

Cavités acoustiques dans des micro-piliers

La mesure du déplacement mécanique présente un grand intérêt pour la recherche fondamentale et appliquée. La façon la plus performante de mesurer le déplacement d'un nano-résonateur mécanique est de le coupler avec une cavité optique. L'étude de ce couplage est l'essence de l'opto-mécanique. Ce domaine est en forte expansion, avec des applications pour des mémoires non-volatiles, à la mesure des forces très faibles, au ralentissement et au stockage d'impulsions lumineuses pour les mémoires quantiques, au transfert d'états quantiques entre photons et phonons, avec des retombées en information quantique. Ces dernières années, des chercheurs ont réussi à atteindre un régime dans lequel les effets de la rétroaction de la lumière sur le résonateur mécanique sont mesurables et peuvent même être utilisés pour contrôler son énergie mécanique, par exemple en le refroidissant. C'est dans ce cadre que des chercheurs de l'équipe « Acoustique pour les nanosciences » de l'INSPI ont développé un modèle semi-analytique fondé sur la méthode des matrices de diffusion qui permet de prédire les modes acoustiques confinés dans des nano et micro-piliers. Le fort taux de couplage entre les modes acoustiques et optiques confinés dans une cavité réalisée à l'aide d'un super-réseau de GaAs/AlAs (Figure 1 a) fait de ce type de système un candidat prometteur pour réaliser des cavités opto-mécaniques.

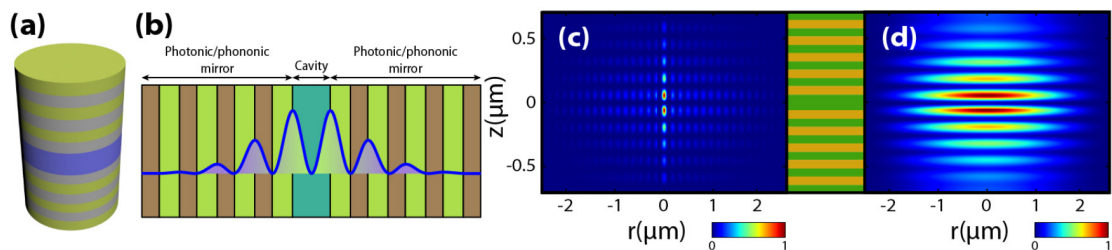


Figure 1

(a) Cavité en micro-pilier.

(b) Cavité planaire : super-réseau acoustique et optique.

(c) Intensité du déplacement du mode longitudinal acoustique pour un micro-pilier : de 30 paires par miroir.

(d) Intensité du mode optique.

Nous avons exploré une nouvelle approche en opto-mécanique dans laquelle un mode mécanique de haute fréquence et un mode optique sont couplés et confinés dans une même cavité constituée de deux super-réseaux de GaAs/AlAs. Nous visons des taux de couplage très importants, permettant de refroidir le mode mécanique jusqu'à son état fondamental, ouvrant ainsi la voie à l'opto-mécanique non-linéaire.

Nous avons étudié la géométrie d'un micro-pilier (voir Figure 1a) à l'intérieur duquel une cavité demi-onde est obtenue avec deux miroirs de Bragg GaAs/AlAs (DBR). Comme on peut voir dans la Figure 1b, ce système peut confiner à la fois un mode acoustique à 20 GHz et un mode optique. Il favorise un recouvrement très important entre le mode acoustique et optique, ce qui permet d'avoir des facteurs de couplage opto-mécaniques très élevés. De plus, on peut attendre de grands facteurs de qualité optiques et mécaniques. Toutes ces qualités font de ces micro-piliers de très bons candidats pour les expériences d'opto-mécanique dans le régime de couplage à un seul photon.

Cependant, le confinement acoustique dans les micro-piliers diffère notablement de celui des cavités planaires. En effet, la réflexion totale dans les bords du pilier modifie considérablement le facteur de qualité mécanique et la forme spatiale du mode acoustique.

Nous avons développé un nouveau modèle semi-analytique fondé sur la méthode des matrices de diffusion qui permet de prédire les résonances mécaniques de ces micro-piliers.

Nos calculs montrent que l'interface air / semi-conducteur sur le pourtour du micro-pilier, constituant un miroir parfait, modifie la forme spatiale et le facteur de qualité du mode longitudinal en fonction de la réflectivité des miroirs de Bragg. Effectivement comme on peut le voir dans la figure 1c, le mode acoustique est fortement confiné au centre, tandis que le mode optique présente un profil gaussien (voir Figure 1d). Le taux de couplage à un photon, quant à lui, est indépendant du nombre de paires par miroir.

Notre étude permet également de prédire pour un guide d'onde acoustique de même géométrie, un nouveau phénomène de résonance mécanique qui crée une résonance Fano caractérisée par une résonance asymétrique en fréquence. Cette résonance a déjà été observée pour de nombreux systèmes physiques allant des nanotubes de carbone aux transitions inter-bandes dans des systèmes de puits quantiques couplés.

Ces travaux montrent que la réflexion totale des ondes acoustiques sur le bord du micro-pilier a un effet indéniable sur le facteur de qualité acoustique et sur le volume de confinement du mode acoustique. Notre modèle révèle également une résonance acoustique Fano dans un nano-pilier construit comme un simple guide d'onde. Ce nouveau système mécanique, qui présente des hauts facteurs de qualité de l'ordre du million et des petites masses de l'ordre du femtogramme, peut être une alternative intéressante aux super-réseaux pour les expériences d'opto-mécanique.

Référence

"Acoustic confinement in superlattice cavities"

Garcia-Sanchez, D ; Deleglise, S ; Thomas, JL ; Atkinson, P ; Lagoin, C ; Perrin, B

PHYSICAL REVIEW A Volume: 94 Issue: 3 Article Number: 033813 - DOI: 10.1103/PhysRevA.94.033813

Contacts

Daniel Garcia : daniel.garcia@insp.upmc.fr

Camille Lagoin : camille.lagoin@insp.upmc.fr