

「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な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、昨年度からの研究テーマを継続遂行し、新規な実験結果および知見を得ている。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：FIV-CVDによる空中配線の電気的特性評価

FIB-CVDを用いて作製したDLCのLCR回路構造を図1に示す。3次元ナノ配線の電気特性を調べる実験を行った。この際、ソースガスとして、配線の抵抗率を下げるためにフェナントレンガス($C_{14}H_{10}$)と共に、有機金属ガスであるタングステンカルボニル($W(CO)_6$)ガスを同時供給した混合ガスを用いた。抵抗測定の結果を図2に示す。 $C_{14}H_{10}$ ガスのみで作製した配線の抵抗率は $100 \Omega \text{ cm}$ であるのに対し、 $W(CO)_6$ を同時供給して作製した配線の抵抗率は $0.02 \Omega \text{ cm}$ まで下げることができた。さらに、SEM-EDX電子線スポットビームにより、配線内部の元素含有量測定の結果、 $W(CO)_6$ のガス密度を高めることにより、金属元素であるGaとWの含有量が増加し、3次元ナノ配線の抵抗率が減少することが明らかとなった。 $W(CO)_6$ ガスのみでの抵抗率は $4 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ であり、金属Wの約100倍の抵抗率である。

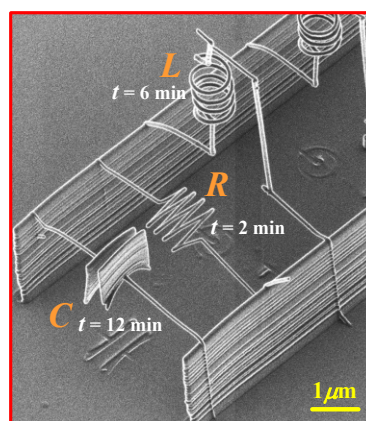
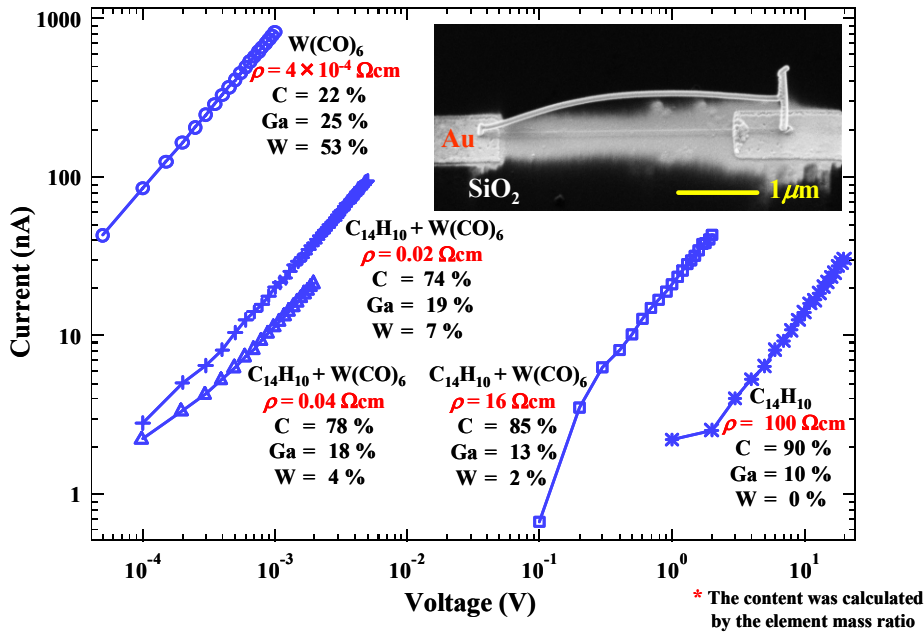


図1 FIB-CVDで作製したDLCのLCR回路

図2 空中配線の抵抗測定結果



(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観察

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、図3に示すように、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いだした。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。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か、または、全く侵入出来ずにナノピラー下部にとどまることを見出した。

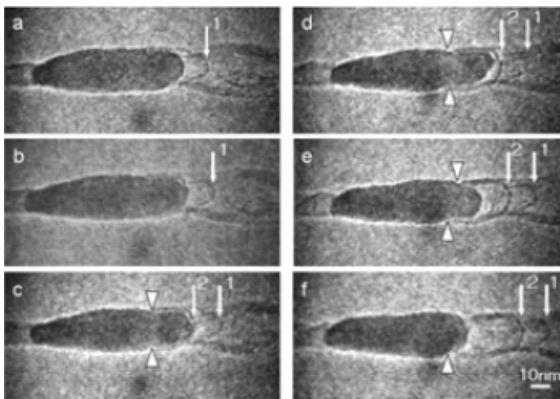
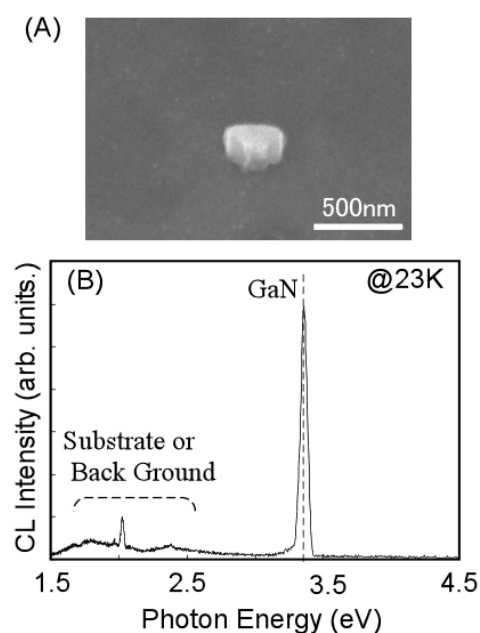


図3 ピラー中を移動する鉄微粒子のTEM像

(a)～(f)まで鉄微粒子が移動する様子がわかる。微粒子の移動は間欠的で、停留状態にあるときに粒子右側の界面に↓1、2で示すグラファイトキャップを生成していることが分かる。移動速度が速い場合、均質なチューブを生成することができる(a)。微粒子の移動速度が遅い場合、鉄微粒子に取り込まれた炭素は、キャップ生成にも消費される(b)。

(3) 物質・材料研究機構グループ：FIB-CVDによるGaNナノ構造からのCL観測



形状の形成と窒化をまず低温で行い、さらなる窒化とその活性化を高温下で行う二段階成長法を新たに開発し、結晶成長に取り入れた。図4は二段階成長法により作製したGa_Nの立体構造体のSEM像(A)とCL発光測定の結果(B)を示している。200nm程度のブロック構造が確認された。そのCL発光特性は、従来の手法と比較して不純物や欠陥に起因する発光が劇的に減少し、非常にシャープなバンド端に起因する発光が確認された。同様の手法を用いることで窒化アルミ (AlN) のナノ構造体の成長も可能であり、ナノ構造体の発光素子の実現が期待できる。

図4. 二段階成長法によるGa_Nのナノ構造体、(A)SEM像、(B)CL発光スペクトル

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（I）

- 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

ナノ立体構造バイオデバイス研究グループ（Ⅱ）

- ① 研究分担グループ長：藤田 淳一（筑波大学数理物質科学研究科、助教授）
- 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

- Keiichiro Watanabe, Takayuki Hoshino, Kazuhiro Kanda, Yuichi Haruyama, and Shinji Matsui
“Brilliant blue observation from a Morpho-butterfly-scale quasi-structure”
Jpn. J. Appl. Phys., (Jan. 2005) **Vol. 44**, No.1, pp.L48-L50
- Toshinari Ichihashi, Masahiko Ishida, and Yukinori Ochiai
“In-situ observation of carbon-nanopillar tubulization process”
Journal of Vacuum Science and Technology (Dec. 2004) **B22(6)**, pp.3221-3223
- Takahiko Morita, Ken-ichiro Watanabe, kazushige Kondo, Takayuki Hoshino, Kazuhiro Kanda, Yuichi Haruyama, Takashi Kaito, Jun-ichi Fujita, Toshinari Ichihashi, Masahiko Ishida, Yukinori Ochiai, Tsutomu Takjima, and Shinji Matsui
“Nanomechanical Switch fabrication by Focused-Ion-Beam Chemical Vapor Deposition”
Journal of Vacuum Science and Technology (Dec. 2004) **B22(6)**pp.3137-3142
- Reo Kometani, Takayuki Hoshino, Kazushige Kondo, Kazuhiro Kanda, Yuichi Haruyama, Takashi Kaito, Jun-ichi Fujita, Masahiko Ishida, Yukinori Ochiai, and Shinji Matsui
“Performance of nanomanipulator fabricated on glass capillary by focused-ion-beam chemical-vapor-deposition”
Journal of Vacuum Science and Technology (Dec. 2004) **B23(1)**pp.298-301
- T.Hoshino, M.Kawamori, T.Suzuki, S.Matsui, and K.Mabuchi
“Three-dimentional and Multimaterial Microfabrication Using Focused-ion-beam Chemical-vapor-deposition and its Application to Processing Nerve Electrodes”
Journal of Vacuum Science and Technology (Dec. 2004) **B22(6)**pp.3158-3162
- T. Nagata, P. Ahmet, T. Koida, S. F. Chichibu, T. Chikyow
“Position Controlled GaN Nano-Structures Fabricated by Low Energy Focused Ion Beam System”
Materials Research Society Symposium Proceedings **Vol. 792**, R9.39 (2004)

- J. Fujita, M. Ishida, T. Ichihashi, Y. Ochiai, T. Kaito, S. Matsui
“Graphitized Wavy Traces of Iron Particles Observed in Amorphous Carbon Nano-Pillars”
Jan. J. Appl. Phys., (June, 2004) **Vol. 43**, No.6B, pp.3799-3802
- R. Kometani, T. Hoshino, K.Kondo, K. Kanda, Y. Haruyama, T Kaito, J. Fujita, M. Ishida, Y. Ochiai and S. Matsui
“Characteristics of Nano-Electrostatic Actuator Fabricated by FIB-CVD”
Jpn. J. Appl. Phys., (June, 2004) **Vol. 43**. No.10, pp.7187-7191
- K. Watanabe, K. Kanda, Y. Haruyama, T. Kaito and S. Matsui
“Nanoimprint Mold Repair by Ga⁺ Focused Ion-Beam”
Jpn. J. Appl. Phys., (June, 2004) **Vol. 43**, No.11A, pp7769-7772
- T. Ichihashi, J. Fujita, M. Ishida, and Y. Ochiai
“In situ Observation of Carbon-Nanopillar Tubulization Caused by Liquidlike Iron Particles”
PHYSICAL REVIEW LETTERS, **Vol. 92**. No. 21, pp. 215702-1-215702-4

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：2件（CREST研究期間累積件数：5件）