HAL
open science

Analyse des pertes optiques dans les guides polymères

Dominique Bosc, Hind Mahé, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy, Luiz Poffo

To cite this version:

Dominique Bosc, Hind Mahé, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy, Luiz Poffo. Analyse des pertes optiques dans les guides polymères. 32è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2013), Jul 2013, Villetaneuse, France. hal-00860960

HAL Id: hal-00860960

https://hal.science/hal-00860960v1

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.

ANALYSE DES PERTES OPTIQUES DANS LES GUIDES POLYMERES

Dominique Bosc, Hind Mahé, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy, Luiz Poffo

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

dbosc@enssat.fr

RESUME

Les guides polymères peuvent présenter des pertes optiques très différentes suivant les matériaux mis en jeux et les technologies utilisées. Il est donc important de pouvoir distinguer entre ce qui est inhérent strictement au matériau, les pertes intrinsèques, et, ce qui relève de la technologie de fabrication des guides, les pertes extrinsèques, afin d'optimiser au mieux la propagation dans ces circuits optiques. A l'aide de différentes techniques de mesure développées au laboratoire, nous essayons dans cet article de cerner les pertes limites de ces matériaux en nous appuyant aussi, sur des mesures expérimentales de guides dont nous maitrisons la technologie de mise en œuvre.

MOTS-CLEFS : *polymère ; guide canal monomode ; atténuation ; caractérisation*

1. INTRODUCTION

Les spécificités intéressantes de certains matériaux polymères motivent leur mise en œuvre comme guides optiques. Leurs atouts résident par exemple, dans le fait que l'on peut adapter leur indice de réfraction assez facilement ou bien exploiter des effets non linéaires optiques importants, pour élaborer des fonctions de traitement de signal optique [1] ou des modulateurs électro-optiques polymères à haute fréquence (100 GHz) [2]. Dans la grande variété de polymères employés pour fabriquer des circuits optiques intégrés (COI) [3] [4], les plus fréquemment utilisés sont à base de matériaux poly-méthacryliques ou vinyliques en raison de leurs bonnes propriétés optiques et leur facilité de structuration en guide. Cependant, les valeurs d'atténuation publiées de ces COI sont relativement élevées de l'ordre de 1 à 5 dB / cm [5] [6] dans la bande C (1530-1565 nm) des télécommunications. Très peu d'informations sont données en outre, quant à l'importance relative des différentes causes de pertes optiques. L'efficacité de couplage du guide à une fibre est parfois évaluée et les pertes globales linéaires du guide sont alors extraites des pertes d'insertion fibre à fibre, mais ceci ne fournit pas d'information sur les différentes causes qui impliqueraient, soit le matériau, soit la technologie de réalisation. Dans cet article nous proposons à partir de mesures de pertes de guides plans ou de guides canaux et celles de matériaux massifs de donner une idée plus précise des atténuations limites de polymères méthacryliques et vinyliques.

2. MATERIAUX ET CARACTERISATIONS

Les pertes optiques d'un guide peuvent être dissociées en pertes de couplage et en pertes linéiques. Les premières sont essentiellement dues à la désadaptation de mode entre le guide et la fibre d'injection-extraction et aux pertes par réflexion de Fresnel sur les faces d'entrées. Les secondes comprennent celles inhérentes à la technologie et les pertes limites qui sont intrinsèques au matériau. Au laboratoire nous mesurons les pertes des guides par une méthode qui permet de nous affranchir des pertes de couplage. Cette méthode a été décrite pour des guides à BIP dans la référence [6]. Elle consiste à mesurer la puissance de sortie d'un guide avec une sphère intégratrice, en injectant consécutivement dans les deux extrémités du guide avec une mesure intermédiaire entre

deux fibres. Ceci permet de s'affranchir des pertes de couplages $Pc_{1,2}$ (notamment de l'état de surface des entrées et de l'inadaptation de taille des modes) et d'avoir accès à la puissance perdue uniquement dans le guide P_g. A partir du schéma ci-contre (Fig. 1), P_g est donnée par (1) :

$$P_g = P_1 - P_2 + P_3 - P_4 \quad (1)$$

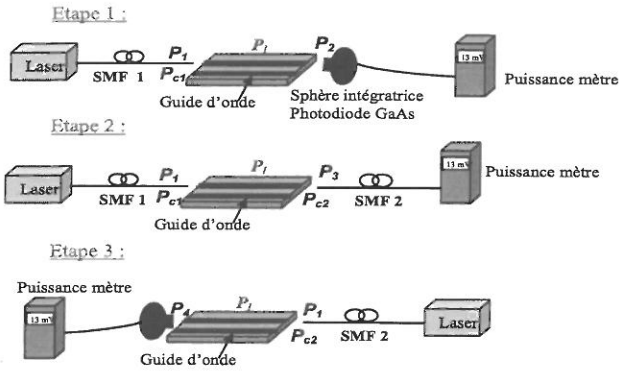

Fig. 1 : Schéma de principe de mesure de l'atténuation d'un guide pour en extraire les pertes linéiques

Avec l'hypothèse que les pertes de Fresnel d'entrée et sortie sont quasi identiques. Les pertes du guide, α_T, sont alors données par (2) :

$$\alpha_T(dB/cm) \cong \frac{10}{L(cm)} \log \frac{P2+P_g}{P2} \quad (2)$$

Le matériau de cœur (PVCi) est celui que nous utilisons dans nos modélisations expérimentales simulant des cœurs en matériaux non linéaires. Il nous est utile aussi parce que nous maitrisons la photosensibilité de ce polymère pour ajuster, après fabrication, l'indice de réfraction du cœur (pour faire des adaptateurs de mode, par exemple). Nous avons ainsi réalisé des guides (Fig. 2 et Fig. 3) en cœur de PVCi (n = 1,58) et gaine optique inférieure en NOA65 (n = 1,51) en structure ruban inversé (h = 2µm, $e_{(NOA65)}$ = 5µm, w = 4µm). Les diamètres de mode mesurés à $1/e^2$ sont de 3,7 µm et 4,9 µm verticalement et horizontalement respectivement. A partir de l'atténuation totale de 3,6 dB sur 1 cm, les pertes de propagation dans le guide sont mesurées à 0,9 dB/cm à 1550 nm.

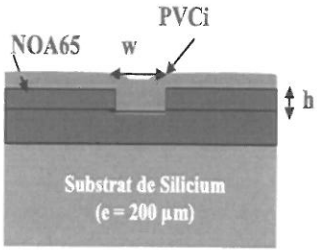

Fig. 2 : Coupe schématique du guide en cœur PVCi

3. DISCUSSION

Pour avoir une idée plus précise des pertes limites ou minimales atteignables avec ces guides, nous avons élaboré un modèle à partir d'un matériau type tel que le PMMA, pour faire une analyse quantitative des différents facteurs de pertes optiques. Les pertes optiques minimales du polymère sont celles dues essentiellement à l'absorption intrinsèque du matériau. Le modèle mis en œuvre [8] est bâti à partir, d'une part, de mesures sur matériau massif et en solution, et, d'autre part, de modélisation de l'absorption ainsi que des calculs de diffusion de lumière par les particules indésirables dans le cœur. Les premières, sur matériau massif et sur les solutions, permettent de s'affranchir des effets des défauts de gravure du guide et de prendre en compte les effets de la filtration des solutions

Fig. 3 : Vue de dessus au microscope optique de guides droits en PVCi.

De manière générale en faisant l'hypothèse que les pertes par absorption intrinsèque, α_A et par diffusion, α_S, sont additives, l'atténuation totale est donnée par (3) :

$$\alpha_T = \alpha_A + \alpha_S \quad (3)$$

On peut décliner cela à deux longueurs d'ondes (indexées ici en exposant), (4), (5) :

$$\alpha_T^{(1550)} = \alpha_A^{(1550)} + \alpha_S^{(1550)} \quad (4)$$

$$\alpha_T^{(1320)} = \alpha_A^{(1320)} + \alpha_S^{(1320)} \quad (5)$$

Il faut prendre en compte ensuite, le fait que les dépendances en longueur d'onde de la diffusion et de l'absorption intrinsèque sont différentes. L'absorption intrinsèque est une fonction

du taux volumique de liaison C-H et correspond aux pieds de bandes d'harmoniques de vibrations de liaisons (2nde harmonique à 1700 nm et 3ième à 1170 nm). Dans la littérature on trouve que le rapport entre l'intensité de ces harmoniques est (6) :

$$\alpha_A^{(1700)} / \alpha_A^{(1170)} = 10 \quad (6)$$

Quant à l'atténuation par diffusion de lumière α_S, sa variation avec la longueur d'onde est inverse car les centres diffusants ont plus d'impact aux faibles longueurs d'onde. Cependant celle-ci est moins sensible, et ceci, d'autant plus que la taille des particules diffusantes est importante par rapport à la longueur d'onde. Ainsi, par exemple, pour des tailles de centre diffusant de l'ordre de 200 nm (niveau de filtration des solutions), le rapport des pertes par diffusion entre deux longueurs d'ondes, 1550 et 1320 nm, est de l'ordre de (7) :

$$\alpha_S^{(1320)} / \alpha_S^{(1550)} = 1{,}8 \quad (7)$$

Connaissant théoriquement le coefficient d'absorption des harmoniques de liaisons C-H, et tenant compte de l'évolution de la diffusion de lumière ainsi que des mesures d'atténuation à deux longueurs d'onde, les résultats convergent pour le PMMA vers une valeur proche de [7] :

$$(\alpha_A^{(1550)})_{PMMA} = 0{,}7 \text{ dB/cm} \quad (8)$$

Il est par ailleurs montré [8] que l'absorption intrinsèque due aux liaisons C-H entre deux matériaux polymères de structures voisines est dans le rapport des taux de C-H, $r_{C\text{-}H}$, par unité de volume :

$$r_{C\text{-}H} = N_{(C\text{-}H)} \times \rho / M_m \quad (9)$$

avec $N_{(C\text{-}H)}$ le nombre de liaisons dans le motif monomère, M_m la masse du motif monomère et ρ, la masse volumique. Le $r_{C\text{-}H}$ pour le PMMA est de 0,089 cm^{-3} et pour le PVCi de 0,059 cm^{-3}. On peut en conclure que l'atténuation limite du PVCi serait aux alentours de :

$$(\alpha_A^{(1550)})_{PVCi} = 0{,}5 \text{ dB/cm à 1550 nm} \quad (10)$$

Les pertes par diffusion dans la masse étant estimées selon le modèle cité [8] à 0,1 dB/cm pour le PMMA à 1550 nm et les conditions de préparation étant les mêmes on peut estimer qu'elles sont du même ordre de grandeur pour le PVCi.

CONCLUSION

On peut conclure qu'au vu de ces estimations, les pertes dues aux imperfections du guide seraient de l'ordre de 0,3 dB/cm. Ceci montre que les pertes totales relativement faibles obtenues sur ces guides canaux en ruban inversé sont assez proches des pertes limites du matériau. Cependant elles pourraient être encore réduites en travaillant sur les imperfections du guide (adhérence, cœur-gaine, rugosité des flancs de gravure etc..).

Soutiens : *Ce travail a bénéficié du projet PONANT du CPER financé notamment par la région Bretagne, le conseil général des Côtes d'Armor, Lannion Trégor Agglomération et le Feder.*

REFERENCES

[1] A. Maalouf, D. Bosc, M. Gadonna, I. Hardy, Optics Communications, 285, p. 4088, 2012.
[2] V. Katopodis, Ch. Kouloumentas, A. Konczykowska et al., ECOC Postdeadline Papers, Th3 B.4., 2012.
[3] D. Chiron, T. Trigaud, J.P. Moliton, Synth. Metals 124, p. 33, 2001.
[4] T. Watanabe, Y. Inoue, A. Kaneto, N. Ooba, T. Kurihara, Electron. Lett. 33 (18), p. 1547, 1997.
[5] D. Bosc, P. Grosso, I. Hardy *et al.*, Optics Communications 235, 281–284, 2004.
[6] Joyce K. S. Poon, Yanyi Huang, *et al.*, IEEE Photonics Technology Letters, 16 (11), p.2496- 2498, 2004.
[7] Thanh-Nam Nguyen, Kevin Lengle, *et al.*, JNOG, Lyon (France), pp. 222-224, 2012.
[8] D. Bosc, A. Maalouf, K. Messaad, H. Mahé, L. Bodiou, Optical Materials 35, 1207–1212, 2013.
[9] B. Boutevin, D. Bosc et A. Rousseau, "Desk Reference of Functional Polymers", Reza Arshady, pp 489-503, 1996.