

## ポリマー電子・光集積デバイス

代表研究者 大 森 裕 大阪大学教授

共同研究者 梶 井 博 武 大阪大学助手

### 1. 研究目的

有機 EL 素子は自発光，薄型軽量，また発光デバイスの作製の容易性等からディスプレイへの応用に向けて活発に研究開発が行われている。さらに，有機 EL 素子の大きな特徴の一つとして，低温で素子を作製できるために，基板を選ばずポリマーフィルムのようなフレキシブルな基板にも作製でき，ディスプレイ以外にも様々な応用が考えられる。また，光導波路基板上に微小な発光素子，受光素子を直接作製することにより，簡単に光回路<sup>[1]</sup>を構成することも可能となる。ここでは有機 EL 素子を光回路用の光源に適用するために検討した有機 EL 素子の特性，有機 EL 素子を光源として形成した電子・光集積デバイス，さらに有機 EL を電気 - 光変換素子として用いた画像信号の伝送実験の結果について述べる。

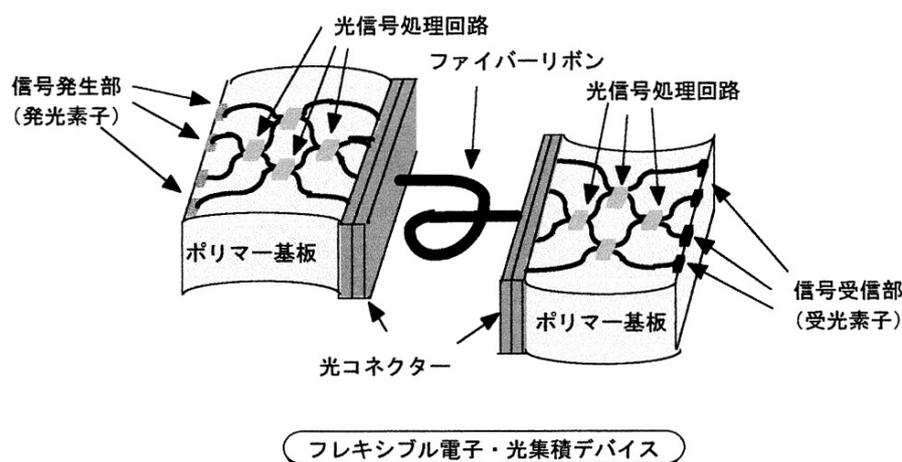


図1 ポリマー電子・光集積デバイスの概念図

### 2. ポリマー電子・光集積デバイスの実験結果

#### 2.1 ポリマー電子・光集積デバイスの概要

光集積回路を形成する基板となるポリマー光導波路は，重水素化した PMMA をコア材質とする埋め込み型の光導波路で，導波路の一端には45度全反射マイクロミラーを備えている。図1にポリマー光導波路と有機 EL 素子（信号発生部）を集積した電子・光集積回路<sup>[2]</sup>の構成を示す。有機 EL 素子は導波路端に形成された45度全反射マイクロミラーの上に形成され，導波路に入射した光は光回路でスイッチングなどの光信号処理を行った後，光コネクタからファイバーリボンを介して他の光信号処理回路に導かれる。一方ファイバーリボンから入射した光はポリマー導波路で信号処理を行った後，逆側の導波路端から出てきた光は信号受信部（受光素子）に導かれる。

光源となる有機 EL 素子は有機分子線蒸着法により作製する事ができ，低温プロセスであるためにポリマー光導波路上に直接形成できる。ポリマー導波路は InP 系の無機半導体レーザ用に近赤外域で低損失となるように設計されているため，特に短波長側の減衰が大きく，導波路長が長くなるにつれて強度が小さくなり，スペクト

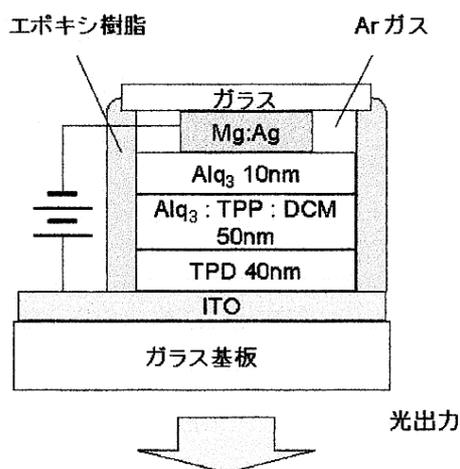
ル幅の広い光を光源に用いると出力光のピーク波長も長波長側にシフトする。

従って、光源としてはポリマー光導波路の伝搬特性に最適化した光源用有機 EL 素子の開発、また素子の応答速度の高速化などを検討する必要がある。低温プロセスが可能な有機材料などにより受光素子も直接導波路端に形成することが可能であり、**図 1** に示す光集積回路は、個々の素子を作製した後に実装するのではなく、すべてポリマー基板の上に直接形成できる利点を有する。

## 2.2 赤色光源の作製と素子特性

素子作製に用いた材料は、Alq<sub>3</sub> (8-hydroxyquinoline aluminum), TPD (N, N'-diphenyl-N, N'(3-methylphenyl)-1, 1'-biphenyl-4, 4'-diamine), TPP (5,10,15,20-tetraphenyl-21H, 23H-porphine), DCM (4(dicyanomethylene)-2-methyl-6(p-dimethyl-aminostyryl)-4H-pyran)である。Alq<sub>3</sub> は本来発光材料であるが電子輸送能に優れるため、ゲスト色素をドープして用い、発光層のホスト材料とした。TPD は、正孔輸送層材料として用いた。TPP, DCM は Alq<sub>3</sub> 層中に同時蒸着<sup>[2]</sup>する事により、それらのドーパントを発光中心として用いた。

素子の作製は、ITO をコートしたガラス基板を、パターンニング・洗浄・UV オゾン処理を順に施した後、 $5 \times 10^{-7}$  Torr 以下の高真空下で、有機分子線蒸着法によりホール輸送層として TPD を40nm、発光層を50nm、電子輸送層として Alq<sub>3</sub> を10nm それぞれ積層した。EL デバイスは**図 2** に示すような積層構造で発光層は Alq<sub>3</sub> 層に TPP と DCM を分散させた構造である。これらの素子は発光層中の Alq<sub>3</sub> を電子輸送層と考えれば、電子輸送層にドーピングして TPD 正孔輸送層とのヘテロ接合素子として考えることができる。有機層を作製後、陰極として Mg:Ag 電極を真空蒸着法により作製し、素子作製後、駆動中の電極の劣化等を防ぐためにガラス板とエポキシ樹脂により封止した後、室温下で測定を行った。



**図 2 素子構造の模式図**

TPP は室温下では紫色の粉末で、真空蒸着することにより黄褐色の薄膜を形成する。TPP は有機の発光材料としては、比較的狭いスペクトルを持つことで知られていて、653nm と 718nm 付近に二つの鋭いピークを持つ発光を示す。653nm 付近の発光の半値幅 (Full Width at Half Maximum: FWHM) は 12nm 程度であり、発光層材料に用いることで色純度の高い赤色発光素子の実現が期待されると同時に、単色性の要求されるデバイスへの応用も期待される。

**図 3** に電圧 - 電流、電流 - 発光強度特性を示す。**図 3** に示す素子の電圧 - 電流特性から TPP をドープしない素子では 5V 程度の Turn-on 電圧であるが、僅かの TPP をドープする事により Turn-on 電圧は 3V 程度増加する事が示される。TPP と DCM を同時にドープすると電流は再び増加し、素子抵抗は減少する。素子の発光効率率は TPP をドープした素子で  $10 [\text{mA}/\text{cm}^2]$  の電流の密度で発光強度は  $0.8 [\text{mW}/\text{A}]$ 、さらに DCM をドープする事により、同じ電流に対し発光強度増大し、 $1.8 [\text{mW}/\text{A}]$  の発光強度に達している。

**図 4** に Alq<sub>3</sub> 中に TPP と DCM を同時にドープした素子の発光スペクトルを示す。TPP を Alq<sub>3</sub> 中に 1 mol % ドープすると Alq<sub>3</sub> からの発光は消滅し TPP からの赤色発光となる。さらに DCM をドープすると TPP からの発光は増強するが DCM からの発光はほとんど見られない。**図 4** に示す発光スペクトルから TPP のみをドー

プし DCM をドーブしない場合には, Alq<sub>3</sub> からの発光成分が残存しているが, DCM を少量でもドーブすることにより Alq<sub>3</sub> からの発光成分は完全に消滅した。

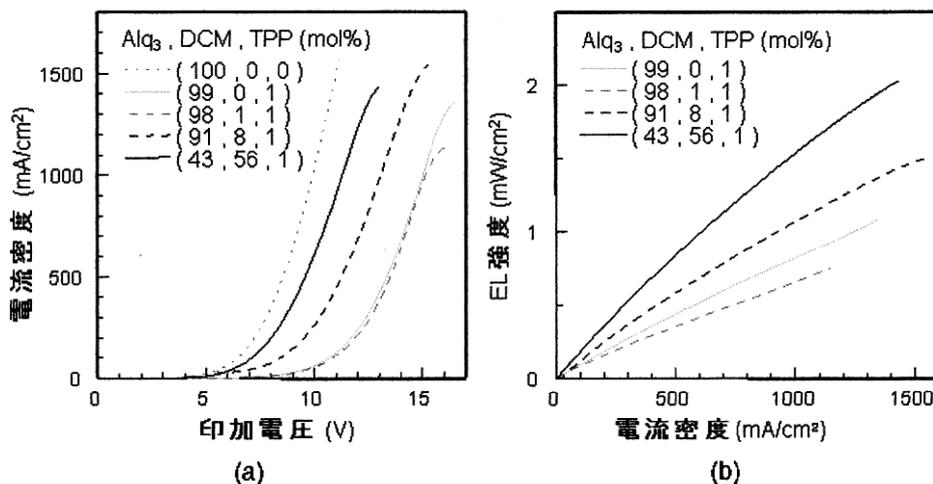


図3 Alq<sub>3</sub> 中に TPP と DCM を同時ドーブした素子の電圧 - 電流, 電流 - 発光強度特性  
(a) 電圧 - 電流特性, (b) 電流 - 発光強度特性

発光層中の DCM 濃度が大きくなると, 600nm 付近に DCM からの発光成分が新たに生じている。これらのことから, ドープした DCM 分子により Alq<sub>3</sub> からの発光成分が消滅したものと考えられ, この機構は, Alq<sub>3</sub> から DCM へのフェルスター型のエネルギー移動を経て, DCM から TPP へのエネルギー移動が同時に生じていることが考えられる。ドーブする DCM 濃度が高くなると, TPP 分子の濃度が一定であるために, 励起された DCM 分子のうち, TPP 分子にエネルギー移動しないで DCM 分子自身からの発光が増大するものと考えられることができる。

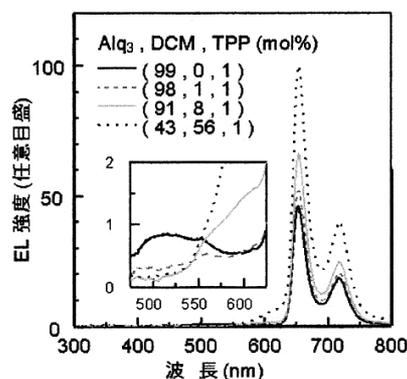


図4 2重ドーブ赤色 EL 素子の発光スペクトル

### 2.3 黄色発光素子の作製と素子特性

発光層として Alq<sub>3</sub> にルブレンを共蒸着してドーブした層を発光層として用いた EL 素子を作製した。従って, 素子構造は ITO/ $\alpha$ -NPD (30nm)/Rubrene doped in Alq<sub>3</sub> (30nm)/Alq<sub>3</sub> (10nm)/Mg:Ag の順に積層した構造となっており, 素子の発光特性について検討を行った。図5に作製した素子構造と使用した分子の構造を示す。

ルブレンを Alq<sub>3</sub> に 9 vol % の濃度にドーブした素子は, 図6の挿入図に示すように, 550nm 付近にピーク波長を有する黄色発光を示す。従ってこの波長を用いる事により, ポリマー導波路への光源として用いた場合, 低損失の伝送が期待できる。

図6に ITO ガラス基板上に作製した素子の電流-電圧-発光強度特性を示す。9 V の印加電圧で 50,000cd/m<sup>2</sup> の

高輝度に達している。ガラス上に形成した ITO 基板を用いて作製した EL 素子とポリイミド上の ITO 基板を用いて作製した有機 EL 素子の発光特性は基本的には発光スペクトル、発光強度特性等に違いはないが、表面の平坦性などが原因と考えられ、ガラス基板を用いたほうが若干良い特性のものが得られる。

ルブレンをドーブ EL 素子に duty cycle が50%のパルス電圧で駆動した場合の素子の応答特性を 図4 に示す。

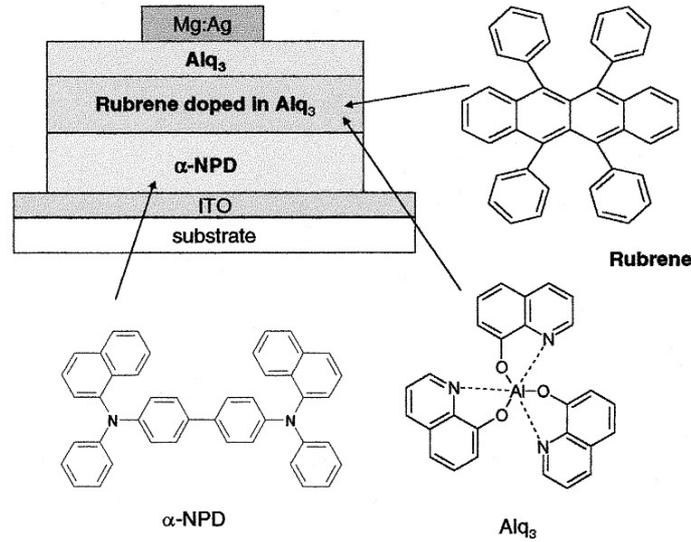


図5 ルブレンドープ EL 素子の構造と色素分子

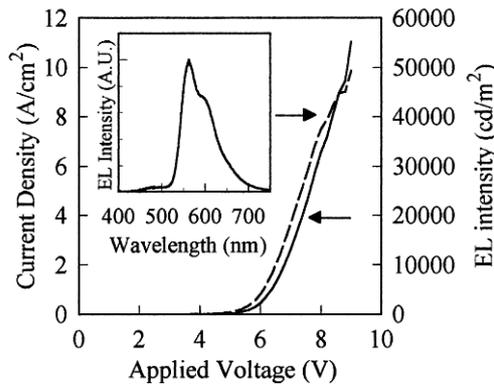


図6 ルブレンドープ EL 素子の電流 - 電圧 - 発光強度特性

図7 に示すように、0.02mm<sup>2</sup> 程度の素子面積で 100MHz 以上のパルス光が発生でき、動画を用いた光伝送実験を行ったところ、鮮明な画像を伝送することが出来た。現時点では駆動回路などの制限で 100MHz の応答速度まで確認できていないが、さらに高速の光信号の発生が期待され、光集積回路光源への適用が可能である事が明らかになった。

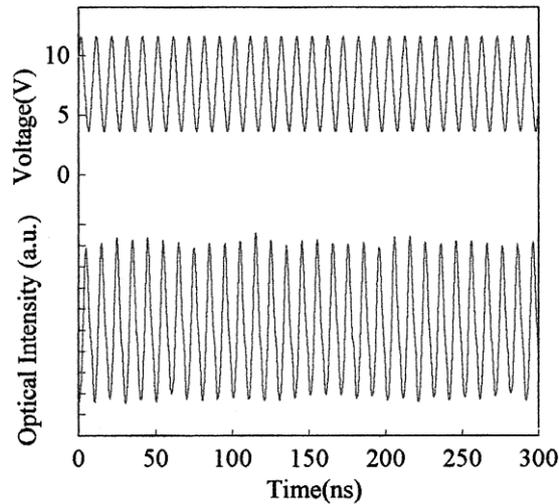


図7 ルブレンドープ EL 素子のパルス応答特性 (100Mbps)

次に有機 EL 素子を光源とした画像信号伝送実験について述べる。代表的な電気 - 光変換素子としては、発光ダイオード (LED) とレーザーの 2 種類がある。LED の方が、低パワーであるが、コスト的に安いことから、短距離のホームネットワークや車載 LAN 用の電気 - 光変換素子として期待されている。そこで、有機 EL 素子を電気 - 光変換素子として使用し、光ファイバーで 100m 画像信号を伝送する伝送実験を行った。そのとき用いた動画伝送実験の測定系の概略図を図 8(a)に示す。

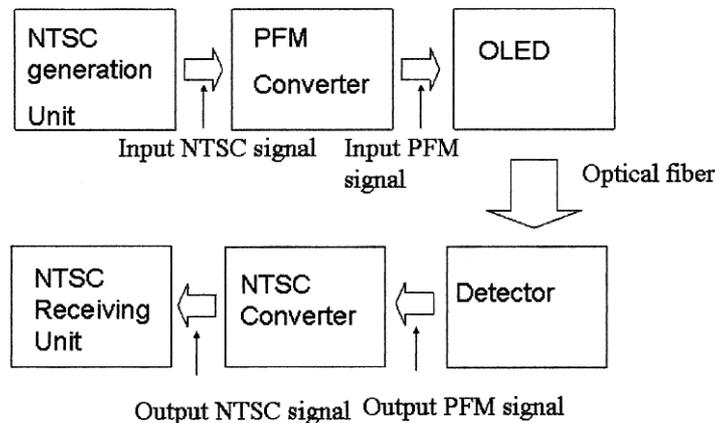


図 8(a) 動画伝送実験の測定系

この実験系では、ビデオ信号出力端からの NTSC 信号を PFM 変調した電圧を、有機 EL 素子に印加することで、有機 EL 素子からの PFM 変調された光信号を得た。その光信号を、光ファイバーを通して受光側に導き、PFM 変調された電気信号に再変換後、さらに NTSC 電気信号に変換することにより、動画信号の伝送を行った。ただし、本実験においては、基本周波数が 20MHz の搬送波に、画像信号を 50Hz ~ 4.2MHz まで、音声信号として 60Hz ~ 15kHz までの周波数成分として変調しており、最終的に送信される PFM 変調波の周波数は約  $20 \pm 5$  MHz となる。図 8(b), (c), (d)からわかるように、PFM 信号として 20MHz 程度で変調された PFM 入力信号が PFM 光出力信号として検出されており、入力側と出力側の NTSC 信号がほぼ一致している。すなわち、この結果は、有機 EL 素子を 20MHz 程度に変調させた電気 - 光変換素子として用いた場合、動画伝送が可能であることを示している。

動画のビデオ信号を用いた画像信号伝送実験で、有機EL素子をポリマー光集積デバイスの電気 - 光信号変換素子として用い、100m の距離を光ファイバーによる伝送実験を行った結果、鮮明な動画信号が伝送できることを実証出来た。このことは有機 EL 素子を用いた LAN の形成が可能であることを示すものであると考えられる。

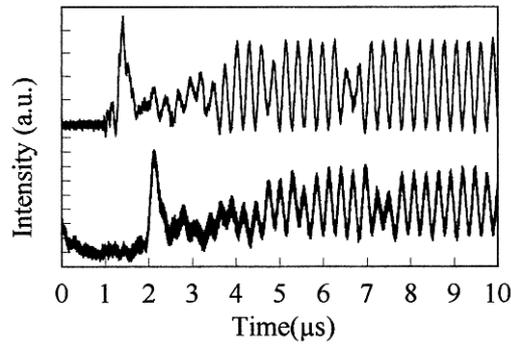


図 8 (b) 画像信号の入出力波形の例  
(上) 入力信号 (下) 出力信号

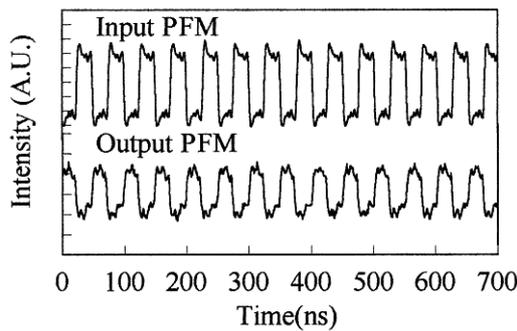


図 8 (c) PFM 信号の入出力波形の例  
(上) 入力波形 (下) 出力波形

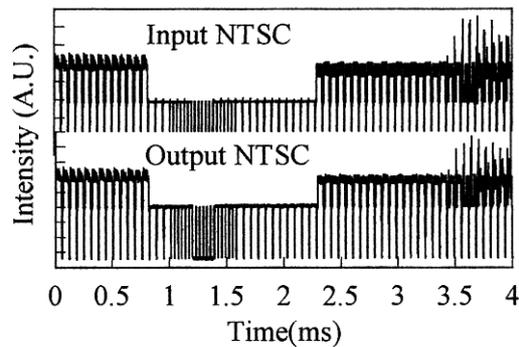


図 8 (d) NTSC 信号の入出力波形  
(上) 入力信号 (下) 出力信号

### 3. まとめ

ポリマー電子・光集積デバイスを形成することを目的として、有機 EL 素子をポリマー光回路用の光源として適用し、ポリマー導波路上に直接光源を形成することにより電子・光集積回路を構成することについて提案した。有機 EL 素子を作製し、光集積回路を作製するために高速動作有機 EL 素子について検討を行った。光回路の伝搬損失の少ない赤色光源として TPP, DCM の 2 種類の色素を電子輸送材料 ( $\text{Alq}_3$ ) 中に TPP と DCM を同時に分散することで、高輝度で、また発光効率も倍増することを示した。

高輝度化と高速変調を達成するために、電子輸送層として用いた  $\text{Alq}_3$  層にルブレンをドーピングした素子において、最高輝度  $50,000\text{cd/m}^2$ 、変調速度  $100\text{MHz}$ 、また動画伝送が確認され、ポリマー光集積回路光源としての資

質が確認された。

有機 EL 素子をポリマー電子・光集積デバイスの電気 - 光変換素子として使用し, 100m の距離を光ファイバーで画像信号を伝送する伝送実験を行った。ビデオ信号を用いた動画伝送実験において鮮明な画像を伝送できることを実証した。

#### 参考文献

- [1] Y. Ohmori, H. Ueta, M. Hikita and K. Yoshino, Nonlinear Optics, 22, 461 (1999).
- [2] Y. Ohmori, M. Hikita, H. Kajii, T. Tsukagawa, K. Yoshino, M. Ozaki, A. Fujii, S. Tomaru, S. Imamura, H. Takenaka, J. Kobayashi, F. Yamamoto, Organic electroluminescent diodes as a light source for polymeric waveguides-toward organic integrated optical devices, Thin Solid Films, 393, 267 (2001).

#### 発 表 資 料

題 名	掲 載 誌 ・ 学 会 名 等	発 表 年 月
ドープ型有機 EL 素子の高速応答特性	高分子討論会	2001年 9 月
ポリマー光集積回路の検討 光集積回路の光源と構成	電子情報通信学会 ソサイエティ大会	2001年 9 月
低分子系有機 EL 素子とポリマー光回路光源への適用	真空学会誌	2001年11月
有機 EL 素子とポリマー光回路光源への適用	電子情報通信学会 総合全国大会	2002年 3 月