



# 有機エレクトロニクスに向けた ナノスケール制御による 電気伝導の研究

ナノテクノロジーとナノサイエンスの基礎探索と応用展開

塚越 一仁

独立行政法人理化学研究所 分子システムエレクトロニクス研究ユニット  
〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1  
Tel.048-462-1111 ext.8976 Fax.048-467-5893  
e-mail tsuka@riken.jp

## はじめに

ナノスケールの加工技術と評価技術を構築することで、ナノスケール物質の特性を引き出すことが可能となります。例えば、直径が1nmにも満たないフラーレンに電極を作製すると、小さなユニット固有の電気特性を引き出せます。このナノユニット伝導の追及は、未来の分子スケールエレクトロニクスへの新しい展開を拓くための基礎となるだけでなく、得られた知見や技術を近未来エレクトロニクス実現のための技術開発に展開することもできます。我々は微細加工技術を追及し、ナノ炭素材料の電気伝導を調べました。特に電極界面の伝導に着目して蓄積した技術や知識を展開して、フレキシブルエレクトロニクスの鍵となる有機薄膜トランジスタの特性制御を追求しました。本紹介ではこれらを紹介します。

## 研究の成果

### 1. ナノ加工技術開発と

#### ナノ炭素材料の電気伝導

ナノ炭素材料であるフラーレン、カーボンナノチューブ、グラファイト超薄膜は、それぞれゼロ次元、1次元、2次元伝導体であり、特異な電子状態を有しております。しかし、それらのナノ炭素材料に精密に電極を作製し電流を注入して電気伝導を評価することは極めて困難であり、物質の本質を知るために素子作製技術や端子材料探索などが必要でした。我々は微細加工を工夫し精密電極作製法を開発しました(図1)。特に電極材料を探索し、電極金属とナノ炭素材料との界面の電流注入機構の解明を追及しました。1次元伝導体であるナノチューブではスピンコヒーレント伝導を検出し、収束イオンビームを用

いた高再現性精密電極作製法による約2nmギャップ電極での2連結フラーレンではスピン相関伝導の計測に成功しました。

### 2. ナノ伝導体電極を用いた 分子微結晶トランジスタ

ナノ物質への電流注入は、ナノスケール伝導体を電極として用いる挑戦へと発展し、微細なナノ有機結晶への電流注入を行いました(図2)。ナノチューブ電極は、1本のナノチューブに精密に金属電極を接続し、ナノチューブの中間点を過電流で消失させて10-20nmのギャップを作製しました。成長温度を制御してペンタセンを

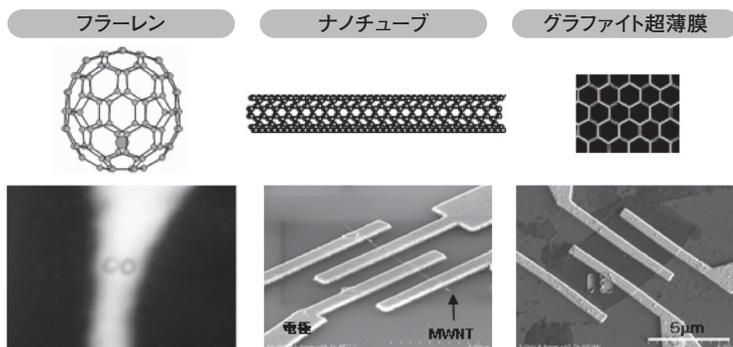


図1 微細加工によって作製した0次元(フラーレン)、1次元(カーボンナノチューブ)および2次元(グラファイト超薄膜)の電気伝導評価試料

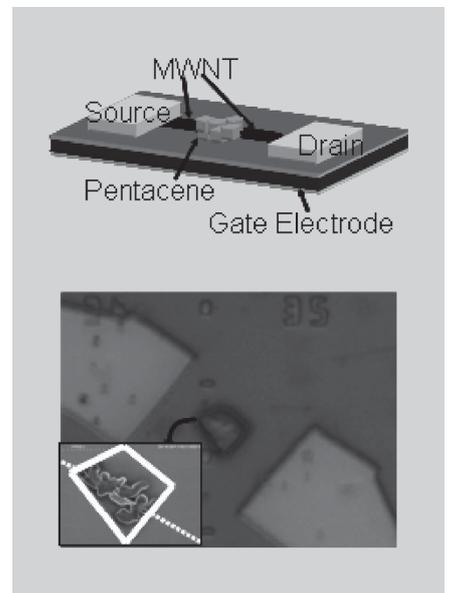


図2 カーボンナノチューブを電極としたペンタセンナノ微結晶チャネルトランジスタ

図3 有機薄膜加工用レーザーパターンニングシステムの概略図(a)とペンタセン、フラレン、ポリチオフェン薄膜のパターンニング例(b)。(c)本方法で作製した端子抵抗評価トランジスタ。

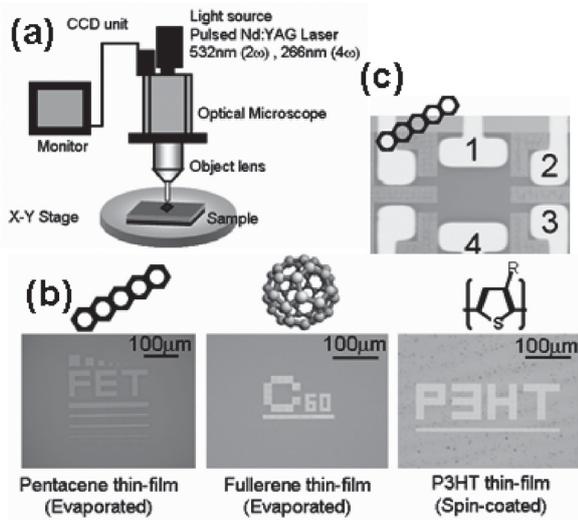
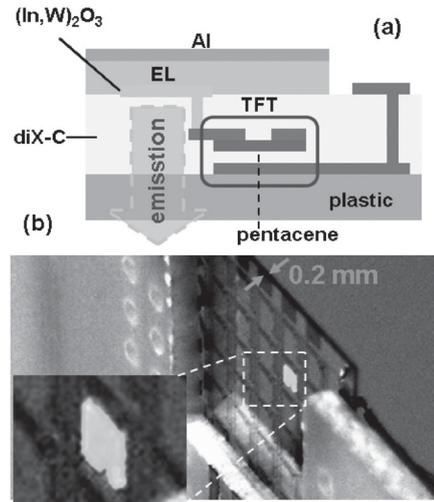


図4 保護膜を介してプラスチック基板上に室温で積層した有機トランジスタと有機発光素子の概略図(a)。有機トランジスタの制御で有機発光素子を駆動(b)。電極界面制御による特性向上によって、有機発光素子を駆動できた。



蒸着すると、基板には付着せずナノチューブ周辺だけに選択的に成長し、ナノチューブのギャップも連続的に繋がりました。このナノチューブ電極ペンタセンナノ結晶は、制御性の良い短チャネルトランジスタとして動作しました。

### 3. 分子薄膜の加工技術開発と有機薄膜トランジスタの電流注入電極評価

電流注入を行う電極端子と有機薄膜の界面は有機トランジスタにおいて最も重要な界面です。この界面にトランジスタ特性は因り、素子特性は揺らぎます。このため電極界面での電流注入メカニズムの解明と制御が応用展開を決めます。電流注入機構の解明のため、加工ダメージを与えることなく精密パターン形成が可能なレーザーパターンニング装置を造りました(図3)。通常のソースとドレイン電極に加えて、2本の電圧測定電極を接続した素子を作り、ゲート電圧印加によってチャネル抵抗に加えて端子抵抗も大きく変調することを見出しました。これは金属端子と分子薄膜の界面にゲート電圧に依存する注入障壁の存在を示しています。レーザーパターンニング法は有機薄膜トランジスタの基礎評価素子作製に活用されていますが、有機トランジスタの作製工程での素子修正法としての展開も期待できます。

### 4. 電極界面制御有機トランジスタによる有機発光素子駆動

これまで電極界面の研究蓄積を基にして、有機薄膜トランジスタのプラスチック基板上での特性制御を試みました(図4)。この基板上で有機薄膜素子を再現性よく作るためには、基板からのガス放出や基板の歪みの制御が不可欠です。基板温度を室温に保つことで、この影響を最小限に出来ませんが、ペンタセン多結晶粒が小さくなり電界効果移動度が低下します。移動度の低下を端子界面へのナノスケール分子ドープ膜の注入で解決しました。電極界面に7,7,8,8-テトラシアノキノジメタン(TCNQ)の導入で電界効果移動度は大きく向上しました。さらに精密ドープ制御で、端子での電流注入機構の解明に達しつつあります。端子電流注入を制御したトランジスタをアレイ状に配置し、各々のトランジスタ接続した有機発光素子の発光制御を行いました。さら

なる電流注入機構の解明とその制御の追及によって、プラスチックエレクトロニクスの動作向上を目指しております。

### まとめと今後の展望

集積された機能単分子素子の実現は、長期的な挑戦的研究です。しかし、この挑戦から得られた技術を余すことなく利用することで、分子薄膜素子などへの技術展開が可能となります。特にプラスチック表示素子は、紙メディアの次を担う次世代情報メディアへの発展が期待されています。地球上の自然環境を保ちながら広く情報発信していくために、リライタブルメディアは重要です。実現には金属とチャネル分子間の電子の注入制御がキーポイントなるでしょう。この技術展開を目指して、ナノサイエンスとナノテクノロジーの融合さらに化学、物理、産業の融合を追求していきます。

### References (参考文献)

- [1] K.Tsukagoshi, K.Shigeto, I.Yagi, and Y.Aoyagi, Appl.Phys.Lett. 89, 113507(2006)
- [2] K.Tsukagoshi, J.Tanabe, I.Yagi, K.Shigeto, K.Yamagisawa, and Y.Aoyagi, J.Appl.Phys. 99, 064506 (2006)
- [3] A.Yu.Kasumov, K.Tsukagoshi, M.Kawamura, T.Kobayashi, Y.Aoyagi, K.Senba, T.Kodama, H.Nishikawa, I.Ikemoto, K.Kikuchi, V.T.Volkov, Yu.A.Kasumov, R.Deblock, S.Guéron, and H.Bouchiat, Phys.Rev.B 72(Rapid commun.), 033414, (2005)
- [4] I.Yagi, K.Tsukagoshi, and Y.Aoyagi, Appl.Phys.Lett. 84, 813(2004)
- [5] A.Kanda, K.Tsukagoshi, Y.Ootuka, and Y.Aoyagi, Phys.Rev.Lett. 92, 036801 (2004)
- [6] K.Tsukagoshi, B.W.Alphenaar, and H.Ago, Nature 401, (6753)572(1999)