

【序】 有機半導体を活性層に用いた有機電界効果トランジスタ(OFET)が盛んに研究されている。特にロジック回路の作製に不可欠な、P型特性とN型特性を同時に発現する ambipolar (同時両極性) OFET の研究に興味を持たれている[1]。ambipolar OFET は、デバイス中へ電子とホールを同時に注入することができるため、キャリアの再結合による発光が期待され、スイッチングと発光機能を兼ね備えた新規デバイスとなる可能性がある。実際、カーボンナノチューブの ambipolar OFET では赤外発光が観測されている[2]。テトラセンあるいは PPV 誘導体を用いた OFET でも、電子とホールの同時注入を達成し、可視域の発光を実現している[3,4]。しかし、通常の OFET では、ソースとドレインに同じ金属を用いているため、電子注入とホール注入の両方に適したデバイス構造ではない。特に通常用いられる Au 電極は、電子の注入に適していない。我々は、電子注入障壁を下げて、電子とホールの注入バランスを向上することを目的とし、電極金属の種類と電極構造を工夫して OFET を作製し、トランジスタ特性および発光特性を調べた。

【実験】 図 1 には作製したデバイスの模式図を示す。高ドープのシリコンをゲート電極とし、その上に熱酸化 SiO₂ 膜(膜厚 600nm)を作製し、ゲート絶縁膜とした。フォトリソグラフィ法により楕形のドレイン電極とソース電極(10 対)を作製し、ボトムコンタクト型の FET 基板とした。電極間隔(チャンネル長)は 5 μ m、電極長さ(チャンネル幅)は 38 μ m である。今回作製した電極の構造を表 1 に示す。デバイス A は一般に用いられている電極構造で Au(20nm)/Cr(10nm)である。デバイス B は Cr の代わりに Al を用いた構造であり、デバイス C はリソグラフィを 2 回行い、ソースに Au/Cr を、ドレインに Al を用いた。有機半導体には、MEH-PPV [poly(2-methoxy, 5-(2'-ethyl-hexoxy)-1, 4-phenylenevinylene)] を用い、クロロベンゼン溶液より基板上へキャストした。FET 測定および発光測定は 5 \times 10⁻⁴ Pa の真空中で行った。発光スペクトル、および発光強度は、真空チャンバーのビューポートを通して、マルチチャンネル分光システムおよびフォトダイオードを用いて測定した。

【結果】 作製したデバイスはゲートおよびドレイン電極に負電圧を印加して動作させた。図 2 にはデバイス C からの発光スペクトルを示した。590nm 付近にピークを有する MEH-PPV の発光に基づいたスペクトルが観察された。図 3 には 3 つのデバイスの発光強度のゲート電圧依存性を示した。発光はゲート

表 1. ソースおよびドレインの電極構造。

Device	Source	Drain
A	Au / Cr	Au / Cr
B	Au / Al	Au / Al
C	Au / Cr	Al

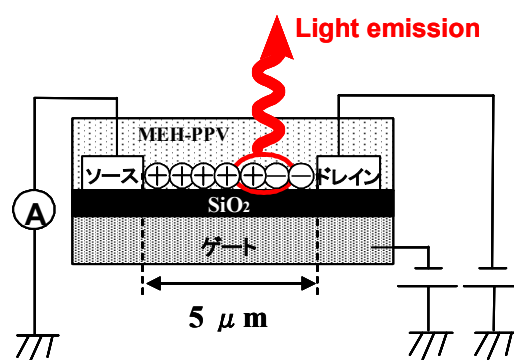


図 1. 発光 FET の模式図。

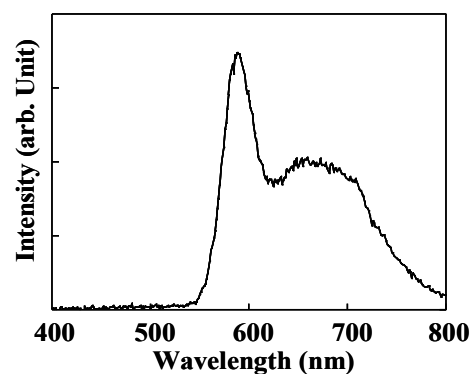


図 2. 発光スペクトル。

ト電圧と共に強くなり、発光強度をゲート電圧によって直接制御できていることがわかる。デバイス A は、ゲート電圧 -100 V までは発光は観察されなかった。デバイス B では弱い発光が観察され、デバイス C では、発光は大幅に強くなった。Al の仕事関数は $4.06\text{--}4.3\text{ eV}$ で、Cr の 4.5 eV や Au $5.31\text{--}5.41\text{ eV}$ と比較して低く、電子注入が促進された為であると考えられる。

図 4 (a) には 3 つのデバイスのドレイン電流とゲート電圧の関係を示した。デバイス A とデバイス B ではゲート電圧と共にドレイン電流が上昇する典型的な P 型の特性を示した。デバイス B はドレイン電流量が少なくなっており、ソースの Al 電極の仕事関数が低いため、ホール注入の効率が悪くなった為であると考えられる。デバイス A とデバイス C を比較すると、ゲート電圧の高い領域で、ドレイン電流量はほぼ同じであった。ドレイン電極の金属種は、デバイスのキャリア注入、輸送、抽出特性には影響をおよぼしていないことがわかる。デバイス C の低電圧領域では、ゲート電圧の増加とともに電流量が減少し、 -20 V で最低となった。この領域の FET 特性を図 3 (b) に示した。ゲート電圧が 0 V ではドレイン電圧の印加に従って電流量の急激な上昇が見られる。これは、ambipolar FET でよく見られる挙動であり、ドレイン電極から注入された電子がソース電極へと向かって流れたものであると考えられる。ドレイン電極に Al を用いることで電子注入を促進した結果、擬 ambipolar 状態を実現し、発光効率が向上していることがわかる。図 5 にはデバイスの駆動時の顕微鏡写真を示した。発光位置が等間隔でなく、楕形電極のドレイン電極近傍で発光していることがわかる。今回作製したデバイスでは、ホールの輸送能に比べて電子の輸送能が劣っているためである。

参考文献

- [1] E. J. Meijer *et al.*, Nat. Mater. **2**, 678 (2003).
- [2] J. A. Misewich *et al.*, Science **300**, 783 (2003).
- [3] A. Hepp *et al.*, Phys. Rev. Lett. **91**, 157406 (2003).
- [4] T. Sakanoue *et al.*, Appl. Phys. Lett. **84**, 3037 (2004).

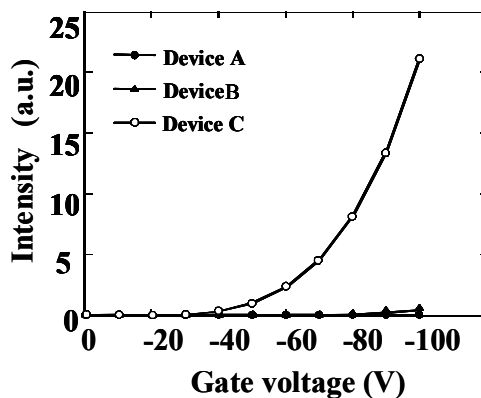


図 3. 発光強度－ゲート電圧特性。

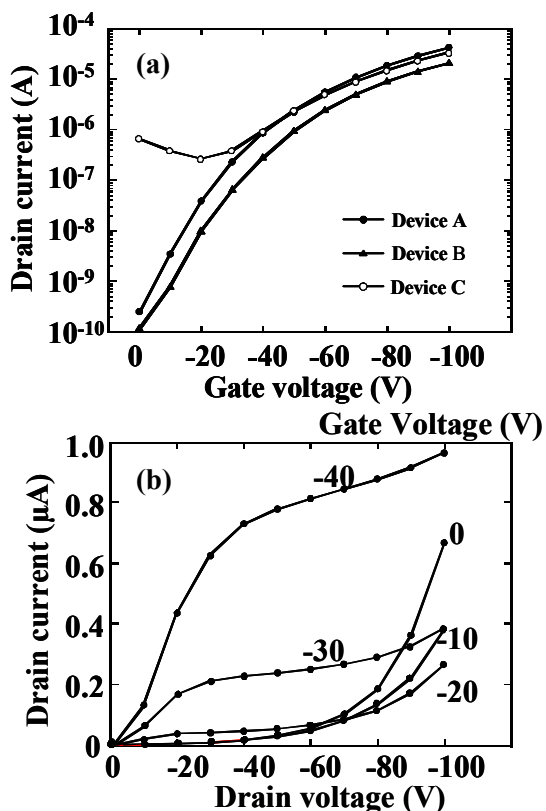


図 4. (a)ドレイン電流－ゲート電圧特性, (b)デバイス C の FET 特性。

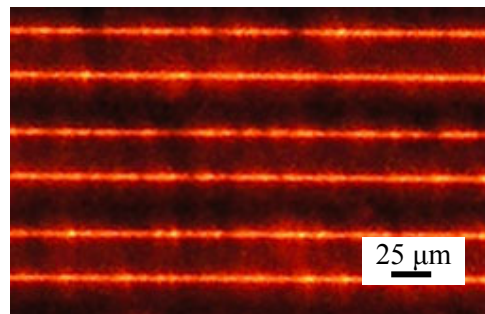


図 5. デバイス駆動時の顕微鏡写真。