



**HAL**  
open science

# Conception et développement d'un CMS ferroélectrique accordable

C Borderon, S Ginestar, H W Gundel, K Nadaud, R Renoud

► **To cite this version:**

C Borderon, S Ginestar, H W Gundel, K Nadaud, R Renoud. Conception et développement d'un CMS ferroélectrique accordable. 15èmes Journées de Caractérisation Microondes et Matériaux 2018 JCMM 2018, Mar 2018, Paris, France. hal-03954122

**HAL Id: hal-03954122**

**<https://hal.science/hal-03954122>**

Submitted on 24 Jan 2023

**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.

## Conception et développement d'un CMS ferroélectrique accordable

C. Borderon<sup>1</sup>, S. Ginestar<sup>1</sup>, H.W. Gundel<sup>1</sup>, K. Nadaud<sup>2</sup>, R. Renoud<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IETR UMR CNRS 6164, Université de Nantes, 2 rue de la Houssinière, 44322 Nantes, France

<sup>2</sup>GREMAN UMR CNRS 7347, Université de Tours, 16 rue Pierre et Marie Curie, 37071 Tours, France

caroline.borderon@univ-nantes.fr

**Résumé** — Nous avons développé un condensateur CMS (Composant Monté en Surface) accordable pour des applications en hyperfréquences. Réalisé sur la base d'un film mince ferroélectrique de  $\text{BaSrTiO}_3$ , il a été conçu en présentant un découplage entre le signal RF et la tension de polarisation DC, ce qui permet d'ajuster la permittivité du ferroélectrique. La conception et le développement du composant sont présentés. La caractérisation du composant montre une accordabilité de 42,9 % tandis que les pertes sont de l'ordre de  $8 \times 10^{-3}$  à 10 MHz. Le dispositif a été intégré dans une antenne planaire inversée-F afin d'en évaluer les performances. L'agilité de l'antenne est de 31,8 % et sa performance d'agilité de 0,045.

### I. INTRODUCTION

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la conception et au développement d'un composant micro-onde accordable qui peut être intégré en tant qu'élément CMS (Composant Monté en Surface) dans une topologie d'antenne donnée afin d'obtenir une antenne intelligente présentant une grande adaptabilité. Le CMS a une structure MIM (métal/isolant/métal) et utilise comme matériau actif le  $\text{Ba}_{0,80}\text{Sr}_{0,20}\text{TiO}_3$  (BST) dont la température de Curie est  $T_C = 60^\circ \text{C}$  [1]. L'application d'une tension de polarisation DC sur le composant permet de faire varier la permittivité du BST ce qui rend le composant agile. Intégré dans une antenne, le CMS peut être utilisé pour couvrir plusieurs bandes de fréquence ou générer des diagrammes de rayonnement différents.

La structure du CMS choisie est constituée de deux condensateurs MIM à trois couches (figure 1). L'électrode inférieure commune (figure 1 en rose) permet d'appliquer la tension de polarisation continue, nécessaire pour changer l'état de polarisation du film mince ferroélectrique (figure 1 en bleu transparent) et donc d'accorder sa permittivité. Les deux électrodes supérieures RF coplanaires (figure 1 en orange) sont conçues pour être directement insérées dans la topologie de l'antenne choisie et sont vues en série à partir du signal RF. L'avantage particulier de la conception du CMS est le découplage électrique inhérent entre le signal DC et le signal RF sans nécessiter de capacité de blocage supplémentaire, contrairement à ce qui a déjà été rapporté dans la littérature [2]. La réalisation du CMS permet une intégration facile de la capacité accordable dans n'importe quelle topologie d'antenne, contrairement à l'intégration monolithique limitée par la température de recuit élevée du matériau ferroélectrique ( $750^\circ \text{C}$ ), le plus souvent non compatible avec le procédé de fabrication des antennes.

Dans ce qui suit, nous présentons la réalisation du prototype du CMS, la caractérisation diélectrique du condensateur MIM (mesurée entre l'électrode DC et les

électrodes RF), et l'exemple d'une antenne Planaire Inversée-F (PIFA) chargée avec le CMS de capacité variable.

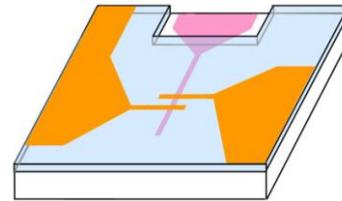


Fig. 1. Illustration du CMS accordable.

### II. ELABORATION DU CMS

La structure du CMS a été réalisée sur un substrat d'alumine par dépôt successif de l'électrode arrière, de la couche de BST et de l'électrode supérieure.

L'électrode arrière est constituée d'une couche d'adhérence en titane de 40 nm et d'un film de platine d'une épaisseur de 300 nm. Elle prend la forme d'un plot de contact conique avec une électrode en forme de doigt de  $800 \mu\text{m}$  de longueur et de  $35 \mu\text{m}$  de largeur à son extrémité (figure 1 en rose).

Le film de  $\text{Ba}_{0,80}\text{Sr}_{0,20}\text{TiO}_3$  dopé à 1% de  $\text{Mn}^{2+}$  (BST) a été réalisé par dépôt chimique en solution. Le taux de dopant de 1% s'est révélé optimal pour réduire le courant de fuite, les pertes diélectriques et la diffusion du porteur de charge à basse fréquence dans le film mince [3-5]. La solution de précurseurs est composée d'acétates de baryum et de strontium auxquels du *n*-propoxyde de titane et un stabilisant organique ont été mélangés dans des proportions appropriées. Les détails de la préparation de la solution sont donnés dans [3] et [6]. La solution a été déposée sur un substrat d'alumine à 4000 tpm pendant 20 s et l'échantillon a été recuit pendant 15 min à  $750^\circ \text{C}$  afin d'évaporer la matière organique et de cristalliser le film BST dans la structure pérovskite ferroélectrique. Le dépôt successif de huit couches donne une épaisseur de film globale de typiquement 500 nm avec une structure polycristalline [6, 7]. Le film mince de BST couvre toute la surface du substrat.

Avant le dépôt des électrodes supérieures, un trou traversant à l'électrode inférieure a été créé par gravure chimique de la couche de BST [8].

Les électrodes supérieures sont en cuivre et d'une épaisseur de  $1,2 \mu\text{m}$ . Elles sont également en forme de plot de contact conique avec une électrode en doigt de  $300 \mu\text{m}$  de longueur et  $25 \mu\text{m}$  de largeur (figure 1 en orange). Les deux condensateurs MIM ont chacun une surface nominale de  $875 \mu\text{m}^2$  et forment chacun la capacité  $C_{MIM}$ . La dimension typique du CMS est de  $5 \times 3 \text{ mm}^2$  (figure 2).

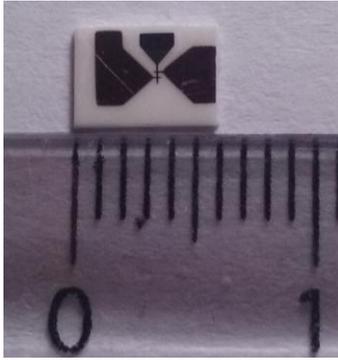


Fig. 2. Photographie du CMS.

### III. CARACTÉRISATIONS DU CMS ET DISCUSSION

La caractérisation basse fréquence ( $< 10$  MHz) du CMS indique pour une tension de polarisation  $U_{DC}$  nulle et à une fréquence de 10 MHz une capacité  $C_{MIM} = 2.1$  pF et des pertes  $\tan \delta = 8 \times 10^{-3}$ . L'application d'une tension de 35 V fait passer la valeur de la capacité de 4.2 pF à 2.4 pF. Les pertes gardent la même valeur. L'agilité du composant est ainsi de 42,9 % à 10 MHz.

Nous n'avons pas à ce jour la possibilité de tester les propriétés diélectriques du CMS au-delà de 10 MHz. Cependant, il est possible d'extrapoler les données en utilisant les travaux de Joncher [9]. La permittivité ferroélectrique, donc la capacité, varie selon une loi puissance. Ainsi, la capacité à 1 GHz est estimée à 4,06 pF pour  $U_{DC} = 0$  V et à 2,35 pF pour  $U_{DC} = 35$  V. On déduit une agilité de 42 %, valeur légèrement inférieure à celle mesurée à 10 MHz. Le même modèle permet d'estimer les pertes diélectriques à moins de  $10^{-2}$  à 1 GHz.

Les propriétés diélectriques du CMS à 10 MHz en fonction de la tension de polarisation sont représentées sur la figure 3. Le cycle  $C(V)$  présente bien la forme d'un « papillon » caractéristique des matériaux ferroélectriques. L'asymétrie du cycle est due à l'emploi de métaux différents pour les électrodes inférieure et supérieure [10]. Notons que les pertes diélectriques restent faibles (de  $9 \times 10^{-3}$  à 0 V et  $4 \times 10^{-3}$  à 35 V).

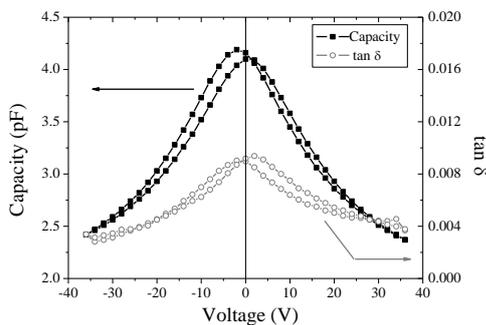


Fig. 3. Capacité et pertes du CMS en fonction de la tension de polarisation.

Pour tester notre composant CMS, celui-ci a été monté sur une antenne planaire inversée-F (antenne PIFA) fonctionnant à 1 GHz.

Le coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne en fonction de la tension continue a été mesuré à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel Agilent E8364B avec une puissance de sortie de -17 dBm. La figure 4 indique que la fréquence de

résonance du prototype d'antenne passe de 900 MHz à 1,24 GHz pour  $U_{DC} = 35$  V. L'agilité de l'antenne obtenue est de 31,8%. La performance d'agilité est quant à elle de 0,045, ce qui est supérieur à ce qui est rapporté jusqu'à présent dans la littérature [2] pour un film mince de BST.

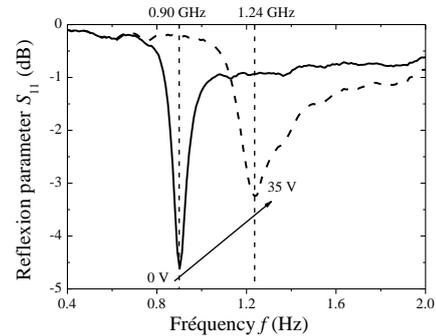


Fig. 4. Paramètre de réflexion  $S_{11}$  en fonction de la fréquence pour deux valeurs de la tension de polarisation.

### IV. CONCLUSION

Un condensateur CMS agile a été développé sur la base d'un film mince de  $\text{BaSrTiO}_3$ . La configuration particulière à trois électrodes a été conçue pour obtenir un découplage inhérent entre la tension de polarisation continue et le signal d'antenne RF. Les caractéristiques diélectriques du CMS sont une agilité de 42 % sous 35 V et des pertes diélectriques inférieures à  $10^{-2}$ . L'application à une antenne PIFA fonctionnant à 1 GHz permet d'obtenir une agilité de 31,8 % et une performance d'agilité de 0,045 sous une polarisation de 35 V. La mise en œuvre de l'élément CMS dans différentes topologies d'antennes est particulièrement facile. Plus généralement, l'intégration de la capacité CMS discrète dans tout circuit adaptatif pour le développement de dispositifs électroniques intelligents peut être envisagée.

### REFERENCES

- [1] B.A. Baumert, L.H. Chang, A.T. Matsuda, T.L. Tsai, C.J. Tracy, R.B. Gregory, P.L. Fejes, N.G. Cave, W. Chen, D.J. Taylor, T. Otsuki, E. Fujii, S. Hayashi, K. Suu, *Journal of Applied Physics* 82 (1997) 2558.
- [2] H.V. Nguyen, R. Benzerga, C. Borderon, C. Delaveaud, A. Sharaiha, R. Renoud, C. Le Paven, S. Pavy, K. Nadaud, H.W. Gundel, *Materials Research Bulletin* 67 (2015) 255.
- [3] K. Nadaud, C. Borderon, R. Renoud, H.W. Gundel, *Journal of Applied Physics* 117 (2015) 084104.
- [4] M.C. Chiu, Y.C. Lee, F.S. Shieu, *J Electrochem Soc* 152 (2005) 194.
- [5] D. Levasseur, E. Bouyssou, R.D. Paolis, A. Rousseau, F. Coccetti, G. Guegan, S. Payan, M. Maglione, *Journal of Physics: Condensed Matter* 25 (2013) 495901.
- [6] K. Nadaud, C. Borderon, R. Gillard, E. Fourn, R. Renoud, H.W. Gundel, *Thin Solid Films* 591, Part A (2015) 90.
- [7] C. Borderon, PhD Thesis, (2008) Université de Nantes.
- [8] S. Pavy, C. Borderon, S. Baron, R. Renoud, H.W. Gundel, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 74 (2015) 507.
- [9] A.K. Jonscher, *Journal of Physics D: Applied Physics* 32 (1999) R57.
- [10] N. Sama, C. Soyer, D. Remiens, C. Verrue, R. Bouregba, *Sensors and Actuators A: Physical* 158 (2010) 99.

Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du projet SENSAS (Programme INFRA 2013) pour son soutien.