

La conception d'une source de photons uniques efficace est un enjeu important pour la cryptographie quantique et de manière plus générale pour le traitement quantique de l'information. Dans ce contexte, des chercheurs du SP2M ont développé une approche originale en insérant une boîte quantique d'InAs dans un fil photonique de GaAs. Elle s'avère extrêmement performante quant au rendement, à la pureté du signal et à la largeur de bande d'émission.

A basse température, les boîtes quantiques (BQ) semi-conductrices sont des émetteurs de photons uniques performants. Toutefois, l'indice optique élevé (environ 3,5) de la matrice semi-conductrice entourant la boîte limite très fortement la quantité de lumière qui peut s'échapper du dispositif. En la collectant grâce à une lentille, on ne récupère qu'un pourcent environ des photons.

Jusqu'à présent, la solution retenue pour récupérer plus de photons était d'insérer la boîte au sein d'une microcavité résonnante. A cause de nombreuses limites (voir encart) nous avons cherché à placer la BQ dans un nouvel environnement électromagnétique. Nous avons choisi pour cela un fil photonique de GaAs (Fig. 1). Il s'agit d'un guide d'onde semi-conducteur de section circulaire qui supporte un seul mode optique guidé. Grâce au fort indice de GaAs, on peut confiner très fortement ce mode. Pour un diamètre voisin de 200 nm, l'émission d'une BQ positionnée sur l'axe central du fil est très bien couplée à ce mode et à lui seul, comme le montrent les calculs électromagnétiques. En conséquence, tous les photons sont émis dans le mode guidé par le fil.

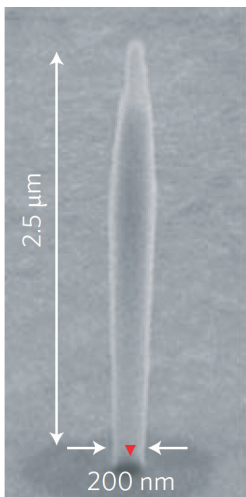


Fig. 1 : Micrographie électronique à balayage du fil photonique de GaAs contenant près de sa base une boîte quantique d'InAs (triangle rouge). Sa fabrication utilise l'épitaxie par jet moléculaire, la lithographie électronique et la gravure plasma.

Reste à collecter efficacement ces photons, toujours à l'aide d'une lentille disposée au-

dessus du nanofil. Avec des théoriciens de l'Institut d'Optique (France) et de DTU Fotonik (Danemark), nous avons résolu les deux problèmes que cela pose (Fig. 2). En premier lieu, la moitié des photons sont émis vers le bas. Pour les réfléchir, nous avons disposé sur la facette inférieure du nanofil un miroir composé d'une couche d'or surmontée d'une fine (11 nm) couche de silice. D'autre part, la facette supérieure étant très petite (200 nm de diamètre), la lumière qui s'en échappe est diffractée largement au-delà du cône de collection de la lentille. Notre solution consiste à tailler la pointe du fil, de sorte que le mode guidé se déconfiné progressivement dans l'air. Etant plus étendu, le mode présente un diagramme de rayonnement plus directif et peut être collecté efficacement.

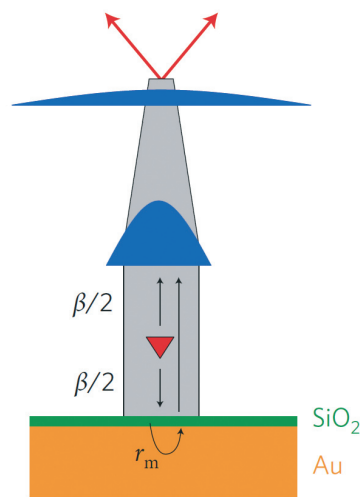


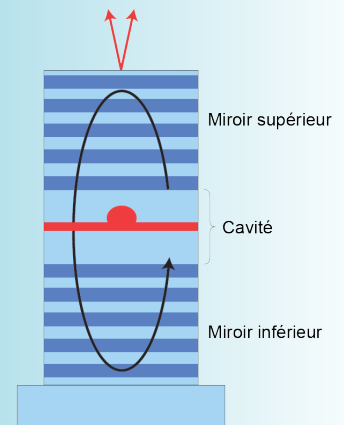
Fig. 2 : Schéma de fonctionnement du nanofil photonique. La moitié de l'émission de la BQ (triangle rouge) qui est dirigée vers le bas est intégralement réfléchi par le miroir Au/SiO₂. La géométrie conique de la partie haute du nanofil déconfiné progressivement le mode de propagation optique symbolisé par les surfaces bleues.

Nous avons réalisé ces objets grâce aux salles blanches de la PTA et du Léti. Ces sources présentent une émission de photons uniques très propre : moins de 1% de l'émission est constituée de photons multiples. Leur efficacité atteint une valeur record de 72%. Au-delà d'une amélioration très significative par rapport à l'état de l'art, cette approche est applicable à des émetteurs de photons uniques à large

Limites des microcavités

Insérer une BQ au sein d'une microcavité optique résonnante était le moyen le plus efficace pour augmenter la quantité de lumière émise. Une cavité optique est constituée de deux miroirs dont les faces réfléchissantes sont face à face. Le photon est presque complètement emprisonné au milieu. La cavité est dite résonnante si en plus la distance entre les miroirs est un multiple de la longueur d'onde d'émission de la BQ. Résultat de tout cela : on accroît la probabilité d'émission des photons dans la direction perpendiculaire au miroir et en plus on augmente le taux d'émission à la longueur d'onde de la boîte (effet Purcell).

Quelles en sont les limites ? Tout d'abord, le photon effectue un grand nombre d'allers et retours dans la cavité. Il a donc le temps de « sentir » tous les défauts de fabrication (par exemple une rugosité des flancs dans une cavité de type micropilier) qui diffusent les photons dans des directions aléatoires. Ces photons sont perdus et l'efficacité des meilleures sources fonctionnant sur ce principe ne dépasse pas 40%. Ensuite, cette approche exige de placer la boîte quantique et la cavité précisément en résonance, ce qui complique la réalisation. Enfin, elle nécessite un émetteur monochromatique, dont le spectre est plus fin que la résonance de la cavité.



bande spectrale puisqu'elle est non-résonnante. Elle pourrait être mise à profit pour améliorer l'efficacité des sources de photons uniques à température ambiante, en insérant par exemple un centre coloré au sein d'un fil photonique de diamant.