

自己評価報告書

平成23年 4月15日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008 ~ 2012

課題番号：20111012

研究課題名（和文） ボトムアップ／トップダウンプロセスの融合による電子・光機能創発

研究課題名（英文） Emergence of electronic and photonic functionalities by fusion of the bottom-up and top-down processes

研究代表者

小川 琢治 (OGAWA TAKUJI)

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：80169185

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：分子電子素子、単一分子ダイオード、単一分子トランジスター、単分子磁石、単一分子メモリ、分子集積回路

1. 研究計画の概要

分子の組織化により生命にも匹敵するような高度の機能を実現するためのブレークスルーは、いかに対象の物質系に情報を多く組み込むかである。これまでは、分子自体に多くの情報を組み込む研究がなされてきたが、本研究では分子の自己組織化を行う場としてトップダウンで作成したナノ環境を用いてそこから情報を系に注入することを考えている。この視点で次の研究を行う。

- (1) 協同現象によらず単一～少数分子でメモリーなどの**機能を持つ分子の開発**
- (2) そうした**機能有機分子**、金属ナノ粒子・金属ナノロッドなどの**無機ナノ構造体**、**リソグラフィ**で作成したナノ構造体の3者からなる系での自己組織化と、その3者で初めて生まれる電気・光機能の探索
- (3) 有機分子の自己組織体を利用した**非ノイマン型情報処理系**の研究

2. 研究の進捗状況

それぞれの分子が、単一分子で特定の電子機能を持ち、それらを統合することでこれまでの人工系には無い高度の機能を実現することを目指している。具体的な高度の機能としては、分子の非線形応答を利用した確率共鳴による微弱信号検出や、神経細胞と同等の振る舞いをする単一分子素子のネットワーク化による分子固体脳類似素子である。これらを実現するためには、まず単一分子で、整流、増幅、メモリ、負の微分抵抗、閾値素子、積分閾値素子などの機能を実現させる必要がある。単一分子の電気特性の計測は、我々のグループで実験を行う、カーボンナノ

チューブ電極に直接分子を共有結合させた素子を用いる方法、金ナノロッドを用いて数百個の分子を並列化して測定する方法および、新学術領域研究による共同研究体制を利用して、阪大基礎工学研究科の山田准教授との共同研究によるブレークジャンクション法を用いて行っている。この間に得られた成果は次の通りである。

- (1) 単一分子整流素子：ポルフィリンイミド分子の両端にカーボンナノチューブ電極を結合し、その電気特性を計測したところ、整流比が非常に大きな電流-電圧特性が得られた。
- (2) 単一分子増幅素子：三探針単一分子素子のための分子の合成に成功した。
- (3) 単一分子メモリ：テルビウムポルフィリン・ダブルデッカー錯体の結晶構造の決定に成功し、ポルフィリンの窒素に一つプロトンが残っている構造であることがわかった。プロトンを塩基で引き抜いた化合物の合成とその結晶構造の決定にも成功し、単一分子磁石の性質を持つことがわかった。
- (4) レドックスを利用した分子メモリ：
- (5) 単一分子による負の微分抵抗素子：
- (6) これらの機能性分子を全自動合成装置を用いて組み合わせ「分子集積回路」を作るための基本反応を開発した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由) 当初の目的である単一分子～少数分子で機能を持つ分子の合成に成功した。また、そうした**機能有機分子**、金属ナノ粒子・金属ナノロッドなどの**無機ナノ構造体**、**リソグラフィ**

フィーで作成したナノ構造体の3者からなる系での自己組織化と、その3者で初めて生まれる電気・光機能を見いだすことができた。残りの2年で、最終目的である有機分子の自己組織体を利用した非ノイマン型情報処理系を実現したい。

4. 今後の研究の推進方策

研究は、おおむね順調に進展してきた。今年度の課題は、次の通りである。

- (1) 3端子分子トランジスターの電気特性の計測。電極を1端子、2探針原子間力顕微鏡を2、3番目の端子として用いて、世界初の3端子分子電子素子を実現する。
- (2) 非対称金ナノロッド素子の実現。非対称分子を用いた非対称金ナノロッドを作成し、これを素子化する。実際の素子として稼働することを実証する。
- (3) 単一分子磁石を用いた単一分子素子。ポルフィリンテルビウム錯体をブレイクジャンクション法で計測し、そのスピン制御を実証する。また、カーボンナノチューブ電極や金ナノロッド電極を利用した計測も行い、本当に単一分子磁石が単一分子メモリとして働くかどうかの実験を行う。
- (4) POMを用いた負の微分抵抗ネットワーク素子の実装と、その周期電気現象の研究。
- (5) 複雑な分子系の全自動合成法の確立と、それを用いた非ノイマン型情報処理の実証。

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10件) 全て査読有り。

- (1) Enhanced Red-Light Emission by Local Plasmon Coupling of Au Nanorods in an Organic Light-Emitting Diode, Takuya Tanaka, Yuji Totoki, Aya Fujiki, Nobuyuki Zettsu, Yusuke Miyake, Megumi Akai-Kasaya, Akira Saito, Takuji Ogawa, and Yuji Kuwahara, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50**, 035204(6) (2011). 最終ページに該当する数字無し。
- (2) Volatile/Nonvolatile Dual-Functional Atom Transistor, Tsuyoshi Hasegawa, Yaomi Itoh, Hirofumi Tanaka, Takami Hino, Tohru Tsuruoka, Kazuya Terabe, Hisao Miyazaki, Kazuhito Tsukagoshi, Takuji Ogawa, Shu Yamaguchi, and Masakazu Aono, *Applied Physics Express*, **4**, 032105(3) (2011). 最終ページに該当する数字無し。
- (3) Photo-Assisted Formation of Atomic Switch, Takami Hino, Hirofumi Tanaka, Tsuyoshi Hasegawa, Masakazu Aono, Takuji Ogawa, *Small*, **6**, 1745-1748 (2010).
- (4) Properties of Thiol End-Capped and Iodine-Doped Sexithiophene Disulfide Semiconducting Polymers Bridging

Nanogap Gold Electrodes, Wei Huang, Hirofumi Tanaka, Takuji Ogawa, Xiao-Zeng You, *Advanced Materials*, **22**, 2753-2758 (2010).

(5) Spectral and structural studies of a new oxalato-bridged dinuclear copper(II) complex having two 3-(thiophen-2-yl)-1,10-phenanthroline ligands in a trans configuration, Wei Huang and Takuji Ogawa, *Inorganic Chimica Acta*, **362**, 3877-3880 (2009).

[学会発表] (計54件)

- (1) 猪瀬朋子・田中大輔・田中啓文・石川直人・小川琢治, ダブルデッカー型テルビウムテトラフェニルポルフィリン錯体のプロトン付加体と脱プロトン体の合成と磁気特性, 日本化学会第91春年会 2011/3/26, 神奈川大学。
- (2) 山名亜由子・小川琢治, ポルフィリンアレイ全自動合成のための新規合成法の研究, 日本化学会第91春年会 2011/3/26, 神奈川大学。
- (3) 後藤章文・郷田隼・田中啓文・田中大輔・小川琢治, ポルフィリン-イミド単分子トランジスタの合成, 日本化学会第91春年会 2011/3/26, 神奈川大学。
- (4) Takuji Ogawa, Hirofumi Tanaka, Syun Gohda, Yuji Totoki, Takenori Nosaka, Construction of Nano-structures from Conductive Nano-Materials with Functional Molecules for Molecular Electronics, The 5th Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules, National Taiwan University, 2010/10/18, Taipei.
- (5) 野坂長範・小川琢治, ポルフィリンアレイ全自動合成のための反応の開発, 日本化学会第90春年会, 2010/3/28, 近畿大学 (大阪)。