

Sujet de thèse

École doctorale EEA de Lyon

Merci de compléter l'ensemble des rubriques et de lire les notes de bas de page.

Etablissement d'inscription : INSA Lyon ¹
École doctorale : ED 160 EEA de Lyon dirigée par Mr Delachartre Philippe
Intitulé du doctorat : Electronique, Nanotechnologie, Optique et Laser ²
Sujet de la thèse : Étude des propriétés photoniques thermiques des semi-métaux de Weyl
Unité de recherche : INL ³ , dirigée par Bruno Masenelli
Directeur/trice de thèse : Mr AMARA Mohamed
Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant)⁴ :
Co-directeur/trice de thèse en entreprise (le cas échéant) :

¹ A impérativement choisir dans la liste suivante : Ecole Centrale de Lyon, INSA de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1

² A impérativement choisir dans la liste suivante : Automatique // Electronique, Nanotechnologie, Optique et Laser // Génie Electrique // Ingénierie pour le vivant Traitement du signal et de l'Image)

³ A impérativement choisir dans la liste suivante : Laboratoire Ampère, CITI, CREATIS, INL, LAGEP, LGEF

⁴ Un/une co-encadrant-e n'est pas nécessairement co-directeur/trice de thèse puisque pour remplir ce rôle, il est nécessaire d'être habilité à diriger des recherches (pour plus de précision, voir le règlement intérieur de l'ED EEA, section 3.

Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels⁵ :

David Carpentier Laboratoire de Physique UMR 5672, ENS Lyon

Domaine et contexte scientifiques :

Le contrôle du rayonnement thermique est d'une importance fondamentale pour l'énergie. La grande majorité des émetteurs thermiques est constituée de matériaux réciproques, c'est-à-dire tels que leur émissivité et leur absorptivité sont égales. Cette contrainte limite l'ingénierie photonique pour manipuler le rayonnement, par exemple l'efficacité maximale de matériaux photovoltaïques. Une nouvelle classe de matériaux topologiques, appelés des semi-métaux de Weyl, ont été récemment découverts. Ils sont caractérisés par une réponse électromagnétique exotique, appelée axionique, initialement proposée dans le contexte de la physique des particules élémentaires. Cette axionique autorise de briser la réciprocité entre la direction d'absorption et d'émission de la lumière en jouant sur les propriétés de structure de bandes du matériau.

Mots-clefs : Matériaux topologiques pour l'énergie, photonique, émetteurs thermiques non-réciproques, semi-métaux de Weyl

Objectifs de la thèse :

L'objectif principal de ce travail de thèse est de contribuer à lever les différents verrous scientifiques relatifs à l'utilisation des semi-métaux de Weyl dans le domaine de la photonique. Les principales questions derrière la présente thèse sont les suivantes : 1) quels mécanismes physiques relient la structure de bande des semi-métaux et la non-réciprocité. Autrement dit, quelles sont les propriétés optométriques-électroniques de ces matériaux ? 2) Quel design photonique optimal est possible pour exploiter la non-réciprocité de la lumière pour les cellules solaires ? Parmi les matériaux identifiés dans la littérature [4], quel est celui qui peut être considéré comme le plus simple à exploiter ?

Verrous scientifiques :

Les seules études existantes sur ce sujet concernent des démonstrations de principe à partir de modèles très simplifiés des structures de bandes des semi-métaux de Weyl [9, 10]. Ce sujet de recherche demeure donc exploratoire et novateur. Au-delà de ces premiers résultats, plusieurs questions clés se posent avant d'utiliser ces matériaux de Weyl dans de nouveaux dispositifs, qui seront abordées dans ce projet :

⁵ Hors contrats doctoraux fléchés UMI par l'établissement, les sujets de thèse en cotutelle ne sont pas acceptés.

- 1) la prise en compte de structure de bandes de matériaux réels, intrinsèquement plus complexes que celles des modèles idéaux considérés, et leur impact sur les propriétés optiques et la non-réciprocité recherchée,
- 2) en conséquence, l'identification des critères pertinents à la détermination des matériaux de Weyl optimaux pour les applications autour de l'énergie.

Figures :

À%omission thermique dâ€™un corps portÃ© Ã une tempÃ©rature supÃ©rieur Ã 0 K. b)
La structure de bande d'un semi-mÃ©tal de Weyl

Contributions originales attendues :

L'analyse bibliographique sur les semi-métaux de Weyl montre un champ de recherche en plein expansion depuis 2020 [2, 3]. L'exploitation de ces matériaux pour les cellules solaires et le management thermique reste à analyser ce qui démontre le caractère novateur de ce projet. Récemment, Park et al. [5] ont proposé le concept de cellules multijonction non réciproque. Dans la limite d'un nombre infini de couches, une telle cellule peut atteindre la limite de Landsberg, qui est la limite ultime de la conversion de l'énergie solaire. Toutefois, aucune architecture de cellules n'a été proposée. Dans ce travail, on se propose de d'imaginer une conception qui incorpore des semi-métaux de Weyl avec des cellules solaires pour obtenir des absorbeurs semi-transparents et non réciproques. Dans cette conception, les principaux défis consistent à designer le cristal photonique pour guider la lumière.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

Après une phase de prise en main des outils de simulations électromagnétiques, le travail sera mené sur trois axes :

- Axe 1 : compréhension de la physique des semi-métaux de Weyl et leurs propriétés optiques.

Axe 2 : étude de l'impact de la structuration de surface sur le diagramme angulaire d'absorption et d'émission. Ceci nous permettra d'identifier des structures favorables à la non-réciprocité et de fait, réaliser une preuve de concept.



EEA
ÉLECTRONIQUE
ÉLECTROTECHNIQUE
ET AUTOMATIQUE
UNIVERSITÉ DE LYON

-Axe 2 : conception de structures photoniques favorables au couplage avec des matériaux semi-conducteurs pour des cellules solaires non-réciproques.

Encadrement scientifique :

- **Description du comité d'encadrement :** [à compléter avec le rôle dans l'encadrement scientifique (en termes de compétences scientifiques, etc.) et le pourcentage d'implication du directeur de thèse ⁶ et des autres membres du comité⁷]

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
Mr AMARA Mohamed	INL i-Lum	Simulation opto- électro-thermique applique aux cellules solaires	60
Mr NGUYEN Hai Son	INL i-Lum	Concepts nanophotoniques, technologie pour les matériaux topologiques	40

- Le comité d'évaluation de l'HCERES ayant demandé à l'école doctorale de limiter la taille du comité d'encadrement à deux membres (directeur de thèse compris), il est impératif de ne proposer des comités d'encadrement de taille plus importante que si cela est absolument nécessaire⁸ et **de le justifier soigneusement.**

L'implication des trois acteurs mentionnés plus haut est nécessaire dans la mesure où ils maîtrisent la physique de la conversion de l'énergie solaire notamment les aspects liés au rayonnement thermique, la connaissance des matériaux topologiques de Weyl et enfin le design de dispositifs photoniques

⁶ Le directeur de thèse doit être un HdR rattaché à l'ED EEA ou en passe de le devenir avant juin de l'année en cours ou bénéficier d'une dérogation du Conseil Scientifique lors du dépôt du sujet de thèse.

⁷ Dans le cas d'un comité d'encadrement réparti sur plusieurs établissements, la plus grande partie de l'encadrement est effectuée par des membres de l'établissement. Si l'encadrement de la thèse implique des membres hors de l'ED EEA, la part de l'encadrement des membres ED doit être très supérieure à 50%.

⁸ Un certain nombre de commissions type CNU ne reconnaissent un co-encadrement qu'au-delà d'un certain pourcentage. Souvent l'encadrement est considéré comme effectif si > 30%.

- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s)** (Département/Equipe(s) impliquée(s)) (**pourcentage du temps travail au sein de ce ou ces laboratoire(s)**) :

Le/la doctorant.e sera intégré.e au sein de l'équipe i-Lum, Ingénierie et Conversion de Lumière de l'INL, et travaillera essentiellement sur le site INSA du Laboratoire, le travail de modélisation sera réalisé avec la plateforme nationale de simulation IN2P3. L'INL dispose déjà de licences de logiciels photoniques installées sur cette plateforme.

Financement de la thèse : Contrat doctoral de l'établissement d'inscription

Profil du candidat recherché (prérequis) :

Le/la candidat/e doit avoir des bases solides de science des matériaux, physique des semi-conducteurs et nanophotonique. Par ailleurs, le candidat doit avoir des connaissances de les langages de programmation tels que C et Python.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche :

Publications scientifiques, présentations dans des conférences de référence.

Compétences qui seront développées au cours du doctorat :

Conception et simulation électromagnétique. Physique des matériaux. Outils de simulations tels que Python.

Perspectives professionnelles après le doctorat :

Ingénieur de recherche ou chercheur en R&D en milieu industriel, en laboratoire académique, etc.

Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

[1] B. Q. Lv et al., "Observation of Weyl nodes in TaAs," Nat. Phys., vol. 11, no. 9, pp. 724–727, 2015, doi: 10.1038/nphys3426.

[2] C. Guo, V. S. Asadchy, B. Zhao, and S. Fan, "Light control with Weyl semimetals," eLight, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s43593-022-00036-w.

[3] T. Liu, C. Guo, W. Li, and S. Fan, “Thermal photonics with broken symmetries,” *eLight*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: 10.1186/s43593-022-00025-z.

[4] B. Yan and C. Felser, “Topological materials: Weyl semimetals,” *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.*, vol. 8, pp. 337–354, 2017, doi: 10.1146/annurev-conmatphys-031016-025458.

[5] Y. Park, B. Zhao, and S. Fan, “Reaching the Ultimate Efficiency of Solar Energy Harvesting with a Nonreciprocal Multijunction Solar Cell,” *Nano Lett.*, vol. 22, no. 1, pp. 448–452, 2022, doi: 10.1021/acs.nanolett.1c04288.