



Institut de physique

Actualités scientifiques

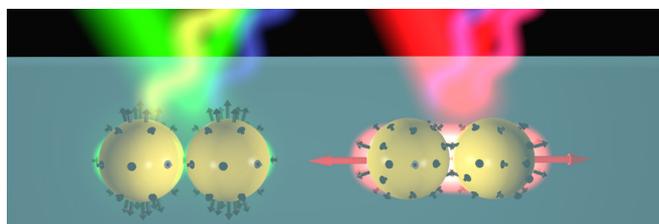
Une vibration acoustique inédite détectée grâce au couplage électromagnétique entre nanoparticules

Janvier 2017

Des physiciens viennent de caractériser le couplage mécanique entre des nanoparticules métalliques maintenues dans une matrice de polymère et d'identifier les modes vibratoires, individuels ou couplés, obtenus suivant la longueur d'onde de la lumière utilisée. Un nouveau mode de vibration des nanoparticules couplées a ainsi été mis en évidence, à très basse fréquence, résultat de l'hybridation de modes de vibration habituellement invisibles en spectroscopie Raman.

L'un des défis technologiques de ces dernières années est le développement de systèmes nano-electro-mecaniques (NEMS) opérant à des fréquences allant du GHz au THz. L'un des constituants fondamentaux de ces systèmes est le nano-résonateur mécanique, dont la fréquence de vibration très élevée, du GHz au THz, en fait un composant de choix pour des nanohorloges ou nanobalances ultraprécises. La nanoparticule, dont les fréquences de vibrations sont inversement proportionnelles au diamètre, constitue le nano-résonateur le plus élémentaire. Toutefois, en dehors de ce système bien compris, des questions demeurent. Par exemple, que se passe-t-il lorsque deux nano-résonateurs se trouvent à proximité l'un de l'autre ? Des chercheurs de l'institut Lumière Matière (ILM, CNRS/Univ. Lyon 1) à Villeurbanne et du Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB, CNRS/Univ. Bourgogne/UTBM) à Dijon, ont apporté la réponse, en combinant des mesures optiques, réalisées par l'application d'une lumière incidente sur des ensembles de nanoparticules d'or, à des simulations numériques, permettant de décrire les vibrations de paires de nanoparticules proches. Les résultats de cette étude viennent de paraître dans la revue *Nano Letters*.

Au cours de cette étude, les chercheurs ont synthétisé des nanosphères d'or, dont les diamètres varient de 12 à 100 nm, qu'ils ont ensuite immobilisées dans une matrice polymérique. En fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente appliquée aux échantillons réalisés, ceux-ci révèlent des spectres d'absorption à deux résonances. La première est associée aux nanoparticules isolées. Elle correspond à l'oscillation collective, résonante, de leurs électrons lorsqu'elles sont éclairées par une lumière verte, plus connue sous le nom de résonance plasmon de surface dipolaire. La seconde résonance apparaît lorsque les nanoparticules sont excitées avec une lumière de couleur rouge. Elle résulte du couplage électromagnétique entre des nanoparticules suffisamment proches, contenues dans des matrices polymériques différentes, allant du dimère au multimère.



Représentation artistique des expériences de spectroscopie Raman réalisées sur des nanoparticules d'or dans une matrice de polymère, conduisant à la détection de modes de vibration individuels ou couplés selon la longueur d'onde utilisée. © J. Margueritat – CNRS / Univ. Lyon 1

Ces échantillons ont ensuite été étudiés par spectroscopie Raman très basse fréquence en fonction de la longueur d'onde d'excitation. Cette technique consiste à mesurer la diffusion inélastique de la lumière, c'est-à-dire la diffusion de photons ayant gagné ou perdu de l'énergie par rapport au photon incident, par certains modes de vibration de nano-objets. Les mesures très précises obtenues ont pu être réalisées grâce au développement d'un micro-spectromètre Fabry-Pérot versatile en longueur d'onde, réalisé dans le cadre de travaux antérieurs¹. L'excitation en résonance avec le plasmon dipolaire a conduit à l'observation attendue du mode de vibration, quadrupolaire, des nanoparticules prises isolément. En revanche, l'excitation en résonance avec le plasmon correspondant au couplage entre deux particules proches a permis deux observations inédites : un accroissement de sensibilité considérable, soit une augmentation du signal d'un facteur 10 000, et la détection d'un second mode de vibration à une fréquence inférieure d'environ 10 GHz (plus ou moins 3 GHz) que celles observées habituellement. Ce mode de vibration s'avère lié à l'effet du couplage mécanique entre les nanoparticules proches résultant de l'interaction avec la matrice de polymère environnante. En effet, les simulations numériques réalisées avec un dimère de nanoparticules d'or inséré dans une matrice de polymère montrent que la vibration observée peut être attribuée au mode de vibration en opposition de phase issue de l'hybridation des modes de vibrations dipolaires de chacune des nanoparticules.

Cette étude ouvre des perspectives nouvelles pour l'étude du couplage mécanique à l'échelle nanométrique. Ces objets nanométriques, qui s'avèrent très dépendants de la matière qui les entoure, interagissent très bien avec la lumière, offrant ainsi la possibilité de les utiliser comme de véritables « sonde du milieu environnant ». La forte exaltation observée permet notamment d'envisager des mesures Raman très basse fréquence sur un dimère individuel, de manière à s'affranchir des effets d'élargissement inhomogènes liés à la dispersion, en forme et en taille, d'une assemblée de nanoparticules. La corrélation des vibrations d'un dimère avec sa morphologie précise, peut ainsi être obtenue par microscopie électronique. Une meilleure compréhension du processus de couplage plasmon-vibration dans les dimères ouvrira la voie vers le développement de nanorésonateurs opto-mécaniques, dont les propriétés de diffusion inélastique pourront être pilotées par la longueur d'onde d'excitation et/ou son état de polarisation.

¹ projet ANR JCJC NANOVIP « NANO-objet unique pour l'étude de l'interaction Vibration acoustique/Plasmon : vers la spectroscopie Basse Fréquence exaltée de surface », lancé en 2013 et terminé en octobre 2016.

En savoir plus

[Mechanical coupling in gold nanoparticles supermolecules revealed by plasmon-enhanced ultralow frequency Raman spectroscopy](#)

Adrien Girard, Hélène Gehan, Aurélien Crut, Alain Mermet, Lucien Saviot et Jérémie Margueritat

Nano Letters (2016), doi:10.1021/acs.nanolett.6b01314

Contact chercheur

Jeremie Margueritat, chargé de recherche CNRS

Informations complémentaires

Institut Lumière Matière (ILM, CNRS/Univ. Lyon 1)

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB, CNRS/Univ. Bourgogne/UTBM)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie

3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 12

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp

Illustration du bandeau : © Emmanuel Perrin/CNRS Photothèque