



HAL
open science

Caractérisation de matériaux électrooptiques

Arnaud Gardelein, Tchanguiz Razban, Eric Tanguy

► **To cite this version:**

Arnaud Gardelein, Tchanguiz Razban, Eric Tanguy. Caractérisation de matériaux électrooptiques. Journées Nationales Micro-ondes, May 2003, Lille, France. pp.1. hal-00935106

HAL Id: hal-00935106

<https://hal.science/hal-00935106v1>

Submitted on 21 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 ÉLECTROOPTIQUES

ARNAUD GARDELEIN, TCHANGUIZ RAZBAN, ÉRIC TANGUY [†]

IRCCyN – École polytechnique de l’Université de Nantes, Rue C. Pauc, BP 50609, 44306 Nantes – France

[†] LPIO – Faculté des sciences de Nantes, 2 Rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes Cedex 3 – France

I. 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 par interférométrie en modulation d’intensité de l’onde optique dans un interféromètre de type Mach-Zender. Pour notre part, nous utilisons une autre méthode, la polarimétrie. La modulation d’amplitude de l’onde optique est obtenue à l’aide de polariseurs qui transforment la rotation de la polarisation (sous l’action du champ électrique) 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, et la difficulté qu’il y a pour l’intégrer au sein de composants sur silicium. Pour pallier ces inconvénients, des matériaux à base de polymères sont actuellement développés. Dans cet article, nous nous intéressons à la détermination de la constante diélectrique complexe de ce type de matériau, mais en première étape seule la partie réelle de cette constante sera étudiée.

II. Mesures

Le problème posé est la caractérisation d’un matériau disponible en très petite quantité. Dans le même esprit que [2], nous utilisons les propriétés d’une cavité électromagnétique. Nous mesurons la fréquence de résonance de cette structure en présence et en absence de l’échantillon dont nous cherchons la constante diélectrique. Cette structure est le résultat d’un compromis entre une bonne précision sur les mesures (aux alentours de 5%) et les difficultés de réalisation d’échantillons (faible épaisseur du dépôt).

De ce fait, nous avons conçu une cavité électromagnétique en laiton de dimensions 15x25x1 millimètres (longueur, largeur et hauteur respectivement), couplée par une ligne à fente sur substrat verre téflon d’épaisseur 1,58mm. La ligne a une longueur de 36mm tandis que la fente est longue de 0,5mm et large de 10mm, placée à 5mm du bout de la ligne. La plaquette de verre téflon, de dimensions 29x44 millimètres, est maintenue par un mors sur la face supérieure de la cavité.

La structure en laiton est creusée aux dimensions de la plaquette de téflon au dessus de la partie évidée constituant la cavité de façon telle que la plaque recouvre cette partie et que le bout de la ligne coïncide en largeur et en longueur avec le centre de la cavité. La fente est ainsi décentrée dans le sens de la longueur de la cavité. La plaquette de téflon est maintenue fixe au dessus de la cavité par un mors vissable ne la recouvrant que partiellement.

Lors du dimensionnement de la cavité et de la ligne microruban, nous avons pris la précaution de décaler la fréquence de résonance engendrée par la ligne de telle façon à ce qu’il n’y ait pas de chevauchement avec celle de la cavité.

La méthode que nous utilisons comprend deux étapes. La première consiste à calculer la fréquence de résonance de la cavité en présence de l’échantillon, en considérant que celui-ci remplit entièrement l’intérieur de la cavité. La fréquence de résonance d’un mode m,n est donnée par :

$$f_{m,n} = \frac{1}{2\sqrt{\mu_0\varepsilon_0\varepsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

Où a et b sont la longueur et la largeur de la cavité, μ_0 et ε_0 les caractéristiques électromagnétique du vide, et ε_r la permittivité relative du matériau sous test. Pour le premier mode de résonance les indices m et n valent 1.

Ensuite, nous effectuons des mesures sur la structure de test. Nous comparons alors la fréquence de résonance pratique et celle obtenue analytiquement pour obtenir le paramètre recherché, la permittivité.

Les matériaux se présentent sous une forme sensiblement différente les uns des autres. Les échantillons de niobate de lithium sont de petites plaquettes de un millimètre de hauteur qu’il faut adapter à la cavité, tandis que les échantillons de polymère sont étalés au fond de la cavité. Un autre matériau, un substrat de circuit imprimé a été utilisé comme témoin de validation de la méthode. Celui-ci est fourni sous forme de plaque d’épaisseur 0,6mm. Nous avons superposé deux couches de ce substrat dans la cavité, l’une étant égalisée de façon à ce que l’ensemble ne dépasse pas la hauteur de la

cavité. Dans le cas du niobate de lithium comme dans celui du polymère ou du substrat, nous considérons l'intérieur de la cavité est entièrement constitué du matériau de l'échantillon.

III. Résultats

La figure 1 présente les résultats obtenus.

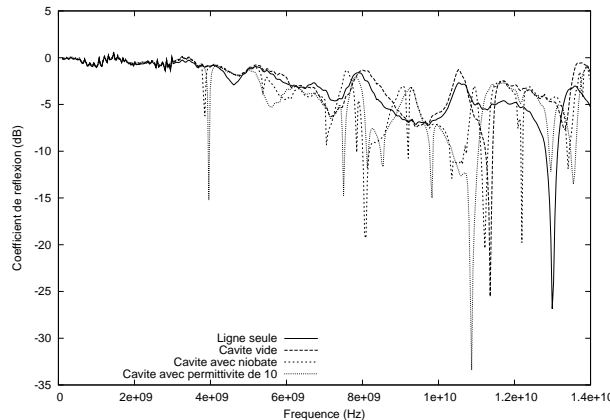


Figure 1 – Résultats pratiques. Les premières fréquences de résonance sont à $12,99225\text{GHz}$ pour la ligne seule, $11,359\text{GHz}$ pour la cavité vide, $3,853\text{GHz}$ pour la cavité en présence de niobate de lithium et $3,95725\text{GHz}$ en présence du substrat. Le tracé de la ligne sans la cavité permet de connaître l'influence de celle-ci sur les mesures.

Nous avons dans un premier temps vérifié que la fréquence de résonance de la fente est supérieure à celle de la cavité, et qu'il n'y a pas d'interférence. C'est le cas, avec une différence entre les deux de $1,7\text{GHz}$ environ.

Nous constatons un écart entre la fréquence de résonance à vide théorique ($11,65\text{GHz}$) et la pratique de 3% environ, dû à l'influence de la fente qui diminue la fréquence de résonance théorique.

Pour le cas de la cavité remplie de substrat diélectrique isotrope, celui-ci ne remplit pas totalement la structure et laisse aux alentours de 10% d'air. Par conséquent nous mesurons un ϵ_r effectif. Comme le milieu n'est pas homogène suivant la direction de la hauteur qui est aussi la direction où le champ électrique est constant, nous appliquons un facteur de forme à la valeur de la permittivité mesurée. Nous obtenons alors une valeur de 9,55, soit un écart de moins de 5% par rapport aux données constructeur ($10 \pm 0,25$).

Enfin, nous avons testé cette méthode pour un matériau anisotrope, le niobate de lithium. Dans ce cas aussi, la cavité n'est remplie qu'aux environs de 90%. La fréquence mesurée puis corrigée correspond à une permittivité relative de 40,3 pour un mode de résonance où $m = 2$ et $n = 2$. Soit une erreur de 7% en comparaison à 43, valeur de l'un des indices de ce matériau.

Les modes inférieurs ne peuvent se propager car pour des fréquences inférieures à 3GHz le couplage est inefficace à cause de la position et de la dimension de la fente vis à vis de la ligne.

IV. Conclusions

Nous avons utilisé une méthode consistant à mesurer les fréquences de résonance d'une cavité électromagnétique pour en déduire la permittivité relative du matériau la remplissant. Nous avons testé cette méthode sur des matériaux isotropes et anisotropes. Les résultats que nous obtenons pour ces matériaux sont corrects compte tenu des contraintes imposées.

Notre dispositif est prêt pour mesurer la constante diélectrique de matériaux à base de polymère. La précision que nous rencontrerons dans ce cas sera plus importante que celle obtenue jusqu'ici car la cavité sera alors remplie entièrement de polymère.

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. *URSI*, 2002.