



Résonances photoélastiques : un coup de pouce pour l'optomécanique ultrasensible

Grâce au couplage optomécanique, de nombreux phénomènes originaux ont été observés tels que le refroidissement laser qui décrit la réduction de l'agitation thermique dans le matériau sous l'effet d'un flux de photons. Un physicien de l'équipe « Nanostructures et systèmes quantiques » de l'INSPI¹ vient de démontrer l'importance d'un mécanisme de couplage alternatif pour l'optomécanique. Il s'agit du couplage photoélastique entre phonons acoustiques et photons qui reflète la modulation de l'indice de réfraction du résonateur sous l'effet des déformations acoustiques.

Quand la longueur d'onde des photons s'approche de la longueur d'onde de l'exciton dans le matériau optomécanique, le photon et l'exciton s'associent et forment une particule mixte, le polariton et le couplage avec les phonons acoustiques s'en trouve considérablement renforcé.

Grâce à un dispositif expérimental de spectroscopie Raman/Brillouin de haute résolution et haute stabilité, nous avons déterminé quantitativement la section efficace de diffusion des polaritons excitoniques par les ondes acoustiques qui reflète directement l'amplitude du couplage photoélastique. Nous avons mesuré systématiquement les spectres de diffusion Raman/Brillouin associés aux phonons acoustiques du matériau en fonction de la séparation énergétique entre les énergies du photon et de l'exciton et pour une large gamme de températures comprises entre 30 et 300K. Ces mesures ont été effectuées sur un multi-puits quantique (MQW) formé de l'empilement périodique de puits de GaAs séparés par des barrières d'AlAs. Les MQW présentent de nombreux avantages expérimentaux pour l'observation de ces résonances. En effet, les excitons n'y sont pas couplés de puits à puits. De plus, la modulation périodique des propriétés acoustiques dans le MQW rend actif en diffusion de la lumière des vibrations dont les vecteurs d'onde sont augmentés d'un multiple d'un vecteur réciproque de la période de l'empilement et les propriétés associées à ces « phonons repliés » sont plus facilement mesurables. Enfin, les résonances polaritoniques se trouvent renforcées par rapport à celles d'une couche de GaAs massif grâce à l'augmentation de la stabilité thermique de l'exciton.

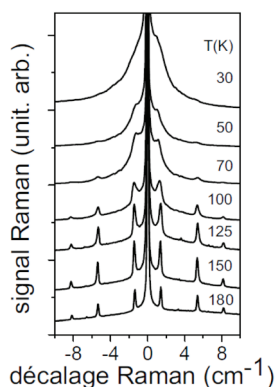


Figure 1
Spectres Raman/Brillouin résonants obtenus pour différentes températures

¹ En collaboration avec le Ioffe Institute (Russia), le Centro Atomico Bariloche and Instituto Balseiro (Argentina) et le Laboratoire de Photonique et de Nanostructures (France)

Nous illustrons nos résultats expérimentaux dans la figure 1 où un spectre Raman/Brillouin résonant est présenté pour différentes températures. On observe dans chaque spectre plusieurs raies de chaque côté du laser dont l'énergie est prise comme origine. Ces raies correspondent à la création ou à la destruction d'un phonon acoustique replié suivant que l'énergie diffusée est inférieure ou supérieure à celle du laser. Les spectres mesurés dépendent fortement de la température et de l'énergie incidente, ce qui est parfaitement expliqué par une description théorique de la diffusion résonante que nous avons développé dans ce travail. Mais c'est l'intensité des raies qui subit la variation la plus spectaculaire, ce qui n'est pas visible sur la figure 1 où les spectres sont normalisés. Dans la figure 2, la variation de l'intensité de l'une des raies diffusées est présentée en fonction de l'énergie incidente et pour les différentes températures mesurées. L'échelle verticale logarithmique traduit la variation de plusieurs ordres de grandeur de cette intensité avec les paramètres expérimentaux. L'ajustement des paramètres du modèle avec chaque série de mesures est excellent (lignes noires sur figure 2) et il fournit une détermination quantitative de la constante de couplage g_0 habituellement utilisée par la communauté optomécanique. Elle décrit l'amplitude des fluctuations électromagnétiques associées à l'agitation thermique du matériau et donne une indication des amplitudes de vibration minimales qu'on peut détecter optiquement. Nous avons mesuré une valeur résonante de g_0 atteignant 100GHz à basse température. Cela représente cinq ordres de grandeur au dessus de la valeur obtenue avec le mécanisme de pression de radiation qui seul subsiste pour des énergies de photon très inférieures au seuil d'absorption.

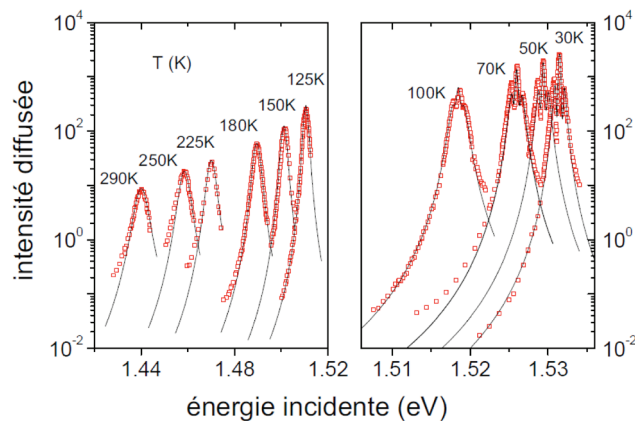


Figure 2

Variation de l'intensité diffusée mesurée en fonction de l'énergie incidente au voisinage de l'énergie de l'exciton pour une raie Raman/Brillouin associée au phonon longitudinal acoustique replié de plus basse énergie. Les mesures sont présentées (carrés rouges) pour différentes températures comprises entre 30 et 300K. Les spectres présentés dans la figure 1 ont été obtenus au voisinage de l'intensité maximale.

Ce résultat ouvre des perspectives pour des mesures optomécaniques de haute sensibilité. Il donne également du crédit à des propositions récentes introduisant une optomécanique à base de polaritons. Nous proposons l'utilisation de multi-puits quantiques comme matériau actif des nanorésonateurs en cavité afin de profiter pleinement de la résonance polaritonique et de combiner au mieux fort couplage optomécanique et facteur de qualité élevé.

Référence

“Polariton Resonances for Ultrastrong Coupling Cavity Optomechanics in GaAs/AlAs Multiple Quantum Wells”

B. Jusserand, A. N. Poddubny, A. V. Poshakinskiy, A. Fainstein, and A. Lemaitre
Phys. Rev. Lett. 115, 267402 (2015)

Contact

Bernard Jusserand : Bernard.Jusserand@insp.jussieu.fr