

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 特定領域研究
研究期間： 2007 ~ 2011
課題番号： 19054008
研究課題名（和文） 新奇カーボンナノチューブハイブリッドの合成と評価

研究課題名（英文） Fabrication and Characterization of Novel Carbon Nanotube Hybrids

研究代表者

篠原 久典 (SHINOHARA HISANORI)
名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：50132725

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：カーボンナノチューブ、金属内包フラーレン、ナノピーポット、ナノチューブハイブリッド、電子輸送特性

1. 研究計画の概要

金属内包フラーレンを内包したピーポットの高温加熱により生成する金属ナノワイヤ内包のカーボンナノチューブ (CNT)、および直接昇華法により合成された金属ナノワイヤの電子デバイスへの応用を目指す。また、DNA・CNT ハイブリッド物質を用いた薄膜トランジスタ (TFT) を作成してそのデバイス評価を行い、従来にない高性能の CNT・TFT を創製する。

2. 研究の進捗状況

金属ナノワイヤを内包した単層および2層カーボンナノチューブ (CNT) を高効率で合成する方法を見出した。特に、ユーロピウム (Eu) 金属ナノワイヤを内包した CNT では、その内包率は90%以上にも達していて、世界の最高級のナノワイヤ・ナノチューブになっている。高分解能 TEM 観察によると、金属ナノワイヤ中の金属原子間の距離はバルク金属のそれより、10-15%程度も長いことが分かった。これは、内包金属原子が CNT との相互作用により、プラスに帯電しているため、クーロン相互作用により原子距離が異常に長くなっていると思われる。また、これらの金属ナノワイヤ内包 CNT の低温での磁化率はバルクの磁化率より20倍も大きいことを発見した。これは、まさに、今まで発見されなかった、ナノチューブ内部に存在する、超極細の金属ナノワイヤ

の特異な磁気物性に外ならない。

また、DNA をラップした単層 CNT の長さを高速液体クロマトグラフィー (HPLC) で分離することに成功した。これらの長さ選別された DNA・CNT ハイブリッド物質を用いて薄膜トランジスタ (TFT) を作成したところ、移動度と on-off 比の両方において、従来の CNT の TFT と比較して高いデバイス特性を示した。今後は、HPLC で長さ分離された DNA・CNT ハイブリッドをさらに、密度勾配超遠心法を用いて金属と半導体分離を進め、半導体だけのハイブリッドの薄膜を形成することにより、さらにデバイス性能が高い TFT の創製を目指す。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。金属ナノワイヤ内包のカーボンナノチューブの研究は *Angew. Chem.* 誌に掲載されるや否や、世界中の研究者の注目を集め、*Nature Nanotechnology* 誌、*Nature Asia Materials*, *Royal Society of Chemistry* 誌などで大きくその業績が紹介された。国内でもこの研究は注目を浴び、朝日、読売、毎日、日経、中日新聞など10誌を超える新聞に掲載され、広く一般の人々の注目も集めた。さらに、DNA-CNT ハイブリッドを用いた薄膜トランジスタ (TFT) の研究 (現在、*Advanced Materials* 誌に印刷中) は、高い評価を受け、日経新聞や日経産業新聞

に大きく取り上げられ、広く一般の人々の関心の的となった。

4. 今後の研究の推進方策

金属ナノワイヤ内包のCNTでは、超伝導などの新奇物性を探索する。また、DNA・CNTハイブリッド物質では、金属と半導体分離を進め、さらにデバイス性能が高いTFETの創製を目指す。

5. 代表的な研究成果

(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63件)

- ① N. Fukui, Y. Suwa, H. Yoshida, T. Sugai, S. Heike, M. Fujimori, Y. Terada, T. Hashizume and H. Shinohara “Moire Image Patterns on Double-Walled Carbon Nanotubes Observed by Scanning Tunneling Microscopy”, Phys. Rev. B, 79, 125402-1-5 (2009).
- ② S. Chen, K. Kobayashi, Y. Miyata, N. Imazu, T. Saito, R. Kitaura and H. Shinohara, “Morphology and Melting Behavior of Ionic Liquids inside Single-Walled Carbon Nanotubes”, J. Am. Chem. Soc. 131, 14850-14856 (2009).
- ③ R. Kitaura, R. Nakanishi, T. Saito, H. Yoshikawa, K. Awaga and H. Shinohara, “High Yield Synthesis of Ultrathin Metal Nanowires in Carbon Nanotubes”, Angew. Chem. Int. Ed. 48, 8298-8302 (2009).

〔学会発表〕(計119件)

- ① Chen Zhao, Daisuke Nishide, Ryo Kitaura and Hisanori Shinohara “Spectroscopic characterization of Linear-Polynes encapsulated in Carbon Nanotubes” The IUMRS International Conference in Asia 2008, 2008/12/11, 愛知
- ② Noriko Izumi, Hiroaki Iijima, Toshiya Okazaki, Masayoshi Tange, Yasumitsu Miyata, Hisanori Shinohara “Valence States-Dependent Photoluminescence from Thulium Atoms Encapsulated in Fullerenes” 第37回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、2009/9/2、茨城
- ③ Kazunari Shiozawa, Noriko Izumi, Hisashi Uemoto, Ryo Kitaura, Hisanori Shinohara “Isolation and structure determination of

(Lu2C2)@C88: Experimental and theoretical analyses” 第37回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、2009/9/2、茨城

- ④ Chen Zhao, Ryo Kitaura, Hironori Hara, Stephan Irle and Hisanori Shinohara “Evolution of Linear-Polynes Inside Thin Double-Wall Carbon Nanotubes” The 6th Korea-Japan Symposium on Carbon Nanotube, 2009/10/26, 沖縄

〔図書〕(計6件)

- ① 沖本治哉・篠原久典、丸善株式会社、『表面物性工学ハンドブック』第2版 第17章 ナノ構造の作成 17.4 節、2007年、フラーレンの合成 pp.717-721
- ② 篠原久典・吉田宏道、フロンティア出版、2007年、『自己組織化ナノマテリアル—フロントランナー 85人が語るナノテクノロジーに新潮流—』第3章「フラーレン・ナノチューブ・ピーポッド」 pp.88-92
- ③ 篠原久典・伊藤靖浩、朝倉書店、2007年、『炭素の事典』炭素の科学 2.5 節 金属内包フラーレン pp.180-19
- ④ 篠原久典、エヌ・ティー・エス、2007年、『ナノカーボン ハンドブック』、1編 第2章4節「二層CNTの選択的な合成法」pp.39-48、第2章14節「超高速機能CNTの創製に向けて—ピーポッド、低温合成」pp.110-116、2編 第3章2節「金属内包フラーレンの合成、構造と物性」 pp.599-607
- ⑤ 篠原久典、講談社ブルーバックス、2007年、『ナノカーボンの科学』—セレンディピティーから始まった大発見の物語— pp.1-234
- ⑥ 篠原久典、『ナノカーボンの材料開発と応用』普及版、シーエムシー出版、2008年 Recent Advances in the Research and Development of Nanocarbon Materials 監修 p.300

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://nano.chem.nagoya-u.ac.jp/japanese/photo/index.html>