

石田 敬雄

独立行政法人 産業技術総合研究所 機械システム研究部門 研究員

プロフィール：昭和41年10月11日熊本市生まれ。昭和60年3月熊本県立熊本高等学校卒業、平成元年3月大阪大学基礎工学部合成化学科卒業 平成3年3月大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期（修士）課程修了、(佛)東芝勤務を経て 平成7年3月大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了、博士（工学）。平成7年4月より理研フロンティア、平成8年4月より工業技術院アトムテクノロジー研究体にNEDO産業技術研究員として勤務 平成10年12月より同じくアトムテクノロジー研究体に科学技術振興事業団さきがけ21専任研究員として勤務、平成12年4月より通商産業省工業技術院機械技術研究所研究員（科学技術振興事業団さきがけ21研究員は兼任）平成13年4月、組織再編と独立行政法人化により現職。専門：表面科学、分子エレクトロニクス 趣味：F1、野球、陸上などのスポーツ観戦、ドライブ。好きなタレントなど：藤原紀香、茂森あゆみ、渡辺美里など。

自己組織化による機能性分子の集積化とその局所的電気伝導性

1. 序

走査型トンネル顕微鏡（STM）の出現によって、原子や分子を一つ一つ自分の目で確かめることが可能になった。この探針を使って原子や分子を動かすことも可能になった。

有機分子一つ一つをもしトランジスタとして働かせ、それをたくさん並べることが出来れば、現在のコンピューターやハードディスクの性能を大きく上回る新しいコンピューター、記録媒体を作成することが可能となる。まずSTMの技術を用いてこれらの有機分子一つ一つがトランジスタとして動くかどうか検証が出来れば非常に興味深い。またこれらの分子を金属の表面に効率的に並べる手法の開発も非常に重要になってくる。そのためには並べた一つ一つの分子やナノメートルスケールでの分子の集団の電気伝導を測定することを積み重ねることが必要となる。

2. SAMによる有機分子の局所的電気伝導測定

まず分子を並べるためには自己組織化単分子膜（SAM）と呼ばれる方法を用いた。この方法では分子を並べる基板として金を用いる。金は通常、あまり他の物質とは反応しないが硫黄とは特異的に反応をする。この場合には分子は分子間の距離を一定に保って結晶を作るかの如く自発的に並んでいく。例えばアルカンチオールと呼ばれる硫黄を骨格に持つ分子を金の上に周期的に吸着させると $\sqrt{3} \times \sqrt{3} R30^\circ$ と呼ばれる構造を取って並ぶことがSTM観察でわかっている。しかしアルカンチオールでは電気が流れにくいので、電気が流れやすく硫黄を持つ分子が必要となる。非常に構造が単純でかつ電気が流れやすい分子としてまずベンゼン環を3つ並べたターフェニルメタンチオールと呼ばれる分子を用いた。

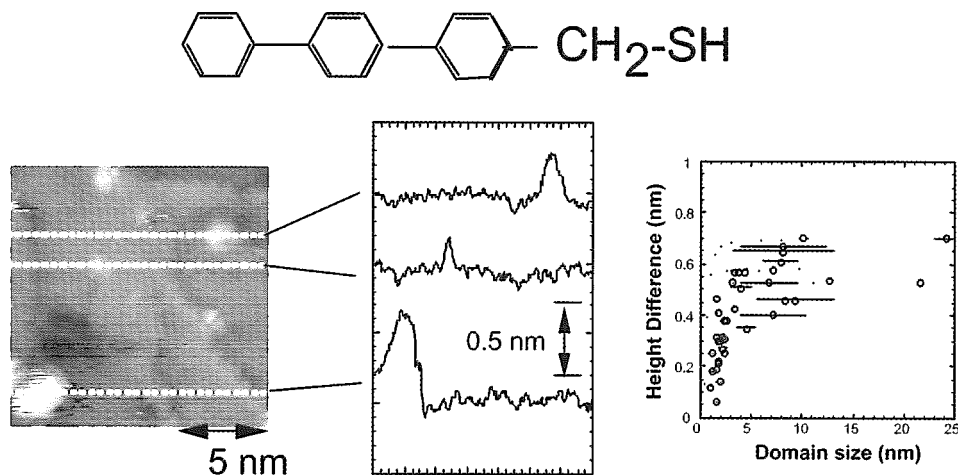


図1 ターフェニルメタンチオール分子とそのSTM像

アルカンチオール分子の小さい10-20nmの結晶構造の境目にターフェニルメタンチオール分子を埋め込むとドメインと呼ばれるターフェニルメタンチオール分子の小さな集まりや、一部は単一の分子が観察された。STMで観察されるターフェニルメタンチオールとアルカンチオール分子の見かけの高さの差は分子の本来の長さの差より大きくなる。このとき、この見かけの高さの差がターフェニルメタンチオール分子の作るドメインのサイズに依存して大きくなることを見いだした。この現象を利用すると分子の電気伝導、特に一つ一つの分子の電気伝導だけでなく分子間の電気伝導をも見積もることがで

ることがわかった。

ターフェニルメタンチオール以外にもベンゼン環を持つ様々な分子の電気伝導性を測定した。また、STMだけでなく導電性のカンチレバーを用いた原子間力顕微鏡においてもSAMの電気伝導を測定し、比較的大きな負性抵抗などの興味深い物理現象も見いだした。

3. 単一分子素子を目指した可動部分をもつSAMの作成

更にロタキサンと呼ばれる軸と環の部分を持つ分子を同じように金の基板の上に並べることに成功した。この分子は光照射で軸と環の間に電子移動が生じることも確認されており、軸と環の位置関係が変わることにより電気伝導などの性質が変わることが予想され、この分子を利用した単一分子のトランジスタの実現に努力している。

4. その他の成果

この他にも(1)新規なSAMの一つとして炭素材料の一つであるダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜上へのSAM形成に成功した。(2)ターフェニル誘導体を用いてSAMの熱的安定性の向上に成功した、等の成果を上げた。

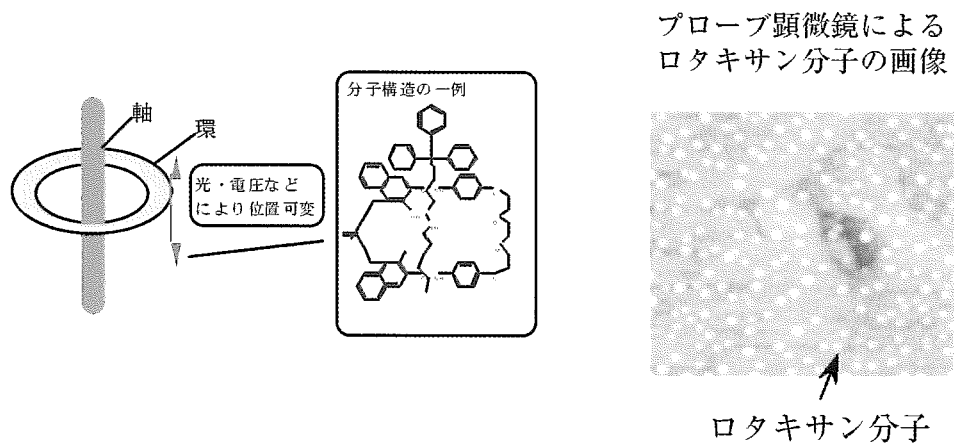


図2 ロタキサン分子の概念図とそのAFM像

さきがけ研究期間中の主な論文

1. Lateral Electrical Conduction in Organic Monolayer T. Ishida, W. Mizutani, U. Akiba, K. Umemura, A. Inoue, N. Choi, M. Fujihira and H. Tokumoto J. Phys. Chem. B103 (1999) 1686.
2. Co-Adsorption Process of Molecules in Relation to Formation of One Dimensional Structures in the Self-Assembled Monolayers on Au (111) T. Ishida, W. Mizutani, H. Azebara, H. Hokari, U. Akiba, M. Fujihira, I. Kojima and H. Tokumoto Appl. Surf. Sci. 144/145 (1999) 439.
3. Low-Dimensional Structure Formation in the Self-Assembled Monolayers on Au (111) T. Ishida, W. Mizutani, N. Choi, H. Ogiso, H. Azebara, H. Hokari, U. Akiba, M. Fujihira, I. Kojima and H. Tokumoto Colloids and Surfaces A 154 (1999) 217.
4. Lateral Conduction Model for Intermolecular Interaction of Self-Assembled Monolayers W. Mizutani, T. Ishida and H. Tokumoto Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) 3892.
5. High-Resolution X-ray Photoelectron Spectra of Organosulfur Monolayers on Au (111): S (2p) Spectral Dependence on Molecular Species T. Ishida, N. Choi, W. Mizutani, H. Tokumoto, I. Kojima, H. Azebara, U. Akiba, H. Hokari, and M. Fujihira Langmuir 15 (1999) 6799.
6. Local Solvation Shell Measurement in Water using a Carbon Nanotube Probe S. P. Jarvis, T. Uchihashi, T. Ishida, H. Tokumoto and Y. Nakayama J. Phys. Chem. B104 (2000) 6091.
7. Atomic Force Microscopic Observation of Single-walled Carbon Nanotubes using Carbon Nanotube Tip N. Choi, T. Uchihashi, H. Nishijima, T. Ishida, W. Mizutani, S. Akita, Y. Nakayama, M. Ishikawa and H. Tokumoto Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) 3707.
8. Insertion Process and Electrical Conduction of Conjugated Molecules in n-Alkanethiol SAMs on Au (111) T. Ishida, W. Mizutani, H. Tokumoto, N. Choi, U. Akiba, and M. Fujihira J. Vac. Sci. Technol A18 (2000) 1437.
9. Structural Effects on Electrical Conduction of Conjugated Molecules Studied by Scanning Tunneling Microscopy T. Ishida, W. Mizutani, N. Choi, U. Akiba, M. Fujihira and H. Tokumoto, J. Phys. Chem. B104 (2000) 11680.

10. Molecular Packing of Semifluorinated Alkanethiol SAMs on Gold: Influence of Alkyl Spacer Length K. Tamada, T. Ishida, W. Knoll, H. Fukushima, R. Colorado, Jr., M. Graupe, O. E. Shmakova and T. R. Lee *Langmuir* 17 (2001) 1913.
11. Frequency Modulation Detection Atomic Force Microscopy in the Liquid Environment S. P. Jarvis, T. Ishida, T. Uchihashi, Y. Nakayama and H. Tokumoto *Appl. Phys. A* 72 (2001) S129.
12. Electric Dipole Layer on Au (111) Surface W. Mizutani, T. Ishida, T. Uchihashi, N. Choi, and H. Tokumoto *Appl. Phys. A* 72 (2001) S181.
13. Adsorption Process of Self-Assembled Monolayers Made from Terphenyl Derivatied Thiols T. Ishida, W. Mizutani, H. Azehara, F. Sato, N. Choi, U. Akiba, M. Fujihira and H. Tokumoto, *Langmuir* in press.
14. Annealing Effect of Self-Assembled Monolayers Generated from Terphenyl Derivatied Thiols on Au (111) T. Ishida, H. Fukushima, W. Mizutani, S. Miyashita, H. Ogiso, K. Ozaki and H. Tokumoto submitted to *Langmuir*
15. Electrical Conduction of Conjugated Molecular SAMs Studied by Conductive Atomic Force Microscopy T. Ishida, W. Mizutani, Y. Aya, H. Ogiso, S. Sasaki and H. Tokumoto submitted to *J. Phys. Chem. B*
16. Molecular Arrangement and Electrical Conduction of Self-Assembled Monolayers Made from Terphenyl Thiols T. Ishida, W. Mizutani, H. Azehara, K. Miyake, Y. Aya, S. Sasaki and H. Tokumoto submitted to *Surf. Sci.*
17. Self-Assembled Monolayer on a Diamond like Carbon Surface T. Ishida, J. Choi and T. Kato to be submitted
18. 自己組織化単分子膜?Self-Assembled Monolayer (SAM) : 新しい単分子膜形成技術とナノスケールの構造制御
石田敬雄 石油学会 ペトロテック 23 (2000) 116.