

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 2011

Durata programului: 3 ani (2009-2011)

Data începerii: 13.03.2009

Data finalizării: Dec. 2011

1. Scopul programului:

Scopul programului nucleu (MAGMATMAG) propus pentru perioada 2009-2011 constă în dezvoltarea în cadrul *Institutului Național de Cercetare – Dezvoltare pentru Fizică Tehnică (INCDFTE) – IFT Iași* a unor activități de cercetare fundamentală și aplicativă de vârf în domeniul magnetismului și materialelor magnetice. Programul propus a permis dezvoltarea de cercetări avansate în domeniul materialelor magnetice nanocompozite și nanodimensionate, cu caracteristici fizice superioare, în scopul utilizării ulterioare a acestora în diferite aplicații din domeniile: spintronică, microelectronică, aplicații (bio)medicale. Programul propus a permis evidențierea și dezvoltarea unor noi procese fizice de bază în materiale magnetice, în domeniul nanotehnologiilor, precum și a controlului nedistructiv, în realizarea de micro și nanodispozitive. Au fost dezvoltate cercetări vizând tehnici avansate pentru prepararea și caracterizarea de noi nanomateriale cu aplicații specifice domeniului “high tech”.

Cele 2 obiective propuse au conținut 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, 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 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 participării 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 anul 2011 în cadrul a **6 proiecte finanțate** și anume:

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

♦ **Obiectiv 2: Fizica materialelor magnetice** - 4 proiecte,

în cadrul cărora au fost dezvoltate 17 faze de execuție, după cum urmează:

- proiectul PN 09 43 01 02 - 3 faze
- proiectul PN 09 43 01 04 - 2 faze
- proiectul PN 09 43 02 01 - 4 faze
- proiectul PN 09 43 02 02 - 3 faze
- proiectul PN 09 43 02 03 - 3 faze
- proiectul PN 09 43 02 04 - 2 faze.

În cursul anului 2011, 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 2011 au conținut faze de preparare de materiale avansate și faze de experimentare și caracterizare complexă a nanomaterialelor și nanostructurilor, cu rezultate teoretice și tehnologice/aplicative complexe pentru posibile aplicații în domenii precum medicina, biotehnologia, microelectronica, electrotehnica, 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, Slovenia și Dubna.

În anul 2011, la Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Fizică Tehnică-IFT Iași și-au desfășurat activitatea de cercetare un număr de 2 tineri doctoranzi și 2 masteranzi – 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 avansate 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.

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

Activitățile de cercetare științifică derulate în anul 2011 sunt prezentate pentru fiecare proiect din cadrul Programului Nucleu **MAGMATMAG - cod PN 09 - 43**. În Raportul anual sunt evidențiate 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 2011, s-au derulat pe parcursul a 3 faze distincte.

- **Faza 1/2011. Obținerea și caracterizarea in-situ a nanostructurilor (nanofire, nanodoturi, nanoelipse, etc.) obținute prin nanolitografiere cu fascicul de ioni (FIB).**

În cadrul Fazei 1/2011 au fost realizate și studiate morfologic două tipuri de nanomateriale: nanofire planare din material metalic – aliaj NiFe și nanodoturi din material magnetic dur pe baza de NdFeB, utilizând tehnica de nanostructurare prin corodare ionică cu fascicul ionic focalizat (FIB - Focused Ion Beam). Astfel, într-un strat de NiFe cu grosimea de 60 nm au fost realizate, prin corodare ionică, nanofire planare în formă de „L” cu lățimea de 200 nm. Pentru a studia modificarea comportamentului magnetic de suprafață a unui nanofir planar au fost create neuniformități geometrice în diferite zone ale nanofirului planar -L utilizând tehnica corodării ionice cu FIB. Cu ajutorul tehnicii de corodare ionică cu FIB au fost realizate structuri tip meandre într-un strat de CoFeSiB, cu următoarele dimensiuni: lungime 20 μm, lățimea 500 nm. A fost studiat comportamentul magnetic ale acestor structuri, la punctul de „întoarcere”, câmpul magnetic fiind aplicat paralel sau perpendicular la liniile meandrei. Utilizând tehnica de corodare ionică cu FIB au fost realizați micromagneți într-un strat magnetic Ta/NdFeB/Ta cu grosimea totală de 600 nm. A fost studiată modificarea comportamentului magnetic ca urmare a microstructurării geometrice în forma de microdoturi cu dimensiunea de 40 μm x 40 μm.

- **Faza 2/2011. Obținerea și caracterizarea in-situ a nanostructurilor (nanofire, nanodoturi, nanoelipse, etc.) obținute prin nanolitografiere cu fascicul de electroni.**

În cadrul Fazei 2/2011 au fost preparate nanodoturi, nanofire și nanoelipse folosind tehnica de nanolitografiere cu fascicul de electroni. Structura care se dorește a fi obținută este imprimată cu ajutorul unui fascicul de electroni într-un strat de polimer –e-rezist depus pe un material metalic simplu - pentru nanofir planar și nanoelipsă) sau pe un material în variantă multistrat - pentru nanodot. Rezoluția nanostructurilor sub formă de nanodot, nanofir planar și nanoelipsă depinde de: diametrul fascicului de electroni incident; interacțiunea dintre fasciculul de electroni și stratul de polimer – e-rezist – în care se face imprimarea; condițiile de dezvoltare a stratului de e-rezist. Analiza morfologică realizată *in-situ* cu ajutorul microscopiei electronice de baleiaj (SEM) a arătat că nanomaterialele obținute prin nanolitografiere cu fascicul de electroni au următoarele dimensiuni: nanofir planar - lățimea de aproximativ 165 nm; nanodot tip joncțiune magnetică cu tunelare -MTJ (cu diametrul de aprox. 165 nm), nanoelipse (cu lungimi ale axelor - între 50 și 850 nm). A fost măsurată variația

rezistenței electrice a nanodoturilor MTJ sub acțiunea unui câmp magnetic și au fost obținute valori ale răspunsului magnetorezistiv de aprox. 5%.

- **Faza 3/2011. Studiu comparativ al rezultatelor obținute prin diferite metode de investigare morfologică, structurală și compozițională pentru sisteme de nanomateriale și nanostructuri.**

În cadrul Fazei 3/2011 au fost preparate următoarele tipuri de materiale/structuri: nanofire metalice multistrat de tipul CoFeB(150nm și 80 nm)/Sn(20nm) prin depunere electrochimică în porii unor membrane nanoporoase de alumina; structuri tip meandă obținute prin nanostructurarea straturilor subțiri de CoFeSiB. Au fost preparate nanofire cu grosimi egale ale straturilor succesive specifice printr-un control riguros al parametrilor de depunere (densitate de curent, potențial electric, durată de depunere). Compoziția nanofirelor a determinat utilizând tehnicile de dispersie a razelor X după energie (EDS) și dispersie după lungimea de undă (difracție de raze X). S-a constatat că straturile succesive sunt lipsite de impurități iar stratul de CoFeB are structura hcp. Folosind tehnici de structurare prin nanolitografie cu fascicul de electroni combinată cu corodarea ionică, au fost preparate meandre cu lungimea de 20 μm și lățimea liniei precum și distanța dintre linii de 500 nm. Au fost realizate măsurători de magnetoimpedanță în vederea evaluării posibilităților de utilizare a meandrelor metalice pentru aplicații țintă. S-a constatat că, anizotropia magnetică are influență asupra mărimii magnetoimpedanței și această valoare poate fi crescută prin optimizarea geometriei meandrelor.

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 2011, s-au derulat pe parcursul 2 faze.

- **Faza 1/2011. Imagini în câmp apropiat utilizând lentile cu metamateriale.**

În cadrul Fazei 1/2011 a proiectului a fost studiată, teoretic și experimental, posibilitatea de obținere de imagini a obiectelor conductoare de mici dimensiuni, 'iluminate' cu unde electromagnetice în gama frecvențelor radio; pentru frecvența maximă de lucru de 500 MHz, lungimea de undă în vid este de 0,6 m, imaginea în câmp apropiat obținându-se pentru distanțe mai mici de 0,3 m. Au fost studiate aberațiile lentilelor cu metamateriale, determinându-se principalele lor caracteristici tehnice; în acest fel s-a putut evalua rezoluția spațială cea mai bună. Cu ajutorul unui cod de simulare FDTD a fost simulat comportamentul metamaterialului de tip 'conical swiss roll', demonstrându-se capabilitatea de a se obține imagini mărite ale obiectelor conductoare, 'iluminate' cu unde electromagnetice. În scopul testării practice a funcționării principiului de obținere de imagini în câmp apropiat, a fost realizat un traductor special având ca element de bază un metamaterial tip 'conical swiss roll', iar ca obiect de examinat s-a ales o rețea metalică de conductoare de argint cu grosimea de 5 μm , lățimea de 0,6 mm și distanța dintre trase de 0,4 mm, pe suport flexibil din polietilen sulfidă, cu grosimea de 5 μm . La examinarea prin procedee clasice, electromagnetice, a piesei de test, chiar utilizând bobine de recepție cu diametrul mai mic de 1 mm, structura graticulului nu poate fi observată, pe când utilizând metoda cu lentile cu metamateriale, structura este vizibilă și mult mărită în raport cu obiectul, putându-se observa eventuale defecte ale rețelei.

- **Faza 2/2011. Posibilități de utilizare a undelor magnetoinductive în evaluări neinvazive de metamateriale - senzori, tehnici de evaluare și caracterizare a discontinuităților.**

În cadrul Fazei 2/2011 s-a studiat posibilitatea utilizării undelor magnetoinductive în evaluări neinvazive de material. S-a ales ca material de investigat, circuite imprimate flexibile având trase de argint cu lățimea de 0,6 mm și spațiul dintre trase de 0,4 mm. S-au utilizat două tipuri de circuite imprimate: primul având grosimea traselor de 5 μm , ceea ce pentru frecvența de 500 MHz reprezintă o valoare mai mică decât de 3 ori adâncimea standard de pătrundere; al doilea tip de circuit imprimat are grosimea traselor de argint de 10 μm . S-a arătat că în ambele situații, utilizând o undă electromagnetică incidentă TM_z polarizată, în spațiile dintre trase apar unde evanescente, datorită plasmonilor polaritoni nerezonanți induși. Pentru ambele cazuri, utilizând metoda descompunerii modale, s-a dedus ecuația de dispersie, punându-se în evidență undele evanescente. Aceste unde capătă caracterul magnetoinductiv la propagarea lor prin metamateriale cum ar fi 'conical swiss roll' - metamaterial dezvoltat, studiat și brevetat de colectivul care a lucrat la acest proiect. Utilizând această tehnică pot fi puse în evidență o serie de defecte specifice atât în cazul circuitelor imprimate cât și în cazul compozitelor de tip carbon epoxy uniaxial, rolul traselor în cazul compozitelor fiind îndeplinit de fibrele de carbon. Procedee dezvoltate în cadrul fazei permite detectarea întreruperilor a una sau mai multe trase conductoare, dacă lățimea de întrerupere este mai mare de 10 μm . În același timp, în cazul compozitelor carbon epoxy uniaxiale, au putut fi detectate nealinierea de fibră, ruperi de fibre, pătrunderea apei în spațiile dintre fibre precum și lipsa rășinii în zonele dintre fibre.

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 2011 au fost dezvoltate în cadrul a 4 faze distincte.

- **Faza 1/2011. Prepararea și caracterizarea magnetică a nanomagneților nanocompoziți (α -Fe, Fe₃B)/Nd₂Fe₁₄B. Studiul efectului de nanostructurare geometrică a straturilor subțiri nanocompozite (α -Fe, Fe₃B)/Nd₂Fe₁₄B asupra caracteristicilor magnetice dure.**

În cadrul Fazei 1/2011 au fost preparate straturi subțiri de Nd-Fe-B și s-a studiat influența elementelor de adaos asupra caracteristicilor magnetice dure și temperaturii de cristalizare. Comparativ cu stratul subțire Nd-Fe-B, straturile subțiri care conțin 1% concentrație atomică de Mo și care au fost tratate termic timp de 20 min., la temperatura de 650°C evidențiază o creștere importantă a câmpului coercitiv de la 14,2 kOe la 17 kOe și o rectangularizare a curbei de histerezis. Prin utilizarea combinației Mo-Cu ca adaos s-a constatat suplimentar o reducere a temperaturii de cristalizare a fazei dure Nd₂Fe₁₄B cu aproximativ 50°C, și anume de la 650°C la 600°C. Pentru straturile subțiri Ta/NdFeBMo(1at.)/Ta s-a studiat stabilitatea termică a caracteristicilor magnetice dure după încălzirea de la temperatura de 25°C până la temperatura de 350°C. Straturile subțiri de NdFeBMo(1at.%) au caracteristici magnetice dure convenabile utilizării în aplicații ca senzori și actuatori MEMS, până la temperatura de 150°C. Pentru temperaturi mai mari, caracteristicile magnetice dure se alterează. După încălzirea probei până la temperatura de 350°C, urmată de răcirea probei la temperatura camerei (25°C), caracteristicile magnetice dure ale acesteia rămân neschimbate. Straturile subțiri Ta/NdFeBMo(1at.)/Ta, tratate termic timp de 20 min., la 650°C, au fost structurate geometric prin corodare ionică sub formă de benzi paralele cu lățimea de 40 μ m și distanța dintre benzi de 2 μ m. Din analiza rezultatelor măsurătorilor magnetice s-a constatat că, în stare nestructurată geometric, stratul subțire Ta/NdFeBMo(1at.)/Ta are comportament magnetic izotrop. După structurarea geometrică în formă de benzi comportarea magnetică este în continuare izotropă, în schimb câmpul coercitiv H_c a crescut de la 17 kOe la 19,1 kOe, iar valoarea magnetizării de saturație M_s s-a micșorat de la 52 emu/g la 47 emu/g, pentru câmpul H aplicat în timpul măsurării paralel la benzi.

- **Faza 2/2011. Identificarea compozițiilor optime și a parametrilor de compactizare a magneților permanenți izotropi și anizotropi bi și/sau multifazici.**

Activitățile de cercetare desfășurate în cadrul Fazei 2/2011 s-au axat pe dezvoltarea de soluții noi de material pentru obținerea de magneți permanenți nanocompoziți izotropi și anizotropi în diferite forme tridimensionale. Pentru obținerea de magneți permanenți nanocompoziți cu caracteristici tehnice îmbunătățite au fost stabilite valorile optime ale temperaturii, presiunii și timpului de compactizare utilizând metoda Spark Plasma Sintering (SPS). Succesiunea operațiunilor de preparare a magneților permanenți nanocompoziți prin metoda SPS este următoarea: prepararea aliajelor de bază (Nd₃Fe_{94-x}B₆ unde $x = 8, 10, 12, 15, 16$ at.% și Fe_{66,66}Co_{33,33} – Fe₂Co) prin topire în arc electric a amestecului de elemente componente; obținerea de benzi amorfe și nanocristaline (cu lungimi de câțiva cm, lățimi de 1-2 mm, grosimi cuprinse între 20 și 400 μ m); tratament termic pentru cristalizarea controlată a precursorilor amorfi: tratament termic izoterm urmat de răcire bruscă; tratament termic izoterm urmat de răcire liberă în cuptor; prepararea de pulberi prin măcinarea mecanică a benzilor nanocristaline; compactizarea amestecului de pulberi magnetic dure cu pulberi magnetic moi, prin metoda SPS. Au fost obținuți magneți nanocompoziți sub formă de disc, cu diametrul de 1 cm și grosimi cuprinse între 1 și 3 mm, cu următoarea formulă masică: fază magnetic moale (Fe₂Co) – 0, 4, 6, 8 și 10 % masic; fază magnetic dură NdFeB – 100, 96, 94, 92, și 90 % masic. Au fost obținuți magneți permanenți cu proprietăți magnetice bune având următoarea compoziție: Nd₁₂Fe₈₂B₆ + 8% Fe₂Co; Nd₁₆Fe₇₈B₆ + 4% Fe₂Co. Condițiile optime de compactizare au fost următoarele: temperatura de sinterizare 600°C, timp de sinterizare – 5 min., presiune de sinterizare 70 MPa.

- **Faza 3/2011. Studiul factorilor de influență asupra stabilității termice și în timp a magneților nanocompoziți (α -Fe, Fe₃B)/Nd₂Fe₁₄B sub formă de straturi subțiri. Evoluția stabilității magnetice în funcție de temperatură.**

În cadrul Fazei 3/2011 au fost preparate straturi subțiri de Nd-Fe-B și s-a studiat influența elementelor de adaos (Nb-Cu, Co, Mo, Mo-Cu) asupra principalelor caracteristici magnetice. Pentru straturile subțiri pe bază de Nd-Fe-B și Nd-Fe-B cu aditivi de Nb-Cu și Co a fost studiată comparativ, stabilitatea termică concretizată în pierderi privind câmpul coercitiv H_c și magnetizarea remanentă M_r . Comparativ cu straturile subțiri de Nd-Fe-B fără adaosuri, straturile subțiri de Nd-Fe-B cu adaosuri de Mo și Mo-Cu prezintă o puternică creștere a câmpului coercitiv, o creștere a raportului (M_r/M_s) și o descreștere ușoară a magnetizării de saturație M_s . Straturile subțiri la care conținutul de adaosuri (ex. Mo-Cu) este înglobat în volumul stratului de Nd-Fe-B prin stratificare prezintă caracteristici magnetice mai bune comparativ cu straturile subțiri Nd-Fe-B la care compusul Mo – Cu este înglobat direct, prin ,aliere’, în tot volumul acestora. Temperatura de reorientare T_{sr} a spinilor pentru stratul subțire Ta/[NdFeB(180nm)/Mo-Cu(4nm)]x3/Ta la care compusul Mo-Cu este înglobat prin stratificare în volumul stratului de Nd-Fe-B, scade substanțial, cu aproximativ 46,5 K, comparativ cu temperatura de reorientare T_{sr} a spinilor straturilor subțiri de Ta/NdFeBMo(1at.%)Cu(0,4at.%) (540)/Ta la care Mo și Cu sunt înglobate prin ,aliere’ în volumul stratului subțire de Nd-Fe-B și cu aproximativ 48,7 K comparativ cu T_{sr} a stratului subțire de Nd-Fe-B fără adaosuri. Adăugarea simultană de Nb-Cu și Co în ,compoziția’ stratului subțire de Nd-Fe-B conduce la o creștere accentuată a câmpului coercitiv $\mu_0 H_c$ (de la 0,7 T la 1,84 T), la o creștere a temperaturii Curie a fazei dure, de la 348°C la 416°C, precum și la o scădere a temperaturii de nanocristalizare cu 40°C, comparativ cu valorile acelorași parametri în cazul straturilor subțiri de Nd-Fe-B. Coeficienții de temperatură a magnetizării remanente (α) și a coercitivității (β) în cazul straturilor subțiri

Ta/[NdFeBNbCu(180nm)/Co(2nm)]x3/Ta, calculați pentru domeniul de temperatură 25°C÷150°C, au valori joase și anume, - 0,025%/°C și respectiv - 0,39%/°C, favorabile utilizării acestor materiale ca și componente în sisteme MEMS. Pentru probele îmbătrânite 100 ore la temperatura de 150°C, pierderile în coercivitate au fost de 0,8% pentru straturile subțiri Ta/[NdFeBNbCu/Co]x3/Ta, de 0,92% pentru straturile subțiri Ta/[NdFeBNbCu/Ta și de 1,1% pentru straturile subțiri de Ta/NdFeB/Ta, în timp ce pierderile în magnetizarea de reamantă au fost 4,2%, 5,1% și respectiv 6,8%. Îmbătrânirea straturilor subțiri de Nd-Fe-B cu adaosuri, la temperatura de 150°C, un timp mai mare de 100 ore, nu a produs schimbări semnificative ale valorilor acestor tipuri de pierderi. În cazul straturilor subțiri de NdFeCoBNbCu care conțin o cantitate de Co de aproximativ 1,5% din volumul total al materialului magnetic, îmbătrânite 100 ore la temperatura de 150°C, schimbările mici în valoarea pierderilor în H_c și M_r , comparativ cu valoarea pierderilor evidențiate în cazul straturilor subțiri de Nd-Fe-B fără adaosuri, sunt datorate în principal creșterii rezistenței la coroziune și creșterii temperaturii Curie cu aproximativ 68°C.

- **Faza 4/2011. Studiul interacțiunilor magnetice și a influenței compoziției și parametrilor de compactizare asupra transformărilor magnetice și structurale din magneți permanenți izotropi și anizotropi bi și/sau multifazici obținuți prin metoda SPS.**

În cadrul Fazei 4/2011 a fost studiată influența compoziției și a parametrilor de compactizare, precum și interacțiunile magnetice dintre fazele magnetice componente asupra transformărilor magnetice și structurale din magneții permanenți izotropi și anizotropi obținuți prin metoda Spark Plasma Sintering (SPS). Au fost preparați magneți permanenți nanocompoziți urmând cinci etape succesive și anume: prepararea benzilor amorfe / nanocristaline prin tehnica răcirii rapide din topitură; tratamentul termic al benzilor (stabilirea parametrilor optimi de tratament); măcinarea mecanică a benzilor; amestecarea pulberilor magnetic dure (faza 2:14:1) cu 4-15 vol.% faza moale (α -Fe, Fe₂Co, Co_{68,2}Fe_{4,45}Si_{12,25}B₁₅Mn_{0,1} sau Fe_{83,5}Si_{13,5}B₉Nb₃Cu₁); compactizarea pulberilor prin metoda SPS (încălzirea în vid până la temperaturi de sinterizare cuprinse între 550°C-650°C, menținerea pe acest palier de temperatură între 3 și 7 minute și compactarea la presiuni între 38 și 70 MPa). S-au studiat interacțiunile magnetice în magneții nanocompoziți în funcție de parametri de compactizare (presiune: 38 MPa, 50 MPa, 70 MPa; temperatură: 550°C, 600°C, 650°C; timp de compactizare: 3 min., 5 min., 7 min.). Analizele de difracție de raze X au evidențiat următoarele: aliajul după preparare (as-cast) este compus dintr-un amestec de fază nanocristalină (α -Fe și Nd₂Fe₁₄B) în cantitate mică înglobată într-o matrice amorfă; după tratamentul termic la temperaturi între 575 și 680°C, diferiți timpi între 10 și 30 min., se formează un compozit α -Fe și Nd₂Fe₁₄B, cu o evidentă texturare (110) a fazei α -Fe. Studiul interacțiunilor magnetice s-a realizat prin trasarea curbilor δM funcție de câmpul magnetic și aceste măsurători au indicat următoarele: magneții nanocompoziți Nd₂Fe₁₄B + 4 vol.% Fe_{83,5}Si_{13,5}B₉Nb₃Cu₁ indică interacțiuni de tip magnetostatic; magneții nanocompoziți Nd₂Fe₁₄B + 4 vol.% Co_{68,2}Fe_{4,45}Si_{12,25}B₁₅Mn_{0,1} indică, la câmpuri de până la 10 kOe, interacțiuni la distanță scurtă asociate cu interacțiuni de schimb dintre fazele moale și dură, la câmpuri peste 10 kOe interacțiunile preponderente sunt de tip magnetostatic; magneții nanocompoziți Nd₂Fe₁₄B + 4 vol.% α -Fe prezintă interacțiuni de schimb pentru câmpuri magnetice de până la 25 kOe; magneții nanocompoziți Nd₂Fe₁₄B + 4 vol.% Fe₂Co prezintă interacțiuni de schimb puternice. Magneții care conțin Fe și Co au temperatura Curie mai mare comparativ cu magneții nanocompoziți pe bază de Fe.

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 2011, au fost dezvoltate în cadrul a 3 faze.

- **Faza 1/2011. Obținerea de membrane nanoporoase cu configurații controlate de nanopori prin combinarea tehnicii de imprim cu fascicul de electroni și anodizare.**

Cercetările desfășurate în cadrul Fazei 1/2011 au fost axate pe obținerea de membrane nanoporoase din oxid de aluminiu prin combinarea tehnicii de nanoimprim cu fascicul de ioni și anodizare și pe studiul influenței parametrilor de imprimare și a condițiilor de anodizare asupra caracteristicilor dimensionale și densității nanoporilor. Cu ajutorul fascicului de electroni, pe suprafața foliei de aluminiu au fost generate centre de anodizare în diferite simetrii (hexagonală, triunghiulară și pătrată) la distanțe de 200 nm și 300 nm. Analiza morfologică a suprafețelor membranelor preparate în cadrul acestei faze a proiectului, realizată cu ajutorul microscopului electronic cu baleiaj (SEM), arată că, indiferent de condițiile de anodizare folosite pentru preparare, nanoporii păstrează configurația obținută în urma nanoindentării. Măsurarea diametrelor nanoporilor membranelor de alumina preparate arată că acestea cresc atât odată cu creșterea timpului de anodizare (5 ore, 10 ore) cât și cu creșterea temperaturii de anodizare (între 2°C și 15°C). Calculul porozității membranelor obținute arată că valoarea porozității crește atât cu creșterea timpului de anodizare cât și cu creșterea temperaturii de anodizare. Stabilirea unei tehnologii de preparare a acestor tipuri de membrane prin combinarea tehnicii de imprim cu fascicul de electroni și anodizare permite obținerea de rețele de nanofire metalice simple sau multistrat având diferite densități de nanopori și diferite simetrii.

- **Faza 2/2011. Obținerea de structuri complexe de tip suport-membrane nanoporoase cu configurații controlate de nanopori obținute prin combinarea tehnicii de imprim cu fascicul de electroni și anodizare.**

În cadrul Fazei 2/2011 au fost obținute membrane nanoporoase din oxid de aluminiu prin combinarea tehnicii de nanoimprint cu fascicul de electroni și anodizare și a fost studiată influența parametrilor de imprimare și a condițiilor de anodizare asupra caracteristicilor dimensionale și densității nanoporilor. Analiza morfologică realizată cu ajutorul microscopiei electronice de baleiaj (SEM) evidențiază faptul că, nanoporii păstrează configurația realizată prin nanoindentare. Măsurarea diametrelor nanoporilor membranei de alumina evidențiază faptul că valorile diametrelor nanoporilor depind de configurația acestora și anume variază în funcție de simetria inițială (hexagonală, triunghiulară, pătratică) a centrelor de nucleere generate în urma procesului de nanoindentare și în funcție de distanța dintre centrul de nucleere.

- **Faza 3/2011. Obținerea de structuri complexe de tip suport-membrane nanoporoase cu configurații controlate de nanopori obținute prin combinarea tehnicii de imprint cu fascicul de ioni și anodizare.**

În cadrul Fazei 3/2011 au fost obținute structuri complexe de tip suport – membrane nanoporoase din oxid de aluminiu cu configurații controlate de nanopori prin anodizarea straturilor subțiri de aluminiu depuse pe suporturi de sticlă și de siliciu. Pentru aceste tipuri de structuri a fost studiată influența condițiilor de anodizare asupra diametrului și densității nanoporilor. Analiza morfologică a straturilor subțiri de aluminiu folosite pentru anodizare a arătat faptul că, straturile subțiri de aluminiu care au servit la obținerea structurilor complexe au o grosime de 600 nm și o rugozitate R_a de 5,5 nm. Între stratul subțire de aluminiu și suport au fost depuse straturi subțiri de aur pentru a asigura continuitate pentru transportul electric. Grosimea acestor straturi este de aproximativ 170 nm. S-a demonstrat faptul că, natura suportului nu influențează caracteristicile nanoporilor însă stratul subțire metalic și cel de aluminiu este mai aderent pe suporturile de siliciu. Investigarea topologiei suprafețelor structurilor complexe de tip suport – membrană nanoporoasă obținute cu ajutorul microscopiei electronice de baleiaj (SEM) arată că aceste structuri conțin rețele de pori ordonate în configurație hexagonală, pătratică sau triunghiulară, ale căror caracteristici depind de concentrația electrolitului utilizat pentru anodizare. Variația concentrației acidului oxalic utilizat în timpul anodizării foliei de aluminiu a condus la obținerea de structuri complexe de tip suport-membrane nanoporoase cu nanopori având diametre de 45 nm și de 60 nm.

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 1/2011. Elaborarea de fire magnetice multistrat prin depuneri metalice nemagnetice și magnetice pe fire acoperite cu sticlă prin tehnici de depunere in vid și prin depunere electrochimică.**

În vederea atingerii obiectivului Fazei 1/2011 au fost preparate fire magnetice amorfe acoperite cu sticlă prin metoda tragerii din topitură în înveliș de sticlă. Compozițiile selectate pentru miezul metalic magnetic au fost $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13,5}\text{B}_9$ și $\text{Co}_{68,15}\text{Fe}_{4,35}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$. Pentru aceste fire, diametrul miezului metalic a fost de aproximativ 8 μm și grosimea stratului de sticlă de aproximativ 13 μm , care au fost determinate cu ajutorul microscopului electronic de baleiaj – SEM. Pe aceste fire au fost depuse electrochimic și prin pulverizare în câmp de radiofrecvență, straturi din material magnetic dur $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$, Cu/CoPt și CoPtCu ($\text{Cu} = \text{approx. } 6 \text{ at.}\%$) cu grosimi de aprox. 650 nm și de aprox. 1 μm . Au fost efectuate analize preliminare morfologice și structurale pe probe maror sub formă de straturi subțiri: analize SEM-EDX pentru verificarea compoziției stratului depus; analize XRD pentru identificarea fazelor cristalografice a grăunților nanocristalini; măsuratori magnetice cu magnetometrul cu probă vibrantă (VSM). Astfel, au fost stabiliți parametrii optimi compoziționali și de preparare: concentrație/grosime pentru Cu, temperatura – timp de tratament, pentru formarea stării nanocristaline în straturile de material magnetic dur depuse.

- **Faza 2/2011. Studiul influenței tratamentelor termice și termomecanice asupra proprietăților magnetice ale firelor magnetice compozite multistrat**

În cadrul Fazei 2/2011 au fost proiectate și preparate fire compozite nanocristaline multistrat cu un răspuns magnetic controlabil, care au constat dintr-un miez magnetic ultra-moale, un strat intermediar nemagnetic (ex. sticlă) și un înveliș exterior magnetic dur. Compozițiile selectate și aplicarea unor tratamente termice adecvate au permis obținerea simultană a fazei nanocristaline magnetice moi pentru miezul magnetic și a unei faze magnetice dure pentru învelișul exterior. Cuplajul magnetostatic dintre cele două faze magnetice (moale și dură) a avut ca rezultat apariția unui câmp de polarizare efectiv care a dat naștere unui efect echivalent cuplajului magnetic dintre un strat feromagnetic și unul anti-feromagnetic. Mărirea acestui câmp de polarizare a fost controlat prin intermediul stratului magnetic depus pe învelișul de sticlă, și, la o grosime constantă, prin caracterul magnetic dur al acestuia. Pe de altă parte, prin intermediul tensiunilor induse de prezența stratului depus, s-au evidențiat interacțiuni magnetoelastice între miezul magnetic moale și stratul depus, ce dau naștere la anizotropii axiale și circulare, responsabile de inversarea magnetizării în miezul magnetic interior. Acest tip de microfaze magnetice cu comportare magnetică controlabilă reprezintă o clasă nouă de materiale magnetice cu potențial tehnologic mare în realizarea de senzori magnetici pentru diferite aplicații.

- **Faza 3/2011. Evaluarea efectului de magnetoimpedanță în fire magnetice compozite multistrat.**

În cadrul Fazei 3/2011 au fost proiectate și preparate fire compozite multistrat cu un răspuns magnetic controlabil, care constau dintr-un miez magnetic ultra-moale cu compoziție pe bază de CoFeSiB, un strat intermediar nemagnetic din sticlă și un înveliș exterior din Co cu grosimi diferite cuprinse între 150 și 400 nm, care a fost depus prin pulverizare în câmp de radiofrecvență. A fost studiată influența grosimii stratului de Co asupra răspunsului magnetoimpedanță gigant (GMI) la frecvențe cuprinse între 1 MHz și 500 MHz, prin intermediul anizotropiilor induse de stratul de Co în microfirul magnetic amorf acoperit cu sticlă. Rezultatele obținute ne-au confirmat faptul că a fost realizat un produs nou, cu proprietăți magnetice controlabile, cu potențial tehnologic mare în realizarea de senzori magnetici pentru diverse aplicații.

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

Activitățile de cercetare din cadrul acestui proiect, derulate în cursul anului 2011, au fost dezvoltate în cadrul a 2 faze.

- **Faza 1/2011. Realizarea unui montaj/banc de probă pentru testarea noilor materiale obținute pentru amortizarea vibrațiilor.**

În cadrul Fazei 1/2011, activitățile de cercetare s-au axat pe realizarea în laborator a unui sistem de amortizare a vibrațiilor cu ajutorul fluidelor magnetice. Cu acest sistem a fost testată capacitatea fluidelor magnetice obținute în institut de a amortiza controlat vibrațiile. Amortizorul cu fluid magnetoreologic realizat în variantă monotubulară cu tijă dublă (nu necesită compensare de volum) este constituit din două componente principale: piston; carcasă. Carcasa care conține un volum de fluid magnetoreologic este realizată din material feromagnetic sub forma de tub, prevăzută la partea superioară cu un capac de etanșare în care este realizat un orificiu de umplere. În partea inferioară a carcasei se afla de asemenea un capac de etanșare. Tija de care este fixat pistonul are formă tubulară cu diametrul exterior de 6 mm. Pistonul este realizat dintr-un material feromagnetic care se constituie și în miez magnetic pentru bobina electrică poziționată în interiorul acestuia. Liniile de câmp magnetic direcționate de piston se vor închide prin carcasă, rezultând astfel pierderi magnetice mici. Interstițiul dintre pistonul cilindric (cu diametrul exterior de 26 mm) și carcasa cilindrică este de 5 mm. La aplicarea unui câmp magnetic, fluidul magnetoreologic își va modifica vâscozitatea și în zona interstițiului. Fluidul magnetoreologic realizat în laborator are următoarea compoziție: 71% particule de Fe cu dimensiuni < 10 μm, 27% ulei mineral și 2% surfactant. După aplicarea unei forțe mecanice (ex. 2,25 kg) asupra pistonului, viteza acestuia este controlată de vâscozitatea fluidului magnetoreologic care la rândul ei este controlată de valoarea curentului electric aplicată bobinei aflate în interiorul pistonului. Pentru o cursă a pistonului de 50 mm viteza a fost de 9,98366 mm/s fără prezența câmpului magnetic și de 6,523 mm/s în prezența câmpului, iar pentru o cursă a pistonului de 33 mm viteza acestuia a fost de 13,37 mm/s fără prezența câmpului magnetic și de 3,7969 mm/s în prezența câmpului magnetic. Pentru cursa pistonului de 50 mm, egală cu lungimea tijei pistonului, apar și alte efecte, posibil legate de modificarea parametrilor mecanici/magnetici la limitele cursei pistonului.

- **Faza 2/2011. Testarea noilor lichide MR obținute pentru aplicații de atenuare a șocurilor și controlul vibrațiilor.**

În cadrul Fazei 2/2011 au fost testate fluidele magnetoreologice obținute în laborator și s-a evaluat capacitatea acestora de a amortiza vibrațiile prin intermediul unui montaj realizat în laborator având ca element principal un amortizor cu fluid magnetoreologic. Standul pentru testarea fluidelor magnetoreologice în aplicații de control al vibrațiilor este compus în principal din amortizorul propriu-zis, un motor electric care poate genera oscilații sinusoidale cu diferite amplitudini și frecvențe și un accelerometru conectat la un computer pentru înregistrarea datelor. Frecvența oscilațiilor a fost constantă (2 Hz) în timp ce amplitudinea a fost variată între 1 și 25 mm. S-a studiat comportamentul pre-tensiune de forfecare care este determinat de curentul furnizat de către amortizor. Cu cât este mai mare curentul, cu atât este mai mare tensiunea de forfecare și prin urmare, forța de amortizare obținută. Odată cu creșterea vitezei, forța de amortizare crește într-un mod aproape liniar. Dincolo de punctul de curgere, comportamentul amortizorului este aproape independent de curentul furnizat bobinei amortizorului, în sensul că se obțin pante similare ale curbelor corespunzătoare, la curenți diferiți.

2.2. Proiecte contractate:

Cod obiectiv	Nr. proiecte contractate	Nr. proiecte finalizate	Valoare (mii lei)		Nr. personal CD	
			Total	2011	Total	Studii superioare
01	2	2	1261	1261	45	40
02	4	2	3357	3357		
Total:	6	4	4618	4618		

2.3 Situația centralizată a cheltuielilor privind programul nucleu :

Cheltuieli – lei –

I. Cheltuieli directe	1.869.055,65	1.869.143,21
1. Cheltuieli de personal, din care	1.589.520,65	1.589.503,11
1.1. Cheltuieli cu salariile	1.464.670,65	1.464.670,65
1.2. Alte cheltuieli de personal, din care:	124.850	124.832,46
a) deplasări în țară	3.800	2.724
b) deplasări în străinătate	121.050	122.108,46
2. Cheltuieli materiale și servicii, din care:	279.535	279.640,10
2.1. Materii prime și materiale	241.153	242.083,32
2.2. Lucrări și servicii executate de terți	38.382	37.556,78
II. Cheltuieli Indirecte: Regia	1.854.062,35	1.854.418,30
III. Dotări independente și studii pentru obiective de investiții proprii, din care:	895.622	895.178,49
1. Echipamente pentru cercetare-dezvoltare	836.382	825.629,67
2. Mobilier și aparatură birotică	0	0
3. Calculatoare și echipamente periferice	59.240	69.548,82
TOTAL (I+II+III)	4.618.470	4.618.740

3. Analiza stadiului de atingere a obiectivelor programului

În cadrul Programului Programul NUCLEU (MAGMATMAG PN 09 43) au fost dezvoltate activități de cercetare în cadrul a 6 proiecte finanțate în anul 2011. Obiectivele prevăzute în cadrul celor 17 faze derulate au fost îndeplinite în totalitate, obținându-se următoarele rezultate:

- au fost realizate și studiate morfologic *nanofire planare din material metalic – aliaj NiFe, nanodoturi din material magnetic dur pe baza de NdFeB, structuri tip meandre într-un strat de CoFeSiB și microdoturi tip micromagneți într-un strat magnetic Ta/NdFeB/Ta* cu grosimea de 600 nm, utilizând tehnica corodării ionice cu FIB.
- au fost preparate *nanodoturi* (joncțiune magnetică cu tunelare –MTJ) cu diametrul de aprox. 165 nm, *nanofire* (nanofir planar) cu lățimea de aproximativ 165 nm și *nanoeclipse* cu lungimi ale axelor între 50 și 850 nm, folosind tehnica de nanolitografiere cu fascicul de electroni.
- au fost preparate *nanofire metalice multistrat* de tipul CoFeB(150nm și 80 nm)/Sn(20nm) utilizând tehnica electrodepunerii în structuri template de alumina nanoporoasă și *meandre metalice planare* cu lungimea de 20 μm și lățimea liniei precum și a distanței dintre linii de 500 nm, folosind tehnici de structurare prin nanolitografie cu fascicul de electroni combinată cu corodarea ionică.
- au fost studiate aberațiile lentilelor cu metamateriale determinându-se principalele lor caracteristici tehnice. Utilizând *codul de simulare FDTD* a fost simulat comportamentul metamaterialului de tip ,conical swiss roll', axat pe capabilitatea de a se obține imagini mărite ale unui obiect conductor ,iluminat' cu unde electromagnetice. *A fost realizat un traductor special având ca element de bază un ,conical swiss roll', iar ca obiect de examinat s-a ales o rețea metalică de conductoare de argint cu grosimea de 5 μm, lățimea de 0,6 mm și distanța dintre trase de 0,4 mm.*
- au fost investigate, utilizând undele magnetoinductive pentru evaluarea neinvazivă de material, 2 circuite imprimate flexibile având trase de argint cu lățimea de 0,6 mm și spațiul dintre trase de 0,4 mm cu următoarele grosimi ale traselor: 5μm, 10 μm. Procedul a permis detectarea întreruperilor traselor conductoare, dacă lățimea de întrerupere este mai mare de 10 μm. În cazul compozitelor carbon epoxy uniaxiale, au putut fi detectate nealinerii de fibră, ruperi de fibre, pătrunderea apei în spațiile dintre fibre precum și lipsa rășinii în zonele dintre fibre.
- au fost preparate straturi subțiri de Nd-Fe-B și s-a studiat influența elementelor de adaos (ex. (Nb-Cu, Co, Mo (1at.%), Mo(1at.%) -Cu(0.4%)) și a structurării geometrice asupra caracteristicilor magnetice dure și temperaturii de cristalizare ale straturilor subțiri de Nd-Fe-B. Straturile de Nd-Fe-B cu adaosuri de Mo și Mo-Cu prezintă o puternică creștere a câmpului coercitiv, o creștere a raportului (M_r/M_s) și o descreștere ușoară a magnetizării de saturație M_s , comparativ cu straturile subțiri de Nd-Fe-B fără adaosuri. Adăugarea simultană de Nb-Cu și Co în ,compoziția' stratului subțire de Nd-Fe-B conduce la o creștere accentuată a câmpului coercitiv $\mu_0 H_c$ (de la 7 kOe la 17 kOe), la o creștere a temperaturii Curie a fazei dure (de la 348°C la 416°C) precum și la o scădere a temperaturii de nanocristalizare cu 40°C. După structurarea geometrică în formă de benzi comportarea magnetică este în continuare izotropă, în schimb H_c a crescut de la 17 kOe la 19,1 kOe, iar valoarea magnetizării de saturație M_s s-a micșorat de la 52 emu/g la 47 emu/g, pentru cazul în care câmpul magnetic H este aplicat paralel la benzi.
- utilizând metoda SPS au fost obținuți *magneți nanocompoziți sub formă de disc cu diametrul de 1cm și grosimi între 1 și 3 mm* având următoarea formulă masică: fază magnetic moale (Fe₂Co) – 0, 4, 6, și 10 %

masic; fază magnetic dură NdFeB – 100, 96, 94 și 90 % masic. Magneții permanenți cu proprietăți magnetice bune au avut următoarea compoziție : 92% Nd₁₂Fe₈₂B₆ + vol 8%Fe₂Co; 96%Nd₁₆Fe₇₈B₆ + vol. 4% Fe₂Co. Condițiile optime de compactizare au fost următoarele: temperatura de sinterizare 600°C, timpul de sinterizare – 5 min., presiunea de sinterizare 70 MPa. Magneții permanenți care conțin Fe și Co au temperatura Curie mai mare comparativ cu magneții nanocompoziți pe bază de Fe.

- au fost obținute *membrane nanoporoase din oxid de aluminiu* prin combinarea tehnicii de nanoimprint cu fascicul de ioni și anodizare sau prin combinarea tehnicii de nanoimprint cu fascicul de electroni și anodizare. Micrografiile SEM au arătat că indiferent de condițiile de anodizare folosite pentru preparare, nanoporii păstrează configurația obținută în urma nanoindentării. Diametrele nanoporilor cresc atât odată cu creșterea timpului de anodizare (5 ore, 10 ore) cât și cu creșterea temperaturii de anodizare (între 2°C și 15°C). Valorile diametrelor nanoporilor depind de configurația acestora și anume variază în funcție de simetria inițială (hexagonală, triunghiulară, pătratică) a centrelor de nucleere generate în urma procesului de nanoindentare și în funcție de distanța dintre centrii de nucleere.
- au fost preparate *fire magnetice amorfe acoperite cu sticlă* prin metoda tragerii din topitură în înveliș de sticlă cu următoarele compoziții: Fe_{73,5}Cu₁Nb₃Si_{13,5}B₉ și Co_{68,15}Fe_{4,35}Si_{12,5}B₁₅, cu diametrul miezului metalic de aproximativ 8 μm și grosimea stratului de sticlă de aproximativ 13 μm. Pe aceste fire au fost depuse, *straturi din material magnetic dur* Co₅₀Pt₅₀, Cu/CoPt și CoPtCu (Cu = approx. 6 at.%) cu grosimi de aprox. 650 nm și de aprox. 1 μm. Au fost stabiliți parametrii optimi (concentrație/grosime pentru Cu, temperatura – timp de tratament) pentru formarea stării nanocristaline în straturile de material magnetic dur depuse.
- a fost realizat în laborator un *sistem de amortizare a vibrațiilor cu ajutorul fluidelor magnetice*. Amortizorul cu fluid magnetoreologic este constituit din două componente: piston; carcasă. Carcasa este realizată din material feromagnetic sub forma de tub, prevăzută la partea superioară cu un capac de etanșare în care este realizat un orificiu de umplere. În partea inferioară a carcasei se afla de asemenea un capac de etanșare. Tija de care este fixat pistonul are formă tubulară cu diametrul exterior de 6 mm. Pistonul este realizat dintr-un material feromagnetic care se constituie și în miez magnetic pentru bobina electrică poziționată în interiorul acestuia. *Fluidul magnetoreologic* realizat în laborator are următoarea compoziție: 71% particule de Fe cu dimensiuni < 10 μm, 27% ulei mineral și 2% surfactant.
- Fluidele magnetoreologice obținute în laborator au fost testate și s-a evaluat capacitatea acestora de a amortiza vibrațiile prin intermediul unui montaj realizat în laborator având ca element principal un amortizor cu fluid magnetoreologic.

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 02/ Noi tehnici de caracterizare structurală, topologică, morfologică și compozițională a sistemelor de nanomateriale și nanostructuri.	Studii / Tehnologii: • utilizând tehnica de corodare ionică cu FIB au fost preparate <i>nanofire planare din material metalic – aliaj NiFe, structuri tip meandre într-un strat de CoFeSiB și microdoturi tip micromagneți într-un strat magnetic Ta/NdFeB/Ta</i> cu grosimea de 600 nm, care au fost studiate morfologic utilizând tehnica SEM • utilizând tehnica de nanolitografiere cu fascicul de electroni au fost preparate <i>nanodoturi</i> (joncțiune magnetică cu tunelare -MTJ cu diametrul de aprox. 165 nm), <i>nanofire</i> (nanofir planar cu lățimea de aproximativ 165 nm) și <i>nanoeclipse</i> (cu lungimea axelor între 50 și 850 nm), care au fost studiate morfologic utilizând tehnica SEM. • compoziția și structura cristalografică a nanofirelor a determinată utilizând tehnica EDS și difracția de raze X. Materiale / structuri: • <i>nanofire metalice multistrat</i> de tipul CoFeB(150nm și 80 nm)/Sn(20nm) • <i>meandre metalice planare</i> din NiFe cu lungimea de 20 μm, lățimea linei de 500 nm, distanța dintre linii de 500 nm	Analiza morfologică, topologică și compozițională, complexă, a nanomaterialelor (nanofire planare, nanodoturi, structuri meandre, nanoeclipse) și micromaterialelor (micromagneți permanenți) permite dobândirea de noi cunoștințe și abilități în domeniul NANO și MICRO și 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 senzori și tehnici neinvazive bazate pe acestea.	Studii/modele teoretice: • studii privind aberațiile lentilelor cu metamateriale. • 1 model teoretic pentru obținerea de imagini în câmp apropiat utilizând lentile cu metamateriale • 1 cod numeric pentru simularea comportamentul metamaterialului de tip ,conical swiss roll’ • 1 model experimental de senzor cu metamateriale de tip conical swiss roll’ • 1 dispozitiv experimental pentru testarea funcționării senzorului și utilizarea acestuia în evaluări nedistructive de material. Produse: • 1 traductor special având ca element de bază un metamaterial tip ,conical swiss roll’	Participarea la proiecte științifice cu finanțare externă în cadrul programului FP 7, precum și granturi și cooperări finanțate de NSF-USA. Participarea la proiecte de cooperare bilaterală Participarea la competiții pentru proiecte naționale de cercetare – dezvoltare – inovare
Proiect PN 09 – 43 02 01/ Interacțiuni magnetice și transformări de fază în magneți permanenți nanocompoziți izotropi și anizotropi.	Studii/analize: - soluții noi de material pentru obținerea de magneți permanenți nanocompoziți izotropi și anizotropi în diferite forme tridimensionale; - studii privind influența compoziției și a parametrilor de compactizare, precum și interacțiunile magnetice dintre fazele magnetice componente asupra transformărilor magnetice și structurale din magneții permanenți izotropi și anizotropi obținuți prin metoda Spark Plasma Sintering (SPS) - studii privind influența elementelor de adaos (ex. (Nb-Cu, Co, Mo (1at.%), Mo(1at.%) - Cu(0.4%)) și a structurării geometrice asupra caracteristicilor magnetice dure și temperaturii	- Obținerea de materiale electrotehnice performante pentru aplicații de înalt nivel tehnologic: sisteme MEMS; microcomponente electrotehnice. - Participarea la proiecte științifice cu finanțare externă în cadrul programului FP7 - Participarea la proiecte internaționale de cooperare bilaterală.

	de cristalizare ale straturilor de Nd-Fe-B. Materiale: Strat-uri subțiri magnetic dure pe bază de Ta/Nd-Fe-B-(Mo, Mo-Cu)/(Mo,Ta). Produse: <i>Magneți nanocompoziți sub formă de disc cu diametrul de 1 cm și grosimi între 1 și 3 mm, în următoarele formule masic: fază magnetic moale (Fe₂Co) – 0, 4, 6, 8 și 10 % masic; fază magnetic dură NdFeB – 100, 96, 94, 92 și 90 % masic.</i>	
Proiect PN 09 43 02 02/ Membrane poroase suport pentru creșterea de nanostructuri cu topologii complexe.	Produse: <i>Membrane nanoporoase din oxid de aluminiu în simetrii hexagonale, triunghiulare și pătratice, la distanțe de 200 nm și 300 nm, realizate prin 2 tehnici.</i> Tehnologii: Combinarea tehnicii de nanoimprint cu fascicul de electroni și anodizare; combinarea tehnicii de nanoimprint cu fascicul de ioni și anodizare, pentru realizarea de membrane nanoporoase	Realizarea de sisteme ,template' și structuri de tip suport metalic – membrană de alumina nanoporoasă, proprii, cu caracteristici fizice și topologice prestabilite, pentru creșterea în porii acestora de nanofire cu topologii complexe pentru aplicații biomedicale și pentru domeniul spintronicii.
Proiect PN 09 43 02 03/ Materiale magnetice compozite sub formă de fire multistrat (metal/sticlă/metal) cu comportare magnetică controlată.	Tehnologii/Studii: - Fire magnetice amorfe acoperite cu sticlă cu următoarele compoziții: Fe_{73,5}Cu₁Nb₃Si_{13,5}B₉ și Co_{68,15}Fe_{4,35}Si_{12,5}B₁₅, cu strat din material magnetic dur Co₅₀Pt₅₀, Cu/CoPt sau CoPtCu (Cu = approx. 6 at.%) cu grosimi între 650 nm și 1 μm., depus pe suprafață. - Studii privind stabilirea parametrilor optimi (concentrație/grosime pentru Cu, temperatura – timp de tratament) pentru formarea stării nanocristaline în straturile de material magnetic dur depuse pe fire.	Realizarea de senzori magnetici pentru industria automotivă și aeronautică.
Proiect PN 09 43 02 04/ Noi fluide magnetoreologice	Studii: Testarea a noi lichide magnetoreologice pentru aplicații de atenuare a șocurilor și controlul vibrațiilor. Produse/Materiale: - Model de laborator - sistem de amortizare a vibrațiilor cu ajutorul fluidelor magnetice - Fluid magnetoreologic cu următoarea compoziție: 71% particule de Fe cu dimensiuni < 10 μm, 27% ulei mineral și 2% surfactant.	- Realizarea de sisteme pentru amortizarea vibrațiilor cu utilizări în industria automotivă și în medicină - Realizarea de noi tipuri de fluide magnetoreologice utilizate pentru amortizarea șocurilor și vibrațiilor

4.2. Valorificarea în producție a rezultatelor obținute:

Denumirea proiectului	Tipul rezultatului	Utilizatori	Efecte socio-economice la utilizator
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.	Produse: - traductor special având ca element de bază un Conical Swiss Roll. - dispozitiv experimental pentru evaluări nedistructive de material	- INCDFIT-IFT Iasi - servicii de evaluări nedistructive de material	Obținerea de lentile magneto-inductive.
Proiect PN 09 – 43 02 01/ Interacțiuni magnetice și transformări de fază în magneți permanenți nanocompoziți	Produse: - Magneți permanenți planari - Ta/NdFeBMo(1at.%(540nm)/ Ta	- INCDFIT-IFT Iasi, - industria electronică și	Realizarea de produse performante pentru aplicații în sisteme MEMS și ca microcomponente

izotropi și anizotropi.	- <i>Magneți nanocompoziți sub formă de disc cu diametrul de 1 cm și grosimi între 1 și 3 mm, cu următoarea compoziție: Nd₁₂Fe₈₂B₆ + vol. 8%Fe₂Co; Nd₁₆Fe₇₈B₆ + vol. 4% Fe₂Co</i>	electrotehnică	electrotehnice.
Proiect PN 09 43 02 02/ Membrane poroase suport pentru creșterea de nanostructuri cu topologii complexe.	Produse - <i>Membrane nanoporoase de alumina în configurații pătrate, hexagonale și triunghiulare</i> (distanța dintre pori – 200 nm; diametrul porilor -100 nm). - <i>Structuri complexe de tip suport de Si – membrană de alumina nanoporoasă</i> (diametrul porilor între 19 și 25 nm; densitate de pori 2x10 ¹⁷ /cm ²)	- INCDFI-IFT Iasi	Realizarea de nanofire în nanoporii membranelor poroase, pentru aplicații în domeniul biomedical și în spintronică.
Proiect PN 09 – 43 02 04/ Noi fluide magnetoreologice.	Produse: - <i>Sistem de amortizare a vibrațiilor</i> cu ajutorul fluidelor magnetice	- INCDFI-IFT Iasi, - Industria automotivă.	- sisteme pentru amortizare a vibrațiilor cu utilizări în industria automotivă și în medicină

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 bilaterala Romania Slovenia 2010-2011	Universitatea din Ljubljana, Slovenia	Evaluarea nedistructivă prin procedee electromagnetice și cu unde elastice a compozitelor carbon epoxy; fuziune de date și clasificarea reparațiilor	10.000 EURO	19.000 lei
2.	Cooperare bilaterala Romania Slovacia 2011-2012	Facultatea de Electrotehnica Universitatea din Žilina, Slovacia	Metamateriale pentru evaluarea electromagnetică nedistructivă la frecvențe înalte	9.000 EURO	18.600 lei
3.	Grant de cooperare, 04-4-1069-2009/2011	IUCN Dubna	Investigations of Nanosystems and Novel Materials by Neutron Scattering Methods – Effect of hydrogen on Structure and Electrical and Mechanical Characteristics of Zirconium Alloy. Noninvasive method for establish the hydrogen content.	3.000 USD	3.000 USD

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

Nr. crt.	Denumirea publicației	Titlul articolului
	- în țară:	
	- în străinătate:	

1.	Journal of Solid State Electrochemistry (Springer)	<i>Electrochemical deposition of multilayered CoFeB/Sn nanowires</i> , Authors: Pintea A., Lupu N., Chiriac H. (<i>trimisă spre publicare</i>) <i>Study of the influence of the electrodeposition conditions on the NiFe thin film characteristics</i> , Authors: Dragos O.G., Lupu N., Chiriac H. (<i>trimisă spre publicare</i>)
2.	Journal of Alloys and Compounds (Elsevier)	<i>Magnetization reversal in spark plasma sintered nanocomposite permanent magnets based on NdFeB and soft magnetic amorphous /nanocrystalline grains</i> , Authors: Lupu N., Grigoras M., Lostun M., Chiriac H. (<i>trimisă spre publicare</i>)
3.	INSIGHT, 53 (2011) pp.132-137	<i>Electromagnetic nondestructive evaluation using metamaterials</i> , Authors: Grimberg R., Savin A., Steigmann R., Serghiac B., Brumă A.
4.	NDT and E International, ISSN: 0963-8695	<i>Electromagnetic imaging using evanescent waves</i> . Authors: Grimberg R., Savin A., Steigmann R. (in press)
5.	Journal of Sensors, Hindawi Publishing, ISSN: 1687-725	<i>Electromagnetic evaluation of hydrogen content in Zr 2.5%Nb alloy</i> , Authors: Grimberg R., Ruch M C., Savin A., Steigmann R., Iftimie N., Brumă A. (in press)
6.	Proceedings of the Royal Society A/ Mathematical, Physical & Engineering Sciences	<i>High Frequency Electromagnetic No-ndestructive Evaluation for High Spatial Resolution using metamaterial</i> , Authors: Grimberg R., Tian Guy-Yun (<i>trimisă spre publicare</i>)

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:	3	6
1.	<i>European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes – EUROMAT 2011</i> , 12-15 septembrie 2011, Montpellier, Franța	1	3
2.	<i>The Eighth International Congress in Materials Science and Engineering-ISSIM 2011</i> , 26–29 May 2011, IASI–ROMANIA.	1	2
3.	<i>VIII Congreso Regional de Ensayos No Destructivos y Estructurales – VIII CORENDE 10-12 Agosto 2011, Campana , Buenos Aires, Argentina</i>	1	1
	b) simpozioane:	-	-
	c) seminarii, conferințe	3	4
1.	56th Annual MMM Conference, Scottsdale, AZ, 30 October-3 November 2011	1	1
2.	<i>The 50th Annual Conference of The British Institute of Non-Destructive Testing</i> , 13-15 September 2011, Telford, UK	1	1
3.	<i>5th Conference in Emerging Technologies in NDT</i> , September 19th-21st, 2011, Ioannina, Greece	1	2

	d) workshop:	3	15
1.	5 th International Workshop on Amorphous and Nanostructured Magnetic Materials – ANMM 2011, 5-7 septembrie 2011, Iași, Romania.	1	10
2.	6 th Workshop NDT in Progress (Prague, October 10-12, 2011)	1	3
3.	16 th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE – 2011), Chennai, India, March 10-12, 2011.	1	2

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. Precizări asupra derulării și propunerii :

Obiectivele propuse pentru a fi dezvoltate în cursul anului 2011 în cadrul celor 6 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:

- **9 articole publicate/acceptate sau trimise** spre publicare în reviste de specialitate din străinătate: **1 articol** publicat într-o revistă de specialitate cotate ISI, **2 articole** acceptate pentru publicare și **6 articole** trimise spre publicare în reviste de specialitate cotate ISI
- **25 lucrări științifice** comunicate la **8 manifestări științifice internaționale** (3 congrese, 3 conferințe, 3 workshop-uri) organizate în țară și străinătate.
- **1 model teoretic** pentru obținerea de imagini în câmp apropiat utilizând lentile cu metamateriale
- **1 cod numeric** pentru simularea comportamentului metamaterialului de tip ,conical swiss roll’
- **1 model experimental de senzor** pe bază de metamateriale de tip ,conical swiss roll’
- **1 dispozitiv experimental** pentru testarea funcționării unui senzor pe bază de metamateriale și utilizarea acestuia în evaluări nedistructive de material
- **1 model de laborator** - Sistem de amortizare a vibrațiilor cu ajutorul fluidelor magnetice
- **2 tehnologii** de realizare a membranelor nanoporoase: 1) combinarea tehnicii de nanoimprint cu fascicul de electroni și anodizare; 2) combinarea tehnicii de nanoimprint cu fascicul de ioni și anodizare
- **11 produse noi (materiale/structuri):** 1 *traductor* având ca element de bază metamateriale de tip Conical Swiss Roll; 1 *magnet permanent planar* cu următoarea structură compozițională Ta/NdFeBMo(1at.%) (540nm)/Ta; 2 *tipuri de magneți nanocompoziți sub formă de disc cu diametrul de 1 cm și grosimi cuprinse între 1 și 3 mm*, cu următoarele compoziții: Nd₁₂Fe₈₂B₆ + vol 8%Fe₂Co; Nd₁₆Fe₇₈B₆ + vol. 4% Fe₂Co; 3 *tipuri de membrane nanoporoase din oxid de aluminiu cu simetrii hexagonale, triunghiulare și pătrate*, cu sisteme de pori situate la distanțe de 200 nm și 300 nm și cu diametrul porilor de 100 nm; 1 *structură complexă de tip suport de Si – membrană de alumină nanoporoasă* (diametrul porilor de 25 nm; densitatea de pori - 2x10¹⁷/cm²); *nanofire metalice multistrat* de tipul CoFeB(150nm și 80 nm)/Sn(20nm); *meandre metalice planare* cu lungimea de 20 μm, lățimea liniei de 500 nm, distanța dintre linii de 500 nm.

În cursul anului 2011 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 6 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