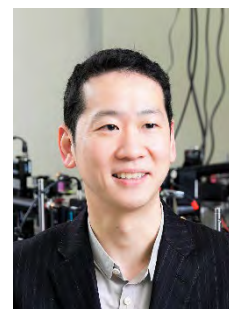


加藤ナノ量子フォトニクス研究室 (2024)

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

量子技術は計算・通信・検出・計測など広範な分野で革新的な進歩をもたらすことが期待されている。量子効果は微細な構造ほど安定して顕在化するという傾向があり、原子レベルで精密な構造を用いることで室温で動作する量子技術への道筋が拓く可能性がある。当研究室では、新たな量子状態制御手法の開拓を目指し、ナノ物質の光物性やナノ光デバイスの動作にかかわる物理的理解を深めるための基礎研究に取り組んでいる。原子精度ナノ物質を組み込んだ素子構造を利用して未来の量子技術に資する光デバイスの姿を探求している。

(2) 2024年度成果と今後の研究計画

異次元ヘテロ構造における界面励起子の室温量子発光

N. Fang, Y. R. Chang, S. Fujii, D. Yamashita, M. Maruyama, Y. Gao, C. F. Fong, D. Kozawa, K. Otsuka, K. Nagashio, S. Okada, Y. K. Kato, *Nature Commun.* **15**, 2871 (2024).

室温での2次元セレン化タングステンと1次元カーボンナノチューブの異次元ヘテロ構造における界面励起子を観測した。界面励起子のピークがカーボンナノチューブのE₁₁状態より低い広範囲のエネルギーで複数現れた。ピークの出現はカーボンナノチューブのカイラリティとセレン化タングステンの層数に強く依存し、バンドエネルギーの相対的な配置が重要だと判明した。界面励起子は低励起強度で飽和し寿命が長いという特性を持つことから、室温でも局在していることが示唆された。二光子相関測定により室温でのアンチバンチングが確認され、界面励起子には量子光源としての潜在的な応用可能性があることが明らかになった。

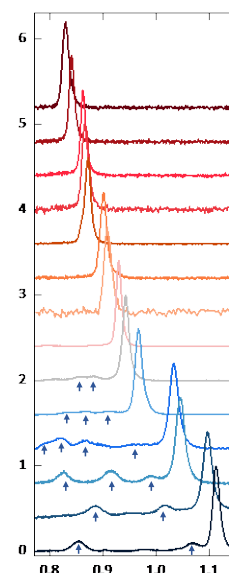


図1: 種々のヘテロ構造の分光特性。界面励起子の発光ピークは矢印で示されている。

原子層物質を用いた自己整合型ハイブリッドナノ共振器

C. F. Fong, D. Yamashita, N. Fang, S. Fujii, Y.-R. Chang, T. Taniguchi, K. Watanabe, Y. K. Kato, *ACS Photonics* **11**, 2247 (2024).

フォトニック結晶導波路の一部を二次元材料片で覆うことによってハイブリッドナノ共振器の形成を実現した。二次元材料片の存在により屈折率が局所的に変化し、光閉じ込めとそれによる共振器の形成が起きる。実際に作製したhBN、WSe₂、MoTe₂ フレークを用いたハイブリッドナノ共振器の中には 4.0×10^5 ほどと高Q値のデバイスも得られた。原子レベルで極薄である単層および数層のフレークにおいても、ナノ共振器形成のために十分な屈折率の局所変調ができることが分かった。ナノ共振器は二次元材料に対して空間的に一致した位置に形成されるため、フォトルミネッセンス強度の向上や発光寿命の短縮など、共振器の光と物質の相互作用を観測することができた。

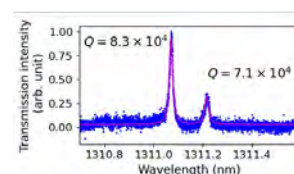
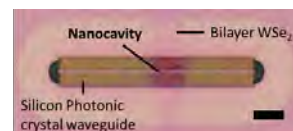


図2: (上) 二層 WSe₂ フレークを備えた自己整合ハイブリッドナノキャビティの光学顕微鏡写真。(下) キャビティのピークと対応するQ値を示す透過スペクトル。

(3) 研究室メンバー

(2024年度)

(主任研究員)

加藤雄一郎

(研究員)

寺嶋 亘

FANG, Nan

FONG, Chee Fai

(特別研究員)

ERKILIC, Ufuk

WANG, Mengyue

(訪問研究員)

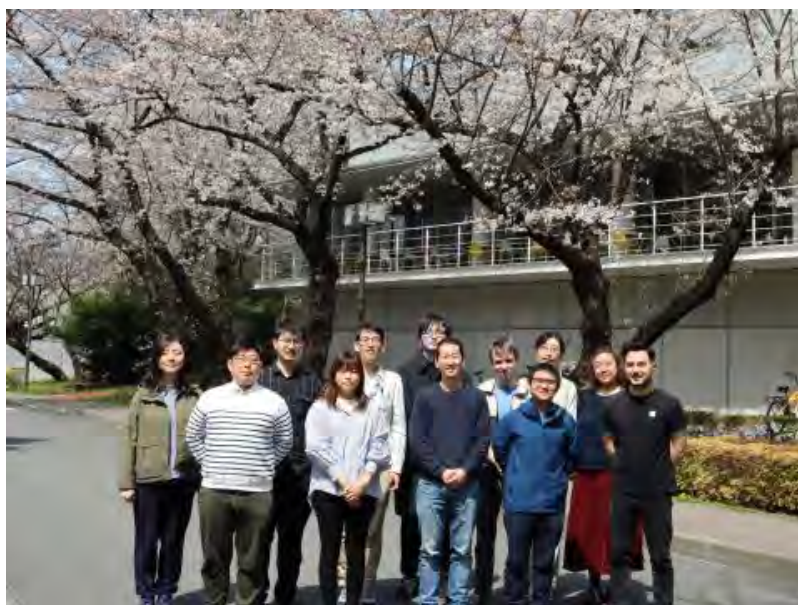
CHANG, Yih-Ren

張 健一

(4) 発表論文等

1. D. Yamashita, N. Fang, S. Fujii, Y. K. Kato, "Hybrid silicon all-optical switching devices integrated with 2D material," *Adv. Opt. Mater.* **13**, 2402531 (2025).
2. D. Kozawa, S. Fujii, Y. K. Kato, "Intrinsic process for upconversion photoluminescence via K -momentum-phonon coupling in carbon nanotubes," *Phys. Rev. B* **110**, 155418 (2024). [Editors' Suggestion]
3. C. F. Fong, D. Yamashita, N. Fang, S. Fujii, Y.-R. Chang, T. Taniguchi, K. Watanabe, Y. K. Kato, "Self-aligned hybrid nanocavities using atomically thin materials," *ACS Photonics* **11**, 2247 (2024).
4. N. Fang, Y. R. Chang, S. Fujii, D. Yamashita, M. Maruyama, Y. Gao, C. F. Fong, D. Kozawa, K. Otsuka, K. Nagashio, S. Okada, Y. K. Kato, "Room-temperature quantum emission from interface excitons in mixed-dimensional heterostructures," *Nature Commun.* **15**, 2871 (2024).
5. S. Fujii, N. Fang, D. Yamashita, D. Kozawa, C. F. Fong, Y. K. Kato, "van der Waals decoration of ultra-high-Q silica microcavities for $\chi^{(2)}$ - $\chi^{(3)}$ hybrid nonlinear photonics," *Nano Lett.* **24**, 4209 (2024).

Group Photo



Group Webpage

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

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