



# Guides d'onde rubans en Polydimethylsiloxane (PDMS) a large gamme spectrale pour des applications en photonique intégrée

Céline Gouldieff, Nolwenn Huby, Bruno Bêche

## ► To cite this version:

Céline Gouldieff, Nolwenn Huby, Bruno Bêche. Guides d'onde rubans en Polydimethylsiloxane (PDMS) a large gamme spectrale pour des applications en photonique intégrée. Journées Nationales de l'Optique Guidée - JNOG, Jul 2015, Rennes, France. pp.198-200, 2015, JNOG. <hal-01174505>

**HAL Id: hal-01174505**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01174505>**

Submitted on 9 Jul 2015

**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.

# GUIDES D'ONDE RUBAN EN POLYDIMETHYLSILOXANE (PDMS) A LARGE GAMME SPECTRALE POUR DES APPLICATIONS EN PHOTONIQUE INTEGREE

Céline Gouldieff<sup>1</sup>, Nolwenn Huby<sup>1</sup>, Bruno Bêche<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institut de Physique de Rennes UMR CNRS 6251, Université Rennes 1, 35042 Rennes, France

<sup>2</sup> Institut Universitaire de France IUF, Paris, France

[celine.gouldieff@univ-rennes1.fr](mailto:celine.gouldieff@univ-rennes1.fr)

## RÉSUMÉ

La réalisation et la caractérisation de guides d'onde ruban constitués du même matériau polymère à la fois pour le cœur et pour la gaine sont présentées. Ces structures guidantes sont fabriquées à partir de polydiméthylsiloxane (PDMS), qui a été retenu pour sa très bonne transparence sur une large gamme spectrale, notamment aux courtes longueurs d'onde (jusqu'à 240 nm) et pour son processus de mise en forme par lithographie douce, méthode simple et bas coût. De premiers tests d'injection optique ont montré que le guidage était effectif dans le visible à 635 nm et à 447 nm et les pertes optiques ont été estimées à quelques dB.cm<sup>-1</sup> à 635 nm et à une dizaine de dB.cm<sup>-1</sup> à 447 nm.

**MOTS-CLEFS :** *lithographie douce ; PDMS ; guide d'onde ruban ; large gamme spectrale en transparence*

## 1. INTRODUCTION

L'intérêt des matériaux polymères réside dans la diversité de leurs caractéristiques physico-chimiques (indice de réfraction, viscosité, transparence, capacité à être fonctionnalisés en surface...) et des procédés de mise en forme associés [1]. Ils sont ainsi devenus incontournables dans de nombreux domaines tels que le stockage de l'alimentaire en film planaire, les télécommunications optiques en fibre ou composants intégrés, la microfluidique sur puce intégrée, et les senseurs en métrologie fine. Les développements de puces de photonique intégrée en matériaux organiques ont eu lieu jusqu'à présent majoritairement dans l'infrarouge (980 nm, 1550nm) et dans le visible (635-795 nm). Cependant, le besoin de réaliser des puces capables de guider la lumière aux courtes longueurs d'onde (c'est-à-dire en dessous de 500 nm) est réel, notamment pour des applications biomédicales, et il existe actuellement peu de développements du fait du manque de matériaux candidats aux courtes longueurs d'onde.

Pour réaliser des structures guidant la lumière de l'ultraviolet jusqu'au proche infrarouge, il convient d'identifier les matériaux les plus transparents sur cette gamme spectrale. Si très peu de polymères répondent à cette contrainte, le PDMS est particulièrement intéressant à plusieurs titres : il présente une coupure à 240 nm [2], est biocompatible, et peut être mis en forme par moulage, par lithographie douce [3] ou par photolithographie en UV profonds de manière directe après durcissement [4] ou en phase liquide avec ajout de photoinitiateur [5]. C'est un polymère thermodurcissant qui présente l'avantage d'être simple d'utilisation : il est composé de deux éléments, une base et un agent durcissant, traditionnellement mélangés en ratio (10:1). Pour la réalisation de guides d'onde optiques entièrement en PDMS, il est nécessaire d'introduire une différence d'indice suffisante entre le cœur et les gaines. Il existe plusieurs stratégies pour introduire cette différence d'indice : insoler le PDMS dans l'UV (254 nm et 185 nm) [4], utiliser deux PDMS différents dont celui de plus haut indice pour le cœur [6] ou bien jouer sur les températures et les temps de recuit [7] ou sur le ratio base / agent durcissant [8]. C'est cette dernière stratégie, retenue pour la fabrication de guides ruban de PDMS sur gaine de PDMS, qui est présentée ici.

## 2. REALISATION DES GUIDES

Le procédé utilisé pour l'obtention de guides d'onde ruban tout en PDMS est la lithographie douce. Il s'agit tout d'abord de réaliser par photolithographie en UV profonds (248 nm) sur wafer de silicium la structure à répliquer. La résine utilisée est l'UV210 [9], résine photosensible positive, qui permet d'obtenir un moule dont les structures à répliquer mesurent  $1\ \mu\text{m}$  d'épaisseur environ, et des tailles variant de 1 à  $100\ \mu\text{m}$ .

Le cœur des guides est constitué de PDMS en ratio base / agent durcissant (5:1), qui est tout d'abord dégazé puis déposé par tournette sur les structures d'UV210. L'ensemble est cuit à l'étuve à  $65^\circ\text{C}$  et refroidi à température ambiante. La gaine de PDMS est alors préparée par mixture de PDMS en ratio base / agent durcissant (20:1). Le mélange est dégazé puis coulé en masse sur la puce contenant le cœur. L'ensemble est laissé à température ambiante jusqu'à durcissement de la gaine. Il suffit ensuite de démouler l'ensemble (cœur+gaine) de PDMS des structures d'UV210 pour obtenir la puce finale tout en PDMS (Fig. 1). La différence d'indice de réfraction obtenue est de l'ordre de  $7.10^{-3}$  à  $635\ \text{nm}$  d'après [8].

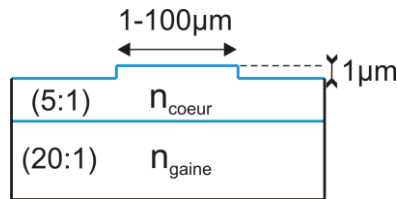


Fig. 1 : Schéma de la structure des guides ruban tout PDMS obtenus par lithographie douce.

## 3. RESULTATS

Des tests d'injection optique à  $635\ \text{nm}$  et à  $447\ \text{nm}$  dans les structures de PDMS obtenues ont prouvé que le guidage avait lieu de façon efficace en présentant un bon confinement optique. Des images des modes guidés pour des guides ruban de  $50\ \mu\text{m}$  et  $20\ \mu\text{m}$  de large sont présentées en Fig. 2.

Une estimation des pertes optiques pour des guides de  $100\ \mu\text{m}$ ,  $50\ \mu\text{m}$  et  $20\ \mu\text{m}$  a été réalisée par méthode dite du 'cut-back' en mesurant la puissance en sortie des guides pour différentes longueurs de guides. Pour une meilleure statistique des résultats, l'étude a été menée sur plusieurs guides de chaque taille. Les pertes optiques ont ainsi été évaluées à quelques  $\text{dB.cm}^{-1}$  à  $635\ \text{nm}$  et à une dizaine de  $\text{dB.cm}^{-1}$  à  $447\ \text{nm}$ .

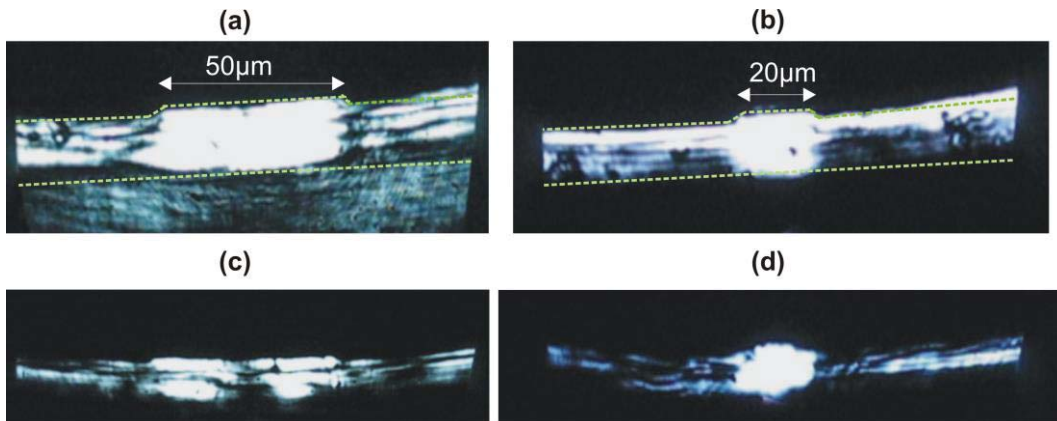


Fig. 2 : Images de section des modes guidés à  $635\ \text{nm}$  en sortie de guides de largeurs respectives  $50\ \mu\text{m}$  (a) et  $20\ \mu\text{m}$  (b) puis à  $447\ \text{nm}$  pour des guides de  $50\ \mu\text{m}$  (c) et  $20\ \mu\text{m}$  (d).

Des telles structures constituées d'un matériau unique présentent l'avantage d'éliminer les problèmes éventuels de manque d'adhésion entre les couches successives, ce qui constitue un atout pour des applications de photonique intégrée où les structures complexes mises en jeu sont souvent multicouches. De plus, une différence d'indice faible entre cœur et gaine favorise le guidage dans le cœur du guide (indice effectif des modes guidés plus élevés).

## CONCLUSION

Des guides ruban de PDMS ont été fabriqués par lithographie douce, méthode robuste et bas coût. La différence d'indice de réfraction entre le cœur et la gaine de la structure a été obtenue en contrôlant les différents ratios base / agent durcissant. Les guides d'onde résultant guident la lumière en présentant un bon confinement aux longueurs d'onde 635 nm et à 447 nm, et les pertes optiques associées ont été estimées proches de quelques dB.cm<sup>-1</sup> à 635 nm et d'une dizaine de dB.cm<sup>-1</sup> à 447 nm.

## RÉFÉRENCES

- [1] H. Ma, A. K. Y. Jen and L. R. Dalton, "Polymer-Based Optical Waveguides: Materials, Processing and Devices", Vol. 14, pp. 1339-1365, 2002.
- [2] J. C. McDonald and G. M. Whitesides, "Poly(dimethylsiloxane) as a material for fabricating microfluidic devices", Accounts of Chemical Research, Vol. 35, pp. 491-499, 2002.
- [3] Y. Xia and G. M. Whitesides, "Soft lithography", Annual Review of Materials Science, Vol. 28, pp.153-184, 1998.
- [4] S. Valouch, H. Sieber, S. Kettlitz, C. Eschenbaum, U. Hollenbach and U. Lemmer, "Direct fabrication of PDMS waveguides via low-cost DUV irradiation for optical sensing", Optics Express, Vol. 20, pp. 28855-28861, 2012.
- [5] D. P. J. Cotton, A. Popel, I. M. Graz and S. P. Lacour, "Photopatterning the mechanical properties of polydimethylsiloxane films", Journal of Applied Physics, Vol. 109, pp. 0549051-0549056, 2011.
- [6] S. M. Azmayesh-Fard, E. Flaim and J. N. McMullin, "PDMS biochips with integrated waveguides", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 20, pp.1-5, 2010.
- [7] D. A. Chang-Yen, R. K. Eich and B. K. Gale, "A Monolithic PDMS Waveguide System Fabricated Using Soft-lithography Techniques", Journal of Lightwave Technology, Vol. 23, pp. 2088-2093, 2005.
- [8] Z. Cai, W. Qiu, G. Shao and W. Wang, "A new fabrication method for all-PDMS waveguides", Sensors and Actuators A, Vol. 204, pp. 44-47, 2013.
- [9] [http://www.microresist.de/produkte/room\\_haas/pdf/UV210\\_Positive\\_DUV\\_Serie.pdf](http://www.microresist.de/produkte/room_haas/pdf/UV210_Positive_DUV_Serie.pdf)