

3-10 研究施設

分子スケールナノサイエンスセンター

分子金属素子・分子エレクトロニクス研究部門

小川 琢 治 (教授) (2003年2月1日着任)

A-1) 専門領域：有機化学、ナノサイエンス

A-2) 研究課題：

- a) サブマイクロメータ長 共役ポルフィリンワイヤーの合成と表面上での自己組織化
- b) 有機分子の構造を利用した金ナノ粒子の自己組織化の制御
- c) 金ナノ粒子 / 有機分子 2次元構造体の電気特性の研究
- d) カーボンナノチューブ / 有機分子複合体の形成と分子スケールでの電気特性の研究
- e) 分子定規法によるナノギャップ電極の作成とこれを用いた電子素子の研究
- f) 点接触電流像原子間力顕微鏡 (PCI-AFM) によるナノレベル電流像計測
- g) 二探針電導性原子間力顕微鏡 (分子スケールプローバー) の作成

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) PCI-AFM の測定条件の最適化を行い、その結果原子間力顕微鏡の空間分解能 (20 ~ 30 nm) をはるかに上回る空間分解能 (2 ~ 3 nm) の電流像を得ることに成功した。この条件で有機分子 / カーボンナノチューブ複合系を計測することで、有機分子が存在することで整流性が出る場合があることや、金属的なカーボンナノチューブが半導体的になる場合があることを分子のトポグラフィー像と電流像の同時計測により明らかにした。
- b) 分子定規法を用いて非常に緻密な精度でナノギャップ電極が作成可能になり、これを用いて作成した単電子トランジスター素子がギャップ幅に応じた特性を表すことを初めて実証できた。
- c) オリゴチオフェン分子をナノギャップ電極にブリッジして作成したデバイスが光応答性を示すことを見出した。
- d) ポルフィリンワイヤーをナノギャップ電極にブリッジして作成したデバイスは、そのままでは光応答性を示さないが、金ナノ粒子をポルフィリン上に結合することで光応答性を示すことを見出した。

B-1) 学術論文

H. TANAKA, M. W. HORN and P. S. WEISS, "A Method for the Fabrication of Sculptured Thin Films of Periodic Arrays of Standing Nanorods," *J. Nanosci. Nanotechnol.* **6**, 3799–3802 (2006).

M. KAWAO, H. OZAWA, H. TANAKA and T. OGAWA, "Synthesis and Self-Assembly of Novel Porphyrin Molecular Wires," *Thin Solid Films* **499**, 23–28 (2006).

O. TSUTSUMI, H. SATO, K. TAKEDA and T. OGAWA, "Synthesis and Photochemical Behavior of Metalloporphyrin Complexes Containing a Photochromic Axial Ligand," *Thin Solid Films* **499**, 219–223 (2006).

W. HUANG, G. MASUDA, S. MAEDA and T. OGAWA, "Molecular Junctions Composed of Oligothiophene Dithiols Bridged Gold Nanoparticles Exhibiting Photo Response Properties," *Chem. Eur. J.* **12**, 607–619 (2006).

H. SATO, O. TSUTSUMI, K. TAKEDA, H. TANAKA and T. OGAWA, “Simple Preparation Method for Supramolecular Porphyrin Arrays on Mica Using Air–Water Interface,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, 2324–2327 (2006).

H. TANAKA, T. YAJIMA, T. MATSUMOTO, Y. OTSUKA and T. OGAWA, “Porphyrin Molecules Working as Nanodevice on Single-Walled Carbon Nanotube Wiring,” *Adv. Mater.* **18**, 1411–1415 (2006).

W. HUANG and T. OGAWA, “Spontaneous Resolution of Delta and Gamma Enantiomeric Pair of [Ru(phen)(bpy)₂](PF₆)₂ (phen = 1,10-phenanthroline, bpy = 2,2'-bipyridine) by Racemic Conglomerate Crystallization,” *Polyhedron* **25**, 1379–1385 (2006).

W. HUANG and T. OGAWA, “Structural and Spectroscopic Characterizations of Low-Spin [Fe(4,4-dimethyl-2,2'-bipyridine)₃](NCS)₂/H₂O Prepared from High-Spin Iron(II) Dithiocyanate Tetrapyridine,” *J. Mol. Struct.* **785**, 21–26 (2006).

K. ARAKI, E. MIZUGUCHI, H. TANAKA and T. OGAWA, “Preparation of Very Reactive Thiol-Protected Gold Nanoparticles: Revisiting the Brust-Schiffrin Method,” *J. Nanosci. Nanotechnol.* **6**, 708–712 (2006).

T. OGAWA, W. HUANG and H. TANAKA, “Morphology and Electric Properties of Nonathiophene/Au Nano-Composite Thin Films Formed between 1 μm Gapped Electrodes,” *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **455**, 299–303 (2006).

H. TANAKA, T. YAJIMA, M. KAWAO and T. OGAWA, “Electronic Properties of Single-Walled Carbon Nanotube/100mer Porphyrin System Measured by Point-Contact Current Imaging Atomic Force Microscopy,” *J. Nanosci. Nanotechnol.* **6**, 1644–1648 (2006).

H. OZAWA, M. KAWAO, H. TANAKA and T. OGAWA, “Synthesis of End-Functionalized π-Conjugated Porphyrin Oligomers,” *Tetrahedron* **62**, 4749–4755 (2006).

R. NEGISHI, T. HASEGAWA, K. TERABE, M. AONO, T. EBIHARA, H. TANAKA and T. OGAWA, “Fabrication of Nanoscale Gaps Using a Combination of Self-Assembled Monomolecular and Electron Beam Lithographic Techniques,” *Appl. Phys. Lett.* **88**, 223111 (2006).

H. TANAKA, P. S. WEISS and M. W. HORN, “Fabrication of Periodic Standing Rod Arrays by the Shadow Cone Method,” *Int. J. Nanosci.* **5**, 815 (2006).

M. E. ANDERSON, L. P. TAN, M. MIHOK, H. TANAKA, M. W. HORN, G. S. MCCARTY and P. S. WEISS, “Photolithographic Structures with Precise Controllable Nanometer-Scale Spacings Created by Molecular Rulers,” *Adv. Mater.* **18**, 1020 (2006).

H. TANAKA, M. W. HORN and P. S. WEISS, “A Method for the Fabrication of Sculptured Thin Films of Periodic Arrays of Standing Nanorods,” *J. Nanosci. Nanotechnol.* **6**, 3799 (2006).

B-3) 総説、著書

小川琢治, 「4. 電気物性の測定」 ナノテクノロジー入門シリーズ, 「ナノテクのための工学入門」 Ⅱ. ナノ構造体の応用測定工学 (2006).

小川琢治, 「分子配向技術の将来に向けて」 機能材料(シーエムシー) 「分子配向技術の基礎と応用の可能性」 2月号, 28–34 (2006).

B-4) 招待講演

小川琢治, “Construction of Organic Nano-Structures and Studies on Their Electronic Properties,” International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICNSNT2006), Chennai (India), August 2006.

小川琢治, "Construction of Organic Nano-Structures and Studies on Their Electronic Properties," 台湾 - 日本二国間シンポジウム, Fukuoka, March 2006.

小川琢治, "Construction of Organic Nano-Structures and Studies on Their Electronic Properties," The Sixth France-Japan Workshop on Nanomaterials, Sapporo, March 2006.

小川琢治, "Construction of Organic Nano-structures and Studies on Their Electric Properties," 3rd Japan-India Workshop on Molecular and Supramolecular Materials, Tokyo, February 2006.

小川琢治, 「有機物質のナノ電子物性」東大物性研短期研究会, 2006年4月.

小川琢治, 「単一分子素子を目指したナノ構造体の生成とナノ計測」生産開発科学研究会, 2006年10月.

田中啓文, 「有機分子でナノ構造やナノデバイスを作る」結晶化学セミナー, 京都大学化学研究所, 2006年7月.

B-6) 受賞

田中啓文, 平成18年ナノ学会第4回大会, Best Young Presenter Award (2006).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

有機合成協会 幹事 (1997-1998).

国際高等研究所 特別研究「次世代エレクトロニクスに向けての物質科学とシステムデザイン」プロジェクトメンバー (2001-2005).

応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会 幹事 (2002-2004).

国際高等研究所「電子系の新しい機能」プロジェクトメンバー (2005-).

学会の組織委員

The First International Conference on Molecular Electronics and Bioelectrinics 組織委員 (2000).

Asia Nano 2002, 組織委員 (2002).

Molecular and Bio-electronics International Conference 2, 組織委員 (2003).

Asia Nano 2004, 組織委員 (2004).

International Symposium on Nano-organization and Function, 組織委員 (2004).

分子エレクトロニクス研究会, 組織委員 (2004).

Asia Nano 2006, 組織委員 (2006).

文部科学省、学術振興会等の役員等

文部科学省 科学技術政策研究所科学技術動向研究センター 専門調査員 (2000-).

日本学術振興会産学協力研究委員会「分子ナノテクノロジー研究委員会」委員 (2001-2006).

日本学術振興会「次世代エレクトロニクスに向けての物質科学とシステムデザインに関する研究開発専門委員会」委員 (2001-2005).

文部科学省学術審議会専門委員会科研費審査委員 (2003-).

日本学術振興会「電子系の新しい機能に関する研究開発専門委員会」委員 (2005-).

その他

独立行政法人通信総合研究所基礎先端部門関西先端研究センターナノ機構グループ 併任職員 (2000-2006).

東京大学物性科学研究所 嘱託研究員 (2000-2001).

産業総合研究所 客員研究員 (2002-2006).

科学技術振興事業団 戦略的基礎研究「精密分子設計に基づくナノ電子デバイス構築」 チームアドバイザー (2002-).

B-10)外部獲得資金

重点領域研究,「含ピスマス-インターエレメント化合物の研究」小川琢治 (1997年-1999年).

西田記念基礎有機化学研究助成,「機能性有機分子の合成とマイクロ電極アレイを用いた有機分子デバイス化の研究」小川琢治 (1997年).

委任経理金,住友金属鉱山,小川琢治 (1997年-).

長瀬科学技術振興財団,小川琢治 (1998年).

基盤研究(B),「分子エレクトロニクスに最適化した光機能性有機分子の合成と物性の研究」小川琢治 (1999年-2001年).

科学技術振興事業団さきがけ研究21,「ナノ電極/有機分子組織体による次世代電子素子の創出」小川琢治 (1999年-2002年).

基盤研究(C)企画調査,「分子スケールエレクトロニクス」小川琢治 (2000年).

科学技術振興事業団戦略的基礎研究,「巨大ポルフィリンアレーのメゾスコピック構造デバイス」小川琢治 (2001年-2006年).

萌芽研究,「機能性有機分子による単電子トランジスターの構築」小川琢治 (2002年-2003年).

基盤研究(A),「ナノ環境を利用した有機分子高次組織体の構築とその電子物性の研究」小川琢治 (2003年-2006年).

委任経理金 ビジョンアーツ(株)「分子エレクトロニクスに関する研究」田中啓文 (2004年).

萌芽研究,「ナノ球リソグラフィとシャドーコーン方によるナノロッド配列の作製とその光学特性評価」田中啓文 (2004年-2005年).

文部科学省科学技術試験研究「ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発」に関する研究開発,「原子スイッチを用いた次世代プログラマブル論理演算デバイスの開発——ナノギャップ形成に関する研究」小川琢治、田中啓文 (2005年-).

委任経理金 ビジョンアーツ(株)「分子エレクトロニクスに関する研究」田中啓文 (2005年).

研究助成石川カーボン科学技術振興財団,「カーボンナノチューブ配線上でナノデバイスとして動作する平面分子に関する研究」田中啓文 (2005年).

研究助成島津科学技術振興財団,「単層カーボンナノチューブ配線上へのナノサイズ分子デバイスの配置と点接触電流イメージング原子間力顕微鏡を用いた特性評価」田中啓文 (2005年).

若手研究(B),「カーボンナノチューブ配線上でナノデバイスとして動作する平面分子の電気特性評価」田中啓文 (2006年-2007年)

C) 研究活動の課題と展望

新たな測定法がかなり完成に近づきつつある。PCI-AFM はかなりの進展があり、ノイズがかなり減ったことにより空間分解能が大幅に上がった。これにより、これまでになく詳細な議論が可能になった。ただ、まだnA レベルの電流像しか信頼性高く計測できないので、pA レベルの計測が可能になるように更にノイズの低減法を考えなくてはならない。これができると、より広い範囲の有機単一分子の電流特性の空間分布計測が可能になり、ナノサイエンスの新たな次元に入ることが可能になる。また、二探針原子間力顕微鏡のシステムで同様のことが可能になると、更に測定可能な対象を増やすことができ、研究の進

展が加速できるようになる。分子定規法によるナノギャップ電極の作成も進展があったが、1～3 nm レベルのギャップが再現性良く作成できるようになると更に研究の対象が増えるようになる。次年度からは、有機合成と分子の自己組織化に重心を移して、こうした新しい分子系をこれまでに蓄積したナノ技術を利用して計測することで新たな科学を見出したい。全く新しい展開として、こうしたナノテクノロジーとテラヘルツ科学あるいは強光子場科学との融合を考えている。これにより新たな科学の新分野を創設することが可能になるかもしれないと期待している。