

Contractor: Institutul Național de Cercetare–Dezvoltare
pentru Fizică Tehnică - IFT Iași
Cod fiscal: RO 5640892

RAPORT ANUAL DE ACTIVITATE privind desfășurarea programului nucleu

*(Magnetism, materiale magnetice și aplicații, acronim - MAGNA2022, cod: PN 19 28)
anul 2020*

Durata programului: 4 ani

Data începerii: Februarie 2019

Data finalizării: 2022

1. Scopul programului:

Scopul programului-nucleu MAGNA2022 este dezvoltarea în cadrul INCDFT-IFT Iași a unor noi activități de cercetare fundamentală și aplicativă de vârf în domeniul magnetismului, materialelor magnetice și aplicațiilor acestora, competitive la nivel internațional. Programul propus va permite dezvoltarea de cercetări avansate în domeniul materialelor magnetice nanocompozite și nanodimensionate, cu caracteristici superioare, pentru utilizarea acestora în diferite aplicații în inginerie și medicină. Se vor evidenția și dezvolta noi procese fizice de bază în materialele magnetice, în domeniul nanotehnologiilor și a controlului nedistructiv, în realizarea de microsenzori și sisteme inteligente de senzori, micro- și nanodispozitive.

Programul-nucleu MAGNA2022 conține 2 proiecte, ale celor 2 departamente/laboratoare de cercetare existente la INCDFT-IFT Iași, care răspund unui obiectiv general comun, și anume: Fizica Proceselor și Materialelor Magnetice. Aceste proiecte dezvoltă direcții de cercetare de perspectivă în domeniul magnetismului, materialelor magnetice și aplicațiilor acestora în realizarea de senzori și sisteme de senzori pentru medicină, microelectronică, IT, telecomunicații, securitate, industria auto sau aeronautică. Cercetările propuse vor conduce la implementarea unor noi tehnici de caracterizare a nanomaterialelor și materialelor nanostructurate, la dezvoltarea de noi nanotehnologii aplicabile nu numai materialelor magnetice dar și altor tipuri de materiale, fapt care deschide o nouă arie de activități mulți- și interdisciplinare cu importante colaborări în diferite domenii ale științei și tehnicii. Rezultatele obținute din derularea activităților de cercetare din cadrul acestui program vor permite identificarea și abordarea unor noi direcții de cercetare în vederea aplicării cu propuneri de proiecte noi în programul PN III și viitorul program național de CDI, în programele ORIZONT 2020 și HORIZON EUROPE ale Uniunii Europene, în alte programe internaționale.

2. Modul de derulare al programului:

2.1. Descrierea activităților:

Activitățile de cercetare științifică dezvoltate în anul 2020 în **Programul Nucleu MAGNA2022 - cod PN 19 28, Obiectiv 1 - Fizica Proceselor și Materialelor Magnetice**, au fost derulate în cadrul a **2 proiecte**, și anume: proiectul **PN 19 28 01 01** care a cuprins **5 faze de execuție** și proiectul **PN 19 28 01 02** care a cuprins **2 faze de execuție**. Tematicile fazelor de execuție derulate în anul 2020 au constat din activități de cercetare independente. Alocarea sumelor pe cele 2 proiecte componente s-a făcut în funcție de veniturile obținute de fiecare departament/laborator de cercetare în anul precedent, o procedură în vigoare la INCDFT-IFT Iași de la începutul derulării Programelor-nucleu și asumată de către toți șefii de compartimente/laboratoare.

În continuare sunt prezentate activitățile de cercetare dezvoltate în anul 2020 în cadrul celor **7 faze de execuție**.

PROIECT PN 19 28 01 01: Noi materiale magnetice inteligente pentru dezvoltarea de aplicații high-tech.

Activitățile de cercetare derulate în anul 2020 în cadrul proiectului **PN 19 28 01 01** au urmărit dezvoltarea următoarelor 5 tematici:

- **Faza nr. 7 / 2020: Stabilirea parametrilor de monitorizat în cadrul structurilor critice, a domeniilor de măsură și identificarea tipurilor de materiale magnetice cu potențial pentru dezvoltarea senzorilor magneto-mecanici specifici. Prepararea și caracterizarea fizică a materialelor pentru senzori.**

Activitățile de cercetare derulate în cadrul acestei faze s-au axat pe realizarea unui **studiu amplu** în vederea stabilirii parametrilor de monitorizat (deplasări, deformări/tensiuni mecanice, vibrații/înclinații), specifici infrastructurilor critice, identificarea materialelor magnetice cu potențial pentru dezvoltarea unor tipuri de senzori magneto-mecanici specifici parametrilor de monitorizat și evaluarea posibilității utilizării acestor tipuri de senzori magneto-mecanici pentru evaluarea parametrilor de monitorizat. **Parametrii de monitorizat** - prin care poate fi evaluată starea de integritate dimensională și funcțională a unui element de infrastructură critică (clădiri de interes strategic; structuri ingineresti - poduri, viaducte, tunele, baraje, rețele de alimentare și comunicații, turnuri, etc), vor fi reprezentați de un set de mărimi mecanice - deformări, înclinații, vibrații, deplasări liniare și unghiulare de valori foarte mici, forțe și tensiuni mecanice, fisuri, etc. Ținând cont de parametrii de monitorizat, au fost selectați o serie de senzori magneto-mecanici care conțin fire magnetice amorfe și/sau nanocristaline cu rol de elemente sensibile la parametrii de monitorizat, și anume:

1. **senzori magneto-mecanici** ce funcționează pe baza efectului magneto-inductiv pentru detecția/măsurarea simplă și/sau diferențială a deplasărilor (Fig. 1);
2. **senzori de forță** realizați prin adăugarea unui resort în cazul senzorilor de deplasare, astfel încât să se creeze o forță opusă la intrarea/ieșirea firului din bobină;
3. **senzori realizați pe baza modificării magneto-impedanței unui fir magnetic** atunci când acesta este supus la tensiuni mecanice (stress-impedance) (Fig. 2), ca **mărci tensometrice** cu fire amorfe/nanocristaline (Fig. 3), sau ca **senzori lungi pentru detecția unor deformări mecanice de încovoiere** (Fig. 4);
4. **senzori pentru detecția/măsurarea gradului de înclinare și a vibrațiilor**, realizați pe baza senzorilor de tensiuni mecanice/deplasări, prin atașarea unor mase inerțiale care să producă modificarea tensiunilor mecanice sau să producă deplasări relative ale miezului magnetic (realizat din fir amorf/nanocristalin) în interiorul unei bobine de detecție.

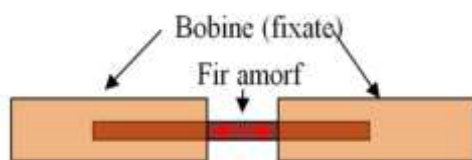


Fig. 1. Sensor de deplasare magneto-inductiv diferențial.

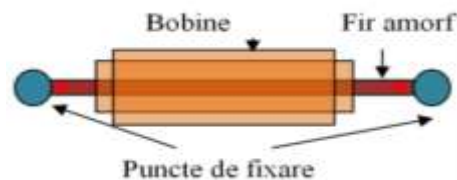


Fig. 2. Sensor magneto-inductiv de tensiune mecanică.

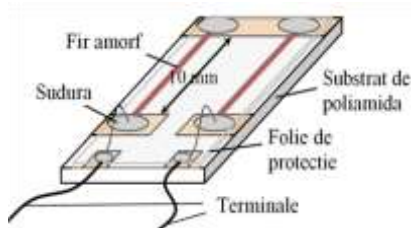


Fig. 3. Schema de principiu a mărcii tensometrice cu fir amorf.

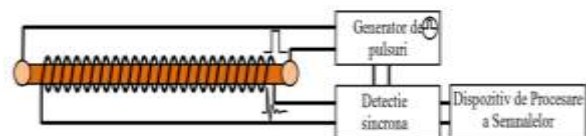


Fig. 4. Sensor de încovoiere.

În cadrul acestei faze au fost preparate și caracterizate magnetic eșantioane sub formă de microfibre magnetice amorfe și nanocristaline, cu compozițiile $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ și, respectiv, $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$, care au fost apoi testate din punct de vedere al sensibilității lor la acțiunea unor tensiuni mecanice. Condițiile în care au fost aplicate tensiunile mecanice de întindere asupra firelor magnetice, modificările survenite în distribuția de tensiuni interne, respectiv în privința direcțiilor axelor de anizotropie magnetică și a structurii magnetice corespunzătoare, pot fi asociate cu un efect al magneto-impedanței, sensibil ca răspuns și important ca mărime. Măsurătorile de magneto-impedanță efectuate pe aceste fire magnetice au arătat că răspunsul în magneto-impedanță al firelor amorfe cu compoziția $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ este mult mai puternic, mai ales în prezența unor tensiuni mecanice aplicate, comparativ cu cel al firelor nanocristaline $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$, datorită caracteristicilor magnetice specifice firelor amorfe cu magnetostricțiune aproape nulă (pe bază de Co-Fe) în comparație cu cele nanocristaline (pe bază de Fe), și mai ales din cauza structurii de domenii magnetice ideale pentru apariția unui efect de magneto-impedanță sensibil. În Fig. 5 este prezentată dependența variației relative a magneto-impedanței unor fire amorfe cu compoziția $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ și diferite diametre, de tensiunea mecanică de întindere, la frecvența de 50 MHz a curentului alternativ trecut prin probă. Se constată că variația relativă a magneto-impedanței a avut cele mai mari valori în cazul firului amorf $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ cu diametrul de aproximativ 100 μm .

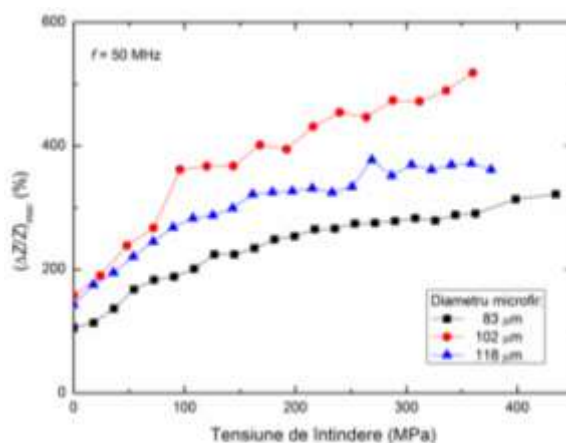


Fig. 5. Dependenta variației relative a magneto-impedanței unor fire amorfe, cu compoziția nominală $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ și diferite diametre, de tensiunea mecanică de întindere, la frecvența de 50 MHz.

Firele magnetice amorfe $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ prezintă, de asemenea, o versatilitate deosebită relativ la calibrarea lor în funcție de domeniile de variație ale parametrilor-cheie, domenii impuse de specificațiile concrete și particularitățile fiecărei infrastructuri critice de monitorizat (pod, viaduct, tunel, baraj, conductă magistrală, rețea de alimentare, de comunicații, turn, etc).

Studiile realizate în cadrul acestei faze au permis selectarea materialelor optime care vor fi utilizate ca element sensibil pentru monitorizarea infrastructurilor critice, cea mai potrivită opțiune fiind firele amorfe cu compoziția $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ și diametre în jur de 100 μm . Aceste microfibre amorfe vor fi utilizate pentru realizarea tipurilor de senzori selectați (v. figurile 1-4), în vederea obținerii unui răspuns optim ca sensibilitate în cazul unor deformații de ordinul celor care urmează să fie detectate în cadrul infrastructurilor critice.

- **Faza nr. 8 / 2020: Procese de magnetizare în particule magnetice de tip FeCrNbB obținute prin măcinare mecanică.**

Activitățile de cercetare dezvoltate în cadrul acestei faze au urmărit realizarea unui studiu complex axat pe interacțiunile de natură magnetică dintre ansamblurile de particule cu compozițiile nominale $\text{Fe}_{79,7-x}\text{Cr}_x\text{Nb}_{0,3}\text{B}_{20}$ ($x = 11,5 \div 13$ at.%), preparate prin măcinarea mecanică a benzilor amorfe precursorare. Acest studiu a evidențiat principalele mecanisme ale comportării magnetice a acestor tipuri de particule, rolul

dimensiunilor și formei particulelor, precum și influența procedurii specifice de măcinare asupra naturii acestor mecanisme. Benzile amorfe precursorare obținute prin răcire rapidă din topitură au fost tratate termic în vid la temperaturi cuprinse între 250 și 450°C, apoi au fost măcinate într-o moară de energie înaltă, în incinte din oțel durificat, raportul *bile de oțel:material* fiind de 50:1. Măcinarea s-a făcut în diferite medii: (a) măcinare uscată (i) în aer, (ii) în Argon (Ar) și/sau Helium (He) și (b) măcinare umedă (iii) în apă distilată și (iv) în acid oleic ca surfactant și n-heptan ca solvent. Timpii de măcinare au fost între 1 și 90 h. S-a urmărit obținerea de micro și nanoparticule cu dimensiuni controlabile și cu diferite forme (de exemplu: plană, paralelipipedică sau cilindrică). În Fig. 6 este prezentată dependența dimensiunilor particulelor de $Fe_{79,7-x}Cr_xNb_{0,3}B_{20}$ de condițiile de măcinare. Măcinarea uscată are ca rezultat descreșterea rapidă a dimensiunilor pulberilor și creșterea temperaturii Curie (T_c), din cauza creșterii volumului de α -Fe. Prin măcinare umedă în apă se obțin pulberi cu caracteristici magnetice bune. După 6 h de măcinare se dezvoltă faza α -Fe. Pulberile $Fe_{79,7-x}Cr_xNb_{0,3}B_{20}$ au o comportare superferomagnetică, determinată de formarea clusterelor de Fe și Cr la nivel nanometric (1÷3 nm). T_c a acestor pulberi variază între 15 și 50°C, în funcție de variația conținutului de Cr între 11,5 și 13 at.%, de condițiile de măcinare, de dimensiunile pulberilor și de microstructura acestora. În Fig. 7 este prezentată variația temperaturii Curie funcție de conținutul de Cr. Prin creșterea conținutului de Cr din pulberi, T_c^{sistem} scade. În același timp, s-a constatat că temperatura Curie a clusterelor, $T_c^{cluster}$, descrește cu descreșterea conținutului de Fe, indicând că interacțiunea dintre atomii de Fe în cluster este mult redusă.

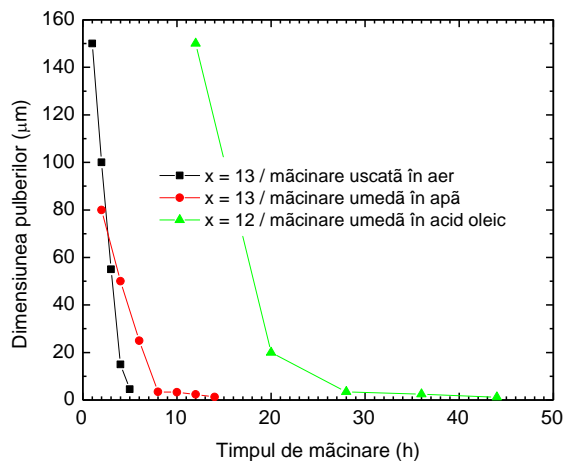


Fig. 6. Dependenta dimensiunilor particulelor $Fe_{79,7-x}Cr_xNb_{0,3}B_{20}$ de conditiile de macinare.

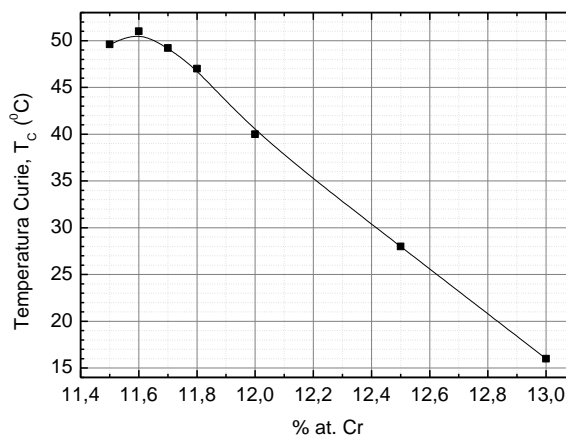


Fig. 7. Variatia T_c în funcție de conținutul de Cr în pulberile amorfe $Fe_{79,7-x}Cr_xNb_{0,3}B_{20}$

Structura pulberilor este amorfă, indiferent de conținutul de Cr. Faza amorfă conține nanoclusteri de Fe și Cr, formați prin segregare, cu dimensiuni care variază odată cu creșterea conținutului de Cr de la 1 nm la 2÷3 nm. Această creștere a dimensiunilor clusterilor are o puternică influență asupra proprietăților magnetice ale acestora.

Comportarea magnetică a sistemului ternar este influențată de conținutul de Cr (care este antiferomagnetic), iar valoarea T_c^{sistem} a sistemului de clusteri este influențată de intensitatea interacțiunilor magnetice dintre clusteri, care este mult mai puternică pentru un conținut de Cr de aproximativ 11,5 at.%. În acest caz, pulberile au un comportament feromagnetic la temperaturi sub 250 K, fapt confirmat și de curbele ZFC-FC, care indică temperaturi de blocare, T_b , în jurul valorii de 250 K. Prezența Nb în componența pulberilor descrește T_c . Borul, prin aliere cu Fe, crește magnetizația fazei amorfe. Când conținutul de Cr crește, T_c scade, deoarece în structura amorfă clusterii de Fe și Cr sunt mult mai omogen distribuiți. Pentru studiul comportamentului magnetic al pulberilor s-a utilizat modelul superferomagnetic, care ia în calcul, pe lângă variațiile cauzate de temperatură, și interacțiunile dintre clusteri. În Fig. 8 sunt prezentate curbele $M(T,H)/f(T/T_c^{cluster})$ versus $[f(T/T_c^{cluster})(H+\alpha M)]/T$. Se poate observa că fitarea este aproape perfectă în intervalul de temperaturi cuprins între 300 și 350 K.

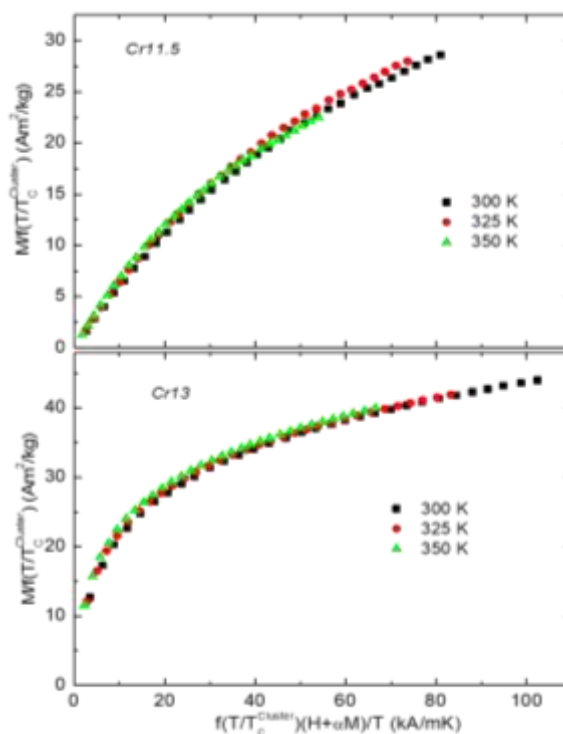


Fig. 8. Curbele $M(T,H)/f(T/TC_{cluster})$ versus $[f(T/TC_{cluster})(H+\alpha M)]/T$ pentru pulberi $Fe_{68,2}Cr_{11,5}Nb_{0,3}B_{20}$ și $Fe_{66,7}Cr_{13}Nb_{0,3}B_{20}$.

Din datele expuse, rezultă că microstructura și condițiile de măcinare au influență asupra comportării magnetice macroscopice a pulberilor de tip Fe-Cr-Nb-B, atât prin mecanismele intrinseci, cât și prin dimensiunile și forma pulberilor. Prin înțelegerea acestor mecanisme se vor optimiza caracteristicile macroscopice ale pulberilor Fe-Cr-Nb-B cu temperaturi Curie reduse, în vederea utilizării cu succes a acestora în aplicații medicale și în inginerie.

- **Faza nr. 10 / 2020 (divizată în Faza nr. 10 – finanțată în Etapa a II-a și Faza nr. 15 – care va fi finanțată în anul 2021, din cauza fondurilor insuficiente în Etapa a II-a): Studiul posibilității de realizare a senzorilor magnetorezistivi, pentru detecția de particule magnetice.**

Activitățile de cercetare derulate în cadrul acestei faze au urmărit realizarea a unui model de senzor magnetorezistiv, capabil să detecteze în timp real particule magnetice. Dintre dispozitivele magnetorezistive utilizate în biomedicină, cele care se bazează pe efectul de magnetorezistență gigant (GMR) și de tunelare magnetică (TMR) s-au dovedit a fi superioare altor tipuri de dispozitive magnetorezistive. A fost realizat un senzor magnetorezistiv bazat pe fenomenul de magnetorezistență de tunelare magnetică (TMR), care prezintă sensibilitate ridicată de detecție și este capabil să detecteze particule magnetice în timp real, cu aplicabilitate în detecția particulelor magnetice din țesuturi în hipertermia magnetică. Pentru ca structurile TMR, formate dintr-o succesiune multistrat de straturi subțiri simple preparate prin tehnici de depunere în vid, să poată fi folosite în aplicații de detecție, este necesar ca stratul feromagnetic fix să aibă o structură stabilă, astfel încât să nu fie influențat de câmpul magnetic extern. Pentru a îndeplini această cerință, stratul feromagnetic fix a fost înlocuit cu o structură sintetică antiferomagnetică (SAF), formată din două straturi feromagnetice separate printr-un strat foarte subțire de Ru care să asigure cuplajul de schimb antiferomagnetic. În vederea obținerii unei structuri magnetorezistive de tip TMR, care să prezinte o valoare mare a magnetorezistenței și respectiv o sensibilitate ridicată, au fost optimizate grosimile straturilor componente astfel încât configurația finală este următoarea:

Ta(5nm)/Ru(20nm)/Ta(5nm)/CoFe(3nm)/IrMn(20nm)/CoFe(2.5nm)/Ru(0.85nm)/CoFeB(3nm)/
MgO(1.8nm)/CoFeB(3nm)Ta(10nm),

valorile în nm dintre paranteze reprezentând grosimea fiecărui strat. Această configurație, care reprezintă elementul de detecție, este o structură cu un raport de aspect redus, având forma de „pillar” cilindric cu diametrul de 4 μm, dimensiunea totală a dispozitivului (senzor și contacte) fiind de 400x250 μm². Procesul de microfabricare a senzorului de tip „pillar”, a constat din următoarele etape:

- 1) definirea structurii magnetorezistive cu dimensiuni de 40x80 μm² prin litografiere cu fascicul de electroni și corodare cu fascicul de ioni (Fig. 9 (a));
- 2) definirea elementului de detecție sub formă de „pillar” (d = 4 μm) și a contactelor electrice prin litografiere cu fascicul de electroni și corodare cu fascicul de ioni (Fig. 9 (b));
- 3) izolarea elementului de detecție prin litografiere cu fascicul laser și formarea unui strat izolator de SiO₂, cu o grosime de 60 nm, prin depunere în vid (Fig. 9 (c));
- 4) definirea contactelor electrice prin litografiere cu fascicul laser și formarea unui strat de Cu cu grosimea de 200 nm prin depunere în vid. Pentru măsurători s-a folosit configurația CPP (“current perpendicular to plane”), care constă în trecerea curentului electric, perpendicular pe planul straturilor subțiri, contactele electrice fiind realizate cu o geometrie de tip ghid de undă coplanar (ground-signal-ground) Fig. 9 (d) și 9 (g)).

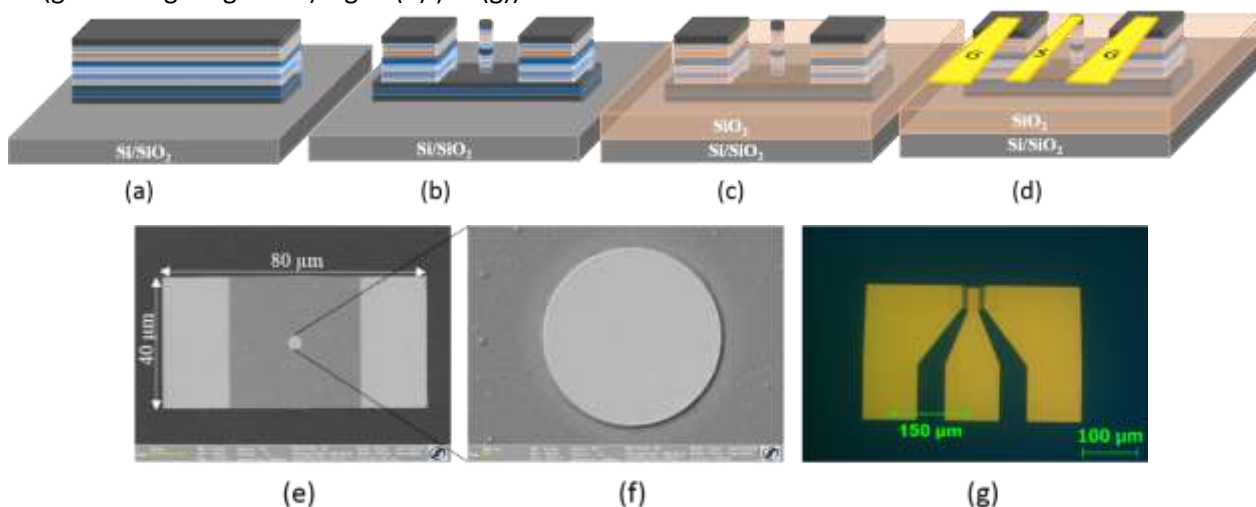


Fig. 9. (a-d) Etapele de microfabricare a senzorului magnetorezistiv; (e) imaginea SEM a structurii magnetorezistive (40x80 μm²); (f) elementul de detecție sub formă de „pillar”; (g) omaginea de microscopie optică a dispozitivului.

Experimentele realizate au pus în evidență o relație de dependență între tensiunea electrică de ieșire a senzorului și concentrația particulelor magnetice.

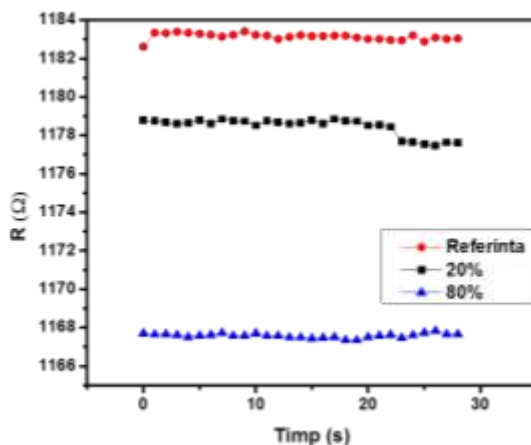


Fig. 10. Variația în timp a rezistenței electrice a senzorului pentru concentrații diferite de particule magnetice.

În Fig. 10 este prezentată variația în timp a rezistenței electrice a senzorului pentru concentrații diferite de particule magnetice. S-a constatat că valorile rezistențelor electrice rămân constante în timp, ceea ce indică o stabilitate foarte bună, în timp, a senzorului. Din analiza limitelor de detecție ale senzorului, s-a demonstrat că acesta are capacitatea de a detecta în timp real concentrații diferite de particule magnetice, obținându-se diferențe de tensiune la apropierea și îndepărtarea particulelor magnetice de zona senzorului. Acest fapt demonstrează că senzorul magnetorezistiv de tip “pillar” poate fi utilizat pentru detecția de particule magnetice.

- **Faza nr. 11 / 2020 (divizată în Faza nr. 11 – finanțată în Etapa I și Faza nr. 14 – finanțată în Etapa a II-a, din cauza fondurilor insuficiente în Etapa I): Microsenzori magnetici pentru măsurarea câmpurilor magnetice de intensitate redusă, utilizând fire magnetice amorfe și/sau nanocristaline torsionate și curent de excitație aplicat direct prin firul magnetic - Partea I.**

Activitățile de cercetare derulate în cadrul acestei faze s-au axat pe realizarea unui senzor nou, de tip fluxgate, cu miez magnetic din fir amorf sau nanocristalin torsionat, curentul de excitație fiind aplicat direct prin firul magnetic bistabil. Aplicarea curentului de excitație direct prin microfirul magnetic acoperit cu sticlă este o metodă nouă propusă de un colectiv de cercetare de la IFT Iași (**Corodeanu S., Damian A.; Lupu N.; Óvári T.-A., Field and Current Controlled Domain Wall propagation in Twisted Glass - Coated Magnetic Microwires, Scientific Reports 9 (2019) 5868**), pentru inversarea magnetizării axiale. Senzorul fluxgate constă dintr-un fir amorf având compoziția $Fe_{77,5}Si_{7,5}B_{15}$, lungimea activă (fără contacte) de 12 mm, diametrul de 20 μm și grosimea învelișului de sticlă de 11 μm . Firul magnetic amorf cu înveliș de sticlă a fost obținut prin tehnica tragerii aliajului topit în capilar de sticlă. Dispozitivul pentru detecția de câmpuri magnetice de intensitate redusă constă dintr-un senzor fluxgate, o bobină formată din 300 spire care înconjoară firul amorf și un modul electronic pentru generarea curentului de excitație, analiza tensiunii de ieșire și afișarea pe un display a parametrilor tehnici de interes. În Fig. 11 sunt prezentate fotografiile ale senzorului fluxgate, inclusiv ale ecranului de afișare, precum și ale cablajului imprimat utilizat pentru realizarea modului electronic.

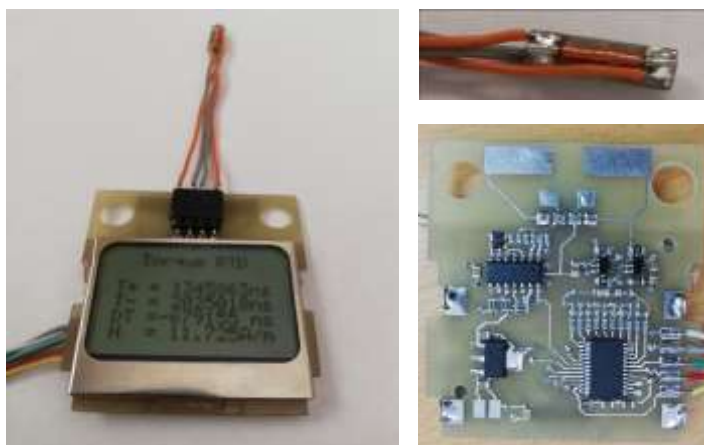


Fig. 11. Fotografii ale dispozitivului pentru detecția câmpurilor magnetice de intensitate redusă, precum și ale cablajului imprimat utilizat pentru realizarea modului electronic.

Partea electronică a senzorului a fost realizată utilizând un microcontroller care generează semnalul de excitație a senzorului și măsoară diferența de timp între vârfurile de tensiune induse. Semnalul obținut de pe senzor, reprezentat practic de niște salturi de tensiune înguste, succesiv pozitive și negative, este centrat pe jumătatea tensiunii de alimentare și procesat cu ajutorul unor amplificatoare operaționale. Inițial semnalul este redresat cu ajutorul unui amplificator operațional în configurație redresor de precizie, care face ca toate picurile să devină pozitive. Mai departe, semnalul, cu minimul 0 V, este amplificat puternic, până se obține saturația, iar microcontrolerul măsoară diferențele de timp dintre ultimele trei picuri succesive. Etalonarea senzorului fluxgate a fost realizată utilizând un solenoid calibrat, înregistrând și comparând valorile câmpului magnetic generat cu cele ale diferențelor de timp $\Delta T = T^+ - T^-$. În Fig. 12 este prezentat graficul de calibrare a senzorului de tip fluxgate RTD, având ca element activ un fir magnetic

amorf acoperit cu sticlă cu compoziția nominală $Fe_{77,5}Si_{7,5}B_{15}$, diametrul miezului metalic fiind de circa 20 μm , iar grosimea învelișului de sticlă de 11 μm . Firul magnetic amorf testat a avut lungimea de aproximativ 12 mm și i-a fost aplicată o torsiune (înainte de lipire) de aproximativ 160 rad/m. Constanta de etalonare stabilită a avut valoarea $K = 17,264 (A/m) / ms$. În cadrul testelor realizate a fost utilizat un curent de excitație cu amplitudinea de 100 mA la frecvența de 300 Hz, generat pentru 2,5 perioade, urmat de o pauză de 500 ms pentru a permite disiparea căldurii din fir (generată în timpul aplicării curentului).

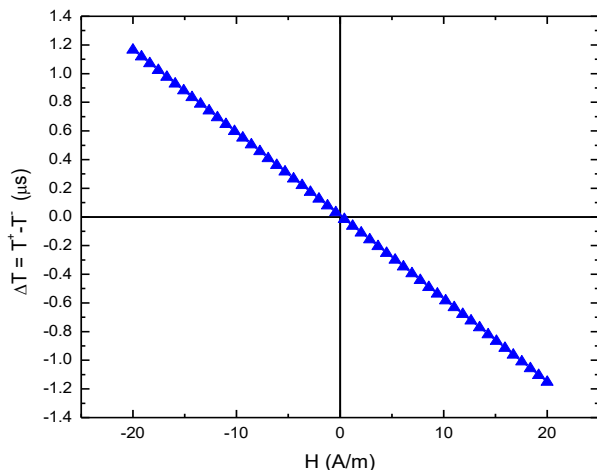


Fig. 12. Graficul de calibrare a senzorului de tip fluxgate RTD, având ca element activ un fir magnetic amorf acoperit cu sticlă.

În vederea scăderii curentului de excitație și, implicit, pentru îmbunătățirea performanțelor senzorului, în faza următoare (Faza nr. 14) au fost analizate diferite tipuri de fire magnetice amorfe și/sau nanocristaline torsionate, având diferite compoziții și dimensiuni. Firele cu caracteristici tehnice optime, specifice senzorului fluxgate, au fost utilizate ca miezuri magnetice - partea sensibilă a senzorului.

- **Faza nr. 14 / 2020: Microsenzori magnetici pentru măsurarea câmpurilor magnetice cu intensitate redusă, utilizând fire magnetice amorfe și/sau nanocristaline torsionate și curent de excitație aplicat direct prin firul magnetic - Partea a II-a.**

În cadrul acestei faze s-a studiat influența proprietăților magnetice ale miezului magnetic asupra caracteristicilor noului senzor magnetic de tip fluxgate, cu miez magnetic din fir amorf sau nanocristalin torsionat și curent de excitație aplicat direct prin firul magnetic. Acest studiu a urmărit îmbunătățirea caracteristicilor tehnice ale senzorului magnetic în vederea utilizării pentru detecția câmpurilor magnetice de intensitate redusă. Noul tip de senzor se bazează pe capacitatea unui fir metalic cu comportament magnetic bistabil de inversare a magnetizării axiale la aplicarea unui curent direct prin acest fir, atunci când firul este torsionat. În cadrul acestei faze s-a analizat influența materialului și a principalilor parametri de care depinde funcționarea senzorului, asupra sensibilității la câmpul magnetic și a domeniului de măsură. Au fost analizate fire acoperite cu sticlă cu diametrele de 10, 20 și 30 μm și grosimi ale stratului de sticlă de 6 și 15 μm și 3 compoziții diferite:

- (1) fir amorf $Fe_{77,5}Si_{7,5}B_{15}$ cu magnetostricțiune pozitivă, $\lambda \cong 25 \times 10^{-6}$;
- (2) fir amorf $Co_{68,18}Fe_{4,32}Si_{12,5}B_{15}$ cu magnetostricțiune aproape zero, $\lambda \cong -1 \times 10^{-7}$, și
- (3) fir nanocristalin $Fe_{73,5}Si_{13,5}B_9Cu_1Nb_3$ (FINEMET) cu magnetostricțiune pozitivă mică, $\lambda \cong 2.1 \times 10^{-6}$.

În stare as-cast, firele 1 și 3 au comportament bistabil, comportament păstrat de firul 3 odată cu reducerea la jumătate a câmpului de comutare după tratamentul termic de nanocristalizare la 550°C, timp de 1 h. Firul 2, în stare as-cast nu are comportament bistabil. Pentru inducerea comportamentului magnetic bistabil, acest fir a fost tratat termic la temperatura de 300°C, timp de 1 h. Comparativ cu valorile câmpurilor de comutare pentru firele $Fe_{77,5}Si_{7,5}B_{15}$, de 151 A/m și pentru firele $Fe_{73,5}Si_{13,5}B_9Cu_1Nb_3$, de 54 A/m, firele $Co_{68,18}Fe_{4,32}Si_{12,5}B_{15}$ au un câmp de comutare mic, de 30 A/m. Se așteaptă ca firele care comută la valori mai mici să conducă la o creștere a sensibilității senzorului fluxgate RTD care utilizează aceste fire ca ca miez magnetic. Pentru a studia acest aspect, a fost realizat un dispozitiv de fixare al elementului sensibil și a bobinei de culegere (Fig. 13), cu ajutorul căruia s-au realizat măsurători ale

semnalului de ieșire al senzorului (ΔT), în funcție de câmpul magnetic axial extern, pentru diferite valori ale torsiunii aplicate și ale curentului aplicat direct prin fir.



Fig. 13. Fotografia părții sensibile a senzorului utilizat în experimente de modificare a unghiului de torsiune.

În Fig. 14 sunt prezentate curbele de calibrare (transfer) obținute utilizând ca miez un fir $\text{Co}_{68,18}\text{Fe}_{4,32}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ tratat termic la 300°C timp de 1 h, având diametrul miezului metalic de $20\ \mu\text{m}$ și grosimea învelișului de sticlă de $6\ \mu\text{m}$, pentru diferite valori ale amplitudinii curentului de excitație.

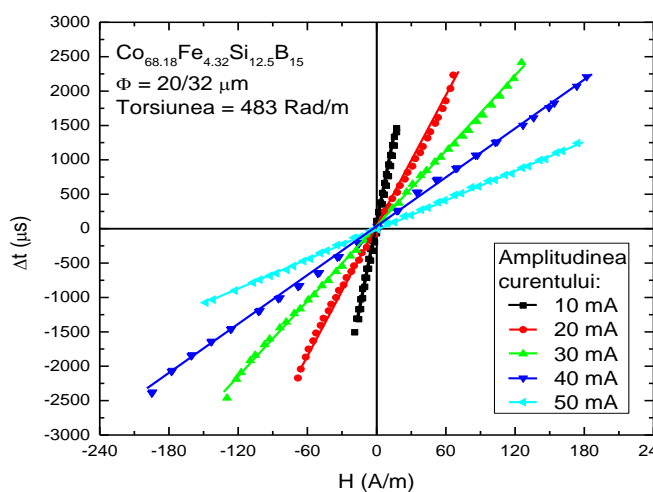


Fig. 14. Curbele de calibrare (transfer) obținute utilizând ca miez un fir de tip $\text{Co}_{68,18}\text{Fe}_{4,32}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ tratat termic la 300°C – 1 h, pentru diferite valori ale amplitudinii curentului de excitație.

Din Fig. 14 se constată o extindere a domeniului de măsură odată cu creșterea amplitudinii curentului aplicat prin firul magnetic până la valori ale acestuia de 40 mA. La valori ≥ 50 mA, domeniul de măsură se reduce pronunțat datorită faptului că picurile de tensiune sunt slab definite, au amplitudine redusă, și nu mai pot fi distinse cu ușurință de sistemul electronic de detecție. Din curbele de calibrare pentru fire cu trei compoziții diferite, tratate termic, păstrând același unghi de torsiune ($468\ \text{Rad/m}$) a firelor și același curent de excitație (30 mA) s-a constatat că, pentru firele $\text{Co}_{68,18}\text{Fe}_{4,32}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ domeniul de măsură este liniar și mult mai extins, comparativ cu firele având compozițiile, $\text{Fe}_{77,5}\text{Si}_{7,5}\text{B}_{15}$ și $\text{Fe}_{73,5}\text{Si}_{13,5}\text{B}_9\text{Cu}_1\text{Nb}_3$. Aceste două tipuri de fire prezintă diferite inconveniente, și anume: curba de transfer pentru firele $\text{Fe}_{77,5}\text{Si}_{7,5}\text{B}_{15}$ prezintă zgomot ridicat și nu este liniară, iar în cazul firelor $\text{Fe}_{73,5}\text{Si}_{13,5}\text{B}_9\text{Cu}_1\text{Nb}_3$, funcția de transfer nu este de asemenea liniară.

Influența gradului de torsiune asupra funcției de transfer a senzorului fluxgate este relativ redusă în cazul firelor de tip $\text{Co}_{68,18}\text{Fe}_{4,32}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$. Astfel, pentru firele cu $D_m = 30\ \mu\text{m}$ și lungimi de 6,5 mm au fost obținute valori similare ale sensibilității, pentru torsiuni între $120\ \text{Rad/m}$ (rotație de 45°) și $483\ \text{Rad/m}$ (rotație de 180°). Pentru valori mai mari ale torsiunii s-a constatat o scădere accentuată a sensibilității la câmpul magnetic, cel mai probabil datorită creșterii puternice a tensiunilor mecanice induse în fir.

Realizând acest studiu, au fost aduse îmbunătățiri semnificative senzorului magnetic de tip fluxgate RTD, în sensul că prin optimizarea miezului magnetic din fir $\text{Co}_{68,18}\text{Fe}_{4,32}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$, folosit ca element sensibil, a fost extins domeniul de măsură de la $20\ \text{A/m}$ la $200\ \text{A/m}$ și a fost redusă valoarea intensității curentului electric necesar stimulării miezului magnetic, de la $100\ \text{mA}$ la $30\ \text{mA}$, ceea ce face ca senzorul să poată măsura continuu și cu un consum redus de energie.

Proiect PN 19 28 01 02: Fenomene și procese fizice în materiale electromagnetice multifuncționale realizate prin suprapunerea de substraturi de metamateriale mecanice pentru construcția de senzori cu aplicații în monitorizarea structurilor complexe.

Activitățile de cercetare dezvoltate în anul 2020 în cadrul proiectului PN 19 28 01 02 s-au axat pe următoarele 2 tematici:

• **Faza nr. 3 / 2020: Interacțiunea microstructurilor electromagnetice și mecanice**

Activitățile dezvoltate în cadrul acestei faze s-au axat pe studiul interacțiunii microstructurilor electromagnetice și mecanice. Ca rezultat, a fost realizat un model fizic pentru studiul efectului câmpului local în metamateriale multifuncționale, datorat interacțiunii microstructurilor electromagnetice și mecanice, cu scopul reducerii pierderilor. Pentru realizarea acestui obiectiv au fost realizate următoarele acțiuni specifice:

- 1) A fost studiat un metamaterial (MM) electromagnetic (EM), reconfigurabil în funcție de frecvență, acționat mecanic. Celula unitate (CU) a MM a fost proiectată pentru a exploata rezonanța LC din cuplarea inductivă și capacitivă.
- 2) s-a utilizat baza de date de forme geometrice care definesc mișcările flexurale și torsionale pentru care s-a analizat cuplajul CU constituent și care asigură un coeficient Poisson negativ. S-a evaluat o metodă de reglare mecanică care schimbă frecvența de rezonanță prin schimbarea grosimii generale a CU a MM. A fost proiectată structura bazată pe CU a cărui comportament auxetic rezultat a fost analizat analitic și simulat pentru o încărcare după o singură direcție a structurii. S-a optat pentru o geometrie tip fagure, cu CU reconfigurabile, pentru care au fost determinate, conform ASTM C393-00, performanțele mecanice (modul Young și rezistența de compresiune pe direcția transversală, și cele două module de forfecare în plan longitudinal (LW) și transversal (TW)).
- 3) Prin simulare numerică, utilizând metoda FDTD, s-a constatat că atunci când grosimea stratului de aer în configurația bazată pe un șir de 13 CU variază între 15 mm și 20 mm, frecvența de rezonanță se schimbă de la 415 la 310 MHz, cu o sensibilitate de 0,12 MHz/mm. Simulările au fost efectuate pentru conductori subțiri cu pierderi mici.
- 4) A fost optimizat coeficientul de reflexie pornind de la cazul unui strat plan infinit de metamateriale mecanice (MMM) supus excitației cu o undă plană. Datele de reflexie au fost inversate pentru a obține informații privind permitivitatea efectivă a MMM. Undele transmise trec prin subunitățile cu transmisie aproximativ completă, în timp ce schimbarea de fază poate fi reglată în mod continuu de numărul de rezonatori, prin aranjamente spațiale reconfigurabile.
- 5) Au fost reevaluate codurile elaborate în etapele anterioare, au fost importate modelele CAD/CAM proiectate și au fost efectuate modificări în vederea îmbunătățirii preciziei de calcul și a diminuării timpului computațional și a resurselor; a fost analizată direcționalitatea.

În Fig. 15 este prezentată distribuția câmpului electric în metamateriale mecanice (MMM) bazate pe CU.

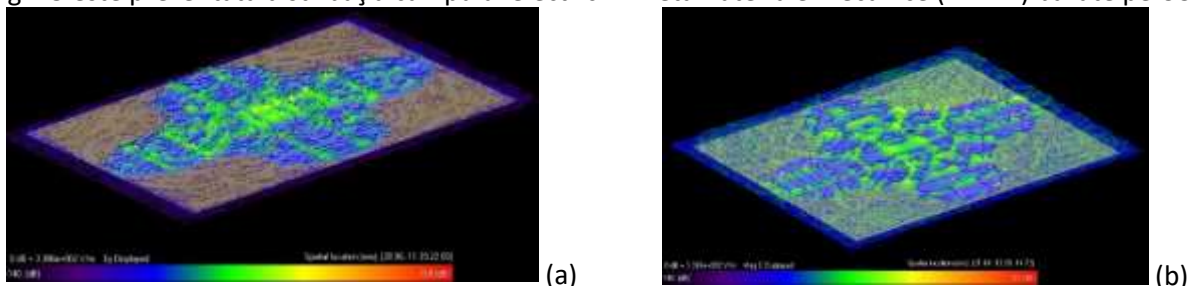


Fig. 15. Distribuția câmpului electric în metamateriale mecanice (MMM) bazate pe CU: (a) element original; (b) element deformat.

- **Faza nr. 2 / 2020 (divizată în Faza 2 – finanțată în Etapa a II-a și Faza 4 – care va fi finanțată în 2021, din cauza fondurilor insuficiente în Etapa a II-a): Simularea pentru proiectarea de materiale electromagnetice multifuncționale - alegerea și testarea parametrilor necesari simulării.**

Activitățile dezvoltate în cadrul acestei faze s-au axat pe alegerea și testarea parametrilor necesari simulării pentru proiectarea de materiale electromagnetice multifuncționale. S-a modelat influența factorilor geometrici și de material în selectarea și suprapunerea de substraturi din metamateriale mecanice care să asigure interacțiunea cu microstructurile electromagnetice.

S-au analizat proprietățile mecanice pentru diferite direcții de încărcare. Celula unitate care formează structura este compusă din elemente așezate în plane ortogonale în structură piramidală. Celula unitate a fost proiectată în Solidworks, fiind formată din ligamente cu lungimi prestabilite care formează structura dependentă de unghiul de deschidere. Modelarea s-a efectuat pornind de la caracteristicile celulei unitate - lungimea și lățimea brațului, axele de înclinare, numărul de ligamente care condiționează flexibilitatea și unghiurile de tranziție.

Comportamentul metamaterialului mecanic a fost analizat prin determinarea modulelor Young pentru planele principale de încărcare, fiind dependente de coeficienții Poisson. Utilizând matricea de compliantă au fost calculate componentele compresibilității liniare după cele 3 direcții date de axele principale. S-a constatat că aceasta poate avea valori pozitive pentru o gamă largă de unghiuri. S-a dezvoltat un algoritm pentru simularea și optimizarea numerică în vederea proiectării de metamateriale mecanice pentru îmbunătățirea preciziei de calcul a lungimii brațelor, a axelor de înclinare, a lățimii elementelor, a punctelor de fixare a ligamentelor și pentru diminuarea resurselor, prin introducerea unei funcții de optimizare neliniară a parametrilor. Algoritmul dezvoltat permite simularea și optimizarea numerică în vederea proiectării de materiale electromagnetice multifuncționale pe baza suprapunerii de straturi din metamateriale mecanice. În continuare este prezentat rezultatul returnat de algoritmul de simulare dezvoltat.

```

toggle_modal_analysis_sub.m Parameters_2DTras.m
20 - XD(1:3):(Length(Par.XD)*Par.dimension)-2) = Par.XD(1,:);
21 - XD(2:3):(Length(Par.XD)*Par.dimension)-1) = Par.XD(2,:);
22 - XD(3:3):(Length(Par.XD)*Par.dimension)) = Par.XD(3,:);
23 - Par.XD_vec = XD;
24 - Par.Nnode = size(Par.XD,2);

Command Window
Fan: [3x1 double]

>> clear all
>> Parameters_2DTras

Ans =

struct with fields:

    file_prefix: '2d_tras'
    print_progress: 1
    dimension: 3
    y0: 0.2000
    L: 4
    E: 2.0500e+11
    A: 6.5300e-04
    G: 0
    X0: [3x3 double]
    XD_vec: [0 0 0 4 0.2000 0 8 8 0]
    Nnode: 3
    elNode: [2x2 double]
    Nbar: 2
    NdoF: 9
    nodes_fold_briad: {}
    nodes_tri: {}
    Nfold: 0
    alpha_init: [0x1 double]
    NR_tol: 1.0000e-05
    MAX_NR_iter: 50
    iced_steps: 100
    modal_mode: 0
    n_BC: [1 2 3]
    dir_BC: [3x3 double]
    =_apply: {[1=100 double]}
    n_in: {}
    Fan: [3x1 double]
  
```

Rezultatul returnat de algoritmul de simulare dezvoltat.

2.2. Proiecte contractate:

Cod obiectiv	Nr. proiecte contractate	Nr. proiecte finalizate	Anul 2020
1. PN 19 28 01 01	1	-	1
2. PN 19 28 01 02	1	-	1
Total:	2	-	2

2.3 Situația centralizată a cheltuielilor privind programul-nucleu:

-- în lei

	Anul 2020
I. Cheltuieli directe	1.890.444,00
1. Cheltuieli de personal	1.859.844,00
2. Cheltuieli materiale și servicii	30.600,00
II. Cheltuieli Indirecte: Regia	941.718,00
III. Achiziții / Dotări independente din care:	0,00
1. Pentru construcție/modernizare infrastructură	0,00
TOTAL (I+II+III)	2.832.162,00

3. Analiza stadiului de atingere a obiectivelor programului

Obiectivele specifice propuse spre realizare în anul 2020 au fost axate pe:

- realizarea unor materiale magnetice noi având structuri speciale (amorfe sau nanocristaline) și proprietăți magnetice specifice, sensibile la deformații și vibrații mecanice;
- studiul proceselor de magnetizare care au loc în particule magnetice preparate prin măcinare mecanică;
- studiul posibilităților de realizare a senzorilor magnetorezistivi pentru detecția de particule magnetice;
- realizarea unui senzor magnetic nou, de tip fluxgate, cu caracteristici constructive și tehnice îmbunătățite, pentru detecția câmpurilor magnetice de intensitate redusă;
- simularea pentru proiectarea de materiale electromagnetice multifuncționale;
- studiul interacțiunii microstructurilor electromagnetice și mecanice.

Rezultate obținute prin dezvoltarea obiectivelor specifice propuse în cadrul celor 7 faze de execuție derulate în anul 2020, au fost următoarele:

- (1) un studiu aprofundat asupra parametrilor de monitorizat în cadrul infrastructurilor critice și posibilitatea utilizării unor senzori magneto-mecanici pentru monitorizarea acestora. S-a constatat că firele magnetice amorfe cu compoziția $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ prezintă proprietăți optime ca elemente sensibile în cele patru tipuri de senzori selectați (**1.** magneto-mecanici ce funcționează pe baza efectului magneto-inductiv pentru detecția/măsurarea simplă și/sau diferențială a deplasărilor; **2.** de forță; **3.** magneto-mecanici pentru detecția și măsurarea deformărilor sau a tensiunilor mecanice; **4.** pentru detecția /măsurarea gradului de înclinare și a vibrațiilor) care vor fi ulterior utilizați pentru monitorizarea stării infrastructurilor critice;
- (2) noi materiale magnetice cu structuri speciale (amorfe/nanocristaline) având o sensibilitate ridicată a proprietăților magnetice la tensiuni mecanice, deformări și vibrații;
- (3) un studiu complex al interacțiunilor de natură magnetică din ansambluri de particule magnetice de tip FeCrNbB preparate prin măcinare mecanică; au fost obținute și studiate ansambluri de particule magnetice cu compozițiile nominale $\text{Fe}_{79,7-x}\text{Cr}_x\text{Nb}_{0,3}\text{B}_{20}$, cu diferite forme și dimensiuni, preparate prin măcinare mecanică din benzi amorfe precursorare;
- (4) un senzor magnetorezistiv nou pentru detecția particulelor magnetice;
- (5) un senzor magnetic nou, de tip fluxgate, cu miez magnetic din fir amorf sau nanocristalin torsionat, la care curentul de excitație este aplicat direct prin firul magnetic, pentru detecția câmpurilor

magnetice de intensitate redusă (< 20 A/m); studiu privind influența proprietăților magnetice ale miezului magnetic asupra caracteristicilor noului senzor magnetic de tip fluxgate.

- (6) studiul efectului câmpului local în metamateriale multifuncționale, datorat interacțiunii microstructurilor electromagnetice și mecanice, în scopul reducerii pierderilor; un cod numeric pentru studiul propagării undelor elastice.
- (7) studiu teoretic axat pe activități de simulare pentru proiectarea de materiale electromagnetice multifuncționale - alegerea și testarea parametrilor necesari simulării; un algoritm de testare.

4. Prezentarea rezultatelor:

4.1. Stadiul de implementare al proiectelor componente

Denumirea proiectului	Tipul rezultatului (studiu proiect, prototip, tehnologie, etc., alte rezultate)	Stadiul realizării proiectului
Proiect PN 19 28 01 01: Noi materiale magnetice inteligente pentru dezvoltarea de aplicații high-tech.	Studii: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> 1 <u>studiu aprofundat</u> asupra parametrilor de monitorizat în cadrul infrastructurilor critice, utilizând 4 tipuri de senzori magneto-mecanici pentru evaluarea acestora; Produse: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> <u>fire magnetice amorfe</u> având compoziția nominală $(Co_{0,94}Fe_{0,06})_{72,5}Si_{12,5}B_{15}$, preparate prin metoda răcirii rapide din topitură în strat de apă în rotație, cu sensibilitate ridicată la tensiuni mecanice, deformări și vibrații; 	Faza nr. 7 / 2020
	Studii: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> 1 <u>studiu complex</u> al interacțiunilor de natură magnetică din ansamblurile de particule magnetice, cu forme și dimensiuni diferite, având compozițiile nominale $Fe_{79,7-x}Cr_xNb_{0,3}B_{20}$; Produse: 1 (REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> <u>particule magnetice</u> având compoziția $Fe_{79,7-x}Cr_xNb_{0,3}B_{20}$, cu forme și dimensiuni diferite, preparate prin măcinare mecanică din benzi amorfe precursorare; 	Faza nr. 8 / 2020
	Produse: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> 1 <u>model de senzor magnetorezistiv</u> bazat pe efectul de tunelare magnetică, pentru detecția în timp real a particulelor magnetice atașate de suporturi de sticlă; 	Faza nr. 10/2020
	Produse: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> 1 <u>senzor magnetic nou de tip fluxgate RTD</u> pentru detecția câmpurilor magnetice de intensitate redusă (< 20 A/m); 	Faza nr. 11 / 2020
	Studii: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> 1 <u>studiu</u> axat pe dependența caracteristicilor tehnice ale senzorului magnetic de tip fluxgate de proprietățile magnetice ale miezului magnetic din fir amorf sau nanocristalin torsionat, la care curentul de excitație este aplicat direct prin firul magnetic, pentru detecția câmpurilor magnetice de intensitate redusă; 	Faza nr. 14 / 2020
Proiect PN 19 28 01 02:	Studii: 1/1 (REALIZAT)	Faza nr. 3 / 2020

Fenomene și procese fizice în materiale electromagnetice multifuncționale realizate prin suprapunerea de substraturi de metamateriale mecanice pentru construcția de senzori cu aplicații în monitorizarea structurilor complexe.	<ul style="list-style-type: none"> • <u>1 studiu</u> asupra interacțiunii microstructurilor electromagnetice și mecanice; Produce informatice: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> • <u>1 cod numeric</u> pentru studiul propagării undelor elastice; 	
	Studii: 1/1 (REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> • <u>1 studiu</u> privind simularea pentru proiectarea de materiale electromagnetice multifuncționale; Produce informatice: 1/1 (ESTIMAT/REALIZAT) <ul style="list-style-type: none"> • <u>1 algoritm</u> de testare. 	Faza nr. 2 / 2020

4.2. Documentații, studii, lucrări, planuri, scheme și altele asemenea:

Tip	Nr. / Realizat în anul 2020
Documentații	- 7 rapoarte de fază
Studii	- 5 , din care 4 experimentale și 1 teoretic
Lucrări: <ul style="list-style-type: none"> • articole • lucrări științifice comunicate 	<ul style="list-style-type: none"> - 6 articole publicate/trimise spre publicare (3 au fost <u>planificate</u>) în reviste și proceeding-uri cotate ISI, din care 3 publicate, 1 acceptat pentru publicare și 2 trimise spre publicare - 2 articole în reviste BDI - 3 articole aflate în stadiul final de redactare vor fi trimise spre publicare în reviste cotate ISI în perioada imediat următoare - 20 lucrări științifice comunicate (7 au fost <u>planificate</u>) la 7 manifestări științifice internaționale
Planuri	--
Scheme	--
Altele asemenea	
<ul style="list-style-type: none"> • produse • metode 	<ul style="list-style-type: none"> - 6 produse, din care 2 tipuri noi de materiale magnetice, 2 tipuri de senzori și 2 produse informatice --

Din care:

4.2.1. Lucrări științifice publicate în jurnale cu factor de impact relativ ne-nul (2020): 6 articole

Nr. Crt.	Titlul articolului	Numele Jurnalului, Volumul, pagina nr.	Nume Autori	Anul publicării	Scorul relativ de influență al articolului (AIS)	Numărul de citări ISI
1	Cylindrical micro and nanowires: Fabrication, properties and applications (DOI:	Journal of Magnetism and Magnetic	Alam J.; Bran C.; Chiriac H.; Lupu N.; Ovari T.-A. ; Panina L.V.;	2020	0,429	2

	10.1016/j.jmmm.2020.167074)	Materials, Volume: 513, Article Number: 167074	Rodionova V.; Varga R.; Vazquez M.; Zhukov A.			
2	Magnetic nanoparticle loaded human adipose derived mesenchymal cells spheroids in levitated culture (DOI: 10.1002/jbm.b.34727)	Journal of Biomedical Materials Research Part B - Applied Biomaterials, Early Acces, Sep. 2020	Labusca L.; Herea D.D.; Minuti A.E.; Stavila C.; Danceanu C.; Grigoras M.; Ababei G.; Chiriac H.; Lupu N.	2020	0,555	0
3	The effect of magnetic field exposure on differentiation of magnetite nanoparticle-loaded adipose-derived stem cells (DOI: 10.1016/j.msec.2020.110652)	Materials Science & Engineering C - Materials for Biological Applications, Volume: 109, Article Number: 110652	Labusca L.; Herea D.D.; Danceanu C.M.; Minuti A.E.; Stavila C.; Grigoras M.; Gherca D.; Stoian G.; Ababei G.; Chiriac H.; Lupu N.	2020	0,794	1
4	New aspects on the performance of a fundamental mode orthogonal fluxgate magnetometer based on amorphous wire cores	AIP Advances (aprobată pentru publicare)	Țibu M.; Corodeanu S.; Hlenschi C.; Chiriac H.; Lupu N.	2021	0,379	-
5	Reconfigurable multilayers architecture used as electromagnetic sensor	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (lucrare trimisă spre publicare)	Iftimie N.; Steigmann R.; Dobrescu G.S.; Danila N.A.; Stanciu M.D.; Faktorova D.; Savin A.	2021	-	-
6	Fatigue cracks in aluminum alloys structures detection using electromagnetic sensors array	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (lucrare trimisă spre publicare)	Steigmann R.; Iftimie N.; Dobrescu G.S.; Danila N.A.; Barsanescu P.D.; Stanciu M.D.; Savin A.	2021	-	-

4.2.2. Comunicări științifice la manifestări științifice (conferințe, seminarii, workshops, etc): 20 lucrări acceptate pentru comunicare la 7 manifestări științifice

Nr. crt.	Titlul articolului Manifestarea științifică	Nume Autori	Anul comunicării
1.	Fe _{79,7-x} ETM _x Nb _{0,3} B ₂₀ (ETM = Cr, Mn) glassy materials for energy recovery <i>Joint European Magnetic Symposia (JEMS), Lisabona, Portugalia, 7-11 decembrie 2020 (on-line)</i>	Lostun M.; Grigoras M.; Ababei G.; Stoian G.; Chiriac H.; Lupu N.	2020
2.	Nanocrystalline magnetic powders prepared by a three jet atomization technique <i>Joint European Magnetic Symposia (JEMS), Lisabona, Portugalia, 7-11 decembrie 2020 (on-line)</i>	Borza F.; Murgulescu I.; Grigoraș M.; Lupu N.; Chiriac H.	2020
3.	Fe-Cr-Nb-B magnetic particles and STEM cells, triggers for cancer cells apoptosis by magneto-mechanical actuation <i>Joint European Magnetic Symposia (JEMS), Lisabona, Portugalia, 7-11 decembrie 2020 (on-line)</i>	Chiriac H.; Minuti A.; Stavila C.; Labusca L.; Herea D.-D.; Lupu N.	2020
4.	Angular dependence of the magnetization process in Fe _{77.5} Si _{7.5} B ₁₅ amorphous glass-coated nanowires: a comparative analysis between a single nanowire and an array of nanowires <i>Joint European Magnetic Symposia (JEMS), Lisabona, Portugalia, 7-11 decembrie 2020 (on-line)</i>	Rotarescu C.; Chiriac H.; Lupu N.; Ovari T.-A.	2020
5.	Tuning the domain wall velocity in amorphous glass-coated nanowires and submicron wires <i>Joint European Magnetic Symposia (JEMS), Lisabona, Portugalia, 7-11 decembrie 2020 (on-line)</i>	Óvári T.-A.; Corodeanu S.; Hlenschi C.; Rotarescu C.; Chiriac H.; Lupu N.	2020
6.	Fe-ETM-Nb-B (ETM = Cr, Mn) glassy alloys for energy recovery <i>65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), 2-6 noiembrie 2020, Palm Beach, FL, SUA (on-line)</i>	Lostun M.; Grigoras M.; Ababei G.; Stoian G.; Chiriac H.; Lupu N.	2020
7.	New aspects on the performance of a fundamental mode orthogonal fluxgate magnetometer based on amorphous wire cores <i>65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), 2-6 noiembrie 2020, Palm Beach, FL, SUA (on-line)</i>	Țibu M.; Corodeanu S.; Hlenschi C.; Chiriac H.; Lupu N.	2020
8.	Fe-Cr-Nb-B magnetic particles and STEM cells, triggers for cancer cells apoptosis by magneto-mechanical actuation	Chiriac H.; Minuti A.; Stavila C.; Labusca L.; Herea D.; Lupu N.	2020

	<i>65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), 2-6 noiembrie 2020, Palm Beach, FL, SUA (on-line)</i>		
9.	Influence of stress relief on the domain wall velocity of rapidly quenched amorphous submicron wires <i>65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020), 2-6 noiembrie 2020, Palm Beach, FL, SUA (on-line)</i>	Corodeanu S.; Hlenschi C.; Rotarescu C.; Chiriac H.; Lupu N.; Óvári T.	2020
10.	Investigation of fatigue cracks in aluminum alloys using ultrasound and electromagnetic methods <i>8th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering & 3rd International Conference on Experimental Mechanics in Engineering (COMAT'20), 29-31 octombrie 2020, Braşov, România (on-line)</i>	Steigmann R.; Iftimie N.; Dobrescu G.S.; Stanciu M.D.; Craus M.L.; Ciobanu C.	2020
11.	Reconfigurable electromagnetic sensor used to detect dislocations of conductive materials <i>8th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering & 3rd International Conference on Experimental Mechanics in Engineering (COMAT'20), 29-31 octombrie 2020, Braşov, România (on-line)</i>	Iftimie N.; Steigmann R.; Dobrescu G.S.; Stanciu M.D.; Mititelu I.; Savin A.	2020
12.	Influence of rare earth in magnesium calcium alloy used for medical implants <i>International Conference on Condensed Matter Research at IBR-2, 12-16 octombrie 2020, Dubna, Moscova, Rusia (on-line)</i>	Steigmann R.; Savin A.; Novy F.; Craus M.L.; Turchenko V.	2020
13.	Monitoring techniques of Yttria stabilized Zirconia used as thermal barrier coating <i>International Conference on Condensed Matter Research at IBR-2, 12-16 octombrie 2020, Dubna, Moscova, Rusia (on-line)</i>	Savin A.; Steigmann R.; Novy F.; Soare M.; Turchenko V.; Craus M.L.	2020
14.	Experimental determination of stress and strain states of the guitar's wood structure <i>International Conference ModTech 2020 - Modern Technologies in Industrial Engineering, 24-27 iunie 2020, Iaşi, România (on-line)</i>	Stanciu M.D.; Barsanescu P.D.; Goanta V.; Savin A.	2020
15.	Assessment of magnesium calcium alloys improved by rare earths addition for	Savin A.; Novy F.; Iftimie N.; Steigmann R.; Istrate B.; Munteanu	2020

	medical implants <i>International Conference ModTech 2020 - Modern Technologies in Industrial Engineering, 24-27 iunie 2020, Iași, România (on-line)</i>	C.	
16.	Monitoring technique for carbon fiber reinforced plastics used as complex structures <i>International Conference ModTech 2020 - Modern Technologies in Industrial Engineering, 24-27 iunie 2020, Iași, România (on-line)</i>	Savin A. ; Sturm R.; Bergant Z.; Stanciu M.D.; Steigmann R. ; Dobrescu G.	2020
17.	Evaluation of mechanical properties of glass fibers chopped strands mat composite subjected to UV degradation <i>9th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering (ACME 2020), 4-5 iunie 2020, Iași, România (on-line)</i>	Stanciu M.D.; Teodorescu H.D.; Trandafir M.; Gutas V.; Savin A.	2020
18.	Effect of stress relief annealing on the magnetic domain wall velocity in rapidly solidified ultrathin amorphous wires <i>International Magnetics Conference (INTERMAG 2020), 4-8 mai 2020, Montréal, Canada (anulată din cauza COVID -19)</i>	Corodeanu S. ; Hlenschi C. ; Rotarescu C. ; Chiriac H. ; Lupu N. ; Óvári TA.	2020 (acceptată pentru comunicare – apare în Digest Book-ul conferinței)
19.	Optimized Fe-ETM-based (ETM = Cr, Mn) glassy alloys for energy recovery <i>International Magnetics Conference (INTERMAG 2020), 4-8 mai 2020, Montréal, Canada (anulată din cauza COVID -19)</i>	Lostun M. ; Grigoras M. ; Ababei G. ; Stoian G. ; Chiriac H. ; Lupu N.	2020 (acceptată pentru comunicare – apare în Digest Book-ul conferinței)
20.	STEM cells carrying Fe-Cr-Nb-B ferromagnetic particles as triggers for cancer cell destruction by magneto-mechanical actuation <i>International Magnetics Conference (INTERMAG 2020), 4-8 mai 2020, Montréal, Canada (anulată din cauza COVID -19)</i>	Chiriac H. ; Minuti A. ; Stavila C. ; Labusca L. ; Herea D.-D. ; Lupu N.	2020 (acceptată pentru comunicare – apare în Digest Book-ul conferinței)

4.2.3. Lucrări publicate în alte publicații relevante: 2 articole

Nr. Crt	Titlul articolului	Numele Jurnalului, Volumul, Pagina nr.	Nume Autori	Anul publicării
1.	Nondestructive evaluation of biodegradable	13 th International Conference ELEKTRO 2020, pp. 1-4 DOI:10.1109/ELEKTRO49696.2020.9130304	Faktorová D.; Nový F.; Steigmann R. ; Istrate B.; Munteanu C.; Savin	2020

	magnesium alloys		A.	
2.	Material properties mapping using complementary methods in titanium alloys TiMoSi used in medical application	Proceedings Volume 11465, "Low-Dimensional Materials and Devices 2020", 114650Z (2020) https://doi.org/10.1117/12.2566668	Savin A.; Craus M.L.; Bruma A.; Novy F.; Minarik P.; Jambor M; Malo S.; Steigmann R.; Vizureanu P.; Harnois Ch.; Turchenko V.	2020

4.2.4. Studii, Rapoarte, Documente de fundamentare sau monitorizare care:

a) au stat la baza unor politici sau decizii publice:

Tip documet	Nr. total	Publicat în:
Hotărâre de Guvern		
Lege		
Ordin ministru		
Decizie președinte		
Standard		
Altele (<i>politici de cercetare</i>)		

b) au contribuit la promovarea științei și tehnologiei - evenimente de mediatizare a științei și tehnologiei:

Tip eveniment	Nr. apariții	Nume eveniment:
web-site		
Emisiuni TV		
Emisiuni radio		
Presă scrisă/ electronică		
Cărți		
Reviste		
Bloguri		
Altele (<i>Târguri și expoziții</i>)	2	<p>Salonul Internațional al Inovării și Cercetării Științifice Studentești - "Cadet INOVA'19"- Academia Forțelor Terestre "Nicolae Bălcescu", Sibiu, 26-28 martie 2020 (on-line):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diplomă de excelență oferită de Universitatea de Stat din Moldova • Mențiune Salon "Cadet INOVA'20" • Distincția "Cadet INOVA'20" - INOVATOR DE ELITĂ <p>Salonul Internațional de Inventică și Educație Creativă pentru Tineret ICE-USV (Innovation and Creative Education Fair for Youth), Suceava, 3-5 septembrie 2020 (on-line):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 medalii de aur • „Professor Dorel Cernomazu” Great Medal acordată CS II, Dr. Adriana Savin

4.3. Tehnologii, procedee, produse informatice, rețele, formule, metode și altele asemenea:

Tip	Anul 2020
Tehnologii	--
Procedee	--
Produse informatice	<u>2</u> , din care <u>1</u> cod numeric și <u>1</u> algoritm de testare
Rețele	--
Formule	--
Metode	--
Altele asemenea	<u>2</u> noi materiale și <u>2</u> noi tipuri de senzori

Din care:**4.3.1 Propuneri de brevete de invenție, certificate de înregistrare a desenelor și modelelor industriale și altele asemenea: 6** cereri de brevete de invenție, din care **2** naționale și **4** faze deschise pentru un brevet EPO în 4 țări europene (Germania, Franța, Spania și Regatul Unit al Marii Britanii și Irlandei de Nord); **3** brevete de invenție acordate, din care **2** naționale și **1** internațional

	Nr. cereri brevete / brevete acordate	Anul înregistrării / acordării	Inventatorul(ii)	Titlul cererii de brevet / brevetului
OSIM	2/2			
	2 cereri de brevete	Cerere de brevet de invenție nr. A 2020 00657/20.10.2020	HEREA Dumitru-Daniel, CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metodă de preparare a unui imunogen bazat pe nanoparticule de aur pentru realizarea de vaccinuri împotriva coronavirusurilor de tip SARS-COV-2
		Cerere de brevet de invenție nr. A 2020 00298 / 29.05.2020	HEREA Dumitru-Daniel, CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metodă de preparare de nanoparticule magnetice pe bază de magnetită și oxihidroxid de fier
	2 brevete acordate	Brevet național RO131542-B1 acordat în 30.03.2020	CHIRIAC Horia, GRECU Mihaela, CORODEANU Sorin, ȚIBU Mihai, LUPU Nicoleta	Aparat pentru determinarea potențialelor electrice anormale de la nivelul miocardului ventricular
		Brevet național RO129566-B1 acordat în 28.02.2020	CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Material metalic magnetic cu temperatură Curie controlată și procedee pentru prepararea acestuia
EPO	4/1			
	Fază deschisă Franța	Brevet de invenție european EP 3090434. Numărul și data cererii pentru Franța: 3090434/13.08.2020	CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metallic Magnetic Material with Controlled Curie Temperature and Processes for Preparing the Same
	Fază deschisă	Brevet de invenție	CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metallic Magnetic Material

	Germania	european EP 3090434. Numărul și data cererii pentru Germania: 602014065557.2/ 13.08.2020	Nicoleta	with Controlled Curie Temperature and Processes for Preparing the Same
	Fază deschisă Spania	Brevet de invenție european EP 3090434. Numărul și data cererii pentru Spania: 300382682/05.10.2020	CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metallic Magnetic Material with Controlled Curie Temperature and Processes for Preparing the Same
	Fază deschisă Marea Britanie	Brevet de invenție european EP 3090434. Numărul și data cererii pentru Marea Britanie: 3090434/ 13.08.2020	CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metallic Magnetic Material with Controlled Curie Temperature and Processes for Preparing the Same
EPO	1 brevet acordat	Brevet european EP3090434-B1 acordat în 13.05.2020	CHIRIAC Horia, LUPU Nicoleta	Metallic Magnetic Material with Controlled Curie Temperature and Processes for Preparing the Same

4.4. Structura de personal:

Personal CD (Nr.)	Anul 2020
Total personal	74
Total personal CD	58
cu studii superioare	52
cu doctorat	33
doctoranzi	3

4.4.1 Lista personalului de cercetare care a participat la derularea Programului-nucleu:

Nr.	Nume și prenume	Grad	Funcția	Echivalent normă întreagă	Anul angajării	Nr. ore lucrate/an*
1	Ababei Gabriel	CS II	Participant	8,32	2004	1.392
2	Bărbieru Constantin	Muncitor	Participant	10,03	1979	1.678
3	Borza Firuța	CS I	Participant	3,82	1986	640
4	Buzea Călin	CS I	Participant	9,75	1991	1.632
5	Chiriac Horia	CS I	Responsabil fază	3,11	1967	520
6	Câșlaru Laurențiu	Inginer	Participant	7,11	1988	1.190
7	Cojocaru Cristina	Economist	Participant	5,53	2006	926
8	Corodeanu Cristina	Fizician	Participant	5,84	2003	978
9	Corodeanu Sorin	CS II	Responsabil fază	5,28	2003	884
10	Damian Alina	ACS	Participant	7,60	2011	1.272
11	Darie Iulian	CS III	Participant	3,73	2003	624
12	Dănilă Narcis	Inginer	Participant	4,88	2014	816
13	Dobrea Viorel	CS III	Participant	11,28	1986	1.888
14	Dobrescu Gabriel	Inginer	Participant	4,97	2010	832

15	Dragoș-Pînzaru Oana	CS III	Participant	4,83	2007	808
16	Duță Sergiu	Tehnician	Participant	8,27	1986	1.384
17	Găburici Maria	CS III	Participant	3,61	2009	604
18	Ghemeș Crina	CS III	Responsabil faza	6,84	2014	1.144
19	Ghemeș Iulian-Adrian	CS III	Participant	6,98	2014	1.168
20	Gherghel Mihai	Inginer	Participant	3,49	1982	584
21	Grigoras Marian	CS II	Participant	5,64	2002	944
22	Grigoraș Mihaela	CSIII	Participant	6,60	2005	1.104
23	Herea Daniel	CS III	Participant	5,07	2001	848
24	Hlenschi Costică	ACS	Participant	8,70	2010	1.456
25	Iftimie Nicoleta	CS III	Participant	7,26	2001	1.215
26	Lăbușcă Luminița	CS III	Participant	4,64	2015	776
27	Loiso Adrian	Ing. Sp.	Participant	4,54	1984	760
28	Minuti Anca	ACS	Participant	9,47	2018	1.584
29	Mocanu Alexandru	Inginer	Participant	3,11	2005	520
30	Mocanu Manuela	Inginer, Economist	Participant	10,29	1999	1.722
31	Mohorianu Sergiu	CS III	Participant	11,28	1985	1.888
32	Murgulescu Iulian	CS III	Participant	2,05	2012	343
33	Nuțu Carmen	Subinginer	Participant	1,12	1986	188
34	Óvári Tibor-Adrian	CS I	Responsabil fază	3,92	1993	656
35	Pascalu Mircea	Tehnician	Participant	10,52	2001	1.760
36	Porcescu Marieta	Inginer	Participant	11,14	1985	1.864
37	Răcilă Luiza	ACS	Participant	10,85	2012	1.816
38	Roșu Tudor Mihai	Economist	Participant	9,85	2002	1.648
39	Rotărescu Nicolae-Cristian	CS	Participant	9,47	2012	1.584
40	Savin Adriana	CS II	Responsabil proiect/fază	5,16	1985	864
41	Stavilă Cristina	ACS	Participant	9,42	2018	1.576
42	Steigmann Rozina	CS	Participant	7,02	2000	1.175
43	Stoian George	CS III	Participant	8,07	2006	1.351
44	Stoica Remus	Tehnician	Participant	7,08	1985	1.184
45	Surdu Georgiana	Responsabil achiziții	Participant	4,16	2007	696
46	Tînjală Constantin	Muncitor	Participant	4,97	2000	832
47	Țibu Mihai	CS III	Participant	6,65	2001	1.112
48	Țugui Cătălin	Inginer	Participant	5,98	2015	1.000
49	Ureche Oana	Tehnician	Participant	1,10	2006	184
50	Urse Maria	CS II	Participant	7,28	1976	1.219
51	Zară Camelia	ACS	Participant	11,28	2012	1.888

*Numărul de ore lucrate în anul 2020.

4.5. Infrastructuri de cercetare rezultate din derularea programului-nucleu. Obiecte fizice și produse realizate în cadrul derulării programului; colecții și baze de date conținând înregistrări analogice sau digitale, izvoare istorice, eșantioane, specimene, fotografii, observații, roci, fosile și altele asemenea, împreună cu informațiile necesare arhivării, regăsirii și precizării contextului în care au fost obținute:

Nr. Crt.	Nume infrastructură / obiect / bază de date	Data achiziției	Valoarea achiziției (lei)	Sursa finanțării	Valoarea finanțării din bugetul Programului-Nucleu (lei)	Nr. ore-om de utilizare a infrastructurii pentru Programul-Nucleu

5. Rezultatele Programului-nucleu au fundamentat alte lucrări de cercetare: 10 propuneri de proiecte, din care 3 propuneri de proiecte naționale și 7 propuneri de proiecte europene și internaționale

	Nr.	Tip
Proiecte internaționale	7	<u>2 proiecte și un grant internațional de cercetare cu JINR Dubna, Rusia - finanțate</u>
		<u>H2020-MSCA-ITN-2020 - o propunere de proiect</u>
		<u>H2020-WIDESPREAD-2018-2020 - o propunere de proiect</u>
		<u>H2020-MSCA-RISE-2020 - o propunere de proiect</u>
		<u>Prima Quebec (Canada) Call for Research and Innovation Projects in the Field of Advanced Materials - o propunere de proiect acceptată pentru finanțare</u>
Proiecte naționale	3	<i>Proiecte de cercetare în programe ale Planului național PN III: Program P4 - Cercetare fundamentală și de frontieră, Proiecte de cercetare exploratorie (PCE) - Competiția 2020 (în evaluare) - 3 propuneri de proiecte</i>

6. Rezultate transferate în vederea aplicării: materiale magnetice speciale livrate (pe bază de comenzi)

Tip rezultat	Instituția beneficiară (nume instituție)	Efecte socio-economice la utilizator
Fire magnetice amorfe CoFeSiB, d = 125 ± 9 μm, cod 1173A	NDI Europe GmbH, Germania	Lărgirea gamei de produse ,high tech' realizate
Fire magnetice amorfe CoFeSiB, d=120 ± 2 μm, cod 791	Isorad Ltd., Israel	
Fire magnetice amorfe CoFeSiB, d=120 ± 2 μm, cod 1173A	Universitatea Tehnică din Praga, Republica Cehă	
Fire magnetice amorfe CoFeSiB, d=80 ± 2 μm, cod 1173A	KUK Electronik AG, Elveția	

7. Alte rezultate:

Nu este cazul.

8. Aprecieri asupra derulării programului și propuneri:

Rezultatele obținute în anul 2020 în cadrul celor 2 proiecte componente ale programului-Nucleu MAGNA2022 au fost următoarele:

Articole / lucrări științifice comunicate / brevete:

- 6 articole publicate/trimise spre publicare (3 au fost planificate) în reviste și proceeding-uri cotate ISI, din care 3 publicate, 1 acceptat pentru publicare și 2 trimise spre publicare;
- 2 articole publicate în reviste BDI;
- 3 articole aflate în stadiul final de redactare vor fi trimise spre publicare în reviste cotate ISI în perioada imediat următoare;
- 20 lucrări științifice comunicate (7 au fost planificate) la 7 manifestări științifice internaționale;
- 6 cereri de brevete de invenție (0 au fost planificate), din care 2 naționale și 4 faze deschise pentru un brevet EPO în 4 țări europene (Germania, Franța, Spania și Regatul Unit al Marii Britanii și Irlandei de Nord);
- 3 brevete de invenție acordate (0 au fost planificate), din care 2 naționale și 1 internațional.

Documentații, studii, lucrări, planuri, și altele asemenea:

- 7 rapoarte de fază (7 au fost planificate);
- 5 studii (3 au fost planificate), din care 4 experimentale și 1 teoretic.

Materiale/produse: 6 (2 materiale și 4 produse, din care 2 informatice) (5 au fost planificate)

- fire amorfe având compoziția $(Co_{0,94}Fe_{0,06})_{72,5}Si_{12,5}B_{15}$, preparate prin metoda răcirii rapide din topitură în strat de apă în rotație, cu sensibilitate ridicată la tensiuni mecanice, deformări și vibrații;
- particule magnetice având compoziția $Fe_{79,7-x}Cr_x Nb_{0,3}B_{20}$, cu forme și dimensiuni diferite, comportament superferomagnetic, preparate prin măcinare mecanică din benzi amorfe precursore;
- 1 senzor magnetic nou de tip fluxgate RTD pentru detecția câmpurilor magnetice de intensitate redusă ($< 20 A/m$);
- 1 nou model de senzor magnetorezistiv bazat pe efectul de tunelare magnetică, pentru detecția în timp real a particulelor magnetice atașate de suporturi de sticlă;
- 1 cod numeric pentru studiul propagării undelor elastice;
- 1 algoritm de testare.

Participarea la evenimente de promovare a științei și tehnologiei: 2 saloane de invenție desfășurate on-line unde au fost obținute următoarele premii: 2 medalii de aur; 0 medalie „Professor Dorel Cernomazu Great Medal”; 0 mențiuni Salon „Cadet INOVA’20”; 0 distincție „Cadet INOVA’20” - INOVATOR DE ELITĂ.

Livrări de materiale / servicii:

- 3 tipuri de fire magnetice amorfe (as-cast și tratate termic) livrate, pe bază de comenzi, la 3 agenți economici și 0 universitate din străinătate;
- 4 tipuri de servicii (măsurători magnetice și analize complexe compoziționale, morfologice și structurale prin XRD, HR-SEM și UHR-TEM; lamele pentru analize TEM) realizate pentru beneficiari din țară.

O parte din activitățile de cercetare din cadrul programului-Nucleu MAGNA2022 au constituit tematici științifice pentru **referatele de doctorat** susținute de 3 tineri doctoranzi, angajați ai INCDFI-IFT Iași.

Activitățile de cercetare-dezvoltate din cadrul proiectelor din programul-Nucleu MAGNA2022 au condus la deschiderea de noi direcții de cercetare științifică și tehnologică, cu precădere în domenii precum: Eco-Nano-Tehnologii și Materiale Avansate, Energie, Mediu și Schimbări Climatice sau Sănătate, care au constituit tematici pentru 10 propuneri noi de proiecte de cercetare cu care institutul a participat la competițiile organizate în programe de cercetare naționale și internaționale. În anul 2020, institutul a participat cu 7 propuneri de proiecte de cercetare la competiții europene și internaționale și cu 3 propuneri de proiecte de cercetare la competiții naționale organizate în cadrul Planului național PN III - Program P4/Cercetare fundamentală și de frontieră, Proiecte de cercetare exploratorie (PCE).

DIRECTOR GENERAL,
Dr. Nicoleta LUPU

DIRECTOR DE PROGRAM,
Prof. Dr. Horia CHIRIAC

DIRECTOR ECONOMIC,
Ec. Valentina HORHOTĂ