

Sujet de stage Master 2 ou Ingénieur 3ème année

Caractérisation de dispositifs en céramique pour applications au domaine des ondes THz

Mots clés : Spectroscopie THz résolue en temps, Métamatériaux, Caractérisation de composants, Electromagnétisme, Matériaux céramique, Optoélectronique et Ondes TéraHertz.

Localisation: Laboratoire CROMA (UMR 5130) , Université Savoie Mont-Blanc, 73370 Le Bourget du Lac.

Encadrant : Jean-François Roux, jean-francois.roux@univ-smb.fr

Période et durée : Printemps- été 2027, durée 6 mois.

Contexte : Les métamatériaux pour l'électromagnétisme (du visible aux hyperfréquences) sont des milieux artificiels qui sont structurés de telle sorte qu'ils présentent des propriétés remarquables à certaines fréquences comme par exemple un indice de réfraction effectif négatif ou nul, un coefficient d'absorption de 100 % etc. Ces comportements sont obtenus grâce à la géométrie spécifique des dispositifs qui permet à la permittivité électrique (ϵ_{eff}) et à la perméabilité magnétique (μ_{eff}) effectives du dispositif d'avoir des valeurs différentes de celles du matériau qui a été utilisé pour concevoir le milieu artificiel. Dans le domaine du proche infra-rouge, les métamatériaux sont d'ores et déjà utilisés pour miniaturiser des fonctions optiques (filtres, laser, détecteurs) utiles en instrumentation¹ ou pour obtenir des absorbeurs parfaits sélectif en longueurs d'ondes². Dans le domaine des ondes THz ($\lambda = 30 \mu\text{m}$ à 3 mm), les développements technologiques sont en cours et nous nous intéressons à l'utilisation de céramiques pour la réalisation de milieux à indice effectif nul ou négatif³.

État de l'art : La caractérisation dans le domaine THz d'un métamatériau repose sur la mesure simultanée de la transmission et de la réflexion de l'échantillon. Pour cela les bancs de mesures de la plateforme PLATERA de CROMA (<https://croma.grenoble-inp.fr/>) permettent l'analyse en amplitude et en phase de signaux réfléchis et transmis dans la gamme THz visée (entre 100 GHz et 2 THz). Néanmoins, les méthodes d'analyse qui permettent de remonter à ϵ_{eff} et à μ_{eff} à partir des mesures peuvent être très sensibles aux incertitudes expérimentales et nécessitent une approche complémentaire du type Kramers-Kronig⁴. A ce jour, la plupart des milieux à indice effectif nul ou négatif au THz sont de nature métallique, ce qui réduit leur champ d'application du fait des pertes par échauffement⁵. Nous cherchons à démontrer ces propriétés pour des milieux entièrement diélectriques.

Résultats et impact attendus : L'objectif du stage est de caractériser à l'aide de bancs expérimentaux déjà existants des dispositifs en céramique fabriqués par nos partenaires (IRCER, Limoges). Après une étude bibliographique et une étape de prise en mains des outils expérimentaux, il s'agira de caractériser des premiers dispositifs reçus et de comparer leur réponse aux résultats de simulation obtenus par nos partenaires (C2N, Palaiseau). Une seconde étape consistera à explorer les pistes permettant de renforcer la stabilité des procédures d'analyses des résultats face aux incertitudes de mesure.

Profil recherché : Etudiant ou étudiante de niveau Bac+5 avec un intérêt pour la recherche expérimentale et une bonne maîtrise des outils de calculs ou de programmation (Matlab, Python). Une formation initiale dans les domaines de l'optique et de l'électromagnétisme serait un atout.

Candidature : Pour postuler merci d'envoyer votre candidature par mail à jean-francois.roux@univ-smb.fr : votre dossier comprendra une lettre de motivation, un CV et une copie des résultats académiques post bac. Date limite de candidature : **31 novembre 2026**.

¹ J. Wei et al., "Metamaterial technologies for miniaturized infrared spectroscopy: Light sources, sensors, filters, detectors, and integration" *J. Appl. Phys.* 128, 240901 (2020). <https://doi.org/10.1063/5.0033056>

² L. Xiu et al., "Infrared Spatial and Frequency Selective Metamaterial with Near-Unity Absorbance" *Phys. Rev. Lett.* **104**, 207403, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.104.207403>

³ C. Dupas et al. High permittivity processed SrTiO₃ for metamaterials applications at terahertz frequencies. *Sci Rep* 8, 15275 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33251-y>

⁴ Z. Szabó et al. "A Unique Extraction of Metamaterial Parameters Based on Kramers–Kronig Relationship," in *IEEE MTT*, vol. 58, no. 10, pp. 2646-2653, Oct. 2010, <https://doi.org/10.1109/TMTT.2010.2065310>.

⁵ T. Suzuki et al. "Negative refractive index metamaterial with high transmission, low reflection, and low loss in the terahertz waveband," *Opt. Express* **26**, 8314-8324 (2018) <https://doi.org/10.1364/OE.26.008314>