



<http://gdr-ondes.cnrs.fr/>

Rencontre thématique du GDR Ondes 2451

Ondes et topologie

28 et 29 mars 2019, à l’Institut FEMTO-ST, Besançon

15 B avenue des Montboucons, 25030 Besançon

Organisateurs :

Vincent Laude (vincent.laude@femto-st.fr)

Benoît Cluzel (benoit.cluzel@u-bourgogne.fr)

Muamer Kadic (muamer.kadic@femto-st.fr)

Yan Pennec (yan.pennec@univ-lille1.fr)

Le groupe thématique GT2 (Physique et ingénierie des structures Sub- λ) du GDR Ondes organise à l’Institut FEMTO-ST de Besançon deux journées de rencontre scientifique sur les aspects topologiques des ondes, en particulier dans les cristaux et les métamatériaux photoniques/phononiques.

Les aspects topologiques de la propagation des ondes sont extrêmement populaires à l’heure actuelle et donnent lieu à des publications internationales de très fort impact depuis quelques années. L’enjeu est de réaliser des équivalents classiques des isolants topologiques : par exemple utiliser des modes de bord unidirectionnels et non rayonnants dans l’intérieur, exciter des modes guidés protégés contre les défauts des guides, exciter des modes de coin (*corner states*) protégés topologiquement, etc. Lors de cette rencontre thématique, nous nous proposons de faire un point critique sur les promesses et les réalités attachées à ces nouveaux concepts, mais aussi de donner la parole à de jeunes chercheurs et chercheuses du domaine.

Avec l’aimable soutien de :



Feuille1

	28/03/19	29/03/19
9:00		Amo
10:00	Café	Questions / débat
10:20		Pause café / discussions
10:40	Introduction	
11:00		Jamadi
11:20	Fleury	Esmann
11:40		Vincent
12:00		Achilleos
12:20	Débat	Conclusion
12:40	Repas	Repas
14:00	Theocharis	Temps pour discussions ou réunions Visites de labo
14:20	Zheng	
14:40	Barchiesi	
15:00	Wang	
15:20	Pause café / discussions	
16:00	Djafari-Rouhani	
16:20	Ungureanu	
16:40	Laforge	
17:00	Hoblos	
17:20	Poster session Briche, Chargui, Djafari-Rouhani, Wang, etc.	
18:00		
	Vins + fromages	
19:00		

Introduction to topological wave phenomena and examples in acoustics

Romain Fleury

Laboratoire d'Ingénierie des Ondes, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

This presentation will give a down-to-earth introduction to the field of topological wave phenomena. After a general introduction about topology and its potential use in Physics, we will discuss the notion of topological band structures and topological insulators. Through several simple one-dimensional examples for acoustic waves, we will review the basic physics of topological insulators, going from simple toy models to more advanced descriptions of topological phenomena. We will then move to two-dimensional systems and discuss several well-known examples of two-dimensional acoustic topological insulators. Altogether, the talk will give a general introduction and overview of the field of topological acoustics, concluding with some potential future research directions.

Topological phenomena in photonic lattices

Alberto Amo

Laboratoire PhLAM, CNRS UMR 8523, Université de Lille, 59000 Lille

Topology describes the properties of a physical system that remain unaffected by distortion. In solids, the most popular way of characterising these properties is via a topological invariant: a magnitude extracted from the electronic bands of the system and that can only take integer value. The main hallmark of these topological properties is the existence of conducting edge states at the interface between two solids characterised by different topological invariants. The existence of these edge states is robust to disorder and certain deformations of the solid. This paradigm has been able to successfully explain the universal transport of the quantum Hall effect and to predict the existence of topological insulators and Weyl semimetals.

As first noticed by Haldane and Raghu in 2005 [1], topological phases are not exclusive of electronic systems: they can characterise generic waves propagating in lattices, regardless of their bosonic or fermionic nature. They can, therefore, be brought to the photonics realm. The field of topological photonics was experimentally inaugurated in 2009 with the observation of the analogue of the quantum Hall effect for microwave photons [2]. Since then, many experimental realisations have been directly inspired from the topological physics in solid state systems: the photonic analogues of the quantum spin Hall effect and of the Haldane model, the implementation of topological pumps and the observation of three dimensional Weyl points for photons.

Beyond the physics directly inspired by solid state systems, photonic platforms provide a unique opportunity to study novel concepts, with no electronic counterpart. A few examples of genuinely topological photonics phenomena include lasing in topological edge states [3,4] or the realisation of non-Hermitian topological Hamiltonians [5]. Natural extensions of these works towards applications include backscatter-free topological waveguides in photonic crystals and non-reciprocal on-chip devices.

In this presentation I will review the main milestones of the field, summarised in [6].

Bibliography

- [1] F. D. M. Haldane and S. Raghu, *Possible Realization of Directional Optical Waveguides in Photonic Crystals with Broken Time-Reversal Symmetry*, Phys. Rev. Lett. **100**, 013904 (2008) -published in arXiv in 2005-.
- [2] Z. Wang, Y. Chong, J. D. Joannopoulos, and M. Soljačić, *Observation of unidirectional backscattering-immune topological electromagnetic states*, Nature **461**, 772 (2009).
- [3] P. St-Jean, V. Goblot, E. Galopin, A. Lemaître, T. Ozawa, L. Le Gratiet, I. Sagnes, J. Bloch, and A. Amo, *Lasing in topological edge states of a one-dimensional lattice*, Nat. Photonics **11**, 651 (2017).
- [4] B. Bahari, A. Ndao, F. Vallini, A. El Amili, Y. Fainman, and B. Kanté, *Nonreciprocal lasing in topological cavities of arbitrary geometries*, Science **358**, 636 (2017).
- [5] Z. Gong, Y. Ashida, K. Kawabata, K. Takasan, S. Higashikawa, and M. Ueda, *Topological Phases of Non-Hermitian Systems*, Phys. Rev. X **8**, 31079 (2018).
- [6] T. Ozawa, H. M. Price, A. Amo, N. Goldman, M. Hafezi, L. Lu, M. Rechtsman, D. Schuster, J. Simon, O. Zilberberg, and I. Carusotto, *Topological Photonics*, Rev. Mod. Phys. (to be published) ArXiv:1802.04173 (2018).

A Honeycomb acoustic network sideloaded with Helmholtz resonators

Vassos Achilleos

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine - UMR-CNRS 6613

Le Mans Université

Av. Olivier Messiaen, 72085 Le Mans cedex 9, France

Résumé

We derive a set of discrete equations in order to describe a honeycomb acoustic network.

We show that the acoustic network acquires the same dispersion relation as graphene. To create a band gap around the Dirac point of the spectrum, we break the inversion symmetry of the unit cell by adding a set of detuned Helmholtz resonators. We then obtain both edge and interface modes that lie within the band gap for a configuration with zig-zag edges. The analytical results from our simple discrete model are corroborated by 3D finite element simulations.

Topologie et optimisation

Dominique Barchiesi

GAMMA3 - Université de technologie de Troyes, 12 rue Marie Curie

CS 42060 - 10004 Troyes Cedex - France

Résumé

La topologie des fonctions simulant des mesures optiques expérimentales a une incidence sur le comportement des méthodes d'optimisation et de résolution de problème inverse. Cette contribution pose la problématique d'optimisation dans le cas simple d'un capteur à plasmon de surface (SPR) afin d'illustrer leur sensibilité aux différentes propriétés inhérentes aux structures résonantes.

1. Introduction, contexte, objectifs

La topologie des ondes, intrinsèquement liée aux symétries des objets éclairés induit des propriétés spécifiques aux fonctions décrivant un dispositif de mesure optique. Le fonctionnement des capteurs à plasmon de surface (SPR [1]) est la perturbation d'une résonance optique par le changement d'indice de réfraction au voisinage immédiat de la partie sensible du capteur. Le modèle de base de ces capteurs, à haut degré de symétrie, est une couche nanométrique d'or, plane, déposée sur un substrat en verre plan. Le milieu de détection est situé au voisinage immédiat de la couche d'or. Suivant le mode de détection choisi, le modèle peut dépendre de différentes variables, en particulier l'angle d'incidence de la lumière illuminant le dispositif en transmission, par le substrat mais aussi l'épaisseur de la couche d'or. Ce modèle simplifié du capteur conduit au calcul de courbes de dispersion du plasmon. Les propriétés topologiques de ces courbes de dispersion, conduisent à un comportement complètement différent des méthodes d'optimisation, permettant de calculer les meilleurs couples d'angles d'incidence et d'épaisseurs.

2. Méthodes et contribution

Il est d'usage, en recherche opérationnelle et donc en optimisation, de caractériser les méthodes par le calcul d'indicateurs de succès, lorsqu'on cherche des minimums de fonctions test, aux propriétés topologiques variées : unique minimum (global) ou multiples minimums locaux, fonctions analytiques ou bruitées, puits étroits ou larges entourant le minimum global etc. Nous proposons de caractériser les principales méthodes d'optimisation mét-heuristiques, utilisées pour résoudre le problème inverse [2-6] à partir de la fonction test du signal SPR [1,4]. Nous montrerons comment on peut relier le comportement de la méthode d'optimisation et en particulier son taux de succès à trouver l'optimum, aux propriétés de la courbe de dispersion. On pourra rapprocher cette courbe de fonctions test connues. En particulier, on pourra discuter l'influence relative des phases d'exploration et d'exploitation des méthodes d'optimisation, afin de trouver les meilleurs angles d'incidence et épaisseurs de la couche d'or. Cette approche peut être généralisable à des problèmes plus complexes et le lien entre les propriétés topologiques des ondes et la méthode d'optimisation adéquate mérite d'être spécifiquement étudiée, afin d'être en mesure d'optimiser numériquement des systèmes optiques.

3. Bibliographie

- [1] D. Barchiesi & A. Otto. "Excitations of surface plasmon polaritons by attenuated total reflection, revisited" *La Rivista del Nuovo Cimento* 36.5 (2013), p. 173–209.
- [2] D. Barchiesi, "Numerical retrieval of thin aluminium layer properties from SPR experimental data" *Opt. Express* 20 (8) (2012) 9064–9078.
- [3] D. Macias & D. Barchiesi, "Identification of unknown experimental parameters from noisy apertureless scanning near-field optical microscope data with an evolutionary procedure" *Opt. Lett.* 30 (19) (2005) 2557–2559.
- [4] J. Salvi & D. Barchiesi. "Measurement of thicknesses and optical properties of thin films from Surface Plasmon Resonance (SPR)" *Applied Physics A* 115.1 (2014), p. 245–255.
- [5] D. Barchiesi. "The Lycurgus Cup: inverse problem using photographs for characterization of matter" *J. Opt. Soc. Am. A* 32.8 (2015), p. 1544–1555.
- [6] D. Barchiesi, D. Cakir, T. Grosges, N. Fréty, E Anglaret "Recovering effective thicknesses and optical properties of copper and copper oxide layers from absorbance measurements" A paraître dans *Optical Materials*

Towards topology in rolled-up honeycomb lattice-based photonic crystal membrane

Rémi Briche¹, Hai-Son Nguyen¹, Pierre Cremillieux¹, Philippe Regreny¹, Jean-Louis Leclercq¹, Xavier Letartre¹, Ségolène Callard¹, Alexandre Danescu¹

¹ Université de Lyon, École Centrale de Lyon, Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL), CNRS, UMR5270

The study of the photonic analogues of atomic crystals has been paving the way to new perspectives in the light engineering. In particular, honeycomb-lattice photonic crystals have drawn interest as, like graphene, they exhibit remarkable properties such as the presence of a Dirac point in their band diagram. Beyond the linear dispersion around this point, it has been proved that by opening a gap around this peculiar point, topological edges states could be obtained even without the need of any external fields ([1], [2]). Recent studies have also demonstrated that single-wall carbon nanotubes (SWNTs), i.e. rolled-up version of graphene sheet, exhibit non-trivial topological properties depending on their chirality and on their shape of boundary [3].

Stress-engineering based fabrication recently opened the path to produce rolled-up structures based on planar photonic crystals [4]. These new opportunities allow us to fabricate and characterize the analogue of SWNTs in the class of photonic crystals. It is well known that, depending on their chirality, the carbon nanotubes may (or not) present a band-gap so that a natural question we address here concerns the existence of a folding induced band-gap in the case of photonic micro-tubes. Beyond this question, we also want to explore the topological nature of the bands on both sides of the induced gap.

Toward the answer to this question, 3D FDTD simulations have been performed so as to design a graphene-like photonic structures with a Dirac point centred at 1.55 μm . In addition, a tight-binding approach was used to predict which chirality of the photonic micro-tubes would generate a band gap. Finally, we also report here fabrication of the first photonic nanotubes with honeycomb pattern. Optical characterization using photoluminescence and reflectivity measurements of fabricated structures is still in progress. Our goal is to experimentally construct band diagrams and reveal topological properties of the photonic microtubes.

- [1] P. Duke Anderson and Ganapathi Subramania, "Unidirectional edge states in topological honeycomb-lattice membrane photonic crystals," Optics Express **25**, 23293-23301 (2017)
- [2] S. Barik et al, "A topological quantum optics interface", Science **359**, 666-668 (2018)
- [3] W. Izumida, R. Okuyama, A. Yamakage, and R. Saito, "Angular momentum and topology in semiconducting single-wall carbon nanotubes", Physical Review B **93**, 195442
- [4] A. Danescu, P. Regreny, P. Cremillieu and J.-L. Leclercq, "Fabrication of self-rolling geodesic objects and photonic crystal tubes", Nanotechnology **29**, 285301 (2018)

Morphological features and acoustic anisotropy in oriented thin films

Asma Chargui, Raya El Beainou, Sébastien Euphrasie, Alexis Mosset, Nicolas Martin, Pascal Vairac

*Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Université Bourgogne Franche-Comté,
15 B, avenue des Montboucons, 25030 Besançon, France*

Abstract

We present the acoustic characterization of micro-structured thin films exhibiting a tilted columnar architecture fabricated by GLAD sputtering (Glancing Angle Deposition). Emphasis is put on the correlations between the structural shape of columnar thin films and their anisotropic properties. Measurements of the acoustic waves propagation are performed with a femtosecond heterodyne pump probe setup.

1. Materials and methods

In thin film deposition, the GLAD approach is among the most attractive ways to produce original surface morphologies, especially to tune the surface anisotropy. The technique consists of depositing thin films using oblique incidence of the sputtered particles flux and on a fixed or mobile substrate. The femtosecond heterodyne pump probe setup [1] is used for the acoustic characterization of the GLAD films. This technique allows the visualization of surface acoustic waves and the calculation of their dispersions. The acoustic waves are generated by the absorption of the first laser (pump). The second laser (probe) measures the reflectivity variations of the sample's surface, which are linked to the temperature and acoustic changes.

2. Experimental results

Two metals are investigated: tungsten (W) and gold (Au). The choice of these metals is motivated by their propensity to create morphological columnar features, which is connected to their film growth process. Scanning electron microscopy (SEM) are used to view the surface and the structural morphologies of the films. It is shown that W GLAD growth gives rise to asymmetric columns with elliptical sections linked by void regions. Such architecture leads to important anisotropic behaviors for the group velocities of the pseudo-Rayleigh wave. Au GLAD films produce a rather circular and more symmetric columnar growth with an isotropic propagation [2]. Using the finite element method, the acoustic anisotropy is related to the structural anisotropy of the film's architecture.

A systematic change of the W films thickness allows tuning the morphology of the columnar microstructure: from nearly circular shape to elongated as the thickness increases. The influence of structural morphology on the acoustic anisotropy of W structured films is especially shown.

3. References

- [1] E. Coffy *et al.*, "Anisotropic propagation imaging of elastic waves in oriented columnar thin films", J. Phys. D: Appl. Phys., 50 (2017) 484005-8.
- [2] R. El Beainou *et al.*, "Electrical resistivity and elastic wave propagation anisotropy in glancing angle deposited tungsten and gold thin films", Appl. Surf. Sci. 475 (2019) 606-614.

Tunable Refraction of Valley-protected Lamb Waves in Pillared Phononic Crystals

Wei Wang¹, Bernard Bonello¹, Bahram Djafari-Rouhani², and Yan Pennec²

¹Sorbonne Université, UPMC Université Paris 06 (INSP–UMR CNRS 7588),
4, place Jussieu 75005 Paris, France

²Institut d'Electronique, de Micro-électronique et de Nanotechnologie (IEMN–UMR
CNRS 8520), Université de Lille Sciences et Technologies, Cité Scientifique, 59652
Villeneuve d'Ascq Cedex, France

Résumé

We investigate the occurrence of the valley-protected edge states at the domain wall between two symmetric double-sided pillared phononic crystals with opposite valley Chern numbers. We discuss the tunable refraction of the valley-polarized edge state at the zigzag termination, including the positively and negatively refracted Lamb modes and their angles.

1. Introduction, contexte, objectifs

As reported in Ref [1], in the photonic crystal the refraction of the valley-protected edge states at the zigzag termination is topologically protected: the edge states show perfect out-coupling into the refracted beams including a single directional beam for the transverse-electric mode and two nearly orthogonal directional beams for the transverse-magnetic mode. This peculiar behavior has raised interest for investigating the refraction properties of the valley-polarized edge states at the valley-preserving zigzag termination in pillared phononic crystals in view of the management of the Lamb waves in the plate.

2. Méthodes et contribution

We propose a symmetric double-sided pillared phononic crystal that allows to separately investigate the symmetric and the antisymmetric Lamb modes. Then, topological phase transition is achieved by perturbing either the diameter or the height of the pillars. Further, we employ phase-matched sources to selectively excite the valley-polarized edge states at the domain walls and investigate the propagation at both the zigzag and the armchair terminations.

3. Résultats principaux, conclusions

For the antisymmetric modes, we show that the edge state gets refracted to either one or two A_0 Lamb modes by solely adjusting the height of the pillars. Moreover, the refracted angles can be gradually tuned. Regarding the symmetric modes, at the deep subwavelength scale the refraction of the edge state is not allowed and the energy converts to the boundary mode. When the wavelength becomes much shorter by tuning down the height of the pillars, the edge states can refract into two directional beams, namely a positive one (combination of S_0 and SH_0 modes) and a negative one (SH_0 mode only).

4. Bibliographie

- [1] F. Gao, H. Xue, Z. Yang, K. Lai, Y. Yu, X. Lin, Y. Chong, G. Shvets, and B. Zhang, Nat. Phys. **14**, 140 (2018).

Topological states of acoustic phonons in semiconductor nanocavities

Martin Esmann¹, F.R. Lamberti¹, G. Arregui², O. Ortíz¹, C. M. Sotomayor-Torres², I. Favero³, O. Mauguin¹, B. Perrin⁴, O. Krebs¹, L. Lanco¹, P. Senellart¹, C. Gomez-Carbonell¹, P. D. García², A. Lemaître¹, N. D. Lanzillotti-Kimura¹

¹*Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N), CNRS, Univ. Paris-Sud,
Univ. Paris-Saclay, 91120 Palaiseau*

²*Catalan Institute of Nanoscience and Nanotechnology (ICN2),CSIC and BIST,
Campus UAB, Bellaterra, 08193 Barcelona, Spain*

³*Matériaux et Phénomènes Quantiques, Université Paris-Diderot, CNRS UMR
7162,Sorbonne Paris Cité, 10 Rue Alice Domon et Léonie Duquet, 75013 Paris*

⁴*Institut de Nanosciences de Paris, Sorbonne Univ., CNRS UMR 7588, 75005 Paris*

Acoustic phonons constitute a versatile platform for the study of fundamental wave dynamics, including Bloch oscillations and other localization phenomena. Many of these studies were inspired by their counterparts in optics and electronics. In these fields, the consideration of topological invariants to control wave dynamics has already had a great impact for the generation of robust confined states. Interestingly, the use of topological phases to engineer nanophononic devices remains an unexplored and promising field.

Here, we introduce the concept of topological invariants to nanophononics and experimentally implement a nanophononic system supporting a robust topological interface state at 300 GHz [1]. The state is constructed through band inversion, i.e., by concatenating two semiconductor superlattices with inverted spatial mode symmetries [2]. The existence of this state is purely determined by the Zak phases of the constituent superlattices, i.e., the one-dimensional Berry phase.

We experimentally evidence these novel modes through Brillouin spectroscopy [1] and coherent phonon generation and detection using pulsed laser schemes [3]. The reported topological interface states could become part of novel devices requiring resonant nanoacoustic structures such as compact integrated Brillouin light sources operating at ultrahigh frequencies [4].

References

- [1] M. Esmann, F. R. Lamberti, P. Senellart, I. Favero, O. Krebs, L. Lanco, C. Gomez Carbonell, A. Lemaître, N. D. Lanzillotti-Kimura, "Topological nanophononic states by band inversion," *Phys. Rev. B* **97**, 155422 (2018).
- [2] M. Xiao, G. Ma, Z. Yang, P. Sheng, Z. Q. Zhang, C. T. Chan, "Geometric phase and band inversion in periodic acoustic systems," *Nat. Phys.* **11**, 240–244 (2015).
- [3] G. Arregui, O. Ortíz, M. Esmann, C. M. Sotomayor-Torres, C. Gomez-Carbonell, O. Mauguin, B. Perrin, A. Lemaître, P. D. García, N. D. Lanzillotti-Kimura, "Coherent generation and detection of acoustic phonons in topological nanocavities," *ArXiv181109781* (2018). (APL Photonics accepted 2019)
- [4] M. Esmann, F. R. Lamberti, A. Harouri, L. Lanco, I. Sagnes, I. Favero, G. Aubin, C. Gomez-Carbonell, A. Lemaitre, O. Krebs, *et al.*, "Brillouin Scattering in Hybrid Optophononic Bragg Micropillar Resonators at 300 GHz," *ArXiv181205190* (2018).

Excitation de modes protégés par la symétrie dans des cristaux photoniques pour des applications en détection de champ électrique

Ayman Hoblos¹, Nadège Courjal¹, Maria-Pilar Bernal¹ et Fadi I. Baida¹,

¹ Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Université de Bourgogne Franche-Comté,
15b avenue des Montboucons, 25030 Besançon

*fbaida@univ-fcomte.fr

Résumé

Les capteurs de champ électrique basés sur l'interaction lumière-matière sont fortement souhaitables dans de nombreuses applications telles que les applications médicales (EEG, ECG) ou militaires. Pour permettre le confinement du champ électromagnétique dans un matériau non-linéaire (niobate de lithium LN) et ainsi obtenir une exaltation de l'effet électro-optique [1], une résonance avec un facteur de qualité (Q) élevé est nécessaire. Une résonance de type Fano, bien connue en physique quantique résultant de l'interférence entre un mode discret et un continuum, serait une solution idéale.

Basé sur ce type de résonance, un capteur à base de cristaux photoniques en LN a déjà été proposé par notre équipe et fabriqué sur une membrane selon une configuration appelée de Suzuki [2]. En essayant d'améliorer les performances, nous avons conçu une structure à base d'un cristal photonique à réseau carré de motifs cylindriques coniques gravés dans une membrane LN présentant une résonance ayant un meilleur facteur de qualité. Après quelques investigations, on s'est aperçu qu'il s'agit d'un mode à symétrie protégée qui s'est révélé par une simulation numérique basée sur un algorithme de différences finies centrées. Ce type de discréétisation spatiale introduit inévitablement une brisure de la symétrie de l'objet et conduit à l'excitation de ce type de mode protégé [3,4] même dans des conditions où il est considéré comme un mode sombre.

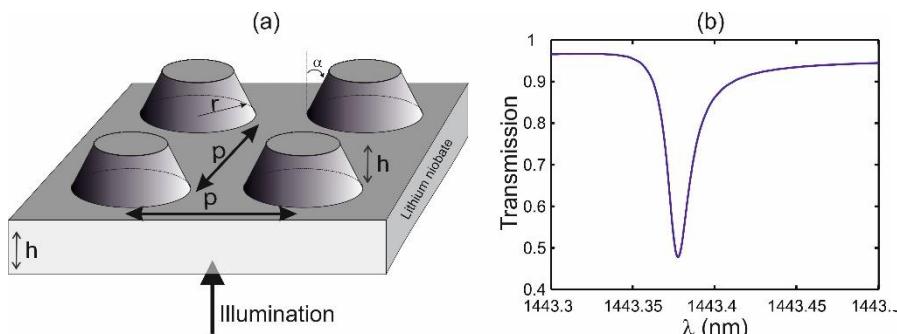


Schéma de la structure proposée (à gauche) et un spectre de transmission (à droite) montrant l'excitation d'un mode à symétrie protégée ($Q \sim 60000$).

Nous avons démontré par simulation numérique FDTD qu'avec une résonance ayant un facteur de qualité élevé Q ($10^5 - 10^6$) et un facteur d'extinction convenable (~50%) nous pouvons concevoir un capteur de champ électrique avec une sensibilité réduite à 70 mV/m résultant d'un confinement local du champ électromagnétique atteignant un facteur 200. En comparant avec la référence [5], un capteur de température basé sur notre configuration présentera une sensibilité inférieure à $\Delta T = 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$ au lieu des $17 \text{ }^\circ\text{C}$ obtenus dans cette référence. Une maîtrise technologique à l'échelle du nanomètre serait indispensable au contrôle et à l'exploitation de ce type de résonance.

Bibliographie

- [1] E. Miroshnichenko *et al.*, *Rev. Mod. Phys.*, 82, 2257-2298 (2010).
- [2] W. Qiu *et al.*, *Opt. Lett.* 41, 1106-1109 (2016).
- [3] B. Gallinet, *Nano Letters*, 13, 497(2013).
- [4] W. Zhang, *Phys. Rev. B*, 81, 233407 (2010).
- [5] H. Lu *et al.*, *Opt. Express*, 21, 16311-16318 (2013).

Observation of photonic Landau levels in strained honeycomb lattices

O. Jamadi¹, E. Rozas², M. Milićević³, G. Salerno⁴, T. Ozawa⁵, I. Carusotto⁶,
L. Le Gratiet³, I. Sagnes³, A. Lemaître³, A. Harouri³, J. Bloch³, A. Amo¹

¹ Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules, Univ. de Lille, 59000 Lille, France

² Dept. Física de Materiales & Inst. Nicolás Cabrera, Universidad Autónoma de Madrid,
28049 Madrid, Spain

³ Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, Univ. Paris-Sud & Paris-Saclay, 91460
Marcoussis, France

⁴ Center for Nonlinear Phenomena and Complex Systems, Univ. Libre de Bruxelles, B-1050
Brussels, Belgium

⁵ Interdisciplinary Theoretical and Mathematical Sciences Program (iTHEMS), RIKEN,
Wako, Saitama, Japan

⁶ INO-CNR BEC Center and Dipartimento di Fisica, Università di Trento, 38123 Povo, Italy

Photonic resonators consisting of semiconductor coupled micropillars arranged in hexagonal lattices provide an excellent platform to study, emulate and control the transport and topological properties of single-layered 2D materials like graphene [1]. The lattices of photonic micropillars allow the control of the onsite energies, nearest-neighbours coupling and direct access to the dispersion and wave functions in simple photoluminescence experiments. Even though photons are barely sensitive to magnetic fields, it has been shown that the engineering of a hopping gradient in a honeycomb lattice creates an artificial valley dependent magnetic field [2]. The intensity of this pseudo-magnetic field is directly proportional to the hopping gradient applied to the lattice.

In this work, we use strained polariton honeycomb lattices to study photonic Landau levels under pseudo-magnetic field. By modulating the hopping amplitudes between micropillars, we have implemented different gauge field intensities. We reveal the emergence of flat photonic Landau levels both in S and P bands by combining real and reciprocal space photoluminescence experiments.

The lattices of semiconductor micropillars employed in this work open exciting possibilities to study phenomena at the crossroad of solid-state physics and photonics. Taken advantage of the strong coupling between the confined photons and the quantum well excitons embedded in the micropillars, our platform opens the way to study Landau levels subject to photon-photon interactions and to the observation of lasing in isolated flat bands.

[1] T. Jacqmin et al., “*Direct observation of Dirac cones and a flatband in a honeycomb lattice for polaritons*”, Physical review letters **112**(11), 116402 (2014).

[2] G. Salerno et al., “*How to directly observe Landau levels in driven-dissipative strained honeycomb lattices*”, 2D Materials **2**(3), 034015 (2015).

Disorder induced transition in topological and conventional edge states in phononic crystal plates

Yabin Jin¹, Daniel Torrent² and Bahram Djafari-Rouhani³,

¹ School of Aerospace Engineering and Applied Mechanics, Tongji University, 100 Zhangwu Road, 200092, Shanghai, China

² GROC-UJI, Institut de Noves Tecnologies de la Imatge, Universitat Jaume I, 12080, Castello, Spain

³Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie, UMR CNRS 8520, Département de Physique, Université de Lille, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

Résumé

In this work we theoretically study interface acoustic states appearing in finite arrays of resonators on a thin plate with topologically protected and conventional designs. We discussed the robustness of edge states by these two designs and revealed a transition threshold in transmission against resonator's height disorder.

1. Introduction, contexte, objectifs

Phononic crystal plates, which consist of periodic resonators such as pillars attached to an elastic plate, have received increasing attention from the past decade. This model has recently demonstrated the possibility of topologically protected edge states [1]. Edge states however are not unique of topological insulators, and a comparison between topologically protected states and “conventional” edge states has not been reported so far for mechanical waves.

2. Méthodes et contribution

This work theoretically analyzed the dispersion of cylindrical resonators on a thin plate in honeycomb lattice where we employed the known conception of breaking the inversion symmetry in the unit cell to obtain topologically protected edge states. We compared their properties with those of a conventional interface state without topological protection [2].

3. Résultats principaux, conclusions

Two typical physical disorder perturbations, namely disorder in position and height, were applied also to all pillars in a straight interface, and the empirical parameter transmission ratio is employed to characterize the “transition threshold” of edge states under disorder perturbations. It was shown that in both designs the transmission ratio decreases quasi-linearly against position disorder while has an abrupt drop against height disorder, printing a kind of transition threshold. However, the ways how edge states change after the transition threshold are different: incident wave can hardly enter the interface for topological design; while the conventional edge state will become wave-trapped states in the interface. These comparisons help to understand, distinguish and define conventional or topologically protected states, whose understanding is more than relevant to properly develop the potential applications of these devices.

4. Bibliographie

[1] R.K.Pal and M. Ruzzene, *Edge waves in plates with resonators: an elastic analogue of the quantum valley Hall effect*. New Journal of Physics, **19**, 025001 (2017).

[2] Y. Jin, D. Torrent and B. Djafari-Rouhani, *Robustness of conventional and topologically protected edge states in phononic crystal plates*. Physical Review B, **98**, 054307 (2018)

Guided waves along a domain wall of a water wave crystal

Nicolas Laforge¹, Vincent Laude¹, Franck Chollet¹, Abdelkrim Khelif¹, Muamer Kadic¹, Romain Fleury²

¹ Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Université de Bourgogne Franche-Comté,
15 B avenue des Montboucons, 25030 Besançon

² Laboratoire d'Ingénierie des Ondes, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

We consider experimentally and theoretically the existence of topological edge states guided along a domain wall of a water-wave crystal. The experiment is conducted in the intermediate regime of gravity-capillary waves, where the water depth has considerable influence of the dispersion of water waves. The edge states are obtained in a hexagonal crystal of rotated triangular pillars and domain walls composed thereof. They are found to be a superposition of vortex valley waves that carry a quantized topological phase. The theoretical analysis is conducted thanks to the stochastic excitation method recently introduced to obtain the dispersion of waves in crystals and waveguides. Notably, the strong dispersion of water waves renders a direct computation of eigenvalues delicate. In the stochastic excitation method, the eigenvalue problem is replaced by the mapping of the resolvent set, complementary to the eigenvalue spectrum in dispersion space. A good agreement between theory and experiments is obtained, though some subtle capillary effects at the interface of water and the crystal of pillars were not taken into account beyond the use of effective parameters. Our observations show that topological edge states exist in highly dispersive wave systems, beyond the realm of classical linear waves.

Magneto-Granular Mechanical Crystals: a perfect test bed for nonlinear and topological wave physics

Georgios Theocharis¹, L. Zheng¹, F. Allein¹, V. Tournat¹, V. Gusev¹,

¹ LAUM, UMR-CNRS 6613, Le Mans Université, Av. O. Messiaen, 72085 Le Mans,

Résumé

Granular crystals are closely packed periodic arrays of elastic particles. This type of mechanical metamaterial can manipulate and control elastic waves in ways that are not possible in conventional solid materials. It is an exciting and rapidly expanding topic in the field of physical acoustics that, more than 20 years now, is offering a perfect test bed for fundamental studies of nonlinear dynamics including solitary waves, breathers, nonlinear energy transfer and chaos as well as different engineering applications like tunable waveguiding, shock- and energy absorbing layers and acoustic diodes. The main objectives of this talk are: (1) On the one hand to present our current better understanding of the wave physics of granular crystals. Emphasis will be placed on the role of particle rotations that has been ignored in many studies and which lead to richer wave dynamics. (2) Secondly, to present novel wave phenomena including second harmonic generation [1], and topologically protected propagation of elastic waves [2]. Our experimental vehicle for the study of the above will be magneto granular metamaterials, namely granular-based structures composed of stainless steel spherical beads in contact, under a suitable designed magnetic field. Experiments in one-dimensional [3, 4], and granular graphene [5] will be presented in details.

Acknowledgements: The authors acknowledge financial support from the projects of APAMAS, Sine City funded by LMAc, Le Mans Acoustic Hub and "Etoiles montantes" from Region Pays de la Loire

Bibliographie

- [1] F. Allein, V. Tournat, V.E. Gusev and G. Theocharis, Nonlinear Elastic Waves in Granular Chains, in preparation.
- [2] L.-Y. Zheng, G. Theocharis, V. Tournat, and V. Gusev, Quasitopological rotational waves in mechanical granular graphene, Phys. Rev. B, 97, 060101(R) (2018).
- [3] F. Allein, V. Tournat, V.E. Gusev and G. Theocharis, Tunable magneto-granular phononic crystals, Appl. Phys. Lett., 108, 161903 (2016).
- [4] F. Allein, V. Tournat, V.E. Gusev, and G. Theocharis, Transversal-rotational and zero group velocity modes in tunable magneto-granular phononic crystals, Extreme Mech. Lett., 12, 65-70 (2017).
- [5] L.-Y. Zheng, F. Allein, V. Tournat, V. Gusev and G. Theocharis, Granular Graphene: direct observation of zigzag and armchair edge waves, submitted, arXiv:1812.04763

Modélisation de métamatériaux à grande échelle pour le contrôle des ondes élastiques

Bogdan Ungureanu¹, Stéphane Brûlé², Younes Achaoui³, Stefan Enoch²,
Richard Craster¹ et Sébastien Guenneau²

¹ Department of Mathematics, Imperial College London, London, UK

² Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, Marseille, France

³ Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Université de Bourgogne Franche-Comté,
15 B avenue des Montboucons, 25030 Besançon

Résumé

Nous avons étudié et proposé d'appliquer les propriétés des métamatériaux à grande échelle, basées sur les valeurs négatives des modules de compression et de cisaillement, de l'élasticité longitudinale, ainsi que sur la densité de masse négative pour obtenir le contrôle des ondes élastiques. Ces valeurs négatives sont obtenues à l'aide de la résonance locale des cellules élémentaires conduisant à des propriétés très dispersives des métamatériaux.

L'exploitation des métamatériaux auxétiques à coefficient de Poisson négatif ou le nouveau concept appelé Metacity, basé sur les transformations quasiconformes dans les équations de l'élasticité, constituent un autre moyen d'obtenir de tels phénomènes exotiques.

1. Introduction, contexte, objectifs

Nous utilisons des configurations de métamatériaux à très grande échelle pour le contrôle des ondes élastiques de très basse fréquence, notamment pour la protection contre les ondes sismiques en concevant des cellules élémentaires résonantes à l'échelle du compteur qui conduisent à des propriétés de métamatériaux très dispersives et à des bandes d'arrêt à basse fréquence, associées à des valeurs négatives des modules de compression K et de cisaillement G et du module de Young E et de la masse volumique ρ dans la gamme de fréquences présentant un intérêt pour les ingénieurs parasismiques (0,1 – 10 Hz).

2. Méthodes et contribution

Afin d'optimiser la position des résonances basse fréquence associées à la bande d'intérêt pour le génie civil, voir la figure 1, nous proposons des estimations asymptotiques des fréquences propres. L'équation (1) est une formule asymptotique de la fréquence propre d'un résonateur. Elle encapsule la densité et les paramètres élastiques de Lamé du matériau constituant un résonateur, afin d'optimiser la position des résonances à basse fréquence associées aux bandes d'arrêt [1].

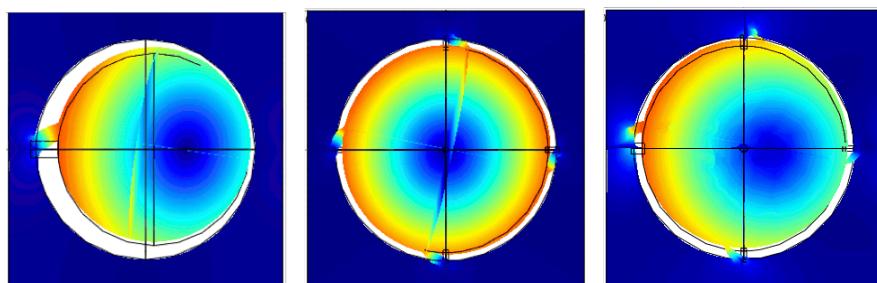


Figure 1. Premier mode de sphères de fer reliées au béton via 1 (gauche), 6 ligaments de fer identiques (au centre), 6 ligaments de fer asymétriques (à droite) [1].

$$f = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\mu}{4\rho} \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu} \sum_{i=1}^N \frac{h_i^2}{R^3 l_i}} \quad (1)$$

Nous avons également introduit dans [2] le concept de métamatériaux sismiques auxétiques où notre objectif était d'accorder à notre guise les bandes d'arrêt de basse fréquence, grâce à un coefficient de Poisson négatif, qui fait se contracter les cellules élémentaires lorsqu'une force axiale est exercée. Dans les matériaux naturels, isotropes, élastiques le coefficient de Poisson est contraint entre 0 et 0,5, ce qui signifie qu'ils se dilatent latéralement lorsqu'une charge axiale est appliquée. Dans un article visionnaire [3], Graeme Milton et Andrej Cherkaev ont décrit les tenseurs effectifs de matériaux composites similaires au notre et le groupe de Martin Wegener a été le premier à démontrer le comportement de métamatériaux auxétiques mécaniques à petite échelle. Notre groupe s'en est inspiré pour une version à l'échelle métrique. Dans [2], nous avons découvert que les caractéristiques auxétiques de nos métamatériaux sismiques spécialement conçus permettent d'ouvrir de très grandes bandes interdites à des fréquences compatibles avec les ondes sismiques.

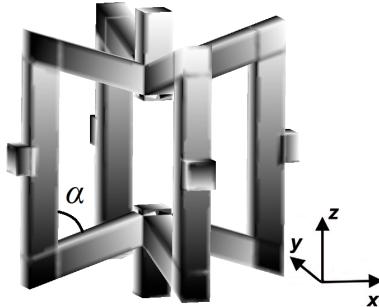


Figure 2. Cellule de base élémentaire de 1 mètre de côté consistant en un cadre en béton dans l'air [2].

Ces métamatériaux mécaniques sont déjà connus et deviennent de plus en plus d'actualité, mais à notre connaissance, ils n'ont jamais été utilisés pour la protection des ondes sismiques. Dans [2], nous avons en outre prouvé que le signe et la valeur du coefficient de Poisson résultant, et même la fréquence des bandes interdites, pouvaient être contrôlés par l'angle formé entre les éléments du cadre dans une cellule élémentaire.

Une autre avenue prometteuse pour un changement radical des réverbérations sismiques est la création d'une anisotropie artificielle en incluant dans un plan de ville des éléments de géométries différentes, qu'ils soient pleins ou vides. À petite échelle, on pourrait envisager de concevoir un manteau sismique en contrôlant l'anisotropie artificielle du sol à l'aide de résonateurs inertIELS, enfouis dans le sol comme à la figure 1 ou simplement placés au-dessus du sol comme à la figure 3. Cette méthode s'inspire de travaux antérieurs sur les capes d'invisibilité, et elle nécessite une approche du problème créative à l'interface entre la vision par ordinateur et l'intelligence artificielle en mathématiques, en génie civil et en géophysique. À la suite d'un travail de collaboration au sein d'une équipe internationale multidisciplinaire [4], nous avons proposé une conception urbaine encore plus futuriste de métacités pouvant se protéger des ondes sismiques délétères [5]. Notre proposition d'urbanisme transformé est née de l'observation en sismologie urbaine du fait que certaines configurations de villes exploitent déjà les résonances des bâtiments et l'interaction site-ville pour atténuer le champ sismique en propagation. Nous proposons que cela puisse être réalisé simplement via un index spatialement variable (caractérisant une carte de ville quasi-conforme), qui prend en compte l'interaction entre le mouvement du sol dû aux tremblements de terre et la présence de multiples bâtiments dans les régions urbaines.



Figure 3. La création d'une anisotropie artificielle avec des résonateurs inertIELS judicieusement placés dans ou sur le sol peut-être réalisée avec des boules en métal à l'échelle de l'humain (Photo prise à Singapour).

3. Résultats principaux, conclusions

En conclusion, nous avons vu que les résonateurs inertIELS, introduits il y a 20 ans pour atteindre une certaine neutralité acoustique [6], peuvent être utilisés pour concevoir des métamatériaux sismiques qui réfléchissent [1], voire même détournant [4,5], les ondes élastodynamiques délétères. Certaines versions à grande échelle de supports auxétiques affichant un coefficient de Poisson dynamiquement négatif pourraient s'avérer utiles pour la conception de nouveaux types de fondations de bâtiments. L'avenir des métamatériaux sismiques est prometteur.

Remerciements

Bogdan Ungureanu remercie le financement de l'Union européenne (projet MARIE SKŁODOWSKA-CURIE ACTIONS Acronyme / Titre complet: METAQUAKENG - Les métamatériaux dans l'ingénierie parasismique - MSCA IF - H2020).

4. Bibliographie

- [1] Y. Achaoui, B. Ungureanu, S. Enoch, S. Brûlé and S. Guenneau, *Extreme Mechanics Letters*, **8**, 30 (2016).
- [2] B. Ungureanu, Y. Achaoui, S. Enoch, S. Brûlé and S. Guenneau, *EPJ Applied Metamaterials*, **2**, 17 (2016).
- [3] G. Milton and A. Cherkaev, *Journal of Engineering Materials and Technology*, **117**, 483-493, (1995).
- [4] S. Brûlé, B. Ungureanu, Y. Achaoui A. Diatta, R. Aznavourian, T. Antonakakis, R. Craster, S. Enoch, and S. Guenneau, *Innov. Infrastruct. Solut.*, **2**, 20, (2017).
- [5] B. Ungureanu, S. Guenneau, Y. Achaoui, A. Diatta, M. Farhat, H. Hutridurga, R.V. Craster, S. Enoch and S. Brûlé, *Special Issue of EPJAM -Metamaterials 2018* (in press).
- [6] D. Bigoni, S. K. Serkov, M. Valentini and A. B. Movchan, *Int. J. Solids Struct.*, **35**, 3239 (1998).

Plier un matériau 2D en une nanostructure périodique en forme de W: le cas d'une nanocouche en or et ses conséquences sur ses propriétés plasmoniques et photoniques

¹Laurent Arnaud, ¹Shijian Wang, ¹Soukaina Es Saidi, ¹Aurelien Bruyant, ¹Serguei Kostcheev, ¹Abdelhamid Hmima, ¹Yassine Hadjar, ¹Sylvain Blaize, ¹Demetrio Macias, ¹Remi Vincent*

¹ Institut Charles Delaunay, Equipe Lumiere Nanomateriaux Nanotechnologies (ICD - L2N), CNRS UMR 6279, Universite de Technologie de Troyes, 12 rue Marie Curie CS 42060, 10004 Troyes Cedex, France
*corresponding author, E-mail: remi.vincent@utt.fr

Résumé

Nos expériences et simulations montrent des effets notables sur les propriétés photoniques et plasmoniques lors du passage d'une couche d'or plate unique à une couche pliée périodiquement. En particulier, le couplage des polaritons de plasmons de surface avec les ondes de propagation dans l'espace libre devient possible grâce aux ordres de réfraction; certaines résonances localisées le long des segments créées par le repliement sont observées et entraînent une absorption accrue, des résonances de coin / angle avec des champs électriques hautement amplifiés sont également observés.

1. Introduction

Nous avons réussi à fabriquer et à étudier théoriquement une nanostructure en or ayant la forme d'un W. périodique. Ces structures sont intéressantes pour des applications possibles telles que le contrôle du LDOS, l'application aux capteurs et le contrôle du SPP. Nous nous sommes également intéressés à l'aspect plus fondamental de l'étude de la transition entre une couche unique et une couche d'or pliée en forme de W, puisqu'il s'agit d'un moyen de structurer un matériau 2D.

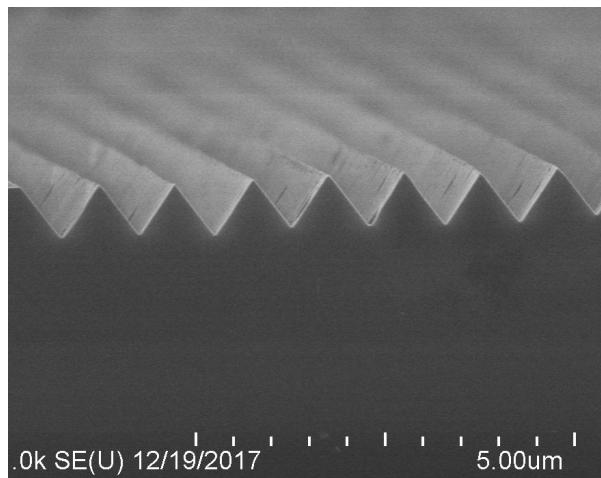


Figure 1: Une des matrices de silicium utilisées pour le moulage de la nanostructure en or.

2. Fabrication et mesure d'échantillons

La première partie de la fabrication de l'échantillon consiste en la fabrication d'une matrice de silicium dans laquelle la structure métallique sera déposée ultérieurement. La structure de réseau est projetée sur une couche de masque de nitride de silicium (Si_3N_4) au-dessus du substrat de silicium. La gravure ionique réactive (RIE) est utilisée pour créer les rainures, en raison de l'anisotropie du silicium, la vitesse de gravure n'est pas la même sur les différents axes du cristal. Au début du processus de gravure, des rainures trapézoïdales apparaissent; Et avec un temps de gravure parfaitement adapté, les rainures trapézoïdales se transforment en rainures triangulaires. La figure (1) montre un exemple d'une telle matrice en silicium. Une

fois que le silicium est réalisé, du métal est déposé à la surface. Le décollement avec polymère est utilisé pour enlever le métal, le métal est facile à enlever en raison de la mauvaise adhérence entre la couche de métal et la surface de Si.

La structure métallique résultante sur son substrat polymère a ensuite été placée dans un banc optique afin de mesurer sa transmission dans le domaine visible (400 à 900 nm), pour différents angles d'incidence et les deux polarisations linéaires.

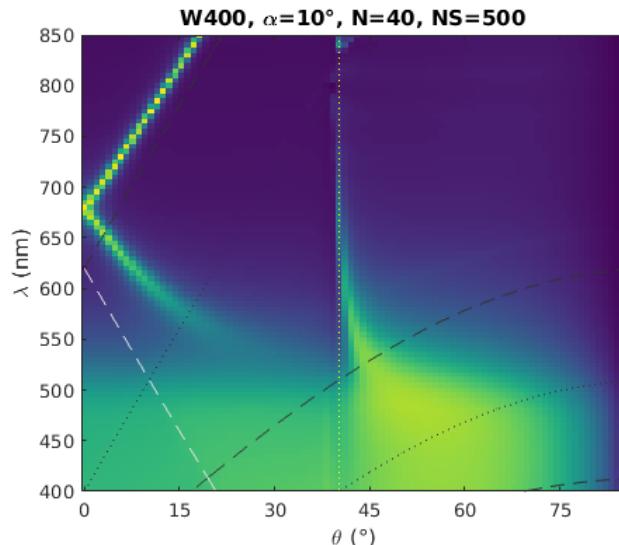


Figure 2: Carte d'absorption en fonction de l'angle d'incidence et de la longueur d'onde dans le cas d'une couche d'or légèrement pliée légèrement avec un angle de 10 degrés par rapport à la surface plane. Le couplage des polaritons de plasmons de surface avec les ordres (-1) et (+1) est clairement visible dans le coin supérieur gauche, où une absorption accrue au-dessus de la limite de (-1) (ligne pointillée sombre) et (+1) (ligne pointillée blanche) ordres. Un plasmon dans la configuration de Kretschmann pour une seule couche apparaît également sur le côté droit de la ligne jaune verticale représentant la limite de réflexion interne totale.

3. Etude théorique

Les structures en or W sont caractérisées par un spectre complexe que seules des méthodes numériques électromagnétiques rigoureuses sont capables de décrire complètement. Cependant, nous étions intéressés à comprendre les phénomènes sous-jacents qui distinguent ces structures repliées d'une seule couche d'or plate. Pour cette étude, nous avons utilisé la méthode différentielle pour les réseaux [1], [2] et la méthode de Chandeson [3] comme outils théoriques pour explorer plus en profondeur les propriétés les plus difficiles à accéder expérimentalement, telles que le champ proche. Nous avons pu distinguer au moins 3 types de propriétés différentes. Tout d'abord, la nature périodique de la structure crée des ordres de diffraction qui jouent un rôle fondamental dans la structuration des spectres et permettent également le couplage de SPP, même pour les ondes de propagation venant de l'espace libre (Fig.2). Un autre phénomène intéressant est la présence de résonances localisées de plasmons le long des segments créés par le repliement (Fig.3)). Enfin, une résonance de champ intense peut apparaître aux bords de la structure. Une amplification très localisée du champ électrique peut être obtenue, jusqu'à un facteur x20 dans le cas correspondant à l'un de nos échantillons d'une période de 400 nm et d'un angle de pliage de 54,7.

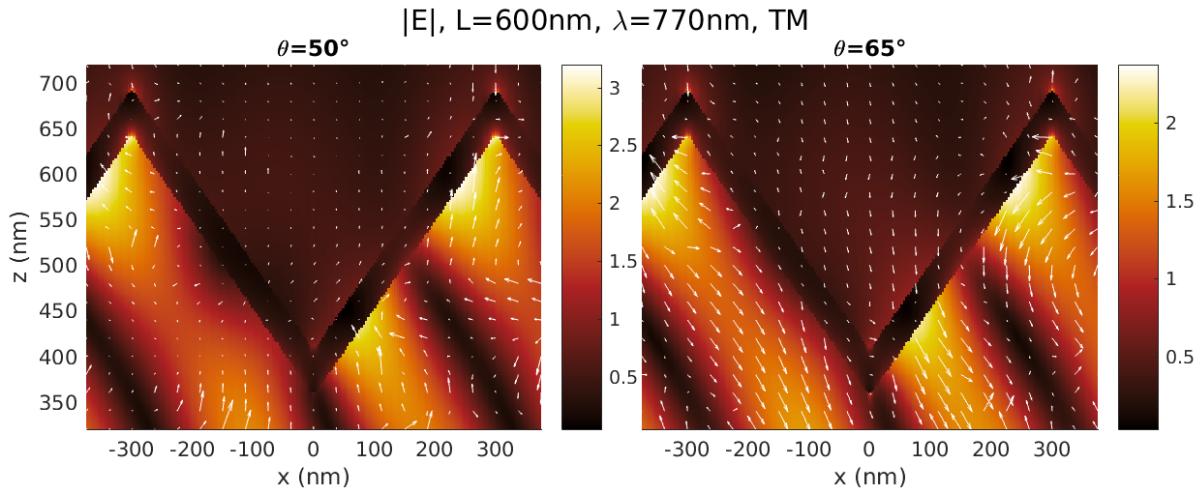


Figure 3: Carte de champs local d'une structure en or W d'une période de 600 nm et d'une hauteur de 50 nm, pour une longueur d'onde de 770 nm correspondant à une résonnance de segment de second ordre. Notons que le phénomène qui correspond à la propagation d'un plasmon de surface le long d'un segment du W dépend peu de l'angle d'incidence.

4. Conclusions

Maintenant que notre méthode de fabrication est validée et que nous avons quelques éléments de compréhension théoriques concernant la transition d'une couche plate à une structure périodiquement pliée, nous aimerais explorer d'autres matériaux 2D originaux tels que le graphène.

5. Remerciements

Ce travail a été soutenu par la région Grande-Est et EIPHI Graduate School (contrat "ANR-17-EURE-0002").

6. Bibliographie

- [1] M. Neviere and E. Popov, Light Propagation in Periodic Media: Differential Theory and Design, Marcel Dekker publisher, 2003.
- [2] E. Popov and M. Neviere, Grating theory: new equations in Fourier space leading to fast converging results for TM polarization, J. Opt. Soc. Am. A 17(10), 1773-1784, 2000.
- [3] L. Li, J. Chandezon, G. Granet, and J. P. Plumey, Rigorous and efficient grating-analysis method made easy for optical engineers, Appl. Opt. 38, 3043-313, 1999.

Subwavelength polarization optics using helical travelling-wave nanoantennas

Mengjia Wang¹, Roland Salut¹, Huihui Lu², Miguel Angel Suzrez¹, Nicolas Martin¹, and Thierry Grosjean¹,

¹ Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Université de Bourgogne Franche-Comté,
15 B avenue des Montboucons, 25030 Besançon

² Guangdong Provincial Key Laboratory of Optical Fiber Sensing and Commun., Jinan
University, Huangpu Avenue West, 510632 Guangzhou, China

Résumé

We present and demonstrate the concept of a helical travelling-wave nanoantenna (HTN). The resulting non-resonant nano-antenna produces a background-free directional light beam of tunable polarization and intensity. Taken as individual or coupled nanostructures, HTNs lead to subwavelength polarization optics and provide new degrees of freedom in light polarization control.

1. Introduction, contexte, objectifs

Light polarization is a key factor of modern photonics. Tailoring surface plasmons (SPs) in anisotropically-shaped metallic nanostructures introduces the prospect of polarization control at small scale [1]. However, the resulting components remain much larger than the wavelength of light. Here, we present a HTN that overcomes this limit [2].

2. Méthodes et contribution

Our HTN consists of a narrow gold-coated helix wire sustaining travelling SPs, locally excited with a rectangular aperture nanoantenna right at the helix's pedestal. In the course of propagation, the plasmon wire mode acquires orbital angular momentum, which matches the spin angular momentum of free-space propagating photons due to the sharp curvatures [3]. Based on this spin-orbit interaction of light, our method is versatile and robust. HTN differs from existing helical plasmonic structures [4] by its non-resonant nature, thus extending the concept of helical travelling-wave antenna [5] to optics.

3. Résultats principaux, conclusions

We show that individual HTN can produce circularly polarized directional light on the subwavelength scale. Such HTNs are then closely packed to build micron scale arrangements of tiny circularly polarized light sources of desired handedness and tunable intensities. By optically coupling four HTNs of opposite handedness, we obtain a phase plate occupying a volume smaller than a cubic wavelength. Switching between the two circular polarizations occurs by rotating the incident linear polarization an angle of 52°, instead of 90° as for standard quarter wave plates. HTNs may pave the way to subwavelength polarization optics.

4. Bibliographie

- [1] N. Yu, F. Aieta, P. Genevet, M. A. Kats, Z. Caburro and F. Capasso, "A Broadband, background-free quarter wave plate based on plasmonic metasurfaces", Nano Lett. **12**, 6328-6333 (2012).
- [2] M. Wang, R. Salut, H. Lu, M. A. Suarez, N. Martin, and T. Grosjean, "Controlling light polarization by swirling surface plasmons", arXiv: 1812.06527 (2018).
- [3] K. Y. Bliokh, F. J. Rodríguez-Fortuño, F. Nori and A. V. Zayats, "Spin-orbit interactions of light", Nat. Photonics **9**, 796-808 (2015).
- [4] J. K. Gansel, et al, "Gold helix photonic metamaterial as broadband circular polarizer", Science **325**, 1513-1515 (2011).
- [5] C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design", 3rd. ed., John Wiley & Sons: New-York, (2005).

Magnetic spin-locking of light

Mengjia Wang¹, Hongyi Zhang¹, Tatiana Kovalevitch¹, Roland Salut¹, Myun-Sik Kim², Miguel Angel Suzrez¹, Maria-Pilar Bernal¹, Hans-Peter Herzig², Huihui Lu³ and Thierry Grosjean¹,

¹ Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Université de Bourgogne Franche-Comté,
15 B avenue des Montboucons, 25030 Besançon

² Optics & Photonics Technology Laboratory, EPFL, Switzerland

³ Guangdong Provincial Key Laboratory of Optical Fiber Sensing and Commun., Jinan University, Huangpu Avenue West, 510632 Guangzhou, China

Résumé

We show the directional excitation of optical surface waves controlled by the optical magnetic field, thus demonstrating the first magnetic spin-orbit interaction (SOI) of light. [1]

1. Introduction, contexte, objectifs

Spin-locking is a SOI phenomenon that light field develops a spin-dependent unidirectional excitation of optical guided modes [2,3]. So far, spin-locking driven by optical magnetic field was restricted to surface waves confined on top of materials showing complex permeability [4]. Such waves are however unrealistic with bulk materials at optical frequencies.

2. Méthodes et contribution

We take advantage of TE-polarized Bloch surface waves (BSWs) [5] to both numerically and experimentally demonstrate the magnetic spin-locking, which opens new degrees of freedom in the manipulation and detection of light.

3. Résultats principaux, conclusions

We show numerically that a spinning magnetic dipole develops a tunable unidirectional coupling of light into TE-polarized BSWs. Experimentally, we evidence that the helicity of a light wave projected onto a subwavelength dielectric scatterer, used as a near-field coupler, controls the power distribution between the two BSWs excited on both sides of the scatterer. Remarkably, because only the helicity of the magnetic optical field is involved, this magnetic effect is clearly visible even with a simple dielectric scattering whose optical properties are governed by a pure electric dipole moment (no need of a magnetic resonance). The magnetic spin-orbit interaction of light thus offers a new opportunity to consider the magnetic field of light as a new degree of freedom in the design of tunable integrated optical functionalities.

4. Bibliographie

- [1] M. Wang, et al, "Magnetic spin-orbit interaction of light", *Light: Sci. & Appl.* **7**, 24-31, (2018).
- [2] J. Petersen, et al, "Chiral nanophotonic waveguide interface based on spin-orbit interaction of light", *Science* **346**, 67–71 (2014).
- [3] F. J. Rodriguez-Fortuno, et al, "Near-field interference for the unidirectional excitation of electromagnetic guided modes", *Science* **340**, 328–330 (2013).
- [4] Picardi, M. F., et al, "Unidirectional evanescent-wave coupling from circularly polarized electric and magnetic dipoles: an angular spectrum approach", *Phys. Rev. B* **95**, 245416 (2017).
- [5] Descrovi E, et al, "Near-field imaging of Bloch surface waves on silicon nitride one-dimensional photonic crystals", *Opt. Express* **16**, 5453–64 (2008).

Observation of edge waves in a two-dimensional Su-Schrieffer-Heeger acoustic network

Liyang Zheng

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine - UMR-CNRS 6613

Le Mans Université

Av. Olivier Messiaen, 72085 Le Mans cedex 9, France

In this work, we propose an acoustic realization of two-dimensional (2D) Su-Schrieffer-Heeger (SSH) model by constructing a simple network structure for sound waves. We theoretically model the network using a set of discrete equations. The propagation of sound waves in the network consequently can be described by a dynamical equation, which has the same form as the Hamiltonian as the 2D SSH model. Topological edge waves are predicted on the boundary of the network from both the analytical model and numerical simulations. We experimentally observe the existence of topological edge waves. The appearance of topological edge waves in the acoustic network provides a flexible platform for the study of topological properties of sound waves.