

光通信用有機LED

信州大学 谷口 彬雄¹・魏 斌²
光電子技術研究所 福田 武司³・大橋 正和³・藤巻 宗久⁴

Organic Light-emitting Diode for Optical Interconnect

Y. Taniguchi, B. Wei, T. Fukuda, M. Ohashi & M. Fujimaki

電子機器内部の情報処理速度の急増に対応するために、従来の電気配線の代替として新たな光配線が期待されている。われわれは、フレキシブル基板上に有機発光/受光素子や高分子導波路を直接形成したフレキシブル光配線の開発を進めている。この光配線はフレキシブル基板上に直接、かつ薄く形成できるという利点を有しており、実装領域が狭い電子機器内部に用いる光配線として有望であると考えている。本稿では、共振器構造を利用した有機LEDの発光効率や指向性、応答速度について報告する。

A novel optical interconnect has been required as a substitute for an electronic interconnect in order to correspond to a rapid increase of a transmission speed in many electronic products. We have been developed flexible optical interconnect, which consists on an organic light-emitting diode (OLED), an organic photo-diode and a polymer optical waveguide onto a flexible substrate. This optical interconnect is expected as a novel device, which can be assembled in small area into the electronic products, because the thin OLED can be fabricated on the flexible substrate. In this paper, we report on a current efficiency, angular dependence electro-luminescence intensity and a transmission speed of the OLED with the microcavity structure.

1. ま え が き

近年、携帯電話やデジタルカメラなどの電子機器内部では飛躍的に伝送容量が増加しており、一般的に使用されているフレキシブルプリント基板や同軸ケーブルなどの電気配線では高速化や並列性の限界が指摘されている¹⁾。この問題を解決する一つの方法として期待されているのが、光ファイバ²⁾や高分子導波路³⁾を用いた光配線である。

電子機器内部における光配線に関してすでに多くの報告があり、そのほとんどが基板上にレーザ、発光ダイオードなどの化合物半導体材料を用いた発光素子やフォトディテクタなどの受光素子を実装して、その両者を接続する光導波路を組み合わせた構造である²⁾³⁾。この構造ではGbpsオーダーの高い伝送速度が確認されているが、薄型化が困難、実装時に高いアライメント精度が必要であるために製造コストが高いといった問題点がある。また、電子機器内では実装領域が限られており、そこに使用する光配線にもフレキシブルかつ薄型という特性が要求される。そこでこれらの要求を満足するために、図1に示すようなフレキシ

ブル基板上に有機発光/受光素子や高分子導波路を形成した新しい光配線に着目した。有機発光/受光素子や高分子導波路はフレキシブル基板上に直接作製できるので、フレキシブルかつ薄型の光配線を実現することができる。

光配線用の有機LEDは静電容量の低減、短い蛍光寿命の発光層材料の適用などによって、100Mbps以上の伝送速度を実現している⁴⁾⁵⁾。しかし、有機LEDの適用領域を拡大するためには、100Mbpsを超える伝送速度が必要となる。

本稿では、応答速度の向上が期待される共振器構造を利用した有機LEDの伝送特性を示す。また、光配線用の光源として重要な特性である発光効率や指向性などについて

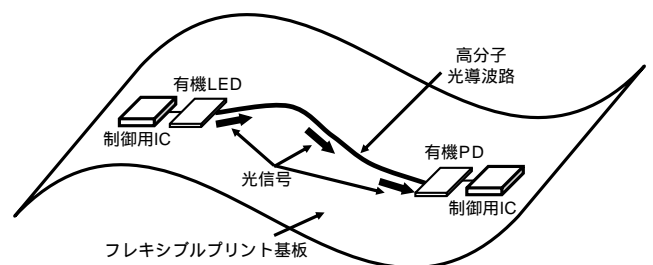


図1 有機LED/PDを用いたフレキシブル光配線の概略図
Fig.1. Schematic configuration of optical interconnect with the organic light-emitting diode and the organic photo-diode.

1 繊維学部 機能高分子学科 教授 (工学博士)
2 繊維学部 機能高分子学科 (農学博士, 工学博士)
3 応用電子技術研究部
4 応用電子技術研究部部長

もあわせて報告する．

2．共振器型有機LEDの特徴

有機LEDは有機発光層が二つの電極に挟まれた構造をしており、片方の電極は発光層の光を外部に取り出すために透明である．また共振器型有機LEDは図2に示すように、反射膜である陰極と誘電体多層膜フィルタで有機発光層を挟み込んだ構造をしている．有機発光層で発生した光は陰極と誘電体多層膜フィルタで反射を繰り返し、共振器長に対応した特定の波長だけガラス基板を通過して外部に取り出される．ここで誘電体多層膜フィルタの反射率を陰極の反射率よりも小さく設定することで、共振器に対して垂直な方向に多くの光が取り出される⁶⁾⁷⁾⁸⁾．つまり共振器型有機LEDは高い指向性を実現できるので、高分子導波路との結合効率も向上すると期待される．また、一般的な無機材料の発光素子と同様に共振器構造には、応答速度の向上効果が期待できる．

3．実 験

基礎検討のために実施したガラス基板上に作製した有機LEDの実験結果を示す．まずガラス基板上に電子ビーム蒸着機を用いてSiO₂とTa₂O₅で構成される誘電体多層膜フィルタを形成した後、厚さ100nmのIndium Tin Oxide (ITO)をスパッタした．ここでSiO₂とTa₂O₅の光学膜厚は有機LEDの発光波長の1/4になるようにそれぞれ86.32 nmと56.85nmとした．またSiO₂とTa₂O₅はそれぞれ4組ずつ積層しており、有機LEDの発光波長では反射率が約80%となった．

次にITOまでスパッタした基板に純水とエタノールで超音波洗浄を施し、50Wの酸素プラズマ処理を5分間行った．最後に有機層と陰極を抵抗線加熱蒸着機で成膜した．

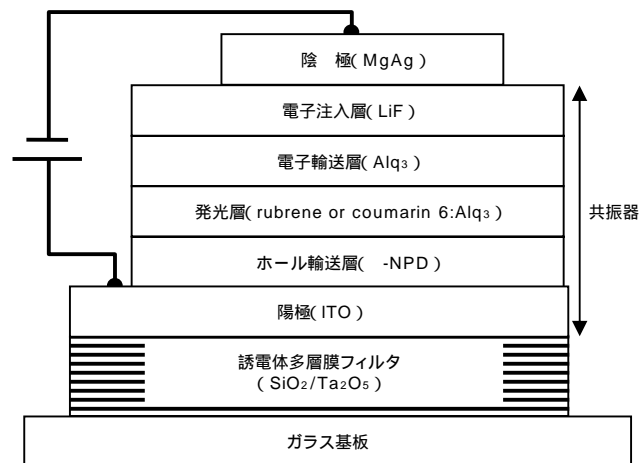


図2 共振器型有機LEDの断面構造

Fig. 2. Cross sectional view of the microcavity organic-light emitting diode.

作製した素子は図2に示す構造であり、正孔輸送層は4,4'-bis[N-1-naphthyl]-N-phenyl-amino]-biphenyl (-NPD)、発光層ホストおよび電子輸送層はTris(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq₃)、発光層ゲストはrubreneもしくはcoumarin 6を用いた．これらの有機材料の分子構造は図3に示す通りである．また、電子注入層としてLiF、陰極としてMg_{0.9}Ag_{0.1}を用いた．ここで有機層の膜厚は共振器長が有機LEDの発光波長の整数倍になるように設定している．作製した素子は次に示す2種類である．

- (a) ITO 100nm/ -NPD 40nm/rubrene : Alq₃ (0.4 wt.%) 20nm/Alq₃ 40nm/LiF 0.4nm/MgAg 150nm
- (b) ITO 100nm/ -NPD 28nm/coumarin 6 : Alq₃ (0.4 wt.%) 20nm/Alq₃ 22nm/LiF 0.4nm/MgAg 150nm

有機LEDの発光効率は、電流密度-輝度特性の結果より求めた．また、光導波路との結合効率を見積もるために発光強度の角度依存性を測定した．さらに、有機LEDの応答速度を評価するために、正弦波電圧を印加したときの光出力の周波数依存性を評価した．

4．共振器型有機LEDの光学特性

図4(a)と(b)にそれぞれ発光層のゲスト材料がrubreneとcoumarin 6の場合における電流密度-輝度特性を示す．図4(a)から分かるように、rubreneを用いた場合には共振器構造の有無に依存せずほぼ同程度の特性を示した．ここで共振器型有機LEDでは電流密度が100 mA/cm²のときに発光効率は9.0cd/Aであった．一方、coumarin 6を発光層のゲスト材料に用いた場合には共振

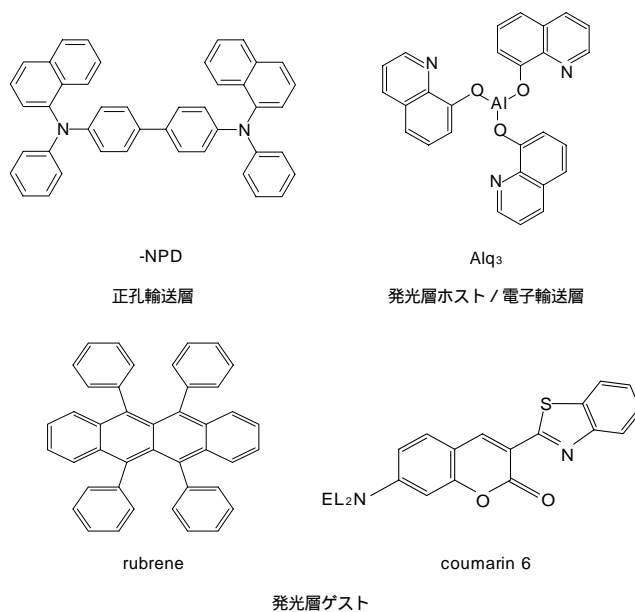


図3 有機材料の分子構造

Fig. 3. Molecular structures of organic materials.

器構造を用いることで発光効率が3.3 cd/Aと大きく低下した。これは発光層に用いている coumarin 6 : Alq₃ が共振波長の510nm付近で比較的大きい吸収を有していることが原因だと考えられる。

次に図5に発光層に (a) rubrene : Alq₃ と (b) coumarin 6 : Alq₃ を用いた場合における有機LEDの発光スペクトルの測定結果を示す。図5 (a) と (b) の両方の場合において共振器構造を用いることでスペクトル幅が狭

くなり, rubrene : Alq₃ の場合で半値幅が12.1nm, coumarin 6 : Alq₃ の場合で10.1nmとなった。通常の有機LEDは半値幅が50 ~ 100nm程度と幅広いスペクトルを有しているが, 共振器型有機LEDでは半値幅が10nm程度と狭いスペクトル幅を実現している。つまり, 共振器型有機LEDは高速伝送が可能な波長多重通信に適している。

図6に有機LEDと高分子導波路の結合効率を試算するために測定した発光強度の角度依存性の結果を示す。発光層

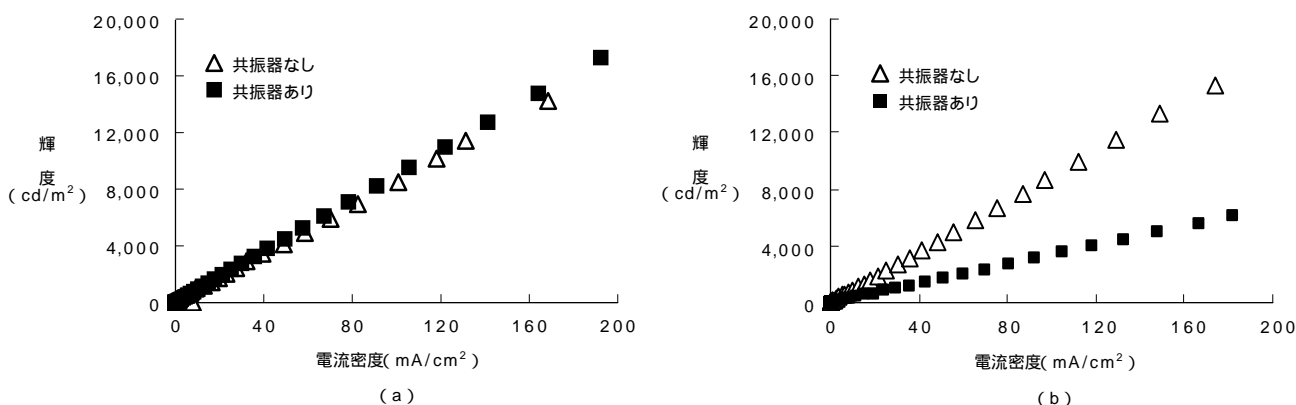


図4 (a) rubrene : Alq₃ と (b) coumarin 6 : Alq₃ を発光層に用いた有機LEDの電流密度-輝度特性
Fig. 4. Current density-luminance characteristics of organic light-emitting diodes with (a) rubrene : Alq₃ and (b) coumarin 6 : Alq₃ emitting layers.

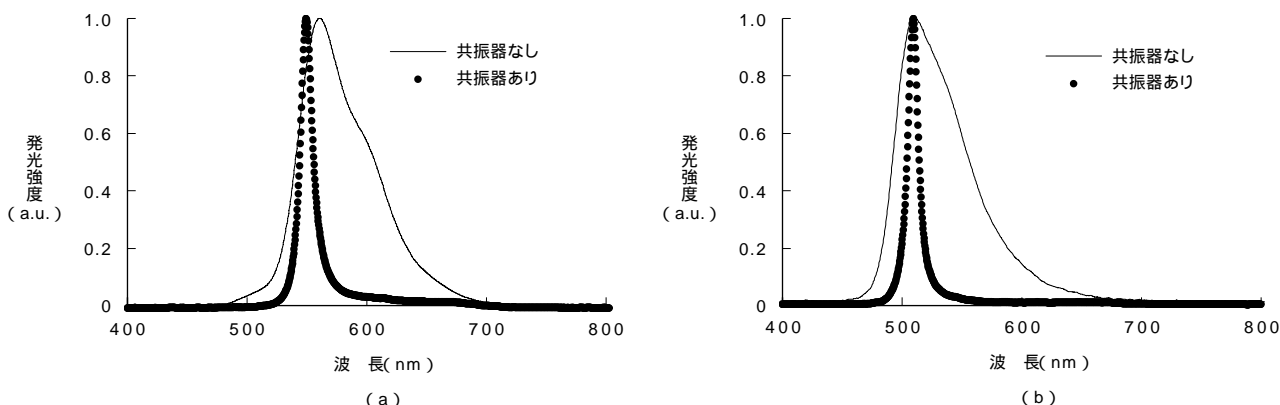


図5 (a) rubrene : Alq₃ と (b) coumarin 6 : Alq₃ を発光層に用いた有機LEDの発光スペクトル
Fig. 5. Electroluminescence spectra of organic light-emitting diodes with (a) rubrene : Alq₃ and (b) coumarin 6 : Alq₃ emitting layers.

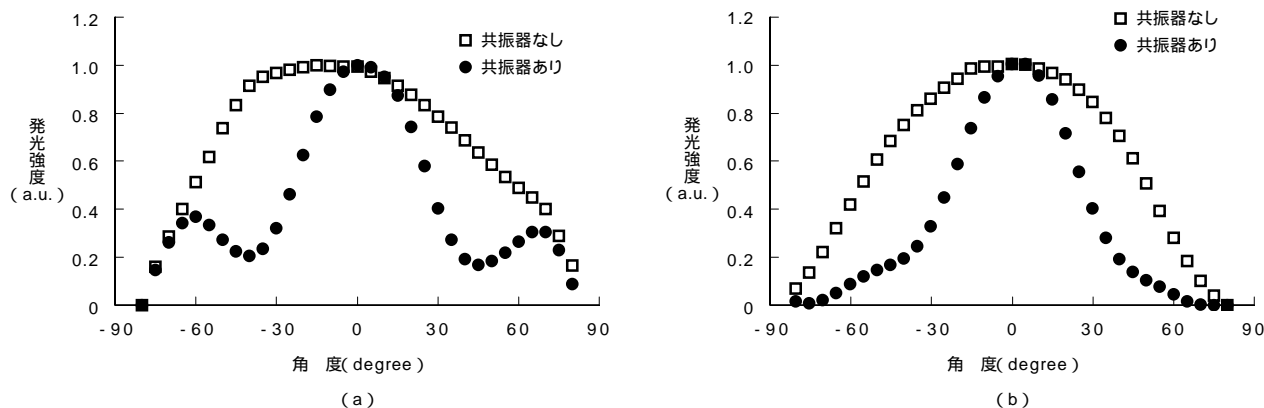


図6 (a) coumarin 6 : Alq₃ と (b) rubrene : Alq₃ を発光層に用いた有機LED 発光強度の角度依存性
Fig. 6. The angular dependence of electroluminescence intensity. Emitting layers are (a) coumarin 6 : Alq₃ and (b) rubrene : Alq₃, respectively.

ゲスト材料が rubrene と coumarin 6 の両方の場合において、共振器構造には指向性の向上効果があらわれている。図6の結果から開口数0.5の高分子導波路との結合効率を見積もった結果、rubrene : Alq₃の場合で結合効率が68%、coumarin 6 : Alq₃の場合で83%となり、共振器構造がない場合と比較してそれぞれ1.2倍、1.4倍高い値となった。図6(a)において高角度側にサブピークが現れている理由は、高次のモードが励起されて630nm付近にピークを持つ光の強度が強くなったからだと推測される⁶⁾。

最後に応答速度の評価結果を示す。図7に発光層が rubrene : Alq₃の有機LEDに正弦波電圧を印加したときの光出力の周波数依存性を示す。このとき素子面積は1 mm²、正弦波電圧7V、バイアス電圧5Vとした。図7から分かるように共振器構造を用いることで遮断周波数は若干ではあるが高周波側にシフトすることを確認した。

有機LEDの応答速度を制限している要因として静電容量、有機材料のキャリア移動度、蛍光寿命などが考えられている。現在はこれらのパラメータを最適化することで飛

躍的な応答速度の向上を検討している。

5.むすび

共振器型有機LEDの光通信光源の適用可能性を評価した。共振器構造を用いた場合に発光層に rubrene : Alq₃を用いて指向性、応答速度が向上することを実験的に確認した。以上の結果から、共振器型有機LEDは実用化までにはさらなる特性の向上が必要ではあるが、光通信の光源に適した構造であることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 黒川隆志：総論 - 光インターコネクションの現状と将来 - , OPTRONICS, No. 277, pp.164-167, 2005
- 2) 畠山意知郎ほか：高速インターコネクションを実現する光モジュール技術 - 光I/O内蔵システムLSIモジュール, OPTRONICS, No. 277, pp.180-188, 2005
- 3) 塩田剛史：光電気混載基板の開発動向, 電子情報通信学会誌, Vol. 88, No. 6, pp.435-439, 2005
- 4) H. Kajii, T. Tsukagawa, T. Taneda, and Y. Omori : IEICE TRANS. ELECTRON. Vol. E85-C, pp.1245-1246, 2002
- 5) H. Kajii, T. Tsukagawa, T. Taneda, K. Yoshino, M. Ozaki, A. Fujii, M. Hikita, S. Tomaru, S. Imamura, H. Takenaka, J. Kobayashi, F. Yamamoto, and Y. Omori : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, pp.2746-2748, 2002
- 6) S. Tokito, T. Tsutsui, and Y. Taga : J. Appl. Phys. Vol. 86, pp.2407-2411, 1999
- 7) Grüner, F. Cacialli, and R.H. Friend : J. Appl. Phys. Vol. 80, pp.207-215, 1996
- 8) H. Riel, S. Karg, T. Beierlein, W. Rie , and K. Neyts : J. Appl. Phys. Vol. 94, pp.5290-5296, 2003

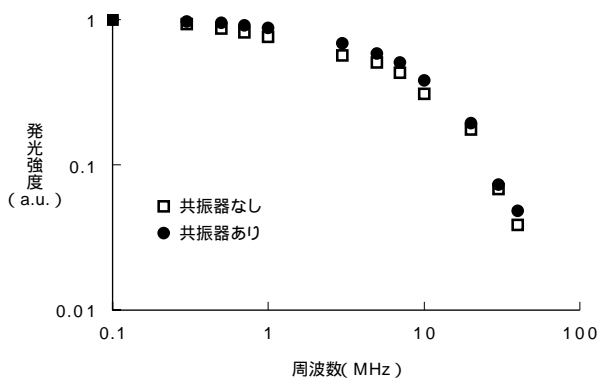


図7 光出力の印加電圧周波数依存性

Fig. 7. The relationship between the electroluminescence intensity and the frequency of the applied voltage.