HAL
open science

Stratégies de réalisation de guides polymères pour la modulation électro-optique à haut débit

Hind Mahé, Dominique Bosc, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy

To cite this version:

Hind Mahé, Dominique Bosc, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy. Stratégies de réalisation de guides polymères pour la modulation électro-optique à haut débit. 32è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2013), Jul 2013, Villetaneuse, France. hal-00860946

HAL Id: hal-00860946

https://hal.science/hal-00860946v1

Submitted on 11 Sep 2013

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.

STRATEGIES DE REALISATION DE GUIDES POLYMERES POUR LA MODULATION ELECTRO-OPTIQUE A HAUT DEBIT.

Hind Mahé, Dominique Bosc, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy

Université européenne de Bretagne (UeB) CNRS-Foton UMR 6082, ENSSAT, CS 80518, 22305 Lannion cedex, France

dbosc@enssat.fr

RESUME

De nouveaux polymères électro-optiques, sont mis en œuvre pour réaliser des guides selon deux types d'ingénierie de matériaux. L'une consiste à utiliser un polymère non-linéaire greffé et réticulable et l'autre utilise un matériau hôte, ayant une température de transition vitreuse élevée. Nous présentons ici, les difficultés rencontrées lors de la réalisation des guides et les stratégies développées pour aboutir, avec ces nouveaux matériaux, à des guides optiques monomodes.

MOTS-CLEFS : *polymère électro-optique ; guide canal ; photolithographie ; atténuation*

1. INTRODUCTION

Les progrès de ces dernières années en synthèse de matériaux organiques pour l'électro-optique (EO) permettent aujourd'hui d'envisager des modulateurs stables, à des fréquences supérieures à 100 GHz avec une faible tension de commande. Par exemple, un $V\pi.L = 0{,}52$ V.cm à 20 GHz [1] ou une modulation de 100 Gbit/s avec un $V\pi$ inférieure à 3,5 V [2]. Pour stabiliser le coefficient électro-optique en évitant la relaxation de l'orientation des chromophores non linéaires, deux méthodes, sur film, ont déjà été explorées avec succès. L'une consiste à réticuler convenablement le chromophore orienté par des liaisons covalentes [3], l'autre à introduire le chromophore dans une matrice polymère à haute température de transition vitreuse (Tg). L'aboutissement des modulateurs polymères passe maintenant par l'optimisation de la technologie de réalisation des guides, de façon, notamment, à minimiser les pertes optiques (notées ici α). C'est l'objet du travail présenté ici qui porte sur la réalisation de guides avec de nouveaux polymères E.O. [4][5] tout à fait prometteurs entre termes de performances et de stabilité.

2. MATERIAUX ET TECHNOLOGIE

Les caractéristiques générales demandées à un modulateur EO de type Mach-Zehnder (MZ) dans les réseaux à très haut débit, sont de présenter un facteur de mérite $V\pi.L$ le plus faible possible ($\sim \leq 1$ V.cm) ceci à haute fréquence (~100 GHz) et stable dans le temps. Pour atteindre cet objectif, comme ces polymères ont un indice de réfraction proche de 1,60, un coefficient r_{33} ($V\pi \sim n^3.r_{33}$) de plus de 70 pm/V à 1550 nm est nécessaire pour rivaliser avec le LiNbO3 ($n \sim 2{,}2$ $r_{33} = 34$ pm/V). Ceci est maintenant accessible avec des nouveaux chromophores [4][5] synthétisés dans le cadre du projet ANR Modpol. Outre le cahier des charges optiques et non linéaire, les matériaux doivent aussi répondre à des exigences électriques, diélectriques (pertes diélectriques faibles à haute fréquence), et technologiques : solubilité, filmabilité, homogénéité, compatibilité des matériaux de cœur et de gaine. Pour assurer la stabilité dans le temps, l'alternative consiste, soit à

utiliser des polymères non linéaires réticulables, soit à utiliser des chromophores incorporés dans des polymères hôtes, à Tg élevée. La première solution [3] donne un coefficient EO avec une stabilité assurée aux températures d'utilisation, comme le montre la Figure 1. Dans la seconde solution, la stabilité est assurée par la Tg suffisamment élevée (~150°C) du polymère hôte évitant ainsi la relaxation des chromophores. Cependant la concentration maximale en chromophore est plus faible que dans le premier cas, mais la synthèse du matériau est généralement moins complexe. Les méthodes de réalisation de guides avec ces deux types de matériaux ont été étudiées dans le cadre d'une thèse [6] au laboratoire Foton. Elles sont mises en œuvre sur la plate-forme CCLO d'optique intégrée par dépôt à la tournette des différentes couches de polymères de cœur et de gaine, photolithographie UV à 365 nm et gravure RIE.

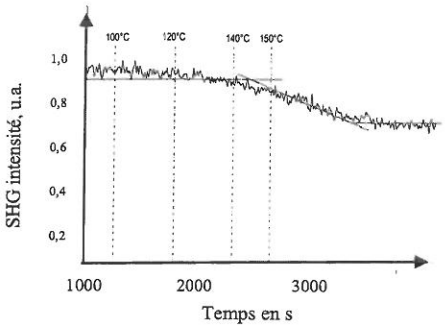


Figure 1 : Stabilité de la génération du second harmonique de polymère réticulable.

3. SYSTEME RETICULABLE

Nous avons étudié la faisabilité de guides monomodes avec un matériau spécialement synthétisé (PAS1, n = 1,59 à 1550 nm) dont le chromophore greffé possède des fonctions de réticulation covalentes qui ne réagissent que sur le polymère après orientation. Pour ce faire, le copolymère préparé par le laboratoire Ceisam (CNRS UMR 6230) possède une fonction silyle alcyne [4], Figure 2.

Avec ce matériau, nous avons étudié deux types de guides : des guides en ruban inversé évitant la gravure du cœur et des guides « ridge » nécessitant la gravure sèche du cœur en PAS1.

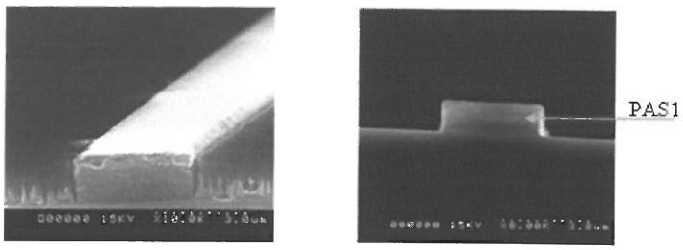
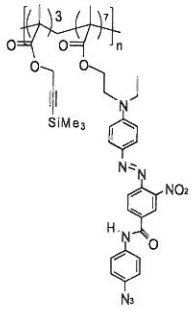


Figure 3 : a) Ridge en PAS1 après gravure RIE sous O2. b) Ridge sans re-dépôt de silice.



Copolymère EO réticulable (CEISAM,

Figure 2 : Formule du copolymère PAS1

Dans ce dernier cas le silicium de la fonction silyle alcyne provoque lors de la gravure RIE, des re-dépôts de silice comme le montre la Figure 3a et limite l'épaisseur gravée à moins de 1µm. Nous avons résolu ce problème par une combinaison de gaz de gravure RIE-ICP qui évite la formation de silice (Figure 3b).

Une alternative pour contourner ce problème est de faire un guide en ruban inversé, où seule la gaine optique est gravée. Pour illustration ici, nous montrons les résultats pour le guide de la Figure 4, les profils mesurés du mode de propagation indiquent des aires effectives (A_{eff}) de 15 µm². Les pertes linéiques estimées à partir de mesures de propagation sont de 3 dB/cm à 1550 nm. Ceci est conforme aux meilleurs résultats relevés dans la littérature pour des polymères EO. Par comparaison, la même structure opto-géométrique réalisée avec

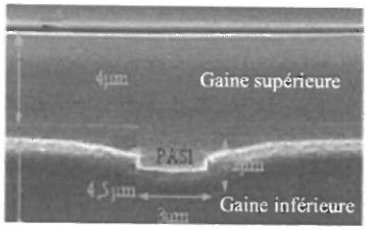


Figure 4 : Guide ruban inversé PAS1. Indices des gaines : 1,51 et 1,46 (à 1550 nm) respectivement inférieure et supérieure.

un polymère passif (le PVCi) présente des pertes de 0,9 dB/cm à 1550 nm.

4. SYSTEME NON GREFFE, HOTE–INVITE

Un nouveau chromophore, dénommé CPO1 [5], a été synthétisé par L'ENS Lyon (CNRS UMR 5082), en relative grande quantité. Il a un $\mu\beta = 40.000 \times 10^{-48}$ esu à 1,9 µm (~ 50 fois celui du chromophore de référence bien connu le DR1). Nous avons étudié la fabrication de guides avec trois polymères hôtes, de haute Tg (APC, Tg 180°C ; PMIBA Tg 200°C ; PMMI, Tg 160°C). Nous présentons ici les résultats avec le PMMI. Il a d'abord fallu stabiliser le mélange pour obtenir une Tg de 156°C avec 20% en poids de CPO1 (n=1,63 à 1550 nm). Cette valeur de Tg doit assurer la stabilité du coefficient EO, r_{33} [7]. Tout d'abord nous avons mis en œuvre un guide à fort confinement avec une gaine optique en PMATRIFE (n=1,40). La fabrication de ce guide est délicate du fait des propriétés thermique médiocres de ce polymère (création de rides typiques de ce matériau). Nous avons cependant réussi à obtenir un guide monomode avec des pertes de ~ 6 dB/cm. Cependant la trop forte résistivité du PMATRIFE, incompatible avec l'orientation des chromophores, nous a contraints à utiliser une gaine photopolymérisable UV. Pour ce faire il a fallu maitriser l'irradiation UV pour éviter la dégradation du chromophore (Figure 5). Finalement le premier guide obtenu en structure ridge est montré Figure 6. Il présente des pertes de près de 7 dB/cm pour une A_{eff} de mode de 6 µm². Une étude en cours sur les facteurs de pertes montre que l'absorption intrinsèque du composite polymère-chromophore reste faible et que le niveau d'atténuation obtenu sur guide serait dû à des défauts d'interface cœur-gaine et peut-être aussi au mélange lui-même (solubilité limite).

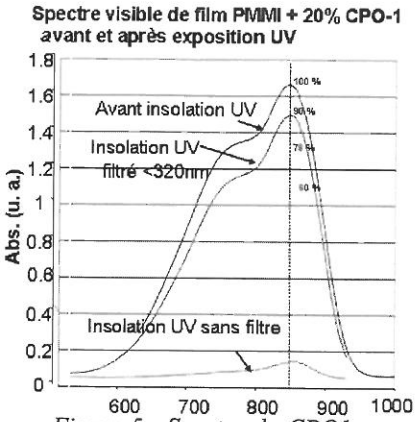


Figure 5 : Spectre du CPO1 en fonction des conditions d'irradiation UV.

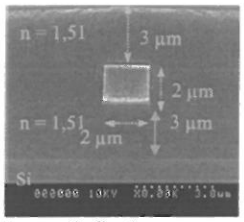


Figure 6 :Section (MEB) de guide ridge en cœur de PMMI+CPO1.

5. CONCLUSION

Nous avons mis en évidence et résolu un certain nombre de problèmes technologiques pour la fabrication de guides à faible aires effectives, à partir de nouveaux matériaux organiques électro-optiques à fortes potentialités. Ainsi, par exemple, sont évoquées : les difficultés de gravure, de compatibilité de matériaux, de taux d'incorporation de chromophores, d'augmentation de la Tg du cœur et de photopolymérisation de la gaine. C'est une première étape qui sera suivie de l'étude de la diminution des pertes et du processus d'orientation des chromophores.

Soutiens : Ce travail a bénéficié du projet ANR Télécom MODPOL (2008-2012) et du projet PONANT du CPER avec la région Bretagne, le conseil général des Côtes d'Armor, de Lannion Trégor Agglomération et du Feder.

REFERENCES

[1] Antao Chen, Haishan Sun *et al.* J. Lightwave Techn., Vol. 29 (21), 3310-3318, 2011.
[2] V. Katopoldis, C. Kouloumentas, A. Konczykowska, F. Jorge *et al.*, ECOC Postdeadline Th.3.B.4, 2012.
[3] D. Bosc, A. Rousseau, F. Foll, B. Boutevin, J. of Appl. Pol. Sc., Vol.74 (4), pp. 974-982, 1999.
[4] Clément Cabanetos, Hind Mahé, Errol Blart, Yann Pellegrin, Véronique Montembault *et al.*, ACS Applied Materials Interfaces, Vol. 3, Issue. 6, pp. 092-2098, 2011.
[5] Y. Bretonnière, W. Bentoumi, C. Andraud, Brevet n°105036 ENS Lyon, 2010.
[6] Hind Mahé, Thèse de l'Université de Rennes 1, soutenue le 21 décembre 2012
[7] H.T. Man, K. Chiang, D. Hass, C.C. Teng, H.N. Yoon, SPIE, vol. 1213, pp. 7-16 (1990).