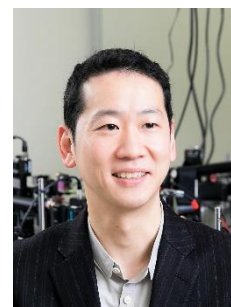


## 加藤ナノ量子フォトニクス研究室 (2022)

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) 2022年度成果と今後の研究計画

#### 二次元材料による微小共振器モードシフトの量子化

N. Fang, D. Yamashita, S. Fujii, K. Otsuka, T. Taniguchi, K. Watanabe, K. Nagashio, Y. K. Kato, *Adv. Opt. Mater.* **10**, 2200538 (2022).

二次元材料との融合に適した空気モード共振器を開発し、共振器上に転写した二次元材料による共振器モードの波長シフトを調査した。様々な二次元材料の種類と厚さ依存性を測定した結果、200 nm以上の範囲で波長可変であることを示した。原子層のセレン化タングステンでは、波長シフトの明確な量子化が見られ、各ステップは単原子層ごとの影響を表している (図1)。高感度な空気モード共振器の波長シフトを利用することで、セレン化タングステンの面内誘電率を抽出することができ、単層まで厚さに依存しないことを明らかにした。また、転写された二次元材料を積層したり除去したりすることで、可逆的に波長変調可能であることが実証された。本成果は、光共振器が二次元材料によって効率的に制御できることを実証し、ナノ材料との相互作用を増強するための設計指針を提供するものである。

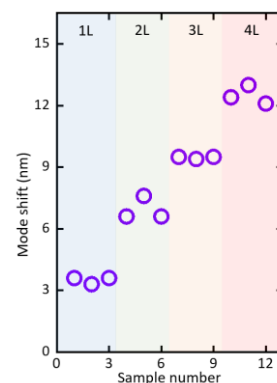


図1: 1層、2層、3層、4層のセレン化タングステンを積層した共振器の波長シフト。

#### カーボンナノチューブにおける明るい励起子の発光量子効率

H. Machiya, D. Yamashita, A. Ishii, Y. K. Kato, *Phys. Rev. Research* **4**, L022011 (2022).

架橋カーボンナノチューブの明るい励起子において、発光デバイス性能を決める基本的な物理量である発光量子効率を求めた。発光量子効率は励起子の発光緩和と非発光緩和過程の割合で決まるため、発光緩和を選択的に増強するフォトニック結晶微小共振器と結合し発光増強量を求めることで、発光量子効率を逆算することができた。複数のデバイスで測定を行った結果、測定誤差の範囲内で明るい励起子の発光量子効率は100%であることが判明した。本結果はカーボンナノチューブを用いた光デバイスの高効率化への可能性を開いた。

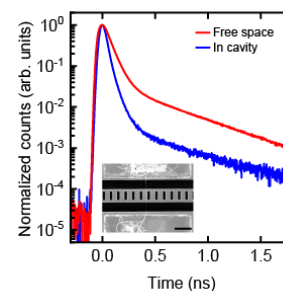


図2: 発光減衰曲線の比較。挿入図は作製したデバイスのSEM像。

### (3) 研究室メンバー

(主任研究員)

加藤雄一郎

(研究員)

寺嶋 亘

小澤大知

(基礎科学特別研究員)

FANG, Nan

FONG, Chee Fai

(訪問研究員)

CHANG, Yih-Ren

(客員研究員)

大塚慶吾

(アシスタント)

新坂頼子

### (4) 発表論文等

1. N. Fang, D. Yamashita, S. Fujii, K. Otsuka, T. Taniguchi, K. Watanabe, K. Nagashio, Y. K. Kato, "Quantization of mode shifts in nanocavities integrated with atomically thin sheets," *Adv. Opt. Mater.* **10**, 2200538 (2022).
2. D. Kozawa, X. Wu, A. Ishii, J. Fortner, K. Otsuka, R. Xiang, T. Inoue, S. Maruyama, Y. Wang, Y. K. Kato, "Formation of organic color centers in air-suspended carbon nanotubes using vapor-phase reaction," *Nature Commun.* **13**, 2814 (2022).
3. H. Machiya, D. Yamashita, A. Ishii, Y. K. Kato, "Evidence for near-unity radiative quantum efficiency of bright excitons in carbon nanotubes from the Purcell effect," *Phys. Rev. Research* **4**, L022011 (2022).

### Group Photo



### Group Webpage

[https://www.riken.jp/research/labs/chief/nanosc\\_qtm\\_photon/](https://www.riken.jp/research/labs/chief/nanosc_qtm_photon/)

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