

# Sonde optique à « TFI » pour la mesure de signaux numériques

---

**Benoit PANNETIER<sub>D</sub>\***, **Pierre LEMAITRE-AUGER<sub>D</sub>\***, **Smaïl TEDJINI<sub>D</sub>\***,  
**Elhadj DOGHECHE<sub>D</sub>\*\***, **Denis REMIENS<sub>D</sub>\*\***

\*LCIS-INPG, ESISAR, 50 rue Barthélémy de Laffemas, BP 54, 26902, Valence Cedex 9, France  
{benoit.pannetier, pierre.lemaitre-auger, smail.tedjini}@esisar.inpg.fr

\*\* IEMN DOAE Dept. MIMM, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, Z.I. Champs de l'Abesse, 59600, Maubeuge, France  
elhadj.dogheche@univ-valencienne.fr

Commissions des auteurs : D, Electronique et Photonique

---

## Résumé

Nous présentons une sonde optique intégrée basée sur un « Thin Ferroelectric Interferometer » (TFI). Cette dernière a pour fonction de mesurer un signal numérique d'un circuit électronique afin de pouvoir tester *in situ* ce dernier. Le TFI est un interféromètre de Fabry Pérot (FP) avec des miroirs conducteurs et une cavité faite d'un matériau ferroélectrique,  $\text{PbZr}_{0,6}\text{Ti}_{0,4}\text{O}_3$  (PZT). Des simulations numériques montrent que l'on peut obtenir avec un des miroirs réalisé en multicouche ( $\text{Si}/\text{SiO}_2$ ), une différence de réflexion de 7,2% pour une variation de tension électrique 0-5Volts. C'est une sonde à miroirs métalliques qui a cependant été réalisée. Avec cette dernière, nous avons mesuré des signaux numériques TTL jusqu'à une centaine de kHz en obtenant une différence de réflexion de 0,3%, suffisant pour être détectée par un simple photodétecteur.

*Mots clés : sonde optique, TFI, signaux numériques, test in situ.*

---

## Introduction

La mesure de grandeur électrique, tension ou courant, utilisant des méthodes optiques est un domaine en plein essor. Ces technologies optiques offrent de nombreux avantages et permettent, dans certaines situations, de résoudre les difficultés liées aux techniques électroniques. Ainsi, les techniques de sondage électro-optiques (EO) de circuit électroniques à l'aide d'un faisceau laser sont aujourd'hui des techniques développées par différentes équipes [1]. Mais toutes ces techniques ont pour objet la caractérisation de circuit *hors ligne*, c'est à dire lorsqu'ils ne sont pas en condition normale de fonctionnement, car les temps d'acquisition pour obtenir des résultats fiables varient de quelques secondes à quelques dizaines de minutes.

Dans un précédent travail, nous avons présenté une nouvelle application du sondage EO : le test *in situ* de circuits électroniques numériques [2,3]. Cette dernière permet la mesure en temps réel des états, haut et bas, des signaux numériques d'entrées/sorties d'un circuit, et ce, de façon la plus simple possible : une source laser, une sonde EO et un détecteur. Cette sonde optique à « TFI » est la pierre angulaire de cette méthode de test.

Après la présentation du principe de la sonde et des résultats de simulation d'une sonde optimisée, les résultats expérimentaux d'une sonde simple seront détaillés.

## 1. Principe et résultats de simulation de la sonde optique TFI

La sonde EO est basée sur un « Thin Ferroelectric Interferometer » (TFI). Ce dernier est un interféromètre de Fabry-Pérot (FP) avec des miroirs conducteurs et une cavité faite d'un matériau ferroélectrique, PZT ( $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ ), comme illustrée à la figure 1. Nous utilisons la propriété électro-optique linéaire (effet Pockels) du PZT qui permet, lorsque la sonde est soumise à une tension électrique, de faire varier l'indice de réfraction de la cavité et donc la réflexion de la sonde. La sonde EO est optimisée pour travailler à une longueur d'onde de 633nm. La figure 2 illustre les résultats de simulation pour une sonde optimisée avec un miroir supérieur multicouche (2 ensembles de couches minces quart d'onde  $\text{Si}/\text{SiO}_2$ ), une différence de réflexion  $\Delta R$  de 7,2% pour une variation de tension électrique de 0-5Volts a été obtenue.

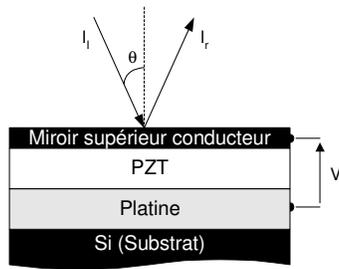


Figure 1: Sonde optique à TFI

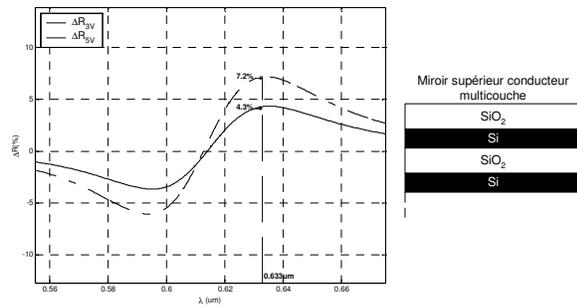


Figure 2: Différence de réflexion  $\Delta R$  de la sonde à miroir multicouche pour des variations 0-3Volts et 0-5Volts

## 2. Résultats expérimentaux

La sonde expérimentale réalisée a une structure plus simple que celle étudiée précédemment. Elle est constituée d'une couche de  $PbZr_{0,6}Ti_{0,4}O_3$  comprise entre deux électrodes qui jouent aussi le rôle de miroir. L'électrode supérieur est une fine couche d'or, 50nm d'épaisseur, et la seconde électrode est en platine. Les réponses, mesurée et simulée, de cette sonde en fonction de l'angle d'incidence sont données à la figure 3. Il y a une bonne concordance entre les deux. Bien que cette structure ne soit pas optimisée, nous avons obtenus une variation de réflexion significative de 4% pour une variation de tension électrique de 0-20V sous un angle d'incidence de  $10^\circ$ . Avec cette dernière, nous aussi avons mesuré des signaux numériques TTL jusqu'à une centaine de kHz, comme illustrée à la figure 4, en obtenant une différence de réflexion de 0,3%.

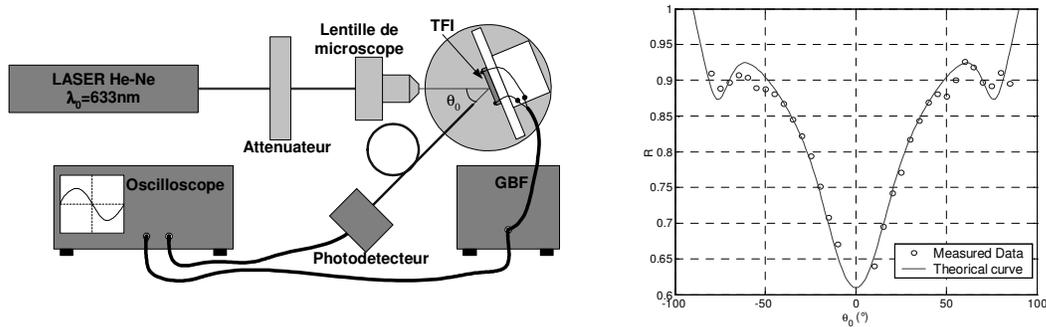


Figure 3: Gauche) Montage expérimental; Droite) Réflexion de la sonde en fonction de l'angle d'incidence

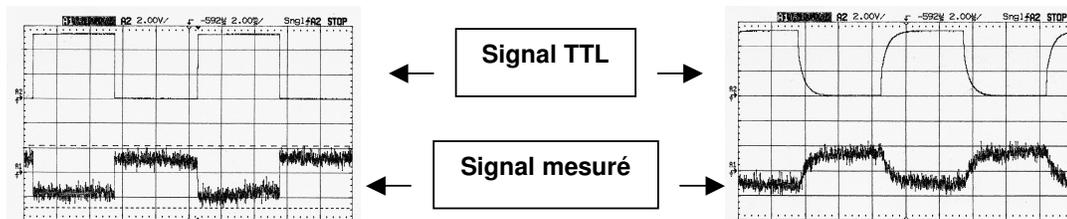


Figure 4: Signal TTL mesuré à 100Hz (à gauche) et à 100kHz (à droite)

## Conclusion

Une sonde optique intégrée basée sur un TFI permettant de mesurer simplement des signaux numériques TTL et ce jusqu'à 100kHz vous a été présentée. Ces résultats valident la faisabilité d'une méthode de test *in situ* de circuits électroniques numériques. Une compréhension plus poussée de la sonde est en cours et passe par la caractérisation du PZT afin de le connaître plus finement.

## Références bibliographiques

- [1] J.C. Tsang, J.A. Kash, D.P. Vallett, "Optical tools for measuring timing and switching in silicon ICs: Status and future challenges", *LEOS Newsletter*, pp. 3-5, April 2001.
- [2] B. Pannetier, P. Lemaître-Auger, S. Tedjini, E. Dogheche, D. Rémiens, "External Optical Probe for Novel On-line Testing Method of Digital Circuits", 17-24 Aug., Maastricht, URSI-GA 2002.
- [3] C. Aktouf, B. Pannetier, P. Lemaître-Auger and S. Tedjini, "On-line Testing of Embedded Systems Using Optical Probes", *8th IEEE International On-Line Testing Workshop*, Isle of Bendor, France July 8-10, 2002, In press.