

Inductances planaires intégrées à couches magnétiques : Conception – Fabrication – Caractérisation - Modélisation

M.H. Bechir, D.D. Yaya, D. Allassem, M.K. Youssouf, S. Capraro, J.P. Chatelon, A. Siblini and J.J. Rousseau

Université de Lyon, F-42023, Saint Etienne, France; Université de Saint Etienne, Jean Monnet, F-42023, Saint Etienne, France; LT2C, F-42023, Saint Etienne

RESUME – Cet article constitue une synthèse des travaux conduits depuis plusieurs années au laboratoire sur l'intégration de composants passifs à couches magnétiques fonctionnant jusqu'à plusieurs centaines de MHz. Dans cet article nous présenterons l'ensemble des étapes permettant la conception, la fabrication, la caractérisation et la modélisation d'inductances planaires fabriqués de façon collective. Les derniers résultats obtenus sur la réalisation d'inductances à 2 couches de matériau magnétique et sur la modélisation de ces dispositifs seront également présentés.

MOTS-CLES – Inductances planaires intégrées, matériau magnétique, ferrite, fabrication, caractérisation, modélisation.

1. Introduction

La miniaturisation, l'intégration et la fabrication collective des composants passifs constituent un enjeu actuel majeur, en particulier pour les dispositifs embarqués afin d'en réduire volumes et coûts. Parmi les composants dits passifs, les composants magnétiques (inductances et transformateurs) font l'objet de plus en plus d'attention [1] [2] [3] [4] [5]. En effet, ces composants dans leur technologie classique de fabrication occupent une surface importante et ne se prêtent pas à une intégration. Par ailleurs, les progrès dans les télécommunications exigent de nouveaux composants pouvant fonctionner à des fréquences de plus en plus élevées. Ainsi réduire l'espace occupé par l'inductance sur une puce, améliorer ses performances, limiter son rayonnement électromagnétique et utiliser des technologies de fabrication compatibles avec celles de la micro-électronique constituent des enjeux importants qui mobilisent de nombreux chercheurs.

Actuellement, de nombreux travaux portent sur la réalisation d'inductances et de transformateurs intégrés pour des applications diverses comme le traitement du signal ou l'électronique de puissance. Le développement de tels composants nécessite de plus en plus l'utilisation de matériau magnétique en couches relativement épaisses et le développement de nouvelles techniques pour l'élaboration des couches magnétiques. Pour des applications basses fréquences, on rencontre généralement des matériaux magnétiques conducteurs qui présentent une perméabilité élevée [6] [7]. Pour les plus hautes fréquences (jusqu'à 500MHz environ), on limite l'épaisseur des couches à quelques μm (à cause des pertes par courant de Foucault) ou on utilise des matériaux plus isolants comme les ferrites [8] [8] [10] ou parfois des matériaux composites [11].

Dans cet article nous présentons les principales étapes de conception, réalisation, caractérisation des inductances planaires à couches magnétiques.

2. Conception - Design

Le laboratoire a choisi HFSS pour l'étude et la conception des composants passifs RF et hyperfréquence. Le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulation) Ansoft Corporation est un logiciel commercial qui calcule les champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel en résolvant localement les équations de Maxwell. Il permet de dessiner une structure en 2D ou 3D puis de calculer de nombreuses grandeurs (les constantes de propagation, les paramètres S ...) qui relient les ondes entrantes et sortantes, les paramètres admittances Y_{ij} et impédances Z_{ij} . Les

résultats sont visibles sous forme de graphes ou de représentations dans l'espace. La Figure 1 présente un exemple de composant simulé sous HFSS.

L'exploitation de ces données matricielles permet de tracer l'évolution de la valeur de l'inductance (L), du facteur de qualité (Q) et de la résistance (R) en fonction de la fréquence.

Avec HFSS, Il est possible de paramétrer le système et de faire varier les paramètres lors de la simulation. Un des intérêts de HFSS est sa capacité à donner directement les paramètres S en fonction de la fréquence grâce aux divers modules appelés « executive command » dont les principales commandes sont : Module design, Module excitation, Module d'analyse, Module résultat et Module représentation du champ électromagnétique.

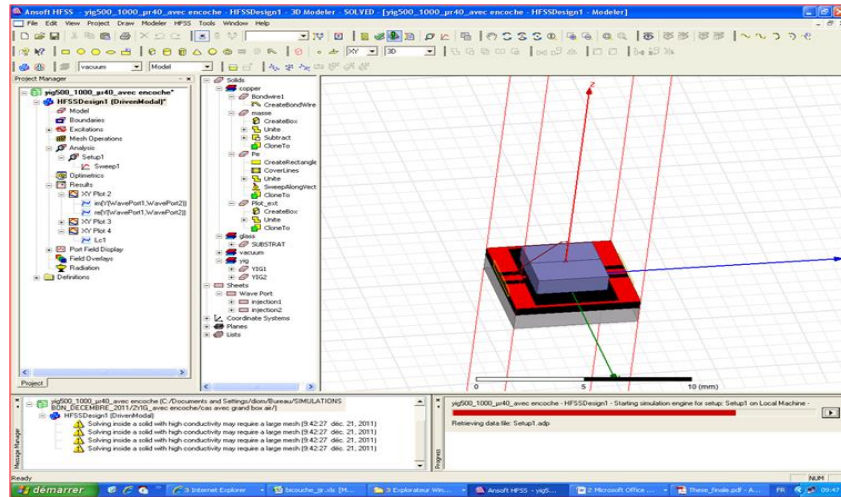
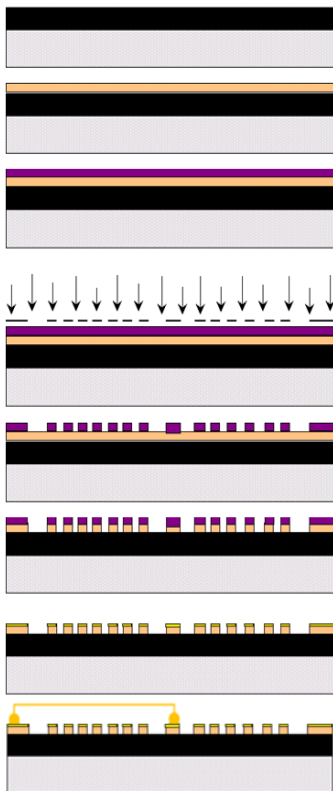


Figure 1 : Exemple de composant simulé sous HFSS v13.1

3. Fabrication

3.1 Inductance 1 couche

La figure 2 présente les différentes étapes nécessaires pour la réalisation d'une inductance à une couche de matériau magnétique.



Collage du matériau magnétique sur le verre suivi du rodage puis polissage.

Dépôt du cuivre par pulvérisation cathodique RF.

Dépôt de la résine positive SPR 505A et Recuit1

Insolation par UV au travers le masque et Recuit2.

Développement de la résine insolée et Recuit3.

Gravure au perchloreure de fer.

Pose du bonding en Or.

Dépôt du film d'Or par électrodéposition.

Figure 2 : Différentes étapes pour la réalisation d'inductance à une couche de YIG.

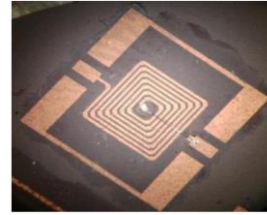
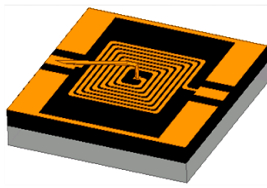


Figure 3 : Inductance à une couche de matériau magnétique.

3.2 Inductance 2 couches

La couche supérieure est obtenue par report ...

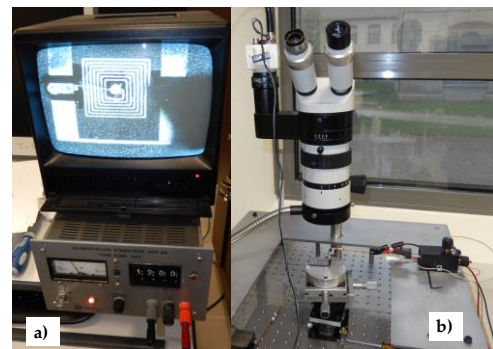
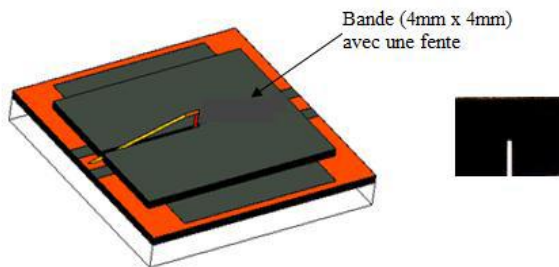


Figure 4 : Report de la couche supérieure et banc de report.

4. Caractérisation et modélisation

Pour de faible fréquence, inférieure à 1MHz, les inductances sont caractérisées sur un banc de mesure composé d'un LRCmètre de type 4284A relié à un testeur sous pointes et d'une loupe binoculaire. Le testeur sous pointes est constitué de quatre micro-positionneurs munis chacun d'une pointe relié au LCRmètre par des câbles coaxiaux.

Au-delà de cette fréquence la caractérisation se fait à l'aide d'un analyseur vectoriel de réseaux. La figure 5 ci-après illustre le banc de mesure disponible au laboratoire LT2C pour mesurer l'amplitude et la phase des signaux en hyperfréquence. Le banc est composé d'un analyseur vectoriel de réseaux de type Agilent ZVA67 fonctionnant sur une gamme de fréquence comprise entre 10 MHz à 67 GHz et d'un testeur sous pointes muni d'une loupe binoculaire.

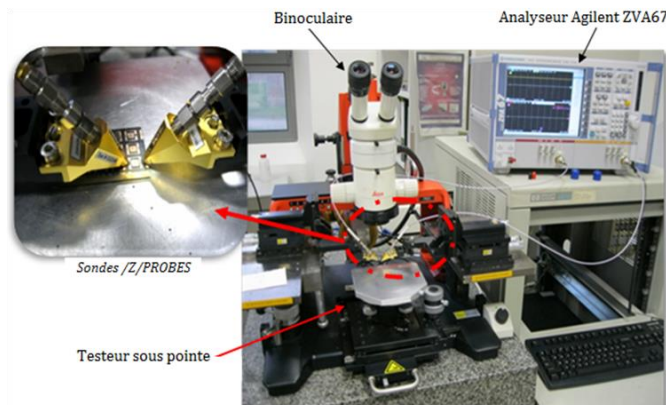


Figure 5 : Banc de caractérisation haute fréquence.

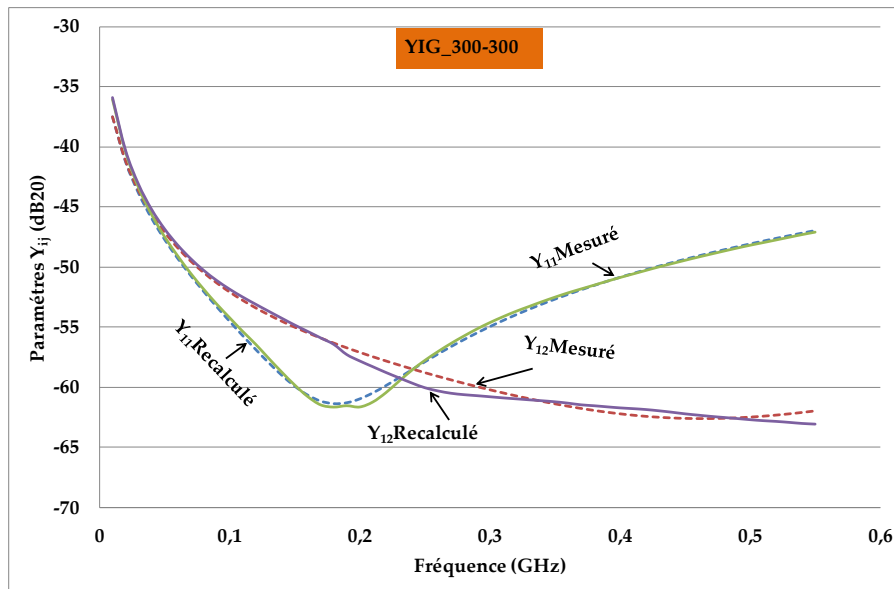


Figure 6 : Comparaison mesure-modèle inductance 2 couches 300µm-300µm.

5. Conclusion

6. Références

- [1] Dong-Ming Fang, Xi-Ning Wang, Yong Zhou, Xiao-Lin Zhao, *Fabrication and performance of a micro machined 3-D solenoid inductor*, Microelectronics Journal 37 (2006) 948–951.
- [2] Ningning Wang, Terence O'Donnell, Saibal Roy, Paul McCloskey, Cian O'Mathuna, *Micro-inductors integrated on silicon for power supply on chip*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 316 (2007) e233- e237.
- [3] Mark.G.Allen, *Micromachined Intermediate and High Frequency Inductors*, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, June 9-12, 1997, Hong Kong.
- [4] Masahiro Yamaguchi, Keiju Yamada, and Ki Hyeon Kim, *Slit Design Consideration on the Ferromagnetic RF Integrated Inductor*, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 42, NO. 10, OCTOBER 2006.
- [5] Satish Prabhakarana, Terence O'Donnellb, Charles R. Sullivana, Magali Brunetb, Saibal Royb, Cian O'Mathunab, *Microfabricated coupled inductors for integrated power converters*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 290-291 (2005) 1343-1346.
- [6] GyoungBum Kim, Seung-Yong Cha, Eun-Kyung Hyun, YoungChai Jung, YoonSuk Choi, Jae-Sung Rieh, Seong-Rae Lee, and SungWoo Hwang, *Integrated planar spiral inductors with CoFe and NiFe ferromagnetic layer*, Microwave and optical technology letters/ vol.50, No.3, March 2008.
- [7] Sang Gi Kim, Hoon Soo Park, Jin Gun Koo, Jong Dae Kim, Tae Moon Rho, Yong Hyun Lee, Bo Woo Kim, Jin Yeong Kang, *Monolithic double rectangular spiral thin-film inductors implemented with NiFe magnetic cores for on-chip dc-dc converter applications*, Thin Solid Films 517 (2009) 4204-4206.
- [8] C. Yang, F. Liu, T. Ren, L. Liu, H. Feng, A.Z. Wang, H. Long, *Fully integrated ferrite-based inductors for RF ICs*, Sensors and Actuators A 130–131 (2006) 365–370.
- [9] P. Guzdek, J. Kulawik, K. Zaraska, A. Bienkowski; *NiZnCu ferrite applied for LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics) microinductor*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 322 (2010) 2897-2901.
- [10] X.L. Tang, H.W. Zhang, H. Su, Y. Shi, X.D. Jiang, *High-frequency micro-inductor fabricated on NiCuZn ferrite substrates*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 293 (2005) 812-815.
- [11] Isao Kowase, Toshiro Sato, Kiyohito Yamasawa, Mamber, IEEE, and Yoshimasa Miura, Fellow, *A planar Inductor using Mn-Zn Ferrite / Polyimide Composite Thick Film for Low-voltage and Large-current DC-DC Converter*, IEEE Transactions on Magnetics, vol.41. No.10, October 2005.