

# 分子ワイヤ・シンセサイザー

坂口 浩司

愛媛大学 大学院理工学研究科

## 研究目標

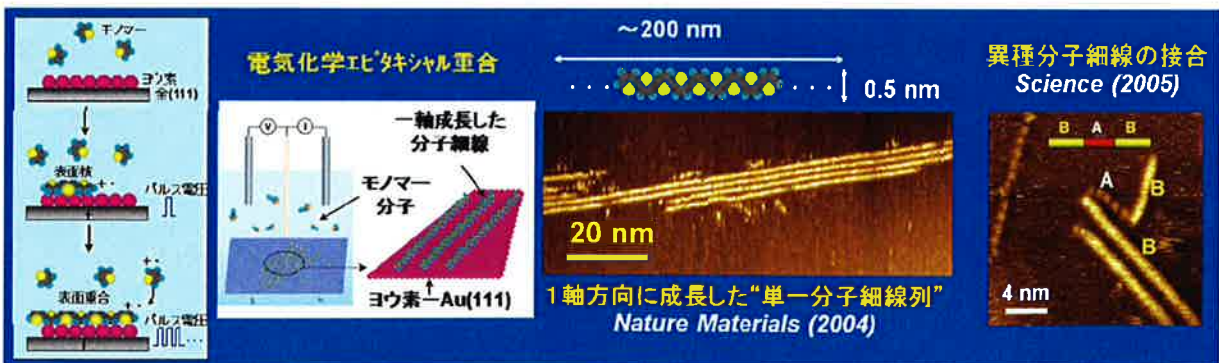
有機材料は人間との調和性を持つ電子デバイスとしての応用が期待される材料である。しかしながら現在得られている有機材料の性能指数は低く、実用化にまだ遠い道のりがある。本研究では、電気化学を用いる表面エピタキシャル重合技術、微細転写技術らを融合し、“分子ワイヤーを絶縁基板上に単一分子レベルで大面積に作り・並べ、分子末端に電極を接続する”画期的な分子レベルプロセス技術“分子ワイヤ・シンセサイザー(分子細線製造機)”を開発し、機能化を目指す。

## 成果

電気化学は液相中に溶解させた物質を外部電場で制御しながら基板に堆積させることが出来る有効なナノ構造構築法である。これまで様々な方法を使って導電性高分子の細線を構築する試みが行われてきたが、そのサイズ幅は数十 nm であり1分子レベルには程遠かった。我々は電気化学を用い液相中で1本の導電性高分子を長さ・密度・方向・形を電気パルス印加により制御しながら大面積に形成させる新しい技術“電気化学エピタキシャル重合”を開発した。この技術はモノマー(分子細線原料)を含んだ電解質溶液中において、ヨウ素原子で表面修飾した原子平坦金属電極にパルス電圧を印加することにより、基板の表面原子配列に沿ってモノマーの逐次的な電解重合を起こさせ単一分子細線を形成させる原理に基づいている。具体的には次ページに示す1から4の成果を挙げた。

本研究は、従来困難であった、金属表面での1分子細線形成法の学理と応用を目指すチャレンジングなテーマであり、世界に先駆けて開発することができた。また著名雑誌掲載や学会誌解説、国際(国内)会議招待講演、著書、メディア報道など世界で認知された。これを基に類似研究も世界で行われている。以上から目的は8割方できたと考える。

今後は、本制度で得られた成果を基にして機能化についての展開を更に進めていきたい。またこの原理を基にして未知の新規材料の分子レベル合成へと展開していく予定である。



## 1. 電極上に一軸成長させた分子ワイヤー

人為的に核を表面上に埋め込み、1軸方向に成長した最長で200nmの長さを持つワイヤーを生成させることに成功した。ほとんどの分子が1軸方向に成長するため成長ワイヤー間での衝突が少ない。このため長いワイヤー成長が可能になった。

## 2. 異種分子ワイヤーの1分子連結

2段階(連続浸漬型)の電気化学エピタキシャル重合を開発し、2種類の異なるチオフェンモノマー溶液を用いて電子状態・構造の異なる2種類のポリチオフェンを電極基板上で1分子レベルで連結することに初めて成功した。またポリチオフェンねじれ構造の可視化にも初めて成功した。

## 3. 単一分子ワイヤーの電気化学的エピタキシャル堆積

ヨウ素一金(111)基板上の単分子層を鋳型にして、その上に分子ワイヤーの成長が始まる。印加パルス数を増加させると分子ワイヤーの積層が1分子レベルで続き、1軸配向を維持したままの分子ワイヤーの1軸配列構造が得られることに成功した。

## 4. 絶縁基板上への分子スケール転写

電極上に形成させた分子ワイヤーを分子レベルでの構造を保持したまま、表面酸化シリコン、ガラス、高分子などの絶縁性基板に分子レベルで転写することに成功した。

### 発表論文(主なもの)

1. "Direct Visualization of the Formation of Single-Molecule Conjugated Copolymers", H. Sakaguchi, H. Matsumura, H. Gong, A. Abouelwafa, *Science*, 310, pp.1002-1006 (2005).
2. "導電性高分子ナノワイヤ・アレイ", 坂口浩司, *応用物理*, 75(12), pp.1461-1464 (2006).
3. "単一導電性高分子細線の電気化学重合", 坂口浩司, *表面科学*, 27(10), pp.572-575 (2006).
4. "単一分子ワイヤー", 坂口浩司, *高分子*, 56(665), pp.420-423 (2007).

### 国際会議招待講演(主なもの)

5. "Electrochemical Epitaxial Polymerization of Single-Molecular Wires", H. Sakaguchi, *3<sup>rd</sup> International Conference of Molecular Electronics*, Grenoble, France (2006).
6. "Electrochemical Epitaxial Polymerization of Single Conjugated-Polymer Wires on Surface", H. Sakaguchi, *8<sup>th</sup> International Conference on Nano-Molecular Electronics*, Kobe, Japan (2008).
7. "Electrochemical Epitaxial Polymerization of Single-Molecular Wires", H. Sakaguchi, *International Symposium on Engineering Micro/Nano-Materials based on Self-Assembling and Self-Organization*, Tokyo, Japan (2008).

### 著書(主なもの)

8. 坂口浩司,「有機エレクトロニクス実現への新展開」情報機構, 256 (2007).
9. 坂口浩司,「導電性高分子」技術情報協会, 76 (2007).
10. 坂口浩司,「進化する有機半導体」エヌティーエス出版, 456 (2006).

### メディア報道

11. JST基礎研究最前線 [www.jst.go.jp/kisoken/seika/zensen/12sakaguchi/index.html](http://www.jst.go.jp/kisoken/seika/zensen/12sakaguchi/index.html)
12. 朝日新聞 2005.11.11 "極微プラ電線つながった"