

MICROSYSTEME OCT PLEIN-CHAMP MULTI-CANAUX A BASE DE COMPOSANTS MOEMS INTEGRES VERTICALEMENT

N. Passilly, J. Lullin, S. Perrin, J. Albero, S. Bargiel, L. Froehly et C. Gorecki

Institut FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France

nicolas.passilly@femto-st.fr

RÉSUMÉ

Ce papier présente la conception et les briques d'un système OCT dédié au diagnostic de pathologies de la peau. Le système est basé sur une approche plein-champ multi-canaux grâce à une architecture Mirau matricielle, combinant une source à balayage en longueur d'onde réalisée par filtrage et de l'interférométrie à décalage de phase pour l'élimination des termes miroirs. L'interféromètre de Mirau, en particulier, est réalisé par des techniques de fabrication collective et d'intégration verticale multi-substrat, permettant une réduction significative de la taille et des coûts de fabrication du système.

MOTS-CLEFS : *Tomographie à cohérence optique; Microfabrication; Microcomposants optiques; MOEMS;*

1. INTRODUCTION

On compte un grand nombre de maladies différentes affectant la peau, plus que pour tout autre organe, et une grande partie de la population y est confrontée. Dans ce contexte, il est important de pouvoir imager de manière non-invasive la structure de la peau, en particulier de l'épiderme jusqu'à la jonction dermo-épidermique. Si aujourd'hui la technique de référence pour le diagnostic est la biopsie suivie d'une analyse histopathologique, elle est aussi responsable de trop de procédures réalisées inutilement. De nouvelles aides au diagnostic non-invasif telles que la microscopie focale ou la tomographie optique cohérente (OCT) ont démontré des performances intéressantes et commencent à émerger en tant qu'outil pour la dermatologie. Cependant, un des verrous est le coût de ces systèmes, empêchant leur déploiement auprès des patients souffrants de pathologies encore à un stade précoce de développement. C'est pourquoi nous proposons ici d'utiliser des techniques de fabrication collective afin de réaliser un système OCT capable de visualiser les premières couches de la peau qui soit abordable et donc pas seulement réservé aux hôpitaux.

2. CONCEPT DU SYSTEME

Le système proposé est un système plein-champ matriciel [1] combinant une source à balayage en longueur d'onde et de l'interférométrie à décalage de phase. La source est basée sur une diode super lumineuse émettant dans la gamme du proche infra-rouge ($\lambda_0=840\text{nm}$ et $\Delta\lambda=50\text{nm}$), couplée à un interféromètre de Fabry-Pérot (FP) MEMS agissant comme un filtre accordable en longueur d'onde ($\delta\lambda=1\text{nm}$). L'approche plein champ matricielle permet de multiplexer spatialement plutôt que temporellement l'analyse et ainsi de s'affranchir de source à balayage spectral rapide et couteuse. De plus, le système s'appuie sur les technologies MOEMS qui permettent la réalisation de matrices denses d'interféromètres à cout réduit. Afin d'analyser une surface importante, la matrice compte 16 interféromètres de Mirau (4x4) qui sont déplacés latéralement et axialement pour combler les espaces entre canaux adjacents, et ainsi mesurer un volume de $8 \times 8 \times 0.5\text{mm}^3$. Le détecteur est une caméra rapide (4 kfps) pour laquelle il est possible de définir des régions d'intérêt (120x120 pixels) multiples et dynamiques. Pour chaque valeur de longueur d'onde (pas du filtre FP), 4 images décalées en phase sont enregistrées par la caméra afin de supprimer les termes miroirs et la composante continue grâce à un algorithme à décalage de phase. Le décalage de phase est

effectué par un déplacement du miroir de référence. La taille de ce dernier définit un champ de vue pour chaque canal de $400 \times 400 \mu\text{m}^2$. Ce champ est imagé sur la caméra avec un grandissement de 3.7. L'ouverture numérique du Mirau étant de 0.1, la résolution latérale est de $5.2 \mu\text{m}$ si on tient compte du critère de Rayleigh. La résolution axiale est limitée par la largeur spectrale $\Delta\lambda$ de la source à $6.4 \mu\text{m}$.

3. TECHNOLOGIE

Les matrices de lentilles sont réalisées à partir d'un procédé de recuit de verre borosilicaté préalablement assemblé sur cavités silicium [2]. Ce procédé a été optimisé pour permettre la génération de matrices de lentilles de bonne qualité et dont l'uniformité des profils au sein des matrices est élevée (écarts des longueurs focales au sein d'une matrice $4 \times 4 < 0.5\%$). De plus, cette technique permet d'empiler et d'assembler les matrices conduisant à la génération de doublets de lentilles afin de réduire les aberrations optiques (Fig. 1a). Les matrices de micro-miroirs sont réalisées sous la forme d'une plateforme silicium actionnée par force électrostatique à l'aide de peignes inter-digités (Fig. 1b). Chaque miroir est fixé à l'aide de suspensions fines et courbées garantissant une faible détérioration des performances optiques [3]. La fréquence de résonance de la plateforme est de 500Hz pour que la caméra puisse enregistrer 8 images au cours d'une période de son mouvement. Le déplacement est de l'ordre de 400nm.

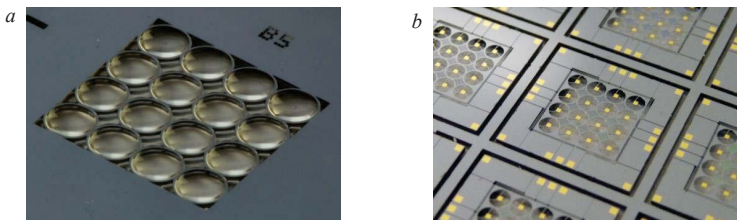


Fig. 1 : a. Matrice de doublets de lentilles en verre, b. Matrice de miroirs actionnées verticalement

CONCLUSION

Nous présentons la conception et les briques d'un système OCT dédié au diagnostic de pathologies de la peau. Les technologies MOEMS, utilisées en particulier pour la réalisation de matrices d'interféromètres de Mirau fabriquées collectivement et intégrées verticalement, permettent une réduction significative de l'encombrement et des coûts de fabrication du système. Associées à l'architecture plein-champ multi-canaux, ces solutions permettront la réalisation d'un système OCT abordable dédié à la dermatologie. (*VIAMOS est un projet collaboratif financé par le 7^{ème} programme cadre FP7-ICT-2011-8 Grant Agreement 318542*).

RÉFÉRENCES

- [1] J. Krauter, T. Boettcher, W. Osten, W. Lyda, N. Passilly, L. Froehly, S. Bargiel, J. Albero, S. Perrin, J. Lullin and C. Gorecki, "Optical design of a Vertically Integrated Array-type Mirau-based OCT System", Proc. SPIE 9132, 91320L (2014).
- [2] J. Albero, S. Perrin, S. Bargiel, N. Passilly, M. Baranski, L. Gauthier-Manuel, F. Bernard, J. Lullin, L. Froehly, J. Krauter, W. Osten and C. Gorecki, "Dense arrays of millimeter-sized glass lenses fabricated at wafer-level", Opt. Express, 23, pp. 11702-11712 (2015).
- [3] J. Lullin, S. Perrin, M. Baranski, S. Bargiel, L. Froehly, N. Passilly, J. Albero and C. Gorecki, "Impact of mirror spider legs on imaging quality in Mirau micro-interferometry", Opt. Lett., 40, *In press* (2015).