

# Systeme fibré de sondage électro-optique de circuits intégrés hyperfréquence

Philipp Müller(2), Stefan Lauffenburger (1), Didier Erasme (1) et Bernard Huyart (1)

(1) École Nationale Supérieure des Télécommunications, URA 820, 46 rue Barrault, 75634 Paris, Cedex 13, téléphone: 01 45 81 74 20, fax: 01 45 89 00 20, e-mail: didier.erasme@enst.fr

(2) ph.mueller@iol.it.

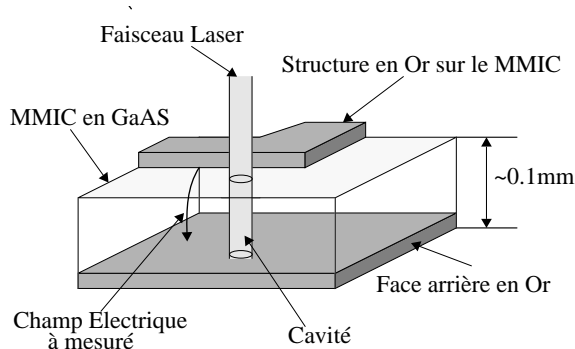
**Résumé :** L'utilisation de composants optoélectroniques fibrés de la gamme de ceux développés pour les systèmes de télécommunication a permis la conception d'un système simple de cartographie électro-optique pour MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuits). L'utilisation de l'effet Fabry-Perot conduit à une nouvelle méthode de calibrage.

## INTRODUCTION

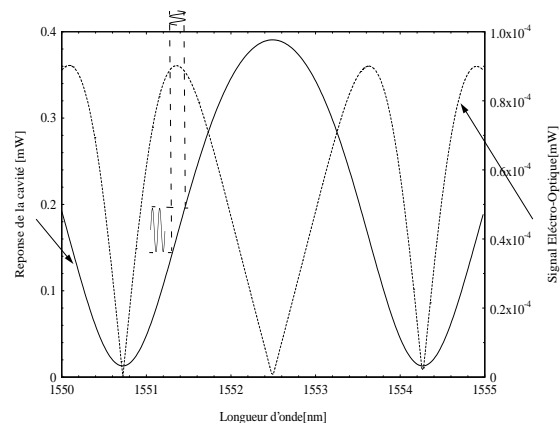
Ces dernières années, les applications des systèmes micro-ondes se sont multipliées. L'encombrement de la bande de fréquence conduit à l'utilisation de fréquences de plus en plus élevées. Par conséquent, les MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuits) (Figure 3) sur substrat de GaAs sont devenus de plus en plus importants. Afin de parfaire la conception et le contrôle des MMIC, il est important d'avoir des outils de caractérisation efficaces. En particulier, l'accès à la mesure du champ électrique dans le MMIC permet de vérifier les simulations par ordinateurs. Dans ce but, nous avons développé un système de mesure électro-optique [ 1 ] qui établit une cartographie du champ électrique par balayage d'un faisceau laser continu.

## THÉORIE

Notre système utilise deux effets: il exploite le fait que le GaAs est sensible à l'effet Pockels et que le MMIC forme une cavité Fabry-Perot (Figure 1) [ 2 ]. Un faisceau laser traverse le composant en incidence normale parallèle à l'axe cristallographique  $x = [1, 0, 0]$ . Si on aligne la polarisation sur l'axe  $x = [0, 1, \bar{1}]$ , le changement de l'indice de réfraction peut être décrit par l'équation  $n = n_0 + \frac{1}{2}n_0^3 r_{41}E$  où  $n_0$  est l'indice de réfraction du GaAs,  $r_{41}$  le coefficient électro-optique et le champ électrique vertical au point considéré. Par conséquent, la longueur optique



**Figure 1 :**Forme de la cavité dans le MMIC.



**Figure 2 :**Réponse théorique de la cavité avec 0.1 mm d'épaisseur.

dans la cavité varie avec E. La réponse de la cavité, exprimant l'intensité réfléchie par le dispositif, est donnée par (1) [ 3 ]

$$I_{\text{reflechi}} = I_0 \frac{r^2 + R^2 + 2rR \cos(\phi)}{1 + r^2 R^2 + 2rR \cos(\phi)} \quad (1)$$

où R et r sont les coefficients de réflexions effectifs des surfaces de la cavité,  $I_0$  l'intensité optique incidente et  $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (2n_0 h + n_0^3 r_{41} V_{\text{Signal}})$  représente le déphasage subit par l'onde lors d'un aller-retour dans la cavité.  $\lambda$  est la longueur d'onde, h est l'épaisseur de la cavité et  $V_{\text{Signal}}$  est la tension entre la surface du MMIC au point d'impact du faisceau et la face arrière du MMIC. Pour le signal sinusoïdal  $V_{\text{Signal}} = V_0 \sin(\omega t)$ , le faisceau réfléchi est modulé en intensité à la fréquence  $\omega$  sous la forme:  $I_{\text{reflechi}} = I_{\text{moyen}} + \frac{1}{2} I_{\text{ElectroOptique}} \sin(\omega t)$ . Cette modulation est directement mesurée par un détecteur rapide et elle est donnée par (2)

$$I_{\text{ElectroOptique}} = I_0 \frac{4rR(1-r^2)(1-R^2)|\sin(\phi_0)|}{(1+r^2R^2+2rR\cos(\phi_0))^2} \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 r_{41} V_0 \quad (2)$$

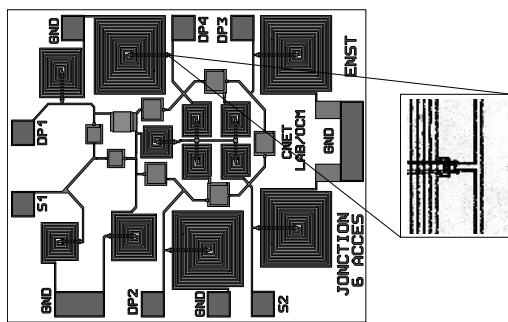
où  $\phi_0$  est le déphasage en l'absence de tension appliquée. L'équation (2), réécrite sous la forme (3)

$$V_0 = \frac{I_{\text{ElectroOptique}} h}{\left| \frac{\partial I_{\text{reflechi}}}{\partial \lambda} \right| \lambda n_0^2 r_{41}} \quad (3)$$

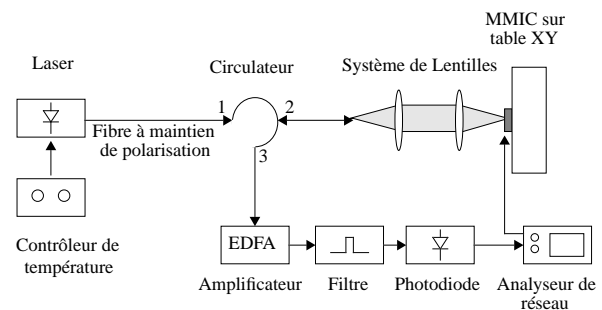
nous indique le moyen d'optimiser et de calibrer les mesures grâce à l'ajustement et l'acquisition du paramètre  $\left| \frac{\partial I_{\text{reflechi}}}{\partial \lambda} \right|$  par accord préalable de la longueur d'onde du laser.

## CONFIGURATION DU SYSTEME

La source de notre faisceau est un laser à semiconducteur dont la longueur d'onde s'accorde entre 1550 et 1555 nm grâce au contrôle de température (Figure 4). Après avoir passé un circulateur, le faisceau est injecté dans le MMIC par un système compact de lentilles. Après la réinjection dans la fibre, le faisceau repasse le circulateur, est amplifié et filtré optiquement. Après la conversion en un signal électrique par une photodiode rapide, ce dernier est analysé (par un analyseur de réseau) pour déterminer la distribution du champ électrique dans le MMIC. Il faut noter que, hormis pour l'injection sur le circuit, le système de mesure est intégralement conçu avec des composants fibrés, le rendant ainsi facilement utilisable dans diverses conditions expérimentales.



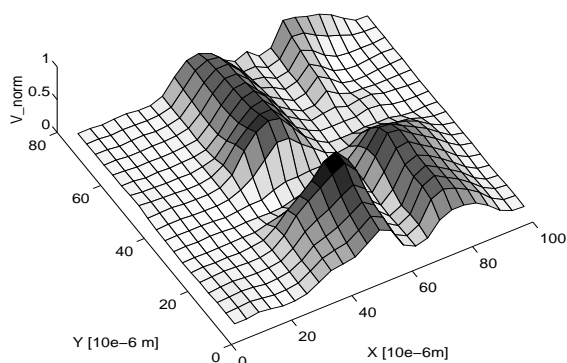
**Figure 3 :**MMIC utilisé pour les mesures et section cartographe dans Figure 6.



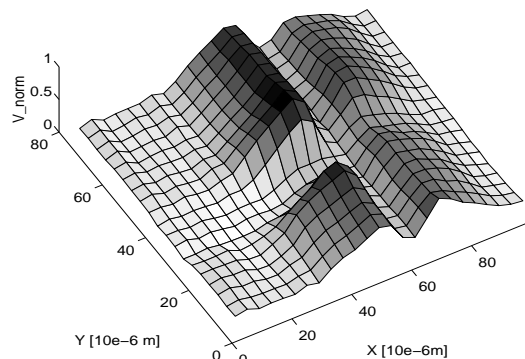
**Figure 4 :**Configuration du système.

## RESULTAT

Le système a été utilisé pour effectuer une cartographie du champ électrique dans le MMIC. La nécessité de calibrage, conséquence des fluctuations de  $R$ ,  $r$  et  $h$  a entre les différents points du circuit été mise en évidence. Sans optimisation de  $\lambda$  la cartographie a une allure erronée (Figure 5). Une simple optimisation du signal électro-optique par variation de  $\lambda$  amène au résultat de la Figure 6. Des mesures intégralement calibrées sont en cours de réalisation.



**Figure 5 :** Mesures sans optimisation avec une longueur d'onde constante pour tous les points.



**Figure 6 :** Mesures avec optimisation de la longueur d'onde du MMIC de la Figure 3.

## CONCLUSION

Nous avons développé un système de sondage électro-optique intégralement fibré et facile d'emploi permettant d'effectuer une cartographie précise des champs électriques présents dans un circuit monolithique hyperfréquence pour des signaux pouvant atteindre plusieurs dizaines de GHz.

## BIBLIOGRAPHIE

[ 1 ] J. A. Valdmanis, G. Mourou, Sub-picosecond electro-optic sampling: Principles and applications, IEEE j. Quantum Electron, Vol QE 22, pp 69-78, 1986

[ 2 ] D. Le Quang, D. Erasme, B. Huyart, MMIC-calibration probing by CW electrooptic modulation, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol 43, pp 1031-1036, 1995

[ 3 ] P. Müller, D. Erasme, B. Huyart, New Calibration Method in Electro-optic Probing Due to Wavelength Control and Fabry-Perot Resonance, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol 47 No 3, pp 308-314, 1999