

課題番号 : F-20-UT-0062
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 孤立単層カーボンナノチューブのオンチップイメージングおよび分光
Program Title (English) : On-chip imaging and spectroscopy of isolated carbon nanotubes
利用者名(日本語) : 大塚慶吾, 松下覚, 杉原太希, 丸山茂夫
Username (English) : K. Otsuka, S. Matsushita, T. Sugihara, S. Maruyama
所属名(日本語) : 東京大学工学系研究科機械工学専攻
Affiliation (English) : Department of Mechanical Engineering, The University of Tokyo
キーワード/Keyword : カーボンナノチューブ, リソグラフィ・露光・描画装置, 分析

1. 概要(Summary)

単層カーボンナノチューブなどの 1 次元ナノ材料の特長を生かしたまま電界効果トランジスタなどの電子デバイスに組み込むためには、多くの場合でナノ材料が孤立していることが要求される。しかし、特に孤立した 1 次元材料の可視化には走査型電子顕微鏡などが用いられるものの、デバイス作製の観点からは非破壊で高速でスペクトル情報を含む光学的な観察手法が望まれる。本研究では、偏光顕微鏡[1]によるイメージングおよび分光測定を自動化することにより、1 次元ナノ材料を用いた電子デバイス作製効率を大幅に改善することを目指す。

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、ステルスダイサー、光リソグラフィ装置 MA-6、高速シリコン深掘りエッチング装置

【実験方法】

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する。熱酸化膜付き Si ウェハに対し電子線描画を行い、ICP ドライエッチングを行うことでトレンチ構造を形成した。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し、ステルスダイサーによって分割する。水晶基板上の配向ナノチューブもしくはピラー上に架橋したナノチューブに窒化ホウ素原子層をさらに成長したものを上述の Si/SiO₂ 基板に転写して、偏光顕微鏡を用いて光学イメージングを行う。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Si/SiO₂ 基板に転写された配向カーボンナノチューブ [2] に対し、同一箇所を走査型電子顕微鏡および偏光顕微鏡により観察した (Fig. 1(a,b))。電子顕微鏡では、ナ

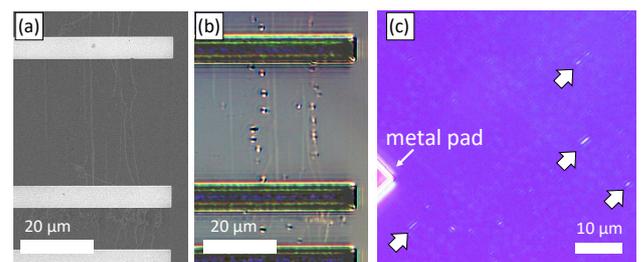


Fig. 1 (a,b) Aligned carbon nanotubes on a Si/SiO₂ substrate imaged by scanning electron microscopy (a) and polarized microscopy (b). (c) Optical image of isolated carbon nanotubes wrapped with boron nitride nanotube layers. Thick arrows indicate the nanotube location.

ノチューブ直下の基板が電子を効率よく放出することで強いコントラストが得られるのに対し、偏光顕微鏡では背景からの反射光を抑制することで直径 1 nm 程度の孤立したナノチューブによる光吸収・散乱を市販のカラーカメラを用いて同程度の S/N 比で可視化することができた。また、架橋した孤立カーボンナノチューブ状に六方晶窒化ホウ素層を数層成長させた 1 次元ヘテロ構造[3]を Si/SiO₂ 基板に転写した場合も、明確にイメージングを行うことができ、新規 1 次元材料のデバイス試作の効率化に繋がる。

4. その他・特記事項(Others)

参考文献: [1] K. Liu et al., *Nature Nanotech* **8**, 917 (2013). [2] K. Otsuka et al., arXiv:2012.01741. [3] R. Xiang et al., *Science* **367**, 537 (2020).
競争的資金: 本研究は科研費 JP19J00894, JP20K15137, JP20H00220 の支援を受けた。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし

6. 関連特許(Patent)

なし