

研究課題別評価

1. 研究課題名 :ナノ電極/有機分子組織体による次世代電子素子の創出

2. 研究者氏名 :小川琢治

3. 研究の狙い :

この研究は、機能単位である単一有機分子を組織化することで高次の情報処理能を持つ「有機分子組織体デバイス」を実現することを最終目的としている。そのために(1)単一分子の電子伝導計測法の確立と(2)ナノ規制された環境下での有機分子の組織化についての研究を行う。(1)は、走査型プローブ顕微鏡を用いる方法と、平面型ナノギャップ電極を用いる方法の二つのアプローチを行い、これらに最適化した有機分子の設計と合成を行う。(2)の実現のためには、この目的に最適化した有機分子の設計と合成、および最適化した構造のナノ構造電極を作成する。

4. 研究結果 :

(1)走査型プローブ顕微鏡を用いた単分子電気伝導計測に最適化した構造の分子を設計し、ポルフィリン・スズ錯体を基盤とする自立型分子を提案した。この分子を合成し、超高真空中の走査型トンネル顕微鏡を用いてその単分子電子伝導計測を行った。その結果、この分子を用いて分子軌道を通っての伝導の画像化が可能であることがわかった。

(2)さらに検討を行い、ポルフィリン・ルテニウム錯体が非常に安定で種々の置換基、分子ワイヤーを導入可能であることがわかり、一連の自立型分子ワイヤーを合成した。

(3)金ナノ粒子/有機ジチオール/金ナノ電極系における組織体形成の研究を行い、金のナノ電極間に薄膜状に組織体が形成されることを明らかにした。

(4)この様にできた組織体の電気伝導特性を検討した結果、比較的高温(室温から20K付近)では、トンネル機構と考えられる電流-電圧特性を示し、4K付近の低温では、2次元クーロンブロック機構と考えられる電流-電圧特性を示すことを明らかにした。

5. 自己評価 :

1年目は、単分子、小数分子/ナノギャップ電極からなるデバイスの電気特性の評価が、大気下・常温でも、多数のデバイスを作成・計測し、統計的処理をすれば可能であろうと思っていたが、実際に行くと再現性が乏しく解析が困難であることがわかった。2年目から、超高真空、極低温での計測装置を作成し始めたが、微少電流レベルの電氣的ノイズや、十分な低温が得られないという問題が生じ、装置の完成が非常に遅れてしまった。ナノギャップ電極も、最初に設計した物は問題点が多いことがわかり、再設計・作成を行ったが、これも1年間以上の時間が必要となった。

これらの装置やナノギャップ電極作成の遅延のため、新規の有機分子の合成やそれらを用いた組織体は完成しているが、それらの計測実験が十分に進まなかった。合成-計測-解析-再設計-合成のサイクルの内、計測がネックとなってしまった。

ナノギャップ電極を用いた有機分子の電気特性計測実験における問題点は、ほぼ出尽くした

と考えられ、それらの解決方法もほぼ明らかとなった点が成果といえる。

6. 研究総括の見解：

単一有機分子を組織化して高次の情報処理機能をもつデバイスを作成することは、分子ナノテクノロジーの一大目標となっている。それを実現するための要素技術として、単分子電気伝導を計測するのに最適と考えられる自立型分子を設計して、トンネル顕微鏡による測定を行い、分子軌道を通っての伝導であることを示している。また、金ナノ粒子と金ナノ電極に挟まれた有機ジチオール組織体がトンネル機構またはクーロンプロケット機構による伝導を行うことを明らかにした。微小デバイスの完成に時間を要し、当初の計画が十分果たされなかったのは残念であった。測定上の問題点が明らかになったことから、今後の展開は速やかであると期待できる。

7. 主な論文等：

論文

1. Electronic conductive characteristics of devices fabricated with 1,10-decanedithiol and gold nano particles between 1000nm electrode gaps, Takuji Ogawa, Keijiro Kobayashi, Go Masuda, Takuya Takase, and Seisuke Maeda, Thin Solid Films, 393, 374-378 (2001).
2. Chemical approach toward molecular electronic device, Takuji Ogawa, Keijiro Kobayashi, Go Masuda, Takuya Takase, Yuusuke Shimizu, and Seisuke Maeda, Trans. Mat. Res. Soc. Jpn., 26, 733-738 (2001).

解説

1. 小川琢治 「単一分子デバイスの設計と合成」 in 「分子ナノテクノロジー」, 化学同人 (2002)
2. 「単分子エレクトロニクス」小川琢治、「ナノテクノロジー最前線」東京教育出版センター (2002)
3. 小川琢治 「分子エレクトロニクスはどこまで進んだか」化学 (化学同人), 9月号、19-24 (2000)
4. 小川琢治 「究極のナノテクノロジーとしての有機合成」有機合成化学協会誌 (有機合成化学協会), 5月号、452-453 (2001).
5. 「分子エレクトロニクスへの扉」小川琢治、月刊機能材料 (シーエムシー) 「21世紀の新材料・新技術」, 8月号、30-36 (2001)
6. 「分子電子素子のナノ科学技術」小川琢治、STEP ネットワーク (四国産業技術振興センター), 5月号、(2002)

特許

1. 発明の名称 分子集積回路素子、出願日 平成14年3月11日、出願番号 特願2002-064264
2. 発明の名称 分子ワイヤ、出願日 平成14年7月31日、出願番号 特願2002-223978
3. 発明の名称 分子ワイヤおよびその製造方法、出願日 平成14年7月31日、出願番号 特願2002-223975

4.発明の名称 有機金属錯体およびその製造方法ならびにそれを用いた電荷保持材料および単電子トランジスター、出願日 平成 14年 7月 31日、出願番号 特願 2002-223971

招待講演など

2000/3/4 JST平成 11年度異分野研究者交流フォーラム (科学技術振興事業団)「20年後のエレクトロニクスへ向けて」招待講演「分子デバイスの20年後? 分子電子工学の創生に向けての有機化学的アプローチ」大仁ホテル

2000/3/27 応用物理学会・日本化学会合同シンポジウム (応用物理学会、日本化学会、学術会議)「21世紀の分子エレクトロニクス研究の展望と課題-分子設計・合成、デバイスからコンピュータへ-」特別講演「分子素子への化学からのアプローチ-分子設計と合成-」学術会議講堂

2000/5/9 ナノ構造物質の機能と応用研究委員会 (社団法人 日本工業技術振興協会) 招待講演「分子エレクトロニクス素子への化学からのアプローチ」日本化学会館

2000/8/22-25 JST平成 11年度異分野研究者交流フォーラム (科学技術振興事業団)「20年後のエレクトロニクスへ向けて」ワークショップ「単一分子情報技術の構築、パネルディスカッション リーダー「合成ターゲットとしての分子素子」ハヶ岳ロイヤルホテル

2000/11/14-15 第2回ロタキサン・カテナン研究会 (ロタキサン・カテナン研究会、大阪ガス株)「ナノ材料とインターロッキング化合物」招待講演、大阪ガス株 奥池ロッジ

2000/12/7-8 第12回日本 MRS 学術シンポジウム (日本 MRS) 先進材料研究・21世紀に向けて」分子素子への化学からのアプローチ-分子設計と合成-」招待講演、かながわサイエンスパーク

2001/1/19 第4回 NAIST 科学セミナー (奈良先端科学技術大学院大学)「機能性ナノ構造体の創成」招待講演

2001/6/1 有機エレクトロニクス研究会 (電子通信情報学会)「有機分子電導特性の SPM およびギャップ電極による研究」招待講演

2001/8/23 第39回茅コンファレンス「1分子エレクトロニクスへの合成化学」招待講演

2001/9/11 応物スクールB「単一分子エレクトロニクス、分子スケールエレクトロニクス」招待講演

- 2001/9/18 日本物理学会秋の分科会、単一分子-表面複合系の科学、表面一分子系に最適化した合成」, 招待講演
- 2001/9/30 分子構造総合討論会シンポジウム 『ナノテクノロジーと分子科学』, 招待講演
- 2001/11/15 有機反応化学討論会、招待講演 『分子電子素子と有機化学の将来像』
- 2002/3/5 日本学術振興会、ナノプローブテクノロジー委員会、招待講演 『分子電子素子のための分子設計と物性評価』
- 2002/3/18 分子スケールナノサイエンス研究会、招待講演 『平面ギャップ電極による分子電子素子』, 分子科学研究所
- 2002/3/27 日本化学会第81春季年会特別企画講演 (依頼講演) 『有機分子・金属複合体系の特性を利用した分子電子素子』
- 2002/3/29 応用物理学会特別シンポジウム (依頼講演) 『ナノ電極と有機分子』
- 2002/5/18-19 ナノ金属錯体の化学シンポジウム (依頼講演) 『単分子単電子素子のための有機金属錯体の設計と合成』
- 2002/6/19-21 第21回電子材料シンポジウム、招待講演 『ナノ構造体としての有機分子』
- 2002/7/4-5 第4回ダイナミック分光化学ワークショップ、招待講演 『分子電子素子の化学からのアプローチ』
- 2002/7/19 日本学術振興会、情報化学用有機材料第142委員会、招待講演 『化学の立場から分子素子の可能性』
- 2002/7/24 京都大学大学院工学研究科 特別講演会、招待講演 『単分子電子素子のための合成化学的アプローチ』