

Contractor : *Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare pentru Fizică
Tehnică – IFT Iași*

Cod fiscal : R 5640892

Raport anual de activitate privind desfășurarea programului nucleu *Magnetism și Materiale Magnetice / MAGMATMAG, 09-43* anul 2009

Durata programului: 3 ani (2009-2010)

Data începerii: 13.03.2009

Data finalizării: 2010

1. Scopul programului:

Scopul programului nucleu (MAGMATMAG) propus pentru perioada 2009-2011 este dezvoltarea în cadrul *Institutului de Fizică Tehnică Iași INCDFI – IFT Iași* a unor activități de cercetare fundamentală și aplicativă de vârf în domeniul magnetismului și materialelor magnetice. Programul propus va permite dezvoltarea de cercetări avansate în domeniul materialelor magnetice nanocompozite și nanodimensionată cu caracteristici fizice superioare. Programul nucleu propus va permite dezvoltarea de cercetări avansate în domeniul materialelor magnetice nanocompozite și nanodimensionate, cu caracteristici superioare, pentru utilizarea ulterioară a acestor materiale în diferite aplicații în spintronică, microelectronică, aplicații biomedicale. Programul propus va permite evidențierea și dezvoltarea unor noi procese fizice de bază în materiale magnetice, în domeniul nanotehnologiilor și a controlului nedistructiv, în realizarea de micro și nanodispozitive. Se vor desfășura cercetări vizând tehnici utilizate în obținerea și caracterizarea de noi tipuri de nanomateriale pentru aplicații specifice domeniului "high tech".

Cele 2 obiective propuse conțin 10 proiecte, care deschid noi direcții de cercetare de mare perspectivă în domeniul magnetismului și materialelor magnetice cu aplicații în realizarea de senzori și biosenzori magnetici, în medicină, biologie, microelectronică, tehnică de calcul, și industria auto. 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 va deschide o nouă arie de activități multi și interdisciplinare cu importante colaborări în diferite domenii ale științei și tehnicii. Rezultatele obținute în 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 II, în programele europene aliniate la tematicile cuprinse în programul cadru 7 al Uniunii Europene, în alte programe internaționale.

2. Modul de derulare al programului:

Programul NUCLEU - Magnetism și Materiale Magnetice (MAGMATMAG - cod PN 09-43) cuprinde 2 obiective ale căror activități de cercetare s-au desfășurat în cadrul a **6 proiecte finanțate** în anul 2009 și anume:

- ♦ **Obiectiv 1: Fizica fenomenelor și proceselor magnetice** - 2 proiecte
- ♦ **Obiectiv 2: Fizica materialelor magnetice** - 4 proiecte.

În anul 2009, proiectul PN 09 43 02 01 și-a desfășurat activitățile de cercetare în cadrul a 6 faze, proiectul PN 09 43 01 02 și-a desfășurat activitățile de cercetare în cadrul a 4 faze, proiectele PN 09 43 01 04 și PN 09 43 02 02 și-au desfășurat activitățile de cercetare în cadrul a 3 faze distincte, pentru fiecare proiect în parte, iar proiectele PN 09 43 02 04 și PN 09 43 02 05 și-au desfășurat activitățile de cercetare în cadrul a unei faze, pentru fiecare proiect în parte.

În cadrul Programului NUCLEU (MAGMATMAG), în cursul anului 2009, au fost desfășurate activități de cercetare fundamentală și/sau aplicativă, în funcție de specificul fiecărui proiect și de amploarea

obiectivelor propuse spre rezolvare. Proiectele, ale căror activități de cercetare s-au derulat în cursul anului 2009, au conținut faze de preparare de materiale și de experimentare și caracterizare complexă a nanomaterialelor și nanostructurilor, cu rezultate teoretice și tehnologice/aplicative complexe pentru domenii precum medicina, biotehnologia, microelectronica, electrotehnica, precum și în domeniul energetic, prioritar la nivel național. Rezultatele științifice obținute în cadrul fazelor derulate în anul 2009 au fost comunicate la manifestări științifice naționale și internaționale, publicate în reviste de specialitate din țară și străinătate (cotate ISI) sau publicate în Proceedings ale unor manifestărilor științifice internaționale de prestigiu.

O parte dintre activitățile de cercetare dezvoltate în cadrul proiectelor din Program NUCLEU au constituit de asemenea teme de cercetare în 2 proiecte de colaborare internațională și anume 2 proiecte internaționale de colaborare bilaterală cu Franța și Slovenia.

La Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Fizică Tehnică (INCDFI) -IFT Iași, în anul 2009, și-au desfășurat activitatea de cercetare un număr de 4 tineri doctoranzi și 2 masteranzi – cercetători și asistenți de cercetare, cuprinși în programul de perfecționare prin doctorate – în sistemul cu frecvență precum și în programul de perfecționare prin masterate. Doctoranzii au fost implicați în activități de cercetare axate pe tematici dezvoltate în Programul NUCLEU, rezultate care au făcut subiectul referatelor și tezelor de doctorat. În anul 2009 a fost susținută public 1 teză de doctorat cu subiect din cadrul unei tematici dezvoltate în cadrul unui proiect din Programul NUCLEU – MAGMATMAG - PN 09-43.

În cadrul proiectelor derulate în Programul NUCLEU (MAGMATMAG PN 09-43), în anul 2009, au fost dezvoltate activități care constituie noi direcții de cercetare în domeniul nanomaterialelor magnetice și a nanostructurilor speciale precum și în domeniul efectelor/proceselor noi evidențiate în materiale magnetice și în domeniul magnetismului.

2.1. Descrierea activităților (utilizând și informațiile din rapoartele de fază, macheta VIII)

Activitățile de cercetare științifică derulate în anul 2009 sunt prezentate, pentru fiecare proiect din cadrul Programului Nucleu (MAGMATMAG - cod PN 09 - 43). Sunt evidențiate de asemenea rezultatele obținute și este prezentat stadiul de realizare a obiectivelor specifice.

Proiect PN 09 - 43 01 02/ Noi tehnici de caracterizare structurală, topologică, morfologică și compozițională a sistemelor de nanomateriale și nanostructuri.

Activitățile de cercetare din cadrul proiectului PN 09 - 43 01 02, desfășurate în anul 2009, s-au derulat pe parcursul a 4 faze distincte.

- **Faza 1/2009. Evidențierea nanostructurilor simple și complexe în sisteme de nanofire simple și multistrat prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) combinată cu EDS.**

În cadrul Fazei 1/2009 s-au studiat/analizat caracteristicile morfologice, topologice și compoziționale ale nanostructurilor simple și complexe în sisteme de nanofire simple și multistrat prin tehnici de microscopie electronică de baleiaj (SEM) combinată cu EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy). S-a realizat analiza morfologică și topologică a nanofirelor simple din aliaj NiFe și a nanofirelor multistrat [NiFe/Cu]_{xn} obținute prin electrodepunere în porii unor membrane de Al₂O₃ de tip Whatman (cu diametrul porilor între 200 și 400 nm) și tip Synkera (cu diametrul porilor între 30 și 50 nm). Aceste tipuri de materiale nanodimensionate au fost analizate morfologic, topologic și compozițional în secțiune realizată prin secționarea transversală a membranei unde au fost formate nanofirele prin electrodepunere, sau au fost realizate direct pe nanofirele 'eliberate' din sistemul 'template' prin dizolvarea materialului membranei în corodanți specifici. Pentru curățarea nanofirelor de impuritățile superficiale se realizează o dispersare a acestora în corodanți sau soluții de spălare, cu ajutorul ultrasunetelor. Această operație este foarte delicată și rigurozitatea cu care este efectuată are mare influență asupra corectitudinii datelor experimentale obținute, în special a celor de compoziție. Analiza morfologică a nanostructurilor, funcție de dimensiuni sau de detaliul morfologic analizat, s-a realizat la două microscopie electronice SEM: JEOL JSM 6390 și Carl Zeiss CrossBeam NEON 40EsB Fe-SEM – de înaltă rezoluție. În cazul nanofirelor multistrat, pe lângă diametrul nanofirelor, s-a putut determina și grosimea straturilor succesive din structura multistrat.

- **Faza 2/2009. Determinarea compoziției nanostructurilor simple și complexe în sisteme de nanofire simple și multistrat prin metode chimice și absorbție atomică.**

În Faza 2/2009 a proiectului PN 09 - 43 01 02 s-a determinat compoziția nanostructurilor simple și complexe în sisteme de nanofire simple și multistrat prin utilizarea de metode fizice, chimice și fizico-chimice. În cazul metodelor chimice și fizico-chimice, solubilizarea materialului de analizat cu un reactiv adecvat este etapa cea mai dificilă care influențează cel mai mult corectitudinea rezultatelor. Utilizând metoda absorbției atomice s-a

efectuat analiza compozițională pentru fire și filme din aliaje simple și structuri multistrat. Pentru probele care au conținut de B și Si de concentrații mari s-a utilizat metoda absorbției atomice: B, la $\lambda = 297 \text{ nm}$ se poate determina la concentrații între 40 și 400 $\mu\text{g/ml}$, iar Si, la $\lambda = 297 \text{ nm}$ se determină la concentrații între 15 și 150 $\mu\text{g/ml}$. Metoda spectrofotometrică utilizând spectrometrul UV/VIS Perkin Elmer LAMBDA 35 este mult mai sensibilă și permite analiza acestor elemente la concentrații între 0,2 și 10 $\mu\text{g/ml}$ (ex. B a fost determinat având concentrația între 0,2 și 2 $\mu\text{g/ml}$). Utilizând metoda spectrofotometrică au fost determinate elemente precum Si, Fe, Co, Mn, în concentrații mici, specifice materialelor nanodimensionate sub formă de nanofire.

- **Faza 3/2009. Determinarea compoziției nanostructurilor simple și complexe în sisteme de micro și nanopulberi acoperite și neacoperite prin metode chimice și absorbție atomică.**

În cadrul Fazei 3/2009 a proiectului PN 09 -43 01 02 au fost desfășurate activități axate pe determinarea compoziției nanostructurilor simple și complexe în sisteme de micro și nanopulberi de magnetită acoperite cu cu polimeri și neacoperite, prin metode chimice, spectrofotometrice și absorbție atomică. Utilizând metode spectrofotometrice de analiză s-a determinat concentrația de Fe în domeniul $0,5 \div 5 \text{ ppm}$, concentrația Co până la 0,05 ppm, concentrația de Mn, Si, B și Nd (ex. în analiza Fe s-a ținut cont de faptul că Fe^{2+} reacționează cu o-fenantrolina în intervalul de $\text{pH} = 1,5 \div 5,5$ cu formarea unui complex de culoare roșie). Analiza compozițională a micro și nanopulberilor de FeSiB, CoFeSiB, CoFe, NdFeB, CoFeSiMn (cu diametrul particulelor $< 20 \mu\text{m}$) și a pulberilor de magnetită acoperită cu polimeri, s-a realizat cu ajutorul tehnicii de absorbție atomică.

- **Faza 4/2009. Evidențierea fazelor componente în sisteme nanostructurate magnetic moi și dure prin utilizarea electronilor retroîmprăștiați emiși de un FE-SEM, în combinație cu EDS de rezoluție înaltă.**

În cadrul Fazei 4/2009 a fost realizat un studiu complex privind evidențierea fazelor componente în sistemele nanostructurate cu proprietăți magnetic dure prin tehnica FE-SEM/BSE și EDS realizată cu microscopul electronic de baleiaj de rezoluție înaltă Carl Zeiss CrossBeam NEON 40EsB Fe-SEM. S-au realizat studii structurale, morfologice, topologice și compoziționale complexe asupra nanomaterialelor și materialelor nanostructurate magnetice moi și dure și anume: benzi și fire nanostructurate cu proprietăți magnetic moi din aliaje de tip FINEMET (Fe-Cu-Nb-B-Si), benzi nanostructurate magnetic dure din aliaje de tip Nd-Fe-B și Fe-Pt-Nb-B, nanofire magnetic moi de tip NiFe/Cu. Pentru determinarea cu acuratețe a compoziției nanomaterialelor în formă de nanofire multistrat $[\text{NiFe/Cu}]_n$ s-a utilizat tehnica EDS (spectrometria razelor X cu dispersie după energie) folosind un detector performant OXFORD X-MAX. Precizia măsurătorilor de compoziție depinde și de modul cum au fost pregătite probele. Urme de contaminanți datorate resturilor de material specific diferitelor membrane în care au fost realizate prin electrodepunere nanofirele afectează negativ rezultatele privind compoziția nanofirelor multistrat. În cazul materialului magnetic dur $\text{Fe}_{68}\text{Pt}_{13}\text{Nb}_2\text{B}_{17}$, tratat la temperaturi între 500°C și 900°C , au fost realizate și experimente de difracție de raze X pentru evidențierea fazelor de FePt și Fe_2B . Aceste analize au constituit bază pentru evidențierea unor structuri de grăunți cristalini specifici, pe baza contrastelor de fază care sunt diferite funcție de compoziția nanogrăunților.

Proiect PN 09 - 43 01 04 / Fenomene și procese fizice în meta materiale 1D și 2D cu aplicații în radiofrecvență; dezvoltarea de sensori și tehnici neinvazive bazate pe acestea.

Activitățile de cercetare din cadrul proiectului PN 09 - 43 01 04, desfășurate în anul 2009, s-au derulat pe parcursul a 3 faze distincte.

- **Faza 1/2009. Propagarea undelor electromagnetice ghidate de tip magneto-inductiv în meta materiale 1D conținând "swiss rolls".**

În cadrul activităților desfășurate în Faza 1/2009 s-a realizat studiul propagării undelor magnetoinductive în metamateriale cu structuri 1D cu comportament de ghid de unda precum și modalitățile de cuplare a acestor ghiduri. Modelarea a fost realizată utilizând setul de ecuații Maxwell în spațiul $(\vec{k}, \omega)$, cautând să se reducă problema la una, de valori și vectori proprii. Dificultățile matematice au impus rezolvarea numerică a problemei și realizarea de coduri numerice adecvate. S-a studiat dependența componentei reale și imaginare a permeabilității magnetice efective a unui metamaterial realizat sub forma de aranjament patratic de fire conductoare cu raza de 1mm, dispuse într-o rețea cu dimensiunea celulei elementare de 2.1mm și 10mm. S-a determinat dependența de frecvență a componentei reale, respectiv a celei imaginare a permeabilității magnetice efective pentru aranjamentul 2D considerat în situația în care $r=,8\text{mm}$, $d=,0.1\text{mm}$ și $a=,17\text{mm}$. Determinarea impedanței „swiss roll” permite stabilirea comportamentului rezonant al acestui element de metamaterial. adică obținerea frecvenței de rezonanță și a factorului de calitate. S-a prezentat dependența de frecvență a permeabilității magnetice efective a unor aranjamente 2D de „swiss roll” cu diferite diametre. Ansamblul „swiss rolls” devin efectiv „magnetizate” sub acțiunea unui câmp magnetic extern la frecvențe apropiate de f , și poate fi în același timp descris ca un mediu efectiv cu o permeabilitate magnetică anizotropă, dependența de frecvență. Pierderile electrice pot determina în mod esențial comportamentul unui „swiss roll”, astfel pentru valori $\sigma < 7\Omega$, aranjamentul de „swiss roll” prezintă caracteristici specifice metamaterialelor magnetice și anume aceea că, într-o gamă de frecvențe definite, permeabilitatea efectivă devine negativă, aproape de rezonanță,

marimea acestei permeabilitati fiind mult mai mare decat aceea a miezurilor de ferita care se utilizeaza in aceasta gama.

- **Faza 2/2009. Realizarea meta materialelor conținând "swiss rolls" și "split rings" cu frecvențe de rezonanță în gama 1-500 MHz; aranjamente 1D.**

În cadrul activitatilor desfasurate în Faza 2/2009 s-au investigat undele magneto-inductive într-un aranjament 1D de „Swiss Rolls”. Aceste unde sunt guvernate de cuplajul dintre elementele ariei de „Swiss Roll”, respectiv inductanta mutuala între perechile de „Swiss Rolls”. S-a experimentat separat un aranjament a doua elemente pentru determinarea cuplajului dintre ele. Acești coeficienti de cuplaj scad lent cu distanta, asimptotic cu $1/r^3$ pentru distante mai mari. „Swiss rolls” s-au considerat rezonatori și numai la distante de separare mari se redobandeste acea compartare de dipol punctiform. Tratarea teoretica a ariei de „Swiss Rolls” este bazata pe modelul în care „Swiss Rolls” sunt considerate ca rezonatori cuplati, cu coeficientii de cuplaj determinati în cadrul fazelor. S-a analizat o trasatura remarcabila a acestei arii fata de altele, și anume relevanta cuplajului de ordin superior între elementele ariei datorata campului magnetic (generat de primul „Swiss Roll”) ce scade lent cu distanta de la primul element. Pentru a determina curentul în elementele aranjamentului, în cazul de fata elementul 31, s-au luat în calcul toti ceilalti coeficienti de cuplaj, în cazul de fata celelalte 30 elemente.

- **Faza 3/2009. Măsurători experimentale pe ghiduri de undă pentru unde magneto inductive în meta materiale.**

În cadrul activitatilor desfasurate în Faza 3/2009 s-au studiat metamaterialele de tip „swiss roll” conic, care nu au fost studiate pana în prezent, și care au proprietati extrem de interesante din punct de vedere practic, remarcandu-se puternica concentrare a unui flux magnetic de radiofrecventa. Datorita proprietatilor precise pe care trebuie sa le prezinte metamaterialele de tip „swiss roll”, a fost necesara dezvoltarea unor metode de proiectare a acestora, care sa permita obtinerea de indicatii cat mai aproape de realitate pentru metamaterialul ce va fi realizat. Codurile numerice dezvoltate au fost validate prin masuratori experimentale, introducandu-se corectiile necesare. Pentru evaluarea proprietatilor ghidurilor de unda realizate cu metamateriale de tip „Swiss roll” conic, s-a utilizat facilitatile create de RF toolbox al lui Matlab 2009a, considerand ca un ghid de unda poate fi reprezentat printr-o cascada de circuite RLC paralele, tinand cont și de existenta curentilor longitudinali. S-a realizat o schema de masura a parametrilor S considerati extrem de elocventi pentru caracterizarea metamaterialelor și a circuitelor realizate cu acestea, bazata pe un *Network/Spectrum/Impedance Analyzer tip 4395A Agilent SUA* cuplat cu *S parameter Test kit 87511A Agilent*. Datele obtinute în aceasta maniera au servit ca baza de test pentru codurile numerice dezvoltate anterior. Rezultatele interesante obtinute, care prezinta un înalt grad de noutate, au fost larg diseminate pentru a putea pune la dispozitia specialistilor informatii utile în domeniu. Cercetarile și mai ales rezultatele obtinute asupra „swiss roll” conic duc la concluzia posibilitatii utilizarii acestor tipuri de metamateriale pentru evaluari și caracterizari de materiale cu structuri complexe.

Proiect PN 09 -43 02 01/ Interacțiuni magnetice și transformări de fază în magneti permanenți nanocompoziți izotropi și anizotropi.

Activitățile complexe de cercetare din cadrul proiectului PN 09 43 02 01, derulate în cursul anului 2009, au fost dezvoltate în cadrul a 6 faze.

- **Faza 1/2009. Prepararea și caracterizarea magnetică și structurală a magnetilor permanenți nanocompoziți material magnetic moale/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ sub formă de straturi subțiri. Noi soluții compoziționale.**

În cadrul Fazei 1/2009 a proiectului a fost studiată *influența compoziției* asupra performanțelor de material magnetic dur a sistemului nanocompozit *material magnetic moale/ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$* . A fost studiată influența conținutului de Zr și Ti-Cr asupra proprietăților magnetice și structurale ale straturilor subțiri $[\text{NdFeB}(\text{Zr}, \text{Ti}, \text{Cr})/\alpha\text{-Fe}]_n$. A fost studiat de asemenea efectul variației grosimii stratului subțire de Fe, între 1 și 8 nm, utilizat ca „spacer layer” pentru stratificarea stratului de NdFeB cu adaosuri. Pentru straturile subțiri cu un conținut atomic de Zr de 2at.%, s-a obținut o importantă creștere a valorii câmpului coercitiv H_c (cu 76,6% față de valoarea câmpului coercitiv a straturilor subțiri Ta/NdFeB/Ta.). Comparativ cu straturile subțiri Ta/NdFeBZr(2at.+)/Ta, straturile subțiri multiple Ta/NdFeBZr(180nm)/Fe(3nm)] $\times 3$ /Ta prezintă o ușoară descreștere a valorii câmpului coercitiv de la 2,31 T la 2.13 T, o creștere a raportului Mr/Ms de la 0,71 la 0,74 și o importantă creștere a valorii produsului energetic de la 220,7 la 302,5 kJ/m³. Prin utilizarea Zr ca adaos dimensiunea medie a grăunților de fază dură descrește de la 50 nm pentru Ta/NdFeB/Ta, la aproximativ 30 nm pentru straturile subțiri multiple Ta/[NdFeBZr(2at.%(180nm)/Fe(3nm)] $\times 3$ /Ta, în timp ce dimensiunea medie a grăunților de fază moale este de ~ 18 nm pentru fazele Fe₃B+ Fe₂B și de ~ 20 nm pentru faza Fe₂Zr. Straturile subțiri de NdFeB cu un conținut de adaosuri de Ti și Cr în raportul 4,8/0,9 (at.%), tratate termic la temperatura de 650°C timp de 20 minute prezintă caracteristici magnetice dure bune. Utilizarea simultană de adaosuri de Ti-Cr îmbunătățește stabilitatea termică a straturilor subțiri NdFeBTiCr. Întrucât magnetizarea de saturație descrește datorită adosurilor, stratul subțire NdFeBTiCr a fost stratificat utilizând straturi subțiri de Fe ca

‘spacer layer’. Straturile subțiri multiple Ta/[NdFeBTiCr(180nm)/ α -Fe(3nm)] $\times$ 3/Ta prezintă o îmbunătățire a coercitivității de $\sim 80\%$ comparativ cu cea a straturilor de Ta/[NdFeB/Ta și o creștere a valorii magnetizării de saturație cu $\sim 42\%$ față de cea a straturilor subțiri Ta/NdFeBTiCr/Ta datorită introducerii Fe ca “spacer layer”.

- **Faza 2/2009. Prepararea de eșantioane prin metoda SPS (Spark Plasma Sintering) și evaluarea caracteristicilor de magnet permanent în sisteme obținute prin combinarea pulberilor izotrope magnetic dure de tip 2:14:1 cu cele obținute prin măcinarea benzilor amorfe și/sau nanocristaline pe bază de metale de tranziție.**

În cadrul fazei 2/ 2009 a proiectului PN 09 -43 02 01 au fost preparați magneți permanenți nanocompoziți prin sinterizarea combinației de pulberi izotrope de tip 2:14:1 cu pulberi magnetice provenite din măcinarea benzilor amorfe și/sau nanocristaline pe bază de metale de tranziție. Etapizarea operațiunilor de preparare a fost următoarea: prepararea de benzi prin tehnica răcirii din topitură; măcinarea mecanică a benzilor și sitarea pulberilor obținute în urma măcinării; compactizarea pulberilor prin metoda ‘Spark Plasma Sintering’- SPS. Au fost preparate benzi cu 3 compoziții: Fe_{83,5}Si_{13,5}B₉Nb₃Cu (FINEMET); Co_{69,2}Fe_{4,45,5}Si_{12,25}B₁₅Mn_{0,1}(B₁); Nd₁₆Fe₇₈B₆(B₂). Au fost stabiliți parametri optimi de preparare și tratament prin corelarea condițiilor de lucru cu caracteristicile magnetice ale benzilor magnetice moi și dure obținute. Au fost obținute benzi cu grosimea de 23-25 μ m, lungimi de la câțiva mm până la zeci de cm și lățimi de 0,7 – 1mm (pentru benzi tip FINEMET și B₁) și respectiv 3-5 mm pentru banda B₂. Pentru benzile magnetic moi temperatura optimă de tratament este de 560°C, timp de o oră, iar structura benzilor FINEMET este formată din grăunți de α -Fe(Si) cu dimensiuni medii de 10-15 nm ceea ce le conferă caracteristici magnetice moi optime: permeabilitate magnetică $\mu \sim 10^5$ la 1 kHz, magnetizație de saturație $\sigma_s=140$ emu/g; câmp coercitiv $H_c < 10$ G. Benzile B₁ sunt amorfe iar valorile caracteristicilor magnetice sunt următoarele: $H_c=5$ G; $\sigma_s=76$ emu/g; $\sigma_r=40$ emu/g. Benzile de NdFeB (B₂) cu un exces de 4at.% au structura nanocristalină după preparare – eliminându-se astfel tratamentul de nanocristalizare. Măsurătorile magnetice relevă pentru benzile B₂ caracteristici magnetice dure optime ($H_c=20$ kG; $\sigma_s=104$ emu/g; $\sigma_r=78$ emu/g). Benzile FINEMET și B₁ au fost măcinate 20 ore în timp ce benzile B₂ au fost măcinate 4 minute pentru a se evita oxidarea. Pulberile au fost sitate rezultând 6 clase de dimensiuni: 20-40 μ m; 40-63 μ m; 63-80 μ m; 80-100 μ m; 100-150 μ m. Caracteristicile pulberilor magnetici moi (FINEMET și B₁) depind foarte puțin de dimensiunea particulelor. Pentru pulberile magnetice dure (B₂) proprietăți magnetice optime se obțin pentru dimensiuni ale particulelor cuprinse în domeniul 80-100 μ m. Amestecul de pulberi, magnetic dure și moi, în rapoarte masice 96/4, 95/5; 94/6, au fost compactizate prin sinterizare utilizând tehnica SPS. Din analiza rezultatelor obținute s-au constatat următoarele: o ușoară scădere a H_c comparativ cu B₂; o creștere a σ_s cu creșterea conținutului de material magnetic moale (numai pentru FINEMET), pentru B₁ efectul este invers. Au fost obținuți magneți permanenți cu următoarele caracteristici magnetice dure: $H_c=18,2$ kG; $\sigma_r=72,6$ emu/g; $(BH)_{max}=237$ kJ/m³.

- **Faza 3/2009. Studiul influenței tratamentelor termice și/sau magnetice asupra caracteristicilor magnetice și microstructurale ale magneților nanocompoziți (α -Fe, Fe₃B)/Nd₂Fe₁₄B sub formă de straturi subțiri. Studiul influenței buffer layer și capping layer asupra caracteristicilor magnetice dure.**

În cadrul fazei 3/ 2009 au fost preparate straturi subțiri pe bază de Nd₂Fe₁₄B simple și cu aditii și s-a studiat efectul tratamentului termic și al *buffer* și *capping layers* asupra proprietăților magnetice dure. Straturile subțiri NdFeB depuse pe suporturi de Si menținute în timpul depunerii la temperatura camerei au structură amorfă. Pentru formarea compusului nanocristalin Nd₂Fe₁₄B, straturile subțiri au fost tratate termic, succesiv, la temperaturi între 570-700°C, diferite perioade de timp. Caracteristici magnetice dure optime au fost obținute pentru următorii parametri de nanocristalizare: *temperatura 650°C; timp 20 min*. Caracteristicile magnetice dure ale straturilor Nd-Fe-B depind și de compoziție. Prin introducerea Nb-Cu ca *spacer layer* în structura multistrat se obține o creștere a caracteristicilor magnetice specifice și anume: H_c crește de la 1,55 T pentru straturile NdFeB(540nm) fără aditii, la 1,98 T pentru straturile multistrat NdFeB (180 nm $\times$ 3) cu aditii de Nb-Cu; produsul energetic $(BH)_{max}$ crește de la 201,9 kJ/m³ la 230 kJ/m³. Pentru a diminua efectul negativ al suportului asupra caracteristicilor fizice ale stratului subțire Nd-Fe-B și pentru a îmbunătăți aderența la suport s-au utilizat ca *buffer layer* diferite tipuri de materiale A (A: Cr, Ti, Nb, Nb-Cu, Ta). Au fost folosite aceleași tipuri de materiale A și pentru stratul exterior *capping layer* pentru a diminua efectele de oxidare superficială a stratului magnetic Nd-Fe-B. Din rezultatele obținute s-a constatat că, straturile de Nb-Cu cu grosimi de 20 nm pot fi utilizate ca *buffer layer* și *capping layer* în cazul sistemului Nd-Fe-B fără aditii, iar straturile de Ta având aceeași grosime pot fi utilizate ca *buffer layer* și *capping layer* pentru sistemul Nd-Fe-B cu aditii.

- **Faza 4/2009. Studiul influenței nanostratificării straturilor subțiri ‘single layer’ din materiale magnetice nanaocompozite (α -Fe, Fe₃B)/Nd₂Fe₁₄B asupra microstructurii și caracteristicilor magnetice dure. Studiul efectului de durificare a fazei magnetice moi prin controlul grosimii straturilor componente.**

În cadrul fazei 4/ 2009 au fost studiate două structuri multistrat *material magnetic dur/material magnetic moale*: [NdFeBNbCu/FeSiB]_n și [NdFeBTiCr/Fe]_n. Rezultatele obținute ca efect al stratificării NdFeB cu grosimea de 540 nm în 3 secvențe cu grosimea de 180 nm și al utilizării unui material magneti moale ca „spacer layer” sunt următoarele: (i) utilizarea unui strat de FeSiB cu grosimea de 15 nm ca „spacer layer” și a aditiilor de Nb-Cu în raport de 3/1 conduce la următoarele caracteristici magnetice pentru stratul Ta/[NdFeBNbCu(180)/FeSiB(15 nm)]x3/Ta, tratat termic la 680°C, timp de 20 min.: H_c = 22,8 kG; M_s=127,4 emu/g; M_r=117,8 emu/g; T_c = 337°C (cu 17°C mai mare ca la NdFeB) ca efect a unui cuplaj puternic de schimb dintre grăunții de fază magnetic dură și moale; (ii) comparativ cu stratul de NdFeBTi(3,2% masic), utilizarea unui strat de Fe cu grosimea de 3 nm ca „spacer layer” conduce la următoarele caracteristici magnetice pentru stratul Ta/[NdFeBTi(180)/Fe(3nm)]x3/Ta, tratat termic la 650°C, timp de 20 min.: o creștere a magnetizării de saturație cu 42% (ca efect a utilizării Fe ca „spacer layer”); o descreștere a H_c cu 15%. Adăugarea unui conținut de Cr de 0,6% masic conduce la creștere a H_c de la 16,45 kG la 19,16 kG.

- **Faza 5/2009. Studiul influenței parametrilor de compactizare (presiune, temperatură, timp de compactizare, introducerea de anizotropii direcționale) asupra caracteristicilor magnetice și microstructurale ale magnetilor nanocompoziți obținuți prin metoda SPS din pulberi izotrope magnetic dure de tip 2:14:1 și respectiv magnetic moi pe bază de metale de tranziție.**

În cadrul fazei 5/ 2009 au fost preparați magneți permanenți nanocompoziți prin combinarea pulberilor magnetic dure de tip 2:14:1 cu pulberi magnetici moi. Etapizarea operațiunilor de preparare a fost următoarea: prepararea de benzi NdFeB amorfe prin tehnica răcirii din topitură; tratarea termică a benzilor pentru nanocristalizare în vederea formării compusului Nd₂Fe₁₄B; măcinarea mecanică a benzilor NdFeB nanocristaline; compactizarea pulberilor prin metoda „Spark Plasma Sintering” - SPS. Au fost preparate benzi magnetice dure cu 3 compoziții diferite: Nd₈Fe₈₆B₆; Nd₁₀Fe₈₄B₆; Nd₁₂Fe₈₂B₆ și benzi magnetice moi Fe₂Co cu structură cristalină, cu următoarele caracteristici magnetice: M_s = 215 emu/g; H_c = 90G; M_r = 40 emu/g. Utilizând tehnica DSC a fost stabilită temperatura și timpul de tratament de nanocristalizare (între 610 și 630°C și respectiv între 10 și 20 min., funcție de compoziție). Timpii de măcinare influențează caracteristicile magnetice ale fiecărui tip de pulbere: 4 minute este timpul optim pentru măcinarea benzilor de NdFeB iar 24 ore este timpul optim pentru măcinarea pulberilor de Fe₂Co. Au fost compactizate pulberi magnetici dure NdFeB și pulberi magnetici moi Fe₂Co (cu procent masic % de 4, 6, 8 și respectiv 10 %) și dimensiuni ale particulelor < 100 μm. Parametrii de compactizare (temperatura – între 550 și 650°C, presiunea – între 38 și 76,3 MPa, timpul de compactizare - între 3,5 și 7 min.) influențează caracteristicile magnetice ale magnetilor permanenți nanocompoziți compactizați sub formă de discuri cu diametrul de 10 mm și grosimi cuprinse între 1 și 1,2 mm. Au fost stabilite condițiile optime de sinterizare pentru sistemul de pulberi NdFeB/Fe₂Co și anume: temperatura de sinterizare: 600°C; timpul de sinterizare: 5 min., presiunea de sinterizare: 50,9 MPa). Au fost astfel obținuți magneți permanenți cu performanțe tehnice ridicate și anume: H_c = 10 kG; M_r= 79 emu/g, (BH)_{max} = 238 kJ/m³, specifice unei arii largi de aplicații.

- **Faza 6/2009. Studii ale influenței elementelor de adaos și de substituție asupra microstructurii și caracteristicilor magnetice dure ale magnetilor nanocompoziți (α-Fe, Fe₃B)/Nd₂Fe₁₄B sub forma de straturi subțiri.**

În cadrul fazei 6/ 2009 a proiectului s-a studiat influența elementelor de adaos și substituție asupra principalelor caracteristici magnetice dure ale straturilor subțiri Nd-Fe-B. Introducerea elementelor de adiție/substituție în volumul straturilor subțiri Nd-Fe-B s-a realizat prin: *stratificare* - adițiile au fost introduse ca „spacer layer” în sistemul multistrat; *dispunerea adițiilor sub formă de „chips-uri”, direct pe suprafața țintei de pulverizare* de NdFeB având compoziția stoichiometrică. *Utilizarea simultană a adițiilor de Cu și Nb (în raport de 1/3)* la sistemul magnetic dur Nd-Fe-B a determinat următoarele efecte: creșterea densității germinilor de cristalizare prin adiția de Cu; inhibarea dezvoltării grăunților cristalini în timpul tratamentului termic de nanocristalizare pentru formarea fazei dure Nd₂Fe₁₄B prin adiția de Nb, cu efect de îmbunătățire a remanenței M_r și a câmpului coercitiv H_c. Creșterea valorii *temperaturii Curie a fazei dure Nd₂Fe₁₄B* a fost obținută utilizând adiția de Co care a fost introdusă în stratul de Nd-Fe-B, prin stratificare. Utilizarea Co ca element de substituție la sistemul NdFeBNbCu, conduce la: o ușoară scădere a valorii câmpului coercitiv; o creștere a magnetizației remanente; o creștere a temperaturii Curie a fazei Nd₂Fe₁₄B care crește odată cu creșterea grosimii stratului de Co; o scădere a temperaturii de tratament de nanocristalizare. Pentru straturile NdFeBNbCu/Co tratate la temperatura de 610°C, timp de 20 minute, se obțin următoarele caracteristici magnetice: μ₀H_c = 1,84 T; μ₀M_r = 0,94 T; o temperatură de tratament cu 40°C mai mică față de temperatura optimă de tratament obținută pentru straturile Nd-Fe-B fără adiții; o temperatură Curie a fazei dure cu ~ 96°C mai mare față de cea a straturilor subțiri Nd-Fe-B fără adiții. Straturile subțiri multiple Ta/[NdFeB(180nm)/MoCu (6nm)]x3/Ta tratate termic la 600°C, timp de 20 minute, care utilizează Mo-Cu ca „spacer layer”, prezintă caracteristici magnetice dure bune comparativ cu straturile simple Nd-Fe-B, și anume: μ₀H_c = 1,88 T; M_r/M_s = 0,83; o reducere a temperaturii de cristalizare cu ~ 50°C; o rectangularizare a curbei de demagnetizare și creșterea rezistenței la coroziune.

Proiect PN 09 43 02 02/ Membrane poroase suport pentru creșterea de nanostructuri cu topologii complexe.

Activitățile de cercetare din cadrul proiectului PN 09 43 02 02, derulate în cursul anului 2009, au fost dezvoltate în cadrul a 3 faze distincte.

- **Faza 1/2009. Obținerea de membrane nanoporoase din oxid de aluminiu prin anodizarea foliilor de aluminiu. Studiul influenței condițiilor de anodizare asupra diametrului, lungimii și densității porilor.**

În cadrul fazei 1/2009 au fost obținute membrane nanoporoase din oxid de aluminiu (Al_2O_3) prin anodizarea foliilor de aluminiu. Caracteristicile fizice ale membranelor nanoporoase au fost optimizate prin controlul condițiilor de anodizare și stabilirea influenței acestora asupra diametrului, lungimii și densității porilor. Studiile de microscopie electronică de baleiaj (SEM) au arătat că au fost obținute membrane de Al_2O_3 care conțin rețele de pori ordonate pe câțiva micrometri pătrați. Concentrația acidului oxalic utilizat pentru anodizare influențează diametrul porilor (ex. au fost obținute membrane cu diametrul porilor între 45 nm și 60 nm.), viteza de creștere a porilor și densitatea (ex. creșterea concentrației acidului conduce la creșterea vitezei de creștere a porilor, deci a lungimii acestora; densitatea porilor în schimb crește cu scăderea concentrației acidului oxalic: ex. pentru o concentrație de 0,5M se obține o densitate de 10^9 pori/ cm^2 , pentru o concentrație de 0,3M se obține o densitate de 10^{10} pori/ cm^2). Timpul de anodizare are influență asupra grosimii membranei/lungimii porilor.

- **Faza 2/2009. Obținerea de membrane nanoporoase din oxizi de Ti și Si prin anodizarea foliilor de Ti și Si. Studiul influenței condițiilor de anodizare asupra porozității.**

În cadrul Fazei 2/2009 a proiectului PN 09-43 02 02 au fost preparate membrane nanoporoase de oxid de titan și oxid de siliciu prin anodizarea foliilor de Titan (Ti) și a plachetelor de (Si). S-a studiat influența condițiilor de anodizare asupra porozității nanoporilor membranelor poroase de TiO_2 și SiO_2 . Etapizarea operațiilor specifice procesului de anodizare, cu specificitățile legate de materialul supus anodizării, sunt următoarele: pregătirea foliilor de Ti, respectiv plachetei de Si, în vederea anodizării (ex. folia de Ti se polizează mecanic cu pastă de diamant având diferite granulații) și cu syton (particule de 40 nm); degresarea și spălarea (specifec atât foliei polizate de Ti cât și plachetei de Si); examinarea morfologiei/rugozității suprafeței la microscopul de forță atomică (AFM); anodizarea electrochimică în acizi specifici materialului de anodizat (ex. soluție de HF 0,5% pentru Ti și HF sau amestec de HF cu alcool etilic pentru Si); controlul parametrilor de anodizare (tensiunea electrică aplicată: creșterea tensiunii aplicate conduce la creșterea diametrului porilor). Analizele morfologice au evidențiat că au fost obținute membrane de TiO_2 și SiO_2 care conțin rețele ordonate de pori. Densitatea porilor crește cu creșterea potențialului de anodizare.

- **Faza 3/2009. Obținerea de membrane nanoporoase cu simetrie cilindrică din oxid de aluminiu prin anodizarea firelor de aluminiu. Studiul influenței condițiilor de anodizare asupra porozității, lungimii și densității porilor.**

În cadrul fazei 3/2009 au fost obținute membrane nanoporoase cu simetrie cilindrică din oxid de aluminiu prin anodizarea firelor de aluminiu. S-a studiat influența condițiilor de anodizare asupra porozității, lungimii și densității nanoporilor. Membranele nanoporoase tubulare obținute prin anodizarea directă a firelor de aluminiu conțin rețele de pori cu simetrie circulară ordonată. Utilizând, în timpul procesului de anodizare, concentrații diferite de acid oxalic (0,3M și 0,5M) au fost obținute membrane nanoporoase cu simetrie cilindrică având diametre ale nanoporilor cuprinse între 40 nm și respectiv 65 nm. Timpul de anodizare în timpul celei de-a doua anodizări a firelor de aluminiu este un parametru de lucru cu care s-a controlat lungimea nanoporilor cu simetrie circulară, dar și obținerea de membrane nanoporoase cu simetrie cilindrică având grosimi diferite. S-a constatat că densitatea de nanopori a membranelor cu simetrie cilindrică depinde, pe lângă condițiile de anodizare, și de concentrația acidului oxalic și anume: densitatea porilor și porozitatea membranelor crește cu creșterea concentrației acidului oxalic folosit pentru anodizare, la temperatură constantă. Creșterea temperaturii de anodizare, pentru o concentrație constantă de electrolit, conduce la creșterea vitezei de creștere a nanoporilor cu simetrie cilindrică și implicit la creșterea lungimii nanoporilor.

Proiect PN 09 - 43 02 04/ Noi fluide magnetoreologice.

Activitățile de cercetare din cadrul acestui proiect, derulate în cursul anului 2009, au fost dezvoltate în cadrul unei faze distincte.

- **Faza 1/2009. Obținerea de particule magnetice cu diferite compoziții și dimensiuni. Caracterizarea morfologică, structurală și magnetică.**

Faza 1/2009 a avut ca obiectiv prepararea și caracterizarea morfologică, structurală și magnetică a particulelor magnetice cu diferite compoziții și dimensiuni. Au fost preparate particule magnetice de Fe, FeSiB și CoFeSiB având diferite dimensiuni. Particulele de Fe au fost disponibile comercial iar cele de FeSiB și CoFeSiB au fost obținute prin măcinarea microfiredelor amorfe cu aceeași compoziție. Particule cu diferite dimensiuni au fost obținute prin sitarea pulberilor cu ajutorul unui sistem de site. A fost realizată caracterizarea morfologică,

structurală și magnetică folosind tehnici de microscopie electronică de baleiaj (SEM și SEM-EDS), metoda împrăstierii dinamice a luminii și magnetometria de vibrație (VSM). A fost studiată comportarea magnetică a particulelor de Fe cu diferite dimensiuni (< 20, 20-32, 32- 40, 40-50, 50-60 micrometri) obținute în urma sitării pulberilor de Fe comerciale și a particulelor de CoFeSiB și FeSiB cu dimensiuni în gamele 40-63, 63-80, și 80-100 micrometri. Au fost obținute particule cu distribuții dimensionale înguste și proprietăți magnetice (M_s de ~ 200 emu/g și H_c între 7 și 9 G) convenabile utilizării pentru realizarea fluidelor magnetoreologice MR (lichide MR sau particule în matrice rigidă).

Proiect PN 09 - 43 02 05/ Generarea continuă de micropicături și microparticule superparamagnetice în sisteme microfluidice cu focalizare ferohidrodinamică.

Activitățile de cercetare din cadrul acestui proiect, derulate în cursul anului 2009, au fost dezvoltate în cadrul unei faze distincte.

- **Faza 1/2009. Rețete / proceduri de preparare și caracterizare ferrofluide. Prepararea și caracterizarea ferrofluidelor, precursori superparamagnetici fluizi pentru obținerea de nano/micropicături și particule solide cu distribuții dimensionale foarte înguste.**

În Faza 1/2009 a proiectului au fost puse la punct câteva metode pentru prepararea în laborator a unor fluide magnetice, ferrofluide și emulsii ferrofluidice. Pentru obținerea de ferrofluide s-a folosit metoda precipitării chimice a magnetitei dintr-un amestec de soluții feroase și ferice, în mediu alcalin. Stabilizarea suspensiei coloidale a fost realizată steric, folosind drept surfactanți acidul oleic, în cazul ferrofluidelor pe bază de kerosen și ulei de transformator, și hidroclorura de dodecilamină, în cazul ferrofluidelor pe bază de apă. Obținerea ferrofluidelor pe bază de apă este mai dificilă, în schimb obținerea ferrofluidelor pe bază de kerosen prin precipitarea magnetitei din soluții apoase și prin peptizarea cu acid oleic, este relativ ușoară și economică. Aceasta a sugerat folosirea aceleiași tehnici pentru prepararea ferrofluidelor pe bază de apă. A fost realizată stabilizarea sterică prin utilizarea unor surfactanți cationici solubili în apă (ex. hidroclorura de dodecilamină ($C_{12}H_{25}NH_2 \cdot HCl$), care disociază în cationul dodecilamoniu ($C_{12}H_{25}NH_3^+$) și anionul (Cl^-)). Moleculele polare ale acestora nu sunt adsorbite direct pe suprafața solidă a particulelor, ci se cuplează electrostatic cu acumularea de sarcină din stratul Stern. Prin controlul parametrilor de lucru s-a obținut un ferrofluid cu magnetizarea de saturație maximă de 27,2 kA/m. Încercând să fie diluat ferrofluidul obținut inițial, s-a constatat că la diluții mai mari de 10:1, ferrofluidul își pierde stabilitatea. Pentru studiul transmitanței prin pelicule subțiri de ferrofluid a fost realizat un montaj experimental. Ca sursă de lumină s-a folosit un laser He-Ne ($\lambda = 630$ nm) de 10 mW. Ca polarizor și analizor au fost folosite prisme Glan Thompson cu apertura de 10 mm. Polarizarea luminii care este incidentă pe proba de ferrofluid este controlată prin rotirea polarizorului. Pentru producerea și aplicarea câmpului magnetic a fost utilizat un sistem de bobine Helmholtz cu axa perpendiculară pe direcția de propagare a luminii (direcția x). Constanta de câmp a bobinelor a fost de 4,8 kA/m/A (60 Oe/A). Pentru compensarea fluctuațiilor intensității luminoase a laserului, montajul este prevăzut cu un sistem de monitorizare a acesteia, compus dintr-un divizor de fascicul și un fotodetector A. Fasciculul luminos transmis prin proba de ferrofluid este analizat cu un analizor care este rotit cu ajutorul unui motor pas cu pas comandat de un PC. Unghiul de rotație pas cu pas este de 2°. În final fasciculul este recepționat de un fotodetector B. Cei doi fotodetectori sunt două celule fotovoltaice identice ROL 011. În cazul ferrofluidelor pe bază de kerosen s-a constatat că în prezența câmpului magnetic aplicat paralel cu planul peliculei, intensitatea normalizată a fasciculului transmis crește monoton cu câmpul magnetic, tinzând către o saturație. Deoarece axele optice ale polarizorului și analizorului sunt perpendiculare, prin analizor ar trebui să nu treacă lumină dacă ferrofluidul ar fi izotrop. Acest lucru se întâmplă atunci când nu este aplicat un câmp magnetic. La aplicarea unui câmp magnetic ferrofluidul devine anizotrop, ceea ce duce la rotirea planului de oscilație a câmpului electric din undă și, deci, la trecerea luminii prin analizor. Pentru ferrofluidele pe bază de kerosen, saturația este atinsă la intensități ale câmpului magnetic depășind 36 kA/m (450 G). Pentru o magnetizare de saturație și o grosime a peliculei date, curbele $I/I_{\max}(H)$ ridicate pentru viteze diferite de stabilire a câmpului s-au suprapus pe tot domeniul de valori ale intensității câmpului magnetic aplicat. Ferrofluidele pe bază de apă preparate de noi au avut din acest punct de vedere o comportare asemănătoare cu cele pe bază de kerosen. Saturarea intensității normalizate a luminii transmise este atinsă pentru această categorie de ferrofluide la intensități ale câmpului magnetic aplicat de peste 28 kA/m (350 G).

2.2. Proiecte contractate:

Cod obiectiv	Nr. proiecte contractate	Nr. proiecte finalizate	Valoare (mii lei)		Nr. personal CD	
			Total	2009	Total	Studii superioare
01	5	-	9.240.000	1.725.000	47	42
02	5	-	13.440.000	3.138.678		
Total:	10	-	22.68	2014.541		

2.3 Situatia centralizata a cheltuielilor privind programul nucleu : Cheltuieli – lei -

I. Cheltuieli directe	1.925.908,60	1.718.025,65
1. Cheltuieli de personal, din care	1.562.285,20	1.562.285,20
1.1. Cheltuieli cu salariile	1.432.329,29	1.432.329,29
1.2. Alte cheltuieli de personal, din care:	129.955,91	129.955,91
a) deplasări în țară	7.801,17	8.973,37
b) deplasări în străinătate	122.154,74	120.982,54
2. Cheltuieli materiale și servicii, din care:	363.623,40	155.740,45
2.1. Materii prime și materiale	351.395,77	143.454,09
2.2. Lucrări și servicii executate de terți	12.227,63	12.286,36
II. Cheltuieli Indirecte: Regia	1.847.719,20	2.021.090,01
III. Dotări independente și studii pentru obiective de investiții proprii, din care:	1.090.050,20	1.124.562,34
1. Echipamente pentru cercetare-dezvoltare	1.060.050,20	1.121.634,94
2. Mobilier și aparatură birotică	0	0
3. Calculatoare și echipamente periferice	30.000,00	2.927,40
TOTAL (I+II+III)	4.863.678,00	4.863.678,00

3. Analiza stadiului de atingere a obiectivelor programului

Au fost dezvoltate activități de cercetare în cadrul a 6 proiecte din Programul NUCLEU (MAGMATMAG PN 09 43) finanțate în anul 2009. Obiectivele prevăzute în cadrul celor 18 faze derulate până la data de 15.12.2009 au fost îndeplinite în totalitate și anume:

- Au fost realizate studii și analize complexe de caracterizarea morfologică, topologică și compozițională a nanomaterialelor și nanostructurilor sub formă de nanopulberi (acoperite și neacoperite) și nanofire (simple și multistrat) pentru posibile aplicații din domeniile (bio)medical și spintronică. Rezultatele obținute au fost diseminate prin lucrări comunicate la manifestări științifice internaționale și publicate în reviste de specialitate.
- S-a elaborat un model fizic bazat pe noi metode care permit studiul fenomenului de propagare a undelor magnetoinductive în ghiduri de undă 1D realizate cu materiale „Swiss Roll” și „Splitter Cells”.
- S-a dezvoltat un cod numeric de calcul scris în Matlab, care permite modelarea propagării și determinarea principalelor caracteristici S ale ghidurilor de undă cu o precizie de 5%. S-au determinat impedențele caracteristice cu precizie de minim 5% și s-a determinat coeficientul de unda stationara.
- S-a dezvoltat o tehnologie de realizare a ghidurilor de undă 1D cu metamateriale și a elementelor de cuplare. S-au realizat 300 de elemente structurale de tip „Swiss Roll” și „Splitter Cells”, acestea fiind asamblate în structuri 1D și 2D de tip hexagonal cu strat dublu.
- S-au realizat lentile magnetoinductive. S-au efectuat măsurători de parametri S pe ghiduri de undă magnetoinductive 1D, a elementelor de cuplare, precum și pe ghiduri multiple, s-au efectuat măsurători experimentale pentru caracterizarea ghidurilor de unda magnetoinductive și de validare a codului numeric și s-au determinat indicii de refracție.
- Au fost realizați magneți permanenți sub formă de discuri obținute prin sinterizarea unui amestec de pulberi, din sistemul nanocompozit *material magnetic dur/material magnetic moale*, în vederea utilizării pentru aplicații în domeniul electrotehnicii.
- Au fost realizate materiale sub formă de straturi subțiri simple și multistrat cu proprietăți magnetice dure din sistemul nanocompozit *material magnetic dur(NdFeB)/material magnetic moale (Fe, Co, FeSiB)*, cu aditii de Nb-Cu, Ti, Mo-Cu, Zr, Cr, în vederea utilizării pentru aplicații în sisteme MEMS.
- Au fost realizate și caracterizate morfologic și topologic membrane nanoporoase din Al₂O₃, TiO₂ și SiO₂ obținute prin anodizarea foliilor de Al, Ti, respectiv a plachetelor de Si și membrane nanoporoase cu simetrie cilindrică din Al₂O₃ obținute prin anodizarea firelor de aluminiu, pentru creșterea în porii acestora de nanostructuri cu topologii complexe pentru aplicații (bio)medicale și pentru domeniul spintronicii.
- Au fost realizate și caracterizate particule magnetice de Fe, FeSiB și CoFeSiB cu distribuții dimensionale înguste și proprietăți magnetice convenabile utilizării pentru realizarea de fluide magnetoreologice MR (lichide MR sau particule în matrice rigidă).
- S-au realizat și experimentat loturi de nanoparticule de magnetită pentru realizarea de ferofluide cu caracteristici fizice speciale.

4. Prezentarea rezultatelor

4.1. Rezultate concretizate în studii, proiecte prototipuri (produse), tehnologii, alte rezultate (inclusiv fila de catalog a produsului, tehnologiei sau serviciului – după [modelul anexat](#)):

Denumirea proiectului	Tipul rezultatului (studiu proiect, prototip, tehnolog, etc., alte rezultate)	Efecte scontate
Proiect PN 09 - 43 01 02/ Noi tehnici de caracterizare structurală, topologică, morfologică și compozițională a sistemelor de nanomateriale și nanostructuri.	Studii/analize: Studii complexe asupra morfologiei, topologiei și compoziției sistemelor de nanomateriale și nanostructuri (nanopulberi, nanofire simple și multistrat)	Utilizarea de tehnici noi de analiză morfologică, topologică și compozițională a nanomaterialelor și nanostructurilor (nanopulberi, nanofire) permite utilizarea acestora în aplicații țintă, dobândirea de noi cunoștințe și abilități în domeniul Nano, identificarea de noi aplicații pentru domeniul (bio)medical și spintronică.
Proiect PN 09 - 43 01 04 / Fenomene și procese fizice în meta materiale 1D și 2D cu aplicații în radiofrecvență; dezvoltarea de sensori și tehnici neinvazive bazate pe acestea.	- model fizic pentru studiul fenomenului de propagare a undelor magnetoinductive în ghiduri de unda 1D realizate cu materiale „Swiss Roll” și „Splitter Cells”. - cod numeric dezvoltat în Matlab, pentru modelarea propagării și determinarea principalelor caracteristici S ale ghidurilor de unda cu precizie 5%, determinarea impedanțelor caracteristice cu precizie 5%; determinarea coeficientului de unda staționară. - tehnologie de producere a „Swiss Roll” și „Splitter Cells” care permite o reproductibilitate de minim 95% a principalilor parametri geometrici și funcționali - tehnologie de realizare a ghidurilor de unda 1D cu metamateriale și a elementelor de cuplare - produse: 300 de elemente structurale de tip „Swiss Roll” și „Splitter Cells” și asamblarea lor în structuri 1D și 2D de tip hexagonal cu strat dublu	- Participarea la proiecte științifice cu finanțare externă în cadrul programului FP7, precum și granturi și cooperări finanțate de NSF-USA - Participarea la proiecte de cooperare bilaterală.
Proiect PN 09 - 43 02 01/ Interacțiuni magnetice și transformări de fază în magneți permanenți nanocompoziți izotropi și anizotropi.	Materiale: Straturi subțiri simple și multistrat cu caracteristici magnetice dure pe bază de NdFeB cu aditii/substituții de Nb-Cu, Mo-Cu, Fe-B-Si, Co, Fe. Produse: Magneți permanenți nanocompoziți obținuți prin sinterizarea unui amestec de pulberi (NdFeB și aliaje ale metalelor de tranziție) utilizând tehnica SPS : discuri cu diametrul de 10 mm și grosimea cuprinsă între 1 și 1,2 mm.	- Obținerea de materiale electrotehnice performante pentru aplicații tehnologice de vârf: sisteme MEMS; componente electrotehnice. - Participarea la proiecte științifice cu finanțare externă în cadrul programului FP7, precum și granturi și cooperări finanțate de NSF-USA - Participarea la proiecte de cooperare bilaterală.

Proiect PN 09 43 02 02/ Membrane poroase suport pentru creșterea de nanostructuri cu topologii complexe.	Produse: - Membrane nanoporoase din Al_2O_3 , TiO_2 și SiO_2 obținute prin anodizarea foliilor de Al, Ti, respectiv a plachetelor de Si. - Membrane nanoporoase cu simetrie cilindrică din Al_2O_3 prin anodizarea firelor de aluminiu.	Realizarea de sisteme ,template' proprii, tip membrane nanoporoase planare și membrane nanoporoase cu simetrie cilindrică, cu caracteristici fizice și topologice prestabilite, pentru creșterea în porii acestora de nanostructuri cu topologii complexe pentru aplicații biomedicale și pentru domeniul spintronicii.
Proiect PN 09 - 43 02 04/ Noi fluide magnetoreologice.	Materiale: Particule de CoFeSiB și FeSiB cu dimensiuni în gamele 40-63 μm , 63-80 μm și 80-100 μm .	Realizarea de particule magnetice cu distribuții dimensionale înguste și proprietăți magnetice convenabile utilizării pentru realizarea de fluide magnetoreologice MR (lichide MR sau particule în matrice rigidă).
Proiect PN 09 –43 02 05 / Generarea continuă de micropicături și microparticule superparamagnetice în sisteme microfluidice cu focalizare ferohidrodinamică	- loturi test de nanoparticule din magnetită prin precipitare directă; - loturi test de nanoparticule din magnetită prin precipitare in-situ; - loturi test de ferrofluide.	Realizarea unor loturi de nanoparticule de magnetită pentru realizarea de ferrofluide cu generare de micropicături și microparticule superparamagnetice pentru aplicații biomedicale.

4.2. Valorificarea în producție a rezultatelor obținute:

Denumirea proiectului	Tipul rezultatului	Utilizatori	Efecte socio-economice la utilizator
Proiect PN 09 - 43 02 01/ Interacțiuni magnetice și transformări de fază în magneți permanenți nanocompoziți izotropi și anizotropi.	Produse: Magneți permanenți nanocompoziți obținuți prin sinterizarea unui amestec de pulberi (NdFeB și aliaje ale metalelor de tranziție) utilizând tehnica SPS : discuri cu diametrul de 10 mm și grosimea cuprinsă între 1 și 1,2 mm.	- INCDFIT-IFT Iasi, - industria electronică și electrotehnică	Realizarea de produse performante pentru aplicații în electrotehnică.
Proiect PN 09 43 02 02/ Membrane poroase suport pentru creșterea de nanostructuri cu topologii complexe.	Produse: - Membrane nanoporoase din Al_2O_3 , TiO_2 și SiO_2 obținute prin anodizarea foliilor de Al, Ti, respectiv a plachetelor de Si. - Membrane nanoporoase cu simetrie cilindrică din Al_2O_3 prin anodizarea firelor de aluminiu.	- INCDFIT-IFT Iasi,	Realizarea de nanofire în nanoporii membranelor realizate, pentru aplicații în domeniul biomedical și în spintronică.
Proiect PN 09 - 43 02 04/ Noi fluide magnetoreologice.	Materiale: Particule de CoFeSiB și FeSiB cu dimensiuni în gamele 40-63 μm , 63-80 μm și 80-100 μm .	- INCDFIT-IFT Iasi, - Industria autovehiculelor.	Realizarea de ferrofluide pentru industria autovehiculelor
Proiect PN 09 –43 02 05 / Generarea continuă de micropicături și microparticule superparamagnetice în sisteme microfluidice cu focalizare ferohidrodinamică	Produse: - loturi test de nanoparticule din magnetită prin precipitare directă; - loturi test de nanoparticule din magnetită prin precipitare in-situ; - loturi test de ferrofluide.	- INCDFIT-IFT Iasi	Aplicații în domeniul biomedical.

4.3. Participarea la colaborări internaționale:

Nr. crt.	Denumirea programului internațional	Tară și/sau CE unități colaboratoare	Denumire proiect	Valoarea proiectului (lei)	
				Valoare totală proiect	Valoare țară
	Cooperare bilaterală România Franța	Laboratoire de Physique de L'Etat Condensé, C.N.R.S. UMR 6087, Université du Maine, Le Mans, Franța	Materiale nanocristaline magnetic dure pe bază de FePt, obținute din precursori amorfi (NanoFEPT), Contract nr. 318/20.05.2009		
	Cooperare bilaterală România Slovenia	Universitatea din Ljubljana, Slovenia	Evaluarea nedistructivă prin procedee electromagnetice și cu unde elastice a compozitelor carbon epoxy; fuziune de date și clasificarea reparatiilor	10.000 EURO	19.000 lei

4.4. Articole (numai cele publicate în reviste cu referenți de specialitate):

Nr. crt.	Denumirea publicației	Titlul articolului
	- în țară:	
1.	<i>Proceedings of IV National Conference The Academic Days of Academy of Technical Science in Romania</i> , 20-21 Noiembrie 2009, pp.181-186, ISSN 2066-6586.	<i>Focusing of the electromagnetic field using metamaterials; applications</i> , Autori: Andreescu Aurel, Savin Adriana, Curtu Ioan, Bruma Alina, Grimberg Raimond,
2.	<i>Romanian Journal of Biophysics</i> , lucrare acceptată pentru publicare în 2009.	Biocompatible Magnetic Microparticles: A Colloidal Stability Study, Autori: Laura Elena UDREA, Doina HRITCU, Vasile BADESCU, Ionel Marcel POPA
	- în străinătate:	
1.	<i>IEEE Transactions on Magnetism</i> 45(10) (2009) 4049-4051.	Influence of the Particles Size and Size Distribution on the Magnetorheological Fluids Properties; Autori: H. Chiriac, G. Stoian.
2.	<i>IEEE Transactions on Magnetism</i> 45(10) (2009) 4077-4080.	Magnetotransport phenomena in [NiFe/Cu] magnetic multilayered nanowires, Autori: H. Chiriac, O Dragos, M Grigoras, G. Ababei, N. Lupu
3.	<i>Digest of 20th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces</i> , P-Th 69, pag. 602-603.	<i>The Influence of Mo-Cu Spacer Layer on Magnetic Properties of Nanostructured Ta[NdFeB/MoCu]_xn/Ta Films</i> , Autori: H. Chiriac, M. Grigoras, N. Lupu, M.Urse
4.	<i>Proceedings of THE 10th INTERNATIONAL CONFERENCE: APPLICATION OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE TESTING IN ENGINEERING</i> , 01-03 September, 2009, Ljubljana, Slovenia pp.267-284, ISBN 978-961-90610-7-7.	<i>Electromagnetic Nondestructive Evaluation: Present And Future</i> , Keynote Lecture : Raimond Grimberg.
5.	<i>Proceedings of THE 10th INTERNATIONAL CONFERENCE: APPLICATION OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE TESTING IN ENGINEERING</i> , 01-03 September, 2009, Ljubljana, Slovenia, pp.503-510, ISBN 978-961-90610-7-7.	<i>Near-Zone Fields Scattered By 3D Highly Conducting Permeable Objects In The Field Of An Arbitrary Current Source</i> , Autori: R.Grimberg, A.Savin, S.Leitoiu, A.Bruma And R.Patrascu
6.	<i>Proceedings of THE 10th INTERNATIONAL CONFERENCE: APPLICATION OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE TESTING IN ENGINEERING</i> , 01-03 September, 2009, Ljubljana, Slovenia, pp.59-	<i>Correlation between structures and phase transition and ultrasound characteristics at fiber reinforced plastics composites</i> , Autori: R.Grimberg, Paul Barsanescu, I.Curtu, S.Leitoiu, A.Savin

	66, ISBN 978-961-90610-7-7.	
7.	<i>Proceedings of THE 10th INTERNATIONAL CONFERENCE: APPLICATION OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE TESTING IN ENGINEERING</i> , 01–03 September, 2009, Ljubljana, Slovenia, pp.67-76, ISBN 978-961-90610-7-7.	<i>Ultrasonic examination of fiber reinforced plastics using phased array transducers</i> , Autori: A. Savin, A.Andreescu, R. Steigmann, Alina Bruma
8.	<i>Proceedings of THE 10th INTERNATIONAL CONFERENCE: APPLICATION OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE TESTING IN ENGINEERING</i> , 01–03 September, 2009, Ljubljana, Slovenia, pp.367-374, ISBN 978-961-90610-7-7.	<i>Electromagnetic nondestructive evaluation of honeycomb structures with conductive skins and core</i> , Autori: A.Savin, P.Barsanescu, R.Steigmann, N.Ifimie, M.Stanciu, R.Grimberg
9.	<i>Proceedings of the 5th International Workshop NDT in Progress, Meeting of NDT experts</i> , October 12 – 14, 2009, Prague, Czech Republic, ISBN 978-80-214-3968-9, 239-246.	<i>Nondestructive evaluation of sandwich structures with carbon epoxy facesheets and aluminum core using electromagnetic methods</i> , Autori: Adriana Savin, Aurel Andreescu, Paul Barsanescu, Rozina Steigmann, Raimond Grimberg
10.	<i>Proceedings of 5th International Workshop NDT in Progress, Meeting of NDT experts</i> , October 12 – 14, 2009, Prague, Czech Republic, ISBN 978-80-214-3968-9, pp 75-81.	<i>Near – zone fields scattered by highly conducting permeable objects in the field of an arbitrary loop; detection and characterization of metallic buried objects</i> , Autori: Raimond Grimberg, Adriana Savin, Rozina Steigmann, Alina Bruma, Cristian Comisu
11.	<i>Proceedings of 5th International Workshop NDT in Progress, Meeting of NDT experts</i> , October 12 – 14, 2009, Prague, Czech Republic, ISBN 978-80-214-3968-9, pp 83-91	<i>The possibility of using metamaterials in nondestructive evaluation by electromagnetic methods</i> , Autori: Raimond Grimberg, Adriana Savin, Rozina Steigmann, Aurel Andreescu, Alina Bruma, Nicoleta Ifimie
12.	<i>Proceedings of 5th International Workshop NDT in Progress, Meeting of NDT experts</i> , October 12 – 14, 2009, Prague, Czech Republic, ISBN 978-80-214-3968-9, pp.65-74	<i>Determination of CFRP's mechanical properties using ultrasound methods</i> , Autori: R.Grimberg, A. Savin, R.Steigmann, A.Bruma, P.Barsanescu, D.Salavastru
13.	<i>Journal of Applied Physics</i> , Volume: 107, Issue: 9, Article Number: 09E315, MAY 2010	<i>Surface magnetization process in soft magnetic nanowires</i> , Autori: N. Lupu, M. Lostun, H. Chiriac
14.	<i>Journal of Magnetism and Magnetic Materials</i> , Lucrare trimisă spre publicare, în octombrie 2009	<i>The characterization of interaction effects in Fe-Pt-Nb-B melt – spun ribbons hard magnets</i> , Autori: N. Randrianantoandro, N.Lupu, O. Crișan, J.M.Grenche
15.	<i>Journal of Magnetism and Magnetic Materials</i> , Lucrare trimisă spre publicare în octombrie 2009	<i>Preparation and characterization of polyvinyl alcohol - chitosan biocompatible magnetic microparticles</i> , Autori: L.E. Udrea, D. Hritcu, M.I. Popa, O. Rotariu

4.5. Cărți publicate:

Nr. ctr.	Titlul cărții	Editura	Autor principal
	- în țară: - în străinătate:		

4.6. Manifestări științifice:

Nr. crt.	Manifestări științifice	Număr de manifestări	Număr de comunicări
	a) congrese internaționale:		

	b) simpozioane:	2	2
	20 th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces - ICMFS 2009, 20-24 Iulie, Berlin, Germania.	1	1
	A 8-a editie a Seminarului National de nanostiinta si nanotehnologie, 27 aprilie 2009, Bucuresti, Romania.	1	1
	c) seminarii, conferințe;	8	15
	International Conference on Magnetism (ICM '09), 26-31 July, Karlsruhe, Germania	1	2
	IEEE ROMSC 2009 (6 th edition) June 6-9, 2009, Iași, România.	1	1
	International Magnetism Conference – INTERMAG, 4-6 Mai 2009, Sacramento, Spania.	1	1
	11th International Conference on Advanced Materials – ICAM 2009, 20-25 septembrie 2009, Rio de Janeiro, Brazilia.	1	3 din care 1 prezentată oral
	10th INTERNATIONAL CONFERENCE: APPLICATION OF CONTEMPORARY NON-DESTRUCTIVE TESTING IN ENGINEERING, 01–03 September, 2009, Ljubljana, Slovenia	1	5
	4th International Conference on Powder Metallurgy – RoPM, Craiova, Romania, 8-11 iulie, 2009	1	1
	A X-a Conferinta Nationala de Biofizica (CNB 2009), 1-3 Oct. 2009, Cluj-Napoca, Romania.	1	1
	IV National Conference The Academic Days of Academy of Technical Science in Romania, 20-21 Noiembrie 2009	1	1
	d) workshop:	2	5
	5th International Workshop NDT in Progress, Meeting of NDT experts, October 12 – 14, 2009, Prague, Czech Republic	1	4
	10th International Balkan Workshop on Applied Physics, July 6 – 8, 2009 Constanța, Romania.	1	1

4.7. Brevete rezultate din tematica de cercetare:

Nr. crt.	Specificație	Brevete înregistrate (nr.)	Brevete acordate (nr.)	Brevete vândute (nr.)
	- în țară:			
	- în străinătate:			
	Total:			

5. Aprecieri asupra derulării și propuneri :

Obiectivele propuse pentru a fi dezvoltate în cursul anului 2009 în cadrul celor 6 proiecte finanțate în 2009 în Programul NUCLEU (MAGMATMAG – PN 09 43) au fost îndeplinite în totalitate. Activitățile de cercetare specifice fiecărui proiect s-au desfășurat în bune condiții, cu rezultate după cum urmează:

- **2 articole publicate** în reviste de specialitate din țară sau în *Proceedings-uri ale unor manifestări științifice internaționale organizate în țară.*

- **12 articole publicate** în reviste cu referenți din străinătate, din care: 2 în reviste cotate ISI și 10 în alte reviste de specialitate sau Proceedings-uri ale unor manifestări științifice internaționale organizate în străinătate;
- **4 lucrări** au fost trimise spre publicare în reviste cotate ISI.
- **22 lucrări științifice** comunicate la **12 manifestări științifice internaționale** organizate în țară și străinătate, din care 1 lucrare a fost prezentată oral și 1 lucrare a fost lecție invitată.
- **6 tipuri de materiale noi:** straturi subțiri simple și multistrat magnetic dure pe bază de NdFeB cu adii/substituții de Nb-Cu, Mo-Cu, Fe-B-Si, Co, Fe; particule de CoFeSiB și FeSiB cu dimensiuni în gamele 40-63 μm , 63-80 μm și 80-100 μm ; loturi test de nanoparticule din magnetită obținute prin precipitare directă și prin precipitare in-situ;.
- **1 montaj experimental** pentru studiul transmitanței prin pelicule subțiri de ferrofluid.
- **1 model fizic** bazat pe noi metode care permit studiul fenomenului de propagare a undelor magnetoinductive în ghiduri de undă 1D realizate cu materiale „Swiss Roll” și „Splitter Cells”.
- **1 cod numeric de calcul** scris în Matlab, care permite modelarea propagării și determinarea principalelor caracteristici S ale ghidurilor de undă cu o precizie de 5%.
- **2 tehnologii:** 1 tehnologie de realizare a ghidurilor de undă 1D cu metamateriale și a elementelor de cuplare; 1 tehnologie de producere a „Swiss Roll” și „Splitter Cells” care permite o reproductibilitate de minim 95% a principalilor parametri geometrici și funcționali.
- **9 tipuri de produse noi:** 3 tipuri de magneți permanenți nanocompoziți obținuți prin compactizarea pulberilor (NdFeB și 3 tipuri de materiale magnetic moi) prin metoda SPS; elemente structurale de tip „Swiss Roll” și „Splitter Cells” (în număr de 300) și asamblarea lor în structuri 1D și 2D de tip hexagonal cu strat dublu; 3 tipuri de membrane nanoporoase din Al_2O_3 , TiO_2 și SiO_2 obținute prin anodizarea foliilor de Al, Ti, respectiv a plachetelor de Si; 1 tip de membrană nanoporoasă cu simetrie cilindrică din Al_2O_3 obținută prin anodizarea firelor de aluminiu; loturi test de ferrofluide.

În cursul anului 2009 activitatea de evaluare/monitorizare a proiectelor din cadrul Programului NUCLEU (MAGMATMAG – PN 09 43) s-a desfășurat la timp și acest fapt a condus la o finanțare ritmică și la termen a activităților specifice desfășurate în cadrul celor 6 proiecte finanțate în 2009 ceea ce a condus la realizarea în totalitate, cu rezultate bune, a obiectivelor propuse.

DIRECTOR GENERAL,

Prof. Dr. Horia CHIRIAC

DIRECTOR DE PROGRAM,

Prof. Dr. Horia CHIRIAC

DIRECTOR ECONOMIC,

Maria POPESCU