HAL
open science

Caractérisation de modes hybrides par spectroscopie de m-lines hémisphériques

Jochen Fick, Paul Moretti

To cite this version:

Jochen Fick, Paul Moretti. Caractérisation de modes hybrides par spectroscopie de m-lines hémisphériques. Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2007, Grenoble, France. hal-00154201

HAL Id: hal-00154201

https://hal.science/hal-00154201v1

Submitted on 13 Jun 2007

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 modes hybrides par spectroscopie de *m*-lines hémisphériques

Jochen Fick[1] et Paul Moretti[2]
[1] *Institut Néel, CNRS & Université Joseph Fourier, BP 166, 38042 Grenoble, France*
[2] *Université de Lyon; Université Lyon1; CNRS; Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux Luminescents, Domaine scientifique de la Doua, Villeurbanne, F-69622, France*
jochen.fick@grenoble.cnrs.fr

Abrégé : Nous présentons la technique des *m*-lines hémisphériques, conçue pour l'étude de guides plans biréfringents. Un guide d'onde obtenu par implantation ionique dans un substrat de KTP orienté est caractérisé. L'indice effectif et la polarisation des modes guidés ont été mesurés en fonction de la direction de propagation. Les résultats obtenus sont en très bon accord avec le modèle théorique développé.

1. Introduction

La spectroscopie de lignes noires ou de *m*-lines, utilisant un prisme de couplage à haut indice de réfraction, est une technique de caractérisation très répandue pour des guides plans, et en particulier pour des guides isotropes. Dans le cas de guides biréfringents, l'étude des modes guidés en fonction de la direction de propagation dans le plan du guide est intéressante, mais la modification de la direction de propagation nécessite le démontage et remontage de l'échantillon. Nous proposons de remplacer le prisme de couplage par une hémisphère, afin de pouvoir modifier la direction de propagation par une simple rotation du guide. Ainsi les conditions de couplage restent inchangées, la direction de propagation peut être modifiée finement et déterminée avec précision et finalement les mesures sont beaucoup plus rapides. Dans cette communication nous présentons l'utilisation des *m*-lines hémisphériques pour la caractérisation des modes hybrides d'un guide d'onde biréfringent.

2. Expérimental

Le guide d'onde étudié a été obtenu par implantation ionique de He^+ dans un substrat de KTP (Cristal Laser) coupé et orienté pour de la génération de seconde harmonique ($\alpha = 23.5°$; voir fig. 1). Afin d'obtenir une barrière d'indice importante et large nous avons appliqué une double implantation et à deux énergies différentes: 1.5 et 1.35 Me, avec des doses de 2 x $0.75 \cdot 10^{16}$ ions/cm^2 par énergie [1].
Nous dénommons *a*, *b* et *c* les axes cristallins du KTP qui sont aussi les axes diélectriques, et *x*, *y* et *z* les coordonnées cartésiennes du banc optique (voir fig. 1). L'axe *y* est défini comme direction de propagation et l'angle φ comme angle entre l'axe *c* et la direction de propagation.

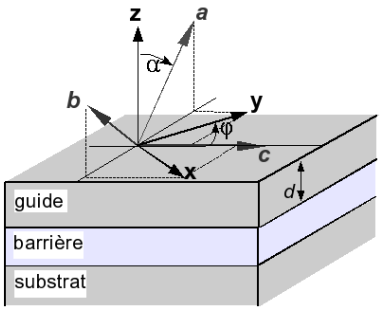

Fig. 1 : Schéma de l'échantillon étudié. *a*, *b*, *c* représentent les axes cristallins et *x*, *y* et *z* les coordonnées du guidage. *y* est la direction de propagation

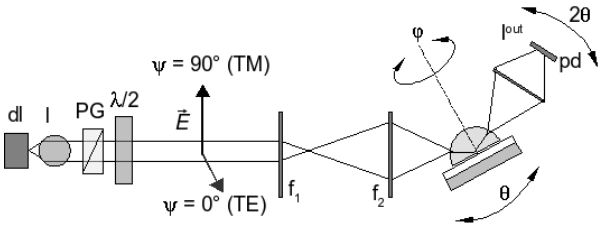

Fig. 2 : Schéma du banc de *m*-lines hémisphériques (dl: diode laser, l: lentille, PG: prisme de Glan, pd: photo-diode)

Le banc de *m*-lines hémisphériques est montré sur la figure 2. La sortie d'une diode laser émettant à 980 nm est mise en forme par une lentille sphérique et un télescope. La polarisation du faisceau incident est décrite par l'angle ψ et contrôlée par un prisme de Glan suivit d'une lame $\lambda/2$. La polarisation TE correspond à $\psi = 0°$ et la polarisation TM à $\psi = \pm 90°$. L'échantillon est placé au centre d'un goniomètre $\theta/ 2\theta$ actionné par des moteurs

pas-à-pas et contrôlé par ordinateur. L'angle de propagation φ est modifié par une platine de rotation manuelle [2]. L'hémisphère de couplage a été usinée à partir d'une lentille sphérique du verre haute indice S-LAH79 d'Ohara avec n = 1.9703 à la longueur d'onde de 980 nm.
Nous avons développé un outil de simulation basé sur l'approche des matrices de transfert [2]. Ce modèle permet de calculer les indices effectifs, les cartes de champ et la polarisation des modes guidés pour une direction de propagation quelconque.

2. Dispersion de l'indice effectif

L'évolution des indices effectifs des cinq premiers modes excités en fonction de l'angle de propagation est reoportée sur la figure 3. Pour une propagation "hors-axes", c'est-à-dire non parallèle à un axe diélectrique, tous les modes sont hybrides contenant des contributions des deux polarisations TE et TM. Cependant, en dehors des croisements une des deux polarisations est majoritaire, justifiant leur dénomination par TE' et TM' qui sera utilisée par la suite. Sur la figure les modes sont numérotés par indices décroissants et dénommés par leur polarisation. Les numéros permettent une identification univoque pour toutes les directions de propagation. Les noms sont eux plus intuitifs, mais ils ne sont pas applicables au voisinage des croisements de modes (A-C).
Les paramètres du guide ont été obtenus par ajustement de notre modèle théorique aux valeurs expérimentales. Les indices du substrat, la modification d'indice et la profondeur de la barrière sont: $n_a = 1.7397$, $n_b = 1.7485$, $n_c = 1.8392$, $\Delta n = -0.12$ et $d = 3.80$ µm. Un excellent accord est obtenu entre les valeurs d'indice mesurées et calculées. Ces valeurs sont par ailleurs en accord avec celles qui ont été publiées [1].

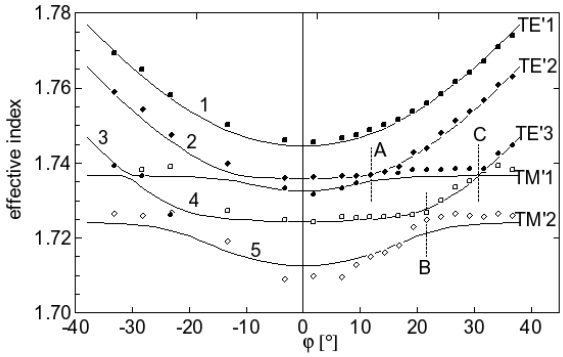

Fig. 3 : Indice effectif des modes guidés en fonction de l'angle de propagation φ (points: mesures, lignes: ajustement théorique). Les modes sont numérotés par indice décroissant et dénommés par leurs polarisations à φ = 40°. A, B, C indiquent les trois croisements de modes.

Une particularité des guides d'onde biréfringents est l'apparition de croisements de mode dans le diagramme de dispersion angulaire. Le modèle théorique distingue deux types de croisements. Le type I pour des modes de parité opposée (par exemple TE'2 et TM'1) est caractérisé par un couplage fort entre les modes. Dans ce cas l'hybridation des modes est totale et un gap local d'indice effectif est observé (croisements A et B). Dans le cas de modes de parité équivalente (TE'3 et TM'1), croisement de type II, les modes n'interagissent pas et il n'existe pas de gap (croisement C). Nos résultats expérimentaux confirment cette prévision théorique. Cependant, autour des croisements la détermination précise des indices effectifs est compliquée par l'élargissement local des *m*-lines.

3. Polarisation des modes

La polarisation des modes peut être décrite par l'angle ψ entre le vecteur du champ électrique **E**(z=0) à la surface du guide et l'axe *x*. Un mode de polarisation TE (TM) pure aura un angle ψ = 0° (±90°). Les angles de polarisation ont été calculés en fonction de la direction de propagation φ et sont donnés sur la figure 4a. A φ = 0° les angles de polarisation calculés des modes TE' (modes 1, 3 et 5) se situent entre ψ = -23.4° et -28.2°. Pour les deux modes TM' (2 et 4) l'angle est de ψ ~ 62°. Lorsque l'angle de propagation φ augmente, l'angle de polarisation du mode 1 (TE'1) augmente continûment pour atteindre ψ = 0° à φ = 90°, c'est-à-dire pour une propagation parallèle à l'axe *c*. Par contre, les angles de polarisation des deux autres modes TE' à φ = 0° restent sensiblement égaux à leurs valeurs initials jusqu'à ce qu'ils tombent abruptement vers ψ = -90° aux croisements

A et B, indiquant leur transformation en modes TM'. Aux mêmes angles, les deux modes TM' changent en TE': leurs angles de polarisation passent d'environ 60° à -10°. Les deux types de croisement sont également reconnaissables dans le le diagramme de polarisation. Le couplage fort des croisements de type I se traduit pas une transition beaucoup plus douce que pour un croisement de type II.
Pour déterminer expérimentalement la polarisation des modes nous effectuons des mesures de *m*-lines avec des angles de polarisation incidente compris entre -60° et 120°. Les courbes sont ensuite divisées en sections contenant la résonance d'un seul mode ou de deux modes en fonction de la distance entre modes. Un ajustement numérique permet alors de déterminer l'angle de polarisation de chaque mode. Les résultats sont présentés dans la figure 5b. Notons que l'accord entre les angles calculés (a) et mesurés (b) est excellent pour le premier mode et moins bons pour les modes d'ordre supérieur. Les caractéristiques principales sont cependant bien reproduits. En effet, les deux types de croisements sont bien mesurés et la tendance à une transition plus douce pour les croisements de type I par rapport à ceux qui sont de type II est également observée.

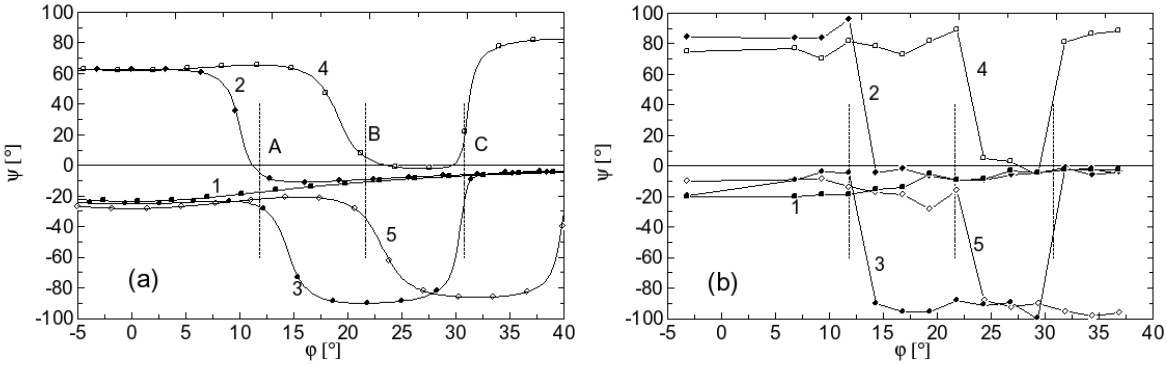

Fig. 4 : Variation de l'angle de polarisation ψ des modes reportés sur la figure 3 en fonction de l'angle de propagation φ: (a) courbes théoriques, (b) résultats expérimentaux.

3. Résumé

Nous avons mis au point une technique de *m*-lines "hémisphériques" et l'avons appliquée à l'étude d'un guide d'onde biréfringent de KTP. Le guide plan a été réalisé par implantation, seule technique s'affranchissant de l'orientation cristallographique du substrat, permettant ainsi une investigation approfondie et directe des propriétés optiques anisotropiques du cristal en configuration guidée. Les résultats expérimentaux obtenus sont en très bon accord avec le modèle théorique développé. Ce sont à notre connaissance les premières mesures directes de polarisation de modes hybrides dans un guide biréfringent.
Par rapport aux *m*-lines classiques utilisant un prisme de couplage, cette technique permet une caractérisation plus rapide et plus approfondie de guides biréfringents.

[1] P. Bindner, A. Boudrioua, J.C. Loulergue, P. Moretti 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 2558.
[2] J. Fick, B. Ménaert, J. Zaccaro, P. Moretti 2007 *Opt. Com.* **270** 229.