

# MODÉLISATION DE COMPOSANTS OPTIQUES DIFFUSÉS SUR VERRE: APPLICATION AU MACH-ZEHNDER INTÉGRÉ.

Laurent Guilloton<sup>1</sup>, Smaïl Tedjini<sup>1</sup>, Tan-Phu Vuong<sup>1</sup>

LCIS/INPG

<sup>1</sup> ESISAR, 50 rue de Laffemas, BP54, 26902 Valence CEDEX 09

prénom.nom@esisar.inpg.fr

## RÉSUMÉ

Dans cette communication nous présentons une approche de CAO pour la simulation de circuits optiques intégrés sur verre. La modélisation de tels composants nécessite un calcul efficace des indices effectifs sur chaque polarisation afin de prendre en compte la géométrie de la structure. Nous présenterons alors les résultats de simulation d'un circuit d'optique intégré sur verre: Un Mach-Zehnder intégré.

**MOTS-CLEFS :** *Mach-Zehnder intégré, indice effectif, WKB*

## 1. INTRODUCTION

Les technologies optiques basées sur l'utilisation de fibre et de dispositifs optiques et optoélectroniques intégrés sont de nos jours très utilisées et tendent à le devenir de plus en plus. Les circuits devenant de plus en plus complexes, Il devient nécessaire d'utiliser des logiciels de simulation efficaces. Dans le panel des simulateurs, nous orientons notre étude vers les simulateurs de type circuit qui permettent de tenir compte des phénomènes de réflexion et de polarisation des signaux optiques tout en réalisant une simulation rapide. De plus de tels logiciels peuvent être compatibles avec les outils de la microélectronique, ce qui est un atout pour l'intégration optoélectronique. Ce type de simulation est basé sur l'utilisation de matrice-S des composants optiques [1]. Dans cette communication, nous présentons la détermination de la matrice-S d'un guide diffusé sur verre puis un circuit contenant ce guide : Un Mach-Zehnder.

## 2. PRINCIPE DE MODÉLISATION

La modélisation d'un composant optique peut être vue sous différents niveaux. Le premier niveau, dit "descriptif" est basé sur la description des signaux en tout point d'un composant. Le composant modélisé est alors vu comme une boîte noire où seul quelques paramètres fondamentaux, comme la longueur pour un guide, est prise en compte. Ce niveau nous permettra donc de connaître la forme générique des matrices-S représentant le composant à modéliser [2]. Le second niveau, dit "technologique" prend en compte, comme son nom l'indique, les paramètres de la technologie utilisée. On distinguera donc ici, les composants à base de fibres optiques, les composants intégrés diffusés sur verre ou encore les composants intégrés sur semi-conducteur. Le troisième niveau, dit "réel" est le niveau ultime tenant compte de tout les paramètres technologiques et dimensionnels du composant. Ce dernier niveau peut utiliser deux types de données ; soit des résultats de simulation de type composant, soit des mesures sur des composants réels existant.

Dans cette communication nous nous intéressons à la modélisation des composants optiques sous le second niveau.

## 3. MODELISATION D'UN GUIDE OPTIQUE DIFFUSÉ

Comme montré dans [2], un guide optique est un composant passif à 2 ports. Idéalement ces guides sont sans pertes et sans réflexion. La matrice-S d'un tel guide est alors :

$$\begin{bmatrix} 0 & F \\ F^T & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

où chaque terme est une matrice 2x2 pour prendre en compte les effets de la polarisation et où F est unitaire dans le cas sans perte. Cette matrice prend en compte les paramètres  $\alpha$ , l'atténuation,  $\beta$ , la

constante de propagation. Ces paramètres dépendent des caractéristiques des matériaux constituant le guide tels que les indices du substrat, la longueur du guide, etc...

La forme générique de la matrice F est alors :

$$\begin{bmatrix} e^{(\alpha_x + j\frac{L2\pi n_x \nu}{c})L} \cos(\theta) & j e^{(\alpha_x + j\frac{L2\pi n_x \nu}{c})L} \sin(\theta) \\ j e^{(\alpha_x + j\frac{L2\pi n_x \nu}{c})L} \sin(\theta) & e^{(\alpha_x + j\frac{L2\pi n_x \nu}{c})L} \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (2)$$

où  $L$  représente la longueur du guide,  $n_i$  l'indice effectif de réfraction sur la polarisation  $i$  et  $\nu$  la fréquence du signal optique.  $\theta$  est ici l'angle d'incidence du champ entrant dans le guide.

La représentation schématique de ce guide est donnée Fig.1.a.

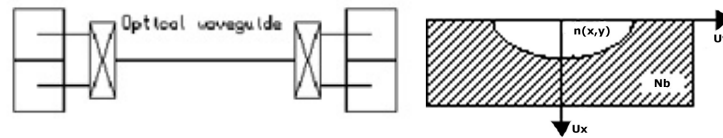


FIG. 1: (a) Représentation schématique d'un guide d'onde optique. (b) Guide diffusé étudié.

Pour un guide diffusé, le calcul d'indice effectif est difficile et pourtant primordial. En effet, ce calcul dépend de nombreux paramètres comme le temps et la température de diffusion, le type de substrat et le sel de diffusion utilisés, le profil de diffusion, etc... [3] Ce guide à la forme de la Fig.1.b.

Un algorithme basé sur la méthode WKB (Wentzel Kramer Brillouin) à été réalisé. Cette méthode consiste à déterminer les points tournant  $xt$  vérifiant l'équation suivante :

$$2k_0 \int_0^{xt} \sqrt{n(x) - n(xt)} dx - \phi_1 - \phi_2 - 2m\pi = 0 \quad (3)$$

L'indice effectif du guide est alors :

$$N_{eff} = n(xt) \quad (4)$$

L'algorithme de calcul utilise la méthode WKB sur chaque tronçon (différents  $y$ ) en partant du profil d'indice du guide  $n(x,y)$ . Nous déterminons ainsi un profil d'indice pour chaque mode  $n_m(y)$ . Ensuite nous recommençons le calcul en utilisant le profil précédemment calculé. Pour réaliser ceci, un outil en visual C++ a été développé (Fig.2.a). En répétant ce calcul pour chaque  $\lambda$  dans la plage de simulation, nous obtenons une courbe (Fig.2.b), interpolable par une équation qui sera alors intégrée dans nos modèles.

Ici, nous étudions un guide réalisé en BK7 diffusé par du potassium pendant 2h. Les résultats sont alors interpolable par des droites d'équation :

$$N_x(\omega) = 1.07413030287495e^{-16}\omega + 1.50901400017881 \quad (5)$$

$$N_y(\omega) = 1.12053563367465e^{-16}\omega + 1.50406201837225 \quad (6)$$

Ensuite ces équations sont implémentées dans notre modèle de composant.

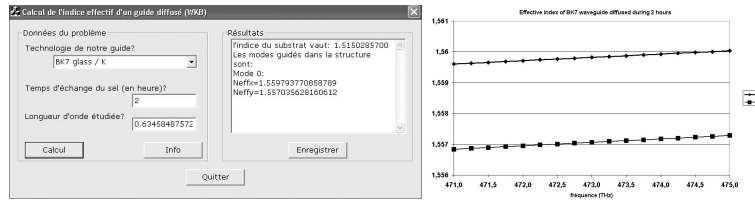


FIG. 2: (a) Outil de calcul d'indice effectif. (b) Résultats obtenus par l'algorithme WKB

#### 4. SIMULATION D'UN CIRCUIT : LE MACH-ZEHNDER INTÉGRÉ SUR VERRE

Considérons le circuit Fig.3.a. Ce circuit représente un Mach-Zehnder intégré sur verre. Il est composé de deux jonctions-Y et de deux guides optiques étudiés précédemment. Le premier guide sera un guide droit de longueur  $L_1$ . Le second guide sera un guide de longueur  $L_2$  de la forme Fig.3.b. Nous supposons ici que la distance entre les différents guides est suffisamment grande pour négliger leurs couplages. Ce guide a pour équation :

$$y(x) = \frac{2h}{L_1}x - \frac{h}{2\pi} \sin\left(\frac{4\pi}{L_1}x\right) \quad (7)$$

Les pertes de courbure peuvent être calculées par la relation ?? où  $C_1$  et  $C_2$  sont deux constantes décrites en [4].

$$\alpha(R) = C_1 \cdot e^{-C_2 \cdot R} \quad (8)$$

Pour notre matériaux,  $C_1 = \dots$  et  $C_2 = \dots$

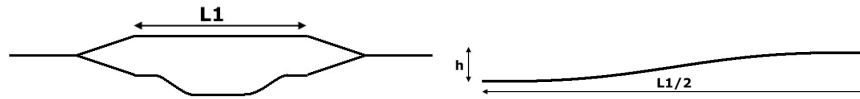


FIG. 3: (a) Structure d'un Mach-Zehnder intégré. (b) Caractéristique du demi-Guide 2

Pour une longueur  $L_1$  de  $20mm$  et un  $h$  de  $0.5mm$ , nous obtenons un  $\Delta_L$  de  $5mm$  donc un pas d'interférence de l'ordre de  $40GHz$  autour de la longueur d'onde centrale  $\lambda_0 = 0.633\mu_m$ . Théoriquement le pas d'interférence est approché par la relation suivante :

$$\Delta_\nu = \frac{c}{n_{eff}L} \approx 40GHz \quad (9)$$

Il y a donc concordance entre simulation et théorie.

#### CONCLUSION

Dans cette communication, nous présentons une approche permettant de simuler des circuits optiques intégrés sur verre. Après avoir calculé les indices effectifs des guides constituant ces circuits, après avoir pris en compte les pertes de courbures, et après avoir intégré les résultats dans un outil de simulation circuit, pour valider notre approche, nous avons simulé un circuit intégré sur verre, le Mach-Zehnder.

#### RÉFÉRENCES

- [1] Yitzhak Weissman, *Optical network theory*, Artech House Boston, 1992.
- [2] Laurent Guilloton, Smaïl Tedjini, Tan-Phu Vuong, *Optical component modeling and circuit simulation using Serenade Suite*, URSI, Maastricht 2002.

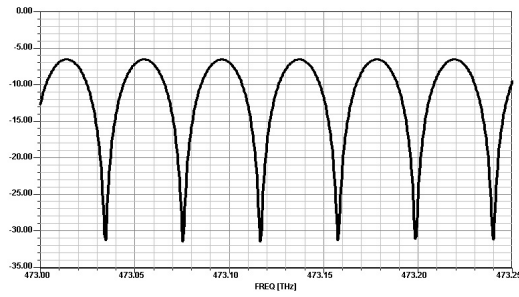


FIG. 4: Réponse fréquentiel de l'interféromètre modélisé

- [3] S. Iraj Najafi, *Introduction to Glass Integrated Optics*, Artech House Boston, 1992.
- [4] William J. Minford, Steven K. Korotky, Rod C. Alferness, *Low-Loss Ti : LiNbO<sub>3</sub> Waveguide Bends at  $\lambda = 1.3\mu_m$* , IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.QE-18, NO.10, October 1982.