



HAL
open science

Intégration de couches minces ferroélectriques accordables dans une cellule de réseau réflecteur reconfigurable

Kevin Nadaud, Raphaël Gillard, Erwan Fourn, Caroline Borderon, Hartmut
Gundel

► **To cite this version:**

Kevin Nadaud, Raphaël Gillard, Erwan Fourn, Caroline Borderon, Hartmut Gundel. Intégration de couches minces ferroélectriques accordables dans une cellule de réseau réflecteur reconfigurable. 14èmes Journées de Caractérisation Micro-ondes et Matériaux, Mar 2016, Calais, France. hal-02053193

HAL Id: hal-02053193

<https://hal.science/hal-02053193>

Submitted on 1 Mar 2019

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.

Intégration de couches minces ferroélectriques accordables dans une cellule de réseau réflecteur reconfigurable

Kevin Nadaud¹, Raphaël Gillard², Erwan Fourn², Caroline Borderon³ et Hartmut W. Gundel³

¹XLIM, UMR CNRS 7252, Université de Limoges, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges, France

²IETR UMR CNRS 6164, INSA Rennes 20 avenue des Buttes de Coësmes CS 70839 35708 Rennes Cedex 7

³IETR UMR CNRS 6164, Université de Nantes, 2 rue de la Houssinière, 44322 Nantes Cedex 3

kevin.nadaud@unilim.fr

Résumé— Cette communication présente l'intégration d'une couche mince ferroélectrique de BST dans une cellule de réseau réflecteur. Elle utilise trois fentes couplées dans un plan de masse, l'une étant chargée par une capacité ferroélectrique pour obtenir l'agilité en phase. L'utilisation de plusieurs fentes permet d'obtenir des états de phase relativement linéaires. Les pertes dans la bande passante de la cellule sont de 6 dB au maximum et la gamme de phase accessible est de 270° en simulation.

Mots clés—Ferroélectriques, réseau réflecteur, accordable et matériau.

I- INTRODUCTION

Actuellement, les réseaux réflecteurs sont particulièrement étudiés car ils combinent la faible épaisseur des antennes imprimées avec la simplicité d'alimentation des antennes à réflecteur. Ils bénéficient également, pour les versions actives, de leurs nombreuses options de reconfiguration. Pour les rendre actifs, les diodes PIN, varicap et les MEMS sont généralement proposés. Les matériaux fonctionnels commencent à faire leur apparition, notamment les ferroélectriques comme le BST (Titanate de Baryum et de Strontium) [1].

Pour réduire les pertes et obtenir des bandes passantes plus importantes, des cellules avec plusieurs résonateurs couplés sont souvent utilisées en mettant en œuvre des structures multicouches [2] ou de préférence simple couche [3].

Dans [4], le principe d'une cellule simple fente active à base de ferroélectrique a été montré. Cependant, les pertes de cette cellule sont importantes car la résonance est trop marquée. Une version améliorée avec trois fentes a été proposée dans [3] et validée sur un démonstrateur passif. Dans ce papier, nous proposons d'évaluer les performances atteignables en actif avec une capacité ferroélectrique.

II- LES MATÉRIAUX FERROÉLECTRIQUES

Les matériaux ferroélectriques sont des matériaux non linéaires, anisotropes qui ont la propriété d'avoir une permittivité diélectrique dépendante du champ appliqué. Les ferroélectriques permettent ainsi de fabriquer des capacités variables. Ces dernières peuvent être intégrées dans des dispositifs hyperfréquences afin de les rendre reconfigurables.

Le matériau choisi est le BST car son accordabilité est relativement élevée et ses pertes diélectriques modérées. Le matériau utilisé ici est déposé par sol-gel sur un substrat d'alumine (25,4×25,4 mm², épaisseur 508 μm et $\epsilon_r = 9,8$). Plus de détails sur le protocole de dépôt sont donnés dans [5]. La composition Ba_{0,80}Sr_{0,20}TiO₃ a été choisie pour avoir la température de Curie au dessus de la température ambiante, afin d'avoir un maximum d'accordabilité [6]. Un dopage au manganèse a été effectué afin de réduire la diffusion de porteurs de charge dans le matériau et la contribution du saut de parois de

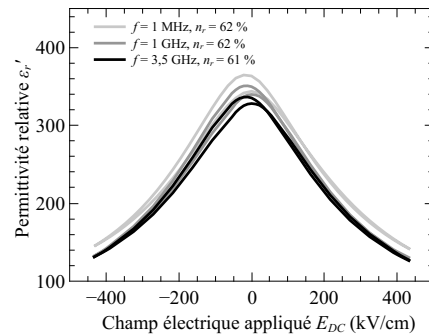


Figure 1. Permittivité du BST en fonction du champ appliqué, pour différentes fréquences.

domaines [7]. La caractérisation en haute fréquence a été effectuée avec la méthode décrite dans [6]. La Fig. 1 présente la permittivité en fonction du champ appliqué. On peut noter que grâce à un champ coercitif faible, l'effet d'hystérésis est quasiment inexistant ce qui permet d'avoir une permittivité bien définie pour une tension de polarisation donnée. Pour la simulation de la cellule de réseau réflecteur, les propriétés suivantes sont adoptées pour la couche mince : $\epsilon_r = 350$, $\tan \delta = 0.02$ et accordabilité de 60 % sous 400 kV/cm.

III- CONCEPTION DE LA CELLULE

La cellule proposée est constituée de trois fentes dans un plan de masse comme indiqué sur la Figure 2. Les deux fentes externes ont la même longueur afin de garder le maximum de symétrie. Elles permettent de réduire la dispersion en fréquence et ainsi les pertes en ajoutant une seconde fréquence de résonance [3]. La longueur électrique de la fente centrale contrôle la phase réfléchiée par la cellule. En chargeant cette fente par un condensateur ferroélectrique, il est possible de modifier dynamiquement cette longueur et donc la phase réfléchiée.

Pour limiter les pertes, le BST est gravé sur une grande partie du substrat, à l'aide d'une solution à base de BHF et de HNO₃ [8]. Seul un carré de 1 × 1 mm² est conservé pour accueillir les armatures du condensateur. La métallisation est déposée par pulvérisation et le motif de la cellule est réalisé par photolithographie standard. Le substrat d'alumine est finalement reporté sur un substrat de Rogers (épaisseur 1,6 mm, $\epsilon_r = 2,17$) pour pouvoir mesurer la cellule dans un guide d'onde de section carrée de 35×35 mm². La Figure 2 montre le placement de la cellule dans le guide.

Le circuit de polarisation met en œuvre un filtre passe-bas distribué pour augmenter le découplage entre les signaux RF et DC.

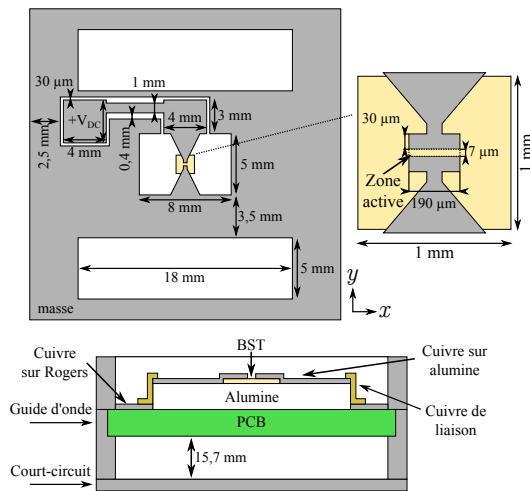


Figure 2. Topologie de la cellule proposée.

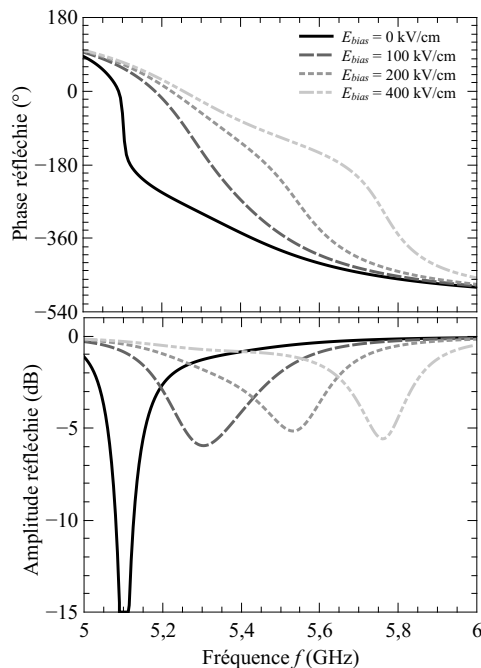


Figure 3. Coefficients de réflexion simulés pour différents champs appliqués.

IV- SIMULATIONS ET MESURES

La simulation de la cellule unitaire a été faite avec le logiciel commercial HFSSTM. Le mode excité est le TE₁₀ (en accord avec les axes de la Figure 2). La permittivité du matériau a été modifiée de 350 à 140, ce qui correspond à un champ appliqué de 0 kV/cm à 400 kV/cm. Les résultats de simulation sont montrés Figure 3. L'utilisation de plusieurs résonateurs est bien visible car la phase évolue lentement avec la fréquence, contrairement à ce qui avait été obtenu avec une cellule à un seul résonateur [4]. Les pertes dans la gamme [5,3 ; 5,6] GHz restent relativement importantes (6 dB) mais sont plus faibles que ce qui a été fait précédemment [1,4] pour des matériaux similaires. Seule cette gamme de fréquence est considérée car c'est la zone où les états de phases sont quasiment parallèles entre eux.

La cellule décrite précédemment a fait l'objet d'une première réalisation. Les déphasages obtenus en simulation et en mesure sont montrés sur la Figure 4. L'agilité en phase est clai-

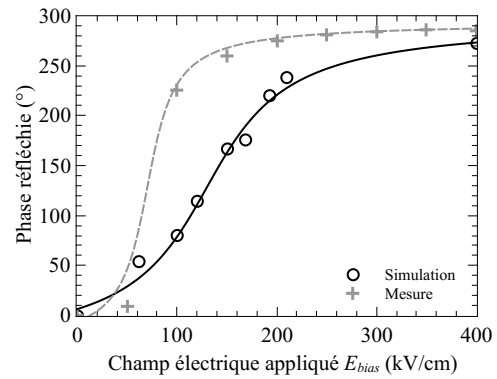


Figure 4. Déphasage simulé et mesuré en fonction du champ appliqué.

rement démontrée, néanmoins, la phase varie plus brutalement en mesure. Cela est dû à un problème de rugosité de la métallisation déposée sur alumine qui se traduit également par des pertes plus importantes qu'en simulation. Le procédé technologique est actuellement en cours d'amélioration pour corriger ce défaut.

V- CONCLUSION

Un matériau ferroélectrique a été intégré avec succès dans une cellule de réseau réflecteur. Ce matériau permet de contrôler la phase réfléchie par la cellule dynamiquement. La gamme de phase accessible est de 270° avec 60% d'accordabilité sur la permittivité du matériau. Une première réalisation a été effectuée et le déphasage maximum obtenu en mesure correspond à ce qui a été obtenu en simulation. L'amélioration du procédé de réalisation est en cours pour obtenir des meilleures performances en pratique.

RÉFÉRENCES

- [1] Y. Shen, *et al.* "Tunable reflectarray unit cell element using BST technology" in "IEEE Radio and Wireless Symp. (RWS)", (2012) pp. 43–46.
- [2] J. Encinar, *et al.* "Design of a 1-metre reflectarray for dbfs application with 15 % bandwidth" in "6th European Conf. on Antennas and Propag. (EUCAP)", (2006) pp. 1–5.
- [3] T. Makdissy, *et al.* "Triple-slot phase-shifting cell loaded with one variable capacitance for reflectarray applications" *Electronics Letters* **48** 21 (2012) pp. 426–427.
- [4] K. Nadaud, *et al.* "A simple Phase-Shifting cell for reflectarray using a slot loaded with a ferroelectric capacitor" in "Loughborough Antennas and Propagation Conference", (2014) pp. 214–217.
- [5] C. Borderon, *et al.* "Influence of the morphology of barium strontium titanate thin films on the ferroelectric and dielectric properties" *Integrated Ferroelectrics* **97** 1 (2008) pp. 12–19.
- [6] K. Nadaud, *et al.* "Temperature stable BaSrTiO₃ thin films suitable for microwave applications" *Thin Solid Films* **591** (2015) pp. 90–96.
- [7] K. Nadaud, *et al.* "Effect of manganese doping of BaSrTiO₃ on diffusion and domain wall pinning" *Journal of Applied Physics* **117** 8 (2015) p. 084104.
- [8] S. Pavy, *et al.* "Study of wet chemical etching of BaSrTiO₃ ferroelectric thin films for intelligent antenna application" *Journal of Sol-Gel Science and Technology* **74** 2 (2015) pp. 507–512.