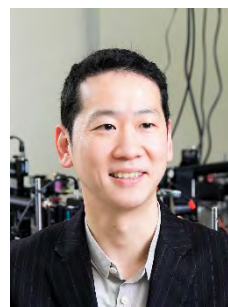


加藤ナノ量子フォトニクス研究室

主任研究員 加藤 雄一郎 (Ph.D.)



(0) 研究分野

分科会: 工学

キーワード:

光物性、ナノデバイス物理、カーボンナノチューブ、フォトニック結晶、顕微分光

(1) 研究背景と研究目標

私たちの生活に必要な不可欠となっている情報機器は、微細化されたトランジスターにより微小な領域で電子を操作する技術に支えられている。一方で、光子をチップ上で制御するための微細な光構造の進歩も著しいものがある。当研究室では、ナノスケールにおいて電子デバイスと光子デバイスを融合して量子情報を処理するという夢の技術に向けて、単一のカーボンナノチューブを組み込んだデバイスを中心として、ナノ光デバイスを利用した基礎研究に取り組んでいる。ナノ材料の光物性やデバイスの動作にかかわる物理的理解を深め、また、新たな量子状態制御手法を開拓することで、光量子デバイスを組み込んだ光集積回路による量子情報通信技術への展望を開くことを目指している。

(2) 2019年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

カーボンナノチューブ中の暗い励起子から明るい励起子への変換機構

A. Ishii, H. Machiya, and Y. K. Kato, *Phys. Rev. X* **9**, 041048 (2019).

幾何構造(カイラリティ)と架橋長さを決定したカーボンナノチューブを用いて、時間分解測定により暗い励起子の挙動を系統的に調べた(図1)。その結果、暗い励起子から明るい励起子への変換効率を定量的に求めることに成功し、変換効率は長いナノチューブほど高くなることが示された。さらに、暗い励起子から明るい励起子への変換効率がカーボンナノチューブのカイラリティや空気分子吸着の有無などの条件に依存することが明らかとなった。今回調べたカーボンナノチューブのうち最も変換効率が高いものは、暗い励起子の50%以上が明るい励起子に変換されていることを確認しており、この変換効率はカーボンナノチューブの発光効率を1.5倍に引き上げることに相当する。

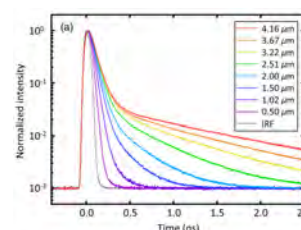


図1: カイラリティが同じで架橋長さの異なるカーボンナノチューブにおける発光の減衰曲線。

非線形な励起子緩和過程を利用したカーボンナノチューブの超解像イメージング

K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato, *Opt. Express* **27**, 17463 (2019).

溝を架橋した単一カーボンナノチューブの共焦点蛍光イメージングにおいて、その空間分解能を向上する手法を考案した。一般の共焦点イメージングの空間分解能は、励起に用いるレーザービームサイズで制限される。励起子同士の衝突の際に一方が非発光再結合する励起子-励起子消滅過程が、カーボンナノチューブという一次元に制限された空間では高効率に起き、発光強度が飽和しやすいことを利用することで超解像が可能となる。2つの異なる励起パワーを用いて得られた像から励起子-励起子消滅による発光強度低減の効果を抽出し可視化すると(図2)、約 $\sqrt{2}$ 倍の分解能向上が確認された。カーボンナノチューブ中の励起子拡散を活用することで、このような超解像イメージングが約 300 W/cm^2 と一般の蛍光色素の場合と比べて2桁以上低い強度で実現できる。

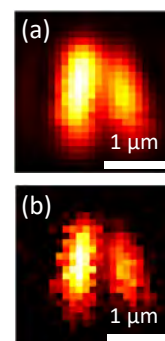


図2: (a) 平行する2本のナノチューブの蛍光像および(b) 超解像イメージ。

(3) 研究室メンバー

(2019年度)

(主任研究員)

加藤雄一郎

(研究員)

寺嶋亘

(特別研究員)

石井晃博、FANG, Nan、山下大喜、
LI, Zhen

(訪問研究員)

大塚慶吾、SHARMA, Alka

(研修生)

町屋秀憲

(アシスタント)

新坂頼子

(4) 発表論文等

1. A. Ishii, H. Machiya, Y. K. Kato: “High efficiency dark-to-bright exciton conversion in carbon nanotubes”, Phys. Rev. X 9, 041048 (2019).
2. K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato: “Super-resolution fluorescence imaging of carbon nanotubes using a nonlinear excitonic process”, Opt. Express 27, 17463 (2019).

Supplementary



Group Webpage

https://www.riken.jp/research/labs/chief/nanosc_qtm_photon/index.html

<http://katogroup.riken.jp/ja/>