; (2) Obținerea de straturi subțiri de dielectric cu parametri doriți; (3) Obținerea și caracterizarea interfețelor high k dielectric/GaSb structural, morfologic și electric. Metodologie (Fazele F2.9.1 și F2.9.2): Tehnici de obținere și caracterizare *in situ* pentru minimizarea contaminării.*

*Faza F2.9.3 (2026): Structuri și dispozitive cu heterostructuri high k dielectric/semiconductor III-V. Obiective: (1) Investigarea unor metode de îmbunătățire a performanțelor interfețelor obținute; (2) Obținerea unor dispozitive active pe bază de heterostructuri high k dielectric/semiconductor III-V. Metodologie: Abordarea de tehnici de depunere de straturi ultrasubțiri de pasivant.*

## **C2. Matrici de senzori cu sensibilitate crescută în NIR-SWIR pe bază de GeSn nanocristalin stabilizat cu Si pentru aplicații de monitorizare-securizare digitalizată a transportului rutier**

*Situația actuală:* Domeniul materialelor pe bază de (Si)GeSn este de mare interes științific, actual și fierbinte în special pentru fonică (fotodetectori, laseri cu emisie în IR, LED-uri) [C2(1–4)] bazată pe elemente din grupa a IV-a cu banda interzisă directă. Dispozitivele de emisie eficientă de lumină sunt veriga lipsă a fotonicii integrate pe bază de SiGe întregind fotonica siliciului. Alierea cu Sn a Ge a extins sensibilitatea senzorilor optici în NIR-SWIR [C2(5),C2(6)], GeSn acoperind toate benzile de telecomunicații din IR. SiGeSn în SUA este material de importanță strategică în fabricarea fotodetectorilor MWIR și FIR, straturile epitaxiale fiind intens studiate. În institut există experiența necesară în depunerea și studiul proprietăților filmelor și structurilor multistrat, fabricarea și caracterizarea de structuri-demonstrator pe baza de nanocristale (NC) de GeSn imersate în SiO<sub>2</sub> [C2(5),C2(7)] și de NC SiGe în oxizi [C2(8)] pentru fotodetectori și senzori optici. Cercetarea aplicativă a condus la obținerea de senzori optici cu NC SiGe în SiO<sub>2</sub> (TRL5) pentru monitorizarea stării asfaltului alunecos față de cel uscat și de fotodetectori în VIS-SWIR, sensibili până la 1,8–2 μm la temperatura camerei (RT) pe baza de NC GeSn în SiO<sub>2</sub> (TRL5). Fotodetectorii cu NC SiGe sunt sensibili în domeniul spectral 360–1350 nm, dar fotocurentul are valoare mica între 1,2 și 1,35 μm, astfel limitând detecția în domeniul specific pentru apă și gheață. Deși fotodetectorii răciți cu NC GeSn în SiO<sub>2</sub> sunt sensibili până la 2,5 μm, intensitatea semnalului și pragul de detecție în SWIR la RT sunt diminuate în domeniul spectral de interes. Propunem stabilizarea GeSn cu Si <10% și folosirea matricei de oxid cu constanta dielectrică mare (high-κ) pentru realizarea de filme cu sensibilitate crescută la RT în SWIR până la 2 μm, rezolvând astfel problema detecției și discriminării apei și a gheții în intervalul specific din NIR–SWIR. Pe baza materialelor propuse se vor realiza senzori optici discreți (TRL 4) și matrici de senzori (TRL3) cu aplicații de monitorizare-securizare digitalizată ale condițiilor căilor de transport rutier. Sistemul poate fi montat de-a lungul drumului sau poate fi integrat într-o platformă pentru avertizarea în timp real a șoferilor.

*Faza F2.10.1 (2023): Obținerea, testarea și caracterizarea de probe test cu proprietăți fotoelectrice optime Obiectiv: Obținerea (pulverizare cu magnetron, tratamente RTA) și caracterizarea (structură, morfologie, proprietăți fotoelectrice) probelor test: filme cu NC GeSn stabilizat cu Si în oxizi high-κ fotosensibile în SWIR la RT. Metodologie: Pulverizare cu magnetron + RTA pentru obținerea filmelor cu NC GeSn în oxizi high-κ. Testarea morfologiei, structurii cristaline, compoziției. Realizarea și , cutestarea contactelor metalice transparente. Testarea proprietăților electrice și fotoelectrice, cu feedback la fabricare. Caracterizare: structură, morfologie, compoziție, defecte (HRTEM, HAADF-STEM; XRD - diferite T; XPS; Raman; FTIR; RES); Investigarea proprietăților electrice și fotoelectrice, cu feedback la fabricare; Corelarea proprietăților de structură, morfologie, compoziție, electrice și fotoelectrice. Optimizarea proprietăților prin ajustarea parametrilor tehnologici.*

*Faza F2.10.2 (2025): Fabricarea și testarea de senzori discreți. Fabricarea de matrici de senzori. Obiective: Obținerea de filme cu sensibilitate țintită crescută la RT în SWIR până la 2 μm și caracterizarea lor complexă; Fabricarea de senzori discreți și de matrici de senzori. Metodologie: A) Continuare probe test – aceleași metode de caracterizare; optimizări. Selectarea probelor cu*



performanțele cele mai bune; B) Fabricarea și testarea senzorilor discreți; C) Configurarea și fabricarea matricilor de senzori.

*Faza F2.10.3 (2026): Demonstratori, caracterizare funcțională: senzori discreți, matrici de senzori.*

**Obiective:** Fabricarea de senzori discreți și caracterizarea funcțională (TRL4); Fabricarea de matrici de senzori și caracterizarea funcțională (TRL3). **Metodologie:** Fabricarea senzorilor discreți și a matricilor de senzori. Testarea matricilor de senzori Caracterizare funcțională: determinarea răspunsului la lungimi de undă din SWIR specifice apei/gheții pentru demonstratori. Optimizare: demonstratori cu parametri țintă la nivel TRL 4 pentru senzor și TRL3 pentru matrice de senzori.

### **C3. Dispozitive optoelectronice pe bază de nanostructuri de perovskiti hibridi**

**Situația actuală:** Materialele perovskite hibride organice-anorganice devin foarte atractive pentru utilizare în optoelectronică [C3(1)]. Pe lângă utilizarea lor în domeniul fotovoltaic, perovskiti sunt promițători pentru realizarea diodelor emițătoare de lumină (LED-uri) datorită purității ridicate a culorilor, ratelor scăzute de recombinare non-radiativă și bandgap reglabil [C3(2)]. Dispozitivele LED-uri perovskite sunt extrem de eficiente, activate prin formarea de cristalite auto-asamblate, de dimensiuni nanometrice [C3(3)]. Halogenurile de amoniu adăugate la soluția de precursor de perovskit acționează ca un surfactant care constrânge creșterea granulelor de perovskit 3D în timpul formării filmului, producând cristalite cu dimensiuni de până la 10 nm. În ultimii ani, dispozitivele optoelectronice bazate pe materiale nanostructurate au focalizat interesul comunității științifice datorită proprietăților fizice deosebite ale materialelor nanostructurate, conducând la miniaturizarea continuă a acestora și adăugarea de noi funcționalități [C3(4)]. Fotodetectorii reprezintă o clasă importantă a dispozitivelor optoelectronice, având aplicații în dispozitive portabile, senzori de ozon, dispozitive de comunicații avansate, etc. Nanostructurile semiconductoare de tip nanofir miez-coaja au capatat o atenție deosebită datorită proprietăților unice ale acestora datorate efectului sinergetic rezultat în urma combinării celor două materiale semiconductoare, având potențiale aplicații în: fotodetectori, diode emițătoare de lumină, senzori, fotocataliza, supercapacitori etc [C3(5)]. Matricile de nanofire de tip miez-coaja pot fi obținute utilizând diferite combinații de metode umede sau uscate, printre acestea, oxidarea termică în aer și pulverizarea catodică cu magnetron în RF sau sol-gel fiind metode simple și care implică costuri reduse [C3(6)]. Dintre semiconductori, CuO este un semiconductor de tip p cu o bandă îngustă (1.2-1.7 eV), iar TiO<sub>2</sub> este un semiconductor de tip n cu o bandă interzisă largă de 3.2 eV, având aplicații interesante în celule solare, fotodetectori, tranzistori cu efect de câmp, senzori, etc [C3(7),C3(8)]. Cuplând CuO și TiO<sub>2</sub> într-o heterostructură de tip nanofir miez-coaja se obține o heterojuncțiune de tip II care favorizează separarea de sarcini la interfața dintre cei doi semiconductori, foarte utilă în dispozitive optoelectronice de tip fotodetector.

*Faza F2.11.1 (2023): Simularea teoretică privind caracteristicile optice și electronice ale nanocristalelor de perovskitilor hibridi de tip organic/anorganic. Sinteza și caracterizarea nanocristalelor pe baza de perovskiti hibridi.* **Obiective:** (a) Modelări teoretice privind diagramele de benzi energetice, a excitonilor și a densităților de stări electronice în perovskiti cu Sb. (b) Sinteze chimice ale acestor perovskiti. **Metodologie:** Simularea transportului în nanocristale de perovskite hibridi, a diagramei de benzi energetice, a excitonilor electroluminescenți și a DOS electronice. Sinteza și caracterizări spectroscopice de nanocristale perovskitice pe baza de Pb, Sb, Br, I, Cl.

*Faza F2.11.2 (2024): Optimizarea filmelor subțiri perovskitice cu proprietăți emisivă. Optimizarea electrozilor metalici transparenti și caracterizarea acestora.* **Obiective:** (a) Optimizare cristalin/amorf a perovskitilor cu Sb. (b) Comparatii privind electrozii electrofilați versus filme metalice. **Metodologie:** Optimizarea grosimii și raportului amorf/cristalin în funcționalitatea dispozitivelor electroluminescente (eficacitate cuantică internă, distribuție spectrală Lambertiană). Obținerea electrozilor metalici conductori sau electrozi electrofilati (transparenta, grosime nanofire, conductivitate electrică, proprietăți de transport prin spectroscopie dielectrică). Utilizarea electrozilor bazati pe nanofire de PMMA/Au și comparatii cu electrozii de aur de tip film [C3(9)].

*Faza F2.11.3 (2026): Integrarea filmelor de nanocristale perovskitice în dispozitive de tip OLED și analiza parametrilor de funcționare. Fotodetector bazat pe matrici de nanofire miez-coaja CuO -*

$TiO_2$ . **Obiective:** (a) Măsurarea electroluminescenței și caracteristicilor I–V ale OLED cu perovskiti. (b) Alinierea de benzi și determinarea mecanismelor de conducție electrică. (c) Dispozitive de tip fotodetector bazate pe matrici de nanofire de  $CuO$  (miez) -  $TiO_2$  (coajă). **Metodologie:** Dispozitive OLED pe baza de structuri perovskitice (caracteristici I–V, lumananța și electroluminescență).

#### **C4. Componente optoelectronice transparente pe baza de metasuprafețe-COP™**

**Situația actuală:** În 1997, H. Hosono [C4(1)] și H. Kawazoe [C4(2)] au raportat primul tip de oxid transparent cu conducție de tip p,  $CuAlO_2$ , depus în strat subțire și capabil să formeze heterojoncțiuni cu oxizii conductori transparenti (TCO) de tip n deja cunoscuți. În ceea ce privește biosenzorii plasmonici, rezultate importante au fost raportate în lucrările [C4(3),B2(4)]. Metasuprafețele (MTS) își găsesc aplicații în optica activă cu rezoluție sub limita de difracție [C4(5–9)], ecrane de protecție la câmpuri electromagnetice [C4(10)], celule solare multijoncțiune cu modularea indicelui de refracție [C4(11),B2(12)], modulate electro-optice [C4(13)] sau emițătoare de tip spaser [C4(14),B2(15)].

**Faza F2.12.1 (2023): Elaborarea tehnologiilor și proiectarea structurilor componentelor optoelectronice cu straturi subțiri de oxizi conductori transparenti (OCT).** **Obiective:** (1) Elaborarea tehnologiilor pentru obținerea straturilor subțiri de OCT cu dopare de tip p sau de tip n pentru heterojoncțiuni prin: depunere cu laser pulsant (PLD), magnetron sputtering, evaporare termică în vid, e-beam, IAD, sol-gel sau spin-coating și pentru obținerea de metasuprafețe (MTS) pe arii mari: litografie cu nanosfere de polistiren (NSL), respectiv litografie cu fascicul de electroni (EBL) pentru matriță și litografie nanoimprint pentru dispozitive transparente. (2) Proiectare, modelare și simulare de arhitecturi de straturi subțiri pentru componente optoelectronice transparente pe bază de MTS: biosenzor plasmonic, celula solară tandem cu MTS, ecran EMF, modulator FTUJ. **Metodologie:** Pentru straturile subțiri de OCT cu dopare de tip p sau n pentru heterojoncțiuni se va folosi PLD, magnetron sputtering, evaporare termică în vid, e-beam, IAD, sol-gel sau spin-coating, iar modelarea structurilor se va realiza cu FDTD, GenPro4 și COMSOL Multiphysics.

**Faza F2.12.2 (2025): Modele experimentale de componente optoelectronice cu MTS pe bază de TCO.** **Obiectiv:** Realizarea de modele experimentale de componente optoelectronice cu MTS pe bază de TCO: biosenzor plasmonic, heterojoncțiune pentru focalizarea radiațiilor în celulele solare tandem, ecran EMF, modulator FTUJ. **Metodologie:** MTS pe arii mari: litografie cu nanosfere de polistiren, litografie e-beam pentru matriță și litografie nanoimprint pentru dispozitive transparente.

**Faza F2.12.3 (2026): Caracterizarea modelelor experimentale de componente optoelectronice transparente pe bază de MTS și demonstrarea utilității în aplicații practice.** **Obiective:** (1) Evaluarea performanțelor și utilității modelelor experimentale de componente optoelectronice transparente cu metasuprafețe; (2) Testarea componentelor optoelectronice transparente cu metasuprafețe: biosenzor plasmonic, heterojoncțiune pentru focalizarea radiațiilor în celulele solare tandem, modulator tip fototranzistor unijoncțiune cu metasuprafață integrată. **Metodologie:** Caracterizarea biosenzorilor cu rezonanță plasmonică de suprafață (SPR): laser acordabil cu coloranți, interfață tip strat subțire metalic/dielectric (prisma), stratul subțire fiind funcționalizat cu un element pentru recunoaștere biomoleculară a unui analit în soluție, un modul cu fotomultiplicator și un spectrometru. Caracterizarea heterojoncțiunii pentru focalizarea radiațiilor solare: obiectiv de microscop cu un lichid de adaptare a indicelui de refracție în câmpul apropiat al heterojoncțiunii, filtre interferențiale, fotomultiplicator, osciloscop multicanal. Modulator tip fototranzistor unijoncțiune cu metasuprafață integrată: laser acordabil, filtre neutre, modul cu fotomultiplicator și osciloscop multicanal.

**Milestones C:** M2C1. Evidențe teoretice și experimentale ale aplicabilității perovskitilor hibridi în optoelectronică (2023); M2C2. Materiale cu constantă dielectrică ridicată crescute pe semiconductori III-V (2024); M2C3. Adecvarea metasuprafețelor pentru aplicații în optoelectronică (2025); M2C4. Obținerea de noi structuri de senzori și de componente optoelectronice (2026).

**Prezentarea infrastructurii:** INCDFM dispune de facilități de preparare și caracterizare ale materialelor și structurilor, rezultând din 2 proiecte POS–CCE și de Capacități, Soluții sau alte CDI. (a.) Facilitățile de preparare includ: (a1) Pentru materiale “bulk”: creșteri de cristale, spark plasma sintering (SPS), sinteze chimice, reacții în stare solidă. (a2) Pentru straturi subțiri: pulverizare

magnetron, depunere din pulsuri laser (PLD), epitaxie din fascicul molecular (MBE), depunere prin evaporare termică în vid, depunere de straturi atomice (ALD), sinteze chimice (sol-gel), depunere chimică din vapori (CVD), melt spinning etc. (a3) Pentru suprafețe și materiale 2D: depunere chimică din vapori (CVD), epitaxie din fascicul molecular (MBE), procedee de exfoliere etc. (a4) Pentru nanofire (materiale 1D): depuneri electrochimice prin metoda șablon, electrospinning, force spinning. (a5) Pentru structuri: facilități de asamblare în camera curată (clasă 10000 până la 100), fotolitografie, nanolitografie, CVD, wafer bonding, încapsulare etc. (b.) Facilitățile de caracterizare includ: (b1) Caracterizare structurală: microscopie electronică de transmisie de înaltă rezoluție (HRTEM), difracție de raze X, difracție de electroni lenți și rapizi (LEED, RHEED) efectuate in situ, structura fină a limitei de absorbție X (XAFS), microscopie de baleiaj cu efect tunel (STM) cu rezoluție atomică, spectroscopie Raman și IR. (b2) Caracterizare morfologică: microscopie electronică de baleiaj (SEM), microscopie de forță atomică, piezoresponsivă sau magnetică (AFM, PFM, MFM), microscopie electronică de transmisie (TEM). (b3) Caracterizare compozițională / chimică: spectroscopie de fotoelectroni (Instalație de Interes național, <https://infim.ro/instalatie-de-interes-national/>), fluorescență de raze X, spectroscopie dispersivă în energie de raze X (EDX) montată pe microscopul SEM și TEM, spectroscopie de pierdere de energie electronică (EELS), facilitatea de analiză HRTEM în câmp întunecat pe unghi mare (HAADF), cromatografie de gaz și lichide (GC–MS, HPLC). (b4) Proprietăți electronice ale materialelor cristaline: spectroscopie de fotoelectroni cu rezoluție unghiulară (ARPES), spectroscopie tunel (STS), măsurători de lucru mecanic de extracție (sondă Kelvin). (b5) Caracterizare a proprietăților electrice: standuri de măsurători electrice, caracterizări materiale feroelectrice și multiferice la temperaturi variabile, măsurători de efect Hall și magnetorezistență, elipsometrie spectroscopică. (b6) Caracterizare a proprietăților magnetice: magnetometrie SQUID, MOKE, VSM, sistem PPMS pentru măsurători proprietăți magnetice și magneto-electrice (inclusiv Hall și magnetorezistență), spectroscopie de fotoelectroni cu rezoluție de spin. (b7) Măsurători optice: spectroscopie de absorbție UV–Vis.–NIR, fotoluminescență, electroluminescență, măsurători cu rezoluție temporală. (b8) Caracterizări de senzori de gaze. (b9) Acces la radiația de sincrotron în cadrul colaborării CoSMoS. (b10) Laborator mecanic și electronic pentru dezvoltarea de prototipuri. (c.) Facilitățile de teorie și computaționale includ un cluster pentru calcule *ab initio* de tip DFT. Dezvoltarea infrastructurii este descrisă în cadrul Programului Nucleu. Dintre instalațiile propuse a fi achiziționate, marea majoritate vor fi folosite în cadrul acestui Proiect.

Palier	A					Palier	B					Palier	C						
Tema	Faza	An				Tema	Faza	An				Tema	Faza	An					
		2023	2024	2025	2026			2023	2024	2025	2026			2023	2024	2025	2026		
A1	F2.1.1	■				B1	F2.5.1	■				C1	F2.9.1	■	■				
	F2.1.2		■				F2.5.2		■				F2.9.2			■			
	F2.1.3			■			F2.5.3			■			F2.9.3					■	
	F2.1.4				■		F2.6.1	■					F2.10.1	■					
A2	F2.2.1	■				B2	F2.6.2		■			C2	F2.10.2		■	■			
	F2.2.2		■	■			F2.6.3						F2.10.3					■	
	F2.2.3		■	■			F2.6.4			■	■		F2.11.1	■					
	F2.2.4				■		F2.7.1	■	■				F2.11.2		■				
A3	F2.3.1	■				B3	F2.7.2			■		C3	F2.11.3			■	■		
	F2.3.2	■	■				F2.7.3						F2.12.1	■					
	F2.3.3		■				F2.8.1	■					F2.12.2		■				
	F2.3.4			■			F2.8.2		■	■			F2.12.3			■	■		
A4	F2.4.1	■				B4	F2.8.3			■									
	F2.4.2		■																
	F2.4.3			■	■														
Milestone	2A1	2A2	2A3	2A4	Milestone	2B1	2B2	2B3	2B4	Milestone	2C1	2C2	2C3	2C4					

#### 1.4. Structura echipei de cercetare

(se va prezenta structura întregii echipe de cercetare; se va descrie rolul a maxim 5 membri cheie ai echipei proiectului; se vor prezenta și justifica posturile vacante pe proiect; se vor

*anexa CV-ul extins al responsabilului proiectului și CV-urile sintetice ale persoanelor cheie prezentate pe maxim ½ pagină)*

Directorul de Proiect, Cristian M. Teodorescu, este doctor din anul 1995 și conducător de doctorat din 2015, specialist în știința suprafețelor și interfețelor, cu aplicații în feroicitate și cataliză. În plus față de coordonarea Proiectului, coordonează Palierul A.

Directorul adjunct de proiect (persoană-cheie) Silviu P. Poloșan, este doctor din anul 2002, va asista Directorul de Proiect în coordonarea proiectului și coordonează palierul C.

Victor E. Kuncser, persoană-cheie, este doctor din anul 1995 și conducători de doctorat din 2012, specialist în magnetism, coordonează activitățile din palierul B.

Cristina F. Chirilă, doctor din anul 2011, specialist în straturi suțiri, coordonează palierul A.

Petre Bădică, doctor din anul 1996, specialist în supraconductori, coordonează palierul B.

Cătălin C. Negrilă, doctor din anul 2011, specialist în știința suprafețelor, coordonează palierul C.

În realizarea Proiectului vor fi implicați în total 21 Cercetători Științific gr. I, 21 Cercetători Științific gr. II, 32 Cercetători Științific gr. III, 9 Cercetători Științific, 14 Asistenți de Cercetare Științifică, 2 ingineri, un subinginer și 12 tehnicieni din Departamentul de Cercetare ale INCDFM. În total, este vorba despre 100 de persoane cu studii superioare, dintre care 83 cu titlul de doctor. Se vor întreprinde măsuri pentru completarea necesarului de forță de muncă tânără. Posturi vacante pe proiect: 6 ACS, câte doi pentru fiecare palier. Un ACS va lucra la A1 și A4, unul la A2 și A3, unul la B1 și B2, unul la B3 și B4, unul la C1 și C4 și unul la C2 și C3.

## 2. Structura bugetului proiectului (maxim 2 pagini)

(se vor avea în vedere cheltuielile cu salariile, materiile prime și materialele, cheltuieli cu echipamentele și serviciile necesare realizării proiectului, inclusiv de acces la infrastructură, cheltuieli cu deplasări, diseminare, brevetare, cheltuieli de capital, cheltuieli indirecte – corelate cu specificul institutului; corelarea bugetului cu obiectivele proiectului, schema de realizare a proiectului cu evidențierea fazelor și a termenelor de predare a fazelor conform modelele tabele anexate)

Cheltuielile anuale cu salariile sunt 9.808.975 lei anual, total 39.235.900 lei. Conform Metodologiei bazei de calcul aprobată prin Hotărârea de Guvern nr. 1405/17.11.2022, aceste sume revin la cca. 48 norme de C. S. I sau 86 norme de C. S. III. Putem estima că, în medie, acest Proiect va plăti cca. 45-50 norme de personal CDI. Anual se vor preda 10 faze, deci este absolut rezonabil să considerăm că la o fază lucrează 4-5 persoane cu normă întreagă.

Echipamentele care urmează să fie achiziționate sunt descrise în propunerea de Program Nucleu. De interes deosebit pentru acest Proiect vor fi următoarele echipamente, iar cota-parte din finanțarea lor este dată în tabelul următor.

Echipament	Preț aproximativ (lei cu TVA)	Cota parte PC2 (lei cu TVA)
Sistem de mixare a VOCs (volatile organic compounds)	600.000	300.000
Sistem automat de depunere serigrafică	120.000	40.000
Upgrade EELS Gatan Quantum SE	1.309.000	804.500
Cryo-Mill	180.000	90.000
Echipamente de rețea și de calcul calcul numeric; diverse licențe software	375.000	93.750
Bonder	297.500	148.750
Sistem de curățare cu zăpadă carbonică	29.750	29.750
Sistem de analiză termică diferențială și analiză termogravimetrică	475.000	237.500
Surse de evaporare pentru CVD polimeri	575.000	287.500
Laser în verde (532 nm) cu accesorii	300.000	150.000
Upgrade sistem STM la sistem SPM	1.000.000	1.000.000
Sistem automat de procesare și micro-sectionare	410.000	205.000
Microscop Kerr	150.000	150.000
Module experimente de tehnologii cuantice	150.000	76.554
Sistem depunere straturi perovskiti micști prin evaporare	1.400.000	1.400.000
Electro-Discharge Machine cu comandă numerică	1.080.000	540.000
Spectrometru de rezonanță magnetică nucleară (RMN) de solide	1.100.000	550.000
Echipament de litografie/printare 3D optica fără măști	1.100.000	1.100.000
Unitate de spectroscopie vibrațională pentru studiului suprafețelor în condiții de vid ultraînalt	1.100.000	1.100.000
	TOTAL	8.303.304

Serviciile însumează 270.760 lei anual (1.083.040 lei în total) și sunt destinate întreținerii echipamentelor în curs, precum și plata parțială a contribuției la colaborarea CoSMoS cu Elettra Trieste, care reprezintă 65.000 Eur anual (o parte din această plată fiind asigurată prin programul de Instalații de Interes Național).

Cheltuielile de materiale însumează 902.533 lei, ceea ce reprezintă 9,2 % din cheltuielile salariale. Cheltuielile cu deplasările se cifrează la 216.608 lei anual, adică 2,2 % din cheltuielile salariale. Ambele procente sunt sub limitele stabilite pentru acest Program de 15 % și 3 %, respectiv. Deplasările vor fi alocate efectuării de stagii de lucru (inclusiv deplasări pentru realizarea experimentelor de radiație de sincrotron) și pentru participarea la conferințe internaționale. Având în vedere că prețul mediu al unei astfel de deplasări este în jur de 1200 Euro pentru o săptămână,

totalul sumei prevăzute pentru deplasări înseamnă cca. 33 de deplasări pentru anual. La o singură sesiune de radiație de sincrotron trebuie să se deplaseze 4 persoane pentru a asigura operarea non-stop a experimentelor (24/24), iar în cadrul colaborării CoSMoS avem două astfel de sesiuni prevăzute pe an, deci numai colaborarea CoSMoS va consuma un sfert din banii disponibili pentru deplasări anual. În afara acestei colaborări, există și o multitudine de alte colaborări pentru acces la instrumente mari (sincrotroane, câmpuri magnetice intense, facilități de nanotehnologie), fără a reaminti că pentru fiecare din cele 10 faze prevăzute pe an ar trebui să existe cel puțin 1-2 participări la conferințe internaționale.

Cheltuielile indirecte (regia) se înscriu în procentul stabilit (43 % din total proiect, 85 % din cheltuielile directe, adică din cheltuieli salariale + materiale + deplasări) și aceste cheltuieli asigură funcționarea utilităților generale și a administrației institutului.

### 3. Managementul riscului (maxim 1 pagină)

(Riscuri asociate implementării activităților proiectului și plan de contingență, se consideră riscul și impactul asupra execuției proiectului)

Managementul riscurilor asociate este asigurat de directorul de proiect (responsabil tema A2), directorul adjunct de proiect (responsabilul temei C3) și ceilalți 10 responsabili de teme. Cele 12 persoane vor fi în legătură permanentă prin e-mail, telefon, instrumente online. Trimestrial se vor organiza întâlniri ale echipei de management, cu prezentarea stadiului la care se află fiecare din cele 12 tematici. Directorul de proiect ține legătura și cu șefii de laboratoare implicate în realizarea Proiectului și cu serviciul financiar-contabil pentru a asigura buna derulare a proiectului. O listă selectivă a riscurilor științifice asociate Proiectului este dată în Tabelul următor.

Tema	Riscuri identificate	Impact	Masuri de remediere si de atenuare/eliminare
A1	Nu se obțin structuri care să aibă proprietățile așteptate (proprietăți feroelectrice la temperatura camerei, curenți de scurgere mici)	ridicat	Folosirea mai multor tehnici de obținere a structurilor: sputtering, depunere din fascicul laser pulsant, sinteze chimice din soluții. Minimizarea riscurilor va fi diminuată de modelarea teoretică, care va contribui la optimizarea structurilor, la alegerea substratului, a electrodului inferior și superior
A2	Emularea proceselor "deep learning" pe substraturi fizice sau captarea matricilor de transfer de pe acestea nu produce rezultate concludente	mediu	Heterostructura sintetizată poate fi folosită și pentru alte aplicații, de exemplu arie de memorie nevolatilă interactivă pentru criptare.
A3	Modelarea dinamicii materialelor cu centri de culoare și a proprietăților de transport ale heterostructurilor 2D presupun metode numerice costisitoare ca putere și durată de calcul.	mediu	Simulările vor fi inițial făcute pentru modele mai simple, pornind de la rezultate analitice și/sau exploatând la maxim simetriile sistemelor considerate. Ulterior, se vor optimiza metodele de calcul numeric în cazul sistemelor complexe. Se va upgrada clusterul de calcul al INCDFM.
A4	Rezonatorii obținuți au factorul Q scăzut, neputând fi folosiți în aplicații.	mediu	Se vor încerca alte materiale dielectrice cu pierderi în microunde mai scăzute. Se va îmbunătăți geometria rezonatorului pentru un factor Q crescut.
B1	Dificultăți în controlul stoichiometriei și grosimii filmelor subțiri	mediu	Se vor încerca ținte multiple: ternare stoichiometrice și nestoichiometrice, binare (FeSe) și din elemente individuale. De asemenea, vor fi evaluate diferite tehnologii de creștere (PLD, sputtering, etc.) și substraturi de tipuri diferite.
B2	Sistemele hibride supraconductor/feromagnet nu au proprietățile așteptate	mediu	Se va curăța camera de ablație laser până la eliminarea oricăror contaminanți; se vor testa alte materiale feromagnetice compatibile cu straturile supraconductoare folosite
B4	Dificultati in obținerea directă prin sinteză de ne-echilibru a caracteristicilor de hard magnet în sistemele Low-Mc	mediu	Procesare ulterioară prin aplicarea de tratamente termice în atmosferă reducătoare
C1	Instabilitate in funcționare a dispozitivelor obținute	mediu	Se vor identifica mecanismele de transport al purtătorilor, se vor studia curenții de scurgere, se vor folosi semiconductori cu dopaje diferite și obținuți prin tehnici diferite
C2	Nu se obțin filme cu sensibilitate țintită în SWIR	Mare	Găsirea de compoziții și diametre potrivite ale NC GeSn pentru obținerea de energii de bandă interzisă scăzute; Îmbunătățirea interfeței NC/oxid; Găsirea concentrației optime de oxid în film pentru a obține sensibilități crescute: suficient de mare pentru a pasiva suprafața NC, dar suficient de mică pentru a nu izola electric NC și pentru a face astfel posibilă colectarea fotopurtătorilor; Depunerea de multistraturi și controlul mai bun al pasivării suprafeței NC pentru creșterea fotosensibilității în SWIR; Optimizarea condițiilor de nanostructurare <i>in-situ</i> și <i>ex-situ</i> .

C3	Riscuri de stabilitate chimică a dispozitivelor OLED	mediu	Se vor utiliza metode de încapsulare a dispozitivelor cu ajutorul unor rășini epoxidice pentru eliminarea efectelor de oxidare fizică și degradare a dispozitivelor OLED.
C4	Metasuprafața prezintă un coeficient prea mare de reflexie în direcția microundelor incidente.	mediu	Se va investiga prin simulări electro-magnetice răspunsul metasuprafeței variind parametrii celulei elementare. Se va obține prin fabricare aditivă metasuprafața optimizată.



#### 4. Impactul proiectului (maxim 2 pagini)

(se vor evidenția: impactul științific, economico-social, de mediu)

*Impact științific:* Prin derularea prezentului Proiect, INCDFM își va consolida poziția cheie deținută în sistemul CDI românesc în domeniul materialelor pentru electronică, optoelectronică și tehnologia informației și se va afirma ca instituție de prim rang în acest domeniu pe plan european. Proiectul propune teme de nișă, care abia în momentul de față încep să fie studiate pe plan mondial. Printr-un efort consistent pe durata a 3 ani, Proiectul își propune să valideze aceste soluții, multe din ele în plan incipient al dezvoltării tehnologice (TRL1) și să le aducă pe cât posibil aproape de exploatarea lor la scală industrială (cel puțin TRL4). Se va depune un efort consistent pentru realizarea de lucrări științifice de calitate, publicate în jurnale cu vizibilitate maximă și pentru diseminarea acestor rezultate atât în cadrul comunității științifice internaționale, cât și în rândul populației avizate.

Proiectul se încadrează în marea majoritate a direcțiilor strategice de dezvoltare ale INCDFM și deci va fi un element determinant pentru consolidarea poziției institutului în aceste domenii CDI. O enumerare succintă a acestor direcții este dată în continuare.

Direcția (1) Cercetări la frontieră în domeniul materialelor funcționale avansate pentru aplicații cu valoare adăugată mare, unde se vor investiga (1a) Materiale și heterostructuri cu aplicabilitate în electronică și optoelectronică (heterostructuri pentru memorii sau pentru dispozitive electronice cu consum redus, dispozitive optoelectronice), (1b) Materiale și heterostructuri pentru energie (supraconductori, din nou heterostructuri cu consum redus, materiale termomagnetice), (1c) Materiale și heterostructuri pentru senzori, (1d) Materiale funcționale în condiții extreme, (1e) Efecte ale simetriei și dimensionalității asupra funcționalității materialelor.

Direcția (3) Dezvoltarea de materiale, heterostructuri și compozite pentru sectoare de nișă ale economiei, unde se vor investiga (3c) Materiale și compozite pentru printing 3D și robocasting și (3d) Soluții alternative pentru materiale care includ materii prime sensibile geostrategic.

Direcția (4) Modelare și simulare în domeniul fizicii stării condensate și al materialelor funcționale, cu ambele sub-direcții (4a) Dezvoltări conceptuale / fundamentale în teoria materiei condensate și (4b) Modelare computațională și design de materiale și heterostructuri va fi reprezentată în marea majoritate a studiilor întreprinse.

Vor trebui dezvoltate / rafinate tehnici specifice de caracterizare a materialelor, heterostructurilor și dispozitivelor, ceea ce revine la Direcția (5) Dezvoltarea metodelor de caracterizare în domeniul materialelor, cu subdirecțiile: (5a) Caracterizări avansate cu rezoluție atomică prin microscopie electronică, microscopie de baleiaj cu efect tunel, microscopie de forță atomică; (5b) Caracterizare la nivel nanoscopic a diferitelor proprietăți de material: hărți de polarizare feroelectrică, magnetizare, lucru de extracție; (5c) Noi metode de prelucrarea datelor experimentale, simulări și fitări de spectre, figuri de difracție etc.; (5d) Noi algoritmi de prelucrare de date extinse ("big data") sau de exploatare a acestor date ("data mining") precum și de învățare automată ("machine learning").

Dezvoltarea experimentală se subsumează Direcției (6) Dezvoltarea de modele funcționale și prototipuri pentru aplicații având la bază materialele preparate și studiate în institut, metodele de sinteză și caracterizare, prin (6a) Dezvoltarea de prototipuri de structuri având la bază materialele studiate în institut; (6b) Dezvoltarea de stații pilot pentru sinteză de materiale, acoperiri, straturi subțiri și pentru diverse tratamente ale acestora; (6c) Dezvoltarea de noi dispozitive de caracterizare complexă și/sau funcțională; (6d) Dezvoltarea de echipamente pentru selecția materialelor cu randament ridicat pentru descoperirea de noi tipuri de materiale cu funcționalitatea dorită.

De asemenea, Proiectul atinge și sub-direcția (7b) Procesele optice liniare și neliniare evidențiate utilizând materiale compozite bazate pe compuși macromoleculari și nanoparticule unidimensionale (1D), bidimensionale (2D) și quantum dots (OD) din cadrul Direcției (7) Procese optice induse de materiale avansate nanostructurate și aplicații în domenii de specializare inteligentă a Planului Strategic de Dezvoltare al INCDFM.

*Impact economico-social:* Proiectul atacă dintr-o perspectivă mixtă, atât fundamentală cât și aplicativă, planurile strategice în industria electronică formulate recent la nivel european (Strategia

Digitală a Europei 2020 – 2030, Actul European privind chip-urile semiconductoare, noile concepte strategice privind economia de energie). În contextul digitalizării accentuate a societății și a introducerii pe scară largă a tehnologiilor informației, este esențială realizarea de dispozitive performante pornind de la noi materiale cu structuri și parametri îmbunătățiți. De asemenea, aspectele economice și geo-strategice nu sunt deloc de neglijat în contextul actual. Pe de o parte, multe materiale critice provin din economii ale unor state cu probleme în respectarea drepturilor omului sau a convențiilor internaționale, sau chiar care agresează națiuni vecine (Rusia, China, anumite state din Africa etc.) și este de așteptat ca, în răspuns la sancțiunile economice ale țărilor occidentale, să asistăm la o reducere a furnizării de energie (Rusia) sau de materii prime (Rusia, China etc.) către economiile occidentale. În aceste condiții, realizarea de noi materiale, heterostructuri și dispozitive cu performanțe îmbunătățite și consum redus de energie este crucială pentru menținerea avansului tehnologic al economiilor occidentale, inclusiv al Uniunii Europene, deci și al României. Același lucru este valabil și pentru transportul energiei electrice. Reducerea consumurilor va avea un impact social direct și se va traduce printr-o creștere clară a puterii de cumpărare și a nivelului de trai al populației, dacă energia va deveni mai ieftină, din cauza reducerii consumurilor industriale. În același timp, este evident că reducerea prețului energiei concomitent cu paradigme de fabricare mai economice vor conduce la scăderea produselor finale care înglobează aceste dispozitive electronice (de la electronica de larg consum, până la industria automotivă, aviație etc.).

*Impact de mediu:* Reducerea previzibilă a consumurilor energetice va avea un impact clar asupra reducerii amprentei de carbon a economiilor care vor pune în aplicare aceste rezultate. De asemenea, noile paradigme de sinteză a materialelor vor favoriza procedeele cu consum redus de substanțe toxice și/sau vor pune accent pe re folosirea acestor substanțe.

## **5. Planul de diseminare și exploatare a rezultatelor (maxim 3 pagini)**

*(se vor evidenția: rezultate estimate; efecte ale aplicării rezultatelor estimate; grup țintă al rezultatelor cercetării; modul de diseminare a rezultatelor; modul de exploatare/valorificare a rezultatelor estimate; proprietate intelectuală)*

Rezultate estimate: După cum s-a menționat, conform OUG 57/2002, Proiectul intenționează să producă 44 documentații, 105 studii, 385 formule, 57 scheme, 4 planuri, 83 procedee / rețete / metode, 166 obiecte, 50 produse, 16 produse informatice, 14 tehnologii, 19 cereri de brevet și 46 articole trimise la reviste indexate pe Web of Science (Clarivate Analytics).

Efecte ale aplicării rezultatelor estimate: dacă numai 10 % din soluțiile oferite de Proiect ar putea să fie transferate în mediul economic, fiecare ar produce beneficii de mai multe milioane sau chiar zeci de milioane de Euro. Beneficiul pe termen mediu poate depăși, așadar, de mai multe ori investiția inițială în CDI.

Grupul-țintă este format din industriile de înaltă tehnologie (high-tech) nu neapărat numai din țară, ci și din întreaga Uniune Europeană sau din state ca Marea Britanie, Japonia sau Statele Unite ale Americii. Propunătorii temelor au relații de colaborare solide cu institute din țările dezvoltate economic.

Prima modalitate de diseminare a rezultatelor este prin publicarea în reviste internaționale indexate în Web of Science (Scopus etc.). S-a menționat că Proiectul propune publicarea a 46 de astfel de articole. Grupurile care au propus cele 12 teme au experiență considerabilă privind publicarea în reviste cu factor de impact ridicat, cel mai adesea situate în prima cuartilă (Q1) pe domeniile respective. Estimăm că cca. 80 % din articolele publicate vor fi în jurnale situate în primele 2 cuartile (Q1 și Q2), iar cca. 30–40 % vor fi în jurnale situate în Q1. O atenție sporită se va acorda publicării în reviste de tip “open access”.

Rezultatele cu potențial aplicativ vor face obiectul cererilor de brevete de invenție, iar proiectul propune până la finalizarea sa trimiterea a 19 astfel de cereri la OSIM. Procesul de selectarea a rezultatelor cu potențial aplicativ va avea loc cu participarea echipei de management a proiectului, pentru a se asigura promovarea rezultatelor din care pot rezulta transferuri tehnologice și drepturi de proprietate intelectuală. Odată depuse cererile de brevete, acestea se vor populariza prin participări la sesiuni dedicate transferului tehnologic, evenimente de brokeraj, saloane de invenție etc.

Se va dezvolta activitatea de promovare a cercetărilor întreprinse și a principalelor rezultate în mass media și pe diverse canale audio-video-internet. Directorul de proiect are o experiență de colaborare la revista Știință și Tehnică și de emisiuni televizate la Digi World. Membrii mai tineri ai echipei au abilități de difuzare pe rețelele de socializare, canale Youtube, Instagram etc. a principalelor rezultate ale activității lor.

Se va încuraja participarea la conferințe internaționale cu audiență largă, atât cu lecții invitate care vor fi susținute de cercetători seniori, cât și cu comunicări orale sau postere prezentate de cercetătorii la început de carieră.

## **6. Alte informații care promovează / susțin proiectul – dacă este cazul (maxim 1 pagină)**

*(se pot face trimiteri la documente programatice; se pot anexa expresii de interes, scrisori suport)*

Scrisori de interes pentru Proiect primite de la: Intelectro Iași SRL, Nanom MEMS SRL, APEL LASER SRL, SWARM EUROPEAN SERVICES SRL, Microelectronica Semiconductoare SRL, Lambda Physics SRL, Sonovortex SRL, Concept XXI SRL, Honeywell Romania SRL, anexate.

## 7. Declarațiile responsabilului de proiect

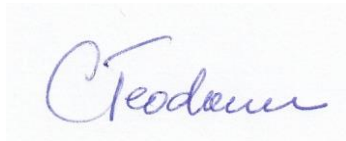
Sub sancțiunea descalificării propunerii de proiect, sau după caz, a nulității contractului de finanțare, precum și a consecințelor legale decurgând din furnizarea de date și informații false sau incorecte, declar pe propria răspundere:

1. Proiectul propus nu a fost, nu este finanțat în cadrul altor programe.
2. Datele și informațiile privind propunerea de proiect sunt reale, exacte, corecte.

Data: 28 noiembrie 2022

Semnătura:

Cristian Mihail Teodorescu, Dr., abil., C. S. I

A handwritten signature in blue ink, reading "C. Teodorescu". The signature is written in a cursive style with a large initial 'C'.

## Bibliografie – (maxim 2 pagini)

Cu **roșu** articole cu autori INCDFM

- [A1(1)] X. Liang et al., *APL Mater.* **9**, 041114 (2021). [A1(2)] T. Mikolajick et al., *J. Appl. Phys.* **129**, 100901 (2021). [A1(3)] H.Y. Ye et al., *Science* **361**, 151 (2018). [A1(4)] F. Gao et al., *Prog. Mater. Sci.* **121**, 100813 (2021). [A1(5)] J. Zhang et al., *Appl. Phys. Lett.* **114**, 061603 (2019). [A2(1)] D.C. Jiles, D.L. Atherton, *J. Magn. Magn. Mater.* **61**, 48 (1986). [A2(2)] W. Nolting, A. Ramakanth, *Quantum theory of magnetism*, Springer, Berlin, 2009. [A2(3)] G. M. Copland, P. M. Levy, *Phys. Rev. B* **1**, 3043 (1970). [A2(4)] **C. M. Teodorescu, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **23**, 4085 (2021).** [A2(5)] **C. M. Teodorescu, *Res. Phys.*, under review (2022).** [A2(6)] E. C. Stoner, E. P. Wohlfarth, *Phil. Trans. Royal Soc. A* **240**, 599 (1948). [A2(7)] G. van der Laan, *J. Phys. Cond. Matt.* **10**, 3239 (1998). [A2(8)] P. Bruno, *Phys. Rev. B* **39**, 865 (1989). [A2(9)] S. S. Dhesi et al., *Appl. Phys. Lett.* **80**, 1613 (2002). [A2(10)] E. C. Stoner, *Proc. Roy. Soc. London* **165**, 372 (1938). [A2(11)] **C. M. Teodorescu, *Res. Phys.* **25**, 104241 (2021).** [A2(12)] **C. M. Teodorescu, M.A. Hușanu, *Phys. Earth Planet. Inter.* **326**, 106856 (2022).** [A2(13)] **C. M. Teodorescu, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **24**, 5419 (2022).** [A2(14)] M. Minsky, S. Papert, *Perceptrons: An introduction to computational geometry*, MIT Press, Cambridge, MA, 1988. [A2(15)] H.Y. Tsai et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **51**, 283001 (2018). [A3(1)] A. Alfieri et al., *Adv. Mater.* 2109621 (2022). [A3(2)] [https://qt.eu/app/uploads/2020/04/Strategic\\_Research-Agenda\\_d\\_FINAL.pdf](https://qt.eu/app/uploads/2020/04/Strategic_Research-Agenda_d_FINAL.pdf). [A3(3)] G. Thierring, A. Gali, *Semicond. Semimetals* **103**, 1 (2020). [A3(4)] K. V. Kepesidis et al., *Phys. Rev. B* **94**, 214115 (2016). [A3(5)] A. Gardill et al., *Phys. Rev. Applied* **13**, 034010 (2020). [A3(6)] D. Lee et al., *J. Opt.* **19**, 033001 (2017). [A3(7)] F. Schindler et al., *Nat. Phys.* **14**, 918 (2018). [A3(8)] R. Noguchi et al., *Nat. Mater.* **20**, 473 (2021). [A3(9)] R. Chen et al., *Phys. Rev. Lett.* **127**, 066801 (2021). [A3(10)] **B. Ostahie et al., *Phys. Rev. B* **98**, 125403 (2018).** [A3(11)] B. Keimer, J. E. Moore, *Nat. Phys.* **13**, 1045 (2017). [A3(12)] Z. Guo et al., *Adv. Funct. Materials* **25**, 6996 (2015). [A3(13)] F. Paleari et al., *2D Mater.* **5**, 045017 (2018). [A3(14)] J. Schaibley et al., *Nat. Rev. Mater.* **1**, 16055 (2016). [A3(15)] X. Liu, M. C. Hersam, *Nat. Rev. Mater.* **4**, 669 (2019). [A3(16)] M. Eich et al., *Nano Lett.* **18** 5042 (2018). [A3(17)] J. Boddison-Chouinard et al., *Appl. Phys. Lett.* **119**, 133104 (2021). [A3(18)] A. Kormanyos et al., *Phys. Rev. X* **4**, 011034 (2014). [A3(19)] H. Henck et al., *Phys. Rev. B* **97**, 155421 (2018). [A3(20)] J. Pawlowski et al., *Phys. Rev. Applied* **15**, 054025 (2021). [A4(1)] R. Lohiya, A. Thakkar, *IEEE Internet Things J.* **8**, 8774–8798 (2021). [A4(2)] J. Saroia et al., *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **106**, 1695–1721 (2020). [A4(3)] X. Zeng et al., *Appl. Phys. Lett.* **113**, 081901 (2018).
- [B1(1)] Y. Kamihara et al., *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 3296 (2008). [B1(2)] F.C. Hsu et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **105**, 14262 (2008). [B1(3)] Z.A. Ren et al., *EPL* **83**, 17002 (2008). [B1(4)] J. Guo et al., *Phys. Rev. B* **82**, 180520(R) (2010). [B1(5)] J.F. Ge et al., *Nat. Mater.* **14**, 285 (2015). [B1(6)] M. Yi et al., *Phys. Rev. B* **80**, 024515 (2009). [B1(7)] Y. Zhang et al., *Nat. Mater.* **10**, 273 (2011). [B1(8)] P. Zavalij et al., *Phys. Rev. B* **83**, 132509 (2011). [B1(9)] D. Mou et al., *Phys. Rev. Lett.* **106**, 107001 (2011). [B1(10)] M. Yi et al., *Nat. Commun.* **6**, 7777 (2015). [B1(11)] M. Yi et al., *Phys. Rev. Lett.* **110**, 067003 (2013). [B1(12)] B. Freelon et al., *Phys. Rev. B* **92**, 155139 (2015). [B1(13)] P. Gao et al., *Phys. Rev. B* **89**, 094514 (2014). [B1(14)] W. Bao et al., *Chin. Phys. Lett.* **28**, 086104 (2011). [B1(15)] A. Tamai et al., *Phys. Rev. Lett.* **104**, 097002 (2010). [B1(16)] K. Terashima et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **106**, 7330 (2009). [B1(17)] Y. Yin et al., *Phys. Rev. Lett.* **101**, 097002 (2009). [B1(18)] R.T. Gordon et al., *Phys. Rev. Lett.* **102**, 127004 (2009). [B1(19)] T.J. Williams et al., *Phys. Rev. B* **80**, 094501 (2009). [B1(20)] F. Ning et al., *J. Phys. Soc. Japan* **77**, 103705 (2008). [B1(21)] **N. Kurita et al., *Phys. Rev. B* **79**, 214439 (2009).** [B1(22)] Y. Machida et al., *J. Phys. Soc. Japan* **78**, 073705 (2009). [B1(23)] G. Mu et al., *Chin. Phys. Lett.* **27**, 037402 (2010). [B1(24)] B. Muschler et al., *Phys. Rev. B* **80**, 180510(R) (2009). [B1(25)] I.I. Mazin et al., *Phys. Rev. Lett.* **101**, 057003 (2008). [B1(26)] K. Seo et al., *Phys. Rev. Lett.* **101**, 206404 (2008). [B1(27)] V. Cvetkovic,

Z. Tesanovic, EPL **85**, 37002 (2009). [B2(1)] L. Miu et al., *Sci. Rep.* **10**, 17274 (2020). [B2(2)] A. Iyo et al., *J. Am. Chem. Soc.* **138**, 3410 (2016). [B2(3)] [https://worldmaterialsforum.com/files/Presentations2021/Top10-Shunichi\\_Miyanaga.pdf](https://worldmaterialsforum.com/files/Presentations2021/Top10-Shunichi_Miyanaga.pdf). [B2(4)] L. Jacob, J.W.A Robinson, *Nat. Phys.* **11**, 307 (2015). [B2(5)] Q. Gao et al., *AIP Advances* **12**, 025005 (2022). [B2(6)] X. Zhang et al., *Sci. Rep.* **8**, 8074 (2018). [B2(7)] T. Nan et al., *Nat. Commun.* **11**, 4671 (2020). [B2(8)] M. Collet et al. *Nat. Commun.* **7**, 10377 (2016). [B3(1)] S. Das et al., *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* **39**, 231 (2014). [B3(2)] V.G. Nair et al., *Adv. Mater.* **34**, 2108840 (2022). [B3(3)] B. Zhang et al., *J. Mater. Chem A* **10**, 15865 (2022). [B3(4)] R. Kawamura et al., *Nat. Comm.* **10**, 4880 (2019). [B3(5)] P. Badica, *Green Chem. Lett. Rev.* **15**, 646 (2022). [B3(6)] G. Tallarita et al., *J. Eur. Ceram. Soc.* **40**, 942 (2020). [B4(1)] J.I. Pérez-Landazábal et al., *Metals* **10**, 1131 (2020). [B4(2)] T. Bachaga et al., *Int. J. Adv. Manufact. Technol.* **103**, 2761–2772 (2019). [B4(3)] J. Mohapantra, J.P. Liu, *Handbook of Magnetic Materials* **27**, 1 (2018). [B4(4)] A.M. Gabay et al., *J. Magn. Magn. Mater.* **495**, 165860 (2022).

[C1(1)] L. Zhao et al., *Appl. Surf. Sci.* **289**, 601 (2014). [C1(2)] W. J. Hsueh, *J. Vac. Sci. Technol. A* **35**, 01B106 (2017). [C1(3)] M.N. Hasan et al., *Adv. Mater. Interfaces* **9**, 2101531 (2022). [C1(4)] R. Roychowdhury et al., *Appl. Surf. Sci.* **476**, 615 (2019). [C1(5)] L. Hao et al., *J. Mater. Sci. Technol.* **121**, 130 (2022). [C2(1)] J. Doherty et al., *Chem. Mater.* **32**, 4383 (2020). [C2(2)] M.R.M. Atalla et al., *ACS Photonics* **9**, 1425 (2022). [C2(3)] Y.M. Kim et al., *Adv. Optical Mater.* **10**, 2101213 (2022). [C2(4)] A. Elbaz et al., *Nat. Photonics* **14**, 375 (2020). [C2(5)] A. Slav et al., *ACS Appl. Mater. Interf.* **12**, 56161 (2020). [C2(6)] I. Dascalescu et al., *ACS Appl. Mater. Interf.* **30**, 33879-33886 (2020). [C2(7)] A. Slav et al., *ACS Appl. Nano Mater.* **2**, 3626 (2019). [C2(8)] C. Palade et al., *Sensors* **20**, 6395 (2020). [C3(1)] K. Lin et al., *Nature* **562**, 245 (2018). [C3(1)] T. Matsushima et al., *Nature* **572**, 502 (2019). [C3(2)] S. M. H. Qaid et al., *Coatings* **12**, 549 (2022). [C3(3)] M. M. Stylianakis, *Nanomaterials* **10**, 520 (2020). [C3(4)] P. K. Kalambate et al., *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **115**, 147 (2019). [C3(5)] A. Costas et al., *Sci. Rep.* **10**, 18690 (2020). [C3(6)] A. Kaphle et al., *RSC Adv.* **10**, 7839 (2020). [C3(7)] Z. Li et al., *Adv. Mater.* **34**, 2109083 (2021). [C3(8)] I.C. Ciobotaru et al., *Nanotechnology* **33**, 395203 (2022). [C4(1)] H. Ohta, H. Hosono, *Mater. Today* **7**, 42-51 (2004). [C4(2)] H. Kawazoe et al., *Nature* **389**, 939–942 (1997). [C4(3)] G.V. Naik et al., *Opt. Mater. Express* **1**, 1090 (2011). [C4(4)] J. Liu et al., *Sensors* **16**, 1241 (2016). [C4(5)] X.G. Luo, *Sci China-Phys. Mech. Astron.* **58**, 594201 (2015). [C4(6)] X. Yin et al., *Light: Science & Applications* **6**, e17016 (2017). [C4(7)] G.K. Shirmanesh et al., *Nano Lett.* **18**, 2957 (2018). [C4(8)] B. Xiong et al., *Nanoscale Adv.* **1**, 3786 (2019). [C4(9)] A. M. Shaltout et al., *Science* **364**, 648 (2019). [C4(10)] S. Sun et al., *Nat. Mater.* **11**, 426 (2012). [C4(11)] Q. Chang et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **60**, 25567 (2021). [C4(12)] Z. Li et al., *Science* **376**, 416 (2022). [C4(13)] I.C. Benea-Chelmus et al., *Nat. Commun.* **12**, 5928 (2021). [C4(14)] N.I. Zheludev et al., *Nat. Photonics* **2**, 351 (2008). [C4(15)] Y.W. Huang et al., *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 3296 (2008).

## SCHEMA DE REALIZARE

**Faze de realizat pe toată durata proiectului component: Dezvoltari teoretice, experimentale și aplicative în domeniul materialelor funcționale pentru sectoare de înaltă tehnologie (electronică, optoelectronică, senzorică)**

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
<b>ANUL 2023</b>					
1	01.23 – 12.23	F2.1.1. Sinteza de noi materiale și heterostructuri feroelectrice și multiferoice. (C. F. Chirilă, L. Pintilie)	2.256.360	29 dec. 2023	Ținte: Sinteza de straturi subțiri din materiale binare dopate în vederea obținerii de proprietăți feroelectrice; Realizarea de heterostructuri pe bază de straturi feroelectrice; nanocompozite în matrici polimerice și materiale organice feroelectrice; Caracterizare structurală și electrică. Indicatori: 15 obiecte fizice, 3 procedee de obținere materiale și structuri, 3 rețete pentru obținere, 2 documentații, 2 studii, 1 lucrare trimisă spre publicare.
2	01.23 – 12.23	F2.2.1. Studii fundamentale teoretice și experimentale privind sisteme feroice și multiferoice (C. M. Teodorescu)	2.256.360	29 dec. 2023	Ținte: (1) Fundamentarea completă a teoriei feromagnetismului de

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					bandă; (2) Fundamentarea teoretică a domeniilor feroelectrice; (3) Sinteza de sisteme multiferoice cu cuplaj electronic între substratul feroelectric și stratul magnetic. Indicatori: 3 documentații, 3 studii, 3 lucrări, 3 produse informatice, 100–150 formule, 1 rețetă, 6 scheme, 3 obiecte fizice (probe).
3	01.23 – 12.23	F2.3.1. Proprietăți de transport ale stărilor topologice de dimensionalitate redusă. (B. Ostahie)	2.256.359	29 dec. 2023	Ținta: Soluții de modelare pentru proprietățile de transport ale unui izolator topologic de ordin superior (HOTI) și studierea unor tranziții de fază topologice în prezența impurităților. Indicatori de realizare: minim 1 articol trimis spre publicare la jurnale ISI, 3 studii, 2 metode. 1 produs informatic
4	01.23 – 12.23	F2.4.1. Obținerea prin fabricare aditivă de materiale dielectrice cu pierderi reduse și de compozite cu derivă termică controlată. (G. Banciu, L. Nedelcu)	2.256.360	29 dec. 2023	Ținte: (1) Studii morfostructurale și reologice pentru obținerea de paste ceramice din materiale dielectrice cu



Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					<p>pierderi reduse; (2) Studiul compozitelor dielectrice fabricate din amestecuri de polimeri și pulberi feroelectrice <math>Ba_{1-x}Sr_xTiO_3</math>; (3) Materiale și compozite dielectrice fabricate aditiv.</p> <p>Indicatori: 2 documentații, 3 studii, 2 lucrări trimise la publicare, 4 rețete, 5–10 formule, 10–20 obiecte fizice, 2 procedee.</p>
5	01.23 – 12.23	F2.5.1. Prepararea și caracterizarea structurală și morfologică de monocristale. (C. F. Miclea)	2.256.360	29 dec. 2023	<p>Ținte: Obținerea fluxului pentru creșterea de monocristale. Creșterea de monocristale de înaltă calitate de calcogenati pe baza de fier, în atmosfera controlată. Optimizarea profilului termic de creștere. Caracterizarea morfo-structurală a monocristalelor obținute.</p> <p>Indicatori: 1 plan, 2 procedee de obținere monocristale, 1 documentație, 2 studii, 2 rețete, 5 probe monocristaline, 1 lucrare științifică trimisă spre publicare.</p>

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
6	01.23 – 12.23	F2.6.1. Studiul potențialului de fixare și a liniei de topire a sistemului de vortexuri în monocristale supraconductoare de $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ . (A. Crișan)	2.256.360	29 dec. 2023	<p>Ținte: (i) prepararea și investigarea de noi sisteme supraconductoare destinate aplicațiilor practice de putere mare (ii) determinarea curentului critic, a potențialului de fixare și a liniei de topire a sistemului de vortexuri în monocristale de <math>\text{CaKFe}_4\text{As}_4</math> (sistem 1144)</p> <p>Indicatori: 1 sistem 1144 optimizat, 1 lucrare ISI, 1 metodologie investigație</p>
7	01.23 – 12.23	F2.8.1. Aliaje intermetalice cu memoria formei pentru refrigerare magnetică, senzorială și acționare. (M. Sofronie, F. Țolea)	2.256.359	29 dec. 2023	<p>Ținte: Se urmărește controlul cuplajului magneto-structural în aliaje meta-magnetice de tip Heusler <math>\text{Ni}_2\text{MnSb}</math> prin dopaj Cu, Co și Gd, în vederea obținerii unor efecte magnetorezistive, magnetostrictive și magnetocalorice promițătoare aplicațiilor în tehnologii ecologice.</p> <p>Indicatori: 1 plan, 2 metode, 3 schițe, 8 probe test, 3 rețete de producere a benzilor cu trei tipuri de substituți,</p>

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					1 lucrare științifică trimisă spre publicare, 1 cerere brevet depusă
8	01.23 – 12.23	F2.10.1. Obținerea, testarea și caracterizarea de probe test cu proprietăți fotoelectrice optime (A. M. Lepădatu)	2.256.359	29 dec. 2023	Ținte: Obținerea (pulverizare cu magnetron, tratamente RTA) și caracterizarea (structură, morfologie, proprietăți fotoelectrice) probelor test - filme cu NC GeSn stabilizat cu Si în oxizi high-k fotosensibile în SWIR la RT. Indicatori de rezultat: parametri tehnologici, 1 procedeu nou de obtinere de filme cu NC GeSn stabilizat cu Si în oxizi high-k fotosensibile în SWIR la RT, 15 probe test, 20 studii (structură - imagini, proprietăți electrice și fototoelectrice - caracteristici), 1 lucrare trimisă
9	01.23 – 12.23	F2.11.1. Simularea teoretică privind caracteristicile optice și electronice ale nanocristalelor de perovskitilor hibridi de tip organic/anorganic. Sinteza și caracterizarea nanocristalelor pe bază de perovskiți hibridi. (S. Poloșan)	2.256.359	29 dec. 2023	Ținte: (a) Modelări teoretice privind diagrama de benzi energetice, a excitonilor și a densităților de stări electronice în perovskiți cu Sb. (b) Sinteze

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					chimice ale acestor perovskiți. Indicatori de rezultat: - 2 proceduri de sinteză a perovskiților cu plumb și stibiu - 6 rețete de producere a perovskiților utilizând două tipuri de ioni metalici și trei tipuri de metil amoniu cu iod, clor și brom -1 cerere de brevet sinteză
10	01.23 – 12.23	F2.12.1. Elaborarea tehnologiilor pentru obținerea straturilor subțiri de oxizi conductori transparenți cu dopare de tip p sau de tip n pentru heterojoncțiuni, modelarea și simularea de arhitecturi de straturi subțiri pentru componente optoelectronice transparente pe bază de metasuprafețe: biosenzor plasmonic, heterojoncțiune de focalizare a radiației solare pe bază de metasuprafețe pentru celulele solare tandem, modulator tip fototranzistor unijoncțiune cu metasuprafață integrată (C. Cotîrlan-Simioniuc)	2.256.360	29 dec. 2023	Ținte: (1) Fundamentarea tehnologiilor de obținere a arhitecturilor pentru componente optoelectronice transparente pe bază de metasuprafețe pentru aplicații specifice; (2) Proiectarea și validarea unor arhitecturi cu straturi subțiri pentru componente optoelectronice transparente pe bază de metasuprafețe pentru aplicații specifice. Indicatori: 3 studii, 3 documentații, o lucrare, 3 tehnologii, 3 scheme.

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
SUBTOTAL anul 2023			22.563.596		11 documentații 36 studii 110 formule 12 scheme 2 planuri 34 procedee / rețete / metode 58 obiecte 9 produse 4 produse informatice 3 tehnologii 2 cereri de brevet 12 lucrări trimise
<b>ANUL 2024</b>					
1	01.24 – 12.24	F2.1.2. Optimizarea proprietăților funcționale ale structurilor feroelectrice și multiferice prin inginerie de interfețe, defecte, dopaje (C. F. Chirilă, L. Pintilie)	2.256.360	31 dec. 2024	Tinta: Maximizarea proprietăților funcționale (fero, piro, piezo) prin modificări ale volumelor, interfețelor, dopajelor și combinarea de materiale cu proprietăți diferite. Indicatori de realizare: 4 studii, 10 obiecte, 2 metode, 1 lucrare trimisă la publicare.
2	01.23 – 12.24	F2.3.2. Studiul proceselor de disipatie în materiale cu centri de culoare. (V. Moldoveanu, R. Dragomir)	2.256.359	31 dec. 2024	Tinta: Dezvoltarea de metode teoretice noi pentru modelarea dinamicii unui centru de culoare sub acțiunea semnalelor de microunde sau optice în prezența proceselor de relaxare și

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					disipație. Predicții asupra modelelor experimentale. Indicatori de realizare: minim 1 articol trimis spre publicare la jurnale ISI, 3 studii, 2 metode. 1 produs informatic
3	01.24 – 12.24	F2.3.3. Efectele cuplajului spin-vibrație în materiale cu centri de culoare. (V. Moldoveanu, R. Dragomir)	2.256.359	31 dec. 2024	Ținte: Analiza și modelarea dinamicii centrilor de culoare în prezența cuplajului spin-vibrație, metode de manipulare a centrului de culoare prin variații controlate ale cuplajului spin-vibrație. Predicții asupra modelelor experimentale. Indicatori de realizare: minim 1 articol trimis spre publicare la jurnale ISI, 3 studii, 2 metode, 1 produs informatic
4	01.24 – 12.24	F2.4.2. Rezonatori obținuți prin fabricare aditivă pentru aplicații în domeniul microundelor. (G. Banciu, L. Nedelcu)	2.256.360	31 dec. 2024	Ținte: (1) Modelarea electromagnetică a răspunsului noilor rezonatori de microunde; (2) Realizarea rezonatorilor folosind fabricarea aditivă; (3) Studiul experimental în microunde a noilor tipuri de rezonatori.

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					Indicatori: 3 documentații, 3 studii, 4 scheme cu datele geometrice ale rezonatorilor, 4 procedee cu instrucțiuni informatice de printare (scripturi), 4 obiecte fizice, 1 lucrare trimisă, 1 cerere de brevet
5	01.24 – 12.24	F2.5.2. Caracterizarea sistemului prin măsurători de rezistivitate, căldură specifică și magnetizare. Creșterea și caracterizarea filmelor subțiri de diverse grosimi. (C. F. Miclea)	2.256.360	31 dec. 2024	Ținte: Caracterizarea probelor bulk prin măsurători de rezistivitate, căldura specifică și magnetizare în funcție de temperatură și câmp magnetic. Sinteza de straturi subțiri. Caracterizare structurală și electrică a straturilor subțiri. Indicatori: 1 plan, 1 documentație, 4 studii pentru probele bulk, 1-2 studii asupra proprietăților filmelor, 1-3 tehnologii de preparare filme subțiri; 5 filme subțiri de diferite grosimi, 1 cerere de brevet vizând obținerea filmelor subțiri, o lucrare științifică trimisă spre publicare.

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
6	01.23 – 12.24	F2.6.2. Studiul dinamicii anormale a vortexurilor în monocristale supraconductoare de $BaFe_2(As_{1-x}P_x)_2$ supradopate. (A. Crisan, A. Ionescu)	2.256.360	31 dec. 2024	Ținte: (i) investigarea dinamicii anormale a vortexurilor pe diverse scale de timp în monocristale de $BaFe_2(As_{1-x}P_x)_2$ supradopate și (ii) studiul efectelor de memorie magnetică și potențialul de fixare a vortexurilor în monocristale de tip 112 Indicatori: 1 sistem tip 112 optimizat, 1 lucrare ISI, 1 metodologie investigație
7	01.23 – 12.24	F2.6.3. Structuri spintronice hibride supraconductor/feromagnet cu și fără strat separator, cu efect magnetorezistiv gigant. (I. Ivan, V. Kuncser)	2.256.360	31 dec. 2024	Ținte: Fabricarea și studiul heterostructurilor supraconductor / feromagnet (S/F), cu și fără strat izolator intercalat, cu efect magnetorezistiv gigant (GMR) pentru aplicații în electronică la temperaturi joase cu supraconductori Indicatori : 6 probe, 2 structuri hibride spintronice optimizate și procedee de obținere a acestora, 2 lucrări ISI
8	01.23 – 12.24	F2.7.1. Modificarea pulberilor de boruri: producere/caracterizare/proprietăți și	2.256.359	31 dec. 2024	Ținte: Producerea și caracterizarea pulberilor



Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
		potențialul pulberilor modificate pentru diferite aplicații. (P. Bădică)			de boruri cu structura 2D grafitică. Indicatori: 2 sisteme de boruri cu structura 2D grafitică cu rețete de obținere, 1 articol ISI, 1 cerere de brevet
9	01.23 – 12.24	F2.9.1. Interfete high k dielectric/GaAs. (C. C. Negrila)	2.256.359	31 dec. 2024	Ținte: Obținerea și caracterizarea unor interfețe de tip high k dielectric/GaAs Indicatori: 3 documentații, 3 studii, 1 lucrare trimisă la publicare, 3 scheme, 3 metode, 3 obiecte fizice (probe)
10	01.24 – 12.24	F2.11.2. Optimizarea filmelor subțiri perovskitice cu proprietăți emisivă. Optimizarea electrozilor metalici transparenți și caracterizarea acestora. (S. Poloșan)	2.256.360	31 dec. 2024	Ținte: (a) Optimizare cristalin/amorf a perovskitilor cu Sb. (b) Comparații privind electrozii electrofilați versus filme metalice Indicatori de rezultat: -2 tehnologii de obținere a filmelor în combinații cristalin/ amorf - 2 studii privind influența temperaturii în combinații amorf/cristalin - 1 articol trimis spre publicare

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
SUBTOTAL anul 2024			22.563.596		7 documentații 23 studii 7 scheme 1 plan 12 procedee / rețete / metode 28 obiecte 5 produse 6 produse informatice 5 tehnologii 3 cereri de brevet 11 lucrări trimise
<b>ANUL 2025</b>					
1	01.24 – 12.25	F2.1.3. Investigarea proprietăților funcționale ale noilor materiale/heterostructuri feroelectrice sau multiferoice. (C. F. Chirilă, L. Pintilie)	2.256.360	31 dec. 2025	Tinte: Investigarea proprietăților feroelectrice, multiferoice, dielectrice, piroelectrice, piezoelectrice și optice pentru materialele de tip <i>binary</i> dopat, heterostructuri, nanocompozite sau cristal organic. Indicatori de rezultat: 15 obiecte fizice; 2 scheme de realizare a montajelor, în vederea realizării țințelor propuse; 2 documentații; 2 studii; 1 lucrare trimisă spre publicare.

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
2	01.24 – 12.25	F2.2.2. Aspecte microscopice și macroscopice în topografia domeniilor (C. M. Teodorescu)	2.256.360	31 dec. 2025	Ținte: (1) Fundamentarea teoretică a domeniilor feroelectrice, feromagnetice și multiferice în structuri de tip “tablă de șah” (topografie bi-dimensională pe suprafețe); (2) Analiza efectelor de formă macroscopică asupra structurii topografiei de domenii; Indicatori: 3 documentații, 2 studii, 2 lucrări trimise, 2 produse informatice, 6 probe, 75–100 formule, 4 scheme.
3	01.24 – 12.25	F2.2.3. Sisteme cu control magnetoelectric. Sinteza noilor teorii (C. M. Teodorescu)	2.256.360	31 dec. 2025	Ținte: (1) Sisteme cu control magneto-electronic al magnetizării prin variația polarizării feroelectrice; (2) Sinteza aspectelor teoretice noi în teoria sistemelor multiferice într-o lucrare de amploare (carte). Indicatori: 5 documentații, 1 studiu, 9 probe, 1 lucrare trimisă, 1 carte, 150–200 formule. 7 scheme, o cerere de brevet de invenție.

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
4	01.25 – 12.25	F2.3.4. Studii de frontieră asupra heterostructurilor bidimensionale. (B. Ostahie, V. Moldoveanu)	2.256.359	31 dec. 2025	Ținte: Dezvoltarea de metode pentru modelarea fenomenelor de transport și interacție asociate stărilor de spin și "vale" ale heterostructurilor 2D cu contacte electrice. Predicții asupra modelelor experimentale. Indicatori de realizare: minim 1 articol trimis spre publicare la jurnale ISI, 2 studii, 2 metode, 1 produs informatic
5	01.25 – 12.25	F2.5.3. Măsurători de rezistivitate și de adâncime de penetrare a câmpului magnetic sub presiune hidrostatică. (C. F. Miclea)	2.256.360	31 dec. 2025	Ținte: Caracterizarea unor probe selectate, sub presiune hidrostatică, prin măsurători de rezistivitate în funcție de temperatura și câmp magnetic. Măsurători ale adâncimii de penetrare a câmpului magnetic, sub presiune hidrostatică. Indicatori: 1 plan, 1 documentație, 2 studii, 1 produs informatic, 1 cerere de brevet vizând sistemul de măsură al adâncimii de penetrare,

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					o lucrare științifică trimisă spre publicare
6	01.25 – 12.25	F2.7.2. Procesarea pulberilor de boruri tip MBene modificate (P. Bădică)	2.256.359	31 dec. 2025	Ținte: Obținerea și caracterizarea compactelor și corpurilor solide masive sinterizate din pulberi tip MBene modificate. Indicatori: 2 produse tip compact din boruri cu structura 2D grafitică cu rețete de obținere, 1 articol ISI, 1 cerere de brevet.
7	01.24 – 12.25	F2.8.2. Magneți permanenți cu conținut redus de materiale critice (Low-Mc) cu operativitate în domeniul auto (M. Sofronie, O. Crișan)	2.256.360	31 dec. 2025	Ținte: (i) Proiectarea și elaborarea prin metode de sinteză complementare a unei noi clase de magneți nanocompoziți Low-Mc pe baza de Mn-Al-C, MnAl/FeCoB, MnBi (ii) Optimizarea compoziției aliajului și a structurii de fază prin modulare compozițională în acord cu parametrii de sinteză; (iii) Investigarea caracteristicilor morfo-structurale, determinarea și optimizarea proprietăților magnetice și performanțelor, modelarea mecanismelor

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					<p>de interacție dintre regiunile magnetice și corelarea caracteristicilor structurale cu comportamentul magnetic, (iv)</p> <p>Conceperea, proiectarea și elaborarea de modele experimentale prin manufacturare aditivă pentru magneți necesari în industria auto.</p> <p>Indicatori: 2 rețete de sinteza de ne-echilibru, 1 documentatie, 2 tehnologii de optimizare proprietăți magnetice, un model experimental, 1 lucrare ISI</p>
8	01.25 – 12.25	F2.9.2. Interfete high k dielectric/GaSb. (C. C. Negrilă)	2.256.359	31 dec. 2025	<p>Ținte: Obținerea și caracterizarea unor interfețe de tip high k dielectric/GaSb</p> <p>Indicatori: 3 documentații, 3 studii, 1 lucrare trimisa la publicare, 3 scheme, 3 metode, 3 obiecte fizice (probe)</p>
9	01.24 – 12.25	F2.10.2. Fabricarea si testarea de senzori discreți. Fabricarea de matrici de senzori (A. M. Lepădatu)	2.256.359	31 dec. 2025	<p>Ținte: Obținerea de filme cu sensibilitate țintită crescută la RT în SWIR până la 2 μm și caracterizarea lor</p>

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					complexă; Fabricarea de senzori discreți și de matrici de senzori. Indicatori de rezultat: 10 probe test optimizate, parametri tehnologici optimizați, 1 tehnologie de obținere de filme cu sensibilitate țintită crescută la RT în SWIR până la 2 μm, 20-25 structură - imagini, 40 proprietăți electrice & fototoelectrice - caracteristici; 1 lucrare trimisă spre publicare.
10	01.24 – 12.25	F2.12.2. Realizarea modelelor experimentale de componente optoelectronice pe substrat de sticlă cu straturi subțiri de oxizi semiconductori transparenti pe bază de metasuprafețe: biosenzor plasmonic, heterojoncțiune pentru focalizarea radiațiilor în celulele solare tandem, modulator tip fototranzistor unijoncțiune cu metasuprafață integrată (C. Cotîrlan-Simioniuc)	2.256.360	31 dec. 2025	Ținte: (1) Obținerea modelelor experimentale pentru componente optoelectronice transparente pe bază de metasuprafețe: biosenzor plasmonic, heterojoncțiune de focalizare pentru celule solare tandem, fototranzistor unijoncțiune cu metasuprafață integrată; (2) Testarea preliminară a componentelor optoelectronice transparente cu metasuprafețe obținute.

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					Indicatori: 3 modele experimentale, 3 metode de testare, o lucrare, 3 buletine de măsurări, 3 procedee aplicative
SUBTOTAL anul 2025			22.563.596		15 documentații 35 studii 225 formule 16 scheme 1 plan 17 procedee / rețete / metode 43 obiecte 2 produse 4 produse informatice 3 tehnologii 3 cereri de brevet 11 lucrări trimise 1 carte
<b>ANUL 2026</b>					
1	01.26 – 12.26	F2.1.4. Elaborarea unor modele funcționale cu aplicații în electronică și senzorială folosind noi materiale/heterostructuri feroelectrice sau multiferice. (C. F. Chirilă, L. Pintilie)	2.256.360	31 dec. 2026	Ținte: Memorii nevolatile cu stări multiple; senzori pentru radiația luminoasă în IR sau UV; memristori; tranzistori cu efect de câmp. Indicatori de rezultat: 3 obiecte fizice; 1 produs (senzor, FET, sau element de memorie nevolatilă); 1 schiță a dispozitivului; 2 documentații; 2 studii; 1



Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					cerere de brevet; 1 lucrare trimisă spre publicare.
2	07.25 – 12.26	F2.2.4. Investigarea proceselor fizice de “deep learning” pe suporturi feroice și multiferoice (C. M. Teodorescu)	2.256.360	31 dec. 2026	Ținte: (1) Analiza posibilității emulării proceselor de “deep learning” pe substraturi fizice. (2) Realizarea primelor experimente; (3) Dezvoltarea procedurilor de captare, analiză și rescriere a matricilor de transfer. Indicatori: 2 documentații, 3 studii, 2 lucrări trimise, 2 produse informatice, 5 scheme, 4 procedee, 2 tehnologii, 25–50 formule, 2–6 metode, 10–20 obiecte fizice, 2 cereri de brevete de invenție.
3	01.25 – 12.26	F2.4.3. Metasuprafețe obținute prin fabricare aditivă pentru controlul reflexiei semnalelor de microunde. (G. Banciu, L. Nedelcu)	2.256.360	31 dec. 2026	Ținte: (1) Modelarea electromagnetică a metasuprafețelor de microunde; (2) Realizarea metasuprafețelor folosind fabricarea aditivă; (3) Studiul în camera anecoidă a metasuprafețelor de microunde.

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					Indicatori: 3 documentații, 3 studii, 4 scheme cu datele geometrice ale metasuprafețelor 4 procedee cu instrucțiuni informatice de printare (scripturi), 4 obiecte fizice, 1 lucrare trimisă, 1 cerere de brevet
4	01.25 – 12.26	F2.6.4. Nanostructuri magneto-logice bazate pe manipularea spinilor (B. Borca)	2.256.359	31 dec. 2026	Ținte: Obținerea de noi sisteme cu polarizare crescută de spin, obținerea de sisteme de investigare a gradului de polarizare de spin și utilizarea sistemelor cu polarizare de spin în obținerea de structuri necolineare de spin. Indicatori: 6 probe, 2 structuri spintronice cu polarizare înaltă de spin cu răspuns rapid sau cu configurații necolineare de spin și metodologii de obținere, 2 lucrări ISI
5	01.26 – 12.26	F2.7.3. Fabricarea și caracterizarea unor noi materiale compozite pe baza borurilor nemodificate și modificate. (P. Bădică)	2.256.359	31 dec. 2026	Ținte: Fabricarea de compozite pe baza de MBene cu incluziuni magnetice și nemagnetice pentru diverse aplicații

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					Indicatori: 2 produse tip compozit MBena / incluziuni magnetice, respective nemagnetice cu rețete de obtinere, 1 articol ISI, 1 cerere de brevet.
6	01.26 – 12.26	F2.8.3. Materiale și sisteme intermetalice magneto-funcționale sub formă de fire, filme subțiri și multistraturi (O. Crișan, V. Kuncser)	2.256.360	31 dec. 2026	Ținte: Fabricarea și investigarea de sisteme intermetalice magneto-funcționale conținând Bor (soft magnetice și supraconductoare) sub formă de fire, filme subțiri și multistraturi. Indicatori : 2 sisteme soft/hard magnetice și/sau supraconductoare optimizate și metodologii de obținere, 1 lucrare ISI, 1 cerere brevet.
7	01.26 – 12.26	F2.9.3. Structuri și dispozitive cu heterostructuri high k dielectric/semiconductor III-V. (C. C. Negrilă)	2.256.359	31 dec. 2026	Ținte: Obținerea unor dispozitive active pe bază de heterostructuri high k dielectric/ semiconductor III-V Indicatori: 2 documentații, 3 studii, 1 cerere de brevet de invenție, 3 scheme, 4 obiecte fizice (dispozitive), 1 tehnologie

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
8	01.26 – 12.26	F2.10.3. Demonstratori și caracterizare funcțională: senzori discreți (A. M. Lepădatu)	2.256.359	31 dec. 2026	<p>Ținte: Fabricarea de senzori discreți și caracterizarea funcțională - TRL4;  Fabricarea de matrici de senzori și caracterizarea funcțională - TRL3  Indicatori de rezultat: 2 produse (senzor cu parametri țintiți - TRL4; matrici de senzori - TRL3), 2 documentații, 1 lucrare trimisă la publicat, 1 cerere de brevet</p>
9	01.25 – 12.26	F2.11.3. Integrarea filmelor de nanocristale perovskitice în dispozitive de tip OLED și analiza parametrilor de funcționare. (S. Poloșan)	2.256.360	31 dec. 2026	<p>Ținte: (a) Măsurarea electroluminescenței și caracteristicilor curent-tensiune a OLED-urilor cu perovskiti. (b) Alinierea de benzi și determinarea mecanismelor de conducție electrică. (c) Dezvoltarea unor dispozitive de tip fotodetector bazate pe matrici de nanofire miez-coajă de CuO (miez) - TiO<sub>2</sub> (coajă),  Indicatori de rezultat:  - 12 produse de tip OLED și 10 produse de fotodetectori.</p>

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					- 3 schițe ale dispozitivelor OLED și fotodetectorilor. - 2 articole trimise către publicare.
10	01.26 – 12.26	F2.12.3. Caracterizarea modelelor experimentale de componente optoelectronice transparente pe bază de metasuprafețe și demonstrarea utilității în aplicații practice (C. Cotîrlan-Simioniuc)	2.256.360	31 dec. 2026	Ținte: (1) Evaluarea performanțelor și utilității modelelor experimentale de componente optoelectronice transparente cu metasuprafețe obținute; (2) Testarea completă a componentelor optoelectronice transparente cu metasuprafețe: biosenzor plasmonic, heterojuncțiune pentru focalizarea radiațiilor în celulele solare tandem, modulator tip fototranzistor unijuncțiune cu metasuprafață integrată. Indicatori: 3 produse (modele experimentale), 6 metode de testare, 6 scheme, o lucrare de sinteză, 3 cereri de brevet (drepturi din brevete de invenție).
SUBTOTAL anul 2026			22.563.596		11 documentații 11 studii

Nr. crt.	Luna începere/luna finalizare	Denumire fază	Valoare - lei -	Termen de predare	Ținte și indicatori de realizare
					50 formule 22 scheme 20 procedee / rețete / metode 37 obiecte 34 produse 2 produse informatice 3 tehnologii 11 cereri de brevet 12 lucrări trimise
		TOTAL GENERAL	90.254.384		44 documentații 105 studii 385 formule 57 scheme 4 planuri 83 procedee / rețete / metode 166 obiecte 50 produse 16 produse informatice 14 tehnologii 19 cereri de brevet 46 articole trimise

**BUGETUL PROIECTULUI COMPONENT (DEVIZ CADRU)**

Categoriile de cheltuieli	Costuri estimative (lei)				
	Anul 2023	Anul 2024	Anul 2025	Anul 2026	TOTAL pe categorii de cheltuieli
1	2	3	4	5	6=2+3+4+5
Cheltuieli salariale (cu încadrare în plafoanele din Anexa III.1) și asimilate acestora; contribuții	9.808.975	9.808.975	9.808.975	9.808.975	39.235.900
Cheltuielile cu deplasările	216.608	216.608	216.608	216.608	866.432
Cheltuielile cu materialele, materiile prime și obiectele de inventar	902.533	902.533	902.533	902.533	3.610.128
Cheltuieli cu serviciile (prevăzute în Hotărârea Guvernului 134/2011)	270.760	270.760	270.760	270.760	1.083.040
Cheltuieli de capital	2.075.826	2.075.826	2.075.826	2.075.826	8.303.304
Cheltuieli indirecte (valoare estimată pentru acoperirea cheltuielilor indirecte – reprezentând maxim 43% din total buget proiect, echivalent 85% din cheltuieli directe)	9.288.895	9.288.895	9.288.895	9.288.895	37.155.580
<b>Buget anual</b>	<b>22.563.596</b>	<b>22.563.596</b>	<b>22.563.596</b>	<b>22.563.596</b>	<b>90.254.384</b>

*\*Sunt permise realocări fata de baza de calcul, conform Anexei II, in limita a maxim 15% intre categoriile de cheltuieli, fără a se depăși procentul de 43% din total buget proiect la cheltuielile indirecte.*