

有機EL素子端面からの光放射スペクトル

増田勇輔、湯藤真一、岡田和之

Emission Spectrum from the End of Organic Light-emitting Device

Yuusuke MASUDA, Shin-ichi YUTOH and Kazuyuki OKADA

Abstract

The emission spectra from the end of organic light-emitting devices (OLEDs) were investigated under various operating conditions. In the OLED with Coumarin6 as emissive material, the emission spectrum from the end was observed to be different from that to the normal direction near the wavelength at the spectral peak intensity. In the OLED with NileRed, this difference was not observed. The spectral shape of the emission from the end of the OLED with the emission area size of 3mm was similar to that of 9mm, but not to that of 6mm. The emission spectrum to 0° direction from the end had flattop shape, but that to 60° direction had the same distinct spectral peak as that to normal direction had. This might be due to the propagation characteristics of the emissive lights in the organic layer to the end of the OLED.

Key words : EL device, EL spectrum, Display, Organic thin film

1. はじめに

有機EL素子は、有機薄膜を2枚の電極で挟んだ平面状の3層構造をしている。ディスプレイをはじめとする有機EL素子の応用では、平面構造に対して垂直方向に放射される光の特性が重要となる。これまで、この垂直放射光の研究が進められてきた。^{1, 2)}

有機膜内での発光は等方的であるため、垂直放射光だけでなく、素子端面から有機膜面に対して平行な方向への光放射も起こる。しかし、この端面方向に放射される光はほとんど研究されていない。この端面放射光と垂直放射光では、有機層内の発光点から素子外に出るまでの経路が異なるため、異なった光学特性を持つ

可能性がある。有機膜が約0.1 μ mと薄いので、垂直放射光は発光点での光学特性を保ったまま素子の外に放射される。これに対して、端面放射光は素子中を数mm伝搬して外部に放出されることになる。したがって、端面放射光は垂直放射光に比べて素子との相互作用長が長くなり、光学特性に違いが現れると予想される。素子構造、動作条件などを調整することにより、端面放射光の光学特性を生かして有機EL素子を新しい光源として応用することも期待できる。

本研究では、端面放射光のスペクトルを発光波長、発光領域などを変化させて計測し、垂直放射光との比較、検討を行った。

2. 有機 EL 素子の作製手順

ホール移動剤(PVK)、電子移動剤(Bu-PBD)、発光剤をジクロロエタンに溶解した。この溶液をスピコート法を用いて塗布し、帯状のITO電極の付いたガラス基盤上に有機薄膜を形成した。さらに、真空蒸着法を用いて Mg-Ag を陰極として透明電極 ITO に直交するように帯状に形成し、単層型の有機 EL 素子を作製した。端面放射光を直接測定するために、有機 EL 素子をITO電極に沿って切断した。

発光波長を変えるため、発光剤として Coumarin6 (緑)、または、NileRed (赤)を使用した。発光領域サイズは、ITO 電極(陽極)幅を 3mm、6mm、9mmと変化させて調整した。Mg-Ag 電極(陰極)幅は 6mmに固定した。

3. スペクトル測定方法

発光スペクトルの計測にはファイバマルチチャンネルフォトメータ(分光計器機、K-1013)を使用した。測定点からフォトメータへの導光には、光ファイバを用いた。

端面放射角は、EL 素子の端面方向を 0°、Mg-Ag 電極側を 90° とした。導光用ファイバを 0° から 90° まで 10° 間隔で移動し、それぞれの放射角での端面放射光スペクトルを測定した。ファイバのコア径は 0.4mm、ファイバと素子との距離は 10mmである。

4. 実験結果

4.1 垂直、端面方向への光放射スペクトル

発光剤として緑色に発光する Coumarin6 を使用した素子の垂直方向と端面方向(放射角 0°)へ放射する光のスペクトルを図1に示す。この素子の発光領域サイズは 6mm×6mmである。端面放射光は垂直放射光に較べて著しく弱い。両者のスペクトルを比較しやすくするため、図1においては端面放射光強度を相対的に大きく示してある。発光スペクトルのピーク強度の半分の点の波長幅をスペクトル幅とする。垂直放射光では 62nm、端面放射光で 66nmであり、顕著な差はみられなかった。しかし、ピーク波長近傍では端面放射光と垂直放射光のスペクトル形状に相違が観測された。図2に、波長 480nm~540nm領域における両スペクトルの拡大図を示す。垂直放射光では 495nmで発光ピークとなり、波長が長くなると 520nmまでは徐々に強度が低下した。一方、端面放射光は 495~520nmの領域でほぼ同じ強度であった。

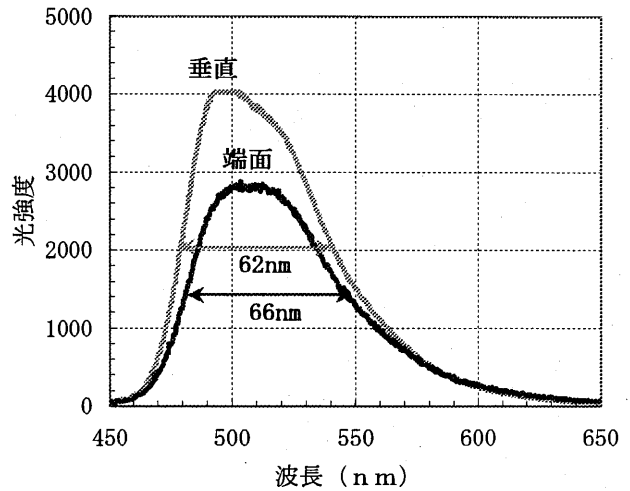


図1 Coumarin6含有素子の発光スペクトル

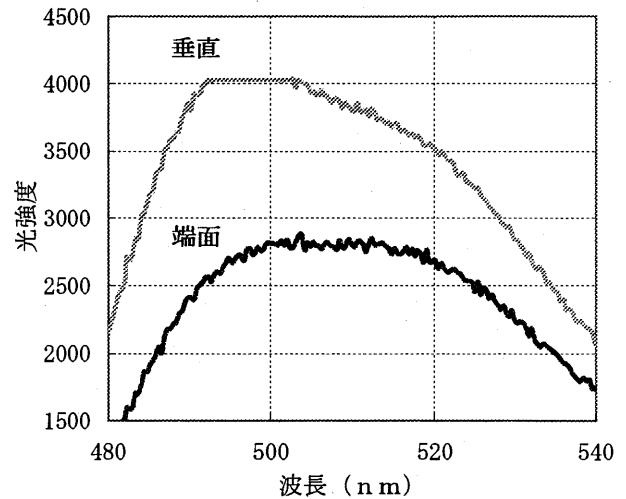


図2 図1のスペクトルの拡大図

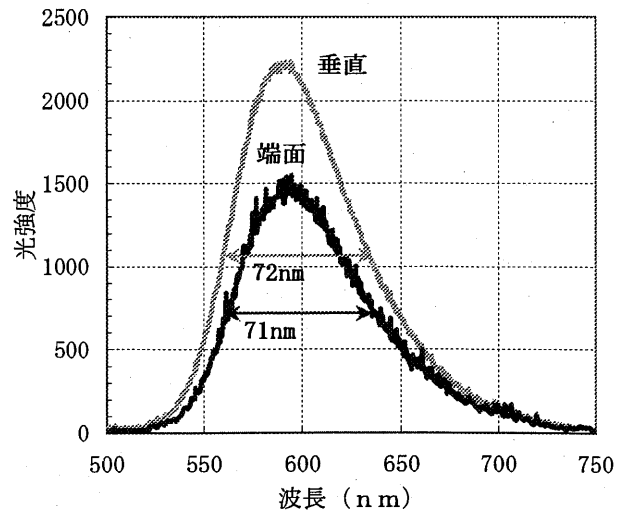


図3 NileRed含有素子の発光スペクトル

4.2 発光波長

発光剤として赤色に発光する NileRed を使用した素子の垂直放射光と端面放射光のスペクトルを比較したものを図3に示す。この図よりスペクトル幅は垂直放射光で 72 nm、端面放射光では 71 nm であり、有意の差は見られなかった。ピーク波長も 592 nm で一致していた。スペクトル形状も 500 nm ~ 750 nm の範囲においてほぼ同じであった。これらの点から判断して、発光剤として NileRed を使用した発光素子では、端面放射光と垂直放射光のスペクトル特性は同じと考えられる。

4.3 発光領域サイズの影響

先に述べたように緑色の発光素子 (Coumarin6) の垂直放射光と端面放射光のスペクトルにおいてスペクトルピーク波長近傍で相違が観測された。この相違に及ぼす発光領域サイズの影響を調べた。発光領域サイズを 3mm、6mm、9mm と変化させた素子の端面放射光スペクトルを図4に示す。3mm と 9mm のスペクトルはほぼ同じ形状を示した。しかし、6mm のスペクトルにおいては、他の2つスペクトルと比べるとピーク波長近傍で相対的に光強度が少し低下し、平坦化の様相がうかがえた。

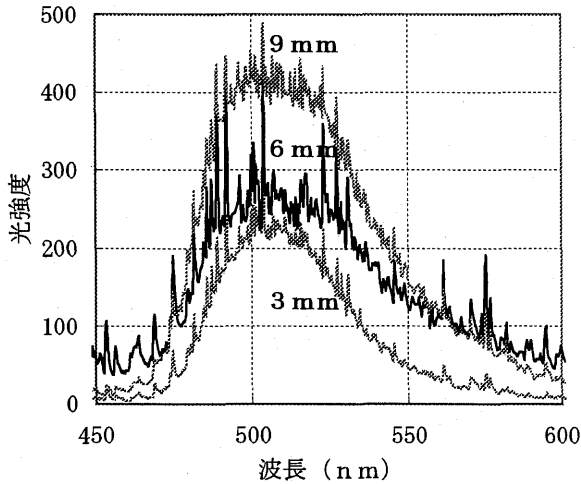


図4 発光領域サイズを変えたときの端面放射光スペクトル

4.4 放射方向の影響

緑色の発光素子 (Coumarin6) を使用して、端面放射光を放射角 0° ~ 90° の間で 10° 間隔に計測した。発光領域サイズも 3mm、6mm、9mm と変化させた。発光領域サイズが 9mm のときの端面放射角度が 0°

と 50° のスペクトルを図5に示す。放射角が 50° のとき、垂直放射光と類似のスペクトルが観測された。この傾向は発光領域サイズを変化させた素子においても同様であった。

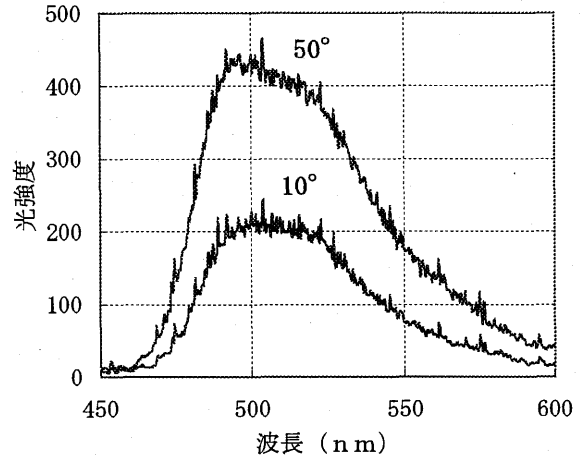


図5 異なる放射角での端面光スペクトル

5. 検討および考察

4.1 ならびに 4.4 項で示したスペクトルの相違を定量的に表すため、次のような評価を行った。図6に示したスペクトルにおいて、ピーク波長 495 nm でのスペクトル強度 (図6の①) を1としたときの波長 530 nm でのスペクトル強度 (図6の②) の比率を求めた。この比率が1に近ければ 495 nm から 530 nm の波長範囲でほぼ一定のスペクトル強度を有していることになり、4.1 項で示した放射角 0° の端面放射光スペクトルがこれに相当する。発光領域のサイズが 6mm のときの垂直放射光スペクトルでは、この比率は 0.75 の値をとる。

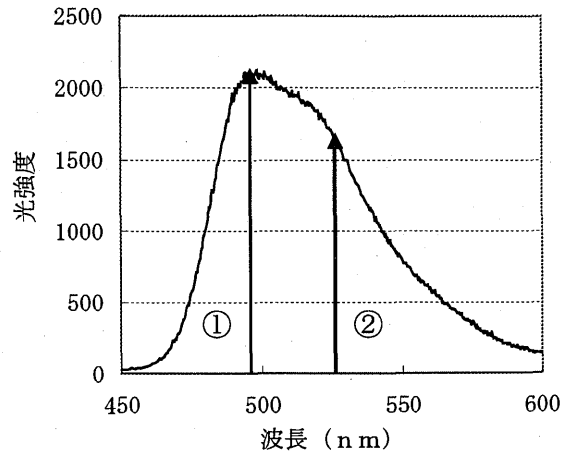


図6 スペクトル形状比率

発光領域が 3mm、6mm、9mmの時の垂直方向と各端面放射角でのスペクトル形状比率をまとめたものを表1に示す。端面放射角 90° は光強度が極端に弱かったため、比率の評価が困難であった。垂直放射光スペクトルの形状比率は、いずれの発光領域サイズにおいてもほぼ 0.75 程度となっている。

表1 垂直、端面比放射光スペクトルの形状比率

発光領域サイズ	3 mm	6 mm	9 mm
垂直	0.72	0.75	0.77
端面 0°	1.28	1.00	1.14
端面 10°	1.18	0.93	1.37
端面 20°	1.00	0.85	0.92
端面 30°	0.70	0.85	0.91
端面 40°	0.75	0.87	0.89
端面 50°	0.76	0.84	0.82
端面 60°	0.70	0.75	1.07
端面 70°	0.71	0.84	1.18
端面 80°	0.88	0.84	1.66

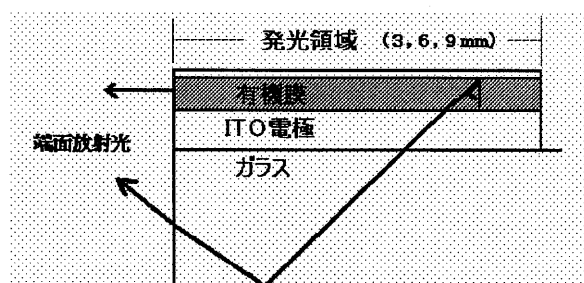


図7 端面放射光のガラス基盤中での伝搬

発光領域サイズが 3mmと 6mmの素子でのスペクトル形状比率の放射角依存性をみると、端面放射角が 0° 近傍では形状比率は 1 に近くなっており、放射角が大きくなるにつれて徐々に低下する傾向にある。放射角 60° で最も小さくなり、このとき垂直放射光スペクトルの形状比率にほぼ一致した値をとっている。発光領域サイズが 9mmの素子もほぼ同様の傾向を示すが、放射角 50° でのスペクトル形状比率は垂直放射光の場合の 0.75 ほど小さくなっていない。

図7に示したように、有機膜内で発光し、垂直方向に放出した光でも、伝搬条件によってはガラス基盤と空気の境界面で全反射し、素子端面から素子外へ端面放射光として放射する成分がある。この成分が端面放射光強度の角度分布に大きく影響し、素子端面からの放射光強度（全波長域にわたり合算した光強度）は放

射角 0° から 50° にかけて増加し、さらに放射角が大きくなると低下することが、別の実験で調べられている。³⁾ 表1で示したように、垂直方向に放射される光はスペクトル形状比率 0.75 を有しているため、放射角 50° ~60° でスペクトル形状比率が最も小さくなり、垂直放射光の形状比率である 0.75 に近づいていると考える。放射角が 0° ならびに 90° に近い領域ではこの成分が小さくなるため、スペクトル形状比率が 0.75 より大きくなっている。

6. まとめ

単層型有機 EL 素子の端面方向への放射光のスペクトルを種々の動作条件のもので比較、検討した。緑色発光する Coumarin6 を発光剤とした EL 素子の端面放射光スペクトルにおいて、発光ピーク波長近傍で垂直放射光スペクトルとの相違が観測された。

赤色発光する NileRed 含有 EL 素子では、この相違は観測されなかった。

発光領域サイズが 3mm、9mmの素子においては、端面放射光スペクトルは相似であったが、サイズが 6mmの素子では、スペクトルピーク波長近傍で平坦化傾向を示した。

放射角 60° 方向への端面放射光は垂直放射光と同様にスペクトルピークが顕著に現れるが、放射角が 0° に近くなるとピーク波長近傍が平坦化したスペクトル形状を示す。これには、有機層から垂直方向に発光した成分が素子内を伝搬し、素子端面から放射することが大きく関係していると考えられる。

参考文献

- 1) M. Hamaguchi and K. Yoshino: Appl. Phys. Lett., **69** (1996) 143-145.
- 2) J. K. Sun, H. J. Peng, M. Wong and H. S. Kwok: Appl. Phys. Lett., **87** (2005) 093504 - 1-093504 - 3.
- 3) 宮田健吾: 有機 EL 素子端面放射光の角度分布に関する研究、近畿大学大学院修士論文、(2005) .