

機関番号：17102
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20360184
 研究課題名（和文） 誘電泳動を利用した異種ナノ材料間界面の構築とセンシングデバイスへの応用
 研究課題名（英文） Fabrication of interface between nanomaterials using dielectrophoresis and its application to sensing devices
 研究代表者
 末廣 純也（Suehiro JUNYA）
 九州大学・大学院システム情報科学研究所・教授
 研究者番号：70206382

研究成果の概要（和文）：

研究代表者（末廣）が世界に先駆けて開発した誘電泳動集積法を更に発展させることで異種ナノ材料からなる接合界面の構築とセンシングデバイスへの応用を検討した。従来法を発展させたマルチフロー式誘電泳動集積法などを新たに考案し、その結果、カーボンナノチューブ／細胞およびカーボンナノチューブ／触媒金属ナノ粒子の界面構築に成功し、これらをバイオセンサやガスセンサとして応用可能であることを実証することに成功した。

研究成果の概要（英文）：

This project aimed to develop a new fabrication method of interfaces between various nano-sized material using dielectrophoresis, which can be applicable to new types of sensing devices. Interfaces between carbon nanotubes and biological cells, as well as between carbon nanotubes and catalytic metallic nano particles were successfully fabricated and applied to biosensor and chemical sensor.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：静電気応用工学、高電圧パルスパワー工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：誘電泳動、ナノ界面、カーボンナノチューブ、ガスセンサ、バイオセンサ

1. 研究開始当初の背景

近年、カーボンナノチューブ等のナノ材料をトランスデューサに用いたナノセンシングデバイス（以下ではナノセンサと呼ぶ）が注目を集めている。ナノ材料は従来のバルクや薄膜材料にはない特異な物性を有しており、これをトランスデューサに利用することでセンサの感度や選択性を飛躍的に向上させることが可能となる。

ナノセンサ作製に際しては、トランスデューサであるナノ材料を金属電極間に精度良く固定し、かつ良好な電氣的接触を得る必要

がある。このような要求を満たすナノセンサ作製法として、従来は触媒を使った化学気相成長法（CVD法）が主に用いられてきたが、装置が高価であり、操作法も複雑である。これに対し誘電泳動集積法は、大量合成によって低コスト化しつつある市販のナノ材料を用いたナノセンサ作製を可能とするもので、ナノセンサの実用化に欠かせない低コストな大量生産に道を開く技術である。既に研究代表者は、カーボンナノチューブや半導体ナノワイヤなどの単一種ナノ材料から構成されるナノセンサの構築と応用に関しては、一

定の成果を挙げてきた。

2. 研究の目的

本研究は、研究代表者（末廣）が世界に先駆けて開発した誘電泳動集積法によるナノセンシングデバイスの作製技術を発展させ、同手法による異種ナノ材料からなる接合界面の構築とセンシングデバイスへの応用を目的とする。誘電泳動集積法の特徴であるナノ材料と電極材料の自由な組合せや、マルチフロー式誘電泳動集積法による異種ナノ材料からなる構造制御されたナノ界面接合を最大限に利用する。ナノ界面に形成されるエネルギー障壁、触媒作用、生体との相互作用などを利用することで、ナノセンサの性能向上と新規な界面現象の発見・応用を達成し、更に高機能で幅広い分野に応用可能なナノセンサの開発を目指した。

3. 研究の方法

- (1) マルチフロー式誘電泳動集積法によるカーボンナノチューブ(CNT)と細胞間の接合界面形成
- (2) 水中マイクロプラズマ処理によるCNT水溶化とナノ触媒修飾法の開発
- (3) 誘電泳動集積法による半導体・金属CNTの分離

4. 研究成果

- (1) マルチフロー式誘電泳動集積法によるカーボンナノチューブ(CNT)と細胞間の接合界面形成
 - ① CNTのバイオセンサへの応用を実現する基礎技術として、マルチフロー式誘電泳動集積法によるCNTと細胞の間の界面形成技術を検討した。
 - ② 電界計算によって、印加周波数が比較的低い場合、電極に集積したCNTの先端や表面に電界が集中することを確認した(図1)。
 - ③ 実際にCNT集積電極を作製し、その電極で大腸菌を誘電泳動すること

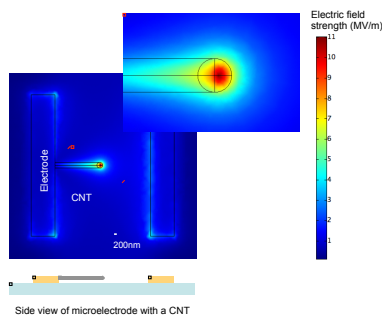


図1 CNT先端付近の電界分布

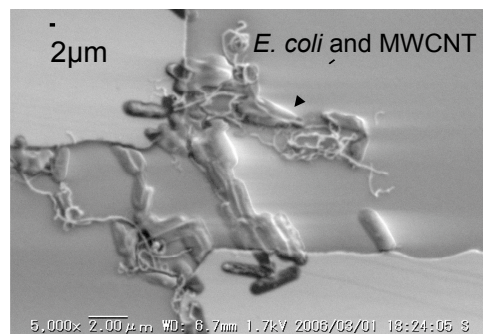


図2 マルチフロー式誘電泳動集積法によって形成したCNT/細胞界面

によってCNTと大腸菌の界面を形成することに成功した(図2)。

- (2) 水中マイクロプラズマ処理によるCNT水溶化とナノ触媒修飾法の開発
 - ① カーボンナノチューブを懸濁したパラジウム塩溶液中でパルスパワーによって発生させたマイクロプラズマを用いて、カーボンナノチューブ表面にパラジウムナノ粒子を析出させることに成功した(図3)。
 - ② 同手法でパラジウム修飾したカーボンナノチューブをマイクロ電極上に誘電泳動集積し水素ガスへの応答を調べた結果、最低で濃度0.01%の水素(空気希釈)を常温で検出可能であることがわかった(図4)。
- (3) 誘電泳動集積法による半導体・金属CNTの分離
 - ① カーボンナノチューブに作用する誘電泳動がその電気的特性に依存することを利用して、金属カーボンナノチューブだけを選択的に誘電泳動集積する手法を検討した。
 - ② 理論計算より数10MHz以上の周波数では金属カーボンナノチューブが

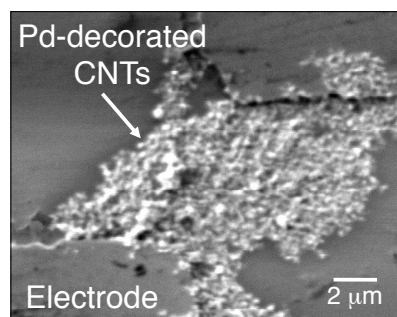


図3 パラジウムナノ粒子で修飾されたCNTを誘電泳動による集積(SEM像)

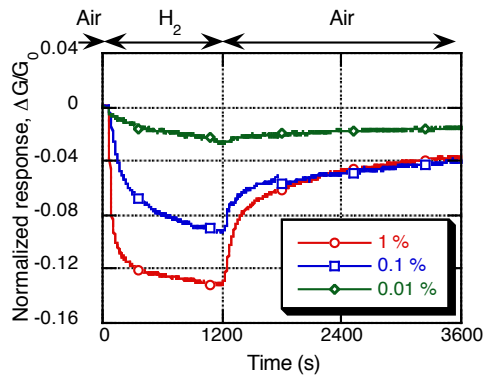


図4 パラジウム修飾CNTを誘電泳動集積したガスセンサの水素ガス応答

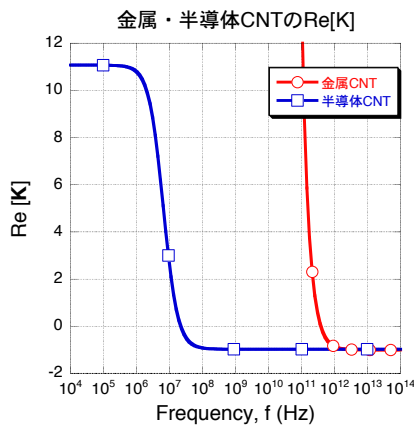


図5 CNTの誘電泳動スペクトル

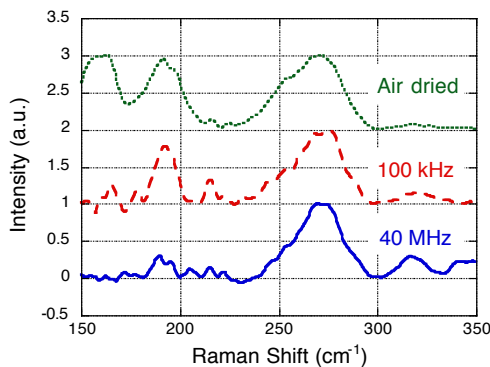


図6 周波数を変化させて誘電泳動集積したCNTのラマン分光結果

選択的に誘電泳動集積できる可能性があることを明らかにした(図5)。

- ③ 周波数を変化させて誘電泳動集積したカーボンナノチューブのラマ

ン分光、電圧-電流特性の結果から、40MHzで誘電泳動集積した場合に、金属カーボンナノチューブの含有率が増加することがわかった(図6)。

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4件)

- ① J. Suehiro, N. Ikeda, A. Ohtsubo and K. Imasaka, Bacterial detection using a carbon nanotube gas sensor coupled with a microheater for ammonia synthesis by aerobic oxidation of organic components, IET Nanobiotechnology, 査読有, Vol. 3, 2009, pp.15-22
- ② 末廣 純也, 誘電泳動によるナノマテリアル操作技術とデバイス応用, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol.129, 2009, pp.435-438
- ③ 末廣 純也, 誘電泳動を利用した細胞操作と検出技術, 査読有, 静電気学会誌, Vol.33, 2009, pp.132-136
- ④ J. Suehiro, N. Ikeda, A. Ohtsubo and K. Imasaka, Fabrication of bio/nano interfaces between biological cells and carbon nanotubes using dielectrophoresis, Microfluidics and Nanofluidics, 査読有, Vol. 5, 2008, pp741-747

[学会発表] (計7件)

- ① 中野 道彦, 藤岡 将広, 舞 香織, 末廣 純也, スピンカラムを用いた半導体カーボンナノチューブの分離・濃縮とガスセンサへの応用, 応用物理学会九州支部大会, 2010年11月28日、福岡
- ② 藤岡 将広, 舞 香織, 中野 道彦, 末廣 純也, ゲルを用いた金属・半導体カーボンナノチューブの分離と誘電泳動集積法によるカーボンナノチューブガスセンサ作製への応用, 第27回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2010年10月14日、島根
- ③ 藤岡 将広, 舞 香織, 中野 道彦, 末廣 純也, ゲル分離した金属・半導体カーボンナノチューブの誘電泳動集積と電気特性評価, 第63回電気関係学会九州支部連合大会, 2010年9月25日、福岡
- ④ 舞 香織, 藤岡 将広, 中野 道彦, 末廣 純也, ゲル分離した金属・半導体カーボンナノチューブの誘電泳動集積と電気的特性の評価, 静電気学会全国大会,

- 2010年9月14日、鳥取
- ⑤ 舞 香織, 小手川 誠, 福川 恵太, Yul Martin, 今坂 公宣, 末廣 純也, 誘電泳動集積法による金属・半導体カーボンナノチューブの分離とカーボンナノチューブガスセンサ応答制御, 電気学会全国大会, 2010年3月18日、東京
 - ⑥ 小手川 誠, 舞 香織, Yul Martin, 李 朕宇, 今坂 公宣, 末廣 純也, 誘電泳動によるカーボンナノチューブガスセンサ作製における周波数の影響, 第26回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 2009年10月15日、東京
 - ⑦ M. Kotegawa, K. Imasaka, J. Suehiro and S. Yamane, Carbon nanotubes based hydrogen sensor decorated with palladium using microplasma in water; 25th SENSOR SYMPOSIUM on Sensors, Micromachines and Applied Systems, 2008年10月22日、沖縄

[その他]

ホームページ等

<http://hv.ees.kyushu-u.ac.jp/Lab-e/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

末廣 純也 (SUEHIRO JUNYA)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号：70206382

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

岡田 龍雄 (OKADA TATSUO)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号：90127994

今坂 公宣 (IMASAK KIMINOBU)

九州産業大学・工学部電気情報工学科・准
教授

研究者番号：40264072

中野 道彦 (NAKANO MICHIIHIKO)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教

研究者番号：00447856

(H22のみ)