

Dispositifs micro-ondes auto-biaisés utilisant des réseaux de nanofils ferromagnétiques

G. Hamoir^{1,2}, I. Huynen², L. Piraux¹

gael.hamoir@uclouvain.be

¹ Institut de la Matière Condensée et des Nanosciences (IMCN), UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique

² Institut des technologies de l'information et de la communication, électronique et mathématiques appliquées (ICTEAM), UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique

Les dispositifs micro-ondes sont actuellement utilisés pour des applications dans de nombreux domaines, de la téléphonie mobile à l'aérospatial. Ces dernières années, la progression rapide de leur développement, due à une demande de plus en plus grande, a conduit les ingénieurs à élargir la bande de fréquence habituellement utilisée et à rechercher une miniaturisation poussée des dispositifs, par une intégration sur circuit entre autres.

Nous fabriquons des dispositifs micro-ondes à base des réseaux de nanofils ferromagnétiques électro-déposés dans une membrane d'alumine nanoporeuse pour concevoir et développer des applications présentant des avantages par rapport aux dispositifs couplés aux ferrites traditionnellement utilisés. En effet, les réseaux de nanofils présentent des fréquences de fonctionnement plus élevées, typiquement entre 5 et 50 GHz, et un fonctionnement ne nécessitant pas l'application d'un champ magnétique en raison de la forte rémanence caractérisant les nanofils de faibles diamètres, favorisant une miniaturisation poussée et une intégration sur circuit de ces dispositifs.

Deux dispositifs non-réciproques sont présentés dans ce document : le premier est un circulateur micro-ondes couramment utilisé pour guider les signaux de l'émetteur à l'antenne et de l'antenne au récepteur. Contrairement aux circulateurs couplés aux ferrites, un circulateur basé sur un réseau de nanofils ferromagnétiques (fig.1a) présente l'avantage d'être auto-biaisé, d'avoir des fréquences de fonctionnement pouvant aller jusqu'à 50 GHz et la possibilité d'être intégré sur un circuit. Sur la fig.1b, nous observons une circulation dans la bande X, à 10.7 GHz, comportant une importante isolation (35dB). Ce dispositif pourrait être utilisé dans des composants pour les radars dans l'aéronautique. De plus, un contrôle des propriétés intrinsèques, permittivité et perméabilité effective, du réseau de nanofils ferromagnétiques, comme auparavant étudié [1,2], permet un ajustement assez précis de la fréquence de circulation. La fig.1c démontre la dépendance observée de la fréquence de circulation par rapport à la longueur des nanofils, ce dernier paramètre déterminant la permittivité effective du substrat [3]. Les résultats obtenus en se basant sur la théorie de Bosma [4] ont confirmé cette dépendance. Une optimisation numérique, utilisant un réseau de nanofils de CoFe dans une membrane d'alumine à faibles pertes diélectriques, a montré des résultats prometteurs sur la transmission et l'isolation [5].

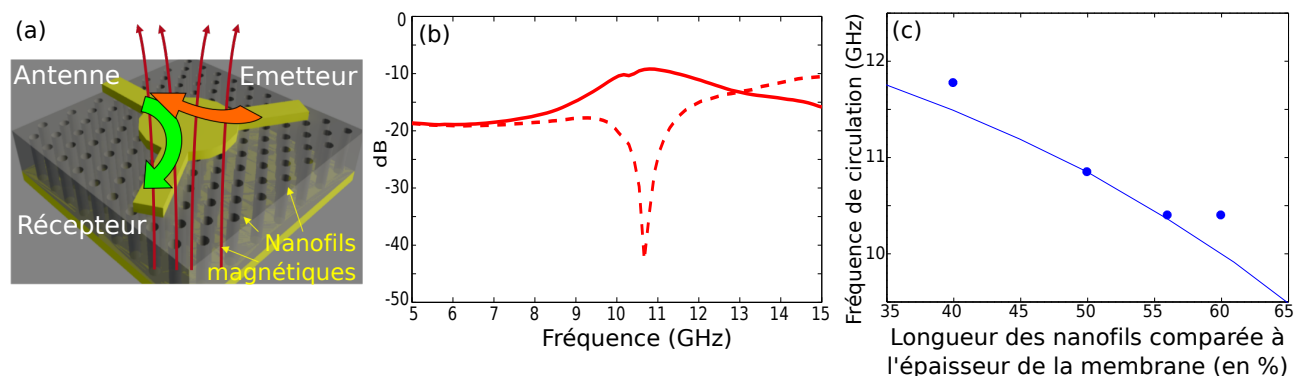


Fig.1 : (a) schéma du circulateur sur substrat à base de nanofils. (b) Spectre fréquentiel mesuré de la transmission en sens direct et inverse, avec une fréquence de circulation à $f_{\text{circ}} = 10.7\text{GHz}$, comportant une isolation de plus de 35dB et des pertes d'insertion de 8dB dues à des pertes diélectriques élevées ($\tan \delta = 0.04$). (c) Dépendance de la fréquence de circulation par rapport à la longueur des nanofils dans le cas expérimental (points) et simulé (ligne).

Le second dispositif non-réciproque est un déphaseur différentiel basé sur un substrat comportant deux domaines de nanofils ferromagnétiques (CoFe et NiFe) juxtaposés et de nature différente [2]. Cette différence permet de contrôler la vitesse du signal, grâce à la variation spatiale de la perméabilité effective dans les différentes zones du substrat. Les avantages d'un tel dispositif à base de réseaux de nanofils ferromagnétiques sont également des fréquences de fonctionnement plus élevées que pour ceux à base de ferrites et un comportement auto-biaisé favorisant une miniaturisation. Un grand nombre de degrés de liberté (longueur du dispositif, type et longueur des nanofils, largeur des zones,...) donne la possibilité d'ajuster parfaitement la valeur du déphasage.

Comme nous pouvons le voir sur la fig.2 (carrés), le déphasage différentiel observé expérimentalement est égal à 300 deg/cm, pour une large gamme de fréquence, allant de 25 GHz à plus de 50 GHz. Ce résultat remarquable est confirmé par une étude numérique. De plus, le calcul de la figure de mérite (F.O.M., rond) réalisé pour un dispositif incluant une membrane d'alumine à faibles pertes diélectriques ($\tan \delta=0.001$) et une adaptation parfaite montre une valeur très élevée (-500 deg/dB à 50 GHz) pouvant concurrencer les dispositifs basés sur des ferrites supraconductrices [6].

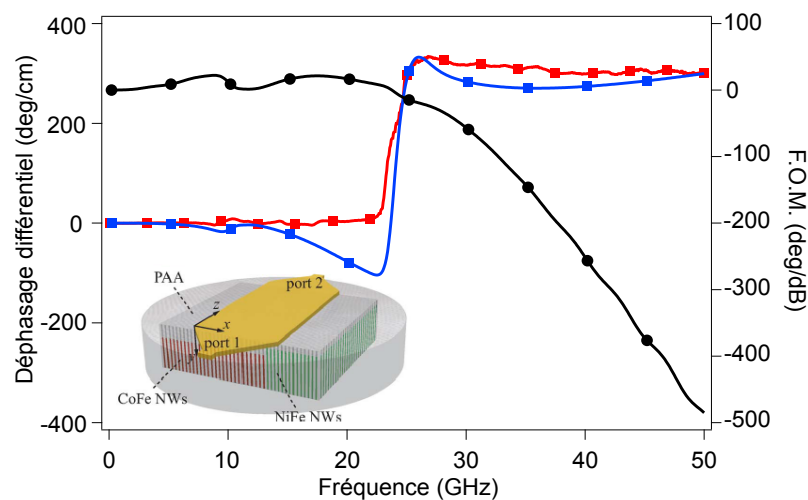


Fig.2 : Déphasage différentiel (carrés) dans le cas expérimental (rouge) et simulé (bleu) et figure de mérite, FOM (points), simulé pour un dispositif utilisant une membrane d'alumine nanoporeuse à faibles pertes diélectriques ($\tan \delta=0.001$) et une adaptation parfaite.

Les résultats prometteurs de ces deux types de dispositifs démontrent le fort potentiel des réseaux de nanofils ferromagnétiques dans la conception d'applications micro-ondes. D'ores et déjà, des solutions aux pertes diélectriques trop élevées dans les membranes d'alumine nanoporeuse sont examinées afin de diminuer ces pertes à une valeur acceptable de $\tan \delta=0.001$.

Références

- [1] M. Darques, J. de la Torre Medina, L. Piraux, L. Cagnon, I. Huynen; Nanotechnology, 21, 145208; 2010.
- [2] G. Hamoir, J. de la Torre Medina, L. Piraux, I. Huynen; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 60, 7; 2012.
- [3] J. Spiegel, J. de la Torre Medina, M. Darques, L. Piraux, I. Huynen; IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 17, 7; 2007.
- [4] H. Bosma; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 12, 61; 1964.
- [5] G. Hamoir, L. Piraux, I. Huynen; Transactions on Magnetics – Conferences; *submitted*.
- [6] G. F. Dionne, D. E. Oates, D. H. Temme, J. A. Weiss; IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 44, 7; 1996.