

Cavités acoustiques à miroir de Bragg : comment caractériser une résonance acoustique à 20GHz ?

Afin d'explorer les propriétés quantiques à l'échelle macroscopique, il faut que l'oscillateur acoustique aie une fréquence de résonance grande devant l'énergie thermique de l'environnement. L'obtention de résonateurs fonctionnant à quelques dizaines de GHz, permettrait d'observer des effets quantiques sur le mouvement de l'oscillateur à quelques kelvins, températures facilement accessibles avec un système cryogénique de nos jours. À cet égard, les cavités semi-conductrices en micro-piliers semblent être des dispositifs prometteurs. Ces cavités ont fait l'objet de nombreuses caractérisations pour leurs propriétés optiques mais peu de travaux concernent l'acoustique. En effet, caractériser les modes mécaniques à des fréquences aussi élevées est difficile avec les techniques d'optomécanique classiques. C'est dans ce cadre que des chercheurs de l'équipe « Acoustique pour les nanosciences » de l'INSPI ont caractérisé des cavités acoustiques planaires et en micro-piliers à 20GHz par expérience pompe sonde avec une technique d'excitation sous-harmonique résonante, ce qui a permis de mesurer des facteurs de qualité aussi haut que 27 000.

Les cavités à miroir de Bragg de GaAs/AlAs étudiées ici sont fabriquées par croissance par jet moléculaire au laboratoire par Paola Atkinson. Une couche de GaAs est entourée de deux empilements de bi-couches de GaAs/AlAs qui agissent comme des miroirs acoustiques pour des fréquences appartenant à des bandes interdites centrées autour de 20GHz et de ses harmoniques impairs. Cette cavité confine à la fois des modes optiques et acoustiques car les contrastes d'impédances acoustiques et optiques entre le GaAs et l'AlAs sont comparables. En gravant des micro-piliers à partir d'une cavité planaire on obtient un confinement dans les trois directions de l'espace (Fig 1 a).

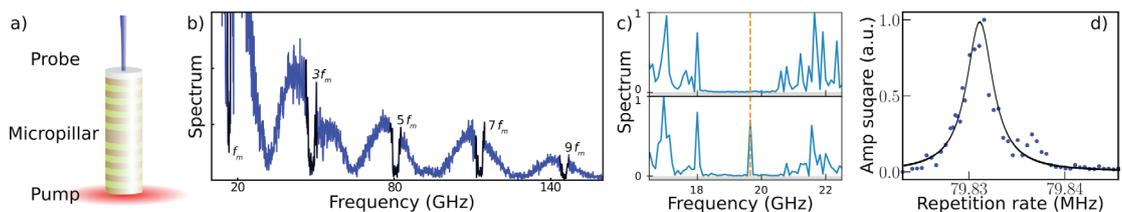


Figure 1
a) Cavité en micro-pilier. b) Spectre acoustique. c) Zoom sur la bande interdite autour du mode fondamental à 19,9 GHz, pour un taux de répétition anti-résonant (haut) et résonant (bas). d) Amplitude de la résonance du mode acoustique d'une cavité planaire en fonction du taux de répétition du LASER obtenue expérimentalement (points bleus) et en ligne noire ajustement lorentzien.

Nous avons réalisé une caractérisation passive de telles cavités par technique pompe sonde, à basse température, 20K. Un faisceau LASER femto seconde pulsé dit pompe excite le mode acoustique de la cavité. Un faisceau LASER sonde permet de mesurer le spectre acoustique de l'échantillon (Fig 1 b) sur lequel on observe les différentes bandes interdites du miroir de Bragg et la résonance de la cavité (Fig1 c, bas). Cependant cette technique ne dispose pas de la résolution fréquentielle nécessaire pour résoudre la résonance plus fine que notre pas en fréquence (Fig 1 c, bas).

Afin de contourner cette limitation, nous avons utilisé une technique d'excitation sous-harmonique : le taux de répétition du faisceau pompe (~80MHz) peut être choisi de sorte qu'il soit égal à un sous-harmonique de la fréquence de résonance acoustique (~20GHz). Chaque impulsion pompe excite alors le mode de manière résonante et on observe la résonance acoustique avec une amplitude maximale (Fig 1 c, bas). En revanche si le train d'impulsions pompe excite le mode de manière anti-résonante, on n'observe pas de résonance acoustique (Fig 1 c, haut). La

dépendance de l'amplitude de la résonance en fonction du taux de répétition (Fig 1 d) permet d'obtenir ses caractéristiques, comme la fréquence de résonance f_m , le temps de vie, et donc le facteur de qualité Q.

Nous avons pu mesurer la résonance acoustique à 20GHz d'une cavité planaire à miroirs de Bragg de 25 bi-couches et déterminer son facteur de qualité de 27 000, donnant un produit Qf_m qui quantifie le découplage du mode de son environnement de 5.10^{14} Hz, à 20K, ce qui est dans l'état de l'art. L'utilisation de cette technique permettrait de caractériser les modes de micro-piliers et de déterminer s'ils peuvent être utilisés comme systèmes optomécaniques.

Référence

High spectral resolution of GaAs/AlAs phononic cavities by subharmonic resonant pump-probe excitation

Lagoïn, C ; Perrin, B ; Atkinson, P ; Garcia-Sanchez, D

PHYSICAL REVIEW B Volume: 99 Issue: 6 Article Number: 060101

<https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.99.060101>

Contacts

Bernard Perrin : bernard.perrin@insp.upmc.fr

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

Camille Lagoïn : camille.lagoïn@insp.jussieu.fr