

OPTOLIAISONS :

LES LASERS

LES MODULATEURS INTEGRES

LA nécessité d'augmenter la capacité des ensembles de transmission de l'information, et les progrès récents dans la fabrication des fibres optiques à faibles pertes ont poussé les chercheurs à s'intéresser aux systèmes de communications optiques. Dans ces systèmes, la ligne de transmission classique peut être remplacée par une fibre, et les composants tels que source, amplificateurs, modulateurs et multiplexeurs peuvent être remplacés par des dispositifs optiques, réalisés sous forme « intégrée ».

INDISPENSABLE : UN MODULATEUR

Dans tout système de communications, il est indispensable de disposer d'un élément modulateur ou commutateur. De nombreuses techniques ont été proposées pour modu-

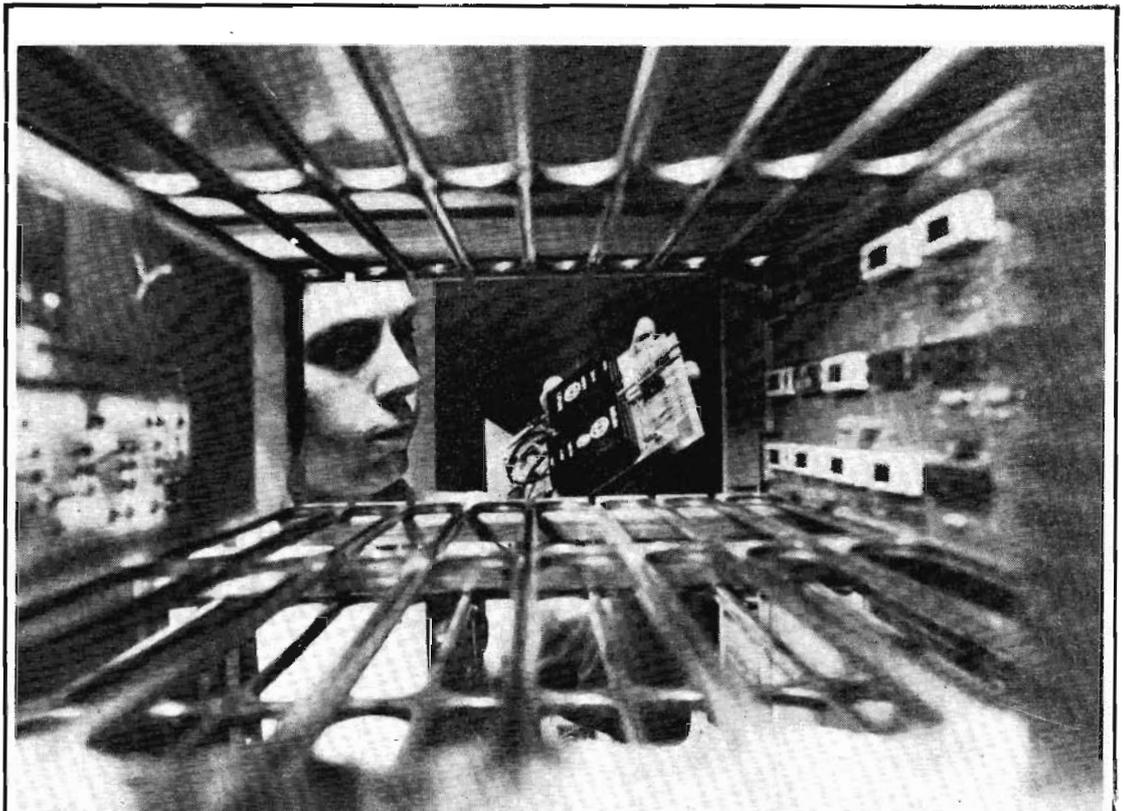


Photo 1. - L'optoliasion devient une réalité industrielle : des essais sur sites démarrent, des prototypes sont en phase d'expérimentation. (Cliché Bell Telephone Lab.).

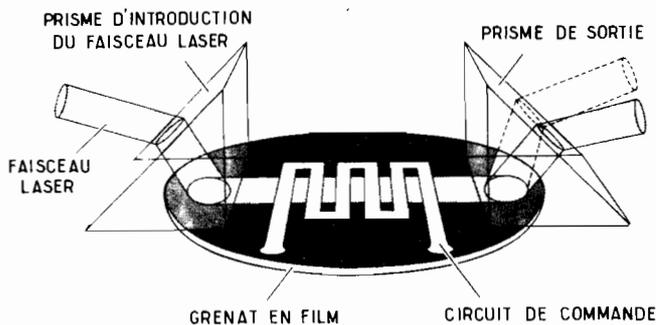


Fig. 1. - Commutateur magnéto-optique intégré à serpentín, réalisé par P.K. Tien aux Bell Laboratories.

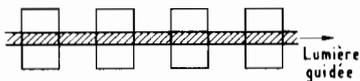


Fig. 2. - Dans le modulateur de S.C. Tseng, la lumière traverse une structure périodique à base de rectangles en permalloy.

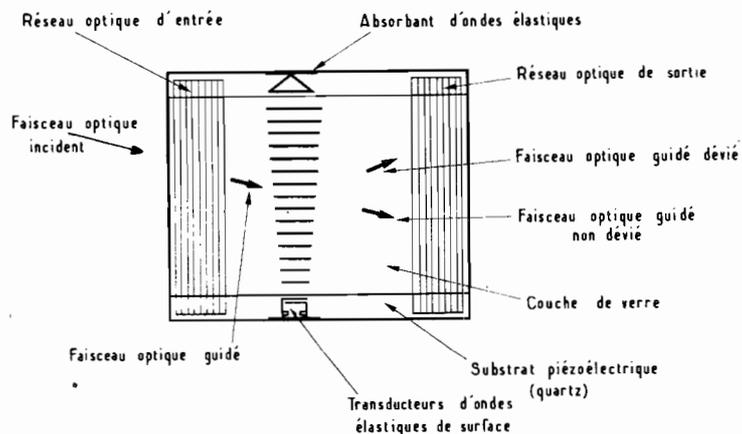


Fig. 3. - Déviateur acousto-optique.

ler un faisceau lumineux se propageant dans un guide optique. En particulier, trois techniques s'adaptent bien à l'optique intégrée : les modulations magnéto-optique, acousto-optique et électro-optique.

Les dispositifs magnéto-optiques sont basés sur l'interaction d'une onde électromagnétique avec un milieu magnétique ; en hyperfréquence, on utilise couramment ce phénomène pour réaliser des déphaseurs, des isolateurs et des circulateurs. Il était donc naturel d'étendre la portée de ces techniques à l'optique intégrée : les premiers travaux, en 1972, ont porté sur le guidage de la lumière infrarouge (longueur d'onde de 1,152 micron) dans une couche magnétique ; les matériaux utilisés dans les expériences de P.K. Tien aux Bell Telephone Laboratories étaient des grenats de fer (formule $Y_3 Ga_{1,1} Sc_{0,4} Fe_{3,5} O_{12}$), contenant de l'yttrium, du gallium et du scandium ; ils étaient déposés sur un film de grenat de gallium et gadolinium $Gd_3 Ga_5 O_{12}$ (dits « G.G.G. »). Avec ces matériaux, Tien a obtenu une modulation de la lumière guidée jusqu'à 80 MHz (fig. 1).

Un second type de couche a

été réalisé par S.C. Tseng, chez I.B.M. La composition de la couche est $Y_{2,5} Gd_{0,5} Ga_1 Fe_4 O_{12}$, le substrat étant toujours du grenat « G.G.G. » (fig. 2).

Aux Laboratoires de Recherches de Thomson-CSF, G. Hepner et B. Desormière ont élaboré par épitaxie en phase liquide, des couches de grenat de fer et d'yttrium (dit « YIG »), sur lesquelles ont été déposées des structures périodiques, semblables soit aux « serpentins » proposés par P.K. Tien, soit aux rectangles en permalloy de S.C. Tseng.

Pour agir par effet magnéto-optique sur la lumière guidée, il faut pouvoir faire tourner l'aimantation du matériau dans le plan de la couche traversée par la lumière. On doit réaliser des couches à « plan facile » d'aimantation ; ces couches sont fabriquées avec des grenats ferrimagnétiques.

LES MODULATEURS À ONDES ÉLASTIQUES DE SURFACE

L'interaction entre la lumière et les ondes élastiques (ultrasons par exemple) a été

mise en évidence voici plus de 40 ans par R. Lucas, P. Biquard, P. Debye et F.W. Sears. Mais c'est seulement depuis le développement du laser que ce phénomène physique a été utilisé.

Un déviateur acousto-optique (encore dénommé photo-élastique) est constitué d'une couche-guide de lumière déposée sur un substrat, d'un transducteur d'ondes élastiques de surface (ce sont des micro-ondes acoustiques ou des ultrasons de très haute fréquence), et de deux dispositifs de couplage entre le guide et le milieu ambiant. Le transducteur d'ondes élastiques de surface est composé de deux électrodes en forme de peignes à dents intercalées, gravées sur la surface d'un matériau piézo-électrique (fig. 3).

La largeur des dents est égale au quart de la longueur d'onde acoustique, soit environ 8 microns à 100 MHz. On a utilisé, au Laboratoire Central de Recherches de Thomson-C.S.F. des substrats piézo-électriques en quartz cristallin recouvert d'une couche de verre, ou en niobate de lithium comportant en surface une variation d'indice, causée par une « exo-diffusion » du lithium.

Les ondes élastiques de surface (dites « ondes de Rayleigh ») se déplacent à la surface des corps solides ; leur profondeur de pénétration est de l'ordre de la longueur d'onde, soit environ 32 microns pour une fréquence de 100 MHz. Les ondes de Rayleigh sont particulièrement faciles à émettre à la surface des matériaux piézo-électriques.

L'interaction du faisceau lumineux guidé et de l'onde élastique de surface se traduit par une déviation partielle du faisceau lumineux, suivant un angle qui est fonction de la fréquence de l'onde élastique. Les déviateurs expérimentés ont des fréquences de fonctionnement de quelques centaines de mégahertz ; cependant des transducteurs de fréquence centrale égale à 1 GHz environ avec des bandes passantes de plusieurs centaines de mégahertz ont été réalisés chez Thomson-CSF à l'aide d'un masqueur électronique. Le nombre de directions suivant lesquelles un faisceau peut être dévié, atteint alors le millier : un tel déviateur opto-élastique pourrait servir comme multiplexeur ou démultiplexeur, ou encore comme modulateur d'amplitude.

LES MODULATEURS ÉLECTRO-OPTIQUES SEMBLENT PLUS PROMETTEURS



Fig. 4. - Coupleur directionnel.

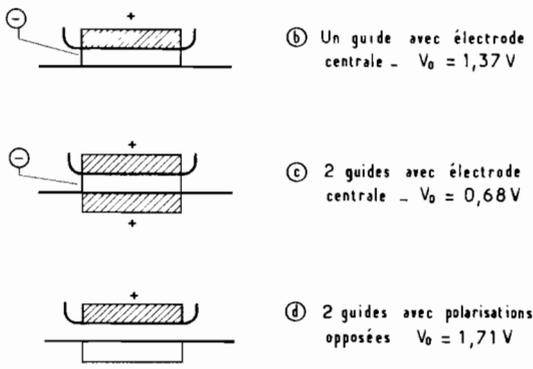
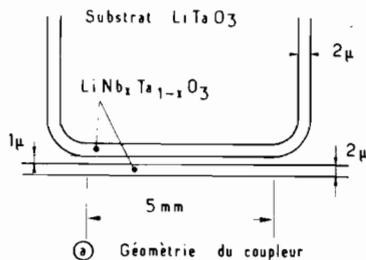


Fig. 5. - Géométrie de coupleur commandé électriquement. Les tensions de commutation (V_0) sont toutes inférieures à 2 V ; la puissance de commande correspondante est, dans tous les cas, inférieure à 40 mW, avec des bandes passantes pouvant être supérieures à 2 GHz. On a ainsi la possibilité de réaliser un commutateur binaire rapide qui est commandable avec des niveaux de circuits intégrés électroniques classiques.

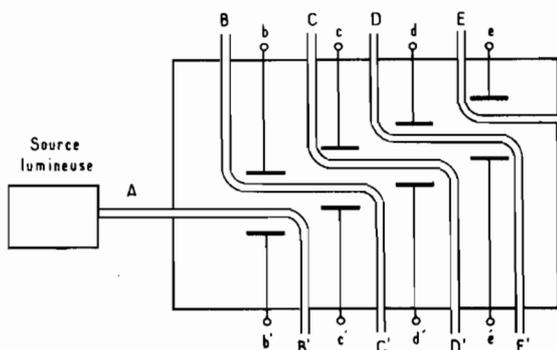


Fig. 6. - Registre à décalage électro-optique. La lumière y pénètre en A et sort en B', C', D', E' ou plusieurs de ces sorties selon les tensions appliquées sur les paires d'électrodes (bb'), (cc')...

Un matériau électro-optique possède un indice de réfraction qui varie lors de l'application d'un champ électrique ; si l'indice varie, il en est de même du trajet effectif de la lumière, ce qui se traduit par une variation de la phase de l'onde lumineuse sortant du matériau. La variation d'indice du milieu électro-optique est proportionnelle au champ appliqué : c'est l'effet électro-optique linéaire, ou effet Pockels. Selon que le champ électrique est perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau lumineux, ou lui est parallèle, la modulation par effet électro-optique est dite longitudinale ou transverse.

Aux Laboratoires de Thomson-C.S.F., un modulateur par effet électronique transverse a été réalisé dans un barreau de tantalate de lithium (Li Ta O_3). Il s'est avéré que le rapport d/L de la distance entre électrodes à la longueur L du trajet optique dans ce barreau, présente une importance capitale : on caractérise en effet un modulateur électro-optique par la tension qu'il faut lui appliquer pour créer un déphasage de 90 degrés, et cette tension est proportionnelle à L/d . Pour le Li Ta O_3 , si L et d sont égaux, cette tension est de 2 kV, tension énorme, qui conduit à des systèmes d'amplification complexes pour obtenir une modulation efficace. En optique intégrée, on peut obtenir assez facilement des facteurs L/d de l'ordre de 50, voire plus : avec un espace interélectrodes (d) de 10 microns, une longueur d'électrodes (L) de 1 cm, le facteur L/d vaut 1 000 ; les tensions à utiliser seraient alors de quelques volts et la puissance de commande inférieure à 50 mW, permettant ainsi la réalisation d'un modulateur de lumière pouvant être

commandé directement par les niveaux logiques habituels.

A partir de ces principes, Thomson-C.S.F. a étudié un « coupleur directionnel commandé électriquement », destiné à constituer un Commutateur Binaire Rapide (COBRA). Ce coupleur est constitué de deux guides d'ondes I et II (fig. 4), séparés d'une distance d sur une longueur L .

Si une onde parcourt le guide I, il y a échange d'énergie par l'intermédiaire des ondes évanescentes qui existent dans la région entre les deux guides ; lorsque la longueur L est convenablement choisie, il peut y avoir échange total d'énergie entre les deux guides.

Pour commander ce coupleur, on peut soit faire varier le coefficient de couplage entre les guides en modifiant l'indice du milieu intermédiaire ; soit modifier la constante de propagation de l'un des guides en modifiant son indice ; soit encore modifier les constantes de propagation des deux guides. Les deux dernières méthodes sont les plus efficaces.

On modifie l'indice d'un matériau électro-optique (par exemple du tantalate de lithium), par application d'un champ électrique. Diverses configurations (fig. 5) peuvent être envisagées : dans la première, le champ est appliqué à un seul guide par l'intermédiaire d'une électrode centrale ; dans la seconde, on applique un champ opposé dans chacun des deux guides par l'intermédiaire d'une électrode centrale ; dans la troisième, on applique un même champ électrique sur les deux guides (sans électrode centrale), mais les deux guides ont été au préalable polarisés de telle manière que leurs polarisations soient opposées.

Cette dernière méthode est intéressante car elle évite la présence de l'électrode centrale de faibles dimensions, difficile à réaliser. Dans tous les cas, les tensions mises en jeu sont inférieures à 2 V ; la

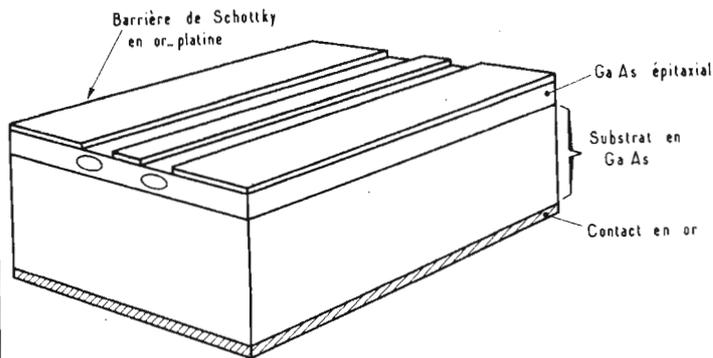


Fig. 7. - Le coupleur directionnel électro-optique de Texas Instruments est formé de deux fentes dans le revêtement métallique d'une couche de Ga As. L'indice de réfraction « effectif » du Ga As est plus faible sous le revêtement de métal que sous les zones non protégées par ce revêtement, de sorte que la lumière se trouve confinée sous ces dernières. La commutation optique est réalisée en appliquant un champ électrique sur l'un ou l'autre des guides ainsi créés.

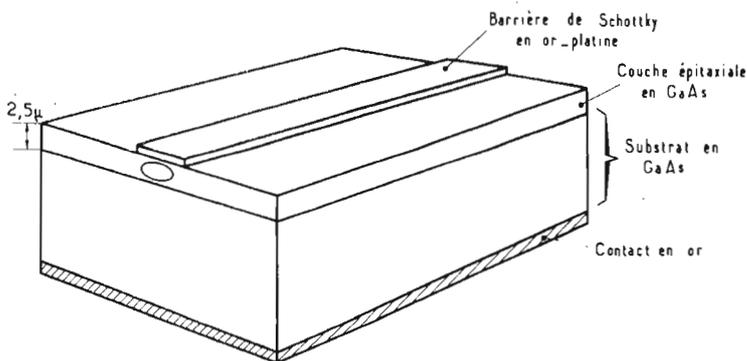


Fig. 8. - Dans ce modulateur électro-optique de Texas Instruments, un ruban métallique est formé sur la couche épitaxiale de Ga As. Lorsque le ruban n'est pas polarisé, la lumière se propage en s'étalant dans toute la couche épitaxiale; cependant lorsqu'on le polarise en inverse, la lumière injectée dans la couche est « piégée » sous le ruban, et s'y trouve confinée. La largeur de bande d'un tel dispositif est supérieure au gigahertz.

puissance de commande est inférieure à 40 mW avec des bandes passantes supérieures à 2 GHz : on a donc la possibilité de réaliser, grâce à l'optique intégrée, un commutateur binaire rapide qui peut être commandé par des circuits intégrés électroniques classiques.

Aux Laboratoires de Recherches de Thomson-C.S.F. a été étudié un guide d'onde dans du niobate de lithium (formule : Li Nb O_3) obtenu par exodiffusion. C'est I.P. Kaminow qui le premier, a décrit cette technique de réalisation des guides d'ondes dans du niobate de lithium ou du tantalate de lithium (Li Ta O_3) : on affecte au cristal un indice « extraordinaire » qui varie avec la composition chimique du cristal ; si on modifie superficiellement la composition, on peut créer un matériau dont l'indice extraordinaire en surface est plus grand qu'au cœur du cristal et donc, une structure pouvant guider la lumière. Pour ce faire, on chauffe sous vide un cristal de Li Nb O_3 ou Li Ta O_3 à 1 000 °C : le lithium diffuse hors de la surface et crée la variation de composition nécessaire à la réalisation de la structure désirée. En déposant

des électrodes sur un tel guide d'onde, on obtient un modulateur de phase, qui pourrait servir dans de nouveaux systèmes de traitement de l'information (fig. 6).

D'autres travaux de recherches sont en cours au Japon et aux Etats-Unis. Par exemple, chez Texas Instruments un coupleur électro-optique en arséniure de gallium a été réalisé (fig. 7) ; une technologie similaire a été mise en œuvre pour constituer un modulateur électro-optique (fig. 8).

La plupart des recherches précédentes ont été réalisées avec des lasers travaillant dans le proche infrarouge. Au Washington University de Saint-Louis (Missouri - USA) W.S.C. Chang étudie la modulation d'ondes dont la longueur se situe dans l'infrarouge plus lointain (10,6 microns). Dans ce cas, le meilleur matériau pour les guides optiques est encore l'arséniure de gallium, obtenu par épitaxie sur des substrats en Ga As, en Ga (As P) ou en (Ga Al) As.

Marc FERRETTI

ON LIRA AVEC INTÉRÊT...

« Propagation de lumière guidée dans une couche magnétique », par G. HEPNER et B. DESORMIERE - Revue Thomson C.S.F., Vol. 6, N° 4 (Déc. 1974).

« Switching and modulation of light in magneto-optic waveguides of garnet films », par P.K. TIEN, R.J. MARTIN, R. WOLFE, R.C. LE CRAW et S.L. BLANK - Appl. Phys. Lett. Vol. 21, N° 8 (15 oct. 1972).

« Déviateur de lumière guidée utilisant l'interaction avec les ondes élastiques de surface », par P. HARTEMANN - Revue Thomson-C.S.F., Vol. 6 N° 4 (déc. 1974).

« Integrated Optics », par W.S.C. CHANG, M.W. MULLER et F.J. ROSENBAUM - Laser Applications, Vol. 2 (Academic Press - 1974).

« Modulateurs électro-optiques de lumière guidée », par M. PAPUCHON - Revue Technique Thomson-CSF, Vol. 6 N° 4 (déc. 1974).

« L'optique intégrée », par D. OSTROWSKI - La Recherche, Vol. 6 N° 59 (sept. 1975).

« Integrated Optics Technology », par R.A. ANDREWS

- Naval Research Reviews (janv. 1973).

« Electro-optic waveguide modulators and switches », par J.M. HAMMER - Communication présentée au « Second IEEE/OSA Topical Meeting on Integrated Optics » (New Orleans, janv. 1974).

« Ga As Electro-Optic Directional Coupler Switch », par J.C. CAMPBELL, F.A. BLUM, D.W. SHAW, K.L. LAWLEY - Applied Physics Letters (1^{er} août 1975).

« Ga As Electro-Optic Channel-waveguide Modulator », par J.C. CAMPBELL, F.A. BLUM, D.W. SHAW - Applied Physics Letters (1^{er} juin 1975).

« An analysis of UHF-VHF electro-optical modulation at 10,6 microns wavelength in Ga As thin film waveguides », par W.S.C. CHANG et Ton Ko - Wave Electronics (à paraître).

« Components for integrated optics », par A. YARIV - Laser Focus (déc. 1972).

« L'usage aux électrons », par Marc FERRETTI - Electronique Professionnelle (16 janvier 1975).

« L'optique intégrée », par E. CATIER - Electronique et Microélectronique Industrielles (15 mars 1975).