

## **Nanofire magnetice simple și multistrat** **Preparare și caracterizare**

*H. Chiriac, P. Pascariu, O. Dragos, C. Gherasim, M. Grigoras, G. Ababei, N. Lupu*  
Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică – IFT Iași

Corresponding author: [hchiriac@phys-iasi.ro](mailto:hchiriac@phys-iasi.ro)

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

### 1. INTRODUCEREA PROBLEMEI(LOR)

- ✓ metode de obținere a nanofirelor
- ✓ metode de obținere a membranelor (diametrul, densitatea și lungimea nanoporilor)
- ✓ compoziții ale materialelor electrodepuse

### 2. NANOFIRE ȘI REȚELE DE NANOFIRE MAGNETICE pentru dispozitive de tip "spinswitch", inclusiv valve de spin

### 3. NANOFIRE MAGNETICE AMORFE ȘI NANOCRISTALINE. Studiu comparativ.

### 4. INTERACȚIUNI MAGNETICE între nanofire și/sau între diferite straturi care formează structurile multistrat (proprietățile magnetice în funcție de direcția câmpului magnetic extern aplicat, magnetorezistență, magnetoimpedanță, rezonanță feromagnetică)

### 5. CONCLUZII

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Methodes de obținere a nanofirelor

- 1) Nanolitografiere prin utilizarea unui fascicul de ioni focalizat (Focused Ion Beam)
  - 2) Nanolitografiere electronică (Electron-Beam Lithography)
  - 3) Electrodepunere în nanoporii unor membrane
- Permit doar obținerea de nanofire în configurație paralelă cu substratul
- Avantaje:**
- ✓ tehnologie cu preț de cost redus;
  - ✓ pot fi obținute rețele de nanofire care acoperă suprafețe de câțiva cm<sup>2</sup>.
- 4) Fabricarea de nanofire individuale prin metoda "step-edge decoration" (Petrovykh, 1988; Tokuda, 2004)
  - 5) Creștere din soluție apoasă prin utilizarea unui câmp electric (Cheng, 2005)
  - 6) Fabricarea de nanofire prin tehnica vapor-lichid-solid (Morales, 1998)
  - 7) Ablatie laser și depunere chimică din vapori (CVD), utilizate în special pentru creșterea nanofirelor semiconductoare

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



## Membrane (1)

- I. Membrane de alumina cu nanopori ordonați, bine definiți ca dimensiuni și ca distanță interpori, obținute prin anodizarea în două etape a aluminiului

Masuda and Fukuda, **Science** 268 (1995) 1466  
Li *et al.*, **J Appl Phys** 84 (1998) 6023  
Nielsch *et al.*, **Nano Lett** 2 (2002) 677  
Stadler *et al.*, **MRS Symp. Proc.** 853E (2005) I6.3.1

**Avantaje:**

- ✓ Nanoporii păstrează o structură foarte bine ordonată pe distanțe scurte
- ✓ Diametrul nanoporilor poate fi controlat (poate varia între 10 și 300 nm)
- ✓ Lungimea nanoporilor poate fi de asemenea controlată (de la câțiva μm la ~100-150 μm)

**Dezavantaje:**

- ✓ Densitatea nanoporilor nu poate fi controlată foarte riguros (de la 10<sup>11</sup> la 10<sup>9</sup>/cm<sup>2</sup>)
- ✓ Paralelismul nanoporilor nu este foarte bun

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



## Membrane (2)

II. Membrane de alumină cu nanopori ordonați, obținute prin nanolitografiere electronică și tehnici de nanoimprimare

Li *et al.*, **Electrochem Solid State Lett** 3 (2000) 131

Masuda *et al.*, **Appl Phys Lett** 71 (1997) 2770

Stadler *et al.*, **MRS Symp. Proc.** 853E (2005) I6.3.1

### Avantaje:

- ✓ Densitatea nanoporilor poate fi foarte riguros controlată
- ✓ Paralelismul nanoporilor este mult mai bun

Membranele din categoriile I. și II. pot fi utilizate în diferite aplicații în electronică, dar nu există încă suficiente date despre biocompatibilitatea acestora în scopul utilizării în aplicații medicale.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Membrane (3)

III. Nanopori obținuți în membrane de policarbonat prin iradiere cu ioni grei

Whitney *et al.*, **Science** 261 (1993) 1316

Fearing and Legras, **Nuclear Instrum Methods Phys Res** B131 (1997) 97

Piroux *et al.*, **Nuclear Instrum Methods Phys Res** B131 (1997) 357

### Avantaje:

- ✓ Densitatea nanoporilor poate fi foarte scăzută, chiar și un singur nanopor (Enculescu, 2003)
- ✓ Nanoporii pot avea diametre începând de la 15 nm
- ✓ Membranele de policarbonat ar putea fi utilizate pentru aplicații medicale
- ✓ Oferă posibilitatea studierii proprietăților/interacțiunilor magnetice ale nanofirelor magnetice aflate la diferite distanțe (în unele cazuri pot fi considerate nanofire magnetice izolate)

### Dezavantaje:

- ✓ Prea "moi" pentru a fi integrate direct în circuite electronice convenționale (pot fi considerate pentru astfel de aplicații doar prin utilizarea unor suporturi, cum ar fi Si sau straturi izolatoare)
- ✓ Prea scurte (max. 20  $\mu\text{m}$  lungime), în funcție de energia ionilor grei cu care a fost iradiată membrana

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Membrane (4)

### IV. Membrane obținute din diferite tipuri de polimeri/copolimeri

Thurn-Albrecht *et al.*, **Science** 290 (2000) 2126  
Xu *et al.*, **Polymer** 42 (2001) 9091  
Gates *et al.*, **Adv Funct Mater** 12 (2002) 219  
Amundson *et al.*, **Macromolecules** 27 (1997) 6559

#### Avantaje:

- ✓ O alternativă la membranele de alumina
- ✓ Lipsa stratului de barieră (în cazul membranelor de alumina poate exista un strat de barieră de  $Al_2O_3$ , care împiedică electrodepunerea)
- ✓ Posibilitatea de a dizolva ușor membrana și de a "elibera" nanofirele

#### Dezavantaje:

- ✓ Diametrul nanofirelor este limitat (14-50 nm și distanța dintre nanopori de 20-90 nm)
- ✓ Este dificil să se obțină alinierea completă a porilor și orientarea acestora perpendicular pe substrat, pentru electrodepunerea ulterioară a nanofirelor

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Membrane (5)

### V. Corodarea prin "nuclear track etching" a suportului de mică

Possin, **Rev Sci Instrum** 41 (1970) 772  
Williams and Giordano, **Phys Rev B** 33 (1986) 8146

### VI. Membrane din aliaje de Al-Si alloys, în care Al a fost corodat

Fukutani *et al.*, **Adv Mater** 16 (2004) 1456

### VII. Membrane din oxid de Ti

Prida *et al.*, **J Nanosci Nanotechnol** 7 (2007) 272

### VIII. Membrane din dioxid de Si mezoporos

Terasaki *et al.*, **Microsc Microanal** 8 (2002) 35

### IX. Rețele de nanofire radiale obținute în membrană de alumina

Sanz *et al.*, **J Appl Phys** 101 (2007) 114325

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Compoziții

- **Metale nobile:** Au, Ag, Pt, Pd – în principal pentru aplicații biomedicale
- **Metale de tranziție:** Fe, Ni, Co, Cu, ...
- **Alte elemente:** Bi, Pb, Si, ...
- **Aliaje cristaline:** FeNi (inclusiv permalloy), FeCo, FeCoNi, CoFeB, CoNiFe, FePt, CdTe, FeGa, etc.
- **Aliaje amorfe:** FeP, NiP, CoP, CoNiP, FeCoNiB, CoFeB
- **Oxizi:** CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, etc.
- **Structuri multistrat:** Au/Ag, CdTe/Au, Pt/Au, Fe/Au, Co/Pt, Ni/Au, Co/Ni, Co/Cu, CoCu/Cu, NiFe/Cu, FeGa/NiFe, etc.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Nanofire magnetice pentru dispozitive de tip "spinswitch"

### De ce nanofire magnetice? (1)

1. proprietățile lor intrinseci sunt direct legate de dimensionalitatea redusă;
2. pot fi manipulate prin intermediul gradelor de libertate suplimentare aferente nanostructurilor;
3. pot fi modificate proprietățile macroscopice prin modificarea grosimii straturilor componente (în cazul structurilor multistrat);
4. magnetorezistența gigant poate fi obținută în acele structuri multistrat în care se realizează alinierea antiferomagnetică;
5. proprietățile fizice ale nanostructurilor pot fi induse/modificate sistematic prin modificarea structurii straturilor constituente și a conținutului de metal din probe;

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## **Nanofire magnetice pentru dispozitive de tip "spinswitch"**

### **De ce nanofire magnetice? (2)**

1. în structurile multistrat, efectul GMR apare atunci când un câmp magnetic extern ( $H_{ext}$ ) modifică diferit vectorii magnetizație ai diferitelor straturi constituate – efectul de împrăștiere electronică dependentă de spin și potențialele de interfață dependente de spin sunt două mecanisme fundamentale responsabile de apariția efectului GMR;
2. în geometria CIP (curentul aplicat în plan), efectul GMR dispare atunci când grosimea straturilor depășește drumul liber mijlociu al electronilor;
3. în geometria CPP (curentul aplicat perpendicular pe plan), lungimile de difuzie ale spinilor sunt cele care determină răspunsul sistemului;
4. în consecință, efectul GMR poate fi mult mai semnificativ atunci când curentul este aplicat pe direcție perpendiculară (comparativ cu geometria CIP) și grosimea straturilor este cuprinsă între drumul liber mijlociu al electronilor (câțiva nm) și lungimea de difuzie a spinilor (sute de nm);

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## **Nanofire magnetice pentru dispozitive de tip "spinswitch"**

### **De ce nanofire magnetice? (3)**

1. nanofirele magnetice reprezintă un nou tip de nanostructură GMR, care prezintă un interes special în configurația în care curentul este aplicat perpendicular pe planul nanofirelor = geometria CPP;
2. electrodepunerea este o metodă ieftină de obținere a structurilor multistrat;

L. Piraux *et al.*, **Appl Phys Lett** 65 (1994) 2484

A. Blondel *et al.*, **Appl Phys Lett** 65 (1994) 3019

### **Structuri de nanofire multistrat studiate pentru acest scop:**

**Co/Cu** (Piroux, 1994; Blondel, 1994)

**NiFe/Cu** (Dubois, 1997)

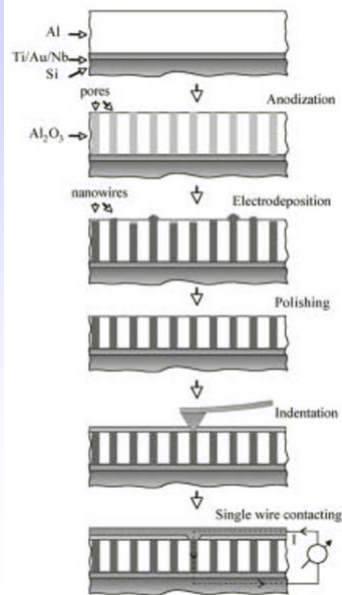
**Posibile aplicații** în: dispozitive MRAM, senzori magnetici complecși, cum ar fi cei pentru industria auto, dispozitive de tip "fast logic", dispozitive de înregistrare de densitate ridicată, dispozitive pentru lucrul la frecvențe înalte utilizate în telecomunicații.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008

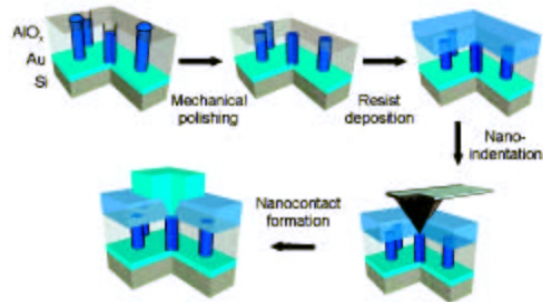


INCDFI-IFT Iași

## Nanofire magnetice pentru dispozitive de tip "spinswitch"



Ilustrarea schematică a procesului de realizare a nanocontactelor pe un singur nanofir, care face parte dintr-o rețea de nanofire electrodepusse în nanoporii unei membrane de alumină.



S Fusil *et al.*, *Nanotechnology* 16 (2005) 2936  
L Piraux *et al.*, *Nano Lett* 7 (2007) 2563

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Nanofire magnetice obținute la INCDFI-IFT Iași

- ✓ nanofirele au fost obținute prin electrodepunere în nanoporii unor membrane comerciale de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Whatman® și Synkera® cu diametre ale nanoporiilor cuprinse între 20-200 nm și lungimi ale nanoporiilor de 40-60  $\mu\text{m}$ ) și în nanoporii unor membrane de Al anodizat obținute la INCDFI-IFT Iași (diametrul porilor 30-40 nm și lungimi cuprinse între 50 și 100  $\mu\text{m}$ );
- ✓ au fost electrodepusse nanofire simple de NiFe, CoFeB, CoNiP și nanofire multistrat de tip [NiFe/Cu], Co/[NiFe/Cu]/Co, [CoFeB/Cu], [CoNiP/Cu] (între 100 și 300 de secvențe consecutive);
- ✓ baia de depunere a constat dintr-un amestec de săruri corespunzătoare componentelor/aliajelor electrodepusse;
- ✓  $T_{\text{depunere}} = 25^\circ\text{C}$ ;  $\text{pH}_{\text{baie electrodepunere}} = 3$ ;  $\text{pH}_{\text{Co}} = 3$  și 6;
- ✓ în cazul structurilor multistrat straturile au fost electrodepusse succesiv prin modificarea potențialului de electrodepunere, în funcție de elementul/aliajul final.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008

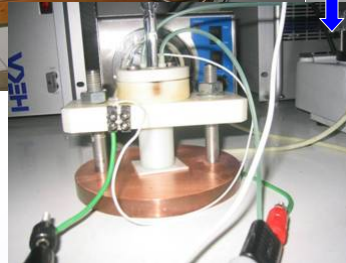


INCDFI-IFT Iași

## Montajul experimental utilizat pentru electrodepunere

Pe una dintre suprafețele membranei de alumina a fost depus (prin evaporare termică) un strat subțire de Cr/Au, utilizat ulterior ca și catod în procesul de electrodepunere.

### Depunere electrochimică

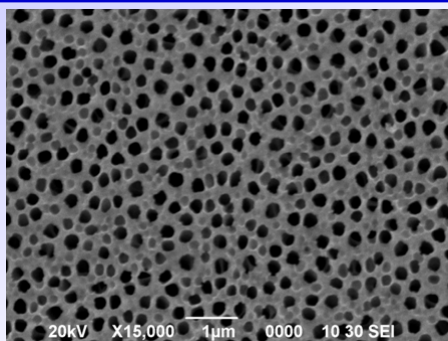


Electrod de referință: Ag/AgCl  
Anod: un fir de Pt

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008

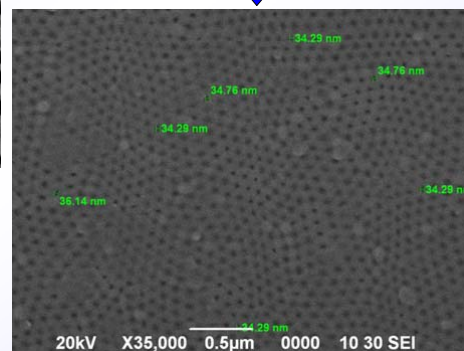


## Nanofire magnetice obținute la INCDFI-IFT Iași



Membrane Whatman® cu diametrul nominal al nanoporilor de 20 nm.

Membrane Synkera Technologies® cu diametrul nominal al porilor de 35 nm.

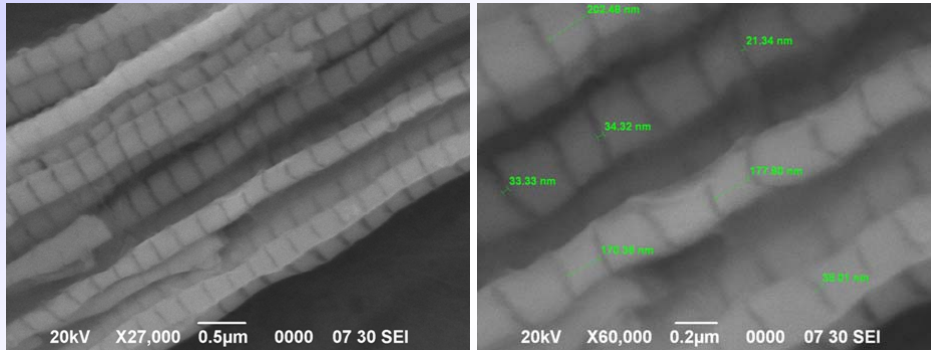


Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008





## Nanofire magnetice obținute la INCDFIT-IFT Iași



Imagini SEM ale nanofirelor magnetice  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]$  obținute prin electrodepunere în nanoporii unor membrane Whatman® cu diametrul nominal de 20 nm.

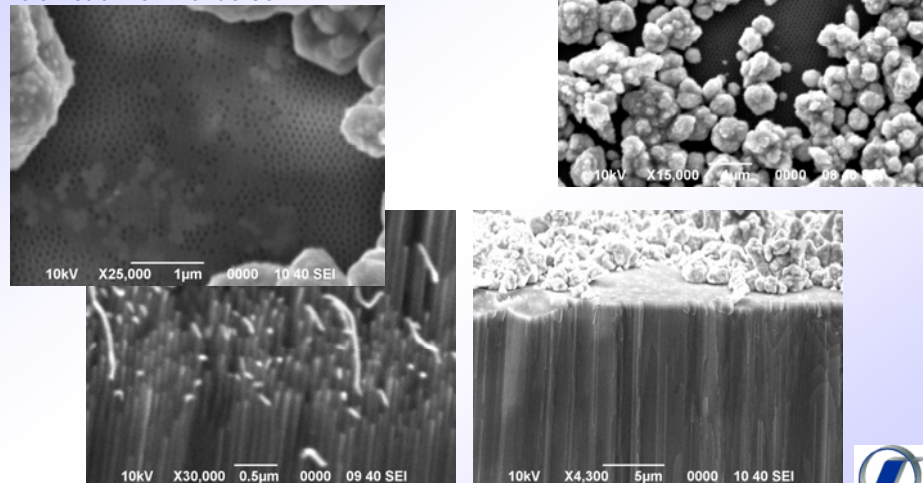
Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFIT-IFT Iași

## Nanofire magnetice obținute la INCDFIT-IFT Iași

Imagini SEM ale nanofirelor magnetice  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]$  obținute prin electrodepunere în nanoporii unor membrane Synkera® cu diametrul nominal de 35 nm.



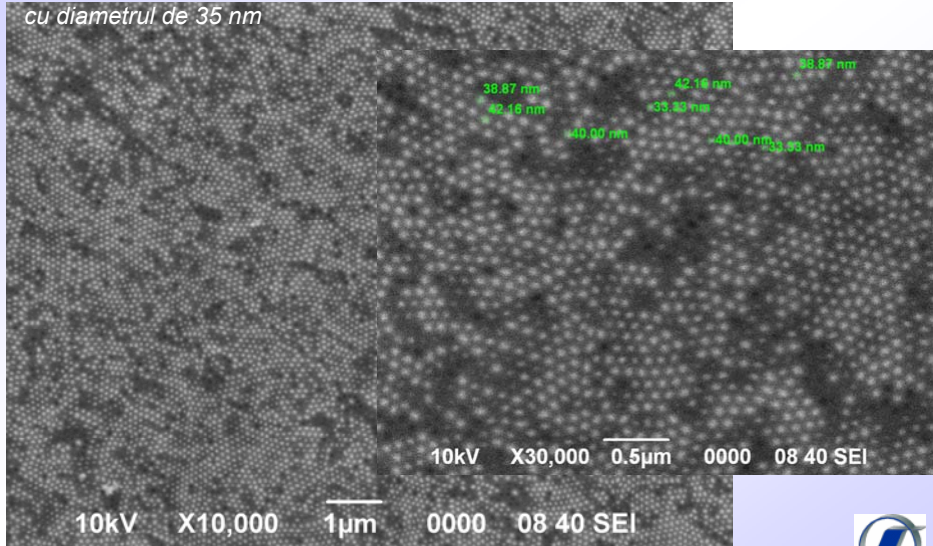
Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFIT-IFT Iași

## Nanofire magnetice obținute la INCDFD-IFT Iași

Membrană Synkera® polizată, în care au fost electrodepușe nanofire de [NiFe/Cu] cu diametrul de 35 nm



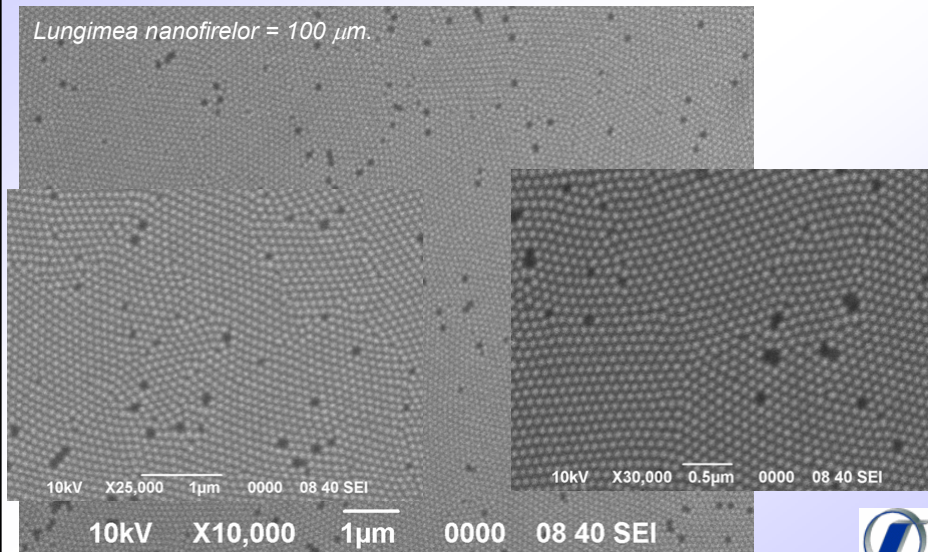
Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



## Nanofire magnetice obținute la INCDFD-IFT Iași

Membrană obținută la INCDFD-IFT Iași, în care au fost electrodepușe nanofire de [NiFe/Cu] cu diametrul de 40 nm, polizată.

Lungimea nanofirelor = 100 μm.

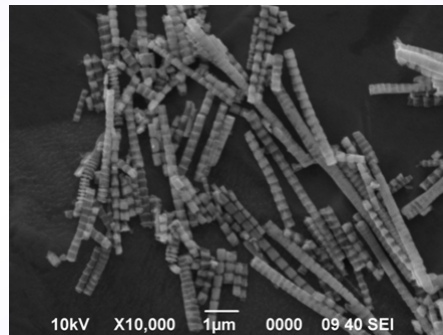
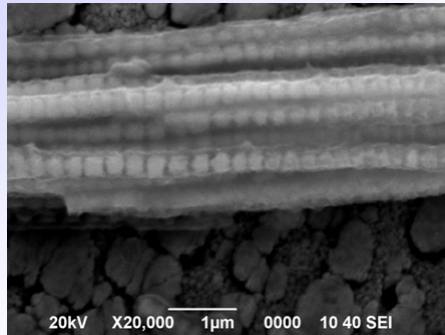


Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



## Nanofire magnetice obținute la INCDFIT-IFT Iași

Imagini SEM ale nanofirelor multistrat de tip [CoNiP/Cu], electrodepuse în membrane Whatman® cu diametrul nominal de 20 nm.

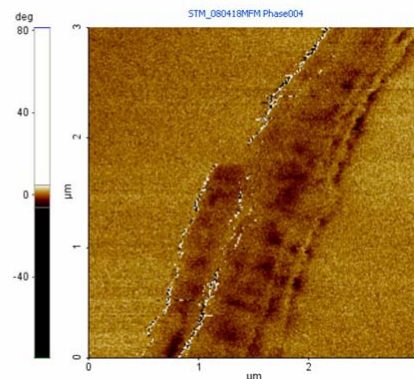
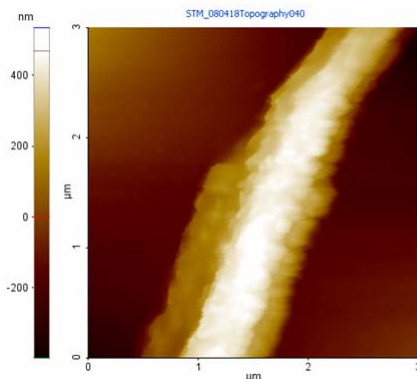


Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFIT-IFT Iași

## Nanofire magnetice obținute la INCDFIT-IFT Iași



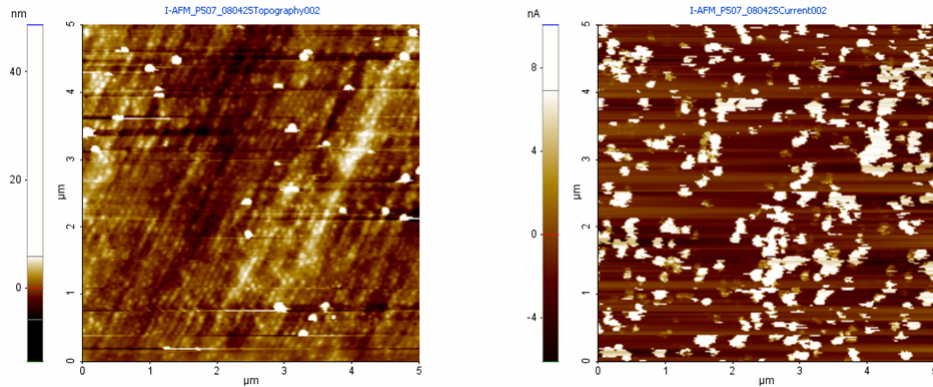
Imagini AFM (stânga) și MFM (dreapta) obținute pentru nanofire de tip  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]$ , electrodepuse în nanoporii unei membrane Whatman® cu diametrul nominal de 20 nm.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFIT-IFT Iași

## Nanofire magnetice obținute la INCDFI-IFT Iași



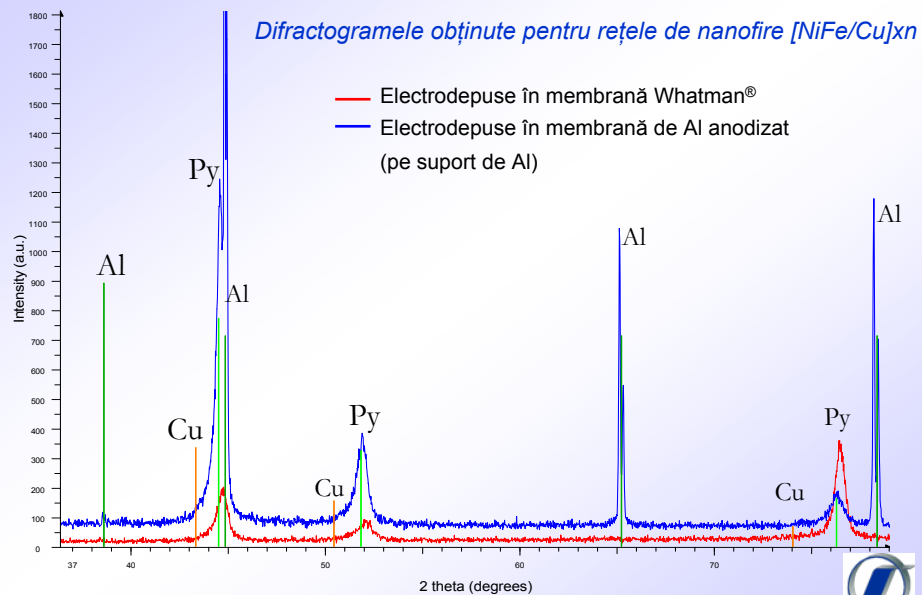
Imagini AFM (stânga) și AFM-conductiv (dreapta) obținute pentru nanofire de tip  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]$  electrodepute în nanoporii unei membrane Synkera® cu diametrul nominal de  $35 \pm 5$  nm.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Nanofire cristaline versus nanofire amorfie

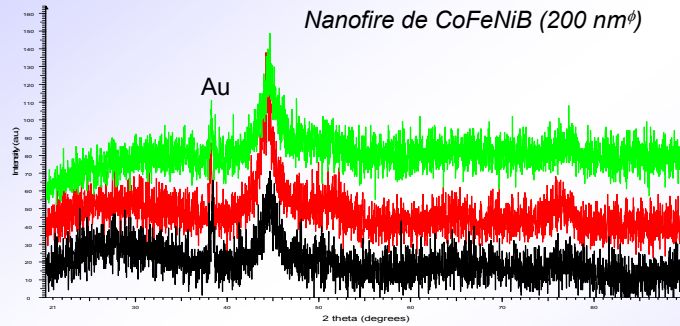


Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Nanofire cristaline versus nanofire amorge



Obținerea primelor nanofire amorge din aliaje de tip NiP și CoP a fost anunțată de către grupul de la INCDFI-IFT Iași în premieră mondială.

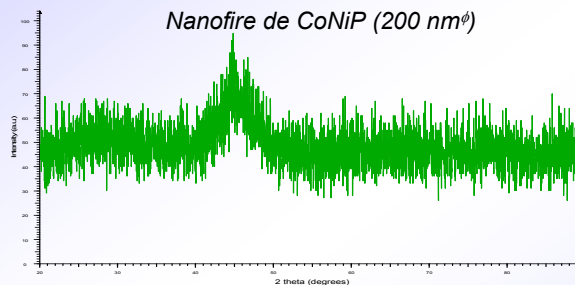
H. Chiriac *et al.*, *J Magn Mater* 272 (2004) 1860

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Nanofire cristaline versus nanofire amorge



### De ce nanofire magnetice amorge?

Deoarece materialele magnetice amorge nu prezintă anizotropie magnetocristalină.

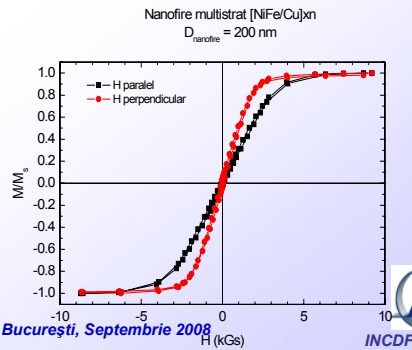
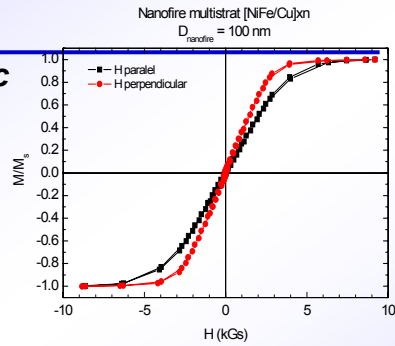
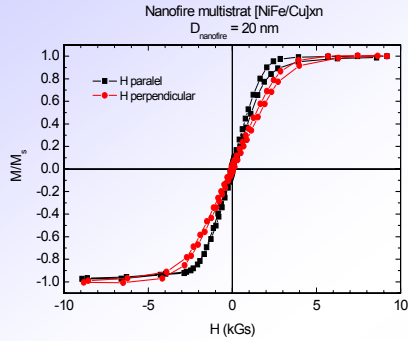
Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



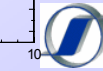
INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice

### – cicluri de histerezis magnetic



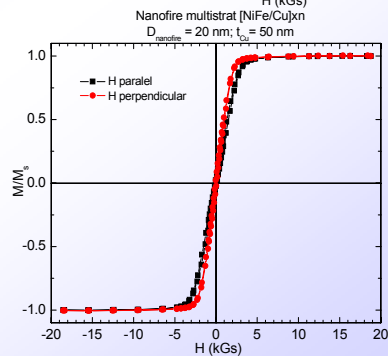
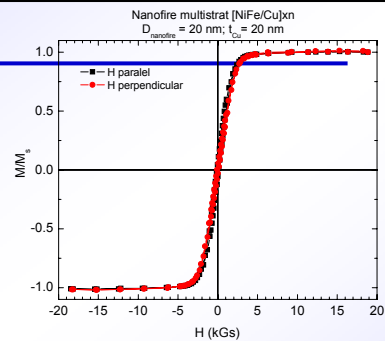
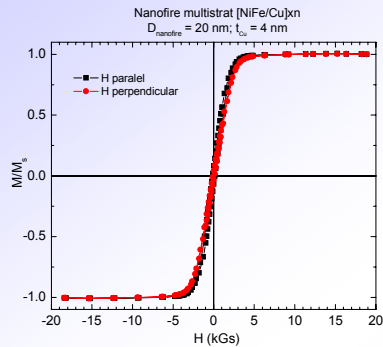
Conferinta "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice

### – cicluri de histerezis magnetic

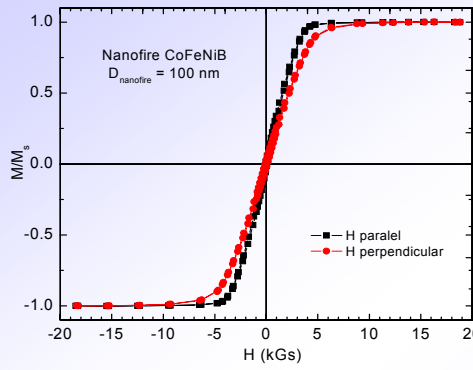


Conferinta "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008

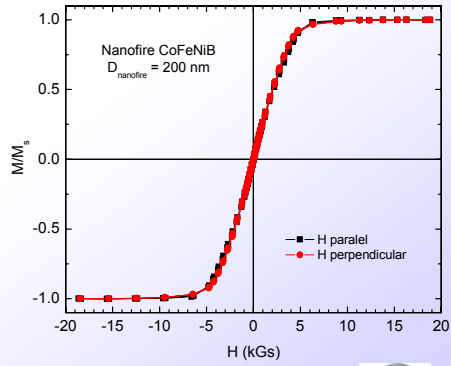


INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice – cicluri de histerezis magnetic



Nanofire magnetice amorf

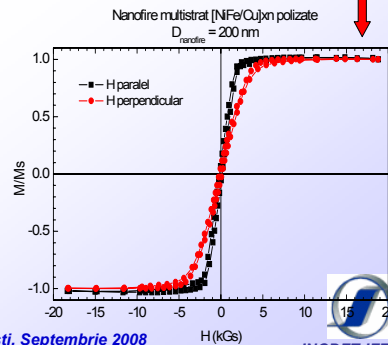
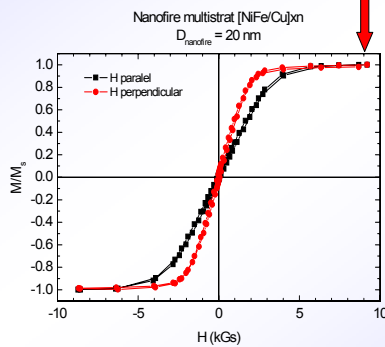
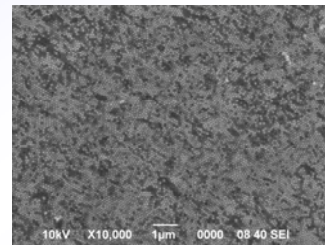
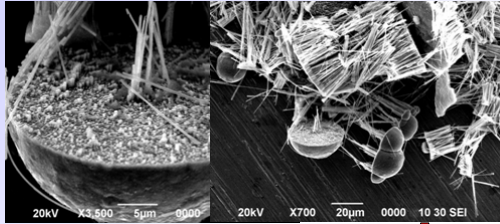


Conferinta "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice – cicluri de histerezis magnetic

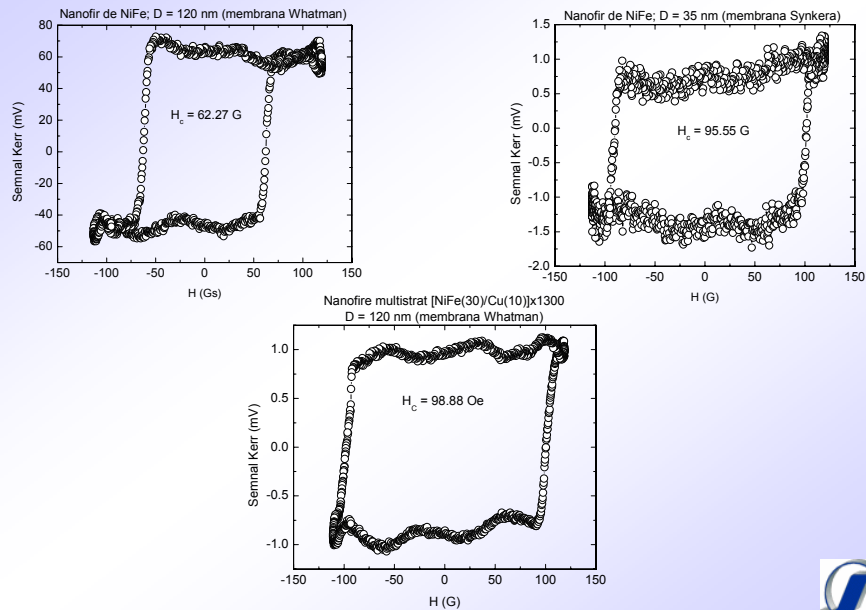


Conferinta "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice – NanoMOKE



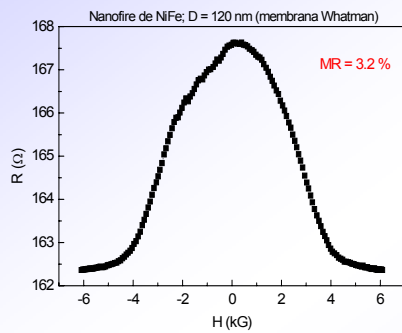
Conferinta "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



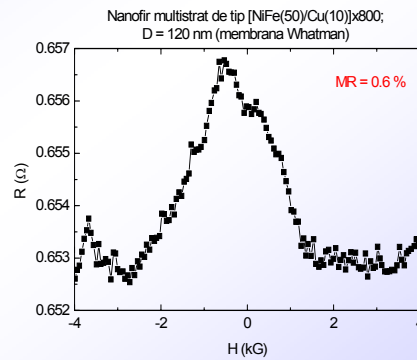
INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice – magnetorezistența

Contact electric pe un număr de nanofire



Contact electric pe un singur nanofir



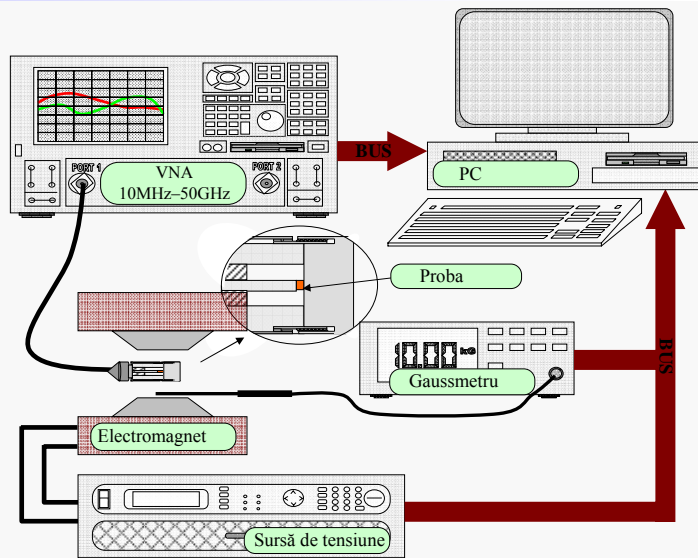
Conferinta "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași



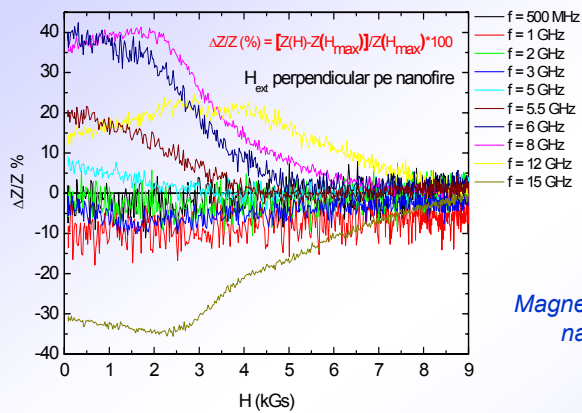
## Interacțiuni magnetice – magnetoimpedanța



Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



## Interacțiuni magnetice – magnetoimpedanța



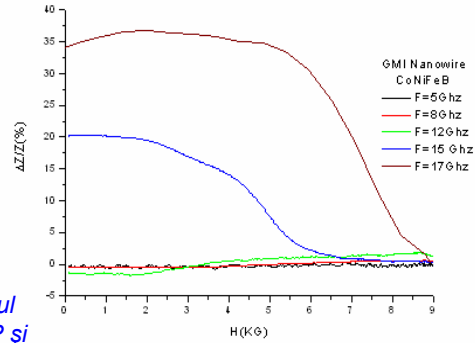
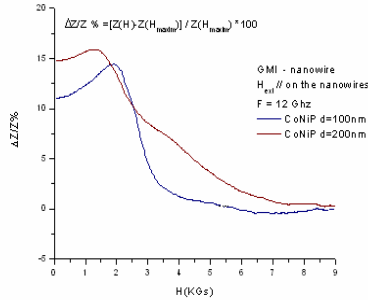
MI atinge valoarea maximă de 40% la 6-8 GHz.

Magnetoimpedanța măsurată pentru nanofire de tip  $[\text{NiFe/Cu}]_n$ .  
 $D_{\text{nominal}} = 20 \text{ nm}$

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



## Interacțiuni magnetice – magnetoimpedanța



Magnetoimpedanța în funcție de câmpul aplicat pentru nanofire amofire de CoNiP și CoFeNiB.  
 $D_{nominal} = 20 \text{ nm}$

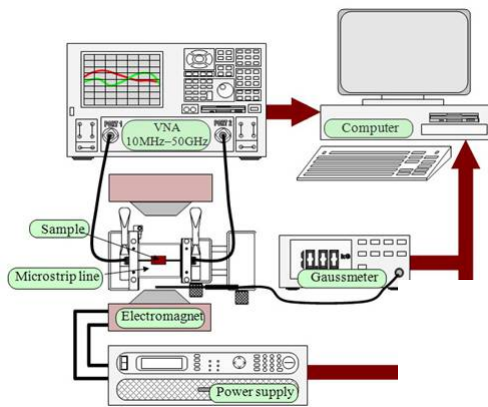
MI atinge valoarea maximă de 15% la 12 GHz pentru nanofirele de CoNiP și 37% la 17 GHz pentru nanofirele de CoFeNiB.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008

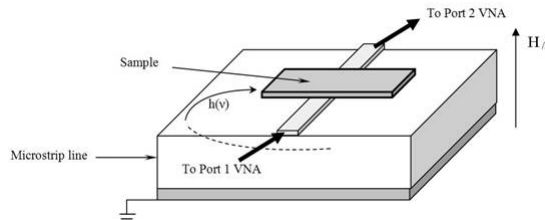


INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice – Rezonanța feromagnetică (FMR)



Montajul experimental pentru FMR, care utilizează o linie microstrip standard.



Reprezentarea schematică a modului de poziționare a membranei cu nanofire peste linia microstrip standard.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice – Rezonanța feromagnetică (FMR)

✓ Tehnica de măsură se bazează pe utilizarea pierderilor de câmp electromagnetic ce apar în jurul unei linii microstrip prin care se propagă un semnal de microunde.

\*S. Pignard *et al.*, **IEEE Trans Magn** 36 (2000) 3482

✓ Spectrele de rezonanță feromagnetică au fost obținute prin metoda baleierii frecvenței semnalului de microunde, pentru o valoare dată a câmpului magnetic exterior.

✓ Spectrele au fost obținute prin măsurarea raportului  $S_{21}(H)/S_{21}(H_0)$ , unde  $S_{21}(H)$  reprezintă transmisia prin linia microstrip pentru o valoare  $H$  a câmpului magnetic exterior, iar  $S_{21}(H_0)$  este transmisia prin linia microstrip în absența câmpului magnetic aplicat (include zgomot și salturi datorate salturilor de impedanță la contactul dintre linia microstrip și membrana cu nanofire).

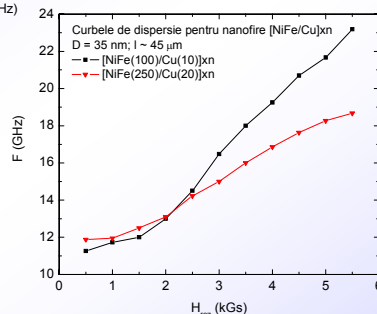
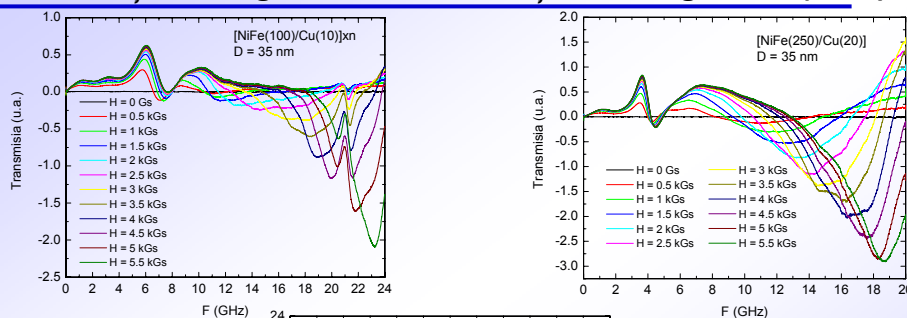
✓ Câmpul magnetic extern (max. 5.5 kGs) este întotdeauna paralel cu nanofirele.



Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008

INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice – Rezonanța feromagnetică (FMR)



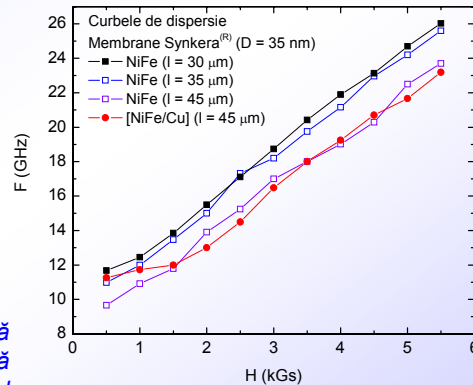
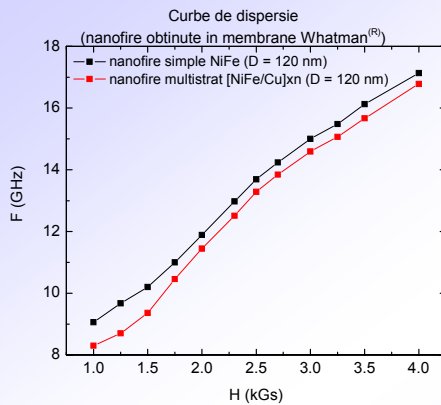
Curbele de dispersie indică dependența frecvenței de rezonanță de grosimea straturilor care compun nanofirele multistrat.



Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008

INCDFI-IFT Iași

## Interacțiuni magnetice – Rezonanța feromagnetică (FMR)



Curbele de dispersie indică dependența frecvenței de rezonanță de dimensiunile nanofirelor (în special raportul diametru/lungime), adică de anizotropia de formă.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași

## Concluzii

- Deși progresul în ceea ce privește prepararea și caracterizarea nanofirelor magnetice prin electrodepunere în nanoporii unor membrane este evident, există încă multe de realizat în ceea ce privește înțelegerea comportării microscopice (nanoscopice?) a unor astfel de structuri nano-dimensionale, cum ar fi:
  - interacțiunile magnetice dintre diferitele straturi care formează structurile multistrat;
  - periodicitatea și regularitatea distribuției nanoporiilor în diferitele tipuri de membrane sunt încă departe de a fi fost rezolvate;
  - controlul compoziției aliajelor electrodepuse, prin controlul concentrației sărurilor din baia de depunere și a parametrilor de depunere, este destul de dificil de realizat, deoarece regulile și legile care se aplică în cazul straturilor subțiri electrodepuse nu sunt întotdeauna valabile în cazul nanofirelor (fenomene de capilaritate, păstrarea ionilor în soluție un timp îndelungat, etc.);
- ... și totuși ... nanofirele pot avea un rol major în multe aplicații avansate.

Conferința "Diaspora în cercetarea științifică românească", București, Septembrie 2008



INCDFI-IFT Iași