

DÉTECTEURS ET LASERS THz SUB-LONGUEUR D'ONDE COUPLÉS A DES RESONATEURS LC

Claire Abadie¹, S. Pirotta¹, B. Paulillo¹, X. Lafosse¹, L. Li², A.G. Davies², E. H. Linfield², R. Colombelli¹

¹ Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS, Univ. Paris-Sud, 91405 Orsay, France

² University of Leeds, School of Electronic and Electrical Engineering- UK

claire.abadie@u-psud.fr

RÉSUMÉ

Nous avons fabriqué et mesuré des détecteurs THz sub-longueur accordables en fréquence sur le principe des résonateurs en anneau fendu "split ring" SRR (circuits RLC). Des lasers à cascade quantique ultra petits (de l'ordre de λ) ont été conçus et mesurés avec la même architecture LC.

MOTS-CLEFS : *lasers ; détecteurs ; THz, méta-matériaux*

1. INTRODUCTION

Développer des dispositifs (détecteurs et émetteurs) dans la gamme spectrale du térahertz (0.3-30 THz) comporte un enjeu fondamental dans les applications en métrologie, dans le médical et dans le contrôle de processus en raison des raies d'absorption des molécules organiques dans cette gamme. Les détecteurs présents sur le commerce sont pour la plupart des dispositifs thermiques qui ont une sensibilité assez faible ou bien ne sont pas rapides. Les détecteurs "quantiques" pourraient également grandement bénéficier d'améliorations radicales. Construire des détecteurs sub-longueur d'onde accordables en fréquence permettrait, par exemple, une réduction du courant d'obscurité et une amélioration de la vitesse de détection. En ce qui concerne les émetteurs, des lasers ultra petits permettraient de nouvelles applications pour des besoins de consommation très faible de puissance.

2. RÉSULTATS

Notre premier objectif est de développer des photodétecteurs à puits quantiques (QWIP) à base de GaAs/AlGaAs (Réf [1]), dans la gamme du THz (entre 1.5 et 4.5 THz), qui utilisent une géométrie inspirée des résonateurs "split ring" en 3D déjà démontrée dans la Réf. [2]. Cette géométrie nous permet d'accorder la fréquence de réponse en changeant la partie inductive (l'antenne) du micro-résonateur LC (Réf [3]). L'approche de ce travail est de résoudre le problème du court-circuit intrinsèque aux systèmes SRRs 3D en déposant une couche isolante de 300 nm de nitrure de silicium, par pulvérisation RF [Fig.1a]. Avec des simulations par éléments finis, nous avons modélisé le comportement électromagnétique de la structure. L'avantage de de cette structure est de pouvoir accorder le pic de détection du détecteur en changeant la longueur de l'antenne. Les réseaux fabriqués de 25 dispositifs [Image de microscope électronique dans la Fig. 1a] sont caractérisés optiquement et électriquement à basse température (4 K) pour maximiser le signal. Le photocourant mesuré par un spectromètre à transformée de Fourier (FTIR) montre une réponse polarisée comme attendue dans une résonance de dipôle magnétique [Fig.1b] ainsi que des résultats prometteurs concernant l'accordabilité du détecteur à différentes longueurs d'antenne.

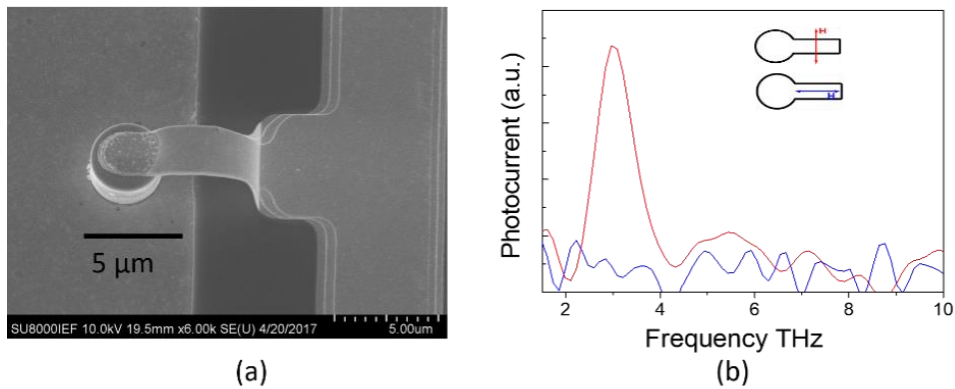


Fig. 1 : a) Image MEB d'un détecteur final typique.
b) Photocourant du réseau des 25 dispositifs selon la polarisation de la lumière incidente.

Nous avons employé le même type d'architecture LC avec une couche isolante d'alumine à la place du nitrure de silicium pour développer des lasers très petits utilisant une région active de lasers à cascade quantique (QCL) de seulement 6 μm d'épaisseur de puits quantiques de GaAs/AlGaAs (Réf [3]). Nous avons conçu des résonateurs patches circulaires pour obtenir un laser qui émet sur le mode dipolaire fondamental. Nous avons fabriqué des QCLs de 30 μm de diamètre pour tester la possibilité d'un tel laser [Fig.2a] et nous les avons mesurés en régime pulsé, avec un spectromètre FTIR et un détecteur bolomètre Si commercial refroidi à l'hélium liquide. Les résultats sont cohérents avec l'excitation du mode TM₁₂ (un mode quadripolaire, le deuxième mode excité après le mode fondamental) L'antenne ne constitue pas un élément inductif mais elle perturbe le système suffisamment pour lever la dégénérescence de la résonance de manière visible [Fig.2b]. L'objectif final de ce travail est de développer un laser sub-longueur d'onde sur toutes les dimensions, en se fondant sur ces simulations numériques.

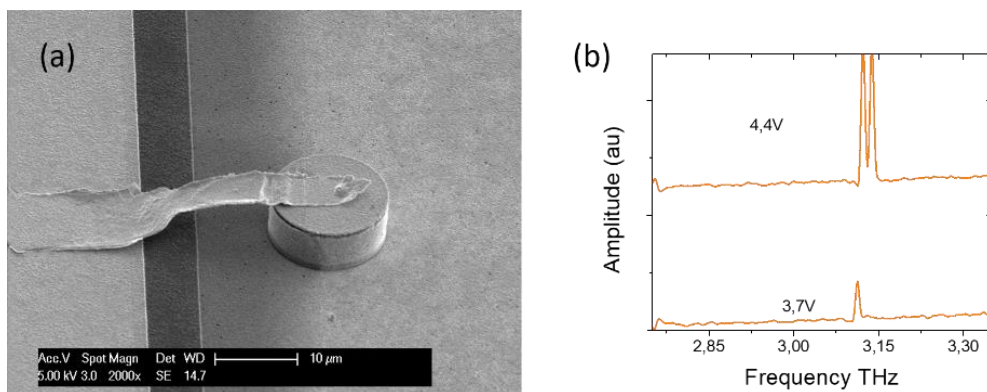


Fig. 2 : a) Image MEB du plus petit QCL fabriqué (12 μm).
b) Spectre d'émission pour différentes valeurs de tensions injectées à un QCL de 30 μm de diamètre qui émet sur le mode TM₁₂ (mode quadripolaire).

REFERENCES

- [1] R. Zhang et al, "Metal-Grating-Coupled Terahertz Quantum-Well Photodetectors", IEEE Electron Device Letters, 32 (5) pp. 659-661 (2011).
- [2] B. Paulillo et al, "Circuit-tunable sub-wavelength THz resonators: hybridizing optical cavities and loop antennas", Optics Express, 22 (18) pp. 21302-21312 (2014).
- [3] B. Kanté et al, "Engineering resonance in infrared metamaterials", Optics Express, 16 (10) pp. 6774-6784 (2008).
- [4] M. Wienold et al, "Low-voltage terahertz quantum-cascade lasers based on LO-phonon-assisted interminiband transitions", Electronics Letters, 45 (20) pp. 1030-1031 (2009).