

有機半導体薄膜の結晶成長の解明と単結晶化

育成研究：JSTイノベーションサテライト岩手 平成18年度採択課題
「プリンタブル有機 TFT のための有機薄膜結晶制御技術の開発」

代表研究者：岩手大学・工学部 准教授 吉本則之



■ 研究概要

有機半導体材料を合成し、薄膜の構造解析を行うとともに薄膜トランジスタを作製し物性評価を行った。分子構造の僅かな違いが結晶構造や結晶全体の形状を劇的に変化させることを見だし、また、放射光を使ったX線回折実験により薄膜形成の初期過程の観察に成功した。これらの知見をもとに溶液からの有機半導体薄膜の単結晶化技術を開発し、有機トランジスタの特性向上を行った。

■ 研究内容、研究成果

印刷によって電子素子を作製する技術（プリンタブルエレクトロニクス）への期待が高まっている。有機半導体溶液をインクとし、プラスチック基板上有機薄膜トランジスタを印刷することにより、軽くて折り曲げられるディスプレイを実現することが可能である。しかしながら、現状の技術では、有機トランジスタの安定性や再現性、伝導特性が不十分であり、実用化への課題は多い。有機半導体薄膜の結晶成長を制御し単結晶化することができれば、これらの問題が解決され有機トランジスタの実用化が現実的になると考えられる。

本プロジェクトでは、系統的に分子構造を変化させた新規有機半導体化合物を合成し、これらの分子が形成する分子集合体の構造や成長メカニズムを明らかにすることで、有機半導体薄膜を単結晶化する技術を開発することを目的とした。特に、有機半導体分子が基板上で薄膜形成する初期過程を放射光を用いたX線回折法により詳細に調査することで、分子構造と結晶成長の関係を解明した。さらに、分子構造、結晶構造、膜の組織構造が有機トランジスタの伝導特性に及ぼす効果を明らかにし、安定性と高い機能を併せ持つ有機薄膜トランジスタを溶液プロセスで作製することを目指した。

20種類の新規有機半導体化合物を合成し、それぞれについて薄膜を作製し、微小角入射X線回折法(GIXD)により結晶構造を解明した。また、結晶構造の膜厚依存性を調査し、アルキル末端基を持つ有機半導体において、薄膜形成初期の1層目と2層目以降で結晶構造が異なることを明らかにした(図1, 2)。これらの結果から、有機半導体分子への置換基の導入にて、分子間相互作用の異方性にもなう分子集合体の表面エネルギーの異方性により、薄膜の成長メカニズムが変化することを明らかにした。さらに、溶液からの結晶成長の素過程を精査し、溶液中の温度勾配とバクル超伝導マグネットの磁場を使った薄膜作製技術を開発した(図3)。その結果、ミリメートルオーダーの単結晶薄膜の作製に成功した(図4)。得られた単結晶薄膜を用いて電界効果トランジスタを作製し、電気特性を評価した結果、TIPSペンタセンにおいて $1.8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高いホール移動度を実現した。これらの結果から、有機半導体分子の分子構造と構造、物性の相関が系統的に明らかになり、分子の異方性に基づいて、有機半導体化合物のより望ましい構造と物性を導く指導原理を獲得した。

■ 今後の展開、将来の展望

新たな有機半導体化合物の合成、探索を引き続き行い、安定性と高い伝導特性を併せ持つ材料の開発を行う。磁場を使った成膜技術にインクジェットプリンターを導入し、成膜の面積化を目指しつつ、有機トランジスタ以外の応用用途を開拓する。有機トランジスタについては、共同研究企業で展開している有機EL素子への搭載を目指す。一方、本プロジェクトで開発した成膜技術を開発し、企業と共同で分子配向制御による有機薄膜太陽電池の高効率化に取り組む予定である。

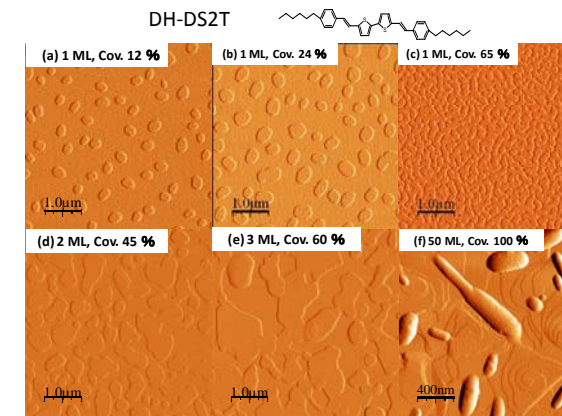


図1 有機半導体超薄膜の形成過程の原子間力顕微鏡による観察

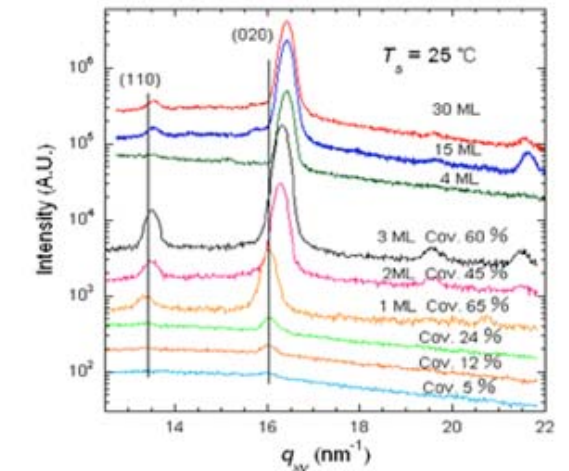


図2 有機半導体超薄膜の GIXD パターン. 初期層と2層目以降の構造が異なることを示す

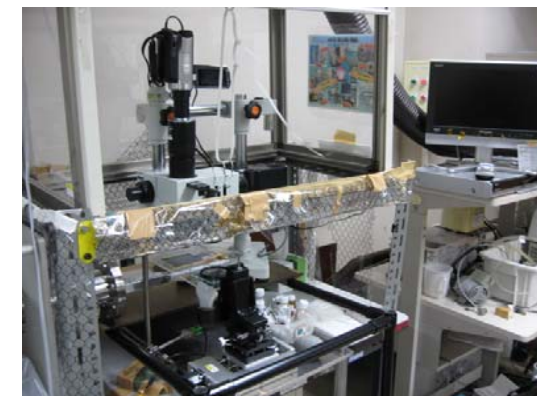


図3 磁場を使った有機半導体薄膜の成膜装置

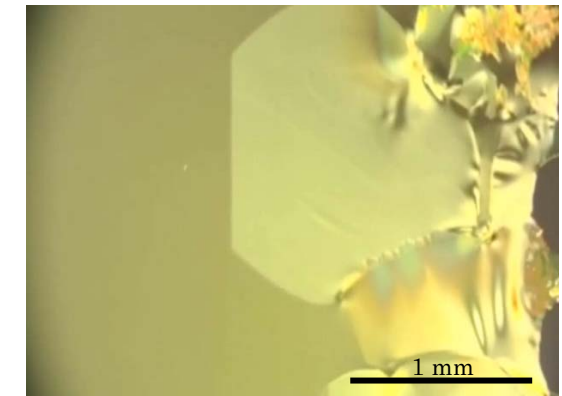


図4 磁場中成膜法によって作製した有機半導体単結晶薄膜

■ 研究体制

- ◆ 代表研究者
岩手大学・工学部 准教授 吉本則之
- ◆ 研究者
李万燕(科学技術振興機構)、荒木俊行(科学技術振興機構)、浅部喜幸(アルプス電気(株))、仲野陽(アルプス電気(株))、小川智(岩手大学・工学部)、藤代博之(岩手大学・工学部)、小金澤智之((財)高輝度光科学研究センター)、C. Videlot-Ackermann(CINaM)、J. Ackermann(CINaM)、F. Fages(CINaM)
- ◆ 共同研究機関
岩手大学、アルプス電気株式会社

■ 研究期間

平成19年4月 ~ 平成22年3月