

Matériaux magnétodiélectriques contraints pour la miniaturisation de dispositifs : application aux antennes

Emmanuel Le Guen, Jean-Luc Mattei, Alexis Chevalier, Anne-Claude Tarot

► To cite this version:

Emmanuel Le Guen, Jean-Luc Mattei, Alexis Chevalier, Anne-Claude Tarot. Matériaux magnétodiélectriques contraints pour la miniaturisation de dispositifs : application aux antennes. JCMM 2012: 12èmes journées de caractérisation microondes et matériaux, Mar 2012, Chambéry, France. hal-00802248

HAL Id: hal-00802248

<https://hal.univ-brest.fr/hal-00802248>

Submitted on 19 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MATERIAUX MAGNETODIELECTRIQUES CONTRAINTS POUR LA MINIATURISATION DE DISPOSITIFS : APPLICATION AUX ANTENNES

E. Le Guen^{1,2}, J-L. Mattei¹, A. Chevalier¹, A-C. Tarot²,

¹Lab-STICC, UMR CNRS 6285, Université de Bretagne Occidentale, 29238 Brest, France

²IETR, UMR CNRS 6164, Université de Rennes 1, Rennes, France

emmanuel.leguen@univ-brest.fr

1. INTRODUCTION

Cette étude se place dans l'objectif de miniaturisation de dispositifs antennaires pour la norme DVB-H (Digital Video Broadcasting-Handled 470-862 MHz). Les matériaux employés sont des ferrites, dont les applications sont habituellement limitées à 400 MHz lorsqu'ils sont utilisés sous forme dense. Pour dépasser cette limitation, nous proposons d'utiliser ces ferrites sous forme de composites matriciés sous différentes contraintes et réalisés à partir de grains nanométriques de compositions $Ni_xZn_{0.8-x}Co_{0.2}Fe_{1.98}O_4$. Nous avons par ailleurs montré la potentialité de ces ferrites en tant que substrat d'antennes pour la norme DVB-H, dans le cadre de l'ANR NAOMI [1]. Ceci a permis une augmentation de la fréquence de résonance ferrimagnétique (FRM) et l'élargissement de la bande passante de l'antenne, en contrôlant les étapes de chamottage et de densification du ferrite d'une part, et en augmentant l'anisotropie magnétocristalline par mise à profit des propriétés de magnétostriction d'autre part [2]. Dans cette étude, nous nous intéressons à une autre manière d'accroître l'anisotropie qui consiste à varier le rapport nickel/zinc. La combinaison de ces deux opérations (actions sur la magnétostriction et sur le rapport Ni/Zn) permet d'étendre le domaine des faibles pertes magnétiques vers des fréquences plus élevées. Nous présentons ici l'étude de propriétés électromagnétiques de ce type de matériaux, dont nous réalisons la synthèse par co-précipitation, et des exemples de leur application en tant que substrats d'antennes miniatures (simulations HFSS).

2. LES MATERIAUX MAGNETO-DIELECTRIQUES EMPLOYES

Les poudres de composition $Ni_xZn_{0.8-x}Co_{0.2}Fe_{1.98}O_4$ (avec $x = 0,6 - 0,53 - 0,4$ et $0,3$) sont synthétisées par la méthode de co-précipitation. Ce choix de synthèse associée à un traitement thermique adapté, permet de réaliser des substrats d'antennes à porosité contrôlée présentant de faibles pertes magnétiques et diélectriques, qualités essentielles à l'efficacité d'une antenne [1] [2]. L'abaissement de la perméabilité qui en découle conduit à une augmentation de la FRM, conformément à la loi de Snoëk qui établit que la FRM d'un matériau est fonction inverse de sa susceptibilité magnétique statique : $f_R \approx 1/(\mu_s - 1)$ [3]. De faibles pertes magnétiques aux fréquences inférieures à 800 MHz sont favorisées par la dimension nanométrique des particules (figure 1), puisque la création de domaines magnétiques est ainsi évitée. La susceptibilité mesurée dès 100 Hz est largement indépendante de la fréquence et est donc d'origine purement rotationnelle.

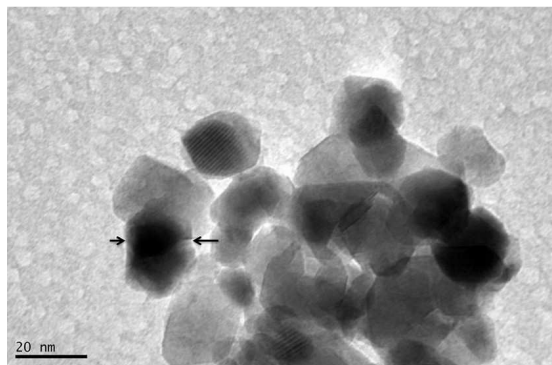


Figure 1 : image TEM de particules nanométriques de $Ni_{0.6}Zn_{0.2}Co_{0.2}Fe_{1.98}O_4$ après calcination à 800°C

3. INFLUENCE DES PROPRIETES DE MAGNETOSTRICTION SUR LES PROPRIETES DES SUBSTRATS, ET PERFORMANCES DES ANTENNES

3.1 INFLUENCE DES PROPRIETES DE MAGNETOSTRICTION

L'application d'une pression mécanique (lors de la mise en forme du substrat) induit une anisotropie supplémentaire qui a pour effet de déplacer la FRM. Les matériaux étudiés sont des composites, formés d'un mélange de ferrite (45% vol.) et de résine époxy. Ce mélange est matricié au format APC7 sous pression uniaxiale. La procédure suivie est détaillée dans [1]. Les spectres de

perméabilité et de permittivité sont obtenus à l'aide d'un analyseur de réseaux dans la gamme de fréquence [10 MHz-6GHz].

La figure 2 est une présentation de l'effet quantitatif obtenu sur le spectre de perméabilité (ici celui pour un composite réalisé avec $\text{Ni}_{0.6}\text{Zn}_{0.2}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{1.98}\text{O}_4$) lorsque l'anisotropie magnétostrictive est sollicitée. Ces résultats vont dans le sens d'une montée de la FRM en présence de contraintes.

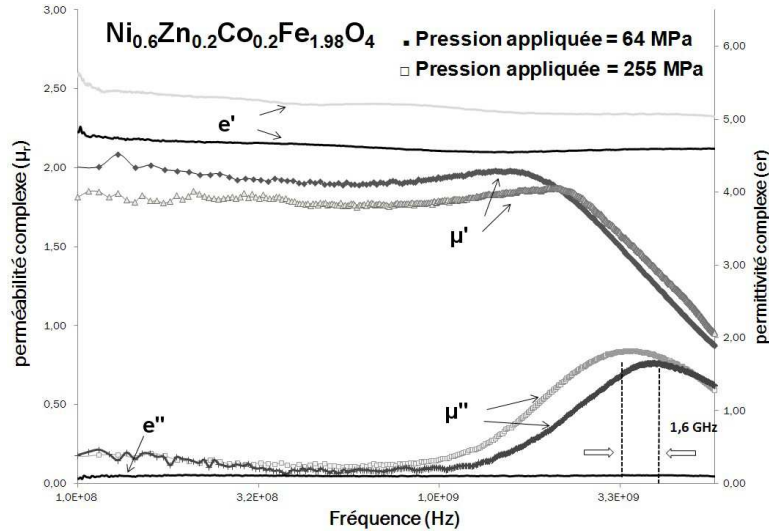


Figure 2 : Perméabilité et permittivité de deux composites contraints sous 64 MPa et 255 MPa, respectivement

L'application de contraintes conduit à une augmentation de près de 1,6 GHz sur la FRM dans la gamme de pression appliquée. L'effet de la pression sur la valeur de la FRM peut-être formalisée à l'aide d'un modèle analytique que nous avons détaillé par ailleurs [2], et qui est brièvement présenté dans ce qui suit. Pour les ferrites étudiés, les quatre axes faciles sont distribués sur les diagonales de la maille cubique. Le calcul sur l'axe [111] conduit à un champ effectif d'anisotropie de la forme [4] [5]:

$$H_{eff} = \frac{4}{3} \frac{(-K + 3/2 \lambda_s \sigma_i)}{\mu_0 M_s} \quad (1)$$

où K est la constante d'anisotropie magnétocristalline, σ_i la contrainte locale exercée sur les grains (corrélée à la pression de matriçage P par la relation $\sigma_i = \alpha P$), λ_s la constante de magnétostriction à saturation, μ_0 la perméabilité du vide, et M_s l'aimantation à saturation.

La fréquence ferrimagnétique de résonance F_R est liée au champ effectif par la relation de Larmor :

$$F_R = \gamma H_{eff} \quad (2)$$

L'association de ces deux relations (1) et (2) prédit une variation linéaire de la FRM avec la pression appliquée :

$$F_R = F_0 + \frac{2\gamma}{\mu_0} \left(\frac{\lambda_s}{M_s} \right) \alpha P \quad (3)$$

Les contraintes induites introduisent un terme supplémentaire à l'anisotropie intrinsèque avec pour effet un déplacement de la FRM vers les plus hautes fréquences, proportionnel à λ_s/M_s .

F_0 représente la fréquence RFM naturelle du matériau, directement liée au champ d'anisotropie :

$$F_0 = \gamma H_0 \quad , \text{ avec } H_0 \text{ le champ d'anisotropie intrinsèque du ferrite. Il se détermine par extrapolation des}$$

courbes de magnétostriction présentées sur la figure 3. L'anisotropie magnétocristalline, par nature difficilement accessible, est ainsi déterminée.

La montée de la FRM en présence de contraintes, s'observe pour chacune des compositions étudiées, avec toutefois une amplitude variable. Celle-ci dépend en effet du coefficient de magnétostriction qui s'exprime à travers le rapport Ni/Zn. Les résultats obtenus pour les compositions étudiées sont présentés figure 3.

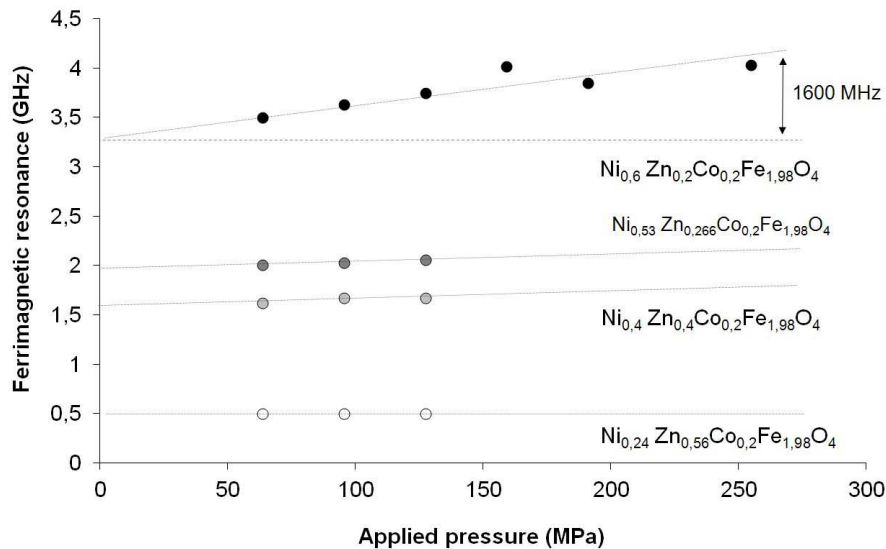


Figure 3 : Influence des contraintes appliquées sur la FRM pour les 4 compositions $Ni_x Zn_{0.8-x} Co_{0.2} Fe_{1.98} O_4$

La composition $Ni_{0.6}Zn_{0.2}Co_{0.2}Fe_{1.98} O_4$ réagit particulièrement bien à la pression exercée, avec une augmentation de près de 1,6 GHz sur la FRM dans la gamme de pression appliquée. Ceci vient du fait que le nickel augmente l'anisotropie magnétostrictive alors qu'elle est abaissée par le zinc [6].

Rapport Ni/Zn	F_0 (GHz)	ΔF (MHz)	H_0 (kA/m)	a (MHz/Pa) $\times 10^6$	$Tan(\mu)$ (700MHz)	$Tan(e)$ (700 MHz)
Ni 0,6 / Zn 0,2	3,3	1600	102,58	39,03	0,056	0,02
Ni 0,53 / Zn 0,3	1,9	50	59,06	9,42	0,112	0,022
Ni 0,4 / Zn 0,4	1,5	50	46,62	7,85	0,261	0,025
Ni 0,24 / Zn 0,56	0,5	0	15,54	0	0,55	0,027

Tableau 1 : Grandeurs extraites des variations représentées figure 3, et où "a" est le coefficient directeur de la droite. $Tan\mu$ est la tangente des pertes magnétique ($tan\mu = \mu''/\mu'$), $tan(e) = pertes\ diélectriques (tan e = e''/e')$

Le tableau 1 montre l'avantage d'utiliser une composition riche en nickel. L'intérêt de cette dernière composition est double pour la montée en fréquence : l'augmentation de la teneur en nickel accroît l'anisotropie magnétocristalline (et donc le champ interne H_0) d'une part et rend le matériau plus sensible à la magnétostriction d'autre part : le coefficient « a » représentant la sensibilité du matériau à la magnétostriction est amélioré (pente de la droite). Elle est d'autant plus intéressante qu'elle permet d'abaisser le niveau des pertes magnétiques, et ce même à des fréquences supérieures à 1 GHz (figure 4), bien au delà de leur limite usuelle de 400 MHz pour les matériaux massifs. Ce qui permet d'envisager des applications dans la bande UHF pour ce matériau. Elle permet en outre de diminuer sensiblement les pertes diélectriques.

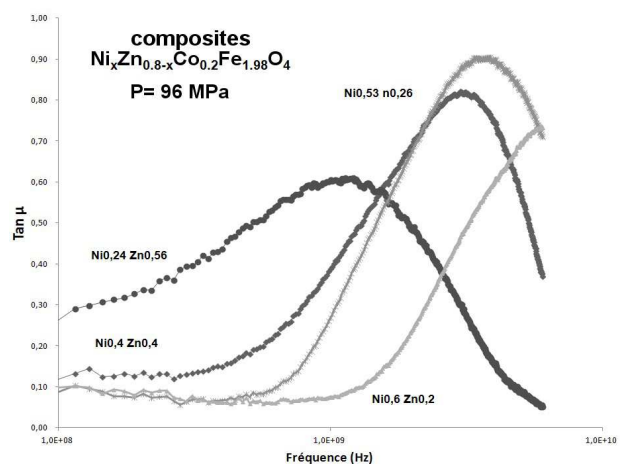


Figure 4 : influence du ratio Ni/Zn sur les tangentes des pertes magnétiques

3.2 APPLICATION A LA MINIATURISATION D'ANTENNES

Des simulations d'antennes patch carrées sont réalisées avec le logiciel HFSS. La perméabilité et la permittivité du substrat sont celles mesurées dans la figure 2 pour les deux pressions appliquées. Les

antennes sont adaptées pour résonner de 0,3 GHz à 1,8 GHz (soit une taille de patch allant de 26 mm à 158 mm). L'apport des propriétés magnétostrictives retarde la montée des pertes magnétiques, et améliore l'efficacité au-delà de 1 GHz (figure 4). A 1,8 GHz l'efficacité est de 16% pour le matériau pressé à 255 MPa contre 12% pour celui pressé à 64 MPa. L'évolution du gain en fréquence présenté sur la figure 6 suit la même tendance que l'efficacité.

A basse fréquence et à niveau de pertes égales (somme des pertes magnétiques et des pertes diélectriques), le matériau pressé à 64 MPa est plus intéressant car les pertes diélectriques sont plus faibles et moins influentes, ce qui se traduit par une meilleure efficacité.

Dans l'exemple présenté, pour une efficacité égale de 16 % la dimension d'une antenne patch est abaissée de 13 %. Ceci grâce à l'exploitation des propriétés de magnétostriction du matériau qui est utilisé comme substrat.

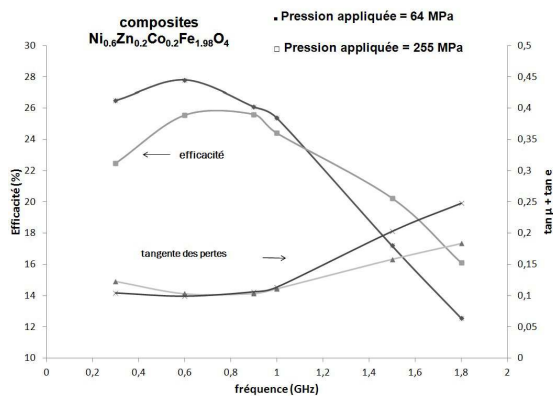


Figure 5 : Variations de l'efficacité d'une antenne patch déposée sur un substrat magnétodiélectrique réalisé sous contrainte mécanique

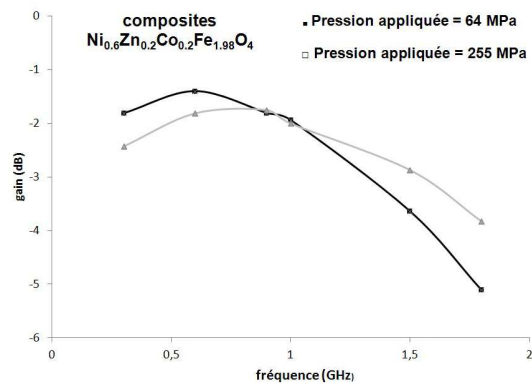


Figure 6 : Variations du gain d'une antenne patch déposée sur un substrat magnétodiélectrique réalisé sous contrainte mécanique

4. CONCLUSION

Nous avons mis en évidence l'effet de la magnétostriction sur les spectres de perméabilité de ferrites de compositions $Ni_xZn_{0,8-x}Co_{0,2}Fe_{1,98}O_4$. Les effets conjoints de la magnétostriction et de la composition (rapport Ni/Zn) permettent d'étendre le domaine des faibles pertes magnétiques au delà de 1 GHz, valeur bien supérieure à la limite habituelle de 400 MHz. A la fréquence de 1,8 GHz, l'application d'une pression suffisante permet de gagner 13 % sur la dimension de l'antenne et fait passer son rendement de 12% à 16 %. Cette étude établit que l'exploitation des propriétés de magnétostriction permet de favoriser la miniaturisation d'antennes dans la gamme de fréquence (462-870MHz) pour la norme DVB-H.

5. REFERENCES

- [1] J.-L. Mattei, L. Huitema, P. Queffelec, JF. Pintos, F. Minard, A. Sharaiha, B. Janmner, F. Ferrero, R. Starraj, D. Souriou, A. Thakur, « Suitability of Ni-Zn Ferrites Ceramics With Controlled Porosity as Granular Substrates for Mobile Handset Miniaturized Antennas », *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 47, n°. 10, p. 3720-3723, oct. 2011.
- [2] A. Chevalier, E. Le Guen, J.L. Mattei, A.C. Tarot, « Pressure Dependence of the Frequency Permeability Spectra of Soft Ferrite Composite Materials: A Method of Measuring the Natural Ferromagnetic Resonance Frequency », *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 47, n°. 10, p. 4132-4134, oct. 2011.
- [3] O. Acher et S. Dubourg, « Generalization of Snoek's law to ferromagnetic films and composites », *Phys. Rev. B*, vol. 77, n°. 10, p. 104440, mars 2008.
- [4] R. Valenzuela, *Magnetic ceramics*. Cambridge University Press, 1994.
- [5] A. Chevalier, « Etude expérimentale, élaboration et modélisation de matériaux composites à base de poudres magnétiques douces », Thèse, Brest UBO, 1998.
- [6] A. Thakur, P. Thakur, et Jen-Hwa Hsu, « Enhancement in Dielectric and Magnetic Properties of Substituted Ni-Zn Nano-Ferrites by Coprecipitation Method », *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 47, n°. 10, p. 4336-4339, oct. 2011.