

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21710107

研究課題名(和文) 無機スイッチングデバイスの有機分子を用いた高機能化

研究課題名(英文) Functionalization of inorganic switching devices by organic molecules

研究代表者

田中 啓文 (TANAKA HIROFUMI)

大阪大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：90373191

研究成果の概要(和文)：

不揮発性ナノデバイスの一つである原子スイッチはAg₂Sの電極とPtの電極を1 nm離れた構造でこれまでに実現されたことのないサイズのスイッチングデバイスである。本研究では原子スイッチの間隙部分に光応答有機分子を塗布することにより、光照射時のみ原子スイッチが駆動する光センサー素子とすることに成功した。また異なる駆動波長を有する光応答分子を用いることでカラー化を目指し、かつ光応答原子スイッチの回路化を実現した。

研究成果の概要(英文)：

Atomic switch is one of the nonvolatile nanodevices whose structure has 1 nm gap between Ag₂S and Pt electrodes. Switching devices in such a small size has never been realized. In the present work, a photoconductive organic molecule was placed between the nanogap. It was succeeded that switching was driven only when the light was irradiated. By using organic molecules responding at the different wave length of irradiate light, the switch could be a color sensor. It was also succeeded that the switch wan arranged in an electrical circuit.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

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：光センサー、原子スイッチ、人工網膜

1. 研究開始当初の背景

ユビキタス情報化社会の実現には、人間や環境とのインターフェース機能を備えた高度電子情報端末の開発が不可欠となっている。画像認識システムもそのひとつであり、「小型」で「低消費電力」で動作するシステムの開発が求められている。従来の画像認識システムでは、光信号の検出、その記憶、ならびに画像認識処理は、それぞれ異なる素子（あるいは回路）によって行われていた。これらの機能を単一のナノスケール素子で実現することが出来れば、その集積化によって高機能な画像認識機能を備えた人工眼などを実現することも可能になる。そこで本研究では、原子スイッチの電極間材料として光導電性分子を用い、光信号を入力として動作する原子スイッチの RGB 化を含む高機能化に取り組んだ。

2. 研究の目的

- (1)原子スイッチの光応答化の実現
- (2)光応答原子スイッチの RGB 化
- (3)光応答原子スイッチの回路化

3. 研究の方法

本研究課題では光駆動原子スイッチの RGB 化や回路化に取り組んだ。特に回路化では多数の光応答原子スイッチを配置して、既存の分子である N,N'-Diheptylperylene-tetracarboxylic diimide を用いて、光応答駆動が同時に起きるかどうかの試験を行った。多数のスイッチが同時に駆動できることから、これは微弱光のセンシングの増幅機構などに利用できる可能性がある。実際の試験では5個のスイッチング素子を並列に配置してその駆動を調べた(図1)。微弱な信号でもスイッチングが多くデバイスで起きれば、その信号は増幅されることが期待される。このこ

とにより将来の微弱光センシング技術発展に向けた大きな第一歩を踏み出すことができた。

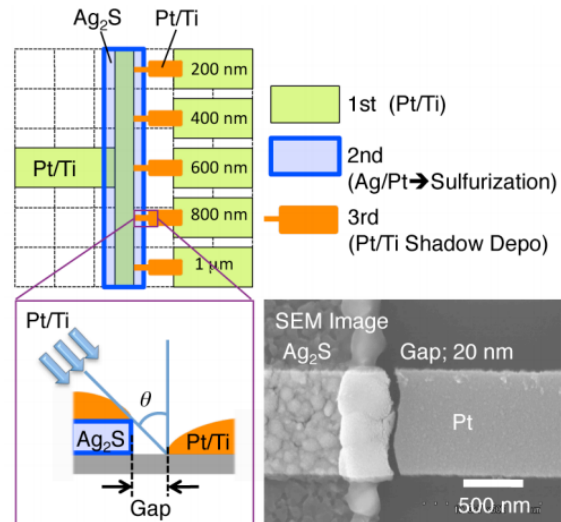


図1 ;回路上に並列に作製された光応答原子スイッチの模式図(上)とSEM写真(右下)

RGB 化では合成をおこなった新規ペリレンジイミド誘導体(図2(a))を用いて、照射波長を変化させながらその応答様式を試験した。実際に行った実験では照射光の波長を400nm~700nm 程度までの間で段階的に変化

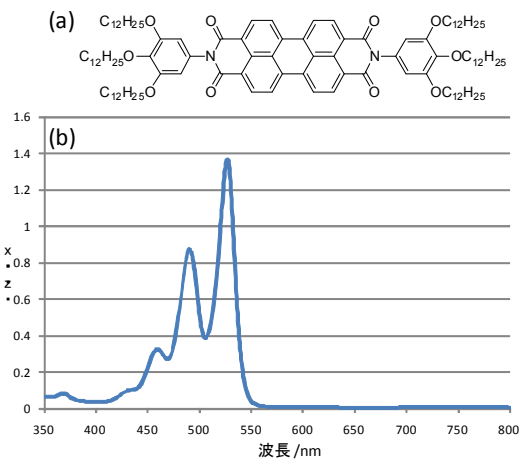


図2 ;(a)光応答有機分子として新たに合成したペリレンジイミド誘導体と(b)その UV-vis 吸収スペクトル

させその光応答の様子を調べることにより、光選択スイッチングの可否を確かめた。結果、吸収波長は400nm~550nmで観測された一方で、波長600~700nmの光を照射したときに最も光応答電流が流れ、その他の領域ではほ

ぼ光に対して反応しなかったためこの分子は RGB のうち R (赤色) 検出素子原子スイッチとして利用できることが分かった。吸収測定の結果から予想される応答領域は 400~550nm であったので、そこからの応答領域のずれは側鎖の影響によるものと考えられる。ともあれ、以上の結果より光応答原子スイッチをカラーセンシングに利用できる可能性は大きく増したと言え、つまり原子スイッチの RGB 化の実現、すなわち人工網膜への応用は将来間違いなく実現されるであろうと

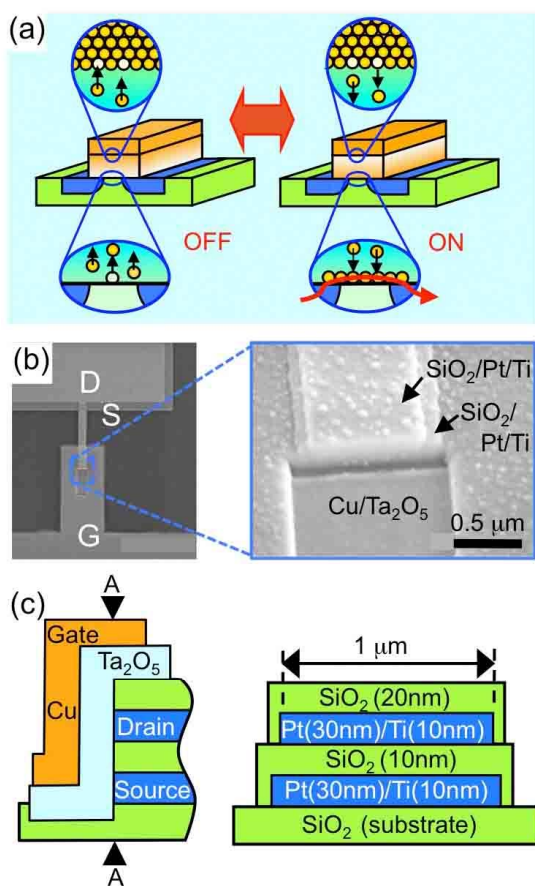


図2;無ギャップ型3端子原子スイッチの模式図とその電子顕微鏡写真(a)ゲート電極(上部)からソース・ドレイン電極(下側の青い部分)側に金属原子を供給したり、呼び戻したりすることでオン/オフ動作する。(b)試作した3端子原子スイッチの電子顕微鏡写真(S:ソース電極、D:ドレイン電極、G:ゲート電極)(c)試作した3端子原子スイッチの構造模式図。左側:断面図。右側:A-A断面を左側からみた場合の構造

いう結論に達した。またこの他に光応答原子スイッチの基本技術となる無ギャップの3端子型酸化物原子スイッチの開発に成功した。不揮発型スイッチング素子である原子スイッチをゲート電圧で制御することに成功した(図3)。この技術は将来的に光応答性を有する有機トランジスタ有機分子をギャップ間に設置することにより光センサーの不揮発メモリ化を実現即ち画像の記憶を実現できる特性がある事を示しており非常に有意義である。

以上の結果から本研究課題の目標はおおむね達成できたと言える。

4. 研究成果

「3. 方法」で述べたように、原子スイッチ光センサーの RGB 化に向けた取り組みを行った。その素子の一つである 600nm~700nm で応答するペリレン誘導体分子の合成を行い、それを用いてスイッチング素子を実現し、RGB 化が基本的に可能であることを実証した。また、光応答デバイスの並列回路化を実現し、情報量の増大が期待できる。さらに将来に向けて有機トランジスタ分子を用いる予備実験として酸化物型3端子原子スイッチの実現に挑戦し成功した。これらの結果から、近い将来光応答有機トランジスタ分子と原子スイッチを組み合わせた新デバイスを用いることによりカラーセンシングと画像記憶に利用できる高機能デバイスが開発可能である事が示された。

固体電気化学反応の制御は数ミリボルトの電圧でも可能なことから、本研究で基本技術開発した RGB 型光原子スイッチをフレキシブル薄膜材料上に集積化することで、人体の電位を利用して動作するような次世代型の人工網膜を開発するための基礎的知見はほぼクリアできたのではないかと考え

る。今後の発展が非常に期待できる。

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田中啓文、長谷川剛、日野貴美、青野正和、小川琢治、光アシスト原子スイッチを用いたナノ光センサーの開発、日刊工業出版月刊光アライアンス 22、6月号、40-45 (2011)、査読無

②Tsuyoshi Hasegawa, Yaomi Itoh, Hirofumi Tanaka, Takami Hino, Tohru Tsuruoka, Kazuya Terabe, Hisao Miyazaki, Kazuhito Tsukagoshi, Takuji Ogawa, Shu Yamaguchi and Masakazu Aono, Volatile/Nonvolatile Dual-Functional Atom Transistor, Appl. Phys. Exp. 4, 015204 (3pp) (2011), 査読有

③田中啓文、長谷川剛、日野貴美、青野正和、小川琢治、情報を記憶する光ナノセンサーの開発、日刊工業出版月刊画像ラボ 22、3月号、60-66 (2011)、査読無

④T. Hino, H. Tanaka, T. Hasegawa, M. Aono, T. Ogawa, Photo-Assisted Formation of Atomic Switch, Small 6, 1745–1748 (2010), 査読有

⑤W. Huang, H. Tanaka, T. Ogawa, X.-Z. You, Properties of Thiol End-Capped and Iodine-Doped Sexithiophene Disulfide Semiconducting Polymers Bridging Nanogap Gold Electrodes, Adv. Mater. 22, 2753–2758 (2010), 査読有

[学会発表] (計8件、内招待講演2件)

①H. Tanaka, Electric Properties in Nanoscale,

Armchair Quantum Wire Meeting, 平成23年3月11日, ライス大学 (米国)

②H. Tanaka and T. Ogawa, Copper nanogap electrodes fabricated by the molecular ruler method toward three-terminal atomic switch devices, Pacificchem2010, 平成22年12月18日, ハワイコンベンションセンター (米国)

③日野貴美・長谷川剛・田中啓文ら、光アシスト原子スイッチにおけるスイッチング速度の向上、第71回応用物理学関係連合講演会、平成22年9月16日、長崎大学

④田中啓文・日野貴美ら、分子定規法を用いた原子スイッチ用 Cu 電極構造の作製、ナノ学会第8回学術講演会、平成22年5月14日、自然科学研究機構岡崎コンファレンスセンター (愛知県)

⑤田中啓文、日野貴美、長谷川剛、伊藤弥生美、青野正和、小川琢治、光機能センサー素子への応用、応用物理学会秋季講演会、シンポジウム：薄膜・表面物理分科会企画「金属酸化物系材料の新展開-メカニズムの解明からデバイス応用まで-」、平成21年9月10日、富山大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/ogawa/prof02-2.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中啓文 (TANAKA HIROFUMI)

大阪大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：90373191