



HAL
open science

LAMBDA METRE SWIFTS DANS LES BANDES S, O ET L INTEGRANT UNE PUCE EN OPTIQUE INTEGREE SUR VERRE ET UNE CAMERA DESENCAPSULEE SANS OPTIQUE DE RELAIS

Alain Morand, Salma Baccar, Noémie Mestre, Gregory Grosa, Aude Bouchard,
Pierre Benech, Guillermo Martin

► To cite this version:

Alain Morand, Salma Baccar, Noémie Mestre, Gregory Grosa, Aude Bouchard, et al.. LAMBDA METRE SWIFTS DANS LES BANDES S, O ET L INTEGRANT UNE PUCE EN OPTIQUE INTEGREE SUR VERRE ET UNE CAMERA DESENCAPSULEE SANS OPTIQUE DE RELAIS. Journées Nationales d'Optique Guidée, SFO, Jul 2025, Sète (France), France. <hal-05195740>

HAL Id: hal-05195740

<https://hal.science/hal-05195740v1>

Submitted on 1 Aug 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

LAMBDA MÈTRE SWIFTS DANS LES BANDES S, O ET L INTÉGRANT UNE PUCE EN OPTIQUE INTÉGRÉE SUR VERRE ET UNE CAMÉRA DÉSENCAPSULÉE SANS OPTIQUE DE RELAIS

Alain MORAND¹, Salma BACCAR^{1,2}, Noémie MESTRE^{1,2}, Grégory GROSA¹, Aude BOUCHARD¹, Pierre BENECH¹, Guillermo MARTIN²

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, CROMA, Grenoble, France

² Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IPAG, Grenoble, France

alain.morand@univ-grenoble-alpes.fr

RÉSUMÉ

La réalisation monolithique d'un SWIFTS avec une caméra InGaAs et une puce en optique intégrée sur verre sans optique de relais est démontrée. Ce spectromètre atteint une résolution spectrale de $\delta\lambda = 300\text{pm}$ sur des bandes spectrales successives de $\Delta\lambda = 7\text{nm}$. Cette résolution atteint 100pm pour une application lambdamètre.

MOTS-CLEFS : *spectromètre ; optique intégrée sur verre ; antennes ;*

Les spectromètres sont des instruments qui ont un rôle majeur dans de nombreux domaines d'applications telles que la chimie, l'ingénierie bio-médicale, le contrôle des concentrations de gaz dans notre environnement, l'astronomie ou la métrologie de sources optiques. Pour des applications embarquées ou pour réduire le volume à refroidir dans le cas des applications infrarouges, il est nécessaire de développer des systèmes compacts. La technologie SWIFTS a été développée dans ce sens dans le visible sur caméra Silicium [1]. Elle a permis de commercialiser des systèmes avec des résolutions spectrales d'une dizaine de pm. Des SWIFTS ont été développés dans le NIR sur SOI, Nitrure de Silicium ou Niobate de Lithium [2] [3]. Mais l'intégration n'était pas complète. La partie détection est toujours déportée sur un système optique d'un volume non négligeable avec un alignement de pièces mécaniques à ajouter et à garantir dans le temps. Par ailleurs, la surface active des détecteurs InGaAs classiques est sous la surface du capteur ($\approx 300\mu\text{m}$) au contraire des détecteurs Silicium où elle se trouve directement en surface. Cette spécificité nécessite alors des modifications à apporter sur la puce optique.

1. PRINCIPE

Le SWIFTS proposé ici repose sur le principe d'un interféromètre de Gabor [4]. Pour obtenir dans un guide la superposition de deux ondes contra-propagatives, on divise le signal optique issu d'un guide optique de surface en deux autres guides pour former une boucle. En échantillonnant ce signal optique autour de l'OPD nulle, on reconstruit l'interférogramme de Fourier de la source optique utilisée. Puis par transformée de Fourier inverse on remonte au spectre de cette même source. Pour respecter Shannon, il faudrait effectuer un échantillonnage avec un pas très inférieur au pitch d'un pixel de caméra. Néanmoins avec des sources optiques à largeur spectrale limitée, on peut remonter à leur spectre en sous-échantillonnant. A titre d'exemple, avec un pitch $\Delta x = 20\mu\text{m}$, on peut analyser une largeur de spectre de $\Delta\lambda = 21\text{nm}$. Pour récupérer une portion de deux ondes en un point d'échantillonnage, on utilise un élément diffractant placé sur la surface du guide. Il sera infiniment étroit pour correspondre à un point d'échantillonnage. Par exemple, une ligne métallique d'une section de $50 \times 50\text{nm}^2$ transverse au guide permet de convertir une partie de l'onde évanescente du guide en rayonnement. Même si dans ce cas, le rayonnement est peu directif, il peut être majoritairement capté directement par un pixel placé à la surface du guide. Cela devient problématique avec une caméra III-V, puisqu'une épaisseur importante d'InP doit être traversée avant d'atteindre la zone active engendrant un étalement du signal sur beaucoup de pixels. Pour éviter cela, la ligne unique a été remplacée par un réseau de lignes comme dans un réseau de Bragg pour améliorer la directivité du signal. Chaque ligne sera associée au même point d'échantillonnage (même état de phase de l'onde) si leur pas est proche de λ/n_g .

2. RÉALISATION

Les structures optiques sont réalisées dans un substrat de verre de 6cm de diamètre. Ce sont des guides optiques de surface obtenus par un échange d'ions Ag^+/Na^+ à travers un masque en Aluminium. Des marques métalliques sont gardées pour aligner un deuxième masque Cr/Au pour réaliser des marques d'alignement. Seule une zone de la puce $36 \times 36mm^2$ est extraite après une découpe à la scie. 2 faces sont en même temps polies pour le couplage des guides avec les fibres. Les marques précédentes sont ensuite utilisées pour effectuer une lithographie par faisceau d'électrons pour placer les antennes Ti/Au au-dessus des guides concernés par lift-off. Chaque antenne est composé de 5 lignes métalliques ($50nm \times 100nm \times 100\mu m$) avec un espacement optimisé pour une longueur d'onde de 1550nm. L'espacement entre deux antennes successives est de $60\mu m$ pour éviter du crosstalk entre les antennes. On peut observer sur la figure 1 le design de la boucle et les antennes réalisées.

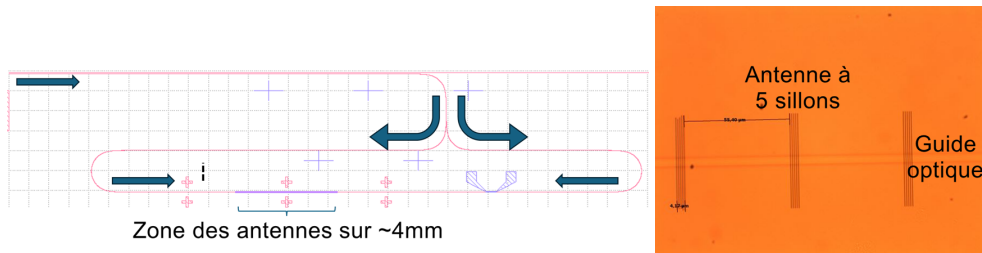


FIGURE 1 : a) Design de la boucle Gabor avec des marques en or et les antennes. b) Image optique des antennes réalisées sur le guide.

3. CARACTÉRISATION

Pour caractériser cette structure, on dispose de deux sources accordables, une SANTEC utilisée comme référence de calibration et on a utilisé une TUNICS comme source inconnue. L'injection du signal dans la puce est en polarisation TE (Champ électrique majeur parallèle à la surface de la puce) pour assurer la meilleure efficacité de rayonnement des antennes. On utilise une caméra Hamamatsu G12242 de 128×128 pixels avec un pitch de $20\mu m$. Elle est connectée sur un boîtier de lecture C11512 relié à un ordinateur via un framegrabber cameralink. Grâce aux connections faites en face arrière, la version désencapsulée permet d'avoir directement la couche d'InP quasiment en contact avec la surface de la puce en verre comme sur la Figure 2. La prise d'image de la caméra est synchronisée via une horloge issue du laser connectée au trigger de la caméra. Grâce à ce banc, on effectue dans un premier temps une table

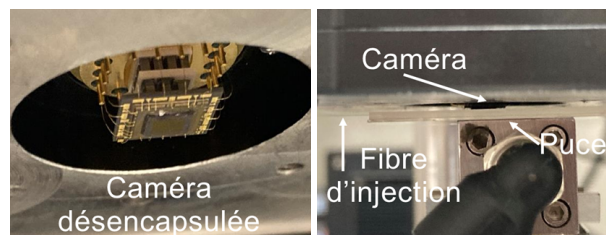


FIGURE 2 : a) Image de la caméra désencapsulée. b) Image de la caméra en contact avec la puce en verre.

de calibration en enregistrant image par image l'interférogramme de Fourier sous-échantillonnée pour chaque longueur d'onde scannée de la SANTEC. L'image est ensuite traitée pour ne garder que le profil 1D de l'interférogramme pour chaque cas. On peut alors définir ce que l'on appelle le tapis spatial qui permet d'observer l'évolution de l'interférogramme le long des pixels en fonction des longueurs d'ondes comme sur la figure 3. On peut observer l'OPD nul autour du pixel 30 et que lorsque le signal est monochromatique on trace une fonction cosinusoidale avec une période qui change avec la longueur d'onde.

Sur la deuxième figure, on peut observer la position de la fréquence repliée par sous-échantillonnage qui évolue d'une manière linéaire dans la première bande de repliement allant de 0 à 0.33 pixel^{-1} . En effet, on utilise ici 3 pixels de la caméra pour visualiser quasiment tous le rayonnement d'une antenne. Le pas d'échantillonnage en fréquence limitée par la longueur de l'interférogramme analysée avec les 128 pixels est de l'ordre de 300pm. Et enfin, un repliement différent apparaît tous les 7nm. On a ensuite utilisée la

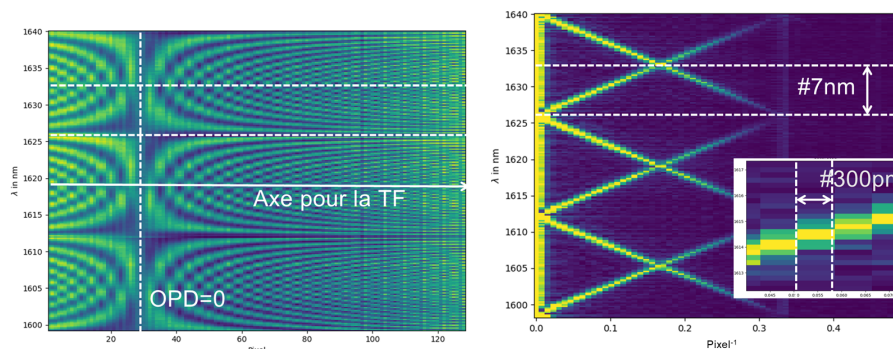


FIGURE 3 : a) Evolution de l'interférogramme mesuré selon les pixels pour différentes longueurs d'onde. b) Evolution de la FFT appliquée sur les pixels en fonction de la longueur d'onde.

source TUNICS comme source inconnue. Si on ne détermine pas au préalable dans quelle bande de repliement se trouve la longueur d'onde recherchée, notre SWIFTS pourra donner plusieurs solutions, c'est dire la longueur d'onde recherchée plus toutes les autres à $\pm p\Delta\lambda$ avec p un entier. Il est donc nécessaire de fixer la plage spectrale de $\Delta\lambda$ à analyser. Cette recherche peut se faire via un traitement de signal du type moindre au carré. On arrive dans ce cas à améliorer la résolution spectrale de cette recherche en passant de 300pm à 100pm (soit le pas de scan utilisé par la SANTEC). En effet, le maximum reste localisé autour de la fréquence donnée par la FFT, mais la forme du pic réparti sur plusieurs fréquences est différente d'une longueur d'onde à l'autre sur la plage des 300pm. Via le traitement de données utilisé, une résolution spectrale 3 fois meilleur peut alors être atteinte.

4. CONCLUSION

On démontre pour la première fois un SWIFTS monolithique sans relais optique. Sa bande d'analyse est pour l'instant limitée par le laser accordable de calibration utilisée. En combinant les limites du détecteur et des guides cette gamme peut s'étendre de 1300nm à 1700nm. C'est une première brique qui permet d'analyser des bandes spectrales de 7nm avec une résolution de 100pm. La perspective est d'utiliser le potentiel des pixels de la caméra 2D en multiplexant spatialement sous la caméra plusieurs guides droits pour diminuer le pitch ou augmenter la résolution spectrale d'un facteur 16.

REMERCIEMENTS

Ce travail est financé par la Région AURA via le projet HIREPECT, par le LABEX FOCUS (ANR-11-LABX-0013).

RÉFÉRENCES

- [1] C. Bonneville, F Thomas et al, "SWIFTS : a groundbreaking integrated technology for high-performance spectroscopy and optical sensors," *SPIE MOEMS and Miniaturized Systems XII*, Vol. 8616, 2013.
- [2] X Nie, E Ryckeboer et al, "CMOS-compatible broadband co-propagative stationary Fourier transform spectrometer integrated on a silicon nitride photonics platform," *Opt. Exp.*, Vol. 25, pp. A409–A418, 2017
- [3] D. Pohl, M-R Escalé et al, "An integrated broadband spectrometer on thin-film lithium niobate," *Nat. Phot.*, Vol. 14, pp. 24–29, 2020.
- [4] E. Le Coarer, S. Blaize et al, "Wavelength-scale stationary-wave integrated Fourier-transform spectrometry," *Nat. Phot.*, Vol. 1, pp. 473–478, 2007.