

自己評価報告書

平成 23年 4月 28日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20740236

研究課題名（和文） 単分子を架橋させた複合ナノ接合リングによる単分子の電気伝導測定
研究課題名（英文） Electrical transport measurements for nano-junction bridged by single molecule

研究代表者

根岸 良太（NEGISHI RYOTA）

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：30381586

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：ナノテクノロジー、ナノファブリケーション、分子デバイス、微細加工、ナノギャップ、自己組織化、メゾスコピック、クーロンブロッケード

1. 研究計画の概要

本研究では、(1) 従来のトップダウン型微細加工法に分子の自己組織化を利用したボトムアップアプローチを融合させたハイブリッド型微細加工技術の開発 (2) 本手法を用いたナノギャップ電極の作製、(3) ナノギャップ間に高い電気伝導が期待される π 電子系分子を架橋させた複合ナノ接合を作製し、ゲート電極を利用した分子のポテンシャル制御による単分子内におけるキャリア輸送特性機構の解明を目指す。特に、電極材料として超伝導を用いることにより、超伝導電流と量子ドットのエネルギー準位や分子軌道とのカップリングに伴う新規なキャリア伝導機構の探索と量子デバイス応用への展開を模索する。

2. 研究の進捗状況

H20 年度年度では、トップダウン型微細加工技術と分子の自己組織化による分子リソグラフィ法を併用したハイブリッド型微細加工技術の開発・最適化を行い、超伝導体や強磁性体材料からなるナノスケールオーダーの溝構造を持つナノギャップ電極の作製に成功した。H21 年度では、前年度確立した微細加工法により作製したナノギャップ電極の有効性を検証した。具体的には、リガンドで被覆された金微粒子を超伝導ナノギャップ電極間に配置させることにより、単一電子素子を作製し、電気伝導評価を行った。その結果、電極間に流れる電流-電圧特性は、液体ヘリウム温度において明瞭なクーロンブロッケード現象を示した。さらに、いくつかのリガンド（アルカンチジチオール・ベンゼンジチオール・キシレンジアミン）を採用した結果、キシレンジアミンをリガンドとして

用いた単電子素子が最も低い接合抵抗を示した。この結果は、電極と分子間における超伝導やスピンなどの量子情報の散逸を低減するための重要な知見である。一方で、ギャップ間に微粒子や単分子を配置させる方法は、一般的な手法である滴下分散法で行ってきた。この手法では、素子の歩留まりが極めて低く、将来のナノギャップ素子集積化への大きなボトルネックとなることが予測される。そこで、ナノギャップ間に直接ナノ構造を自己形成させるための独自の基盤技術の確立を新たに計画した。具体的には、グラフェン成長触媒となる Ni ナノギャップ電極上で、気相化学成長 (CVD) 法により、直接ナノギャップ間にグラフェンを自己形成させる。この目的達成のため、H22 年度では、多温度ゾーン CVD 装置の開発と本装置によるグラフェンの成長技術の確立を進めた。多温度ゾーン CVD 装置では、原料ガスの活性化と成長過程を独立して制御することが可能であるため、予め原料ガスを活性化することにより、金属表面での触媒作用の助けを借りることなく比較的低温での成長を実現する。そのため、一般的な CVD 成長条件である高温 (800～1000°C) 環境下でのナノギャップ構造の消失・変形などの問題を解決することが期待できる。実際、本手法を用いた低温 CVD 成長条件下 (~700°C) で機械剥離グラフェンの再成長現象を観測しており、本成長法の有効性を確認した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進呈している。

(理由) 現時点において、 π 電子系有機分子を架橋させた複合ナノ接合作製のための基

盤技術はおおむね確立され、その有効性を確認している。その一方で、研究代表者はH21年度10月から、微細加工中心の研究グループ（理研）から現職であるナノカーボンの成長を主題とした研究グループ（大阪大学）へ移動したため、研究計画に新たなサブフェーズを設けた。その内容は、研究当初予測していなかった素子の歩留まり問題に対して、成長技術による独自のアプローチを導入することにより、解決するものである。現在、理研で確立した微細加工技術と成長技術が融合した萌芽的研究へと展開しており、当初の研究計画以上の成果が期待できる。

4. 今後の研究の推進方策

ナノギャップ電極をテンプレートとしたグラフェンの自己組織成長技術の確立を進める。(1) グラフェン成長制御法について、本研究では、①触媒金属表面上で所定の層数のグラフェンを形成する技術、および②得られた層数制御グラフェンを種結晶としてデバイス基板方向に沿面成長させる技術の2つの観点から取り組む。①では、まず金属表面がもつ触媒作用を利用して単原子層グラフェンを生成した後、その上に原料ガスを活性化させた条件で所定の層数のグラフェンを成長させる。成長には、前年度開発した多温度ゾーンCVD成長装置を活用し、成長グラフェン上での成長種の拡散条件を最適化することで、高品質グラフェン形成を実現する。②では、グラフェンあるいは基板上を拡散する炭素成長種を、活性化したグラフェン端へ選択的に吸着させて、層数を変化することなく横方向にグラフェンが成長する条件を探索する。グラフェン端は横方向の成長において核生成サイトとなるため活性化させることが重要である。そこで成長前処理として、グラフェン端の活性化処理に酸化や活性水素照射などの多様なプロセスを試みる。(2) ギャップ電極間を架橋するグラフェンの成長には、電極エッジ部分の原子レベルでの平坦性や表面の化学的な活性状態、およびグラフェン形成の駆動力制御が重要と予想される。そこで(1)で得られた研究成果を踏まえて、ナノギャップ電極の構造最適化を行う。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計4件)

1. **R. Negishi**, H. Hirano, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Matsumoto, Y. Kobayashi, *Thin Solid Films* (2011) in press.
2. **R. Negishi**, H. Hirano, Y. Kobayashi, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Matsumoto, *Jpn. J. Appl. Phys.* (2011) in press.

3. T. Nishino, **R. Negishi**, H. Tanaka, T. Ogawa and K. Ishibashi *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. **50**, 035204 (2011).
4. T. Nishino, **R. Negishi**, K. Ishibashi, H. Ozawa, M. Kawao and T. Nagata, *Nanotechnology* Vol. **21**, 225301 (2010).

[学会発表] (計20件)

1. **R. Negishi**, H. Hirano, Y. Kobayashi, Y. Ohno, K. Maehashi and K. Matsumoto, The 22th Microprocesses and Nanotechnology Conference, Kokura, Japan, (November 9-12, 2010).
2. **R. Negishi**, H. Hirano, Y. Kobayashi, Y. Ohno, K. Maehashi and K. Matsumoto, The 39th Fulleren-Nanotubes General Symposium, Kyoto, Japan, (September 5-7, 2010).
3. **R. Negishi**, H. Hirano, Y. Kobayashi, Y. Ohno, K. Maehashi and K. Matsumoto, The 38th Fulleren-Nanotubes General Symposium, Nagoya, Japan, (March 2-4, 2010).
4. **R. Negishi**, T. Nishino, K. Ishibashi, H. Tanaka and T. Ogawa, Micro and Nano Engineering 2009 (MNE09), Ghent, Belgium (September 28 - October 1, 2009).
5. **R. Negishi**, T. Nishino, T. Yamaguchi and K. Ishibashi, Micro and nano Engineering 2008 (MNE08), Athens, Greece (September 15-18, 2008).

[その他]

ホームページ

<http://www.ap.eng.osaka-u.ac.jp/nanomaterial/>

受賞歴

22th International Microprocesses and Nanotechnology Conference 2009, "Most Impressive Poster" T. Nishino, **R. Negishi**, H. Ozawa, K. Ishibashi.