

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

Cod fiscal : RO 5640892

Raport anual de activitate privind desfășurarea programului nucleu *Magnetism și Materiale Magnetice / MAGMATMAG, 09-43* **anul 2012**

Durata programului: 2009-2013

Data începerii: 13.03.2009

Data finalizării: 30.06. 2013

1. Scopul programului:

Scopul programului nucleu (MAGMATMAG) constă în dezvoltarea în cadrul *Institutului Național de Cercetare – Dezvoltare pentru Fizică Tehnică (INCDFI) – IFT Iași* a unor activități de cercetare fundamentală și aplicativă de vârf în domeniul magnetismului și materialelor magnetice. Programul nucleu (MAGMATMAG) a permis dezvoltarea de cercetări avansate în domeniul materialelor magnetice nanocompozite și nanodimensionate, cu caracteristici fizice superioare, în scopul utilizării ulterioare a acestora în aplicații din domeniile: spintronică, microelectronică, medicină, biologie, etc. Programul propus a permis evidențierea și dezvoltarea unor noi procese fizice de bază în materiale magnetice în domeniul micro- și nanotehnologiilor, în realizarea de micro și nanodispozitive, precum și în domeniul controlului nedistructiv. Au fost dezvoltate cercetări avansate vizând tehnici de vârf pentru prepararea și caracterizarea de noi tipuri de nanomateriale cu aplicații specifice domeniului “high tech”.

În cadrul programului MAGMATMAG 09-43 au fost dezvoltate 10 proiecte care au avut ca scop deschiderea de noi direcții de cercetare de mare perspectivă în domeniul magnetismului și materialelor magnetice cu aplicații în realizarea de senzori și biosenzori magnetici pentru aplicații în medicină, biologie, microelectronică, tehnică de calcul, industria automotive și industria aeronautică. Cercetările dezvoltate au condus 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 a permis deschiderea unor noi arii de activități de cercetare multi- și interdisciplinare, cu importante colaborări în diferite domenii ale științei și tehnicii. Rezultatele obținute ca urmare a derularii activităților de cercetare din cadrul acestui program vor permite identificarea și abordarea unor noi tematici de cercetare în vederea participării cu propuneri noi de proiecte în programul PN II, în Programul Cadru 7 al Uniunii Europene, în alte programe științifice 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 anul 2012, în cadrul a 5 proiecte finanțate și anume:

- ♦ **Obiectiv 1: Fizica fenomenelor și proceselor magnetice** - 3 proiecte
- ♦ **Obiectiv 2: Fizica materialelor magnetice** - 2 proiecte.

În cadrul celor 5 proiecte au fost dezvoltate 18 faze distincte, după cum urmează:

- proiectul PN 09 43 01 01 - 8 faze
- proiectul PN 09 43 01 02 - 3 faze
- proiectul PN 09 43 01 04 - 3 faze
- proiectul PN 09 43 02 01 - 1 fază
- proiectul PN 09 43 02 03 - 3 faze.

În cursul anului 2012, în cadrul Programului MAGMATMAG, au fost dezvoltate activități de cercetare fundamentală și/sau aplicativă, în funcție de specificul fiecărui proiect și de amploarea obiectivelor

propușe spre rezolvare. Proiectele ale căror activități de cercetare s-au derulat în 2012 au conținut faze de preparare de materiale avansate și faze de caracterizare complexă a nanomaterialelor și nanostructurilor, cu rezultate teoretice și tehnologice/aplicative complexe pentru posibile aplicații în domenii precum medicina, biotehnologia, microelectronica, electrotehnica, spintronica, precum și în domeniul energetic, prioritar la nivel național.

O parte dintre activitățile de cercetare dezvoltate în cadrul proiectelor din Program NUCLEU au constituit de asemenea teme de cercetare în 3 proiecte de colaborare bilaterală internațională cu Slovacia și Grecia.

În anul 2012, la *Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Fizică Tehnică - IFT Iași* și-au desfășurat activitatea de cercetare un număr 5 masteranzi și un doctorand – asistenți de cercetare, cuprinși în programul de perfecționare prin doctorate - în sistemul cu frecvență, precum și în programul de perfecționare prin masterate. Tinerii cercetători au fost implicați în activități de cercetare axate pe tematici dezvoltate în Programul NUCLEU-MAGMATMAG - PN 09-43, iar rezultatele obținute au constituit subiectul referatelor de doctorat și de masterat.

În cadrul proiectelor derulate în Programul MAGMATMAG PN 09-43 au fost dezvoltate activități de cercetare complexe care au constituit noi direcții de cercetare în domeniul nanomaterialelor magnetice și a nanostructurilor speciale precum și în domeniul efectelor/proceselor noi evidențiate în materiale magnetice avansate.

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

Activitățile de cercetare științifică derulate în anul 2012 sunt prezentate pentru fiecare proiect din cadrul Programului Nucleu **MAGMATMAG - cod PN 09 - 43**. În Raportul anual 2012 sunt evidențiate rezultatele obținute și este prezentat stadiul de realizare a obiectivelor specifice.

Proiect PN 09 - 43 01 01/ Studiul dinamicii comutării ultrarapide a magnetizării în microfire feromagnetice amorfe pentru aplicații în spintronică.

Activitățile de cercetare din cadrul proiectului PN 09 - 43 01 01, dezvoltate în anul 2012, s-au derulat pe parcursul a 8 faze, după cum urmează:

- **Faza 1/2012. Realizarea metodei experimentale de studiu a deplasării ultrarapide a pereților de domenii în microfire feromagnetice amorfe pe baza unei variante îmbunătățite a tehnicii Sixtus-Tonks.**

În cadrul Fazei 1/2012 a fost elaborată și dezvoltată o metodă nouă, pe baza tehnicii Sixtus-Tonks, de monitorizare a dinamicii pereților de domenii în microfire feromagnetice amorfe, ce a fost îmbunătățită succesiv pentru a permite realizarea de măsurători ale vitezei de deplasare a peretelui interdomenic cu precizie cât mai ridicată și în diferite condiții. Această metodă a constatat în excitarea unui microfir amorf cu ajutorul unei bobine (solenoid lung) de excitație și înregistrarea semnalului indus în două bobine de detecție aflate în interiorul solenoidului la o distanță fixă între ele. Pentru firele amorfe cu comportament magnetic bistabil, inversarea magnetizației se realizează prin generarea unui perete de domeniu, de regulă la unul dintre capete și deplasarea acestuia în lungul firului până la celălalt capăt. Atunci când peretele de domeniu traversează bobinele de detecție magnetizația se inversează și în bobina de detecție se induce un puls de tensiune. Viteza de deplasare a pereților de domenii se determină prin raportarea distanței dintre bobinele de detecție la intervalul de timp dintre picurile de tensiune înregistrate. Pentru îmbunătățirea metodei s-a propus utilizarea a patru bobine de detecție echidistant distribuite pe lungimea stemului de măsură. La valori mari ale câmpului magnetic aplicat sau/și când diametrul miezului metalic este mic, semnalul indus în bobina de detecție datorită firului este mult mai mic decât semnalul indus în aceeași bobină de către câmpul de excitație. Pentru a depăși acest impediment, s-a realizat un nou sistem de măsură alcătuit din două seturi identice a câte 4 perechi de bobine de detecție. Noua metodă a fost utilizată cu succes pentru determinarea vitezei de propagare a peretelui interdomenic pentru fire amorfe cu dimensiuni ale miezului metalic de până la 100 nm.

- **Faza 2/2012. Stabilirea metodei experimentale de studiu a structurii magnetice de suprafață a microfirelor feromagnetice amorfe pe baza efectului Kerr magneto-optic, în vederea determinării influenței structurii superficiale asupra dinamicii comutării ultrarapide a magnetizării.**

În cadrul Fazei 2/2012 s-a realizat o metodă nouă de investigare a structurii magnetice a microfirelor feromagnetice amorfe în vederea analizei influenței structurii de domenii superficiale asupra dinamicii comutării ultrarapide a magnetizării în aceste tipuri de materiale. Noua metodă experimentală dezvoltată se bazează pe utilizarea simultană a două metode de măsură, și anume efectul Kerr magneto-optic și metoda Sixtus-Tonks. Soluția tehnică a fost aceea de a introduce un sistem de bobine de detecție în sistemul de măsurare al efectului Kerr magneto-optic (instalația NanoMOKE2 – existentă în dotare). În acest mod, semnalul

MOKE (magneto-optic Kerr effect) permite înregistrarea unor informații legate de procesele de magnetizare și structura de domenii magnetice din regiunea de suprafață a probelor. În același timp, sistemul de bobine de detecție (asemănător celui folosit în experimentul Sixtus-Tonks) permite obținerea de informații cu privire la dinamica pereților de domenii în volumul probelor studiate. Combinând cele două tehnici de măsură într-un singur set-up experimental și analizând semnalele înregistrate simultan, s-a putut studia eventualele diferențe de fază dintre cele două semnale. Acest fapt a permis analiza și interpretarea influenței structurii superficiale asupra dinamicii comutării ultrarapide a magnetizării în funcție de tipul și caracteristicile probelor studiate și anume dimensiuni, compoziție, etc. Analiza dependenței vitezei de deplasare a pereților de domenii magnetice cu câmpul magnetic aplicat (câmpul magnetic de excitație) pentru firele de FeSiB cu magnetostricțiune pozitivă și pentru firele de CoFeSiB cu magnetostricțiune slab negativă, având diametre cuprinse între 100 și 900 nm, a condus la stabilirea anumitor corelații între viteza de deplasare a pereților de domenii magnetice și forma acestora. Datele experimentale obținute folosind această nouă metodă de investigare sunt deosebit de importante prin multitudinea informațiilor pe care le oferă, ele fiind în același timp în bună corelație cu rezultatele experimentale obținute anterior în cadrul altor studii și teste.

- **Faza 3/2012. Studiul deplasării pereților de domenii în microfire feromagnetice amorfe cu magnetostricțiune negativă foarte mică.**

În cadrul Fazei 3/2012 s-a realizat, în premieră, un studiu detaliat al propagării pereților de 180° în interiorul miezului axial al microfirelor cu $\lambda_s \sim 0$, pentru a studia mobilitatea acestora și caracteristicile propagării specifice unei anizotropii magnetoelastice reduse, corespunzătoare magnetostricțiunii negative foarte mici. Pentru realizarea acestui studiu au fost preparate microfire amorfe din aliajul $\text{Co}_{68,15}\text{Fe}_{4,35}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$, prin răcire rapidă în capilar de sticlă. Pentru măsurătorile efective ale vitezei pereților de domenii din microfirele cu magnetostricțiune foarte mică s-a realizat un sistem experimental de tip Sixtus-Tonks care constă dintr-o bobină de magnetizare cu lungimea de 30 cm și diametrul de 4 cm, având 20 spire/cm, înfășurarea fiind realizată din sârmă emailată de cupru având diametrul de 0,5 mm și din patru bobine de detecție plasate în interiorul bobinei de magnetizare, coaxial cu aceasta. Pentru a compensa acțiunea câmpului magnetic terestru s-a introdus întregul dispozitiv experimental într-un sistem de bobine Helmholtz. S-a realizat un studiu nou privind caracteristicile propagării pereților de domenii magnetice în microfire magnetice amorfe acoperite cu sticlă având magnetostricțiune negativă foarte mică. Aceste microfire sunt bistabile din punct de vedere magnetic atunci când diametrul firului magnetic propriu-zis depășește 20 μm . Îndepărtarea învelișului de sticlă induce bistabilitatea magnetică și în astfel de microfire amorfe care au diametrul firului magnetic propriu-zis sub 20 μm . Vitezele pereților de domenii și mobilitățile acestora în microfirele amorfe cu magnetostricțiune negativă foarte mică sunt mult mai mari decât în cele cu magnetostricțiune pozitivă mare. S-a demonstrat și faptul că mobilitatea pereților de domenii poate fi considerabil îmbunătățită prin tratamente termice optimizate.

- **Faza 4/2012. Determinarea influenței naturii anizotropiei magnetice predominante asupra vitezei și mobilității pereților de domenii din microfire feromagnetice amorfe.**

În cadrul Fazei 4/2012 s-a realizat un studiu sistematic privind caracteristicile propagării pereților de domenii magnetice, respectiv viteza de deplasare și mobilitatea acestora, în microfire feromagnetice bistabile în funcție de natura anizotropiei magnetice predominante, fiind vorba despre cazurile în care predomină anizotropia magnetoelastică în raport cu cele în care predomină anizotropia de natură magnetostatică sau dipolară. S-au ales microfire feromagnetice acoperite cu sticlă având compoziția $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$. Această compoziție este unică prin faptul că, prin efectuarea unor tratamente termice controlate (ex. 550°C), permite modificarea magnetostricțiunii microfirelor, aceasta putând fi practic anulată, astfel încât natura anizotropiei magnetice predominante să fie modificată, respectiv de la anizotropia magnetoelastică predominantă trecându-se la cea magnetostatică. Rezultatele obținute indică importanța naturii anizotropiei magnetice din microfirele feromagnetice asupra caracteristicilor fenomenului de propagare a pereților de domenii magnetice din acestea. Astfel, modificarea anizotropiei magnetice din preponderent de natură magnetoelastică în preponderent de natură magnetostatică determină dublarea vitezei maxime de deplasare a pereților de domenii. Această creștere importantă a vitezei este însoțită și de creșterea mobilității, concomitent cu o scădere a valorii câmpului de comutare.

- **Faza 5/2012. Determinarea rolului structurii magnetice de suprafață asupra caracteristicilor deplasării pereților de domenii magnetice din microfire feromagnetice amorfe.**

În cadrul Fazei 5/2012 s-a realizat un studiu aprofundat al influenței structurii de domenii magnetice din zona de suprafață a microfirelor magnetice amorfe asupra caracteristicilor propagării pereților de domenii din aceste materiale, respectiv asupra mobilității pereților. Au fost efectuate măsurători ale vitezei de deplasare a pereților de domenii magnetice în microfire amorfe acoperite cu sticlă având magnetostricțiune aproape nulă – compoziția: $(\text{Co}_{0,04}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ – în astfel de microfire obținute după îndepărtarea învelișului de sticlă. Rezultatele obținute arată faptul că orientarea magnetizării din regiunea de suprafață a microfirelor influențează într-un mod semnificativ mobilitatea pereților de domenii care se deplasează în lungul microfirelor. Această influență se transmite prin intermediul câmpurilor magnetice de demagnetizare de valori mai mari sau mai mici,

în funcție de componenta predominantă a vectorului magnetizare: M_0 (componenta circumferențială) sau M_z (componenta axială). Controlul unghiului pe care îl face vectorul magnetizare cu axa microfirului în regiunea de suprafață prin diferite metode (de exemplu prin tratamente termice, termo-mecanice, etc.), are o importanță practică deosebită, întrucât va permite un control riguros al mobilității pereților de domenii magnetice din microfibrele feromagnetice amorfе, cu predilecție în microfibrele mai subțiri, care sunt destinate aplicațiilor spintronice.

- **Faza 6/2012. Studiul posibilității de control al deplasării pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfе utilizând modificarea controlată a distribuției anizotropiei magnetice.**

În cadrul Fazei 6/2012 a fost realizat un studiu aprofundat privind efectul modificărilor în distribuția anizotropiei magnetoelastice asupra vitezei de deplasare a pereților de domenii magnetice în fibre magnetice amorfе bistabile. Acest studiu a fost realizat pe fibre magnetice amorfе bistabile cu compozițiile $\text{Fe}_{77,5}\text{Si}_{7,5}\text{B}_{15}$, având magnetostricțiune pozitivă mare ($\lambda_s = 25 \times 10^{-6}$), și $(\text{Co}_{0,94}\text{Fe}_{0,06})_{72,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$, cu magnetostricțiune negativă mică ($\lambda_s = -1 \times 10^{-7}$). Firele au fost preparate prin răcire rapidă din topitură, dimensiunile firului metalic fiind cuprinse între 130 și 950 nm și grosimea învelișului de sticlă fiind cuprinse între 5 și 15 μm . Rezultatele obținute arată faptul că modificarea controlată a dimensiunilor firelor are ca rezultat o variație semnificativă a vitezei de deplasare a pereților de domenii, corelată cu variația valorii câmpului de comutare asociat procesului de magnetizare axial ce are loc în aceste materiale. Astfel, controlul riguros al dimensiunilor firelor amorfе bistabile, împreună cu cel al compoziției, oferă o marjă suficient de largă pentru modificarea controlată a distribuției anizotropiei magnetice și chiar a tipului acesteia, cu un impact important asupra valorilor vitezei și mobilității pereților de domenii magnetice din aceste materiale.

- **Faza 7/2012. Studiul deplasării pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfе cu magnetostricțiune pozitivă mare.**

În cadrul Fazei 7/2012 s-a propus demonstrarea faptului că, prin ajustarea precisă a unor parametri specifici, putem controla pe deplin generarea și propagarea pereților de domenii magnetice în microfibre feromagnetice amorfе cu magnetostricțiune pozitivă ($\lambda > 0$) având compoziția $\text{Fe}_{77,5}\text{Si}_{7,5}\text{B}_{15}$ ($\lambda = 25 \times 10^{-6}$). Mai exact, în urma studiului aprofundat realizat, s-a stabilit că propagarea unui perete de domenii magnetice poate fi inițiată la oricare din capetele unui eșantion, iar atunci când are loc generarea de pereți în ambele capete ale aceluiași microfir amorf, pereții pot fi deplasați unul spre celălalt pentru a studia interacțiunea lor, respectiv ciocnirea acestora, fenomen care poate fi controlat cu acuratețe ridicată, astfel încât locul de întâlnire al pereților să poată fi stabilit oriunde pe lungimea probei. Microfibrele feromagnetice amorfе cu magnetostricțiune pozitivă prezintă o structură specifică de domenii magnetice de tip „core-shell” având miezul interior magnetizat axial (aproximativ 80% din volumul întregului eșantion). Rezultatele obținute arată faptul că modificarea controlată a unor parametri specifici, cum ar fi defazajul dintre câmpul de nucleere și cel de magnetizare, oferă posibilitatea de a controla precis fenomenele de nucleere, propagare și ciocnire a pereților de domenii magnetice în acest tip de microfibre feromagnetice amorfе. Locul de întâlnire al pereților de domenii care se propagă în sensuri contrare în același microfir poate fi ales cu precizie oriunde pe lungimea eșantionului. Gradul de precizie crește pe măsură ce diametrul microfibelor scade, datorită scăderii gradului de împrăștiere al anizotropiei magnetice. Manipularea controlată a pereților de domenii magnetice deschide calea pentru noi aplicații bazate pe utilizarea deplasării pereților de domenii în acest tip de materiale magnetice amorfе.

- **Faza 8/2012. Studiul comutării ultrarapide a magnetizării în microfibre feromagnetice amorfе foarte subțiri (cu diametrul mai mic de 5 microni).**

În cadrul Fazei 8/2012, pentru a înțelege, explica și descrie deosebirile principale dintre caracteristicile comportării magnetice și ale propagării pereților de domenii în firele amorfе ultrasubțiri și cele specifice microfibelor cu diametre mai mari, s-a studiat dependența mobilității pereților de domenii, S , de diametrul nanofirelor și firelor amorfе submicronice ($\Phi_m = 100 \div 950 \text{ nm}$) în cazul a două compoziții reprezentative: $\text{Co}_{68,15}\text{Fe}_{4,35}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ (magnetostricțiune negativă foarte mică, aproape nulă: $\lambda = -1 \times 10^{-7}$) și $\text{Fe}_{77,5}\text{Si}_{7,5}\text{B}_{15}$ (magnetostricțiune pozitivă mare: $\lambda = +25 \times 10^{-6}$). S-a încercat de asemenea clarificarea relației complexe dintre un parametru legat de propagarea pereților de domenii magnetice și diferitele tipuri de anizotropie magnetică predominante în aceste fibre ultrasubțiri. Studiile au fost realizate pe eșantioane sub formă de nanofire și fibre submicronice amorfе acoperite cu sticlă, având diametre ale firului metalic propriu-zis, Φ_m , cuprinse între 100 și 950 nm și grosimea învelișului de sticlă de 15 μm . Rezultatele studiului au condus la elucidarea corelației dintre anizotropia magnetică și caracteristicile propagării pereților de domenii magnetice în firele amorfе foarte subțiri: panta mobilității pereților de domenii este un indicator al tipului de anizotropie magnetică predominantă din fir, respectiv o pantă pozitivă reprezintă anizotropia de formă, de natură magnetostatică, în timp ce una negativă reprezintă o anizotropie magnetoelastică.

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 2012, s-au derulat pe parcursul a 3 faze distincte.

- **Faza 1/2012.** Stabilirea și realizarea de nanostructuri pentru utilizare în realizarea unor senzori magnetorezistivi de tip GMR și TMJ.

În cadrul Fazei 1/2012 au fost realizate două tipuri de structuri multistrat magnetorezistive: o structură de tip valvă de spin (efect de magnetorezistență gigant) și o joncțiune magnetică tunel (efect de magnetorezistență tunel). Structura valvă de spin constă din: Ta(30 nm)/CoFe(3 nm)/IrMn(30 nm)/CoFe(3 nm)/Cu(3.2 nm)/CoFe(3 nm)/Ta(10 nm), unde pentru straturile feromagnetice a fost utilizat CoFe, pentru stratul antiferomagnetic a fost utilizat IrMn, iar ca și strat separator a fost utilizat Cu. Joncțiunea tunel are următoarea structură: Ta(30 nm)/CoFe(3 nm)/IrMn(30 nm)/CoFe(3 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFeB(3 nm)/MgO(2 nm)/CoFeB(3 nm)/Ta(10 nm), unde pentru stratul izolator s-a utilizat MgO iar pentru stratul feromagnetic liber s-a utilizat aliajul CoFeB. Pentru fixarea magnetizației stratului de CoFeB s-a utilizat o structură de tip antiferomagnet sintetic (SAF): IrMn/CoFe/Ru/CoFeB. Din curba de histerezis pentru valva de spin s-a observat că, stratul feromagnetic fixat prezintă un câmp de cuplaj de 260 Oe iar stratul feromagnetic liber prezintă un câmp de cuplaj de 20 Oe. Definirea joncțiunii tunel s-a făcut prin litografiere urmată de corodarea cu fascicul de ioni, până la stratul de Ta care a fost folosit ca strat de contact. Din ciclul de histerezis obținut pentru joncțiunea tunel s-a observat că stratul fixat de CoFeB prezintă un câmp de cuplaj de 450 Oe.

- **Faza 2/2011.** Evidențierea prin studii de microscopie electronică a suprafețelor și interfețelor specifice micro/nanopulberilor de tip "core-shell" obținute prin macinare mecanică uscată și/sau umedă.

În cadrul Fazei 2/2012 s-a realizat un studiu complex privind evidențierea prin tehnici de microscopie electronică a suprafețelor și interfețelor micro/nanopulberilor de tip "core-shell". S-a propus acoperirea micro/nanoparticulele de Fe cu un strat subțire de oxid de Fe, astfel încât miezul să rămână intact și să păstreze proprietățile magnetice ale Fe. Precursorii utilizați pentru măcinare în moara de energii înalte au fost microparticule de Fe cu dimensiuni de maximum 10 μm. Au fost folosite mojar de carbură de wolfram și 22 de bile din același material cu diametrul de 10 mm (câte 11 bile au fost introduse în fiecare mojar împreună cu pulberea de măcinat). Măcinarea s-a realizat în apă distilată la o viteză de măcinare de 300 rotații/minut. Raportul inițial dintre pulberea de Fe și apa distilată a fost de 12 g Fe:8 ml H₂O, cantitatea de apă distilată fiind crescută progresiv pe parcursul măcinării până la 50 ml. Pentru timpi de măcinare între 12 și 36 de ore pulberile obținute au un miez de Fe acoperit de un strat subțire de Fe₂O₃ și Fe₃O₄, iar dimensiunile acestora variază între 40 și 100 nm. Măcinarea un timp mai lung de 42 h a dus la transformarea totală a Fe în Fe₃O₄, nanoparticulele de Fe₃O₄ având dimensiuni între 15 și 50 nm. Studiile de microscopie electronică prin transmisie de înaltă rezoluție arată că interfața dintre miezul de Fe și stratul exterior de Fe₃O₄ are o structură diferită, fiind identificată ca aparținând Fe₂O₃, așa cum au indicat și difractogramele obținute prin difracție de raze X.

- **Faza 3/2011.** Evidențierea suprafețelor și interfețelor specifice nanostructurilor utilizate în realizarea unor senzori magnetorezistivi de tip GMR și TMJ, prin microscopie electronică.

În cadrul Fazei 3/2012 au fost realizate studii de microscopie electronică de baleiaj (SEM) și microscopie electronică de transmisie (TEM), pentru analiza suprafețelor și interfețelor specifice nanostructurilor utilizate în realizarea unor senzori magnetorezistivi de tip GMR și TMJ. Au fost studiate suprafețele și interfețele straturilor subțiri caracteristice unei structuri multistrat magnetorezistive de tip joncțiune magnetică tunel, cu următoarea structură multistrat: Ta/CoFe/IrMn/CoFe/Ru/CoFeB/MgO/CoFeB/Ta. Astfel, rugozitatea primelor straturi, determinată cu microscopul de forță atomică (AFM), are valori mici, cuprinse între 0.1 nm și 0.4 nm, iar rugozitatea stratului de MgO cu grosimea de 1.6 nm este de 0.61 nm. Imaginea SEM pentru stratul de MgO demonstrează continuitatea și uniformitatea acestuia. În cadrul fazei sunt prezentate etapele complexe de pregătire a probelor pentru TEM (Transmission Electron Microscope). Imaginea TEM obținută pentru structura multistrat CoFeB/MgO/CoFeB, arată că interfața inferioară, CoFeB/MgO, nu este bine definită comparativ cu interfața superioară, MgO/CoFeB. Acest fapt poate fi datorat difuziei MgO în stratul de CoFeB în timpul depunerii. Rezultatele obținute în cadrul acestei etape a proiectului, indică necesitatea optimizării și corelării condițiilor de depunere a structurii multistrat, cu proprietățile structurale. Pentru obținerea de imagini de înaltă rezoluție cu ajutorul microscopului electronic de transmisie, este necesară perfecționarea metodelor de pregătire a probelor.

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

Activitățile de cercetare din cadrul proiectului PN 09 - 43 01 04, desfășurate în anul 2012, s-au derulat pe parcursul 3 faze, după cum urmează:

- **Faza 1/2012. Senzori si tehnici neinvazive bazate pe metamateriale pentru detectarea plasmonilor polaritoni nerezonanți în structuri de tipul graticule metalice periodice; aplicații.**

În cadrul activităților desfășurate în Faza 1/2012, utilizând metoda opticii Fourier, s-a dezvoltat teoria de detecție a modurilor evanescente utilizând lentile cu metamateriale de tipul Swiss roll conic, metamaterial de tip nou, care a fost brevetat, invenția a obținut medalia de Argint la Salonul de Invenții de la Geneva, 2012. A fost demonstrat ca în structuri metalice (Ag, Au, Pt) periodice pot apărea, în zonele dintre trasele conductoare, unde evanescente atunci când structura este excitată cu unde electromagnetice TMz polarizate. Aceste structuri se clasifică în două categorii și anume : structuri « subțiri », atunci când grosimea traselor conductoare este mai mică decât de trei ori adâncimea standard de pătrundere și structuri « groase », atunci când grosimea traselor este mai mare decât de trei ori adâncimea standard de pătrundere. S-a confirmat printr-o metodă complementară cu cea a descompunerii modale, că în spațiul dintre trase conductoare nu există moduri care se propagă și nici moduri anormale (FDTD). S-au proiectat și realizat traductori electromagnetici utilizând lentile formate din două metamateriale de tip Swiss roll conice precum și un cadru rectangular pentru generarea câmpului electromagnetic. Au fost detectate discontinuități ale structurilor conductoare periodice precum și nealinieri.

- **Faza 2/2012. Senzori cu metamateriale pentru aplicații speciale.**

În cadrul activităților desfășurate în Faza 2/2012 s-a efectuat simularea, utilizând software CIVA, pentru traductorii clasici de curenți turbionari, chiar de dimensiuni mici și folosind miezuri de ferită cu permeabilitate înaltă și s-a determinat că aceștia nu pot detecta fisuri cu caracteristici micrometrice. Factorul limitator al acestor detecții este evident, zgomotul. Utilizând o undă electromagnetică, polarizată, TMz ca excitare, în regiunea fisurii vor apare unde evanescente în fisuri sau care sunt difractate pe muchia fisurii. Aceste unde sunt recepționate de traductorii cu metamateriale realizați. S-au proiectat și realizat senzori electromagnetici utilizând lentile formate din două metamateriale de tip Swiss roll conice precum și un cadru rectangular pentru generarea câmpului electromagnetic. Au fost detectate discontinuități, datorate atacului cu hidrogen, în blocuri de oțel AISI 4340. Fisurile au caracteristici micrometrice, și nu sunt vizibile cu ochiul liber. Cu ajutorul unor lentile cu metamateriale formate din Swiss roll conice, undele evanescente pot fi manipulate și imaginile electromagnetice ale fisurilor detectate sunt în bună concordanță cu imaginile obținute prin microscopie optică.

- **Faza 3/2012. Metamateriale planare; posibilități de utilizare ca senzori.**

În cadrul Fazei 3/2012 s-a demonstrat ca metamaterialele planare pot servi ca element fundamental în construcția de senzori și aceasta în varianta wireless extrem de avantajoasă pentru aplicații practice. Metamaterialele planare de tipul split ring resonator de o formă specială și utilizând nanotehnologii de tipul “self-assembled layer by layer” poate deveni senzor de deformare/tensiune cu proprietăți cu totul remarcabile dintre care trebuie amintite – realizare în varianta wireless, bună sensibilitate, lipsa histerezisului și a fenomenelor de îmbătrânire, caracteristice celorlalte tipuri de senzori de deformare/forță, rezistivi și/sau capacitivi. Măsurătorile experimentale efectuate pentru validarea acestor tipuri de senzori sunt în foarte bună concordanță cu simulările numerice efectuate, ceea ce arată că astfel de tipuri de senzori pot fi proiectați exact pentru aplicația dorită și care ar putea servi printre altele la „structural health monitoring” pentru structurile mari cu grad înalt de risc. Metamaterialele de tipul metalic „strip grating” având trasele conductoare din argint și constanta rețelei mult mai mică decât lungimea de undă a radiației incidente, pot servi ca senzori pentru determinarea constantei dielectrice a dielectricilor lichizi și astfel putându-se pune bazele unor noi categorii de biosenzori. Au fost studiate două tipuri de polarizari, ceea ce crește gradul de încredere a rezultatelor obținute. Modurile evanescente de câmp electric (pentru polarizarea TEz) și de câmp magnetic (pentru polarizarea TMz) pot fi “manipulate” utilizând lentile cu metamateriale chiar în varianta “poor man metamaterials lens”, realizate cu ajutorul metamaterialelor dezvoltate de noi în prezentul proiect și anume, conical Swiss rolls.

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

Activitățile de cercetare din cadrul proiectului PN 09 43 02 01, derulate în cursul anului 2012, au fost dezvoltate în cadrul unei singure faze și anume:

- **Faza 1/2012. Studii asupra efectului adițiilor de Mo și Mo-Cu, a modului de înglobare a acestora în volumul straturilor de Nd-Fe-B și a grosimii straturilor „spacer layer” asupra proprietăților magnetice dure, temperaturii de cristalizare și orientării axei c a fazei dure.**

În cadrul Fazei 1/2012 a fost studiată influența adițiilor de Mo și Mo-Cu, a modului de înglobare a acestora în volumul straturilor de Nd-Fe-B și a grosimii straturilor de Mo-Cu utilizate ca „spacer layer” asupra proprietăților magnetice, temperaturii de cristalizare și a orientării axei c a fazei dure. Adăosul de Mo, prin aliere, în volumul stratului de Nd-Fe-B contribuie la rafinarea structurii de grăunți a fazelor magnetice dure și moi. Valori optime ale produsului energetic maxim au fost obținute pentru straturile subțiri Ta/NdFeBMo(0.6 at.% Mo) după tratarea termică la 600°C, timp de 20 min. și pentru straturile subțiri Ta/NdFeBMo(1 at.% Mo) după tratamentul termic la 650°C, timp de 20 min. Stratificarea Nd-Fe-B(540nm) cu straturi nemagnetice de Mo-Cu conduce la îmbunătățirea omogenității compoziției, a reproductibilității caracteristicilor magnetice și la reducerea

temperaturii de cristalizare. Straturile multiple Ta/[NdFeB(180nm)/MoCu(y)] $\times$ n/Ta prezintă o reducere a temperaturii de cristalizare cu 50°C, comparativ cu straturile simple Ta/NdFeB(540nm)/Ta. Dependența câmpului coercitiv, a raportului Mr/Ms și a produsului energetic maxim, în cazul straturilor multiple Ta/[NdFeB(180)/MoCu(y)] $\times$ 3/Ta, tratate termic la 600°C, timp de 20 min., de grosimea, y, a straturilor de Mo-Cu prezintă o comportare oscilatorie cu perioada de 5 nm, când rata de creștere a grosimii este de 1 nm. Dacă grosimea, y, a straturilor de Mo-Cu are o rată de creștere de 2 nm, caracterul oscilatoriu al caracteristicilor magnetice dure funcție de grosime nu este evidențiat de aceasta data. Utilizarea a două straturi de MoCu(20nm) ca „buffer și capping layer”, conduce la creșterea valorii produsului energetic maxim, care în cazul stratului Ta/MoCu(20)/[NdFeB(180)/MoCu(6)] $\times$ 3/MoCu(20) este de 8,17 MGOe. Straturile simple Ta/NdFeBMo(1 at.% Mo)/Ta și straturile multiple Ta/MoCu(20)/[NdFeB(180)/MoCu(6)] $\times$ 3/MoCu(20), tratate termic la 600°C, timp de 20 min., pot fi utilizate ca elemente de actoare pentru o largă gamă de aplicații.

Proiect PN 09 43 02 03/ Materiale magnetice compozite sub formă de fire multistrat (metal/sticlă/metal) cu comportare magnetică controlată.

Activitățile de cercetare din cadrul acestui proiect, derulate în cursul anului 2011, au fost dezvoltate în cadrul a 3 faze distincte.

- **Faza 1/2012. Studiul anizotropiei magnetice și a cuplajului dintre straturi în fire magnetice compozite multistrat.**

În vederea atingerii obiectivului Fazei 1/2012 a fost studiată influența depunerilor de straturi subțiri asupra anizotropiei magnetice a firelor acoperite cu sticlă. S-a studiat de asemenea cuplajul magnetic dintre nucleul metalic și straturile metalice depuse pe firul acoperit cu sticlă. Au fost preparate fire din aliaje cu magnetostricțiune pozitivă relativ mare, pe baza de FeCuNbSiB, care după tratamente termice adecvate formează faza nanocristalină ce induce proprietăți magnetice de material cu magnetostricțiune aproape nulă și fire din materiale cu magnetostricțiune aproape nulă, din clasa CoFeSiB. Pe aceste fire, convenționale sau acoperite cu sticlă, a fost depus prin pulverizare în câmp de radiofrecvență straturi metalice nemagnetice de Tantal (Ta) și straturi metalice magnetice de Co și CoPtRhCu. Prezenta stratului depus și tratamentele termice efectuate permit controlul anizotropiei magnetice în nucleul metalic și al cuplajului magnetoelastic și magnetostatic între straturile magnetice cu efect asupra modelării comportării magnetice a acestor produse cu potențial tehnologic mare în realizarea de senzori magnetici pentru diferite tipuri de aplicații.

- **Faza 2/2012. Caracterizarea magnetică a firelor magnetice compozite obținute din aliaje metalice cu temperatura de topire ridicată.**

În cadrul Fazei 2/2012 au fost prezentate date experimentale cu privire la caracteristicile magnetice ale firelor magnetice compozite. În această fază a proiectului au fost proiectate și realizate, pentru prima dată în lume, și caracterizate din punct de vedere magnetic fire metalice magnetice din aliaje (Fe₇₅Ga₂₅) cu temperatura de topire ridicată (1400°C) acoperite cu sticlă aluminosilatică cu pământuri alcaline, cu o comportare magnetică tipică materialelor cu proprietati magnetice dure. A fost studiată comportarea magnetică a acestor fire prin metoda magnetometriei cu proba vibrantă și prin metoda fluxmetrică, în vederea determinării proprietăților magnetice. Au fost obținute fire magnetice cu proprietati de material magnetic dur, cu câmp coercitiv de până la 2,8 kA/m și o magnetizare maximă de 1,1 T, într-un câmp maxim aplicat de 30 kA/m. Rezultatele obținute au confirmat faptul că a fost realizat un produs nou, cu proprietăți magnetice controlabile, cu potențial tehnologic mare în realizarea de senzori magnetici pentru diferite aplicații.

- **Faza 3/2012. Studiul efectului tensiunilor externe asupra proprietăților magnetice ale firelor compozite multistrat.**

În cadrul Fazei 3/2012 au fost prezentate date experimentale privind caracteristicile magnetice ale firelor magnetice compozite supuse tensiunilor externe. A fost studiată influența tensiunilor externe de întindere și de torsiune asupra comportării magnetice și a efectului magnetoimpedanță gigant (GMI) în fire metalice magnetice multistrat din sistemul Co_{68,5}Fe_{4,5}Si_{12,5}B₁₅/Co, cu grosimi diferite ale stratului de Co depus (125, 250 și 400 nm). S-a constatat că, existența stratului de Co modifică esențial comportarea magnetică a firelor CoFeSiB, efectul GMI sub acțiunea forțelor de întindere și a celor de torsiune, fiind diferit față de cel prezentat de firele amorfe acoperite cu sticlă as-cast, din sistemul CoFeSiB.

2.2. Proiecte contractate:

Cod obiectiv	Nr. proiecte contractate	Nr. proiecte finalizate	Valoare (mii lei)		Nr. personal CD	
			Total	2012	Total	Studii superioare
01	3	3	7.781,58	3.731,58	50	45
02	2	2	10.963,42	1.237,16		
Total:	5	5	18.745,00	4.968,74		

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

I. Cheltuieli directe	2.097.273,43	2.016.561,43
1. Cheltuieli de personal, din care	1.700.273,43	1.696.700,60
1.1. Cheltuieli cu salariile	1.581.473,43	1.581.473,40
1.2. Alte cheltuieli de personal, din care:	118.800,00	115.227,20
a) deplasări în țară	6.800,00	7.990,71
b) deplasări în străinătate	112.000,00	107.236,49
2. Cheltuieli materiale și servicii, din care:	397.000,00	319.860,83
2.1. Materii prime și materiale	341.900,00	272.606,05
2.2. Lucrări și servicii executate de terți	55.100,00	47.254,78
II. Cheltuieli Indirecte: Regia	2.027.466,57	2.159.693,83
III. Dotări independente și studii pentru obiective de investiții proprii, din care:	844.000,00	792.484,74
1. Echipamente pentru cercetare-dezvoltare	805.500,00	751.238,10
2. Mobilier și aparatură birotică	0,00	0,00
3. Calculatoare și echipamente periferice	38.500,00	41.246,64
TOTAL (I+II+III)	4.968.740,00	4.968.740,00

3. Analiza stadiului de atingere a obiectivelor programului

În cadrul Programului Programul NUCLEU (MAGMATMAG PN 09 43) au fost dezvoltate activități de cercetare complexe în cadrul a 5 proiecte finanțate în anul 2012. Obiectivele prevăzute în cadrul celor 18 faze derulate au fost îndeplinite în totalitate, obținându-se următoarele rezultate:

- a fost elaborată și dezvoltată o metodă experimentală nouă pentru studiul deplasării pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfice. Metoda a fost utilizată pentru determinarea vitezei de propagare a peretelui interdomenic pentru fire cu dimensiuni ale miezului metalic de până la 100 nm.
- a fost realizată o metodă nouă experimentală, bazată pe utilizarea simultană a două tehnici de măsură – efectul Kerr magneto-optic și metoda Sixtus-Tonks – pentru analiza dinamicii pereților de domenii în fire magnetice amorfice submicronice și în microfibre magnetice amorfice cu diferite dimensiuni și compoziții, permițând stabilirea în premieră a unor corelații între viteza și mobilitatea pereților de domenii magnetice și forma acestora în timpul propagării, cu efecte importante asupra posibilităților de dezvoltare de noi aplicații pe baza acestor materiale.
- a fost dezvoltat un studiu sistematic privind viteza de deplasare și mobilitatea pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfice cu magnetostricțiune negativă foarte mică. Vitezele pereților de domenii și mobilitățile acestora în microfibrele amorfice cu magnetostricțiune negativă foarte mică sunt mult mai mari decât în cele cu magnetostricțiune pozitivă mare.
- a fost dezvoltat un studiu privind rolul naturii anizotropiei magnetice preponderente asupra caracteristicilor deplasării pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfice. Rezultatele acestui studiu au indicat că modificarea naturii anizotropiei magnetice din magnetoelastică în magnetostatică are ca efect îmbunătățirea considerabilă a parametrilor monitorizați, atât viteza cât și mobilitatea înregistrând valori semnificativ mai mari. Simultan s-a constatat o scădere a câmpului de comutare, ceea ce indică aceste materiale ca posibile elemente de logică pe baza deplasării pereților de domenii.
- a fost realizat și dezvoltat un studiu privind controlul vitezei și mobilității pereților de domenii magnetice din firele feromagnetice amorfice bistabile din punct de vedere magnetic prin intermediul modificării controlate a anizotropiei magnetice obținute prin controlul strict al dimensiunilor eșantioanelor cu diferite compoziții.
- a fost realizat un studiu al efectului pe care îl are modificarea controlată a anizotropiei magnetice prin intermediul modificării dimensiunilor firelor asupra vitezei și mobilității pereților de domenii magnetice din firele feromagnetice amorfice cu comportare bistabilă din punct de vedere magnetic
- a fost realizat un studiu sistematic privind caracteristicile deplasării pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfice cu magnetostricțiune pozitivă în vederea identificării și demonstrării posibilităților de control a generării și deplasării pereților, inclusiv a interacțiunii dintre aceștia.
- a fost studiată corelația dintre mobilitatea pereților de domenii magnetice din firele feromagnetice amorfice ultrasubțiri și anizotropia magnetică specifică acestora în funcție de magnetostricțiunea lor, corelație care oferă premisele explicării aspectelor specifice deplasării pereților de domenii în astfel de fire comparativ cu microfibrele amorfice cu dimensiuni tipice (diametre mai mari de 5 micrometri).
- au fost realizate prin pulverizare catodică două tipuri de structuri magnetorezistive: o structură de tip valvă de spin cu structura multistrat: Ta(30 nm)/CoFe(3 nm)/IrMn(30 nm)/CoFe(3 nm)/Cu(3.2 nm)/CoFe(3

nm)/Ta(10 nm) și o structură de tip joncțiune magnetică tunel cu structura multistrat Ta(30 nm)/CoFe(3 nm)/IrMn(30 nm)/CoFe(3 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFeB(3 nm)/MgO(2 nm)/CoFeB(3 nm)/Ta(10 nm).

- s-a realizat un studiu complex asupra evidențierii suprafețelor și interfețelor micro/nanopulberilor de tip "core-shell". Pentru timpi de măcinare între 12 și 36 ore, pulberile obținute au un miez de Fe acoperit de un strat subțire de Fe_2O_3 și Fe_3O_4 , iar dimensiunile acestora variază între 40 și 100 nm. Măcinarea timp de 42 ore a dus la transformarea totală a Fe în Fe_3O_4 , nanoparticulele de Fe_3O_4 având dimensiuni între 15 și 50 nm.
- analiza suprafețelor și interfețelor specifice nanostructurilor utilizate în realizarea unor senzori magnetorezistivi de tip GMR și TMJ, utilizând microscopia electronică de baleiaj (SEM) și microscopia electronică de transmisie (TEM).
- a fost studiată influența aditiilor de Mo și Mo-Cu asupra caracteristicilor magnetice și stabilității termice a acestora, asupra temperaturii de cristalizare și orientării axei c a fazei dure, pentru straturile de Nd-Fe-B. Au fost realizate studii comparative asupra modului de înglobare a aditiilor în volumul stratului de Nd-Fe-B, precum și studii privind influența grosimii stratului „spacer layer” asupra caracteristicilor magnetice dure ale straturilor de Nd-Fe-B.
- a fost studiată influența depunerilor de straturi subțiri asupra anizotropiei magnetice a firelor acoperite cu sticlă. S-a studiat cuplajul magnetic dintre nucleul metalic și straturile metalice depuse pe firul acoperit cu sticlă.
- au fost proiectate și realizate, pentru prima dată în lume, și caracterizate din punct de vedere magnetic fire metalice magnetice din aliaje $\text{Fe}_{75}\text{Ga}_{25}$ cu temperatura de topire ridicată (1400°C) acoperite cu sticlă aluminosilicatică cu pământuri alcaline.
- a fost studiată influența tensiunilor externe de întindere și de torsiune asupra comportării magnetice și a efectului magnetoimpedanță gigant (GMI) în fire metalice magnetice multistrat din sistemul $\text{Co}_{68,5}\text{Fe}_{4,5}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}/\text{Co}$, cu grosimi diferite ale stratului de Co depus (125, 250 și 400 nm).

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, tehnologie, etc., alte rezultate)	Efecte scontate
Proiect PN 09 - 43 01 01/ Studiul dinamicii comutării ultrarapide a magnetizării în microfire feromagnetice amorfe pentru aplicații în spintronică.	Metode/Studii: 2/ 6 • metodă experimentală nouă pentru studiul deplasării pereților de domenii în microfire feromagnetice amorfe. • metodă experimentală nouă pentru determinarea structurii magnetice superficiale a microfirelor feromagnetice amorfe. • studiu privind viteza de deplasare și mobilitatea pereților de domenii în microfire feromagnetice amorfe cu magnetostricțiune negativă foarte mică. • studiu privind rolul naturii anizotropiei magnetice asupra caracteristicilor deplasării pereților de domenii în microfire feromagnetice amorfe. • studiu privind rolul structurii magnetice superficiale asupra vitezei și mobilității pereților de domenii. • studiul efectului modificării controlate a distribuției de anizotropie magnetică asupra vitezei și mobilității pereților de domenii în microfire feromagnetice amorfe. • studiu asupra caracteristicilor deplasării pereților de domenii în microfire feromagnetice amorfe cu magnetostricțiune pozitivă. • studiu privind deplasarea pereților de domenii în microfire amorfe foarte subțiri	Analiza dinamicii pereților de domenii în fire magnetice amorfe submicronice și în microfire magnetice amorfe cu diferite dimensiuni și compoziții, va permite stabilirea în premieră a unor corelații între viteza și mobilitatea pereților de domenii magnetice cu efecte importante asupra posibilităților de dezvoltare de noi aplicații pe baza acestor materiale. Participarea la proiecte internaționale de cooperare bilaterală
		Participarea la competiții pentru proiecte naționale de cercetare – dezvoltare – inovare

Proiect PN 09 – 43 01 02/ Noi tehnici de caracterizare structurală, topologică, morfologică și compozițională a sistemelor de nanomateriale și nanostructuri.	Studii: • studiu complex asupra suprafețelor și interfețelor micro/nanopulberilor de tip "core-shell". • studii de microscopie electronică de baleiaj (SEM) și microscopie electronică de transmisie (TEM) pentru analiza suprafețelor și interfețelor specifice nanostructurilor utilizate în realizarea unor senzori magnetorezistivi de tip GMR și TMJ. Materiale / structuri: • o structură de tip valvă de spin cu structura multistrat: Ta(30 nm)/CoFe(3 nm)/IrMn(30 nm)/CoFe(3 nm)/Cu(3.2 nm)/CoFe(3 nm)/Ta(10 nm) • o structură de tip jonctiune magnetică tunel cu structura multistrat : Ta(30 nm)/CoFe(3 nm)/IrMn(30 nm)/CoFe(3 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFeB(3 nm)/MgO(2 nm)/CoFeB(3 nm)/Ta(10 nm) • pulberi de de tip "core-shell" formate din miez de Fe acoperit de un strat subțire de Fe₂O₃ și Fe₃O₄, pentru timpi de măcinare între 12 și 36 de ore, cu dimensiuni variind între 40 și 100 nm • pulberi de Fe₃O₄, cu dimensiunea nanoparticulele cuprinse între 15 și 50 nm, pentru un timp de măcinare de 42 h	Analiza morfologică, topologică și compozițională, complexă, a nanomaterialelor (micro/nanopulberi de tip "core-shell", structuri multistrat) permite dobândirea de noi cunoștințe și abilități în domeniul NANO și MICRO și identificarea de noi aplicații pentru domeniul (bio)medical și spintronică. Participarea la proiecte internaționale de cooperare bilaterală
Proiect PN 09 – 43 01 04 / Fenomene și procese fizice în meta materiale 1D și 2D cu aplicații în radiofrecvență; dezvoltarea de senzori și tehnici neinvazive bazate pe acestea.	• Model experimental de senzor bazat pe metamateriale • Model experimental de senzor pentru aplicații speciale • Buletine de măsuratori Produse: • metamateriale planare	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 Participarea în competiții pentru proiecte naționale de cercetare-dezvoltare -inovare pentru perioada 2011-2013
Proiect PN 09 – 43 02 01/ Interacțiuni magnetice și transformări de fază în magneți permanenți nanocompoziți izotropi și anizotropi.	Studii: • influența aditivilor de Mo și Mo-Cu asupra caracteristicilor magnetice și stabilității termice a acestora, asupra temperaturii de cristalizare și orientării axei c a fazei dure Nd₂Fe₁₄B, pentru straturile de Nd-Fe-B • studii comparative asupra modului de înglobare a aditivilor în volumul stratului de Nd-Fe-B • studii privind influența grosimii stratului „spacer layer” asupra caracteristicilor magnetice dure ale straturilor de Nd-Fe-B. Materiale: Straturi subțiri magnetice dure pe bază de (Ta, Mo-Cu)/Nd-Fe-B-(Mo, Mo-Cu)/(Mo-Cu,Ta)	- Obținerea de materiale electrotehnice performante pentru aplicații de înalt nivel tehnologic: sisteme MEMS; microcomponente electrotehnice pentru sisteme harvesting - Participarea la proiecte științifice cu finanțare externă în cadrul programului FP7 - Participarea la proiecte internaționale de cooperare bilaterală.

4.2. Valorificarea în producție a rezultatelor obținute:

Denumirea proiectului	Tipul rezultatului	Utilizatori	Efecte socio-economice la utilizator
Proiect PN 09 - 43 01 01/ Studiul dinamicii comutării ultrarapide a magnetizării în microfire feromagnetice amorse pentru aplicații în spintronică.	Studii: - deplasarea pereților de domenii în microfire feromagnetice amorse cu magnetostricțiune pozitivă și negativă foarte mică	- INCDFIT-IFT Iasi - tehnică avansată de calcul	Datele experimentale privind parametrii asociați deplasării pereților de domenii și anume: viteza pereților și mobilitatea acestora, prezintă importanță practică în domeniul elementelor de logică pe bază de pereți de domenii magnetice
Proiect PN 09 – 43 01 02/ Noi tehnici de caracterizare structurală, topologică, morfologică și compozițională a sistemelor de nanomateriale și nanostructuri.	Produse: - structură tip joncțiune magnetică tunel cu structura multistrat : Ta(30 nm)/CoFe(3 nm)/IrMn(30 nm)/CoFe(3 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFeB(3 nm)/MgO(2 nm)/CoFeB(3 nm)/Ta(10 nm)	- INCDFIT-IFT Iasi, - industria electronică și electrotehnică	Realizarea de senzori magnetici pentru detecția de câmpuri magnetice mici
Proiect PN 09 – 43 02 01/ Interacțiuni magnetice și transformări de fază în magneți permanenți nanocompoziți izotropi și anizotropi.	Produse: - magneți permanenți planari - (Ta, Mo-Cu)/Nd-Fe-B-(Mo, Mo-Cu)/(Mo-Cu,Ta)	- INCDFIT-IFT Iasi, - industria electronică și electrotehnică	Realizarea de produse performante pentru aplicații în sisteme MEMS și ca microcomponente electrotehnice.
Proiect PN 09 43 02 03/ Materiale magnetice compozite sub formă de fire multistrat (metal/sticlă/metal) cu comportare magnetică controlată.	Produse: - fire metalice magnetice din aliaje (Fe ₇₅ Ga ₂₅) cu temperatura de topire ridicată (1400°C) acoperite cu sticlă aluminosilicatică cu pământuri alcaline	- INCDFIT-IFT Iasi, - Industria automotivă și aeronautică.	Realizarea de senzori magnetici pentru industria automotivă și aeronautică.

4.3. Participarea la colaborări internaționale:

Nr. crt.	Denumirea programului internațional	Țară și/sau CE unități colaboratoare	Denumire proiect	Valoarea proiectului (lei)	
				Valoare totală proiect	Valoare țară
1.	Cooperare bilaterală România Slovacia 2011-2012	<i>Institute of Experimental Physics – IEP, Kosice, Slovacia</i>	Multifunctional nanostructured magnetic materials for sensor applications	5.249 Euro	-
2.	Cooperare bilaterală România Slovacia 2011-2012	<i>Facultatea de Electrotehnica Universitatea din Žilina, Slovacia</i>	Metamateriale pentru evaluarea electromagnetică nedistructivă la frecvențe înalte	9.000 Euro	-
5.	Cooperare bilaterală România Grecia 2012	<i>Institute for Materials Science de la NCSR Demokritos Universitatea de Vest din Macedonia (UOWM)</i>	Noi materiale avansate integrate pentru stocarea eficientă a hidrogenului - HYDROMAT, Contract nr. 572/14.06.2012	9.800 Euro	-

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

Nr. crt.	Denumirea publicației	Titlul articolului
	- în țară:	
	- în străinătate:	
1.	<i>Review of Scientific Instruments</i> , Vol. 82, 094701, 2011	<i>Accurate measurement of domain wall velocity in amorphous microwires, submicron wires and nanowires</i> , Autori: S. Corodeanu; H. Chiriac; T-A.Ovari
2.	<i>Review of Scientific Instruments - acceptată pentru publicare</i>	<i>Investigation of domain wall propagation in thin magnetic wires</i> , Autori: M. Tibu; M. Lostun; T-A. Ovari; H. Chiriac
3.	<i>Journal of Applied Physics</i> , Volume: 113 Issue: 17, Article Number: 17A304, Published: MAY 7 2013	<i>Domain wall mobility in rapidly solidified ultrathin amorphous wires</i> , Autori: T-A. Ovari; H. Chiriac
6.	<i>Journal of Applied Physics</i> , Volume: 113, Issue: 17, Article Number: 17A329, Published: MAY 7 2013	<i>Microstructure and magnetic properties of FINEMET nanowires</i> , Autori: H. Chiriac, S. Corodeanu, T.A. Ovari, N. Lupu
5.	<i>Journal of Alloys and Compounds</i> , Volume 554, 25 March 2013, Pages 150–155	<i>Single Step Nanocrystallization of FeCuNbSiB/CoPt(Cu) Soft/Hard Magnetic Multilayer Microwires</i> ; Autori: F. Borza; S. Corodeanu; N. Lupu; H. Chiriac
6.	<i>Journal of Magnetism and Magnetic Materials - trimisă spre publicare</i>	<i>Comparative studies on the magnetic properties and thermal stability of Nd-Fe-M-B films (M=Mo, Mo-Cu) crystallized at reduced temperature</i> , Autori: M. Urse; M. Grigoraș; N. Lupu; H. Chiriac; F. Borza
7.	<i>NDT and E International</i> , 46, pp.70-76, 2012	<i>Electromagnetic imaging using evanescent waves</i> , Autori: R. Grimberg; A. Savin; R. Steigmann
8.	<i>Electromagnetic Nondestructive Evaluation (XV), Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics</i> , 36, pp. 200-207, 2012	<i>Eddy current imaging enhancement using electromagnetic evanescent waves</i> , Autori: R. Grimberg; A. Savin; R. Steigmann; J. Grum
9.	<i>Proceedings of the Royal Society A</i> , 468, 2146, pp. 3080-3099, 2012	<i>High Frequency Electromagnetic Non-destructive Evaluation for High Spatial Resolution using Metamaterial</i> , Autori: R.Grimberg, G.Y.Tian
7.	<i>Proceedings of the 35th International Conferences on Telecommunications and Signal Processing</i> , 3-4 July 2012, Prague, Czech Republic, ISBN 978-1-4673-11168-8, pp.544-548	<i>Enhancement of waveguide sensor for biological tissue dielectric properties investigation with metamaterials</i> , Autori: D.Faktorova; A.Savin; R.Grimberg
10.	<i>Materials Science and Engineering B</i> , in press, Manuscript number: MSB-D-12-01470.	<i>Electromagnetic metamaterials</i> , Autori: R. Grimberg
11.	<i>Proceedings of EDS 12 IMAPS CS International Conference</i> , June 28-29, Brno, Czech Republic, pp.83-88	<i>Physical and technological condition of microwave heating</i> , Autori: D.Faktorova; A.Savin; R. Grimberg

4.5. Cărți publicate:

Nr. ctr.	Titlul cărții	Editura	Autor principal
	- în țară:		
	- în străinătate:		
1.	Capitol de carte “ <i>Rapidly Solidified Magnetic Nanowires and Submicron Wires</i> ”, publicat în cartea “ <i>Advanced Magnetic Materials</i> ”, editată de	InTech - ISBN 978-953-51-0637-1	T.A Óvári, N. Lupu, H. Chiriac

	Prof. L. Malkinski (University of New Orleans, S.U.A.), Editura InTech, mai, 2012		
--	---	--	--

4.6. Manifestări științifice:

Nr. crt.	Manifestări științifice	Număr de manifestări	Număr de comunicări
	a) congrese internaționale:		
	b) simpozioane:	2	2
1.	<i>Joint European Magnetic Symposia (JEMS 2012), Parma, Italia, 9-14 Septembrie 2012</i>	1	1
2.	<i>International Symposium on the Industrial Applications of the Mössbauer Effect (ISIAME 2012), Dalian, China, 2-7 Septembrie 2012</i>	1	1
	c) seminarii, conferințe	9	13
1.	<i>International Magnetism Conference – INTERMAG 2012, 7 – 11 mai, 2012, Vancouver, Canada.</i>	1	2
2.	<i>Joint European Magnetic Symposia – JEMS 2012, 9 – 14 septembrie, 2012, Parma, Italia.</i>	1	1
3.	<i>International Conference on Advanced Materials (ROCAM 2012), Section 4-Thin Films of Multifunctional Materials, Brașov, România, 28-31 August 2012</i>	1	1 lucrare invitată
5.	<i>9th International Conference on Physics of Advanced Materials (ICPAM-9), Iași, România, 20-23 Septembrie 2012</i>	1	4, din care, 2 prezentări orale
6.	<i>9th European Conference on Magnetic Sensors and Actuators, July 1 – 4, 2012, Prague, Czech Republic</i>	1	1
7.	<i>35th International Conferences on Telecommunications and Signal Processing, 3-4 July 2012, Prague, Czech Republic</i>	1	1 prezentare orală
8.	<i>EDS 12 IMAPS CS International Conference, June 28-29, Brno, Czech Republic</i>	1	1 prezentare orală
9.	<i>International Conference Magnetic Measurements, Tatraske Matliare, Slovakia, September 2-4, 2012</i>	1	1
10.	<i>4th International Conference Advanced Composite Materials Engineering COMAT 2012, 18- 20 October 2012, Brașov</i>	1	1 prezentare orală
	d) workshop:	1	1
1.	<i>17th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, ENDE, 29th July - 1st August, 2012, Rio De Janeiro, Brazil</i>	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 propunerii :

Obiectivele propuse pentru a fi dezvoltate în cursul anului 2012 în cadrul celor 5 proiecte finanțate în Programul NUCLEU (MAGMATMAG – PN 09 43) au fost îndeplinite în totalitate. Activitățile de cercetare dezvoltate în cadrul fiecărui proiect s-au desfășurat în bune condiții, cu următoarele rezultate:

- **11 articole** publicate/acceptate sau trimise spre publicare în reviste de specialitate din străinătate: **7 articole** publicate în revista de specialitate din străinătate, din care **3 articole** în reviste cotate ISI, **2 articole** acceptate pentru publicare și **2 articole** trimise spre publicare în reviste de specialitate cotate ISI
- **16 lucrări științifice** comunicate la **12 manifestări științifice internaționale** (2 simpozioane, 9 conferințe, 1 workshop) organizate în țară și străinătate.
- **1 capitol de carte** publicat într-o carte editată în străinătate.
- **2 metode experimentale noi** pentru studiul deplasării pereților de domenii și determinarea structurii de domenii în microfibre feromagnetice amorfe.
- **7 studii teoretice și/sau experimentale** axate pe: viteza de deplasare și mobilitatea pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfe cu magnetostricțiune negativă foarte mică; rolul naturii anizotropiei magnetice asupra caracteristicilor deplasării pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfe; rolul structurii magnetice superficiale asupra vitezei și mobilității pereților de domenii; efectul modificării controlate a distribuției de anizotropie magnetică asupra vitezei și mobilității pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfe; caracteristicile deplasării pereților de domenii în microfibre feromagnetice amorfe cu magnetostricțiune pozitivă; deplasarea pereților de domenii în microfibre amorfe foarte subțiri; studii complexe de microscopie electronică de baleiaj (SEM) și microscopie electronică de transmisie (TEM) pentru analiza suprafețelor și interfețelor specifice nanostructurilor utilizate în realizarea unor senzori magnetorezistivi de tip GMR și TMJ.
- **2 modele experimentale:** model experimental de senzor bazat pe metamateriale; model experimental de senzor pentru aplicații speciale.
- **5 produse noi (materiale/structuri):** structură tip joncțiune magnetică tunel cu structura multistrat : Ta(30 nm)/CoFe(3 nm)/IrMn(30 nm)/CoFe(3 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFeB(3 nm)/MgO(2 nm)/CoFeB(3 nm)/Ta(10 nm); magneți permanenți planari pe bază de (Ta, Mo-Cu)/Nd-Fe-B-(Mo, Mo-Cu)/(Mo-Cu,Ta); pulberi de de tip "core-shell" formate din miez de Fe acoperit de un strat subțire de Fe₂O₃ și Fe₃O₄ ; fire metalice magnetice din aliaje (Fe₇₅Ga₂₅) cu temperatura de topire ridicată (1400°C) acoperite cu sticlă aluminosilicatică cu pământuri alcaline; metamateriale planare.

În cursul anului 2012 activitatea de 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 5 proiecte, ceea ce a condus la realizarea în totalitate, cu rezultate bune, a obiectivelor propuse.

DIRECTOR GENERAL,
Prof. Dr. Nicoleta LUPU

DIRECTOR DE PROGRAM,
Prof. Dr. Horia CHIRIAC

DIRECTOR ECONOMIC,
Maria POPESCU