

薄膜状有機単結晶の高移動度トランジスタ

大阪大学理学研究科 竹谷純一

takeya@chem.sci.osaka-u.ac.jp

【はじめに】

有機発光(EL)デバイスを利用したディスプレイの年内商品化が報道され、有機エレクトロニクスへの関心が益々高まっている。その中で有機トランジスタは、ディスプレイの発光制御デバイスなどの回路制御素子を低価格供給する次世代技術として期待されているが、論理演算素子などのさらに広範な応用を実現するためには、現在報告されている以上の素子性能が望まれる。当グループでは、一般に用いられる有機多結晶薄膜の代わりに薄膜状の有機半導体単結晶を用いることにより、結晶粒界などの外部要因を排除した有機材料本来の電子伝導性能を追及している。今回、純良な有機単結晶を用いて、有機トランジスタとしては最高の移動度(30-40 cm^2/Vs)を実現したので、デバイス構成手法と高移動度キャリア伝導のメカニズムについて紹介する。

【薄膜状有機単結晶】

薄膜状のルブレ単結晶は、Physical Vapor Transport 法により作製した。図1のように管状電気炉内に温度差をつけて、高温部で昇華させた分子をアルゴンガスフローによって低温部を送り、結晶化する。温度とフローレートを調節することによって、厚さ $1 \mu\text{m}$ 以下の薄膜状の小型単結晶(数百 μm 角程度)を多数成長することができる。得られた結晶の透過 X 線回折スポットを図2に示す。図3のルブレ単結晶の構造を反映した回折スポットが得られ、実際に単ドメインの単結晶が得られていることが分かる。現在、基板上に小型単結晶を敷き詰める方法も検討中であるが、以下には1枚の薄膜状結晶をあらかじめ電極を構成した SiO_2 基板上に注意深く貼り付けることによって作製したデバイスについて、トランジスタ特性を示す。

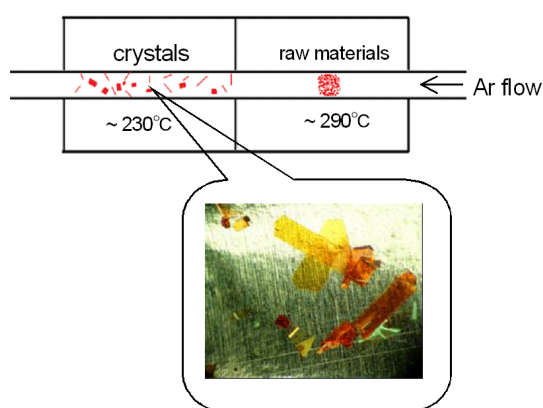


図1 Physical Vapor Transport 法による
薄片状ルブレ単結晶の成長

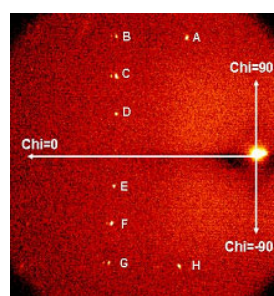


図2 薄片状ルブレ
結晶の透過 X 線
回折スポット

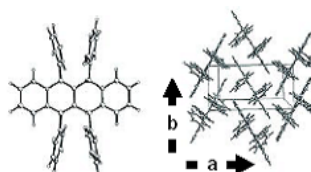


図3 ルブレの分子構造と結晶構造

【自己組織化単分子膜の利用と高移動度トランジスタの実現】

高移動度のキャリア伝導を実現するため、単結晶成長を繰り返すことによって結晶の純度を高めるとともに、ドライプロセスによってアルキルシラン自己組織化単分子膜を SiO₂ 絶縁膜上にコートした。自己組織化単分子膜は、SiO₂ 絶縁膜の欠陥による半導体表面のキャリアトラップによる悪影響を軽減する効果があり、より理想的なキャリア伝導が期待できる。

図 4 には、最も高いキャリア伝導度を示したデバイスについて、そのゲート電圧に対する依存性(伝達特性)を示す。負のゲート電圧を加えてキャリアが注入されるに従って増える伝導度の増加率からキャリアの移動度を求めると、低ゲート電圧領域で 40 cm²/Vs に達する。なお、高ゲート電圧を加えると移動度は低下する傾向が現れている。低ゲート電圧下では、熱拡散のためにキャリアが比較的結晶内部にまで分布しているのに対し、高ゲート電圧下ではキャリアはゲート絶縁膜との界面近傍に局所的に分布することが簡単な静電ポテンシャルの考察から導かれる[1]。従って、ゲート絶縁膜との界面における余計な散乱がない結晶内部において、より高移動度のキャリア伝導が実現していると考えられる。即ち、本実験で得られて高い移動度は、分子配列の周期性が最も高い、高純度有機単結晶の結晶内部において実現していることになる。なお、ホール効果によってキャリア密度を直接計測する実験においても同様な結果が得られている[2]。結晶内チャンネルを利用することは、有機単結晶トランジスタの更なる高移動度化にも有効な手法になると考えられる[3]。

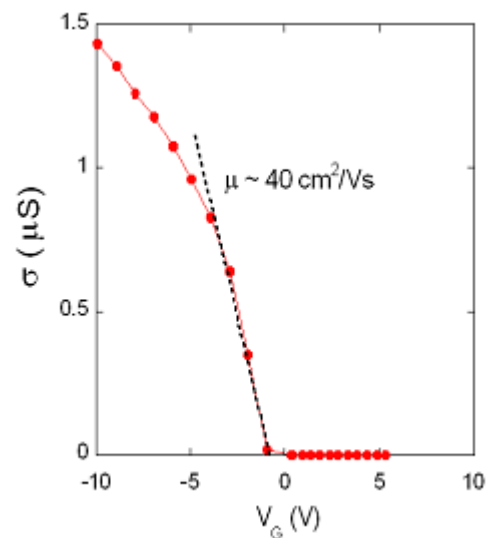


図 4 高移動度ルブレン単結晶トランジスタの伝達特性

【参考文献】

- [1] J. Takeya, M. Yamagishi, Y. Tominari, R. Hirahara, Y. Nakazawa, T. Nishikawa, T. Kawase, T. Shimoda, and S. Ogawa, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 102120 (2007).
- [2] J. Takeya, J. Kato, K. Hara, M. Yamagishi, R. Hirahara, K. Yamada, Y. Nakazawa, S. Ikehata, K. Tsukagoshi, Y. Aoyagi, T. Takenobu, and Y. Iwasa, *Phys. Rev. Lett.*, in press.
- [3] M. Yamagishi, J. Takeya, Y. Tominari, Y. Nakazawa, T. Kuroda, S. Ikehata, M. Uno, T. Nishikawa, and T. Kawase, *Appl. Phys. Lett.* in press.