

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656060

研究課題名（和文）

ナノワイヤ成長制御による超感度2次元加速度ナノセンサの創製

研究課題名（英文）

Nanowire Growth Control for High-sensitivity Acceleration Nano-sensor

研究代表者

福田 敏男 (FUKUDA TOSHIO)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：70156785

研究成果の概要（和文）：本研究では、カーボンナノチューブのフィールドエミッション電流制御に基づいてナノワイヤを成長制御し、ナノ構造体に基づいた超感度な加速度ナノセンサを創製することを目的とした。我々が構築してきたナノマニピュレーションシステムにより、カーボンナノチューブをアセンブリし、フィールドエミッタを作製した。そして、カーボンナノチューブエミッタから、金属ガス先駆体ガスを導入し、金属ナノワイヤ成長制御した。本ナノワイヤを用いた、制御共振振動時のフィールドエミッション電流変化に基づき、新しい原理による加速度センサを提案し、デバイスのアセンブリを行った。

研究成果の概要（英文）：In this research, we proposed a nanowire growth control with the field emission current from the carbon nanotube emitter for high-sensitivity acceleration nano-sensor. We used our constructed nanomanipulation system to assemble the carbon nanotube as field emitter inside an electron microscope. The metallic precursor was introduced into a vacuum chamber, and then the nanowire was grown from the carbon nanotube emitter. We proposed a novel design of acceleration nano-sensor using vibrated nanowire at a resonance point and assembled the proposed design of acceleration nano-sensor.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	0	2,100,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,200,000	330,000	3,530,000

研究分野：ロボット工学，マイクロ・ナノシステム工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：ナノワイヤ，加速度センサ，ナノセンサ，ナノマニピュレーション

1. 研究開始当初の背景

近年、様々なボトムアップ的に生成されたナノ構造物が発見されており、これらを3次元的にアセンブリするナノマニピュレーション技術の確立が急務である。

我々はこれまで、走査型・透過型電子顕微鏡下でのナノマニピュレーションシステムを構築して、カーボンナノチューブを代表とするナノ材料を操作し、ナノ温度センサプローブやナノマスフローセンサ、テレスコピン

グ型ナノアクチュエータなどの様々なナノデバイスを構築してきた (T. Fukuda et al., SICE J. of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 1, No. 1, pp.40-50, 2008.)

しかし、3次元的なナノ構造体に基づいたナノデバイスはまだ稀有といえる。そこで本研究では、ナノワイヤの成長制御をナノマニピュレーションにより直接的に制御し、金属ナノワイヤ構造物を成長制御することによ

り、超感度 2 次元加速度ナノセンサを創製することを当初の研究背景とした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、主に以下の(1)~(3)に示す通りである。

- (1) ナノワイヤをアSEMBリし、エミッション電流を利用した新たな超高感度のナノ加速度センサを提案する。
- (2) これまで構築したナノマニピュレーションシステムを応用して、カーボンナノチューブからのフィールドエミッションを利用して、金属ナノワイヤを成長制御する技術を確認する。
- (3) これまで構築したナノマニピュレーションシステムを応用して、カーボンナノチューブをアSEMBリし、提案したナノ加速度センサの組み立てと基礎実験を行う。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するための方法は、主に以下の(1)~(3)に示す通りである。

- (1) 共振振動させたナノワイヤを用いて、エミッション電流変化から、ナノワイヤの加速度を取得可能な新しいナノ加速度センサを設計する。また基礎特性をフィールドエミッション電流の理論式に基づいて評価する。
- (2) カーボンナノチューブをコールドフィールドエミッション源として用い、電子顕微鏡用チャンパー内でナノワイヤをその場成長する。この際、金属ガス先駆体ガスを真空チャンパーに導入して、金属ナノワイヤを成長制御する。
- (3) 提案したナノセンサの設計に基づいて、電子顕微鏡内ナノマニピュレーションシステムを用いて、カーボンナノチューブをアSEMBリする。また、基礎実験として、カーボンナノチューブのエミッション特性を計測する。

4. 研究成果

本研究の方法に基づいて得られた主な研究成果は、以下の(1)~(5)に示す通りである。

- (1) 金属ナノワイヤの成長制御手法に関しては、図 1 に示すように、電顕チャンパー内に金属ガスを導入し、カーボンナノチューブのエミッション電流を利用した成長制御を行った。この際に、成長するナノワイヤの長さを制御するために、カーボンナノチューブと基板間の間隔が一定になるように、電顕内ナノマニピュレータ(図 2)を用いて制御した。この結果、図 3 に示すように、約 0.1 μm

の精度で、合計 1 μm の長さのナノワイヤの成長を制御することが可能であることを示した。この際に、プラチナ(Pt)を含有する前駆体ガスを電子顕微鏡真空チャンパー内部に導入することにより、プラチナを主成分とする金属ナノワイヤを成長させた。また、透過型電子顕微鏡の EDS(Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy)の結果、約 95 wt%の高純度のプラチナナノワイヤの成長を確認した。

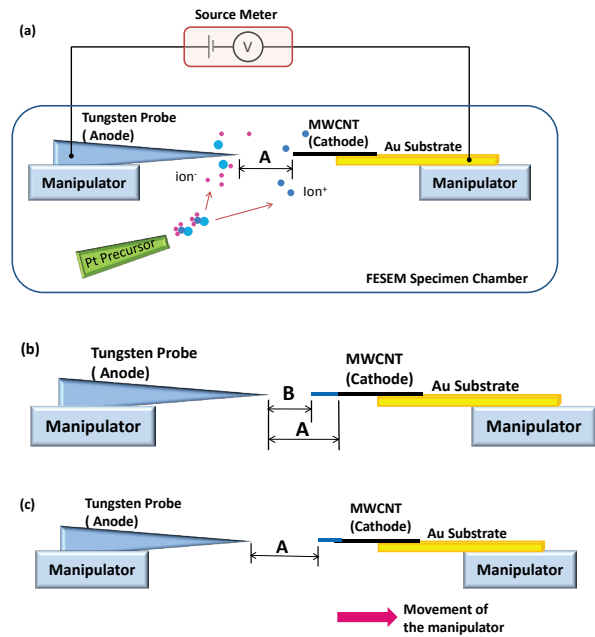


図 1. フィールドエミッションによるナノワイヤ成長実験の模式図

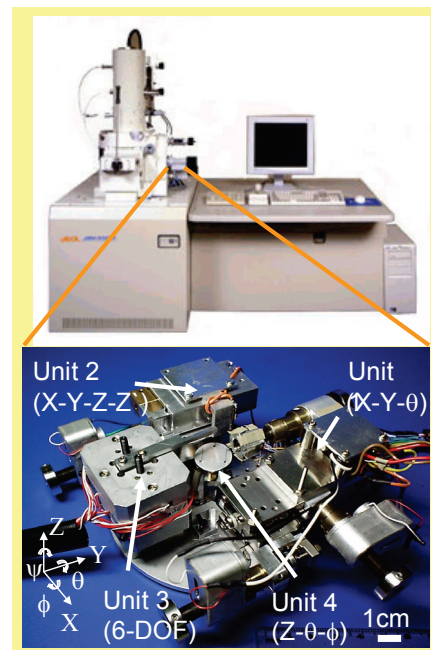


図 2. フィールドエミッション型電子顕微鏡内ナノマニピュレーションシステム

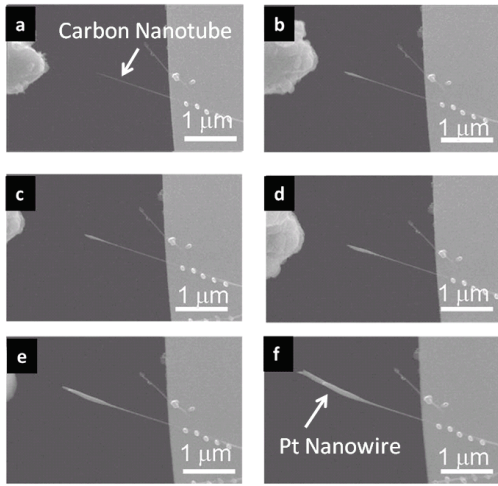


図3. カーボンナノチューブエミッタからの白金 (Pt) ナノワイヤの成長制御実験結果

(2) 提案したナノ加速度センサの模式図を図4に示す. ナノワイヤを電極に対して一定の間隔で設置し, この際に電極に傾きを設けることで, 2次元方向のエミッション電流変化を検出可能な設計を提案し

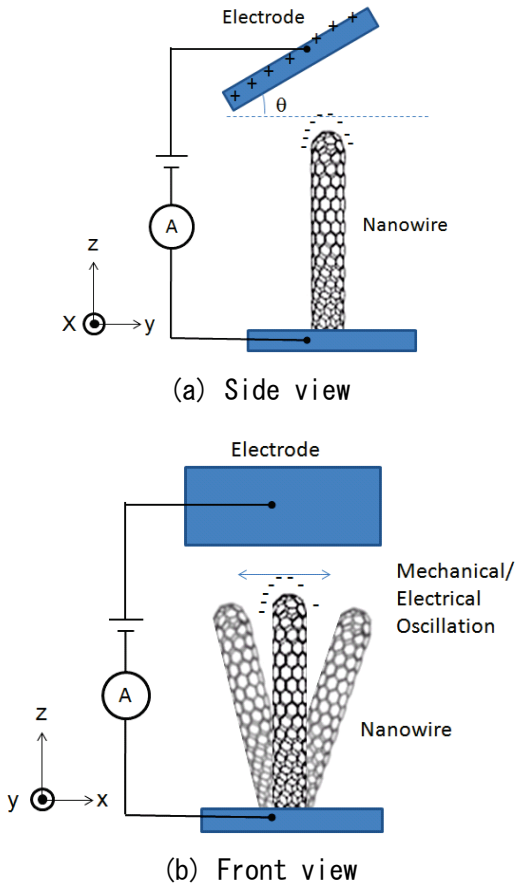


図4. フィールドエミッション電流変化を利用したナノ加速度センサの模式図

た (図4(a)). また, ナノチューブを共振振動させることにより, エミッション電流に周期性を持たせ, 振動方向に対して直行する方向でのエミッション電流変化を検出可能とする新しいナノワイヤを用いたナノセンサを提案した.

(3) 提案した設計に基づいて, ナノワイヤエミッタのエミッション電流の理論式に基づいて, 提案したナノ加速度センサの有効性を示すためのシミュレーションを行った. シミュレーションの結果を図5に示す. 本図は, 図4におけるx方向, y方向, これらの合方向のエミッション電流からの変位量の計算結果を示す. これらの結果から, 100 degrees/s 以上の加速度高感度に検出できる可能性を確認した.

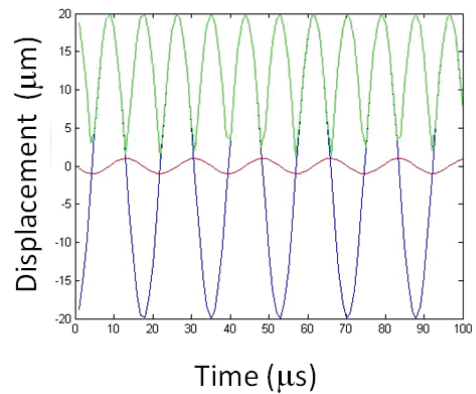


図5. 提案した振動型フィールドエミッション電流変化を利用したナノ加速度センサのシミュレーション結果

(4) 提案した設計を実現するために, 図6に示すように, カーボンナノチューブエミッタを利用した基礎実験を行った. 本図に示すように, カーボンナノチューブエ

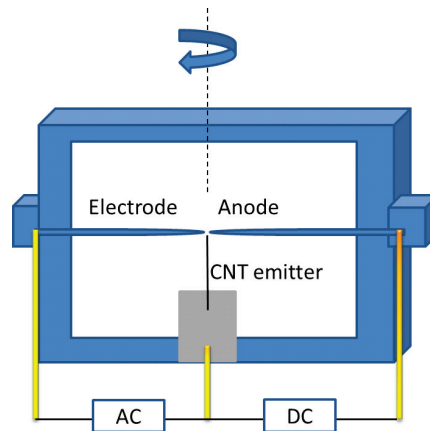


図6. ナノ加速度センサの設計の模式図

ミッタに対して、振動用の印加電極とエミッション電流計測用の陽極を設置する設計とした。

- (5) 提案した設計に基づいて組み立てた、カーボンナノチューブエミッタのアセンブリ結果を図7に示す。本セットアップにより、図8に示すように、単一のカーボンナノチューブのフィールドエミッション特性を計測した。また、基礎実験として、振動の有無によるエミッション電流変化を計測した。

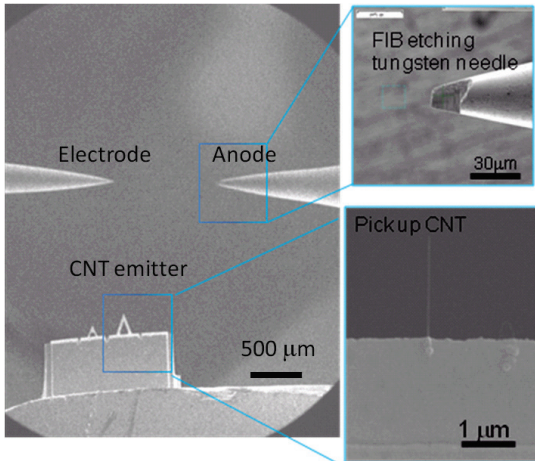


図7. ナノ加速度センサ用カーボンナノチューブエミッタのアセンブリ実験結果

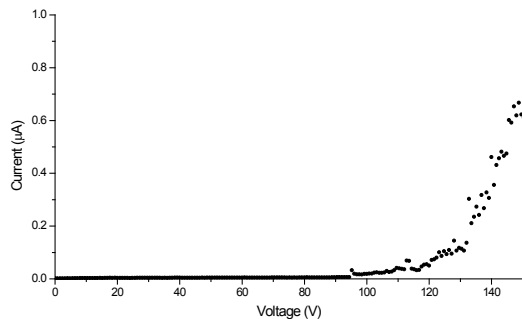


図8. カーボンナノチューブのフィールドエミッション特性の実験結果

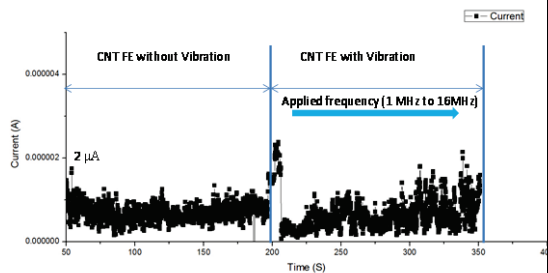


図9. 振動の有無によるカーボンナノチューブフィールドエミッタのエミッション電流変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Zhan Yang, Masahiro Nakajima, Yahachi Saito, Yasuhito Ode, Toshio Fukuda, "Isolated High-Purity Platinum Nanowire Growth via Field Emission from a Multi-walled Carbon Nanotube", Applied Physics Express, Vol. 4, 035001 (3pages), 2011, 査読有, DOI: 10.1143/APEX.4.035001
- ② Zhan Yang, Masahiro Nakajima, Yasuhito Ode, Toshio Fukuda, "Tungsten/Platinum Hybrid Nanowire Growth via Field Emission Using Nanorobotic Manipulation", Journal of Nanotechnology, 386582 (8pages), 2011, 査読有, DOI: 10.1155/2011/386582

[学会発表] (計2件)

- ① Zhan Yang, Masahiro Nakajima, Yajing Shen, Toshio Fukuda, "Nano-Gyroscope Assembly using Carbon Nanotube based on Nanorobotic Manipulation", "Proceedings of the 2011 International Symposium on Micromechatronics and Human Science (MHS 2011)", pp. 309-314, 2011.11.6-9
- ② Zhang Yang, Masahiro Nakajima, Toshio Fukuda, "Field Emission Induced Platinum Nanoparticles Synthesis", Proceedings of the 2011 11th IEEE Conf. on Nanotechnology (IEEE-Nano 2011), Vol. 1, pp. 1048-1051, 2011.11.6-9.

[その他]

ホームページ等

<http://www.mein.nagoya-u.ac.jp/index.j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 敏男 (FUKUDA TOSHIO)
名古屋大学・工学研究科・教授
研究者番号：70156785

(2) 研究分担者

中島 正博 (NAKAJIMA MASAHIRO)
名古屋大学・工学研究科・助教
研究者番号：80377837

(3) 連携研究者なし