JAIST Repository

https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	C60薄膜電界効果トランジスタの輸送特性とチャンネル サイズの関係
Author(s)	松岡,亨卓
Citation	
Issue Date	2006-03
Туре	Thesis or Dissertation
Text version	none
URL	http://hdl.handle.net/10119/2197
Rights	
Description	Supervisor:藤原 明比古,材料科学研究科,博士



Japan Advanced Institute of Science and Technology

C。薄膜電界効果トランジスタの輸送特性とチャンネルサイズの関係

藤原研究室 340032 松岡 亨卓

背景

近年、自由に画像や動画などの情報を入手することのできる「ユビキタス」へのニーズが、非常 に高まっている。そのユビキタスを実現するためには、低コストで、軽く、フレキシブルなデバイ スが求められる。シリコンデバイスを作製するには、高い温度を必要とする。例えば、液晶ディス プレイのスイッチングデバイスに用いられるアモルファスシリコン(a-Si:H)は、400℃ 程度で 薄膜が形成される。低コストで、軽く、フレキシブルな基板の代表であるプラスチックフィルム基 板の耐熱温度は 200℃程度であることから、これに、アモルファスシリコンなど、シリコン半導体 の薄膜を形成することは難しい。一方、有機分子は質量が軽く、有機分子薄膜は、200℃以下の低 温での真空蒸着や室温での溶液プロセスを用いて形成することができる。このため、有機分子を材 料に用いた有機エレクトロニクスへの期待が高まっている。有機エレクトロニクスの実用化に向け て様々な研究開発が行われているが、その電子デバイスへの応用を考えたとき、高性能なスイッチ ングデバイスデバイス、すなわち、高性能な有機薄膜電界効果トランジスタ (OTFT : Organic Thin Film field-effect Transistor)の開発は非常に重要である。これまで、p チャンネル OTFT は、詳 細なデバイス評価がおこなわれており、移動度がlcm²/Vs を越える OTFT が出現している。一方、 n チャンネル OTFT の詳細なデバイス評価の例はほとんどなく、移動度も p チャンネル OTFT よ りも低い。それは、炭素の陰イオンの反応性の高さや不安定性によって、デバイス動作が不安定な ためである [1]。電子デバイスは、CMOS(Complementary Metal Oxide Transistor) など、 p チャンネルデバイスとnチャンネルデバイスを組み合わせることで、有用なデバイスが実現できる。 ところが、CMOS を作製しても、n チャンネル OTFT の移動度が低い場合、それがボトルネック となり、p チャンネル OTFT の移動度が生かせなくなる。移動度の高い n チャンネル OTFT の実 現に向けて、n チャンネル OTFT の詳細なデバイス評価が、有機エレクトロニクスの発展にとって 必要である。

目的

n チャンネル OTFT である C₆₀ 薄膜電界効果トランジスタ(C₆₀TFT: C₆₀ Thin Film field-effect Transistor)の動作原理を明らかにし、今後のデバイス特性向上への方向性提示する。そのため、 第一に、試料間でばらつきの少ない作製条件と測定環境に置くことによって、デバイス動作の不安 定な C₆₀TFT から系統的なデバイス特性を得る。第二に、C₆₀TFT の全体抵抗のチャンネル長依存 性から、チャンネル抵抗と C₆₀-ソース、ドレイン界面の接触抵抗を、各々抽出し、その特性を評価 する。得られた特性に基づいて、C₆₀TFT の動作原理について検討する。そして、デバイス特性向 上への取り組みとして、接触抵抗の低減が期待できる C₆₀-Pd ポリマーを活性層に用いた TFT を、 接触抵抗を積極的に利用した取り組みとして、チャンネルサイズがナノスケールの C₆₀TFT を、各々、 作製して、デバイス特性の評価を行なった

実験

1. C₆₀ TFT の作製と測定方法

本研究では、バックゲート型ボトムコンタクト C₆₀ TFT を作製し、評価した。基板に熱酸化 SiO₂ 膜(400 nm)付きの n 型 Si 単結晶を用い、これをゲート電極として利用した。そして、SiO₂上に ソース、ドレイン電極パターンを電子線リソグラフィにより形成、Au をスパッタリングし、リフ トオフプロセスにより Au ソース、ドレイン電極を形成した。その後、それら Au ソース、ドレイ ン電極の上に C₆₀ を真空蒸着法により堆積し、5~20 µm のチャンネル長の異なる C₆₀ TFT を同一 基板上に作製した。C₆₀ TFT の電流-電圧特性の測定は、10⁻³-10⁻⁴ Pa の真空中、77 K から室温の 温度範囲で行われた。

2. C₆₀ TFT のチャンネル抵抗と接触抵抗の抽出方法

 C_{60} TFT のチャンネル長を Lとし、チャンネル幅 Wあたりの C_{60} TFT の全体抵抗を R_{t} 、チャン ネル抵抗を R_{ch} ($R_{ch}=R_{sh}L, R_{sh}$:シート抵抗)、 C_{60} 薄膜–ソース電極、 C_{60} 薄膜–ドレイン電極間の接 触抵抗を R_{c} とすると、 R_{t} は式(1)で与えられる。 $R_{t}=R_{sh}L+R_{c}=R_{ch}+R_{c}$ …(1) これより、 R_{t} を Lに対してプロットし線形回帰直線を求めると、直線の傾きから R_{sh} 、切片から R_{c} が求まることに なり、チャンネル抵抗と接触抵抗を抽出することができる。

結果と考察

C₆₀ TFT からのチャンネル抵抗と 接触抵抗の抽出(学位論文第3章)

はじめに、作製した C₆₀ TFT のデバイス特 性の評価を行った。その結果、デバイス特性 のばらつきの少ない、移動度 *µ*=3x10⁻¹ cm²/Vs、on/off≈10⁷という非常に良質な n チャンネル C₆₀ TFT を複数、得ることがで きた。そして、この試料のドレイン電流 In-ド レイン電圧 V_{DS}特性の線形領域の傾きから、 C₆₀ TFT の全体抵抗 *R* を求めた(図 1)。次 に、式(1)に基づいて、求めた R₄をチャ ンネル長 Lに対してプロットした。その結果、 図2のように、系統的な傾向が得られた。こ のプロットに対して、線形回帰分析し、得ら れた直線の傾きから R_{sh}、切片から R_cを求め た。これより、作製条件を最適化させること によって、デバイス動作が不安定な n チャ ンネル OTFT から、物性評価のできる系統 的なデバイス特性を得られることがわかっ た。







図 2.293 K の C₆₀ TFT の全体抵抗 *R*_tのチャンネ ル長 *L* 依存性. 点線は線形回帰直線を表す.

C₆₀ TFT のチャンネル抵抗と接触抵抗の ゲート電圧依存性(学位論文第3章)

 C_{60} TFT のチャンネル抵抗 R_{ch} と接触抵抗 R_{c} のゲート電圧 V_{GS} 依存性を、調べた。 R_{ch} の V_{GS} 依存性を図3に示す。 R_{ch} と R_{c} 共に、ゲート電 圧の増加にともなって減少した。これより、 C_{60} TFT は、ゲート電圧によって、チャンネ ル抵抗と接触抵抗の両方が変化することが、 わかった。ただし、そのゲート電圧依存性は R_{c} の方が大きいことがわかった。この傾向は、 p チャンネル OTFT でも報告されており[2]、 C_{60} TFT でも、チャンネルに加えて、ソース、 ドレイン電極界面がデバイス動作にとって、 重要であることがわかった。

3. C₆₀ TFT の接触抵抗と全体抵抗の温度依存性(学位論文第3章)

チャンネル、そして、ソース・ドレイン電 極界面での輸送機構を調べるため、チャンネ ル抵抗 R_{ch}と全体抵抗 R_tの温度依存性を調べ た結果、いずれも、温度の-1乗に比例する活 性化型の温度依存性を示した。活性化エネル ギーを求めた結果、R_{ch}の活性化エネルギーは 70 meV 程度で、チャンネル長 L に依存せず、 ゲート依存性が小さいことがわかった。一方、 R_t の活性化エネルギーは図4に示すように Lと V_{GS}に対して大きな依存性を持つことがわ かった。ここで、 $R_c \ge R_t$ の比 R_c/R_t のLに対す るプロットを図5に示す。図5から L が短く なるにつれて、R_c/R_tが増加していることがわ かる。図4、5を比較すると、 R_c/R_t の増加と R_tの活性化エネルギーの減少が対応している ことから、R_tの活性化エネルギーの減少は、 R.の活性化エネルギーに起因していることが わかった。したがって、図4における R の活 性化エネルギーの大きな $V_{\rm GS}$ 依存性は、 $R_{\rm c}$ に起 因する。すなわち、ゲート電圧によって、ソ ース・ドレイン電極界面のポテンシャル障壁 が変化することがわかった。



図 3. C₆₀ TFT (*L/W*=5 µm/100 µm)のチャン ネル抵抗 *R*_{ch}のゲート電圧 *V*_{Gs}依存性.



図4.293 K の C₆₀ TFT (*L/W*=5 μm/100 μm) の全体抵抗 *R*tの活性化エネルギーの チャンネル長 *L* 依存性.



図5. 293 K の接触抵抗 R_cと全体抵抗 R_tの比 R₀/R_tのチャンネル長 L 依存性.

4. 接触抵抗低減の試み(学位論文第4章)

3章の結果から、 C_{60} TFT の動作に接触抵抗が大きく影響することがわかった。そこで、接触抵抗を低減するために、 C_{60} と電極の相互作用を強くすることを試みた。 C_{60} と Pd が結合したポリマー状分子を活性層に、そして、Pd と相性の良い Pt をソース・ドレイン電極に用いた、 C_{60} TFT と同様なバックゲート型構造の FET を作製し、デバイス特性の評価を行った。その結果、 I_D - V_{DS} 特性に、接触抵抗に起因する非線形な I_D の増加がほとんどみられないことがわかった。これより、 C_{60} -Pd ポリマーを活性層に用いることにより、OTFT の接触抵抗を低減できることがわかった。

5. ナノスケール C₆₀TFT の /_D- V_{DS}特性(学位論文第5章)

3章の結果から、チャンネル長が短くなるにしたがって接触抵抗が大きくなることが明らかに なったが、チャンネル長を極限まで小さくしたときの C_{60} TFT のデバイス特性は興味深い。そこで、 チャンネル長 20 nm の C_{60} TFT を作製し、その I_{D} - V_{DS} 特性を測定した。その結果、チャンネル長 50 nm 以上の C_{60} TFT では V_{DS} =0 V に対して非対称な I_{D} - V_{DS} 特性を示したのに対して、チャンネ ル長 20 nm の C_{60} TFT は対称な I_{D} - V_{DS} 特性を示した。この原因はわかっていないが、チャンネル をナノスケールまで小さくすることによって、一般的な OTFT とは異なる特性を得た。

参考文献

[1] C. D. Dimitrakopoulos, P. R. L. Malenfant, Adv. Mater. 14, 99-117 (2002).

[2] I. Yagi, K. Tsukagoshi, Y. Aoyagi, Appl. Phys. Lett. 84, 813-815 (2004).

論文目次

第1章	序論	1
第2章	実験	24
第3章	C ₆₀ 薄膜電界効果トランジスタのチャンネルサイズ・温度依存性	37
第4章	接触抵抗の低減の試み	86
第5章	ナノスケール C ₆₀ TFT の <i>I-V</i> 特性	96
第6章	結論	106

業績

<u>Y. Matsuoka</u>, A. Fujiwara, N. Ogawa, K. Miyano, H. Kataura, Y. Maniwa, S. Suzuki and Y. Achiba: "Temperature Dependence of Photoconductivity at 0.7eV in Single-wall Carbon Nanotube Films," Sci. Technol. Adv. Mater., **4**, 47-50 (2003).

A. Fujiwara, <u>Y. Matsuoka</u>, Y. Matsuoka, H. Suematsu, N. Ogawa, K. Miyano, H. Kataura, Y. Maniwa, S. Suzuki, Y. Achiba: "Photoconductivity of Single-Wall Carbon Nanotube Films," Carbon, **42**, 919-922 (2004).

<u>Y. Matsuoka</u>, N. Inami, E. Shikoh, and A. Fujiwara: "Transport properties of C_{60} thin film FETs with a channel of several-hundred nanometers," Sci. Technol. Adv. Mater. **6**, 427-430 (2005).