

次世代照明の本命，有機 EL 照明パネルの開発と量産化

Development and Mass Production of the OLED Lighting Panel Which is the Favorite Lighting in Next-Generation



堀 恵一* ¹ Keiichi Hori	鈴木 譲治* ² Joji Suzuki
高村 誠* ³ Makoto Takamura	田中 純一* ⁴ Junichi Tanaka
吉田 勉* ⁵ Tsutomu Yoshida	津元 良公* ⁶ Yoshitaka Tsumoto

当社, Lumiotec(株)は, 次世代の照明用光源として有望な有機 EL パネルの量産製造と販売を世界で唯一行っている会社である. 2011 年1月から, 正方形大小2種類, 長方(短冊)形大中小3種類の5形状と, それぞれに電球色と昼白色の2つの発光色を持つ合計 10 タイプの生産, 販売を開始している. また, 2011 年9月からは, 世界で初めて量産の有機 EL パネルと専用小型ドライバモジュールを組み込んだデザイン照明2種(商品名:HANGER, VANITY)の販売を開始した. 同時に進めているパネルの開発においては, 燐光材料を使用して, 電力効率 40lm/Wを実現し, 高効率と高輝度及び長寿命を併せ持つ新規パネルを開発した.

1. はじめに

当社, Lumiotec(株)は, 照明用有機 EL パネルの事業性検証を目的として, 2008 年5月に, 三菱重工業(株), ローム(株), 凸版印刷(株), 三井物産(株)などの出資により発足した世界初の照明用有機 EL パネルの専門会社である.

有機 EL は, 白熱電球や蛍光灯などの従来型光源と異なり, 極薄・軽量の面状発光体であり, 照明器具メーカー, デザイナーにとっては, これまでにない照明デザインや演出を生み出し, 住宅やオフィス, 店舗, さらには航空機や車両などの乗り物で, 新たな居住空間を創出することが可能となる. また, 一般消費者に対しては, 蛍光灯のように水銀など有害物を含まないことに加え, 紫外線を含まない柔らかい光は, 肌や目にやさしいばかりでなく, 演色性も高いことから, 安全かつ快適な照明を提供できる.

当社は, これまでトレードオフの関係にあるとされていた高輝度化と長寿命化を両立させるマルチフォトン素子(MPE)技術と, 材料の利用効率を格段に高め, 多層の成膜を短時間に処理するリア蒸発源式インライン成膜技術の特徴として, 山形県米沢市に量産ラインを構築, 照明用有機 EL パネルの開発と生産を行っている.

2. 高輝度・長寿命パネルの開発

2.1 照明用有機EL素子

有機EL素子は有機半導体を用いた平面発光ダイオードであり, その特性をいかして, まずディスプレイとして実用化されたが, 近年 LED 照明とともに次世代照明としての期待が高まっている. 照明用光源にはディスプレイの 10 倍以上の高輝度が要求され, 輝度と寿命の両立が大きな課題となっていたが, 当社は発光ユニットを複数段積層して電流効率(輝度)をほぼ積層倍にするマルチ・フォトン・エミッション(MPE)技術により, 高輝度かつ大面積パネルでの均一な発光を

*1 Lumiotec(株)技術部長 技術士(機械部門)

*2 Lumiotec(株)技師長

*3 Lumiotec(株)開発部長

*4 Lumiotec(株)開発部グループ長代行

*5 Lumiotec(株)技術部グループ長

*6 機械・鉄構事業本部機械事業部新製品部主席チーム統括

実現した。MPE素子(構造と原理を図1に示す)は、発光ユニットを Charge Generation Layer(電荷発生層)を介して直列に積層する技術^{※1}で、高輝度と長寿命の両立を可能とした。

※1 三菱重工業(株)、ローム(株)及び山形大学城戸教授が特許の共同権者。当社は実施権保有。

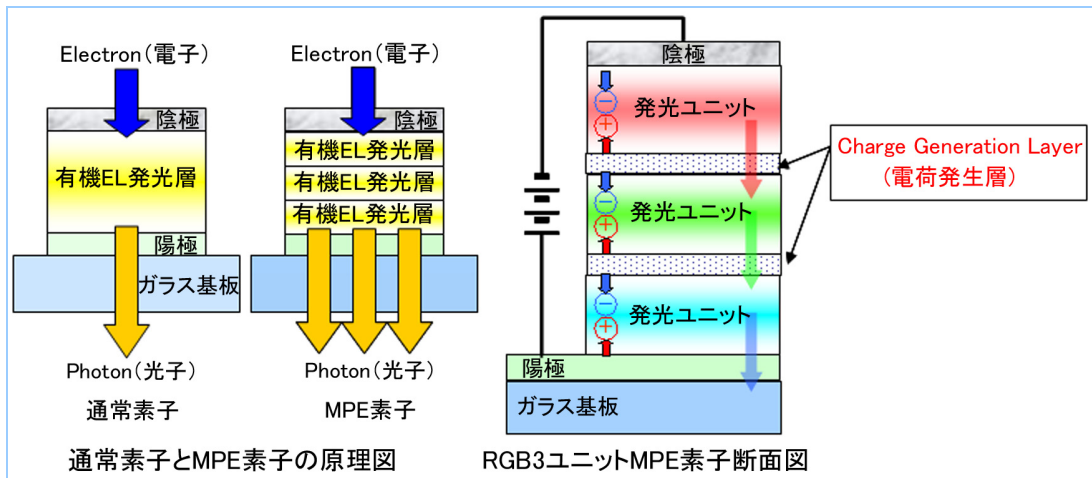


図1 Multi-Photon Emission 素子の原理図と断面図

2.2 照明用有機ELパネルに求められる性能

照明用有機ELパネルには、高輝度と長寿命のほかに、高い電力効率(単位は lm/W)、高い演色性(色を再現良く見せる評価値)や、発光色(色温度と色座標)の規格整合性と、発光の角度依存性や経時変化及び個体間ばらつきが一定内^{※2}であることなどが求められる。我々は、それら全ての性能をバランス良く達成することを念頭において実用的な製品の開発を行っている。

※2 固体照明の発光色に関する規格は主にLED照明が対象であるため今後国際標準化の場で議論される必要がある。

2.3 高輝度・長寿命素子の開発と生産

白色有機EL照明素子は、青、赤、緑などに光る有機物を同時に光らせて白色光を得るが、色によって耐久性が異なるため経時的な発光色変化(カラーシフト)を生じ、輝度寿命とともに改善が必要なテーマとなっている(発光素子構造の比較を図2に示す)。

マルチユニット(MPE)型	多層発光型	色変換型	並置型(ディスプレイ方式)
n ユニット積層の場合 輝度がほぼ n 倍又は輝度一定なら電流がほぼ n 分の 1	簡易な構造で混色が可能だが高輝度に難有り	色の経時変化が少ないが色変換層にコストがかかり高輝度に難有り	ディスプレイ同様色調整が可能だが駆動回路が複雑で高価、高輝度に難有り

図2 発光素子構造の比較

そこで当社は、このカラーシフトを改善するために最も耐久性の低い青色素子の長寿命化に取り組む、キャリア(電子とホール)のバランスを長期間持続させることが最も重要であることを究明した。その後安定したキャリア輸送構造の開発に成功し、従来比5倍以上の寿命を持つ青色素子を実現した。これによりカラーシフト寿命を大幅に向上させ、実用的な性能を持つ製品パネルを市場投入した(製品パネルの諸元を表1に示す)。

表1 標準パネル性能

項目	単位	色温度タイプ	
		電球色	昼白色
パネル外形寸法	(W×L×t)mm	145×145×2.3	
パネル重量	g	107	
発光部寸法	mm	125×125 (150cm ²)	
全光束	lm	99	99
定格電流	A	0.9	0.9
定格電圧	V	10.7	10.5
電力効率	lm/W	10.3	10.5
色温度	K	2800	4900
平均演色評価数	Ra	82	81
色度座標	(x, y)	(0.45, 0.42)	(0.35, 0.38)
定格輝度	cd/m ²	2800	2700
輝度半減寿命	h (1000cd/m ²)	50000	100000
	h (3000cd/m ²)	10000	20000

3. 光取り出し技術の開発

有機 EL 素子は、透明電極(ITO^{※3})を成膜したガラス基板に有機層を複数層真空蒸着し、陰極として金属層を蒸着した構造となっている。有機層の発光層から出た光は全方向に広がり、陰極側で反射した光とともにガラス基板側から外部に放射されるが、ガラスとITO、ガラスと外部空気層との屈折率の違いにより、それぞれの境界面で全反射した光は内部に残って減衰し、外部に出てこない。実際に取り出される光の量は全発光量の約20%にすぎない。当社では、基板モードの光を有効に取り出すため、親会社である凸版印刷(株)と共同で光取り出しフィルム(表面にプリズムレンズを形成した樹脂フィルム)を開発した。本フィルムをガラス基板の表面に貼り、ガラスと外部空気層との境界面での反射を低減させ、光取り出し効率を向上(～1.5倍)させている(図3に有機EL素子の光伝播モードと光取り出しフィルムの効果について示す)。

※3 酸化インジウムスズ(Indium Tin Oxide)の略称

光取り出しフィルムは、凸版印刷(株)の有する光学設計技術と、微細加工技術の融合により実現したもので、有機EL素子の光学設計と連携しながら、今後光取り出し効率の向上を図り、また薄膜モードの損失低減に向けた新たな光取り出し構造技術の開発でも連携を図っていく計画である。

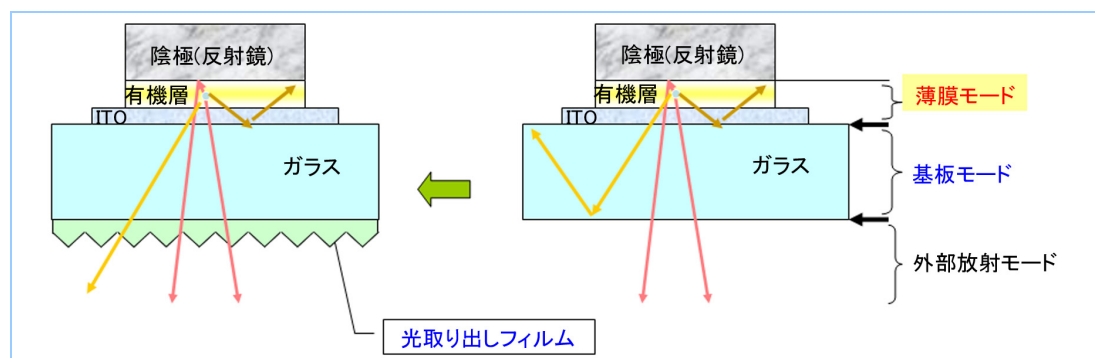


図3 有機EL素子の光伝播モードと光取り出しフィルムの効果

4. 封止技術の開発

4.1 有機EL照明用封止技術

有機EL素子の劣化防止のため、素子を成膜した基板にガラスキャップなどで封止をする必要がある。有機ELディスプレイでは通常窒素などの気体を封入した封止が行われるが、熱伝導性が悪く、照明のハイパワー入力に耐えない。高輝度で点灯させた場合給電端子近傍の放熱が不足し、素子が異常加熱され、最悪熱暴走を起し破壊してしまう。従来はフッ素系などの絶縁性オイルを充填し放熱性をある程度向上させていたが、生産性も悪く限界があった。

4.2 新規封止技術

これらを改善するとともに、加えて高価な掘り込みキャップではなく通常の安価な平板ガラス基板を用いた封止の実現に取り組み、ゲル封止プロセスを開発した。ゲルは固体と液体の中間的な性質を持つ材料であり、液体のような扱いにくさがなく、固体封止のように有機 EL 素子への影響に対する厳しい配慮や高価な真空プロセスが必要ではない。当社では、フラットパネルディスプレイの製造プロセスで通常用いられる、ディスペンスや印刷、貼り合わせといった工法を応用した量産プロセスを構築した。

ゲル材は、素子を劣化させないような材料を選定し、通常キャップに貼り付ける吸湿剤に代わって無機系吸湿剤をゲル中に分散させたことにより、伝熱性・放熱性を向上させるとともに従来と変わらない封止性能を実現し、パネルの薄型化も実現した(厚さ 2.3mm)。

この結果、142 mm□サイズのパネルにおいて 5000cd/m²と比較して、最大 12°C程度パネル温度を下げることができ(図4)、パネルの寿命や信頼性を向上させ実用的な有機 EL 照明パネルの提供を可能にした。

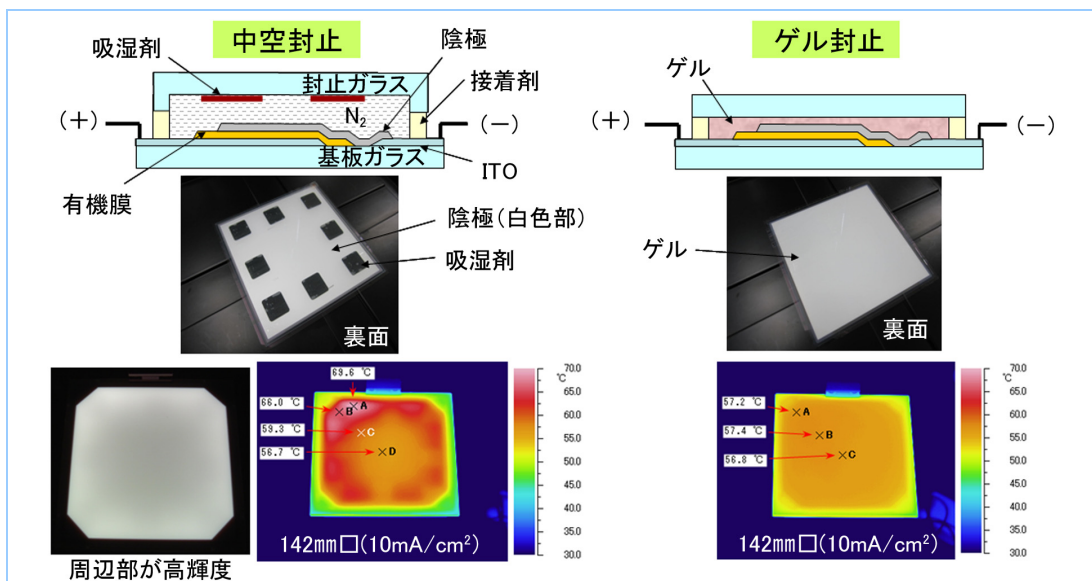


図4 パネル発光状態と発熱(5000cd/m²点灯時)

5. 量産技術開発

5.1 インライン成膜装置の概要

製造工程の心臓部に当たる成膜装置は、照明用有機 EL 専用に三菱重工業(株)(機械事業部)で開発した“リニア蒸発源搭載インライン成膜装置”を使用している(図5に外観を示す)。本装置は、真空チャンバ、リニア蒸発源、基板搬送機構、真空排気装置などで構成される。リニア蒸発源とは、有機材料を線状に蒸発させる長尺のつぼであり、有機膜の層数に合わせて、所定の間隔で真空チャンバ内に配置する。このリニア蒸発源上をトレイに載せたガラス基板を連続的にほぼ隙間なく搬送することにより、基板下面に有機材料を積層成膜する(図6)。この方式は、高価な有機材料の利用効率が非常に高いこと、連続搬送によりタクトタイムを短くできることが特徴であり、照明用有機 EL の低コスト量産に適した装置である。



図5 インライン成膜装置の外観

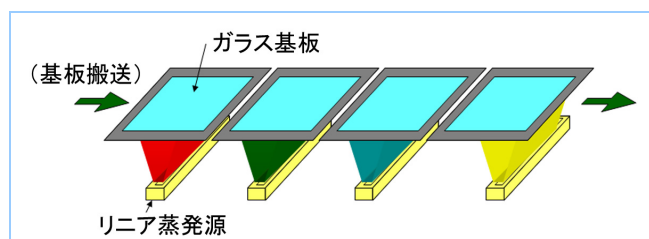


図6 リニア蒸発源とインライン搬送の模式図

5.2 当社における運転実績

本装置は2009年8月に当社、米沢工場に設置され、現在まで2年以上の期間、生産及び開発にフル稼働されている。高品質なパネル生産を行う上で重要となる基板面内の膜厚分布は±2%以内(図7)、歩留り向上にかかせない成膜レートの長時間安定性は、144時間連続運転で±2%以内(図8)の実績であり、安定した品質のパネル生産に貢献している。

本装置を用いて、2011年1月から、正方形大小2種類、長方(短冊)形大中小3種類の5形状と、それぞれに電球色と昼白色の2つの発光色を持つ合計10タイプの生産、販売を開始した(冒頭タイトル写真参照)。パネル形状は、蒸着マスクの取り換え、パネル発光色は、発光材料の一部変更のみで対応し、一つの成膜装置で効率よく多品種の切替え生産が可能となっている。

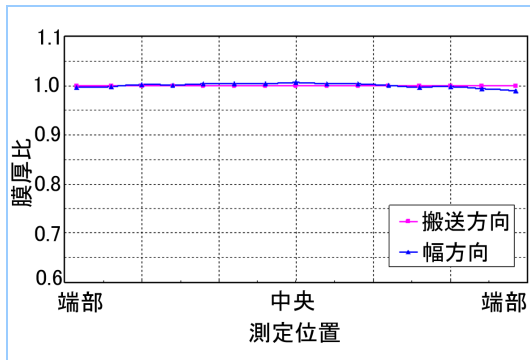


図7 基板面内の膜厚分布

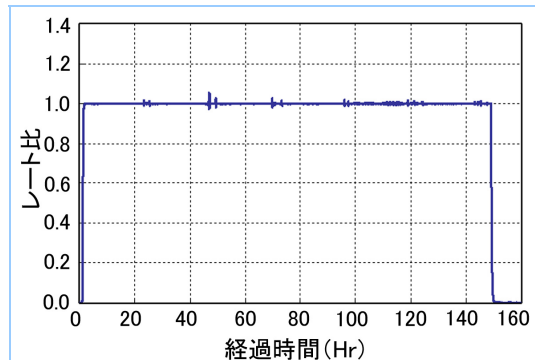


図8 成膜レートの長時間安定性

6. 次世代パネルの開発

6.1 最新開発状況(目標及び実績)

2010年度末から発売したパネルはすべて蛍光発光材を使用していたが、2012年春より発売予定の次世代パネルには燐光発光材を用いている。燐光発光材は、理論的に素子内部の発光効率を100%(蛍光発光材の4倍)にすることができるため効率向上に欠かせない技術である。また一般的に、素子内部で発生した光の約80%はパネル内部で損失しており、これを外部に取り出す“光取り出し技術”が今後の要となる。今回開発した素子は、これら新技術の相乗効果により電力効率40lm/Wを達成し、高効率と高輝度及び長寿命を併せ持つ性能に仕上がった。(新照明パネルの性能諸元を表2に示す)

表2 次世代パネル性能目標

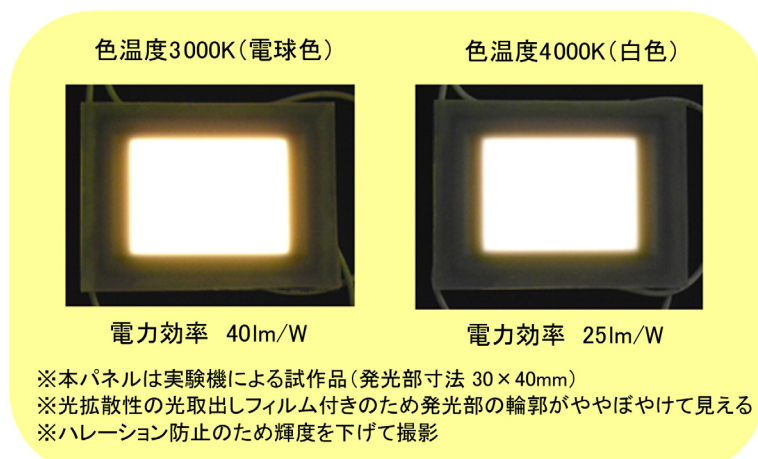
項目	単位	色温度タイプ	
		電球色	白色
パネル外形寸法	(W×L×t)mm	145×145×2.3	
パネル重量	g	107	
発光部寸法	mm	125×125 (156cm ²) 角電極無しタイプ	
全光束	lm	110	110
定格電流	A	0.36	0.49
定格電圧	V	7.5	9.0
電力効率	lm/W	40.0	25.0
色温度	K	3000	4000
平均演色評価数	Ra	79	83
色度座標	(x, y)	(0.43, 0.42)	(0.38, 0.38)
定格輝度	cd/m ²	3000	3000
輝度半減寿命	h (1000cd/m ²)	60000	125000
	h (3000cd/m ²)	12000	25000

6.2 素子構成と特徴

新パネルには、独自の素子内光路設計手法によって光取り出し効率を大幅に向上させた高効率白色MPE素子を搭載し、効率面においても市場の要求に応えられる性能に到達した。効率の向上に伴い、照明パネルの発熱の抑制(室温で36℃)や部材コストの低減など様々な副次的効

果が得られている。また高色温度タイプ(4000K/白色)は効率 25lm/W を開発済みであるが、2012 年度には更なる高効率化を図っていく予定である。

新パネルは、現行パネルで課題となっていた発光効率の向上と色の角度依存性改善などに主眼を置いて開発を行った。燐光発光機構による内部発光効率の向上だけでは十分な効果が期待できないため、素子構造は、安定した量産性と低電圧駆動及び光取り出しが容易な構成にすべく大幅に見直した。また光取り出しフィルム貼り付け時に、最大限の取り出し効果と均一な波長配光分布が得られる様に光学設計を最適化する技術を導入するなど、新技術の複合的效果によって、現行材料では最大となる効率と寿命及び良好な配光特性を達成した。(図9 30×40mm 試作パネルの写真)



一部材料と技術の提供: Universal Display Corporation 社の UniversalPHOLED®

図9 新開発パネルの発光写真

7. まとめ

当社は、2011年9月より、当社の有機 EL パネルを用いたデザイン照明2種(ポータブルタイプの HANGER と卓上タイプの VANITY, 図10)の販売を開始した。これらは2011年3月にイタリア・ミラノで開催された世界最大規模の国際家具見本市(ミラノ・サローネ)で展示し、好評を博したもので、量産の有機 EL パネルと専用小型ドライバモジュールを組み込んだ照明器具の商業販売としては、今回が世界で初めてである。当社は、燐光材料を適用した高効率パネルの開発により、電力効率など各種性能の更なる向上と製造コストの低減を通じ、有機 EL 照明パネルの普及と事業化を加速し、地球環境の改善に寄与できるよう、努力していく。



図10 当社デザイン照明【HANGER】8色カラー、および【VANITY】

参考文献

- (1) 小笠原ほか, 照明用有機 EL 製造装置, 三菱重工技報 Vol.46 No.1 (2009) p.33~35
- (2) Lumiotec マーケティング部, 照明用有機 EL パネル, 三菱重工技報 Vol.47 No.1 (2010) p.64~65