

Thèse EPFZ No 8664

**BISTABILITE OPTIQUE ET AUTO-PULSATIONS  
EN OPTIQUE INTEGREE**

présentée à  
L'ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE ZURICH

pour l'obtention du  
titre de docteur ès sciences naturelles

par  
VERONIQUE MARIE BRIGUET  
physicienne diplômée EPFZ  
née le 21 juillet 1958  
originaire de Lens (VS)

acceptée sur proposition  
du professeur Walter Lukosz, rapporteur  
du professeur Peter Günter, co-rapporteur



1988

## RESUME

En couplant le faisceau d'un laser à Argon ionisé dans des guides optiques planaires, on a pu observer de la bistabilité et des auto-pulsations. Les guides qui possèdent ces propriétés sont formés de couches amorphes de  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  et/ou d'ITO ( $\text{SnO}_2\text{:In}_2\text{O}_3$ ), déposées sur un substrat de verre. Ils ne possèdent que de très faibles propriétés photoréfringentes. Le couplage est effectué de manière traditionnelle au moyen soit d'un prisme, soit d'un réseau de diffraction.

On introduit le problème en le considérant d'abord uniquement d'un point de vue optique, c'est-à-dire en étudiant le rôle des différents paramètres du couplage. Puis on décrit les effets physiques induits par le faisceau couplé dans les guides d'ondes; ils sont au nombre de deux, tous deux causés par un échauffement du guide d'ondes dû à une absorption du mode guidé. On observe :

- premièrement, une désorption partielle de l'eau contenue dans les pores et à la surface des couches microporeuses de  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ . Cette désorption provoque un décalage d'indice de ce matériau, et en conséquence de l'indice effectif des modes guidés.
- deuxièmement, une dilatation thermique qui ne se manifeste que lorsque le couplage est effectué au moyen d'un prisme. Cette dilatation engendre une réduction de l'épaisseur de la couche d'air qui sépare le prisme du guide d'ondes, et par conséquent une variation de l'efficacité couplage.

Comme ces deux effets sont proportionnels à la puissance couplée dans le guide d'onde, mais qu'à son tour l'efficacité de couplage en dépend, ils sont contrôlés par une boucle de contre-réaction.

Puis, sur la base de ces données, on effectue une étude théorique qui vise à expliquer les mécanismes de la bistabilité et des auto-pulsations, et à en déterminer les conditions nécessaires. Une simulation numérique livre des solutions périodiques, identifiées aux auto-pulsations, lorsque les deux effets s'opposent avec des constantes de temps différentes.

Enfin, on décrit les résultats expérimentaux qui se laissent classer en trois catégories :

- Premièrement, la bistabilité optique a été observée sur les coupleurs formés d'un guide de  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  pourvu d'un réseau de surface. Lorsque l'absorption du faisceau couplé est suffisamment élevée pour induire un échauffement du guide, une partie de l'eau adsorbée dans la couche de  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  se désorbe, provoquant une baisse de l'indice effectif du mode guidé, donc une modification de la condition de couplage. Grâce au fait que le couplage est un phénomène de résonance, ce décalage d'indice peut rendre le système bistable. On a mesuré une puissance critique de 40mW.

- D'une tout autre nature est la bistabilité observée sur les coupleurs formés d'un prisme et d'un guide d'ITO. On n'y décèle aucun décalage d'indice, mais uniquement une dilatation des deux composantes du coupleur, amenuisant l'épaisseur de la couche d'air qui les sépare. La bistabilité est rendue possible par le fait que l'efficacité de couplage montre également une résonance en fonction de cette épaisseur. La puissance critique vaut environ 15mW.

- Finalement, le résultat le plus spectaculaire a été l'observation d'auto-pulsations. Celles-ci surviennent lors du couplage par prisme dans des guides formés d'une couche de  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  recouvrant une d'ITO. La désorption et la dilatation s'y combinent et influencent l'efficacité de couplage avec un poids comparable. Lorsque le système est ajusté de manière à ce que leurs effets s'opposent, des auto-pulsations naissent de leur combat : la dilatation, plus rapide, commute le système dans un état de couplage élevé; la désorption, qui intervient avec un certain retard, le remet dans un état de faible couplage. Le seuil d'auto-pulsations se situe vers 200mW, et celui de bistabilité (car celle-ci peut également être observée) vers 20mW.

Une bonne similitude apparaît entre les résultats théoriques et expérimentaux.

## ABSTRACT

Coupling an Ar<sup>+</sup> laser beam into planar waveguides we observed optical bistability and self-pulsations. The waveguides used were composed of amorphous SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> and/or SnO<sub>2</sub>:In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ITO) films deposited on glass substrates. They showed practically no photo-refractive or nonlinear effects. The coupling was achieved conventionally either with a prism or with a surface relief grating.

First the role of the different parameters in the coupling process is discussed. Then the thermal effects induced by the laser on the waveguides used are described; we observed the two following effects that are proportional to the temperature increase caused by absorption of the guided mode :

- The first effect is a partial desorption of the water adsorbed in the voids and on the surface of the microporous SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> waveguides. The desorption induces a decrease of the refractive index of this material and thus a decrease of the effective refractive indices of the guided modes.

- The second effect occurs only when a prism is used as coupler. It comes from a thermal expansion that induces a buckling of the surfaces of both waveguide and prism. Consequently the width of the air gap separating prism and waveguide decreases, inducing a variation of the incoupling efficiency.

Both effects are proportional to the power guided in the waveguide, and both of them influence the incoupling efficiency. Therefore both of them are controlled by a feedback loop.

On this basis a theoretical model was set up which explains the mechanisms of the bistability and of the self-pulsations, and which allows to derive the necessary conditions. Computer simulations deliver periodic solutions - identified as the self-pulsations of the system - when the two effects influence the coupling in opposite ways with two different time constants.

At last the experimental results are reported. They are classified under three different groups of phenomena :

- Optical bistability was demonstrated with surface relief grating couplers on planar  $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$  waveguides. If the guided power is absorbed strongly enough to produce a temperature increase in the coupling region, water desorption takes place and induces a decrease of the effective refractive index, and thus a shift in the incoupling condition. This can lead to bistability because the incoupling is a resonance phenomenon. The critical power was measured to be 40mW.

- Another type of bistability was demonstrated with prism couplers on ITO waveguides. These coupling devices showed no shift in the effective refractive indices; the incoupling efficiency was only changed by a reduction of the air gap width through thermal expansion. Bistability was made possible by the fact that the incoupling efficiency is a resonance function of this air gap width. We measured a critical power of 15mW.

- The most important result was the observation of self-pulsations in prism coupling into waveguides made of a layer of ITO and one of  $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$ . The desorption and the thermal expansion influence the incoupling efficiency  $\eta$  with comparable weights. If the coupler is adjusted so that these two effects act in opposite ways on  $\eta$ , self-pulsations can arise from their competition : the thermal expansion switches the system quickly into a state of strong coupling; then the desorption brings it back to the state of weak coupling so that the device cools down and the process can start again. The critical power for the occurrence of self-pulsations is about 200mW, while the critical power for bistability (observed on the same coupling devices) is about 20mW.