

## 研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： ナノ界面・電子状態制御による高速動作有機トランジスタ

2. 研究代表者： 塚越 一仁 ((独)物質・材料研究機構国際ナノアーキテクニクス研究拠点 主任研究者)

### 3. 研究概要

次世代プラスチックエレクトロニクスの中核デバイスである有機トランジスタの動作原理解明と制御のための基礎研究を進めている。従来の有機トランジスタ研究は、多種有機材料の化学合成と伝導評価を中心として進められていたが、エレクトロニクスへの応用展開には金属と有機材料との接触抵抗が極めて高いため致命的になりかねないにもかかわらず、伝導機構の解明や対策に関する研究が全くなされていない。このため、本研究プロジェクトにおいては、有機トランジスタの電流注入の機構に注目し、端子抵抗の要因を解明して制御するための実験に集中している。

一般に、有機トランジスタでは金属電極のフェルミエネルギーと分子の HOMO(最高占有分子軌道)もしくは LUMO(最低非占有分子軌道)の順位が近いことで、金属から分子に電流を注入出来るとされている。このモデルは、数種の金属では説明が可能な様に見えるが、本研究グループは多種の電極を系統的に調べることで、従来モデルでは説明出来ない金属/有機接合を多数見出した。この実験結果を基にして、電極界面での電流注入機構の解釈を試みている。さらに、この解明した原理を自発的に満たしうる革新的な自己組織化を有効に使った「革新的な有機トランジスタ作製法」の開発も試みている。

さらに、有機トランジスタの光デバイス応用の探索や、パイ電子面内伝導物質の伝導探求を平行して進めることで、有機トランジスタの研究が相乗的に進展している。

### 4. 中間報告結果

#### 4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

金属/有機分子膜の接触抵抗の低下には界面状態の解明に焦点を絞り込み、独自の手法を用いて基礎的な成果を挙げており研究レベルは高いと評価出来る。また、このことは、これらが多数の国際会議招待講演として、公表され、国際的に見て、高い質の研究成果を出していることから判断される。

この研究によってこれまで避けられてきた重要な問題が解決することになれば、有機半導体の応用範囲は飛躍的に広がると考えられる。ナノ界面・電子状態制御に関わる共通技術を軸として 3 つの研究グループが有機デバイスの様々な機能をカバーし研究を推進する体制にあり、また遂行状況および代表者のリーダーシップも適当であると思われる。

#### 4-2. 今後の研究に向けて

有機半導体技術の発展のために界面状態の解明に焦点を絞込んだ当初の研究方針は明確であり正しいと考えられる。その結果、界面接合の問題を解消すれば、トランジスタのチャネル特性の問題が顕在化する。ゲート界面トラップのみならず半導体バルク欠陥の低減に努力され、単結晶トランジスタの高キャリア移動度、グラフェンのバリスティック伝導との組み合わせの実現に挑戦していただきたい。一方、発光トランジスタの研究で発光効率 80%の実現が記されているが、これが確かなことであれば大変な成果であるので、実用化に向け更に研究を進めて欲しい。有機半導体と金属の接触について、指導原理が確立できれば有機半導体分野に大きなインパクトをもたらす。後半はさらに物理や物理化学の専門家から知恵を借りるなど多方面からの追求も重視して展

開してほしい。

#### 4-3. 総合評価

当初、有機トランジスタへのチャンネルの微細化により高速動作を実現することを基本構想として研究を計画しているのに対して、有機半導体と電極界面での電荷注入機構を、高速動作を実現するためのブレイクスルーポイントとして捉え、有意義な知見を数多く見出しており、研究は概ね順調に進展していると認められる。さらに、当初計画では想定されていない 2 層グラフェンに対するゲート電界誘起バンドギャップ生成等、物質科学的に意義深い結果を生み出しており、高い研究レベルを示している。また、実用的な面で、デバイスの動作速度および安定性に関わる重要な知見を見出している。更に、その分野は、半導体にとどまらず、発光素子、スピニエレクトロニクスまで及んでおり、ナノ界面・電子状態制御に関わる共通技術を軸とした 3 つの研究グループが有機デバイスの様々な機能をうまくカバーしていると思われる。また、今後の研究の方向性についても明確であり、更なる連携の充実により素子の短チャンネル化・高速応答化の実証を実現いただきたい。