



**HAL**  
open science

## Amélioration de la bande passante des composants opto-hyperfréquences basés sur des polymères électro-optiques chargés de nanoparticules de TiO<sub>2</sub>

Den-God-Frez Palessonga, Mohammed El Gibari, Stéphane Ginestar, Hélène Terisse, Benoit Guiffard, Abdelhadi Kassiba, Hong Wu Li

### ► To cite this version:

Den-God-Frez Palessonga, Mohammed El Gibari, Stéphane Ginestar, Hélène Terisse, Benoit Guiffard, et al.. Amélioration de la bande passante des composants opto-hyperfréquences basés sur des polymères électro-optiques chargés de nanoparticules de TiO<sub>2</sub>. 2017. hal-01558091

**HAL Id: hal-01558091**

**<https://hal.science/hal-01558091>**

Submitted on 7 Jul 2017

**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.

## Amélioration de la bande passante des composants opto-hyperfréquences basés sur des polymères électro-optiques chargés de nanoparticules de TiO<sub>2</sub>

D. Palessonga<sup>1</sup>, M. El Gibari<sup>1</sup>, S. Ginestar<sup>1</sup>, H. Terrisse<sup>2</sup>, B. Guiffard<sup>1</sup>, A. Kassiba<sup>3</sup>, Hongwu Li<sup>1</sup>

Mél: [den-god-frez.palessonga@etu.univ-nantes.fr](mailto:den-god-frez.palessonga@etu.univ-nantes.fr)

<sup>1</sup>Université Bretagne Loire, Université de Nantes, IETR, UMR CNRS 6164, Nantes

<sup>2</sup>Université Bretagne Loire, Université de Nantes, IMN, UMR CNRS 6502, Nantes

<sup>3</sup>Université Bretagne Loire, Université du Maine, IMMM, UMR CNRS 6283, Le Mans

Les polymères électro-optiques (EO) offrent la possibilité de réaliser des composants opto-hyperfréquences (opto-HF) bas coût avec une large bande passante et une faible tension de commande. Ce papier présente une approche innovante visant à améliorer la bande passante des composants opto-HF basés sur des polymères EO (par exemple le PMMA/DR1) dopés avec des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>).

### 1. Introduction

Aujourd'hui, plus de 90% des modulateurs Mach-Zehnder sont basés sur le niobate de lithium (LiNbO<sub>3</sub>), le principal matériau utilisé jusqu'alors pour les composants à fonctionnalité EO. Cependant, en raison de ses propriétés intrinsèques, la bande passante est limitée à 40 GHz [1]. Même si les polymères EO sont très prometteurs et permettent, en principe, de réaliser des composants opto-HF de large bande passante dont certains dépassent les 110 GHz [2], il est nécessaire, pour s'affranchir de multiples contraintes pour optimiser leurs propriétés et compatibilités, d'élaborer des techniques permettant d'ajuster de façon contrôlée la constante diélectrique et l'indice de réfraction pour augmenter la bande passante et faciliter la conception des composants opto-hyperfréquences, tels que les modulateurs et les convertisseurs analogiques-numériques tout-optiques [3-4].

### 2. Résultats et analyse

La constante diélectrique ( $\epsilon_r$ ) et la tangente de pertes diélectriques ( $\tan \delta$ ) sont déterminées par la méthode des capacités MIM (Métal Isolant Métal) en mesurant le coefficient de réflexion dans la gamme 100 MHz – 10 GHz [5]. Compte tenu de l'utilisation du solvant acétone dans la photolithographie, il a été nécessaire d'insérer une couche tampon (NOA81) afin d'éviter la dissolution du polymère EO à caractériser par l'acétone.  $\epsilon_r$  et  $\tan \delta$  des polymères à base de PMMA ont été extraites des mesures effectuées sur les bicouches (matériau à caractériser/NOA81). Les résultats de la figure 1 montrent que la constante diélectrique du PMMA-DR1 chargé avec des nanoparticules de TiO<sub>2</sub> augmente avec la teneur de celles-ci de manière quasi uniforme sur toute la gamme de fréquence de mesure, à cause de la constante diélectrique élevée du TiO<sub>2</sub> (~30) [6]. Toutefois, la tangente de pertes diélectriques augmente également avec la teneur en TiO<sub>2</sub>, sa variation dépend fortement de la fréquence avec une augmentation plus prononcée au-dessus de ~ 6 GHz.

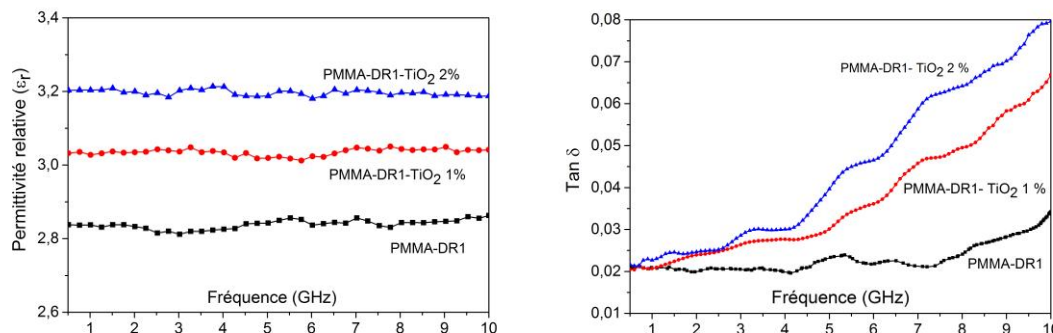


Figure 1. Propriétés diélectriques du PMMA-DR1 chargé en fonction de la concentration en TiO<sub>2</sub>.

Les mesures m-lignes de l'indice de réfraction aux longueurs d'ondes de télécommunications montrent une augmentation de ce paramètre lorsque l'on incorpore des nanoparticules dans les polymères à base de PMMA. Par exemple, l'indice de réfraction est de 1,501, 1,504, 1,509 et 1,514 à la longueur d'onde de 1539,6 nm pour respectivement PMMA-DR1, PMMA-DR1 dopé de 1%, 2% et 3% de nanoparticules de TiO<sub>2</sub>. Ce résultat est cohérent puisque l'indice de réfraction du TiO<sub>2</sub> massif est de 2,2 [7], supérieur à celui du PMMA-DR1.

### 3. Amélioration de la bande passante des composants opto-hyperfréquences

La bande passante est un élément clé pour qualifier les composants opto-hyperfréquence tels que les modulateurs EO ou les convertisseurs analogiques numériques. Sa limite ultime est fonction du désaccord de vitesses de phase entre l'onde optique ( $n_{eff}$ ) et hyperfréquence ( $\sqrt{\epsilon_{eff}}$ ). L'augmentation de la bande passante consiste en la réduction de la différence entre la racine carrée de la constante diélectrique effective et l'indice de réfraction effectif. La figure 2 montre que l'utilisation du polymère EO chargé avec des nanoparticules de TiO<sub>2</sub> permet de réduire la différence  $|n_{eff} - \sqrt{\epsilon_{eff}}|$ . Le dopage optimal est d'environ 1% de nanoparticules de TiO<sub>2</sub> dans le polymère hôte. Ce dopage conduit à une excellente adaptation de vitesses de phase (Figure 2) en raison d'une très faible différence  $|n_{eff} - \sqrt{\epsilon_{eff}}| = 3,7 \times 10^{-2}$ . La bande passante des composants opto-hyperfréquences à base de PMMA-DR1 pourrait être augmentée. Par exemple, avec  $L = 2$  cm (longueur typique des modulateurs EO), la bande passante de modulation atteindrait 258 GHz si elle n'était pas limitée par des pertes diélectriques et le type des électrodes de commande utilisées.

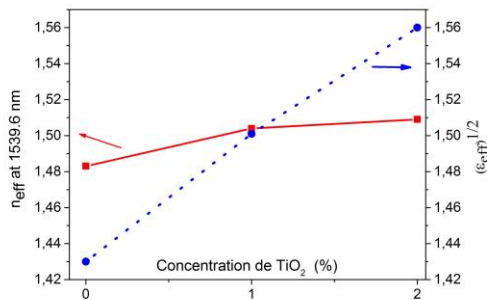


Figure 2. Amélioration de l'adaptation de vitesses de phase en dopant des polymères EO avec des nanoparticules de TiO<sub>2</sub>.

### 4. Conclusion

Il est démontré que la constante diélectrique et l'indice de réfraction de polymères EO peuvent être ajustés de manière contrôlée en incorporant des nanoparticules. La limite de la bande passante des modulateurs pourrait être portée à 258 GHz en chargeant le polymère EO PMMA-DR1 avec 1% de nanoparticules de TiO<sub>2</sub>.

### Références:

- [1] W. K. Burns, M. M. Howerton, R. P. Moeller, R. Krahenbuhl, R. W. McElhanon and A. S. Greenblatt, « Low drive voltage, broad-band LiNbO<sub>3</sub> modulators with and without etched ridges », *J. Light. Technol.*, vol. 17, n° 12, pp. 2551-2555, Dec. 1999.
- [2] D. Chen, H. R. Fetterman, A. Chen, W. H. Steier, Larry R. Dalton, W. Wang and Y. Shi, « Demonstration of 110 GHz electro-optic polymer modulators », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 70, n° 25, pp. 3335-3337, June 1997.
- [3] M. Hadjloum, M. El Gibari, Hongwu Li and A. S. Daryoush, « Design challenges of EO polymer based leaky waveguide deflector for 40Gs/s all-optical analog-to-digital converters », *Opt. Comm.*, vol. 373, pp. 82-90, Aug. 2016.
- [4] B. M. A. Rahman, V. Haxha, S. Haxha and K. T. V. Grattan, « Design optimization of polymer electrooptic modulators », *J. Light. Technol.*, vol. 24, n° 9, pp. 3506-3513, Sept. 2006.
- [5] Z. Ma, A. J. Becker, P. Polakos, H. Huggins, J. Pastalan, H. Wu, K. Watts, Y. H. Wong and P. Mankiewich, « RF measurement technique for characterizing thin dielectric films », *Electron Devices IEEE Trans. On*, vol. 45, n° 8, pp. 1811-1816, 1998.
- [6] R. R. Prakash, S. Pandiarajan, P. Venkatesh and N. Kamaraj, « Performance analysis of PMMA-TiO<sub>2</sub> nanocomposite dielectrics », in *Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 46-49.
- [7] M. Yoshida, M. Lal, N. D. Kumar and P. N. Prasad, « TiO<sub>2</sub> nano-particle-dispersed polyimide composite optical waveguide materials through reverse micelles », *J. Mater. Sci.*, vol. 32, n° 15, pp. 4047-4051, Aug. 1997.
- [8] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, 4. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.