

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560715

研究課題名（和文）ナノ粒子デバイスの特性向上を目指したナノ粒子の基板上堆積手法の開発

研究課題名（英文）Improved deposition technique of nanoparticles on substrates for the better performance of nanoparticle-based devices

研究代表者

高見 誠一（TAKAMI SEIICHI）

東北大学・多元物質科学研究所・准教授

研究者番号：40311550

研究成果の概要（和文）：研究代表者は、有機分子で表面修飾した酸化物ナノ粒子の合成手法の開発に成功しており、この成果をもとに酸化物ナノ粒子を活用した電子デバイスの実現に取り組んだ。半導体ナノ粒子の分散液を基板に滴下・乾燥することで形成したナノ粒子堆積膜が、電界効果トランジスタのチャンネル層として動作することを明らかにすると共に、異方性を有する表面修飾酸化物ナノ粒子を向きを揃えて配列させる手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

This research aims to realize the electronic devices that use metal oxide nanoparticles as semiconducting materials. The metal oxide nanoparticles, which were drop-cast on to the bottom-gate substrates, acted as a channel layer of a field-effect transistor. This research also developed a method to arrange the metal oxide nanoparticles in a well-defined manner.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・反応工学・プロセスシステム

キーワード：金属酸化物ナノ粒子・ナノ粒子デバイス・有機分子表面修飾・ボトムゲート基板

1. 研究開始当初の背景

多くの無機材料の中でも、とりわけ金属酸化物は豊富な機能を有する。その例を挙げると、誘電性、磁性、発光特性、透明導電性などであり、加えて空気中・水中で安定、生体に対して安全という実用上の利点を持つ。研究代表者は、酸化物を一層広い分野で活用するには、ナノ粒子の合成と表面の有機分子修飾が必須であることを確信し、表面修飾酸化物ナノ粒子の合成手法を世界に先駆けて開発した。この有機分子修飾により、酸化物ナ

ノ粒子の複合化制御、凝集抑制、分散制御、形状制御、pH 応答の制御、結晶径制御を実現している。さらに、この成果に基づき、良質な結晶性を有する金属酸化物のナノ結晶を高温で合成後、低温で基板上に堆積、電子デバイスを形成するプロセスを提案している。本手法により、今までは高温での薄膜形成が不可能であったプラスチックや紙の上にも、金属酸化物結晶の有する多彩な機能を活用した電子デバイスを形成できると考えている。

2. 研究の目的

本研究では、上記の酸化物ナノ粒子トランジスタを実現するには、n型、p型のそれぞれの特徴を持つ酸化物ナノ粒子を合成すると共に、これらのナノ粒子を堆積するだけで電子デバイスとして機能する基板を用いる必要があると考えている。そこで、これらの手法を開発するほか、結晶異方性を持つ酸化物ナノ粒子を、電荷の移動方向を考慮しつつ稠密に配向させ、粒子の界面における電荷散乱を最小化する手法の実現に向けた研究も必要と考えている。そこで本研究では、その実現に向けて以下の研究課題を設定する。

(1) n型、p型酸化物ナノ粒子の合成

研究代表者は、酸化物ナノ粒子の水熱合成とその有機分子表面修飾に成功している。そこで、ZnO、NiOなどのn型、p型酸化物ナノ結晶を合成すると共に、その表面修飾を行い、酸化物ナノ粒子に異方的な相互作用能を付与し、異方的な集積化を実現する。

(2) ドロップキャスト、スピコートなどの手法による堆積

ナノ粒子の稠密堆積・堆積量の良再現性を目指し、ナノ粒子の2次元集積過程に関する既往の研究で明らかにされた知見を援用しつつ、ドロップキャストやスピコート法を利用してナノ粒子堆積膜を形成するための条件（ナノ粒子の濃度、溶媒の性質等）を明らかにする。

(3) デバイス特性の評価

形成したデバイスの特性評価を行いつつ、高配向稠密均一堆積膜の形成条件を最適化する。

3. 研究の方法

(1) ナノ粒子の表面修飾による配向制御

図1に示す流通式合成装置を用い、NiO、ZnOなどを対象として表面修飾酸化物ナノ粒子の合成を行う。修飾剤の種類、濃度、修飾剤混合部の温度、滞留時間等を変えつつ、表面修飾と異方的な表面修飾に最適な条件を探索する。合成場での表面修飾が進行しない場合は、合成後の酸化物ナノ粒子のex-situ修飾や、surfactantなどの利用を検討する。

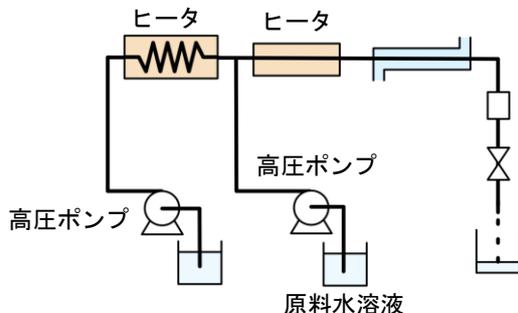


図1 酸化物ナノ粒子の合成に用いる装置

(2) ドロップキャストなどの手法による堆積

ドロップキャスト法などの手法を用いたナノ粒子の形成を試みる。基板の上にナノ粒子分散液を堆積する条件（分散液、ナノ粒子の濃度、サイズ、滴下条件）を探索して、基板の上にナノ粒子の堆積層を形成する。

(3) デバイス特性の評価

図2に示すボトムゲート基板上でナノ粒子堆積膜を形成し、デバイスとしての特性評価を行う。

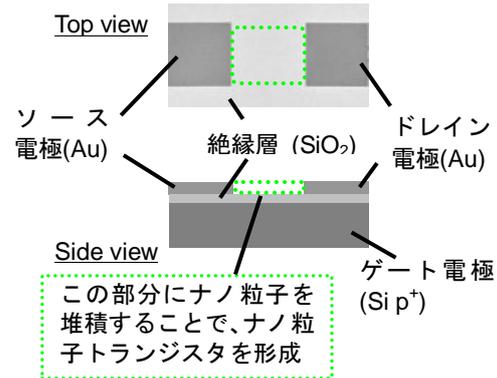


図2 本研究で使用するボトムゲート基板

図3に示すように、酸化物ナノ粒子堆積膜をチャンネル層として用いたトランジスタを形成し、その特性評価を行う。ナノ粒子堆積膜の配向性、膜均一性と、トランジスタ特性との関係性を評価する。

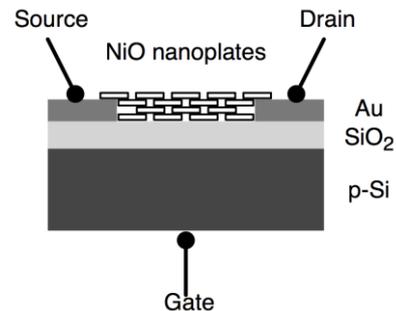


図3 作成するトランジスタ構造の断面図

以上の研究項目の遂行を通じて、ナノ粒子高配向稠密均一堆積膜の合成を実現し、酸化物ナノ粒子を用いた電子デバイスの実用化を目指す。

4. 研究成果

図4に合成した様々な酸化物半導体ナノ結晶をSEM像を示す。

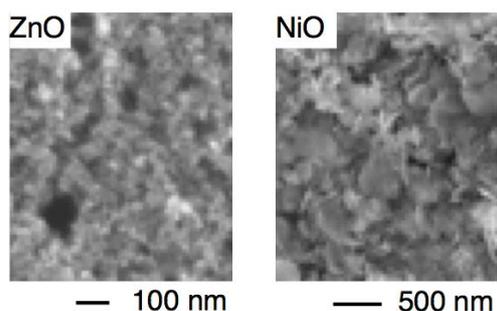


図4 合成した ZnO, NiO ナノ粒子

ここに示すように、n 型、p 型の酸化物半導体ナノ結晶の合成に成功した。合成した p 型半導体である NiO ナノ結晶は厚さ約 10 nm、直径 100~500 nm 程度の板状であり (図 4 左)、バルク NiO と同様に NaCl 構造の結晶形を有していた。

合成した NiO ナノ結晶の分散液の UV-vis 吸収スペクトル (図 5) より評価したバンドギャップは 3.45 eV であり、バルクの値 (3.7 eV) と同程度であった。

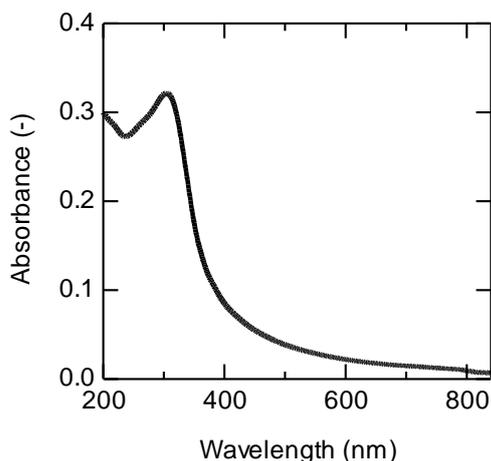


図5 合成した NiO ナノ粒子の光吸収スペクトル

次に、NiO ナノ結晶の水中分散液を滴下・乾燥することで、図 3 に示す構造を形成した。基板上面の電極をソース、ドレインとして、シリコン基板をゲートとしてデバイス構造のトランジスタ特性を評価した結果を図 6 に示す。高ゲート電圧下でも飽和領域に到達しないことから、電界が十分にナノ結晶にかかっていないことが示唆されるものの、NiO ナノ結晶を堆積した構造が、p 型のチャネル材料として動作することを確認した。

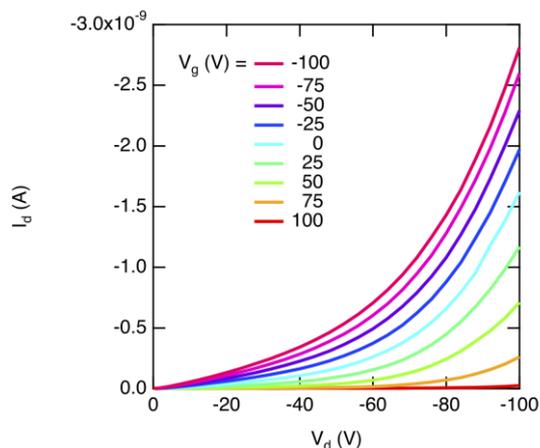


図6 NiO ナノ粒子から構成される電界効果トランジスタの I_d - V_d 特性

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 5 件)

1. T. Togashi, T. Naka, S. Asahina, K. Sato, S. Takami, T. Adschiri, "Surfactant-assisted one-pot synthesis of superparamagnetic magnetite nanoparticle clusters with tunable cluster size and magnetic field sensitivity", Dalton Trans., 40, 1073-1078, 2011, 査読有.
2. S. Takami, R. Hayakawa, Y. Wakayama, T. Chikyow, "Continuous hydrothermal synthesis of nickel oxide nanoplates and their use as nanoinks for p-type channel material in a bottom-gate field-effect transistor", Nanotechnol., 21, 134009-1-134009-4, 2010, 査読有.
3. S. Takami, S. Ohara, T. Adschiri, Y. Wakayama, T. Chikyow, "Continuous Synthesis of Organic-Inorganic Hybridized Cubic Nanoassemblies of Octahedral Cerium Oxide Nanocrystals and Hexanedioic Acid", Dalton Trans., 2008, 5442-5446, 2008, 査読有.

[学会発表] (計 9 件)

1. S. Takami, S. Asahina, O. Terasaki, T. Adschiri, "Organic-inorganic Hybridized Cubic Nanoassemblies Comprising Octahedral CeO₂ Nanocrystals and Hexanedioic Acid", The 2010 Fall Meeting of the Materials Research Society, 2010/11/30, Boston, U.S.A.

2. S. Takami, R. Hayakawa, Y. Wakayama, T. Chikyow, T. Adschiri, "Synthesis and Application of Metal Oxide Nanocrystals for the n- and p-Type Channel Material of Field-Effect Transistors.", The 2009 Spring Meeting of the Materials Research Society, 2009/4/15, San Francisco, USA.
3. 高見 誠一, 「有機・無機ナノ材料の合成と、これを集積した電子デバイス形成への挑戦」, 三次元ナノマイクロ構造研究集会, 2008/10/14, 茨木, 日本.
4. 高見 誠一, 早川 竜馬, 若山 裕, 知京 豊裕, 北條 大介, 南 公隆, 有田 稔彦, 阿尻 雅文, 「半導体酸化物ナノ粒子分散液より形成した電界効果型トランジスタ」, 化学工学会第 40 回秋季大会, 2008/9/24, 広島, 日本
5. S. Takami, R. Hayakawa, Y. Wakayama, T. Adschiri, T. Chikyow, "Hydrothermal synthesis of ZnO nanoparticles and their use in field-effect transistor as an n-type channel material", The E-MRS 2008 Spring Meeting, 2008/5/27, Strasbourg, France.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高見 誠一 (TAKAMI SEIICHI)
東北大学・多元物質科学研究所・准教授
研究者番号：40311550

(2) 研究分担者

()
研究者番号：

(3) 連携研究者

早川 竜馬 (HAYAKAWA RYOMA)
物質・材料研究機構・研究員
研究者番号：90469768