

# ナノ材料測定用ギャップ電極の作製

## Fabrication of Gap Electrodes for Electric Characteristics Measurements of Nanomaterials

熊谷 慎也

Shinya Kumagai

豊田工業大学大学院工学研究科

Dept. of Advanced Science and Technology, Toyota Technological Institute

ナノ材料の電気特性を測定するためにはナノ材料の大きさにあわせたギャップ電極を作製する必要がある。ギャップの大きさは数 nm から数 $\mu\text{m}$  におよぶ。電子線リソグラフィーはナノスケールの構造の描画には適しているが、ミクロンスケールの大面積にわたる構造の描画には多大な時間を要する。ここでは、電子線リソグラフィー技術とフォトリソグラフィー技術の優位な点を組み合わせてナノ材料測定用ギャップ電極を作製し、測定に応用した。

Gap electrode structures are used to measure the electric characteristics of nanomaterials. However, fabrication process of nanogap electrodes devices was time-consuming. In this study, the efficiency of the nanogap electrodes fabrication was improved by combining electron beam lithography with photolithography.

**背景と研究目的：** ナノ材料は、バルク材料とは異なり、量子効果が現れて特性を示すことから注目を集めている。ギャップ電極に配置されたナノ粒子が電子をクーロン島として働くと、単電子トランジスタとして動作する。カーボンナノ材料は優れた電気特性に加えて、機械特性の点でも注目され、活発に研究されている。これらナノ材料の電気特性を測定するためには、ナノ材料に電極を接触させなければならない。コンタクトをとる手法の一つとして、走査型プローブ顕微鏡 (SPM) を用いて、導電性探針をナノ材料に接触させて電気特性を測定する手法がある。また別の手法としては、予め作製したギャップ電極上にナノ材料を配置させて、測定するものである。ナノスケールでのギャップ構造作製には電子線ビーム (EB) リソグラフィーが用いられる。しかしながら、測定信号を外部に出力するための電極パッド構造の作製までを

含めると、作製には多くの時間を要する。

本研究では、EB リソグラフィーとフォトリソグラフィーの優位な点をそれぞれ組み合わせて、ギャップ電極の高効率作製を試みた。ナノギャップ電極を EB リソグラフィーで作成し、アライメント露光によって、信号外部出力用のパッド電極を重ね合わせて作製した。

**作製：** 豊田工業大学 クリーンルーム施設を利用して作製を行った。熱酸化膜のついたシリコン基板に電子線ビームレジストをスピン塗布した後 (膜厚: 100nm)、電子線ビーム露光装置 (クレステック TFT-8200) を用いてギャップ電極とアライメントマークを描画した (Fig.1)。その後、抵抗加熱蒸着法によって、Crを5nm、Auを20nm堆積させた。電子線ビームレジストのリムーバーに浸漬し、リフトオフによって、電極ギャップ電極構造を作製した (Fig.2)。露光条件をさらにつめていくことで、ギャップの更

なる狭小化も可能である。ナノギャップ電極作製後、フォトリソグラーフをスピン塗布し、マスクアライナー（ズースマイクロテック MA6）を用いて、アライメント露光を行った。サンプルを現像した後、再度、抵抗加熱蒸着法によって、Crを5nm、Auを60nm堆積させた。その後、アセトンを用いてリフトオフさせた。

フォトリソグラフィーによって作製したマイクロンオーダーのギャップの中央に、EBリソグラフィーで作製したナノギャップ電極が配置されている (Fig.3)。その一方で、フォトリソグラフィーで作られるマイクロンオーダーのギャップ (1 $\mu$ m以上) も、カーボンナノチューブの様な1次元状に長い材料を測定するのに利用できる。

**ナノ材料電気特性測定：** カーボンナノチューブ (CNT) の周囲にコバルトナノ粒子を付着させたコンジュゲートナノ材料の測定を試みた<sup>1)</sup>。誘電泳動法を利用して<sup>2)</sup>、ギャップ間にコンジュゲートナノ材料を配置させた (Fig.4)。電界の作用によって、Au/Cr 電極間に平行に配向されている。

半導体パラメーターアナライザ (アジレント 4156C) を用いて測定した。電気特性の一例を Fig.5 に示す。クーロンブロッケード特性が観測された。低バイアス時には電流が流れないが、1V を越えたあたりから電流が流れ始めている。バイアス電圧を増加させることにより、無数にある CNT/ナノ粒子/CNT の接合を越えてトンネル電流が流れたと考えられる。

### 今後の展開

本手法によって作製したギャップ電極構造を用いて、様々なナノ材料の電気特性評価を行っていく予定である。

**謝辞：** ナノ材料は奈良先端科学技術大学院大学 山下一郎教授より提供いただいた。深く感謝を申し上げる。

### 論文発表状況・特許出願

[1] S. Kumagai et al., Proc. of International Conference IEEE NEMS2012, p.113, Kyoto, 2012 3/6,

### 参考文献

- 1) Kobayashi et al., Chem. Commun., **47** (2011) 3475.
- 2) A. Vijayaraghavan et al., Nano Lett., **7** (2007) 1556.

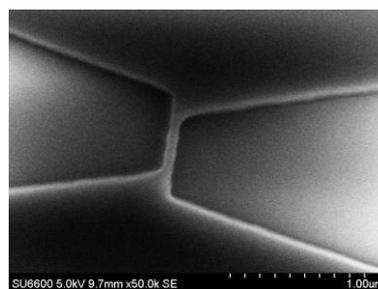


Fig.1: EB resist pattern of nanogap electrodes.

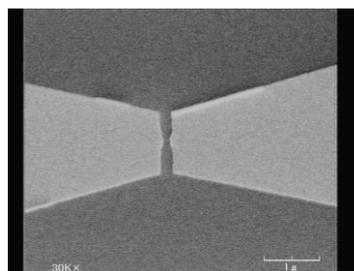


Fig.2: Fabricated nanogap electrodes.

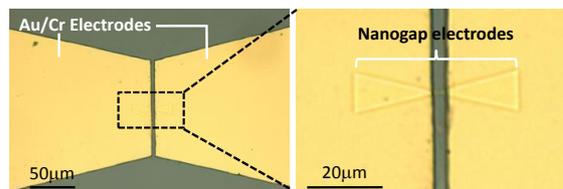


Fig.3: Fabricated gap electrodes. As shown in the magnified image of the dotted area, nanogap electrodes were located in the center of the pad Au/Cr electrodes.

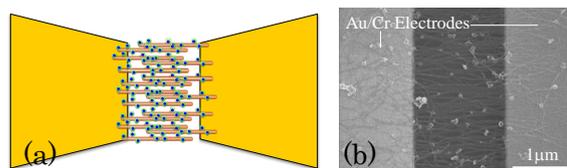


Fig.4: (a) Schematic drawing of nanoparticle-CNT conjugates adsorbed onto gap electrodes. (b) SEM images of nanoparticle-CNT conjugates.

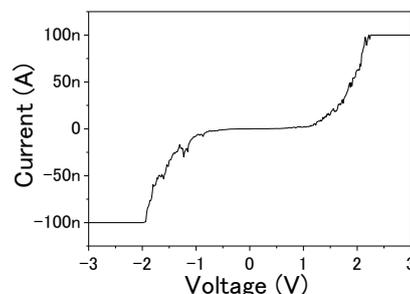


Fig.5: One of the measured current-voltage characteristics. Bias voltage was swept from +3V to -3V.