Extrait ANNALES DES TÉLÉCOMMUNICATIONS, tome 38, nos 1-2
Janvier - Février 1983

Rapport sur le Colloque international consacré à la théorie des guides optiques

Jacques ARNAUD *

Analyse

Des problèmes théoriques relatifs aux télécommunications optiques, aux capteurs, lasers et dispositifs d'imagerie ont été discutés de façon informelle par quarante scientifiques au « Colloque international sur la théorie des guides optiques ». La réunion s'est tenue juste avant la Conférence européenne sur les communications optiques (ECOC, Cannes, sept. 82) au Centre inter-régional d'enseignement sur les télécommunications (CIRET) à La Londe. Un rapport concis est présenté.

Mots clés : Congrès, Propagation onde, Guide onde optique, Fibre optique, Guide onde multimode, Guide onde non linéaire, Laser semiconducteur, Laser guide onde.

A REPORT ON THE INTERNATIONAL WORKSHOP DEVOTED TO THE THEORY OF OPTICAL WAVEGUIDES

Abstract

Theoretical problems relating to optical communication, sensors, lasers and imaging have been discussed in an informal manner by fourty scientists at the « International workshop on the theory of optical waveguides ». The meeting was held just before European conference on optical communication (ECOC, Cannes, Sept. 82) at the Inter-regional center for telecommunication training (CIRET) in La Londe. A brief report is presented here.

Key words : Conference, Wave propagation, Optical waveguide, Optical fibre, Multimode waveguide, Semiconductor laser, Waveguide laser.

Quarante spécialistes de la théorie de la propagation des ondes dans les guides optiques se sont réunis quelques jours avant la Conférence européenne sur les communications optiques (ECOC) au siège du CIRET à La Londe, non loin de Toulon. Le CIRET est un centre d'enseignement des télécommunications. Les organisateurs du colloque tiennent à remercier cette organisation pour son hospitalité.

Le but du Colloque est de préciser la nature des problèmes théoriques les plus pressants posés par les applications, d'éclaircir les difficultés de principe et de bien poser les problèmes qui n'ont pas encore reçu de solution satisfaisante. Naturellement, certaines approximations peuvent paraître acceptables par certains et laisser d'autres théoriciens insatisfaits. La variété des tempéraments s'est bien exprimée au cours du colloque. Après quelques exposés introductifs, les échanges entre les participants ont été informels, les discussions vives et ouvertes.

Nous avons tout d'abord passé en revue les applications des guides optiques. Celles-ci sont, semble-t-il, par ordre d'importance : les télécommunications (fibres multi- et unimodales) et les lasers à injection, qui constituent les préoccupations principales d'ECOC, mais aussi les capteurs et la transmission directe d'images.

En ce qui concerne les différents types de guides optiques, on pourrait, de façon un peu humoristique, les classer de la façon suivante :

— les guides du passé : les fibres multimodales,

— les guides du présent : les fibres unimodales,

— les guides de l'avenir (?) : les fibres unimodales en régime non linéaire.

Je ne pourrai donner ici que quelques indications quant à la nature des sujets discutés.

La *fibre optique multimodale* est d'un emploi très pratique, et il serait exagéré de dire que les problèmes

* Université des sciences et techniques du Languedoc, Place E.-Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

d'optimisation de profils d'indice, de concaténation et de caractérisation sont résolus, ou que la solution de ces problèmes ne soit pas d'un intérêt pratique. La bande passante de beaucoup de fibres commerciales ne dépasse pas 500 MHz.km alors que la limite théorique est de 10 GHz.km.

D'autre part, la bande passante peut être optimisée à N longueurs d'onde si l'on dispose de N dopants, avec des profils d'indice faisant intervenir plusieurs puissances alpha (α) de la distance à l'axe, certains α pouvant être négatifs [1]. Ce type de solution est cependant difficile à mettre en pratique et il restera peut-être d'intérêt académique.

Les modes se propageant dans une fibre multimodale se présentent souvent par groupe, les modes du même groupe étant dégénérés, c'est-à-dire ayant le même exposant linéique. L'hypothèse est presque toujours faite que les couplages dus aux déformations de la fibre tendent à égaliser la puissance parmi les différents modes du groupe. Les limites dans lesquelles cette hypothèse est valable viennent d'être précisées par des mesures (*). Ce résultat expérimental suggère que, contrairement à ce qui est généralement admis, le mécanisme principal responsable du mélange des modes serait l'écrasement plutôt que la microcourbure.

En ce qui concerne les méthodes d'analyse des fibres multimodales, la théorie des rayons reste, par sa simplicité de principe, la plus appréciée. Cependant les choses se compliquent à nouveau si la source excite un grand nombre de rayons. Si la source a une faible cohérence, la théorie du transfert radiatif peut alors prendre le relais. Les expériences de rétrodiffusion s'accordent bien avec cette théorie statistique [2]. Dans ce type d'expériences, il faut souvent tenir compte des couplages de mode le long de la fibre et des joints [3].

Comme on le sait, les fibres dites *unimodales*, sont susceptibles de transmettre en fait deux modes, correspondant à deux états orthogonaux de polarisation. Si la fibre est circulaire, ces deux modes électromagnétiques sont dégénérés, c'est-à-dire ont le même exposant linéique. En raison de cette dégénérescence, ces modes sont facilement couplés, et l'état de polarisation à l'extrémité de la fibre est incertain. Des mesures récentes ont montré que l'état de polarisation varie très lentement à l'extrémité de la fibre, ce qui suggère des méthodes de contrôle actif. Cependant, le contrôle actif ne paraît guère pratique pour le raccord de composants (amplificateurs optiques, modulateurs...) et l'on se pose toujours le problème de fabriquer des fibres optiques qui maintiennent la polarisation en levant la dégénérescence. De telles fibres ont été réalisées, mais avec des pertes notablement plus élevées que celles des fibres circulaires. Dans ces fibres à maintien de polarisation, on introduit des contraintes mécaniques au moment du fibrage [4-6]. On peut chercher à aller plus loin dans cette voie et réaliser des fibres qui ne transmettent véritablement qu'un seul état de polarisation. Le principe consiste à construire une préforme composée de secteurs d'angle au sommet voisin de 90° occupés par des matériaux dont les coefficients de dilatation thermiques sont différents. Mais la rupture de la fibre est une limite. En outre, le changement d'indice Δ doit être assez grand. Du point de vue expérimental, il n'existe pas encore d'indications précises de propagation strictement unimodale. Dans les fibres actuelles, les déformations, même locales, dépolarisent l'onde [7].

Du point de vue théorique, le matériau de ces fibres, ainsi que celui des modulateurs électro-optiques, est caractérisé localement par une permittivité tensorielle. La méthode numérique de propagation de faisceau (en anglais : propagating beam method) qui s'avère extrêmement utile pour traiter les guides tridimensionnels isotropes, n'a pas jusqu'ici été étendue aux milieux localement anisotropes (voir cependant [8]).

Un autre aspect de la propagation unimodale est celui du guidage d'une onde par une hétérojonction. C'est le problème du laser. La session traitant des lasers a été animée par Streifer, qui a introduit la théorie de la largeur spectrale et discuté l'influence du facteur d'astigmatisme K de Petermann [9]. L'émission spontanée dans chaque mode d'un laser est proportionnel à K. Pour les lasers à guidage par l'indice dans le plan de la jonction, tels que les lasers à jonctions enterrées, K est unité, tandis que pour les lasers à guidage par le gain, K peut atteindre 40 ou 50. Ces valeurs élevées sont calculées pour des modèles réalistes qui tiennent compte d'une décroissance exponentielle du champ optique en dehors de la région où le courant est injecté. Durant le colloque, Marcuse a réfuté un argument selon lequel K devrait nécessairement être égal à l'unité. Dans un travail récent [10], Streifer a montré que le facteur K détermine le spectre des modes longitudinaux du laser. Une grande valeur de K entraîne un gain comparable pour de nombreux modes longitudinaux, et de ce fait, une grande largeur spectrale. Cette analyse paraît être confirmée par l'expérience. Petermann a présenté des valeurs de $K \approx 15 - 25$, pour des lasers en V, valeurs déterminées à partir de mesures du champ proche et du champ lointain. Ces résultats sont également en accord avec les spectres.

Adams [11] a décrit l'évolution du spectre du laser en régime transitoire. Les oscillations de relaxation des électrons et des photons font apparaître des oscillations de la longueur d'onde à laquelle le gain est maximal, par rapport aux longueurs d'onde de résonance des modes. Il en résulte que les modes de courtes longueurs d'onde apparaissent au début de l'impulsion et sont ultérieurement remplacés par des modes de plus grande longueur d'onde. Des structures qui évitent l'apparition de modes parasites en régime transitoire ont été décrites par Iga : le laser DBR [12] et le laser émettant en surface [13]. Le premier type de laser est unimodal à une fréquence de modulation de 1,8 GHz et présente seulement un élargissement de raie de 0,3 nm dû au changement d'indice avec la concentration des porteurs. Le second type de laser a une longueur de cavité de 10 μm de long, et les modes longitudinaux sont séparés de 17 nm. Malheureusement, il ne peut fonctionner actuellement qu'à une température inférieure à 77 K.

Les problèmes des *fibres non linéaires* se posent de deux façons : effets nocifs et effets utiles. L'effet Raman stimulé peut limiter la puissance susceptible d'être injectée dans une fibre et par conséquent la distance entre répéteurs.

D'autre part, l'effet Kerr optique limite actuellement la sensibilité des gyroscopes à fibre, malgré la faible puissance de la source, en introduisant des réflexions parasites.

Par contre, la présence d'effets non linéaires du type Kerr dans une fibre et une dispersion anormale permettent la propagation de solitons, c'est-à-dire de paquets d'onde ayant une forme invariante. Comme on le sait, la dispersion est anormale pour la silice à des longueurs d'onde supérieures à 1,3 μm. Des solitons « brillants » ont été observés en fait à 1,55 μm, longueur d'onde à laquelle les pertes optiques sont minimales (notons que la structure du guide influe légèrement sur la dispersion). Un train codé de solitons se reproduit après une certaine distance de propagation, et par conséquent l'effet de dispersion de la fibre peut être compensé par un effet non linéaire. Malheureusement, les pertes jouent un rôle néfaste sur la propagation des solitons, rôle qui doit être approfondi.

J'ai donné précédemment quelques précisions sur l'esprit du colloque sur la propagation des ondes optiques et sur la nature des sujets abordés. Les participants ont généralement apprécié l'informalité, mais ont parfois regretté que certains sujets importants n'aient pu être traités, faute de temps, tels que : le rôle du diamètre du faisceau dans la caractérisation des fibres unimodales, les notions fondamentales d'ondes et de rayons dans la théorie des guides non uniformes, les problèmes associés aux réseaux d'abonnés. Je m'associe également à l'opinion exprimée par certains selon laquelle un plus grand nombre de spécialistes des effets non linéaires devraient être invités à participer à de futurs colloques. Il me reste à remercier les participants au colloque qui ont bien voulu me faire part de leurs observations concernant une première version du présent texte. Le prochain colloque sera organisé en Suisse par les Professeurs Snyder (Australie) et Dandliker (Suisse).

Manuscrit reçu le 20 *décembre* 1982

(*) KAWAKAMI (S.), TANJI (H.). Evolution of power distribution in graded index fibres. Communication privée.

KAWAKAMI (S.), DAZAI. Mode map concept in the representation of modal power distribution in multimode fibres. Communication privée.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ARNAUD (J.), DESAGE (A. M.). Optimization of the index profile of an optical fibre at N. wavelengths. *Appl. Optics*, USA (Dec. 1982), **21**, n° 23, pp. 4264-4270.

[2] MICKELSON (A. R.), ERIKSVUD (M.). The mode continuum approximation in optical fibres. *Optics Lett.*, USA (nov. 1982), **7**, n° 11, pp. 572-574.

[3] VITA (P. di). Backscattering measurements of optical fibres : analysis of mode coupling and joints. *CSELT Rapporti Technici*, Ital. ; (avr. 1982), **10**, n° 2, p. 149.

[4] JEUNHOMME (L.), MONERIE (M.). Polarisation. Maintaining single-mode fibre cable design. *Electron. Lett.*, UK (1980), **16**, pp. 921-922.

[5] EICKHOFF (W.). Stress induced single. Polarization single-mode fibre. *Optics Lett.*, USA (dec. 1982), **7**, n° 12, pp. 629-631.

[6] PAYNE (D. N.), BARLOW (A. J.), RAMSKOV-HANSEN (J.). Development of low and thigh birefringence optical fibres. *IEEE J of Quantum Electronics*, USA (avr. 1982), **18**, n° 4, pp. 477-488.

[7] ULRICH (R.), RASHLEIGH (S. C.). Polarization coupling in kinted single-mode fibres. *IEEE J. of Quantum Electronics*, USA (dec. 1982), **18**, n° 12, pp. 2032-2039.

[8] THYLEN (L.), YEVICK (D.). Beam propagation method in anisotropic media. *Appl. Optics*, USA (1er août 1982), **21**, n° 15, p. 2751-2754.

[9] PETERMANN (K.). Calculated spontaneous emission factor for double-heterostructure injection lasers with gain-induced waveguiding. *IEEE J. on Quantum Electronics*, USA (1979), **15**, p. 566.

[10] STREIFER (K.). Longitudinal mode spectra of diode lasers. *Appl. Phys. Lett.*, USA (1982), **40**, n° 4, pp. 305-309.

[11] ADAMS (M. J.), OSINSKI (M.). Gain spectra of quaternary semiconductors. *Proc., IEEE* USA (Dec. 1982), **29**, n° 6, pp. 229-235.

[12] KOYAMA (F.). Dynamic spectral width of rapidly modulated 1.58 μm GaInAsP/InP buried heterostructure distributed bragg reflector. *Electron. Lett.*, UK (1981), **17**, n° 25-26, p. 938.

[13] MOTEGI (Y.). Surface emitting GaInAsP/InP injection laser with short cavity length. *Electron. Lett.*, UK (1982), **18**, n° 11, pp. 461-463.