

課題番号 : F-19-UT-0073  
 利用形態 : 機器利用  
 利用課題名(日本語) : カーボンナノチューブの超解像光学イメージング  
 Program Title (English) : Super-resolution optical imaging of carbon nanotubes  
 利用者名(日本語) : 大塚慶吾、石井晃博、加藤雄一郎  
 Username (English) : K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato  
 所属名(日本語) : 理化学研究所 加藤ナノ量子フォトニクス研究室  
 Affiliation (English) : Nanoscale Quantum Photonics Laboratory, RIKEN  
 キーワード/Keyword : カーボンナノチューブ、超解像イメージング、リソグラフィ・露光・描画装置

## 1. 概要(Summary)

単層カーボンナノチューブは光学的にはチップ上の通信波長帯発光・受光素子や生体中の蛍光標識などの幅広い応用が期待される。特にカーボンナノチューブ中では、擬 1 次元構造に由来し、室温でも励起子が安定して存在するだけでなく、拡散した励起子が効率よく衝突するために、新たな機能を出現させやすい。本研究では、励起子の強い非線形性を利用し、カーボンナノチューブの超解像イメージングを実現する手法を考案する。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

高速大面積電子線描画装置、クリーンドラフト潤沢超純水付、高速シリコン深掘りエッチング装置、ステルスダイサー、光リソグラフィ装置 MA-6

### 【実験方法】

Si ウエハに電子線描画を用いてパターン描画し、ICPドライエッチングを行うことでトレンチ構造を形成する。クリーンドラフトにおける薬品処理によりレジストを除去する。続いて電子線描画により触媒のパターンを形成したのち、ステルスダイサーによって分割する。CVD 法により上述したトレンチ構造上にカーボンナノチューブを成長させ、このようにして得られたサンプルに対し光学測定を行う。また、単結晶水晶基板に光リソグラフィを用いてパターンした金属触媒からカーボンナノチューブを成長した。これを上述の Si 基板に転写し、同様の測定を検討した。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

共焦点顕微分光装置を用いてト近接する 2 本のカーボンナノチューブの二次元蛍光像を取得した。励起強度が十分に弱い場合、レーザービームの強度プロファイルを直接反映し、Fig. 1(a)のように約 500 nm の幅を持ったナ

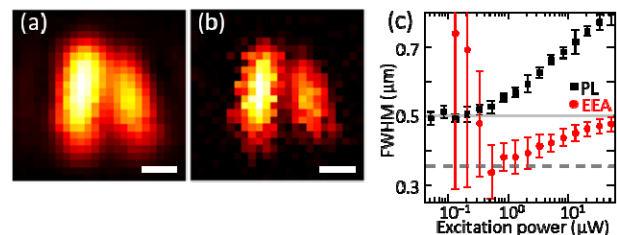


Fig. 1 (a,b) Conventional photoluminescence image of two nanotubes (b) and their super-resolution image by the extraction of annihilation rate components (c). Scale bars are 500 nm. (c) Power dependence of the width of nanotube images.

ノチューブの像が得られる。非線形な励起子-励起子消滅による発光強度減少分を可視化することで、Fig. 1(b)のように通常の共焦点顕微鏡を上回る空間分解能が得られる。Fig. 1(c)に示す励起強度依存性およびモンテカルロシミュレーションから、分解能が最大で約 1.4 倍向上することがわかった。

## 4. その他・特記事項(Others)

競争的資金: 本研究は科研費 JP16H05962 および JP17H07359 の支援を受けた。

## 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

[1] K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato, “Super-resolution fluorescence imaging of carbon nanotubes using a nonlinear excitonic process”, *Opt. Express* **27**, 17463 (2019).

[2] K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato, “Super-resolution imaging of air-suspended carbon nanotubes by extracting nonlinear excitonic processes”, *International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT19)*, Würzburg, Germany (July 23, 2019).

## 6. 関連特許(Patent)

なし