

OPTIQUE. — *Étude expérimentale du multiplexage optique en longueur d'onde à l'aide de guides planaires monomodaux.* Note de **Mohamed Lotfi Goma** et **Germain Chartier**, présentée par Pierre Grivet.

On présente une étude expérimentale d'un démultiplexeur optique basé sur le principe du couplage réparti entre deux guides d'onde planaires monomodaux, élaborés par échange ionique dans le verre. L'accord entre l'étude théorique et résultats expérimentaux est démontré dans la zone visible du spectre électromagnétique.

OPTICS. — Experimental study on wavelength optical multiplexing using monomode planar optical waveguides.

We present the experimental results of a study on an optical demultiplexer based on the distributed coupling between two monomode planar optical waveguides fabricated by the ion exchange technique in glass. The agreement between the theoretical study and the experimental results is reasonable in the visible range of the electromagnetic spectrum.

1. INTRODUCTION. — Dans une Note précédente [1] on a présenté une étude théorique sur le multiplexage optique en longueur d'onde à l'aide des guides d'onde planaires monomodaux; ici on vérifie expérimentalement ces prévisions en conservant les mêmes notations. Les calculs ont été faits dans le cas de guides à saut d'indice. La méthode d'élaboration utilisée conduit à des guides à gradient d'indices, mais on peut montrer ([2], [3]) qu'il est toujours possible de définir un guide à saut d'indice équivalent à un guide à gradient d'indice donné, les deux guides ayant même constante de propagation.

Les deux guides peuvent avoir des structures optogéométriques différentes ou identiques. Si les deux guides sont différents, leur couplage ne peut se faire efficacement qu'à une seule longueur d'onde pour laquelle les deux guides, considérés isolés l'un de l'autre, ont même constante de propagation. Par contre lorsque les deux guides sont identiques, les constantes de propagation sont égales, et le couplage peut avoir lieu pour toute longueur d'onde.

Pour multiplexer ou démultiplexer deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 on choisira une longueur de surposition L de telle sorte que l'on ait $L = 2 \cdot l_c(\lambda_2) = l_c(\lambda_1)$, où $l_c(\lambda_2)$ et $l_c(\lambda_1)$ désignent les longueurs de couplage relatives aux deux longueurs d'onde λ_2 et λ_1 .

La présence de la gaine de silice qui entoure le cœur de la fibre entraîne évidemment des difficultés pratiques pour rapprocher les cœurs des deux fibres. On peut procéder à un polissage tangentiel des deux fibres [4], on peut également fondre ensemble les deux fibres préalablement torsadées [5]. Ces deux méthodes peuvent convenir pour faire des coupleurs ou des diviseurs de signaux; elles sont mal adaptées à la réalisation de multiplexeur, dans ce dernier cas il faut en effet un très bon contrôle de la distance entre les deux cœurs et des valeurs des indices de réfraction du cœur et de la gaine.

On propose ici de réaliser les deux guides à coupler par des méthodes d'optique planaire: on a ainsi un contrôle plus aisé des valeurs des indices et du positionnement des deux guides.

2. TECHNOLOGIE DES GUIDES. — Les guides utilisés sont fabriqués par échange ionique entre une lame de verre sodo-calciqne et un bain d'électrolyte fondu $M^+ A^-$ [6]. L'accroissement superficiel d'indice de réfraction qui est nécessaire pour obtenir un guide optique, est consécutif à un échange qui se produit entre les ions M^+ du bain fondu et les ions Na^+ du verre.

Cette technique est d'abord très simple de mise en œuvre, elle permet de plus de régler l'épaisseur du guide (en jouant sur la durée et la température de l'échange) ainsi que la

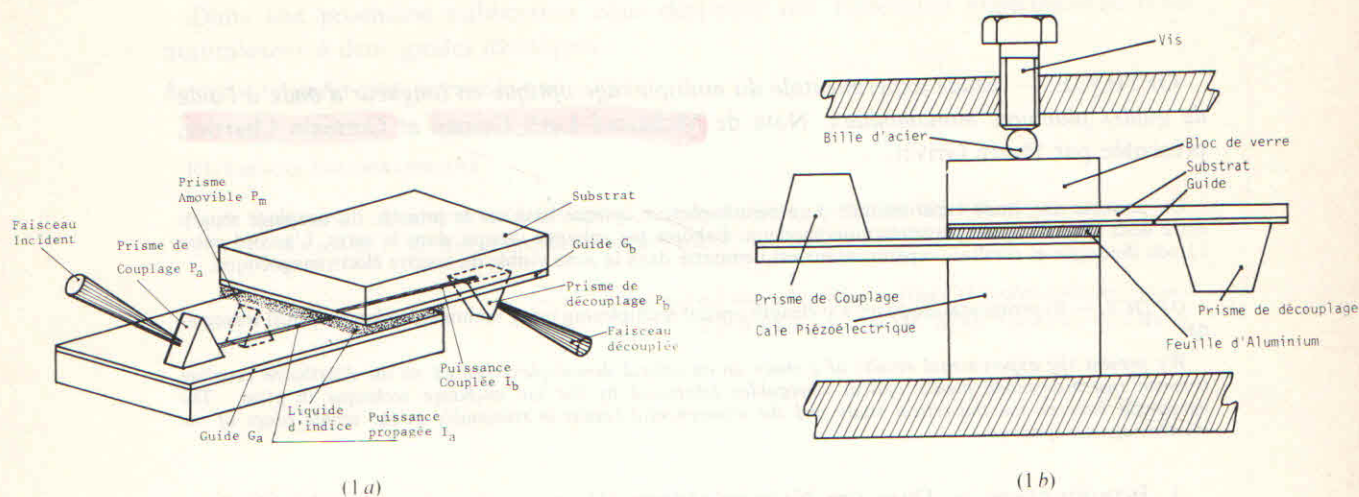


Fig. 1

valeur de l'indice de réfraction du guide (en diluant le sel $M^+ A^-$ dans un sel de sodium fondu). Les lames de verre utilisées sont des lames « porte-objet » de microscope; le bain d'électrolyte a la composition suivante : 0,45 mole de $AgNO_3$ pour 99,55 moles de $NaNO_3$; les échanges ioniques se font à la température de $380^\circ C$ et ont une durée de 1 mn. Les guides obtenus sont à gradient d'indice de réfraction et la loi de variation de l'indice de réfraction $n(x)$, en fonction de la profondeur x dans le verre prend la forme :

$$(1) \quad n(x) = n_s + \Delta n \cdot \operatorname{erfc}(x/\delta).$$

Où n_s est l'indice du substrat et vaut 1,51; Δn est l'accroissement superficiel d'indice dû à l'échange d'ion et vaut 0,04; δ qui est l'épaisseur du guide est de l'ordre de 2μ . Dans ces conditions, le guide est monomodal pour les longueurs d'onde utilisées ($0,488$ à $0,6328 \mu$).

3. STRUCTURE ET CARACTÉRISATION DU COUPLEUR. — La figure 1a montre le principe du dispositif : deux guides sont disposés parallèlement l'un à l'autre. On couple la lumière à l'un des deux guides à l'aide d'un prisme de couplage. Alors la lumière passe dans l'autre guide, et l'on peut découpler par un autre prisme.

Deux bandes d'aluminium parallèles et d'épaisseur d_0 bien calibrée sont intercalées entre les deux guides (fig. 1b) et servent à régler l'épaisseur de l'interstice, c'est-à-dire à régler le couplage. Une goutte d'un liquide d'indice n_0 est infiltrée par capillarité entre les deux guides. On a utilisé des bandes d'aluminium d'épaisseurs respectivement égales à $1,5$, 3 et 6μ ; l'indice n_0 est réglable de $1,51$ à $1,52$ en jouant sur la composition d'un mélange qui sert de liquide d'indice. Les deux lames sont fortement pressées l'une contre l'autre par l'intermédiaire d'une vis et d'une cale piézoélectrique qui les plaquent sur un bloc de verre bien plan.

Enfin la longueur de superposition L est réglable en faisant coulisser avant d'appliquer la pression, les deux guides le long l'un de l'autre.

Grâce au prisme de couplage P_a de la figure 1a on excite le guide G_a dans lequel on envoie un faisceau lumineux de puissance I_a . Pour mesurer I_a , on découple le faisceau se propageant dans le guide G_a avec un prisme amovible P_m placé juste derrière le prisme de couplage P_a . Le couplage réparti [7] fait passer dans le guide G_b de la lumière que le prisme P_b découple vers l'extérieur, soit I_b l'intensité de la lumière dans le guide G_b . Les

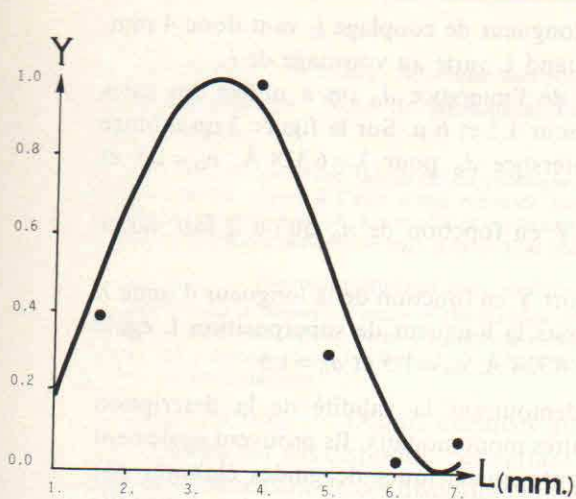


Fig. 2

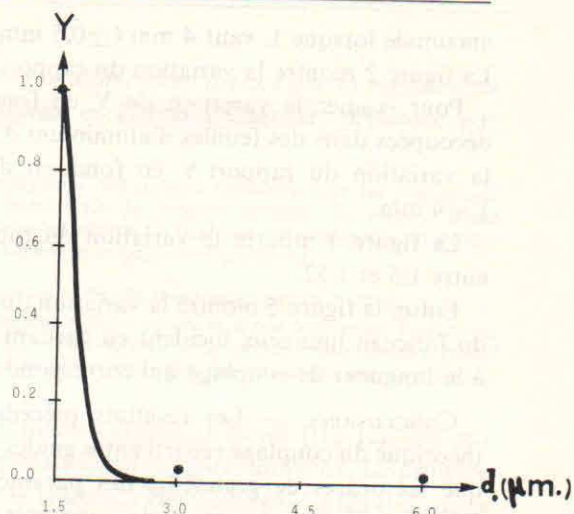


Fig. 3

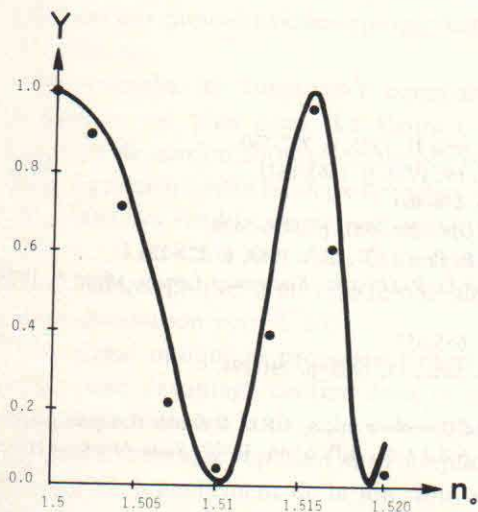


Fig. 4

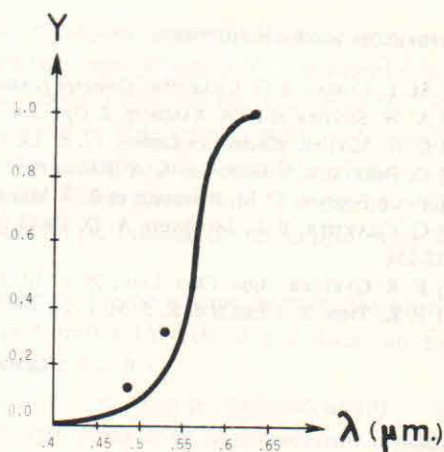


Fig. 5

perdes de couplage mesurées sont de l'ordre de 11 dB, elles proviennent des imperfections du montage expérimental, l'énergie correspondante étant rayonnée dans le substrat.

On mesure le rapport $Y = I_b/I_a$ en fonction de la longueur de superposition L , de l'indice du liquide n_0 , de la séparation d_0 entre les deux guides, et enfin de la longueur d'onde λ . On a utilisé comme source de lumière un laser He-Ne ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$) et un laser à argon ($\lambda = 4880$ ou 5145 \AA). On a mesuré, par la méthode des lignes « m » [8], l'indice effectif N_{eff} du mode guidé. Des mesures de champs proches conduisent à attribuer au guide une épaisseur $e = 1,5 \mu$. Pour les applications numériques nous avons considéré un guide d'épaisseur e , d'indice constant N_{eff} et reposant sur un substrat d'indice n_s [3]. Les figures 2, 3, 4 et 5 indiquent le rapport Y mesuré (points expérimentaux) et calculé théoriquement (courbes continues). Les mesures sont normalisées par rapport à la valeur maximale du Y .

Pour déterminer la longueur de couplage (à $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, $d_0 = 1,5 \mu$, et $n_0 = 1,5$) on a essayé plusieurs valeurs de la longueur de superposition L . La puissance découplée est

maximale lorsque L vaut 4 mm ($\pm 0,5$ mm), la longueur de couplage l_c vaut donc 4 mm. La figure 2 montre la variation du rapport Y quand L varie au voisinage de l_c .

Pour étudier la variation de Y en fonction de l'interstice d_0 on a utilisé des cales découpées dans des feuilles d'aluminium d'épaisseur 1,5 et 6 μ . Sur la figure 3 on montre la variation du rapport Y en fonction de l'interstice d_0 pour $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, $n_0 = 1,5$ et $L = 4$ mm.

La figure 4 montre la variation du rapport Y en fonction de n_0 qu'on a fait varier entre 1,5 et 1,52.

Enfin, la figure 5 montre la variation du rapport Y en fonction de la longueur d'onde λ du faisceau lumineux incident en gardant toujours la longueur de superposition L égale à la longueur de couplage qui correspond à $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, $n_0 = 1,5$ et $d_0 = 1,5$.

CONCLUSIONS. — Les résultats précédents démontrent la validité de la description théorique du couplage réparti entre guides planaires monomodaux. Ils prouvent également que les ordres de grandeurs des paramètres optogéométriques de guides élaborés par échange d'ions permettent de concevoir, à partir de cette technologie, des dispositifs multiplexeurs en longueur d'onde.

Remise le 20 mai 1985, acceptée le 26 juillet 1985.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M. L. COMAA et G. CHARTIER, *Comptes rendus*, 300, série II, 1985, p. 727-730.
- [2] A. W. SNYDER et R. A. SAMMUT, *J. Opt. Soc. Amer.*, 69, 1979, p. 1663-1671.
- [3] C. A. MILLAR, *Electronics Letters*, 17, n° 13, 1981, p. 458-460.
- [4] O. PARRIAUX, S. GIDON et A. A. KUZNETSOV, *Appl. Opt.*, 20, 1981, p. 2420-2423.
- [5] F. DE FERNEL, C. M. RAGDALE et R. J. MEARS, *I.E.E. Proc.*, 131, n° 4, 1984, p. 221-228.
- [6] G. CHARTIER, P. C. JAUSSAUD, A. D. DE OLIVEIRA et O. PARRIAUX, *Electronics Letters*, 14, n° 5, 1978, p. 132-134.
- [7] F. R. GFELLER, *Appl. Phys. Lett.*, 29, n° 10, 1976, p. 655-657.
- [8] P. K. TIEN, R. ULRICH et R. J. MARTIN, *Appl. Phys. Lett.*, 14, 1969, p. 291-294.

Laboratoire d'Optoélectronique, GRECO Ondes Optiques guidées,
E.N.S.I.E.G., B.P. n° 46, 38402, Saint-Martin-d'Hères.