

銅フタロシアニンを用いたトップボトム型 電界効果トランジスタの試作

大向 雅人*、荒木聖人**、堤 保雄*

Fabrication of a Field-Effect Transistor of a Top-Bottom Type
Using Copper Phthalocyanine

Masato OHMUKAI, Kiyoto ARAKI, and Yasuo TSUTSUMI

ABSTRACT

Organic semiconductors are nowadays attracting much attention for the realization of electronic devices such as light emitting devices, solar cells, and field effect transistors. We fabricated field effect transistors with a top-bottom contact type using copper phthalocyanine as an active layer on silicon substrates.

KEY WORDS: copper phthalocyanine, field effect transistor, top-bottom contact type

1. はじめに

トランジスタや発光ダイオードに代表される電子デバイスはこれまでシリコンやガリウムヒ素といった無機材料を用いてきた。近年、有機物を利用した電子デバイスの開発が脚光を浴びている。特に有機物を用いた有機発光デバイス[1]は既に実用化されており、低電圧駆動で高効率の特徴が活かされている。さらに有機材料を用いた太陽電池の研究も活発に行われている[2,3]。

最近では発光ダイオードのみならず電界効果トランジスタ[4,5]や静電誘導トランジスタ[6]などが作られ有機材料に対する期待は高まるばかりである。しかしながら有機半導体を用いた電界効果トランジスタではドレイン電圧が数十ボルトと非常に高く[7]、実用にはまだまだ多くの改良が必要である。

本研究では、化学的に安定で人体に対して安全である環境に優しい銅フタロシアニンを用いた電界効果トランジスタを作ること目標としている。従来の電界

トランジスタではチャンネル長(ソース、ドレインの間隔)が数10 μm 程度であり、ドレイン電圧を高くせざるを得なかった。ここではドレイン電圧を下げるために、ペンタセンを用いた電界効果トランジスタで試みられたトップボトム型の構造[8]を採用し、チャンネル長を短くすることを試みた。

2. 実験方法

トップボトム型の電界効果トランジスタの構造を図1に示す。低抵抗シリコン基板を酸化させ、その上に

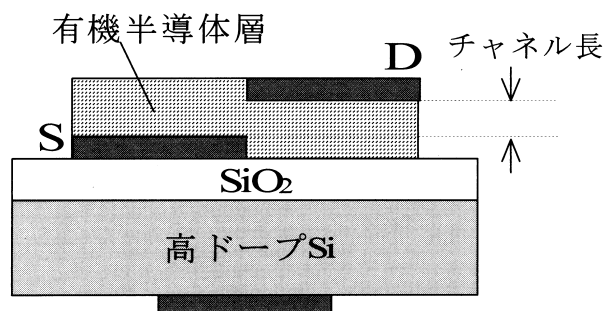


図1 トップボトム型FETの概略構造

* 明石工業高等専門学校 電気情報工学科

** 東京大学大学院

ソース電極として金を堆積させ、その上に銅フタロシアンを堆積させ、最後にドレイン電極として金を堆積させる。これらの堆積はすべて 3×10^{-5} Torr 程度に排気した真空蒸着装置を用いて行った。このトップボトム型の構造ではチャンネル長が銅フタロシアニンの膜厚で決まるため、フォトリソグラフィー技術によってチャンネル長の精度が決まる従来の方法と異なり容易にサブミクロンのチャンネル長が実現できる特徴がある。

本論文では抵抗率が 0.01 cm 以下の (100) 面の n 型シリコン基板の上に試料を 3 種類作製した。試料 a は最大 1,100 の電気炉で 11 時間酸化させ膜厚 100nm の酸化膜を得た。銅フタロシアニンの膜厚は 500nm とした。試料 b と c はどちらも酸化膜の膜厚は 300nm で銅フタロシアニンの膜厚は 700nm とした。試料 c だけは酸化膜を作った直後に下地となる銅フタロシアニンを余分に 200nm の厚さで堆積させた。デバイスの大きさは $1 \times 0.5 \text{ mm}$ 程度である。

3. 実験結果及び考察

試料 a の電界効果トランジスタの出力特性を図 2 に示す。比較的小さなドレイン電圧で十分なドレイン電流が流れていることがわかる。これはチャンネル長が

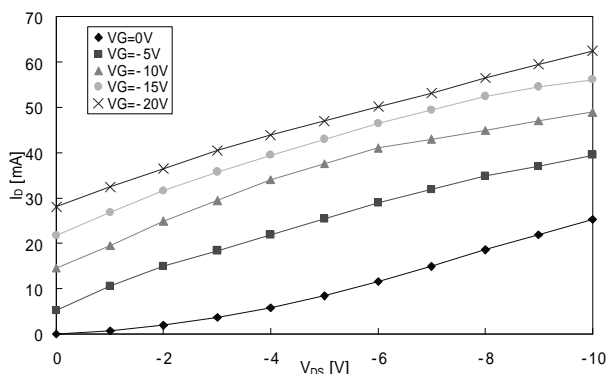


図2 試作したFETの出力特性(試料a)

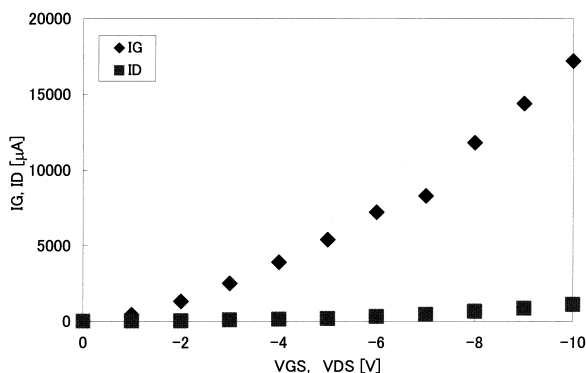


図3 ゲート及びドレインのI-V特性(試料a)

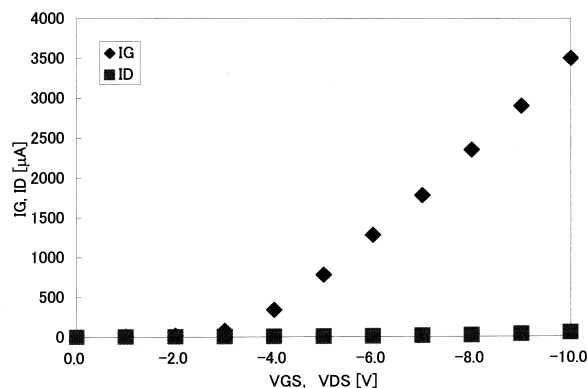


図4 ゲート及びドレインのI-V特性(試料b)

500nm と短くドレイン抵抗が小さいことによるものと思われる。また、ゲート電圧が 0V の時には下向き凸の曲線が得られており金電極と銅フタロシアニがショットキー接合になっていることがわかる。ゲート電圧をかけるとドレイン電圧が 0V であってもドレイン電流が流れている。このことからソース・ゲート間の絶縁が十分でないことが考えられる。そこで、ゲート・ソース間及びドレイン・ソース間の電流電圧特性をそれぞれ測定すると図 3 となった。ゲートにはかなり大きな電流が流れていることがわかる。ゲート電流はドレイン電流の 10 倍以上となっており、ゲートに著しく大きな電流が流れている事がわかる。

試料 b では酸化膜を試料 a の 3 倍である 300nm とし、銅フタロシアニンの厚さを 200nm 増しの 700nm とした。その結果、ゲート電流は 20% に、ドレイン電流は 5% に抑えられている (図 4)。ドレイン電流はチャンネル長となる銅フタロシアニンの膜厚に単純に反比例していないことから構造的な違いが存在するものと思われる。試料 b ではゲート電流が 20% に抑えられたものの、ドレイン電流と比較するとやはり、非常に大きな電流が流れている。

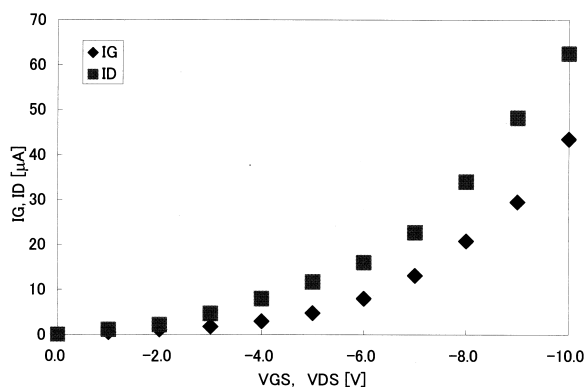


図5 ゲート及びドレインのI-V特性(試料c)

次にゲートに流れる電流を押さえるために試料 c ではソース電極と酸化膜との間に下地層として銅フタロシアニンを 200nm 挿入した。この試料では試料 b に比べドレイン電流はほとんど変化がなく、ゲート電流が 1.25% に減少している (図 5)。これはソース・ドレイン間の構造は同じであることからドレイン電流に違いが見られず、下地層がゲート電流を抑えるのに有効であることがわかった。試料 c のみで、ゲート電流がドレイン電流を下回った。このことからゲート電流を押さえるために酸化膜とソース電極の間に下地層として銅フタロシアニン膜を堆積させることが有効であるとわかった。

4. おわりに

銅フタロシアニンを有機半導体層として用いてトップボトム型電界効果トランジスタを作製した。簡便な熱酸化によって酸化膜を作製したため、ゲート電流が十分絶縁できない問題が生じたが、しかしながらソース電極と酸化膜との間に下地層の銅フタロシアニンを 200nm 挿入することにより絶縁効果を 80 倍高めることができ、ゲート電流を大幅に押さえることができた。

参考文献

- 1) J. Shinar: "Organic light-emitting devices", Springer (2004, New York).
- 2) P. Peumans, A. Yakimov, and S. R. Forrest: "Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells", J. Appl. Phys. 93 (2003) pp. 3693-3723.
- 3) T. Umeda, Y. Hashimoto, H. Mizukami, T. Shirakawa, A. Fujii, and K. Yoshino: "Ultraviolet light responses in photovoltaic properties of TiO₂/conducting polymer heterostructure devices", Appl. Phys. Lett. 85 (2004) pp. 3139-3141.
- 4) K. Kudo, D. X. Wang, M. Iizuka, S. Kuniyoshi, and K. Tanaka: "Schottky gate static induction transistor using copper phthalocyanine films", Thin Solid Films 331 (1998) pp. 51-54.
- 5) T. Minari, T. Nemoto, and S. Isoda: "Fabrication and characterization of single-grain organic field-effect transistor of pentacene", J. Appl. Phys. 96 (2004) pp. 769-772.
- 6) T. Okuda, S. Shintosh, and N. Terada: "Copper-phthalocyanine field-effect transistor with a low driving voltage", J. Appl. Phys. 96 (2004) pp. 3586-3588.
- 7) Z. Bao, A. J. Lovinger, and A. Dodabalapur: "Organic field-effect transistors with high mobility based on copper phthalocyanine", Appl. Phys. Lett. 69 (1996) pp. 3066-3068.
- 8) 鎌田俊英、吉田学: AIST Today, 2 (2002) 8.