

● 有機材料による電子・光デバイスの開発

次世代型の電子システムを構築するために、有機材料と無機材料の利点を生かした「有機-無機ハイブリッド新機能材料の創製と新機能デバイス・システムの構築」を研究課題としている。新電子材料と光・電子システム分野を融合した形態をとり、フレキシブル素子、プリンタブル電子・光デバイスの研究開発と次世代型の新電子システムの研究に取り組んでいる。本稿では、当研究室で研究を展開する「有機材料による電子・光デバイスの開発」に関する研究成果の概要を報告する。

1.はじめに

有機材料の特徴は、溶液プロセスにより室温でどのような基板にも電子・光デバイスを作製できることである。溶液プロセスでプラスチック基板上に作製した、フレキシブルでプリンタブルな次世代型の新電子システムの構築に向けた「有機材料による電子・光デバイスの開発」に関する研究成果の概要を報告する。

2.研究成果

2.1 高移動度正孔輸送材料を用いた有機発光素子の研究

高移動度な材料を有機発光素子(有機EL)へ適用することで、駆動電圧の低減などの特性向上が期待できる。そこで、従来の非晶性正孔輸送材料に比べて一桁程度大きい($\mu=1.0 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ V s}$)キャリア移動度を示す図1に示すアモルファス分子を発光材料に用いて、真空プロセスにより有機発光素子への適用を検討した。この材料は蛍光寿命の測定から $\tau=1.3 \text{ ns}$ を示し、正孔輸送層を兼ねた発光層として用いることで高速光応答可能な有機ELの実現が可能となる。発光ピーク波長460 nmの青緑色発光を示し、素子構造の最適化を行うことで、最大輝度約8,000cd/m²、最大発光効率が2.0 cd/Aを得て、高輝度で、応答速度 約10ns の高速動作を実現した。

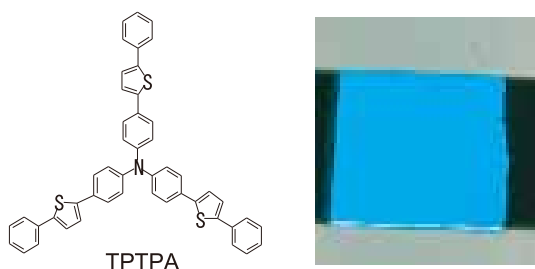


図1 発光材料 TPTPA の分子構造と有機 EL の発光写真

2.2 ポリマー材料を用いた高輝度・高速応答の有機発光素子の研究

ポリフルオレン系のポリマーは最初に青色有機ELとして報告されたポリマー材料であるが、骨格は同じでも側鎖の違いや、共重合体を形成することにより発光波長を制御でき、青色から赤色までの発光を実現出来る。ポリマー材料は分子ユニット間の配列によって異なる性質を示すことが知られており、薄膜相を制御することで優れた特性を得ることが課題とされている。導電性高分子鎖の階層的な構造制御の可能性を検討し、一次元鎖状構造のポリアルキルフルオレン(F8) においてβ相と呼ばれる配列が制御された薄膜を作製することで、従来のアモルファス相のF8に比べβ相では発光効率が約4倍以上向上し¹⁾、応答速度約10nsの高速動作の素子を実現した。

また、大面積の有機ELを簡便な方法で作製するためには、真空環境を必要としない溶液プロセスによる薄膜形成が重要である。しかし、溶液プロセスで作製した素子はキャリアバランスが悪いという問題がある。キャリアバランス、特に正孔注入や正孔輸送の改善のために、分子ドーピングや新たな分子材料の合成も検討されているが、素子構造の観点から発光層と正孔注入層の間にインターレイヤーを挿入することでキャリアバランスの改善による素子特性の向上を図った。その結果、適切なエネルギー準位をもつインターレイヤーを挿入することでキャリアバランスが改善され、最高輝度が約6万cd/m²以上を示し、高輝度、高効率素子により、応答特性の高速化が可能であることを見出した。素子構造に着目したデバイス設計を行うことで、ポリマー光ファイバーの低損失領域に対応する黄緑発光を示すF8BTを用いた有機ELで30mW/cm²以上の光出力を有し、100MHzのパルス電気信号印加時に、それに対応した100MHzの変調光が得られた。(図2)この有機ELを電気-光変

換素子として用い、駆動方法の検討することでポリマー光ファイバーを用いて鮮明な動画を光伝送することが実現できた。

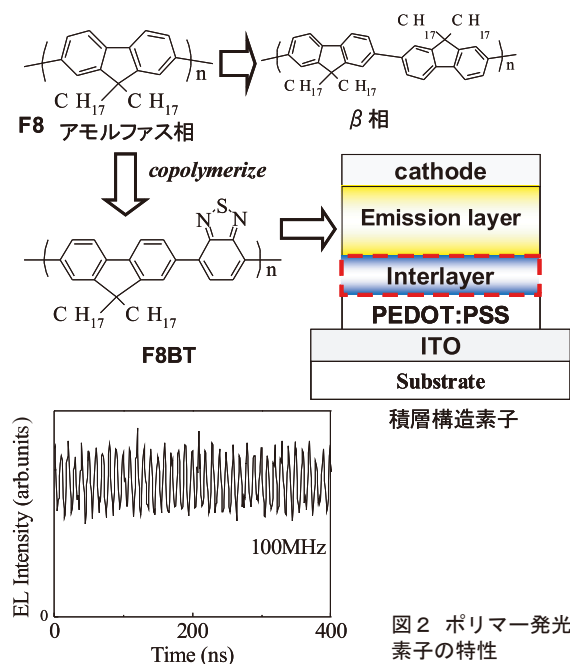


図2 ポリマー発光素子の特性

2.3 ポリマー材料を用いた有機発光トランジスタの研究

インジウム錫酸化物(ITO)は大気中で比較的安定であり、有機ELに代表される有機デバイスにおいて一般的に正孔注入電極として用いられる。しかし、ITOはn型半導体であることから電子注入電極としても使用可能であることに着目して、電子と正孔の両方をキャリアとして持つ両性有機トランジスタのソース・ドレイン電極として用い、トップゲート構造素子におけるトランジスタ特性の検討を行った²⁾。安定なITO電極をソース・ドレイン電極として用いることで種々のフルオレン骨格を有する共役ポリマー材料で両性特性を有することが明らかになった。(図3)特に両性が観測された場合、ゲート電圧により制御可能なF8, F8BTとF8T2にそれぞれの禁止帯幅に相当する青色、黄緑色と黄色発光が観測され、薄膜の蛍光スペクトルとほぼ一致した。有機半導体の最高被占軌道(HOMO)及び最低空軌道(LUMO)の中間に真空準位を持つITO電極を用いたことで、有機半導体層へ電子と正孔の両方を注入することが可能となることから、適切なゲート電圧を印加することによって有機半導体層に正孔と電子が同時に注入され、絶縁膜/有機半導体層界面での再結合により発光が生じたことによるものである。すなわち、ITO電極を用いることによりフルオレン系共役ポリ

マーによる有機発光トランジスタを実現した。

3. 今後の展開

印刷技術で作製可能なフレキシブル有機エレクトロニクスデバイスの実現に向け、低分子系の高移動度アモルファス材料や高分子系のフルオレン系材料を用いた有機ELについて紹介した。これらの素子は、高速の応答を用いた光通信への用途³⁾も期待できる。当研究室では、有機デバイスの高機能化とそのデバイス物理を明らかにする研究を進めている。それら成果を基にして、次世代電子システムの構築に向けたシーズを提案していきたい。

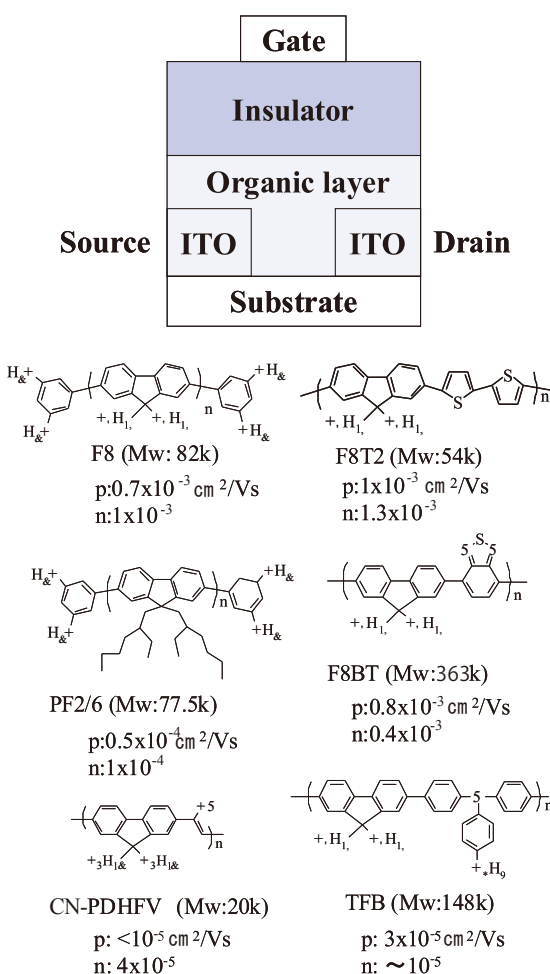


図3 有機発光トランジスタの素子構造と種々のフルオレン系有機半導体材料の正孔移動度と電子移動度

参考文献

[1] D. Kasama, R. Takata, H. Kajii, Y. Ohmori, Thin Solid Films, 518, 559 (2009).
 [2] H. Kajii, K. Koiwai, Y. Hirose, Y. Ohmori, Organic Electronics., 11, 509 (2010).
 [3] Y. Ohmori, H. Kajii, Proceedings of IEEE, 97, 1627 (2009).