

## 研究課題別評価

1. 研究課題名：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
2. 研究者氏名：石田 敬雄
3. 研究のねらい

走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いて原子や分子を動かすことが可能になった。もし、有機分子一つ一つをトランジスタとして働かせ、たくさん並べることが出来れば、現在のコンピュータ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及び記録媒体を作成することが可能となる。これらの有機分子一つ一つが、STM の技術を用いることでトランジスタとして動くかどうかを検証出来れば非常に興味深い。また、これら分子を、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。最終的には、これまで概念として提唱されているだけであった単一分子素子を形成し、その動作確認をすることも可能となる。また、自己組織化膜の工業的応用 (表面撥水性の発現、新しい潤滑材料) を目指した研究も重要であり、その点についての展開も行った。

## 4. 研究結果および自己評価：

本研究を通して得た結果の中で、重要な論文とその内容の概略は、以下の下線で示した物である。上付き番号は、本報告書の6項にある番号を示している。

- (1) 機能性分子 (ターフェニル・ロタキサン等) をアルカンチオール SAM に埋め込み、その集積化を試み、構造の作り替え (ドット構造・1次元構造) に成功した。
- (2) STM を用いてアルカンチオール SAM に埋め込んだターフェニル誘導体分子の電気伝導性測定法を見い出し、それらのナノスケール電気伝導性について議論した<sup>1,3)</sup>。
- (3) 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た。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。
- (4) 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。
- (5) 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、従来の高分子潤滑剤に近い摩擦係数が得られた。
- (6) 可動性のターフェニル誘導体を SAM の中に埋め込み、分子の動きを利用した単一分子素子の動作確認に成功した。

## 自己評価

単一分子素子という極めて難しい課題を目標にしたために、実質的に3年間で出来たことはその取りかかり部分や要素技術の一部でしかなかったことは悔やまれる部分でもある。しかし、この単一分子エレクトロニクスというリスクではあるが夢のある分野や自己組織化という言葉がさきがけ研究期間中に非常に内外で注目されてきた。そのことはこのテーマ選択が誤っていなかったということを示していると思う。今後 STM などの手法のみならず、集積化や微細電極作製などとも組み合わせ、最終的な単一分子素子にも挑戦したい。また自己組織化膜の工業的応用まで考慮した

ターフェニル分子の耐熱性や DLC 上の SAM 形成なども手がけ、この自己組織化膜を表面科学の基礎研究だけでなく、残念ながら特許出願は出来なかったが、産業にもつなげる努力をしたことについては評価したい。

## 5. 領域総括の見解

有機分子を電子機能素子として利用する分子素子のアイデアは新しいものではなく、既に内外で数多くの野心的な試みがなされてきている。しかし、その実用性については、いまだに希望論と懐疑論が半ばしている現状である。本研究計画の特徴は、走査型トンネル顕微鏡、原子間力顕微鏡による高度な単分子操作技術を駆使して、特定の基板上に形成された自己組織化分子集積膜の電子機能性を評価し、将来の工学的応用に必要な諸条件を考慮しながら、単分子エレクトロニクスの実現に向かっての着実な展開を図ろうとするところにある。有機化学、表面科学、物性物理など広範囲な学際領域にわたる未踏分野の研究であり、3年間の研究期間で最終目標が達成される種類の提案ではなかったが、研究戦略が具体的で、かつ予想される多くの困難に挑戦しようとする積極的意欲が評価されて、本領域の研究者に採択された。その成果は、自己評価にも述べられているように最終目的達成の道半ばにあるが、“さきがけ研究”ならではのいくつかの重要な知見が得られ、内外の研究者から注目されている。将来の研究展開の基礎が達成されたと言える。

## 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) 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.

### 3) 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.

### 4) Adsorption Process of Self-Assembled Monolayers Made from Terphenyl Derivatied Thiols

T. Ishida, W. Mizutani, H. Azebara, F. Sato, N. Choi, U. Akiba, M. Fujihira and H. Tokumoto,  
Langmuir 17 (2001) 7459.

他 17 報 (計 21 報)

招待講演・依頼講演など

国際学会 Electrical Conduction of Self-Assembled Monolayer Made from Conjugated Molecules

T. Ishida, W. Mizutani, N. Choi and H. Tokumoto 第 3 回産研国際シンポジウム 大阪・大阪大学  
2000 年 3 月 等

計 8 回

受賞 2001 年度 JRCAT 賞

石田敬雄 水谷 亘

「有機機能性分子の自己組織化を利用したナノ構造形成の研究」