



G. Viau¹, T. Maurer², F. Zighem², F. Ott², G. Chaboussant², J.-Y. Piquemal³, F. Fiévet³, Y. Soumare⁴, N. Jouini⁴, F. Schoenstein⁴, C. Gatel⁵

- LPCNO, CNRS UMR 5215, INSA de Toulouse, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse.
 - LLB, CEA - CNRS UMR 12, Centre d'études nucléaires de Saclay, 91191 Gif sur Yvette.
 - ITODYS, CNRS UMR 7086, Université Paris VI, 15 rue Jean-Antoine de Baïf, 75205 Paris.
 - LPMTM, CNRS UPR 9001, Institut Galilée - Université Paris XIII, 99 Avenue Jean-Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse.
 - CEMES, CNRS UPR 8011, Université de Toulouse, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse.
- contact: gviau@insa-toulouse.fr

1. Objectifs

- préparation de nanoparticules anisotropes monodisperses à base de métaux ferromagnétiques 3d (Fe, Co, Ni et alliages)
- organisation des objets en assemblées denses parallèles
 - inclusion dans des matrices polymères
 - frittage sous champ magnétique (SPS, HIP)

SPS
Poudres nanométriques consolidées sous pression par courant pulsé avec application d'un champ magnétique extérieur

Cycles calculés (modèle « macrospin »)

2. Particules anisotropes obtenues à l'aide du procédé polyol

Nanofils de Co₈₀Ni₂₀

$L_m = 250 \text{ nm}$; $D_m = 8 \text{ nm}$

Oursins de Co

200 nm

Nanofils de Co

$L_m = 99 \text{ nm}$; $D_m = 15 \text{ nm}$
 $f_{\text{aspect}} = 7$

$L_m = 140 \text{ nm}$; $D_m = 35 \text{ nm}$
 $f_{\text{aspect}} = 4$

Etude structurale

Proportion de phase cubique, x
Formule d'Edwards et Lipson: $x = \frac{I_{111}}{I_{111} + 4 \times I_{002}}$

Densité de fautes d'empilement, δ
 $\delta = 13,4 \times B_c(2\theta)$
 $B_c(2\theta) = \sqrt{B_{001}^2 - B_{010}^2}$

HRTEM
Particules parfaitement cristallisées
Structure hexagonale compact
Peu de fautes d'empilement

3. Propriétés magnétiques statiques

Alignement à l'aide d'un champ magnétique extérieur

Co ($L_m = 150 \text{ nm}$; $D_m = 15 \text{ nm}$)

Co₈₀Ni₂₀ ($L_m = 240 \text{ nm}$; $D_m = 7 \text{ nm}$)

Champ coercitif élevé: jusqu'à 0.6 T à 300K (plus élevé que ce qui est obtenu avec les fils préparés par électrodéposition dans des matrices poreuses)

Aimantation rémanente élevée: jusqu'à 97%

Application potentielle à la fabrication d'aimants permanents → Problèmes: manipulation difficile hors solution et oxydation en surface

4. Système « cœur-coquille »: couplage d'échange interfacial

HRTEM

Co
 $L_m = 150 \text{ nm}$
 $D_m = 15 \text{ nm}$

La coquille de CoO (antiferromagnétique) à une épaisseur d'environ 2 nm

Magnétométrie SQUID

évolution non monotone du champ coercitif

mesurée à partir du pic magnétique ($1/2$ à $3/4$) de la coquille CoO

Diffraction de neutrons

$T_N \approx 230 \text{ K}$

Modèle proposé:

- Régime 1 ($T > T_N$): état para-magnétique des grains de CoO
- Régime 2 ($T_N < T < T_{EB}$): état super-para-magnétique des grains de CoO
- Régime 3 ($T < T_{EB}$): grains de CoO bloqués

Objet simulé: Cœur ferromagnétique

Cycles calculés à l'aide de simulations micromagnétiques

5. Simulations micromagnétiques de particules anisotropes

Anisotropie de forme et rapport d'aspect

Influence de la qualité cristalline des particules

Influence de l'anisotropie magnétocristalline sur la distribution des moments magnétiques au sein d'un « diaboloid » (longueur: 100 nm, diamètre central: 25 nm, diamètre extrémité: 50 nm)

$K = 0$ (État vortex)
 $K = 2,5 \times 10^5 \text{ J.m}^{-3}$ (État fleur)
 $K = 5 \times 10^5 \text{ J.m}^{-3}$

Champ appliqué nul

Champ de fuite créé par les particules

Cartographie du champ dipolaire créé par les particules anisotropes → « bonne » dispersion: pas ou peu d'interactions entre particules

→ Configuration micromagnétiques différentes → interactions entre particules et comportement magnétique différents

6. Perspectives

- Diffusion de neutrons aux petits angles de système composites: accès aux facteurs de formes géométrique et magnétique (→ comparaison avec les calculs exacts)
- Calcul du facteur de forme magnétique de particules anisotropes de formes complexes (voir ci-dessous) et prise en compte du couplage dipolaire entre particules → calcul du champ dipolaire nécessaire dans les 2 cas

Champ rayonné par un « diaboloid »

Champ rayonné par 2 « diaboloids » en interaction

image TEM d'une chaîne de diaboloids en interaction

Références

Y. Soumare, J.-Y. Piquemal, T. Maurer, F. Ott, G. Chaboussant, A. Falqui and G. Viau, *J. Mater. Chem.*, **2008**, *18*, 5696.
 Y. Soumare, C. Garcia, T. Maurer, G. Chaboussant, F. Ott, F. Fiévet, J.-Y. Piquemal, G. Viau, *Adv. Funct. Mater.*, **19** 2009 1971.
 F. Ott, T. Maurer, G. Chaboussant, Y. Soumare, J.-Y. Piquemal, G. Viau, *J. Appl. Phys.*, **105** 2009 013915.
 T. Maurer, F. Zighem, F. Ott, G. Chaboussant, G. André, Y. Soumare, J.-Y. Piquemal, G. Viau and C. Gatel, *Phys. Rev. B* **2009**, *80*, 064427.