

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20710084

研究課題名（和文） 金属錯体を用いた自己組織的カーボンナノチューブ構造体形成とその情報処理応用

研究課題名（英文） Use of metal complex solution for fabrication of distinctive carbon nanotube networks and its application to information processing devices

研究代表者

大矢 剛嗣（ OYA TAKAHIDE ）

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：30432066

研究成果の概要（和文）：

本研究では金属錯体を用いた自己組織的カーボンナノチューブ(CNT)構造体形成とその情報処理応用を目的として、次の三点に注目し研究を行った。第一に金属錯体溶液を用いた基板上への自己組織的構造形成であり、非常に簡便に特徴的な構造が得られることと、その作製条件を明らかにした。第二にその構造を利用した CNT 構造体の作製であり、CNT 成長の密度制御を容易に行える可能性を見出した。第三に新情報処理システムの開発であり、ノイズ許容の情報処理システムを開拓した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, “the use of metal complex solution for fabrication of distinctive carbon nanotube (CNT) networks and its application to information processing devices” was described. The core of this study consisted of three points. The first was the discovery of the condition for the easy fabrication of distinctive structures on substrates’ surfaces by using the metal complex solution. The second was the establishment of the easy method for the CNT network growth on the distinctive structures. The third was the development of the novel information-processing systems for such distinctive CNT network devices. As the result of the first topic of the study, the phase diagrams for the easy fabrication of the structures were clarified. From the second, it was clarified the CNT network growth were controllable by the distinctive structures. The third topic of the study described the new information-processing systems were able to operate at noisy environment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：カーボンナノチューブ利用

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学，ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：ナノ構造形成・制御，自己組織化，金属錯体，カーボンナノチューブ

1. 研究開始当初の背景

近年 CMOS LSI のプロセス限界が近づきそれに代わるものとしてナノデバイスが注目されている。その中で新材料としてカーボンナ

ノチューブ (CNT) はその地位を確立し、生成プロセスやデバイス設計などの分野で各種研究がなされている。また応用分野としてはバイオセンサーやフレキシブルな電池な

ど機能的な CNT の開発・研究も進んでいる。本研究では新しいアプローチから CNT 情報処理デバイスの開発を目指す。新しいアプローチとは「新しい情報処理 CNT デバイス開発のために自然界で行われている非線形な情報処理・自己組織的構造形成を模倣する」ということである。具体的にはまず CNT 構造体作製のために特徴的な構造を持つ基板を作製する。この構造は金属錯体溶液を基板に滴下、乾燥させるだけという簡単なプロセスで自己組織的に構造形成が可能である。溶液状のものが乾燥することにより特徴的な構造を形成(自己組織的構造形成)するという現象は、自然界の至る所で発生しており、それをデバイスの作製に生かす。次に、その構造を持った基板を用いて CNT 成長を CVD 法により行うことで基板上の特徴的構造を生かした CNT 構造体が容易に作製できる。さらにここでは、その CNT 構造体を用いた情報処理システムへの応用について可能性を検討する。自然界に存在する自己組織化現象は隣り合う物質が相互作用することにより特徴的な構造を生み出す。これを工学的に見ると演算素子が無数に存在しそれらが相互作用することによって情報処理を行うという並列処理システムと考えることができる。したがって自己組織的に構造形成をした提案デバイスは電極を配置し初期値を与えることによって何らかの情報処理を実行できる可能性がある。これについて検討を行う。

2. 研究の目的

本研究では新しい情報処理ナノデバイスの開発を最終目標として、目標達成のために以下の三点に着目する。それは、第一に金属錯体溶液を用いた基板上への自己組織的構造形成、第二にその構造を利用した CNT 構造体の作製、第三にその CNT 構造体による新しい情報処理システムの開発である。

3. 研究の方法

これまでの研究で、金属錯体溶液により基板上へ自己組織的な構造形成ができること、基板の特徴的な構造を生かした CNT 成長が可能であることを明らかにしている。最終目標達成のためには、特徴的な構造を基板上に作製・CNT 成長を行うためのプロセス条件を明らかにする必要がある。基板上に形作られる構造は基板表面の形状や化学状態、基板の種類、金属錯体溶液の種類や濃度、さらには基板への溶液滴下量、乾燥温度の条件によってさまざまに変化することが予想される。したがって、平成 20 年度は後述の 2 点に研究ポイントを絞る。具体的にはプロセス条件の割り出し、相図の作成に関することである。プロセス条件の割り出しによって所望の構造

体が作製可能となった後、平成 21 年度以降の研究として情報処理デバイス応用に向けた検討を始める。ここでの情報処理は、デバイス自身が示す物理的・電気的な現象を情報処理の手段として生かすというアナログコンピューティングを考える。このためには上述の通りデバイス自身が示す現象・特性を把握する必要があるため、電気的特性、物理的特性、さらには熱的な特性など様々な視点から現象を調べる。ここから明らかになる現象を基に、そのデバイスに最適な情報処理アーキテクチャを採用し新しいデバイスとして開発を最終目標達成のために行っていく。したがって平成 21 年度以降はデバイスの現象に関する研究を中心に行い、必要に応じてシミュレーションも合わせて行う。ここでのシミュレーションとは、デバイスの物理状態や化学状態などをコンピューター上にさらには情報処理を行うようなアーキテクチャについて探求をする。

4. 研究成果

本研究では新しいアプローチからカーボンナノチューブ (CNT) 情報処理デバイスの開発を目的とした。新しいアプローチとは「新しい情報処理 CNT デバイス開発のために自然界で行われている非線形な情報処理・自己組織的構造形成を模倣する」ということである。目標達成のために以下の三点に着目し研究を遂行してきた。それは、第一に金属錯体溶液を用いた基板上への自己組織的構造形成、第二にその構造を利用した CNT 構造体の作製、第三にその CNT 構造体による新しい情報処理システムの開発である。これまでの研究により上述一つ目の「金属錯体溶液を用いた基板上への自己組織的構造形成」と二つ目の「金属錯体溶液により形成された構造を利用した CNT 構造体の作製」についてはその実現可能性を見出し論文により報告を行った。三つ目の「CNT 構造体による新しい情報処理システムの開発」についても研究の遂行過程で得た知見を基に足がかりとなる情報処理システムを開拓し論文により成果報告を行った。平成 20 年度には上述の基板上構造体形成のプロセス条件の明確化として、3 種類の金属錯体 (鉄錯体、マンガン錯体、セリウム錯体) について濃度を 7 通り用意し構造体の形成を試みた。この研究については平成 21 年度も引き続き研究を行いその成果を学会などで報告した (後述の通り)。また、基板表面の化学状態変化による構造物形成の違いを調査するため基板の親水/疎水度を制御する実験を準備実験として行い、一部について論文や学会報告を行った。さらには研究を遂行している過程で基板上に作成した構造体により CNT 成長の密度制御を非常に簡単に行える可能性も見出している。

平成 21 年度の研究においては 20 年度に引き続き基板上構造体形成のプロセス条件の明確化を進めた。その結果、得られたデータを基に作製条件と構成物との相関をまとめることができた。この研究成果について学会などで報告を行った。平成 22 年度の研究においては主に「CNT 構造体による新しい情報処理システムの開発」についての研究を複数のアプローチから行った。具体的には、特徴的ではあるが素子パラメータとしてはばらついてしまう構造について、これに適したシステム（生体の「確率共鳴現象」に学ぶばらつき許容システム）を設計し学会発表などを行った。さらにはこのシステムにより環境ノイズも許容できる可能性を見出した。また、平成 21 年度に明らかにし学会発表を行うに至った基板上構造体形成のプロセス（作製条件と構成物との相関）について、よりデータを洗練し査読付き英語論文への発表準備を進めている（一度提出したが再提出指示を受けたため再投稿の準備中である）。これにより国内だけではなく海外にも情報発信ができると考える。

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 9 件）

- ① T. Oya, A. Schmid, T. Asai, and A. Utagawa, "Stochastic resonance in a ballanced pair of single-electron boxes," Fluctuation and Noise Letters, (2011), in press. (査読有)
- ② K. Takanishi, T. Isono, T. Oya, and T. Ogino, "Fabrication of Directionally Aligned Carbon Nanotube Thin Films on Solid Surfaces Using Chemical Patterns," e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, vol. 8, pp. 207-210 (2010). (査読有)
- ③ T. Oya, "Fabricating Carbon Nanotube Network with Different Growth Density on Distinctive Fissure Structure Formed by Dried Ferroin Solution," e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, vol. 7, pp. 586-590 (2009). (査読有)
- ④ Y. Kashiwase, T. Oya, T. Ogino, "Control of Chemical States on Locally Anode-Oxidized Si Surfaces," Japanese Journal of Applied Physics, 47, pp. 6105-6108 (2008). (査読有)

〔学会発表〕（計 29 件）

- ① 大矢剛嗣, "確立共鳴に学ぶ単電子情報処理システムの構築," 2011 年春季応用

物理学学会講演大会（シンポジウム講演）、（厚木）、2011 年 3 月 25 日（但し、震災により講演会が中止となったため、予稿集としてのみの発表）。

- ② 伊藤武範, 大矢剛嗣, "熱雑音駆動単電子多数決論理回路の最適化," 2011 年春季応用物理学学会講演大会,（厚木）, 2011 年 3 月 26 日（但し、震災により講演会が中止となったため、予稿集としてのみの発表）。
- ③ 黒瀧大, 大矢剛嗣, "熱雑音下における単電子確立共鳴回路の新規手法による出力特性評価," 2011 年春季応用物理学学会講演大会,（厚木）, 2011 年 3 月 26 日（但し、震災により講演会が中止となったため、予稿集としてのみの発表）。
- ④ T. Oya, "Study of Stochastic Resonance in a Balanced Pair of Single-Electron Boxes," Nanoelectronics Days 2010 (ND 2010), (Germany), 4/Oct., 2010. (査読有)
- ⑤ T. Ito and T. Oya, "Thermal-Noise-Driven Single-Electron Majority-Logic Circuits," Nanoelectronics Days 2010 (ND 2010), (Germany), 4/Oct., 2010. (査読有)
- ⑥ 西倉慶悟, 大矢剛嗣, "金属錯体溶液による基板上への特徴的構造形成," 2010 年春季応用物理学学会講演大会,（平塚）, 2010 年 3 月 18 日。
- ⑦ T. Oya, "Noise-Supported Operations of Neuromorphic Single-Electron Circuits," 2009 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2009), (Kanazawa), 8/Dec., 2009, (invited). (査読有)
- ⑧ D. Kurotaki and T. Oya, "Noise Redundancy of A Single-Electron Depressing-Synapse Network," 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2009), (Sapporo), 18/Nov., 2009. (査読有)
- ⑨ K. Takanishi, T. Isono, T. Oya, and T. Ogino, "Fabrication of Carbon Nanotube Films for Electric Packaging," 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2008), (Tsukuba), 25/Sep., 2008. (査読有)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大矢 剛嗣 (OYA TAKAHIDE)

横浜国立大学・工学研究院・准教授
研究者番号：30432066

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：