

活性層に導電性高分子を用いた有機電界効果トランジスタの作製とその性能評価

Performance and Fabrication of Organic Field Effect Transistor with Conductive Polymer Thin Film as Organic Semiconductor Layer

落合鎮康、小嶋憲三
Shizuyasu OCHIAI † and Kenzo KOJIMA †,

Abstract An organic field effect transistor was prepared with poly (3-hexylthiophene) thin film as the semiconductor layer, polyimide thin film as the gate insulating layer and Au as the drain, source and gate electrode. The poly (3-hexylthiophene) and polyimide thin films are fabricated with the solution method. The carrier mobility of the organic field effect transistor prepared is $9.94 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$. The ON / OFF ratio is 2×10^2 . As compared with the carrier mobility reported until now, the value of carrier mobility estimated in this paper is excellent. However, the ON/OFF ratio obtained is poor. This may cause either the leakage current in the polyimide thin film to increase in size or the bulk current of poly (3-hexylthiophene) thin film to become large.

1. 緒言

近年、有機半導体材料を用いた有機電界効果トランジスタ (OFET) が大きな注目を集め、研究、開発が盛んに行われている。¹⁾

有機材料は軽量・柔軟性・耐衝撃性に優れ、大面積化、低温プロセスが可能である。それゆえに新時代のエレクトロニクス材料として有望である。最近では有機太陽電池や電子デバイスへの応用が挙げられる。特に、有機エレクトロルミネッセンス (EL) ディスプレイは有望視されており、有機EL素子が部分的ではあるが実用化の段階にある。有機電界効果トランジスタ (OFET) では、フレキシブル性、軽量性を生かした応用機器として電子ペーパーやフレキシブルディスプレイ、無線識別タグ等といった携帯用電子機器や微小センサ、生体分子の持つ特異な機能を利用するバイオセンサ等の医療分野にも幅広く応用が検討されている。^{2~4)}

本研究では、チオフェン環を有する導電性高分子のポリ (3-ヘキシルチオフェン) (P3HT) で、溶液法により有機電界効果トランジスタ (OFET) を作製し、その性能を評価する。

2. 実験方法

本研究では、有機電界効果トランジスタ (OFET) の基板に Polyethylenephthalate (PEN) を用いた。PEN 基板をエタノール、純水の順番で各々 20 分間音波洗浄した。その後、PEN 基板上に真空蒸着方法で金を 150nm 堆積し、ゲート電極とした。その上に、ゲート絶縁層として、スピコート法 (回転数: 5000rpm, 回転時間: 50sec) により、Polyimide (PI) を 700nm 厚で成膜し、オープン 100°C 15 分その後 180°C で 2 時間乾燥した。シャドーマスクと蒸着材料に金を用い、

真空蒸着方法により PI 薄膜上にソース・ドレイン電極を 30nm 厚で蒸着した。OFET のチャネル長を 50 μm 、チャネル幅を 1 μm とした。有機半導体材料として、Poly (3-hexylthiophene) (P3HT) を用いた。P3HT 薄膜はクロロフォルムに溶かされた P3HT 溶液で、ドロップキャスト法により、ソース・ドレイン電極上に 170nm 厚で成膜した。Fig. 1 に P3HT の分子構造を示す。今回、P3HT を用いる理由は、その電子構造と骨格のコンフォメーションとの間に強い相互作用を有し、P3HT 薄膜において高導電率が得られる可

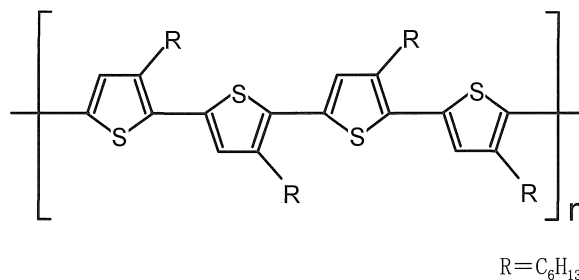


Fig. 1 Molecular structure of Poly(3-hexylthiophene)

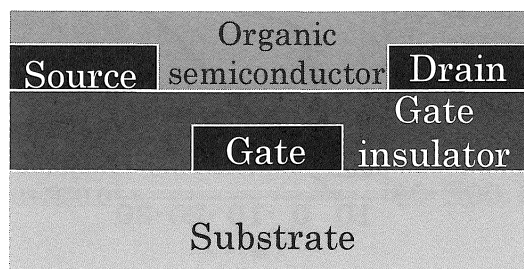


Fig. 2 Schematic cross section of bottom-contact OFET

† 愛知工業大学 工学部 電気学科 (豊田市)

性能が高いこと、側鎖にアルキル基を有しているので、有機溶媒可溶であることを上げる事が出来る。Fig2にボトムタイプ型OFETの断面図を示す。

3. 実験結果及び考察

Fig 3にP3HTの濃度を変えて測定したボトムコンタクト型有機電界効果トランジスタ (OFET) の出力特性を示す。作製したトランジスタの電界効果移動度は次式 (1) より算出される。

$$\mu = \frac{2LI_{DS}}{WC_i(V_G - V_{th})^2} \dots (1)$$

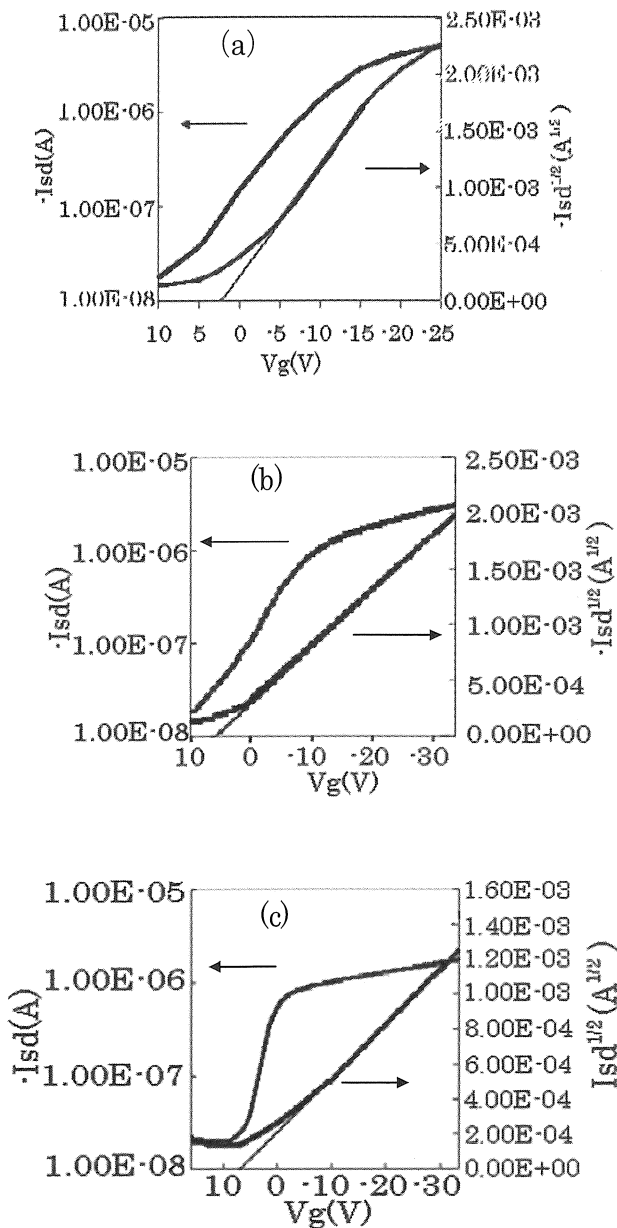


Fig. 3 Transfer characteristics of P3HT-OFETs prepared by the P3HT solutions with P3HT concentrations of (a) 0.1 wt %, (b) 0.2wt%, and (c) 0.3wt%.

ここで、Lはチャンネル長、 I_{DS} は飽和領域におけるドレイン電流値、Wはチャンネル幅、 C_i はゲート絶縁膜の単位面積あたりの容量、 V_G はゲート電圧、 V_{th} は閾値電圧である。濃度0.1wt%で作製されたOFETの移動度は $0.0087\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、閾値電圧3Vになる。次に濃度を0.2wt%、1.0wt%と変化させてOFETの出力特性を測定すると、0.2wt%では、移動度 $0.012\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、閾値電圧7V、1.0wt%では、移動度 $0.013\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、閾値電圧8Vになった。Fig4より濃度の上昇に伴い移動度の向上が見られる。これは、P3HT溶液濃度の増大に伴い、自己凝集力が增大することに密接に関係することが考えられる。Fig5に、ドロップキャスト法で作製したP3HT薄膜のXRDプロファイルを示す。回折ピークが $2\theta=5.4\text{deg}$ に見られる。この値より面間距離を算出すると $d=1.6\text{nm}$ となりP3HTの面間距離と類似し、P3HTが基板に対して垂直に配向し、自己組織的にラメラ構造を形成することを示す。Fig6にその構造を模式的に示す。P3HT溶液濃度の増大に伴い、 $2\theta=5.4\text{deg}$ の回折ピーク強度が増大し、半値幅が狭くなる。これは、P3HT薄膜の結晶化度が増大し、

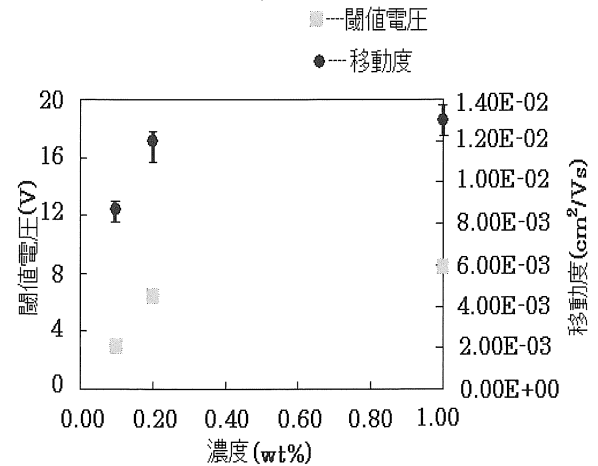


Fig. 4 Mobility and threshold vs. P3HT concentration

$2\theta=5.4\text{deg}$
 $d=1.6\text{nm}$

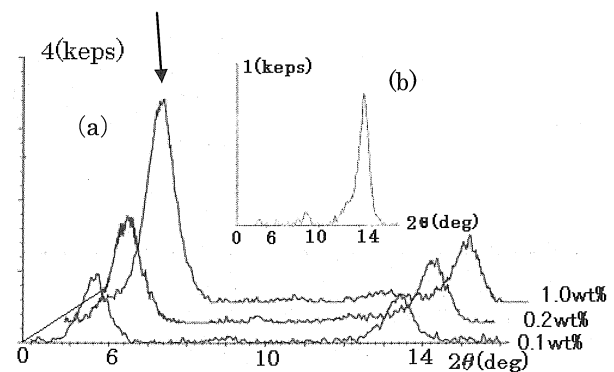


Fig.5 (a) XRD profiles of P3HT thin films prepared with the P3HT solutions of different concentrations by drop casting method on the polyimide thin film. (b) XRD profile of polyimide thin film

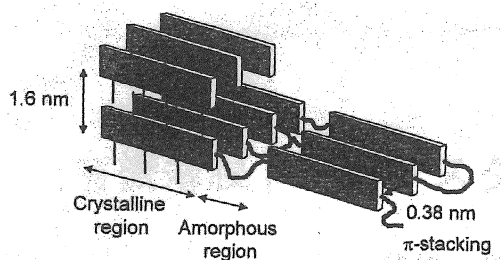


Fig 6 Stacking Model of P3HT molecule deposited on a polyimide gate insulating thin film⁴⁾

配向、配列が向上したことを示す。言換えれば、P3HT分子鎖間の π - π スタッキング領域がP3HT薄膜中で増大し、キャリア密度の増大、キャリア移動度の向上に繋がったと考えられる。^{4,5)}しかしながら、P3HT溶液濃度の増大に伴い、閾値電圧が増大する。これはP3HT溶液濃度の増大に伴い、自己凝集力が増大し、自己組織化が促進し、薄膜の結晶化度を増大するが一方、結晶内部歪の増大、結晶間の接続性を低下し、トラップを増大することを示唆する。

4. まとめ

高濃度P3HT溶液で作製された薄膜を用いたOFETのキャリア移動度は低濃度P3HT溶液から作製されたOFETのキャリア移動度に比し、向上する。これは高濃度P3HT溶液では、P3HT分子間の自己凝集力の増大に密接に関係することを示した。またP3HT溶液濃度の増大に伴い、閾値電圧が増大する。これは結晶内部歪、結晶間境界に原因するトラップの増大で説明された。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省学術フロンティア推進事業（継続）「21世紀を支えるための材料の開発- 環境, エネルギー, 情報に資する材料開発のための基礎研究に基づく新規デバイスの開発と実用化-」（平成19～21年度）の支援を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 工藤一浩：応用物理, 72, 9 (2003) 1151
- 2) H. Nishimura, M. Iizuka, M. Sakai, M. Nakamura, and K. Kudo: J. Appl. Phys. 44, 1B (2005) 621
- 3) 時任静士、熊木大介“有機薄膜トランジスタにおける表面・界面の制御”表面科学28, 5 (2007) 242-248、
- 4) 株式会社シーエムシー出版：“有機半導体の応用展開”第1章 有機トランジスタ (2003) pp7-18