

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノファクトリーとプロセス観測」
平成14年度採択研究代表者

松井 真二

(兵庫県立大学 教授)

「高機能ナノ立体構造デバイス・プロセス」

1. 研究実施の概要

本研究では、これまで研究代表者らが培ってきた集束イオンビーム・電子ビームを利用した独自のナノ構造体形成技術をベースとして、ナノ立体構造を有する電子デバイス・メカニカルデバイス・光デバイス・バイオデバイス等に代表される「高機能ナノ立体構造デバイス」の創製、および、デバイス構築に必要となるプロセス技術の創製を目指す。最終目標として、これらの研究成果を統合し、細胞内マニピュレーション・センシング機能デバイスの創出を目指す。

2. 研究実施内容

本年度は、本プロジェクトを構成する3研究グループ共に、独創性かつ新規性のある成果を達成した。以下にそれぞれのグループの成果について述べる。

(1) 兵庫県立大学グループ：ガラスキャピラリー上ナノマニピュレータの作製・動作実験に成功。

細胞操作や生体現象の分析を行うためには高い機能性を持ったナノツールが必要である。そのための高機能ナノツールを作製するためには、既存の2次元構造の作製技術では不十分であり、3次元構造作製技術を用いた3次元的な構造を持ったものを作製する必要がある。そこで、集束イオンビーム(FIB: Focused Ion Beam)を用いてさまざまな3次元ナノツールの開発を行っている。今回、集束イオンビームを用いて3次元ナノマニピュレータを作製した。写真1はそのマニピュレータのイオン走査顕微鏡(SIM: Scanning Ion Microscope)画像である。この4本の爪構造に電圧を印加する事により、構造に電荷を蓄積させ、その電荷の反発により動作させることができることを実証した。そして、この3次元ナノマニピュレータを用いて、光学顕微鏡下で直径約 $1\mu\text{m}$ のポリスチレン・マイクロビーズのマニピュレーションに成功した。

(2) 日本電気(株)・筑波大グループ：EB-CVDによるナノチューブ固相成長に成功。

電子ビーム励起堆積(EB-CVD: Electron Beam induced deposition)を用い、ナノサイズを持つアモルファスカーボンの3次元構造体形成が可能であることを示した。通常使われる電子ビーム環境である 10^{-6}Torr 程度の真空度の中でも、希薄なフェナントレン蒸気で

非常に効率よくカーボン堆積物を形成する事ができる。このEB-CVDによるアモルファスナノカーボンピラーをFIB-CVDによるフェロセン構造体上に形成して熱処理を行うと、フェロセン構造体中に凝縮により形成される鉄微粒子がアモルファスナノカーボンピラー中に移動し、その中を動いていく。この動きにともない、その軌跡に多層グラファイトが形成されることを見出した。鉄微粒子の侵入によって曲がりくねった侵入の軌跡がグラファイト化され、ナノチューブ化している(写真2(a))。一方でナノピラーのサイズより鉄微粒子が大きい場合、鉄微粒子はナノピラーの途中まで(写真2(b))か、または、全く侵入出来ずにナノピラー下部にとどまる(写真2(c))。アモルファスカーボンピラーのグラファイト化技術をさらに押し進め、TEMによるその場観測でグラファイト化の様子を観測する事に成功した。フェロセンを原料とするFIB-CVD母材中に熱処理により析出する鉄微粒子は、温度の上昇とともに液状に変化し、この鉄微粒子がアモルファスカーボンナノピラー中を移動するにつれて、その軌跡がグラファイト化される様子を捉える事に成功した。このTEMによるナノチューブの動的観察は、ナノチューブの成長メカニズムを解明するものと期待できる。

(3) 物質・材料研究機構グループ：FIB-CVDによるGa₂O₃ナノ構造からのPL観測に成功。

発光素子を実現するためにはGa₂O₃とSi基板との表面、界面の関係は重要となってくる。そこで基板表面処理と、初期核の形成の予備実験として、表面処理したSi基板にFIBによる核形成サイトの形成、RFラジカル源を組み合わせるGa₂O₃立体構造の作製を試みた。今回はSiとの表面エネルギーの差が既知で熱処理のみにより除去が可能なAsを表面処理に用いた。この結果、核形成サイト以外に不要物の無い微細結晶の配置制御に成功した。この試料の発光特性をカソードルミネッセンス法により評価した結果、Ga₂O₃のバンド端に由来する発光が確認された(図1)。現在、Si₃N₄表面処理層でも効果は低いものの同様の結果が確認されており、CVD過程での不要な表面吸着原料の除去に有効と考えている。さらに、この微細Ga₂O₃構造の形成は従来のGa₂O₃形成温度から100℃ほど低い600℃でRFラジカル源を用いて窒化しており、RFラジカルソースが窒化法として適切な手法であることが確認された。

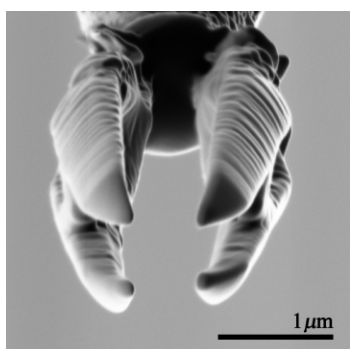


写真1 ナノピンセット

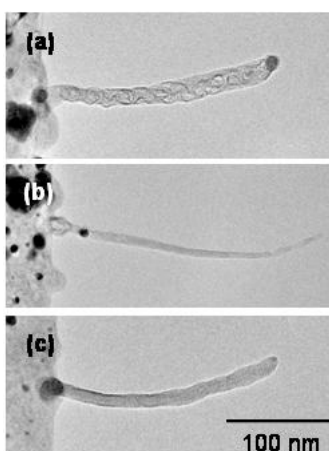


写真2 鉄微粒子の侵入の状況

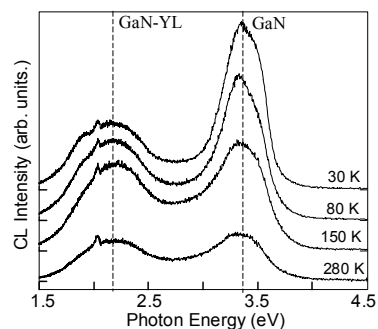


図1. Ga₂O₃液滴成長法による立体構造のカソードルミネッセンススペクトル

3. 研究実施体制

ナノ立体構造電子デバイス研究グループ

- ① 研究分担グループ長：松井 真二（兵庫県立大学高度産業科学技術研究所、教授）
- ② 研究項目：集束イオン・電子ビーム励起プロセスによる空中配線作製および、空中配線間電子デバイス作製・評価基礎技術の確立

ナノ立体構造光デバイス研究グループ

- ① 研究分担グループ長：知京豊裕（物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所、ディレクター）
- ② 研究項目：低エネルギー集束イオンビームによるナノ発光素子の作製と配置制御技術の確立

ナノ立体構造バイオデバイス研究グループ

- ① 研究分担グループ長：落合 幸徳（日本電気（株）基礎研究所、主任研究員）
- ② 研究項目：集束イオン・電子ビーム励起プロセスによるナノ立体構造作製技術の確立と細胞内の観測、測定、操作を行うナノバイオサージェリの試作

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

- T. Morita, K. Watanabe, R. Kometani, K. Kanda, Y. Haruyama, T. Kaito, J. Fujita, M. Ishida, Y. Ochiai, T. Tajima and S. Matsui
“Three-Dimensional Nanoimprint Mold Fabrication by Focused-Ion-beam Chemical Vapor Deposition”
Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42 (2003) pp. 3874-3876.
- R. Kometani, T. Morita, K. Watanabe, K. Kanda, Y. Haruyama, T. Kaito, J. Fujita, M. Ishida, Y. Ochiai and S. Matsui
“Nozzel - Nanostructure Fabrication on Glass Capillary by Focused-Ion-Beam Chemical Vapor Deposition and Etching”
Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42 (2003) pp. 4107-4110.
- R. Kometani, T. Morita, K. Watanabe, T. Hoshino, K. Kondo, K. Kanda, Y. Haruyama, T. Kaito, J. Fujita, T. Ichihashi, M. Ishida, Y. Ochiai, T. Tajima, and S. Matsui
“Nanomanipulator and Actuator Fabrication on Glass Capillary by Focused-Ion-Beam Chemical Vapor Deposition”
J. Vac. Sci. Technol., **B22** (2004) pp. 257-263.
- T. Morita, R. Kometani, K. Watanabe, T. Hoshino, K. Kondo, K. Kanda, Y. Haruyama, T. Kaito, J. Fujita, T. Ichihashi, M. Ishida, Y. Ochiai, T.

Tajima and S. Matsui

“Air-Wiring in Nano-Space by Focused-Ion-Beam Chemical Vapor Deposition”

J. Vac. Sci. Technol., **B21** (2003) pp.2737-2741.

- T. Suzuki, M. Kyrahashi, X. Ju and Y. Yamauchi
“Electronic Structure of Pentacene Adsorbates on Au(111) Surfaces”
Applied Physic Letters, 2003
- T. Hoshino, K. Watanabe, R. Kometani, T. Morita, K. Kanda, Y. Haruyama, T. Kaito, J. Fujita, M. Ishida, Y. Ochiai and S. Matsui
“Development of Three-Dimensional Pattern-Generating System for Focused-Ion-Beam Chemical Vapor Deposition”
J. Vac. Sci. Technol., **B21** (2003) pp.2732-2736.
- J. Fujita, M. Ishida, T. Ichihashi, Y. Ochiai, T. Kaito, and S. Matsui
“Carbon Nanopillar Laterally Grown with Electron Bean-Induced Chemical Vapor Deposition”
J. Vac. Sci. Technol., **B21** (2003) pp.2990-2993.
- K. Watanabe, T. Morita, R. Kometani, T. Hoshino, K. Kondo, K. Kanda, Y. Haruyama, T. Kaito, J. Fujita, M. Ishida, Y. Ochiai, T. Tajima and S. Matsui
“Nanoimprint using Three-Dimensional Microlens Mold made by Focused-Ion-Beam Chemical Vapor Deposition”
J. Vac. Sci. Technol., **B22** (2004) pp.22-26.

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：3件（CREST研究期間累積件数：3件）