

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Sources de lumière infrarouge à base de dispositifs de matériaux 2D et nano-antennes plasmoniques uniques

Référence : **PHY-DOTA-2022 -04**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2022

Date limite de candidature : 01/07/2022

Mots clés :

Nano-optique, plasmonique, nano-antennes, graphène, rayonnement infrarouge, contrôle de la lumière, électroluminescence, émission thermique, champ proche optique

Profil et compétences recherchées :

Ecole d'Ingénieur et/ou Master Recherche 2.
Optique, nanophotonique, goût pour l'expérimental.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

L'objectif de ce projet est de concevoir et caractériser des dispositifs d'émission de lumières assistés par des nanoantennes uniques. Deux familles d'objet seront considérées au cours de la thèse, la première repose sur l'électroluminescence de transistors graphène et la seconde sur l'émission thermique de sources infrarouges reconfigurables à l'aide d'une illumination laser visible.

Les méthodes expérimentales qui seront exploitées durant la thèse sont des méthodes d'imagerie et de spectroscopie infrarouges ultrasensibles et/ou super-résolues dont nous sommes spécialistes, et qu'il faudra adapter en fonction des besoins du projet : la spectroscopie infrarouge par modulation spatiale [Li2018, Abou_Hamdan2021], le microscope de champ proche à rayonnement thermique [DeWilde2006, Babuty2013], et un nouveau microscope optique de champ proche (SNOM) infrarouge fonctionnant à l'ambient à l'aide de sources lasers accordables donnant accès à un spectre très étendu. **Aux expériences s'ajouteront des simulations numériques électromagnétiques.** Elles seront réalisées à l'aide de logiciels commerciaux (COMSOL, LUMERICAL) ou développés au sein de l'équipe d'encadrement.

Nous avons récemment découvert qu'un transistor graphène haute mobilité encapsulé par des feuillets de nitrure de bore (ZKFET) sous fort biais devient électroluminescent dans le moyen infrarouge (MIR, $\lambda \approx 8-10 \mu\text{m}$), comme le montre la figure ci-dessous. Cette émission est possible grâce à un mécanisme d'injection de porteurs original spécifique aux semi-métaux 2D mis en évidence dans des mesures de transport électrique par nos collaborateurs de l'Ecole Normale Supérieure (LPENS, E. Baudin) : la conductance tunnel Zener-Klein (ZK). [Yang2018] L'électroluminescence coïncide avec un refroidissement brutal du gaz d'électrons du graphène. Les puissances de refroidissement atteignent plusieurs mW [Baudin2020].

L'électroluminescence du graphène est un phénomène inédit. Soumis à un fort biais, le gaz d'électrons atteint un régime stationnaire très hors équilibre, donnant lieu à un mécanisme d'électroluminescence encore très mystérieux. Ajoutons que l'électroluminescence du graphène consiste en l'émission de modes de champs proche (Figure 1c) : les phonon-polaritons hyperboliques (HPPs) de l'encapsulant en Nitrure de Bore hexagonal (hBN). **Dans ce premier volet de la thèse, nous chercherons non seulement à mieux comprendre le mécanisme responsable de l'électroluminescence du graphène dans l'infrarouge, mais également à optimiser la diffusion des modes de champ proche vers le champ lointain par structuration des dispositifs ou à l'aide d'antennes plasmoniques dimensionnées pour créer un nouveau type de source de lumière infrarouge très efficace.**

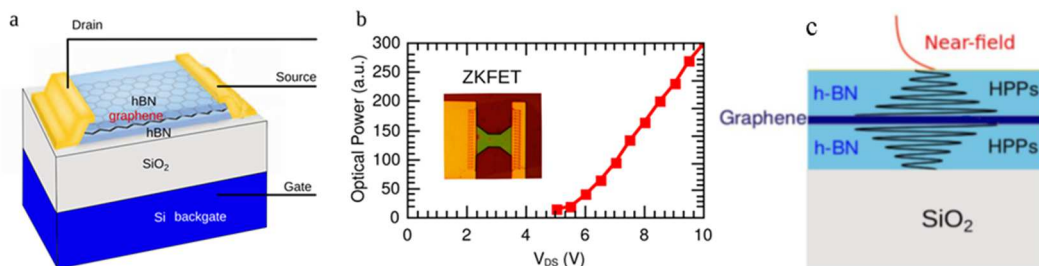


Figure 1 : Électroluminescence d'un ZKFET sous forte tension drain-source (V_{DS} , collaboration LPENS & IL, non publié). (a) Schéma en coupe d'un transistor graphène encapsulé par deux nanofeuillets de Nitrure de Bore hexagonal (hBN) (b) Puissance optique dans la gamme MIR en fonction de la tension drain-source obtenue à l'air libre. (c) Représentation schématique de la distribution du champ proche électromagnétique rayonné à travers l'hétérostructure. Le champ proche produit à la surface du ZKFET par les HPPs doit être découplé vers le champ lointain pour produire une source efficace de lumière infrarouge.

Par ailleurs, nous étudierons aussi l'émission thermique infrarouge de nano-antennes métal-isolant-métal (MIM) chauffées par absorption d'une lumière visible spatialement modulée. Les antennes MIM utilisent les plasmons de surface pour confiner le champ électromagnétique dans des volumes très inférieurs au cube de la longueur d'onde. Il est ainsi possible d'augmenter la sensibilité de détecteurs infrarouges développés pour les caméras à vision nocturne [Palaferri2018] et de produire de nouvelles sources infrarouges dotées de propriétés de cohérence particulières, comme celle de produire un spectre d'émission étroit centré sur la fréquence de résonance de l'antenne. Un tel spectre est sensiblement différent du spectre de Planck et peut être exploité pour la détection de molécules. Notre équipe est la seule dans le monde à être capable de mesurer l'émission infrarouge d'antennes MIM individuelles [Li2018] ou en nombre restreint [Abou_Hamdan2021]. Nous avons récemment mis en évidence l'hybridation de modes électromagnétiques de dimères de nano-antennes MIM [Abou_Hamdan2021]. Nous projetons à présent d'investiguer des antennes plus complexes formées de multiples éléments de taille sub-longueur d'onde, dont les briques de base seront les nano-antennes MIM. **Le second volet de la thèse portera ainsi sur l'élaboration de matrices d'antennes MIM que nous chaufferons par absorption d'un faisceau laser visible afin de stimuler leur réémission infrarouge. L'emploi d'un modulateur spatial de lumière permettra de modifier la configuration spatiale de ce chauffage par laser sur la matrice d'antennes. Nous disposerons ainsi d'un convertisseur de lumière reconfigurable du visible vers l'infrarouge.** Ce nouveau type de source devrait pouvoir aussi être modulé à très haute cadence moyennant un dimensionnement adapté des structures [Wojszzyk2021].

Cette thèse s'effectuera en collaboration entre le Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure (Emmanuel Baudin), le Laboratoire Charles Fabry – IOGS (Jean-Jacques Greffet), l'ONERA (Amandine Andrieux et Patrick Bouchon), et l'Institut Langevin à l'ESPCI Paris (Yannick De Wilde et Valentina Krachmalnicoff). Elle sera dirigée par Yannick De Wilde (Institut Langevin) et Patrick Bouchon (ONERA).

[Yang2018] W. Yang et al, Nat. Nanotechnol. **47**, 13 (2018).

[Baudin2020] E. Baudin et al, Adv. Funct. Mater. **30**, 1904783 (2020).

[Palaferri2018] D. Palaferri et al., Nature **556**, 85 (2018).

[Li2018] C. Li et al, Phys. Rev. Lett. **121**, 24, 243901 (2018).

[Abou_Hamdan2021] L. Abou-Hamdan et al., Opt. Lett. **46**, 981 (2021).

[Wojszzyk2021] L. Wojszzyk et al., Nature communications **12**, 1 (2021).

[DeWilde2006] Y. De Wilde et al, Nature **444**, 740 (2006).

[Babuty2013] A. Babuty et al, Phys. Rev. Lett. **110**, 146103 (2013).

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : DPHY (Physique, instrumentation, environnement, espace) & DOTA (Optique et techniques associées)

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau / Chatillon

Contact : Amandine Andrieux

Tél. : 01 46 73 47 65 - Email : amandine.andrieux@onera.fr

Patrick Bouchon - Tél : 01 80 38 63 67 - Email : patrick.Bouchon@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Yannick De Wilde

Laboratoire : Institut Langevin

Tél. : 01 80 96 30 84

Email : yannick.dewilde@espci.fr