

Lumière issue d'émetteurs individuels : application en nanophotonique quantique et nanométrie

Isabelle Robert-Philip
CNRS-Laboratoire de Photonique et de Nanostructures

Motivés par les expériences de pensée au cœur de la mécanique quantique puis sous la pression croissante du domaine de l'information quantique, les progrès des méthodes de fabrication, d'observation et de manipulation d'objets individuels ont fortement élargi la variété d'émetteurs de photons uniques. On sait ainsi aujourd'hui fabriquer des émetteurs individuels de taille nanométrique, suffisamment petits pour que la transition entre leurs états électroniques corresponde au rayonnement d'un dipôle unique. Les boîtes quantiques en semiconducteurs et les centres colorés du diamant en font partie.

En tant qu'objet individuel, les boîtes quantiques forment des émetteurs uniques pouvant produire des photons un par un ou en cascade [1]. Ces photons peuvent même être rendus indiscernables, en isolant les boîtes dans des microrésonateurs optiques de volume ultime limité par la diffraction [2]. En tant qu'ensemble, les boîtes forment un milieu à gain; et en les isolant à nouveau dans un microrésonateur optique, on réalise des lasers de dimensions submicroniques. Cette réduction des dimensions change cependant radicalement la physique qui gouverne la source laser ainsi que son rayonnement, marqué par le caractère corpusculaire de la lumière [3].

Les centres colorés du diamant, et en particulier les centres NV (formés par une impureté d'azote associée à une lacune électronique), sont aussi des sources de photons uniques. Outre émettre des états quantiques de la lumière, les centres NV présentent des propriétés de spin électronique qui en font un système quantique modèle à l'état solide. Depuis quelques années, il a été démontré que le spin du centre NV peut également servir de magnétomètre ultrasensible et plus récemment de thermomètre, permettant la réalisation de microscopes de champ magnétique et de gradient de température à forte résolution spatiale et grande sensibilité. Les premières réalisations montrent qu'un tel dispositif d'imagerie thermique devrait permettre d'atteindre des sensibilités autour du mK avec des résolutions spatiales de quelques dizaines à centaines de nanomètres, et ce entre 200 K et 600 K. Cette approche pourrait de fait s'avérer extrêmement intéressante pour un grand nombre d'applications. Un premier domaine potentiel d'intérêt porte sur les origines physiques des changements de lois dans le comportement thermique d'objets de taille inférieure à ou de l'ordre du micron. On peut ici mentionner à titre d'exemple la modification et le contrôle de la conductivité thermique de nanomatériaux tels que nanotubes ou graphène; ou bien la place du rayonnement de champ proche dans l'examen global des transferts thermiques. Un autre domaine d'intérêt provient de la miniaturisation des composants optoélectroniques et microélectroniques, dans lesquels la dissipation et la non-uniformité thermiques sont devenues un véritable défi. L'imagerie de points chauds ou de distribution de chaleur, pourrait contribuer aux stratégies de contrôle thermique dans de tels composants. Enfin, un dernier domaine d'intérêt tire partie de la biocompatibilité du diamant, ouvrant ainsi la voie à des études de biologie thermique à l'échelle de la cellule unique, telles que l'influence de la température sur le métabolisme des cellules.

- [1] E. Moreau et al., Phys. Rev. Lett. 87, 183601 (2001)
- [2] S. Varoutsis et al., Phys. Rev. B 72, 041303(R) (2005)
- [3] A. Lebreton et al., Phys. Rev. Lett. 110, 163603 (2013)