



**HAL**  
open science

## Caractérisation de matériaux diélectriques anisotropes

Arnaud Gardelein, Ahmed Ahmadouche, Eric Tanguy, Nicolas Breuil,  
Tchanguiz Razban

► **To cite this version:**

Arnaud Gardelein, Ahmed Ahmadouche, Eric Tanguy, Nicolas Breuil, Tchanguiz Razban. Caractérisation de matériaux diélectriques anisotropes. Journées de Caractérisation Microondes et Matériaux, Mar 2004, Bordeaux, France. pp.1. hal-00935101

**HAL Id: hal-00935101**

**<https://hal.science/hal-00935101>**

Submitted on 25 Feb 2014

**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.

# CARACTÉRISATION DE MATÉRIAUX DIÉLECTRIQUES ANISOTROPES

*Arnaud GARDELEIN, Ahmed AHMADOUCHE<sup>1</sup>, Éric TANGUY<sup>2</sup>, Nicolas BREUIL<sup>3</sup>, Tchanguiz RAZBAN  
IREENA – Polytech’Nantes, Rue C. Pauc, BP 50609, 44306 Nantes – France*

*<sup>1</sup> Université de Mostaganem – Algérie*

*<sup>2</sup> IREENA – Fac. des sciences de Nantes, 2 Rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3*

*<sup>3</sup> Thales Systèmes Aéroportés – 2, avenue Gay Lussac, 78851 Elancourt CEDEX – France*

*Contact e-mail : arnaud.gardelein@polytech.univ-nantes.fr*

## 1. INTRODUCTION

De nos jours, le fonctionnement de la grande majorité des convertisseurs hertzien/optique repose sur les propriétés électrooptiques d’un matériau anisotrope cristallin, le niobate de lithium [1]. Lorsqu’une onde optique pénètre dans le matériau, sa vitesse de propagation varie en fonction de l’intensité du champ électrique appliqué suivant l’effet Pockels (variation d’indice dépendante de l’intensité de champ).

En général, cette variation est transformée en modulation d’intensité dans un interféromètre de type Mach-Zender ou à l’aide de polariseurs qui transforment la rotation de la polarisation en une variation d’intensité. La principale différence entre les deux méthodes est que dans le premier cas la structure de modulation est planaire, et qu’elle est volumique dans l’autre cas.

Bien que déjà très répandu, le niobate de lithium a plusieurs inconvénients non négligeables : son coût de fabrication est très élevé, son coefficient électrooptique est faible et sa constante diélectrique haute fréquence est élevée. Pour pallier ces inconvénients, des matériaux à base de polymères sont actuellement développés. Nous nous intéressons à la caractérisation et à l’utilisation de ce type de matériaux. Dans cet article, nous présentons la méthode de mesure mise en œuvre pour déterminer la partie réelle de la constante diélectrique de ces matériaux en tenant compte de l’anisotropie.

## 2. LA STRUCTURE DE TEST

Le problème posé est la caractérisation d’un matériau disponible en très petite quantité. Dans le même esprit que [2], nous utilisons une méthode basée sur les propriétés d’une cavité électromagnétique décrite analytiquement. Nous mesurons la fréquence de résonance du premier mode de cette structure en présence et en absence de l’échantillon dont nous cherchons la constante diélectrique.

De ce fait, nous avons modélisé et conçu une cavité électromagnétique en laiton de dimensions 15x25x1 millimètres (longueur, largeur et hauteur respectivement), excitée par une ligne à fente réalisée dans le plan de masse d’une ligne microruban réalisée sur un substrat verre de téflon d’épaisseur 1,58 mm et de permittivité relative 2,2. Cette structure est le résultat d’un compromis entre une bonne précision sur les mesures (aux alentours de 5%) et les difficultés de réalisation des échantillons (faible épaisseur du dépôt).

Une étude analytique permet de déterminer la fréquence de résonance de la cavité vide. Elle est donnée par :

$$\omega_{m0p} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_y}} \cdot \frac{\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{L}\right)^2}}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}} \quad (1)$$

Le coefficient de qualité relatif aux pertes métalliques est alors :

$$Q_c = \varepsilon_y \cdot \frac{\varepsilon_0\mu_0^2 a^3 b L^3 m^2 \omega_{m0p}^3}{2m^2\pi^2 (m^2 a L^3 + p^2 L a^3 + 2m^2 b L^3 + 2p^2 b a^3) R_m} \quad (2)$$

Avec  $a$ ,  $b$ ,  $L$  respectivement la largeur, l’épaisseur et la longueur de la cavité, et  $R_m$  la résistivité du métal. Pour le premier mode,  $m = 1$  et  $p = 1$ .

Ces deux équations montrent que seule la constante diélectrique dans le sens de l’épaisseur de la cavité  $\varepsilon_y$  intervient ce qui met en évidence le caractère anisotrope de la mesure.

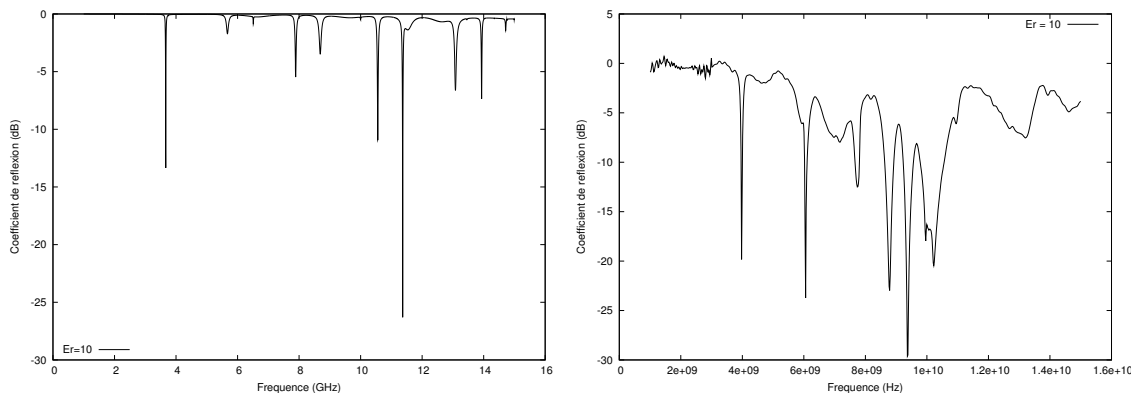
Lors de la mesure, la fréquence de résonance et le coefficient de qualité sont perturbés par la présence de la ligne microruban, du stub ouvert à son extrémité et de la fente de couplage dans le plan de masse. Ces éléments sont modélisés par des admittances rajoutées au modèle de la cavité seule.

Ce modèle nous permet de déterminer l'erreur maximale admissible sur la mesure de fréquence connaissant la précision souhaitée pour déterminer la permittivité relative. Ainsi, la simulation de ce modèle par le logiciel MatLab montre que lorsque la permittivité du matériau remplissant la cavité passe de l'unité à 1,05, la fréquence varie de 2,4 %. Cette valeur est donc la tolérance sur la mesure de la fréquence pour une précision souhaitée de 5 %.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1 En utilisant un matériau témoin

Les résultats de simulation sont présentés Fig. 1(a) pour la structure remplie d'un matériau de permittivité 10. En pratique un échantillon témoin de substrat de permittivité  $10 \pm 0,25$  a été utilisé. La Fig. 1(b) montre le coefficient de réflexion mesuré.



(a) Simulation : le premier mode de la structure s'établit à 3,665 GHz (b) Pratique : la première résonance se situe aux environs de 3,957 GHz

Figure 1 – Le coefficient de réflexion de la structure, le matériau contenu dans la cavité est de permittivité 10. L'incertitude type sur la mesure de la fréquence est de 17,6 MHz environ.

Pour obtenir la même fréquence de résonance qu'en pratique, le modèle donne une permittivité relative de 8,5. Cela représente une erreur relative de 15 % sur la valeur de la permittivité du substrat.

Étant donné que celui-ci ne remplit que partiellement la cavité (estimé à 90 % du volume), la valeur élevée de la permittivité du matériau introduit une différence notable avec la théorie. Toutefois comme le polymère sera coulé, séché puis surfacé dans la cavité, et que la permittivité relative est estimée proche de l'unité, la valeur de l'erreur obtenue ici est donc une borne maximale à l'erreur attendue.

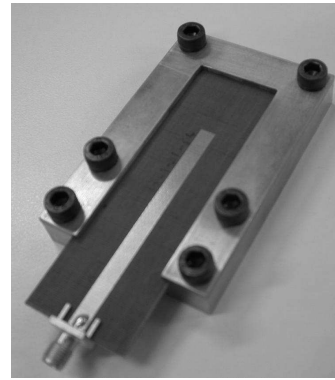
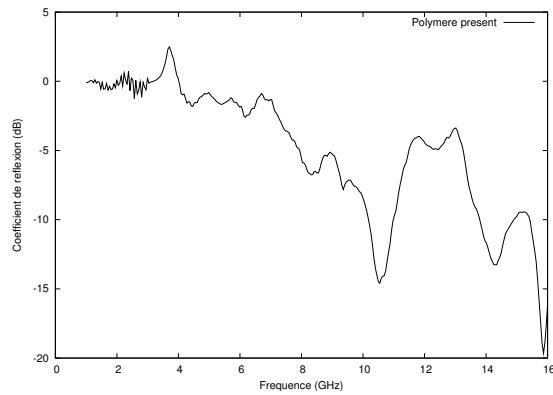
#### 3.2 Avec un matériau polymère

La quantité matériau polymère et la technologie de dépôt dont nous disposons ne nous permettent de remplir que des cavités dont l'épaisseur est de 0,1 mm. La Fig. 2(a) montre les résultats obtenus avec deux cavités remplies. La variation de la fréquence de résonance de la cavité est respectivement 0,345 GHz et 0,47 GHz pour les cavités notées 1 et 2 remplies de polymère soit une variation de 3,1 % et 4,2 % par rapport au cas où le support est vide dont la résonance est à 10,97 GHz. Cette variation est supérieure à l'incertitude de 0,8 % sur les mesures ainsi qu'à la résolution de 0,16 % de l'analyseur scalaire utilisé.

En comparant ces résultats avec ceux obtenus numériquement, la permittivité relative mesurée est trouvée avec une précision aux alentours de 5 %, soit comprise entre 1,05 et 1,1.

Cependant la technique de dépôt du polymère électrooptique dans la cavité n'est pas encore maîtrisée, ce qui a pour conséquence un remplissage non-homogène et incomplet du support. En effet, le solvant de ce polymère possède un seuil de saturation qui ne permet pas de déposer en une seule fois une couche de l'épaisseur de la cavité. Il faut alors procéder au dépôt de plusieurs couches consécutives, ce qui détériore l'homogénéité finale du matériau.

La mesure de permittivité est donc une mesure effective et non réelle, cette dernière ne sera connue qu'après l'estimation du taux de remplissage de la cavité à l'aide d'un relevé profilométrique.



(a) Relevés de la fréquence de résonance. Les pertes du polymère élargissent le pic de résonance. (b) La structure de mesure montée. La carte de verre téflon avec la ligne microruban est insérée dans le support de laiton

Figure 2 – Les mesures avec la cavité remplie de polymère

#### 4. CONCLUSIONS

Nous avons présenté une méthode de mesure de caractérisation de matériaux anisotropes disponibles en très faible quantité utilisant une cavité résonante. Nous l'avons appliquée à un matériau témoin de permittivité 10 et à un polymère non-orienté. Les résultats obtenus montrent que pour minimiser l'erreur relative il est nécessaire de remplir complètement la cavité.

Cette méthode, basée sur l'analyse théorique de la structure, donne aussi le coefficient de qualité, ce qui nous permettra d'accéder à la mesure de la partie imaginaire de la constante diélectrique.

#### RÉFÉRENCES

- [1] Steier (William H.), Chen (Antao), Lee (Sang-Shin) *et al.* – Polymer electro-optic devices for integrated optics. *Chemical Physics*, 1998.
- [2] Janezic (Michael), Kuester (Edward) et Baker-Jarvis (James). – Non destructive permittivity and loss tangent measurements with a split-cylinder resonator. *In : URSI*.