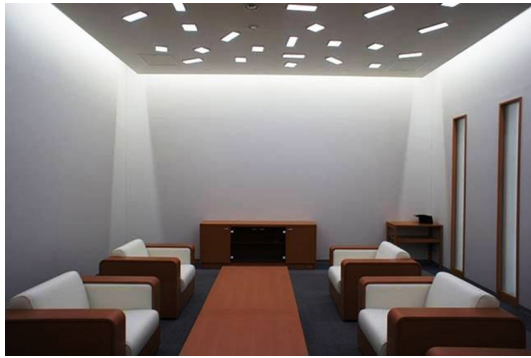


# 高輝度・長寿命・高効率な 照明用有機 EL パネルの開発と製品化

Development and Mass-Production of OLED Lighting Panels having  
High Luminance, Long Lifetime and High Efficiency.



田中 純一\*1  
Junichi Tanaka

森本 満\*2  
Mitsuru Morimoto

河合 崇\*1  
Takashi Kawai

梶川 不二雄\*3  
Fujio Kajikawa

吉田 勉\*2  
Tsutomu Yoshida

鈴木 譲治\*4  
Joji Suzuki

有機EL照明は、省電力で人と自然に優しい次世代固体照明として期待をされており、寿命面では蛍光灯を凌ぐレベルにまで到達している。発光効率の更なる向上が必要ではあるが、薄型・軽量・面発光で目に優しいなどの特徴を持つ、新しい照明空間設計が可能な光源として様々な需要が期待されている。本稿では、高効率化を中心に現在の開発状況と課題、今後の方向性などについて述べ、高い発光効率(40 lm/W)かつ長寿命(40000時間)なパネルを開発し、シリーズを充実させたことを報告する。

## 1. はじめに

近年の急激な地球環境変化へ対応するため、地球に優しい省資源・省エネルギーの一層の推進と循環型社会の早急な構築が叫ばれている。照明分野では省エネルギーの観点から、従来照明の白熱電球や蛍光灯などからLED照明への置き換えが進んでいる。

有機EL照明は、LED照明と類似の発光原理を持つ半導体照明であり、特徴として高効率化による省電力、長寿命、自然の色を再現する高演色性、被照明物を痛めない紫外線レスがある。これらに加えて、有機EL照明には、目に優しい、局所的な温度上昇がない面発光の拡散光源、設置場所を選ばない薄型・軽量などの優れた特徴があるため、既に博物館などの特殊照明として採用が始まっている<sup>(1)</sup>。

本稿では、有機EL照明の更なる性能改善に欠かせない“有機発光素子及び光取り出し技術”の開発経緯、そして本成果により達成した高輝度・長寿命・高効率な有機ELパネルについて述べる。

## 2. 高輝度・長寿命・高効率照明用有機ELパネルの開発

### 2.1 高色温度(4000K)タイプ<P09シリーズ>

2013年2月より発売を開始したP07シリーズは、定格輝度3000cd/m<sup>2</sup>、発光効率30lm/W、輝度寿命LT70\*12000時間の白色(4000K)パネルである。演色性Ra\*2も90と高く、色再現性が重視される美術館や店舗照明などにも対応可能な適用範囲の広いパネルである。

\*1 LT70とは、初期輝度の70%まで明るさが低下する時間。

\*2 Raとは、平均演色評価数を示す記号。評価光源で試験色(R1~R8)を照らした際に基準光との見え方の違いを数値化し平均化したもので、100に近づくほど色の再現性が増す。

\*1 Lumiotec(株)技術部 技術グループ 主任

\*2 Lumiotec(株)技術部 技術グループ 主務

\*3 Lumiotec(株)技術部 技術グループ グループ長

\*4 Lumiotec(株) 技師長

今回、P07 シリーズで実現した照明に求められる主要な光学特性を維持しつつ、更なる省電力化に対応するため、発光効率 40 lm/W クラスの P09 シリーズを開発した。省電力化を図るには、駆動電圧の低減あるいは、単位電流あたりの輝度(光束)を向上させることが必要となる。そのためには、発光ドーパントやホストの適切な選択による発光効率の改善、電子・ホール移動度といったキャリアの輸送性能に着目した材料選択、隣接する有機層間のキャリア注入障壁といったエネルギーレベルに着目したデバイス設計、素子内部での光学干渉を考慮した光学設計などが重要となる<sup>(2)</sup>。P09 シリーズでは、効率を重視した発光波長の選択を行うとともに、各強度比の最適化により、高演色性を確保している。

また効率の向上やキャリアバランスの改善に伴い、4000cd/m<sup>2</sup>の高輝度化にも対応した。また、初期輝度 3000cd/m<sup>2</sup>での LT70 も 40000 時間と飛躍的に改善し、LED など他の光源と比較しても遜色ないレベルに到達している。これにより、実用的な性能を維持しつつ、有機 EL 照明用パネルとしてはトップクラスの輝度を実現した。

## 2.2 低色温度(3000K)タイプ<次期高効率パネルの開発>

現在、低色温度(3000K)タイプの電球色パネルとして P05 シリーズを製品化しているが、本パネルの発光効率は 40 lm/W である。更なる高効率化を実現するために、光取り出し構造を有する新規素子の開発を行い、60 lm/W の発光効率を達成した。

基本となる素子構造においては、電球色の特性に合わせた配光設計を行うとともに、発光材料についても見直しを行った。具体的には演色性 Ra の改善のため、よりブロードな発光スペクトルを有する材料を導入することで、効率と演色性の両立を図っている。加えて、従来の光学フィルムでは取り出すことのできなかつた薄膜モード光(有機薄膜内に閉じ込められた光)を、効率良く取り出すことのできる光取り出し構造を新たに開発することで、高効率化を実現した。今回導入した光取り出し構造の詳細については、次節にて述べる。

本開発品と P05 シリーズとの特性比較表を表1に示す。開発品では輝度 3000cd/m<sup>2</sup>において 60 lm/W を達成しており、実用的な性能を有しているが、省電力化の観点からより一層の高効率化が必要である。また市場からは更なる高輝度化及び長寿命化に対するニーズも多いことから、高輝度発光に対応した次期高効率パネルの開発に取り組んでおり、2014 年度内の製品化を予定している。

表 1 製品パネル P05 シリーズと開発品との特性比較表

項目	単位	電球色タイプ	
		製品パネル P05 シリーズ	開発品*
輝度	cd/m <sup>2</sup>	3000	
発光効率	lm/W	40	60
電流密度	A/m <sup>2</sup>	29	20
電圧	V	8.0	7.6
相関色温度	K	2800	2700
演色性(CRI)	Ra	80	84

\*30mm×40mm 発光サイズ

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

## 3. 光取り出し効率の向上による有機 EL パネルの更なる高効率化

### 3.1 光取り出しに関する概要と原理

白色有機 EL 照明の高効率化を実現するためには、光取り出し効率の向上が必須である。有機 EL 素子の一般的な構造と発光した光の導波経路及び内訳を図1に示す。各層の屈折率は概ね有機層(発光層)=1.80、透明電極(ITO<sup>\*3</sup>)=1.90、ガラス基板=1.52 程度となる。有機層と透明電極の屈折率が高いため、スネルの法則により①透明電極からガラス基板に出られず、閉じ込

められる成分(薄膜モード:53%)②ガラス基板から大気に出られず、閉じ込められる成分(基板モード:30%)が生じる。その結果、大気に取り出される光は、わずか17%と少なくなる。

光取り出し効率改善の一手法として、導波する光の方向を変える方法がある。透明電極から取り出せない光は、透明電極とガラス基板の間に高屈折率構造物や散乱層を付加することで、一方ガラス基板内に閉じ込められる光は、ガラス基板表面に構造物や散乱層を有するフィルムを付けることで、導波する光の方向が変わり、光取り出し効率の改善を図ることが出来る。

すなわち、光取り出し効率を向上させるポイントは、導波する光の方向を変え、臨界角(全反射角)にあった光線を、射出できる角度に持っていくことが、重要なポイントになる<sup>(3)</sup>。

\*3 ITOとは、透明導電膜を構成する錫(すず)を添加した酸化インジウム(Indium Tin Oxide)の略称。

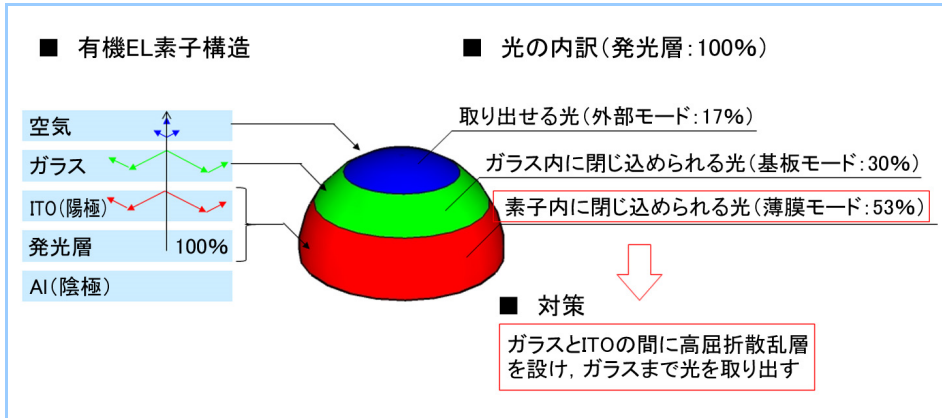


図1 一般的な有機EL素子における導波経路及び発光した光の内訳

### 3.2 光取り出しシミュレーション

図2に屈折率の相違による光の強度分布シミュレーション結果を示す。屈折率差が無い場合、光は同心円状に広がる。一方、層内に屈折率差(屈折率が高い方から低い方へ進む)がある場合は、界面で全反射が起こるために光が戻り、屈折率が低い層内へ光が入っていかなくなる。この層内に光を入れ込むために、透明電極とガラス基板の間に散乱層を設けた時の、光の強度分布シミュレーション結果を図3に示す。

透明電極とガラス基板の間に散乱層がない場合は、臨界角度以上の光は戻り光となり、発光層とITO層内を導波し、ガラス基板には射出できない光となる。一方、散乱層がある場合は、散乱層で角度が変わり、ガラス基板に光が入り込むことが確認された。その量は、散乱の構成にもよるが、20~30%多く入れ込むことが可能となる。上記の結果を踏まえて、光取り出し基板を使用した有機ELパネルの試作を行った。

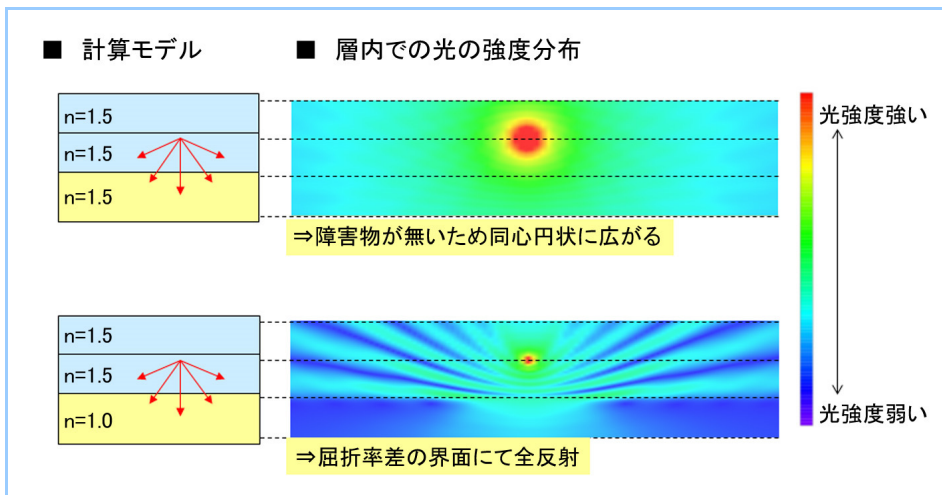


図2 屈折率の相違による光の強度分布シミュレーション

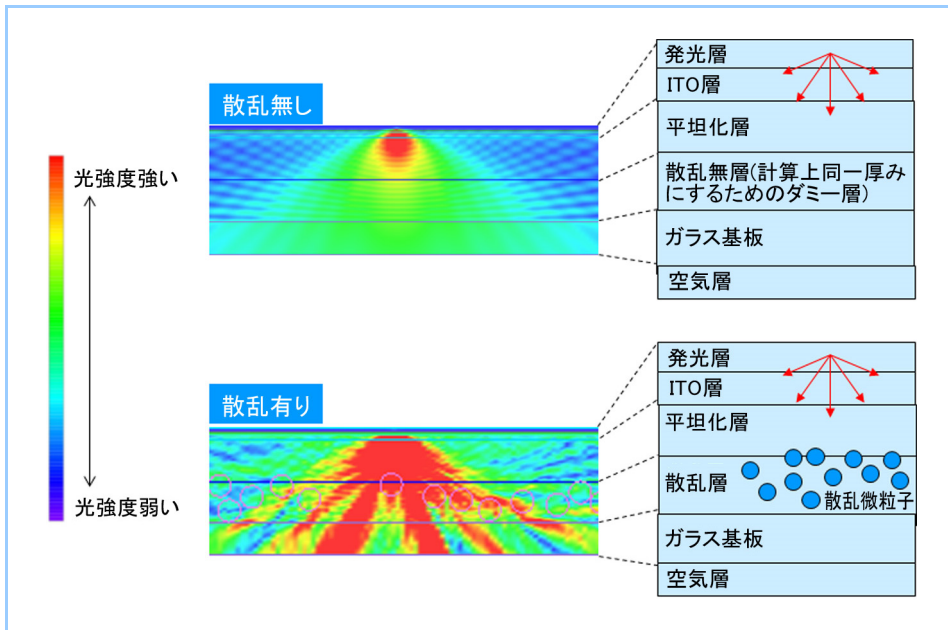


図3 散乱の有無による光の強度分布シミュレーション

### 3.3 高効率化に向けた光取り出し基板の試作評価

開発した光取り出し基板の構造を図4に示す。基材となるガラス基板上に散乱性を有した高屈折率層を形成し、透明導電膜としてのITO膜を積層したシンプルな構造となっている。散乱性を有した高屈折率層に必要な条件を以下に示す。

- ・ 発光層で生じた光をITO膜との層界面において全反射無く取り込むことが出来る屈折率を有すること
- ・ 取り込んだ光の方向をガラス界面で反射しない角度(臨界角)となるよう光散乱性を有すること
- ・ ガラス基板上に直接形成されたITO膜並の表面平滑性を有すること

上記を具現化するため、この光取り出し基板は2層型の構造を採用しており、ガラス基板側に散乱性を持たせた層(散乱層)がある。また、ITO膜側に平坦性を維持するための高屈折率層(平坦化層)を形成している。

平坦化層とITO膜の屈折率比較を図5に示す。これより、可視光全域の広範囲にわたり平坦化層の屈折率はITO膜より屈折率が高いことから効率よく光を取り込むことが出来る。

光取り出し効率を最大限に高めるに当たり、前項で紹介したシミュレーション結果で得られた配光分布から素子設計とのマッチングを取ることで、より高い効率を得るための構造最適化を図ることが可能となった。本光取り出し基板と白色燐光素子を組み合わせることで、輝度 3000cd/m<sup>2</sup>における発光効率が 60 lm/W を超える値が得られており、照明としての明るさと環境に対しての省エネ性が実用レベルに達したと言える。

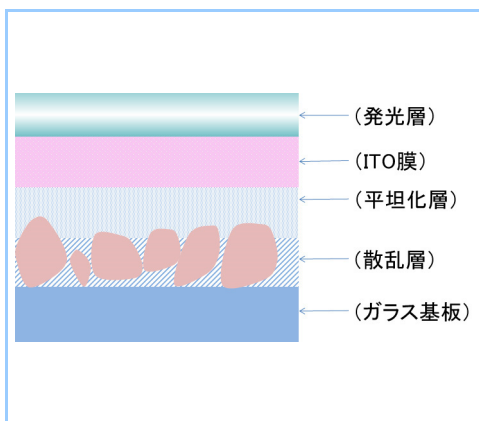


図4 光取り出し基板の構造

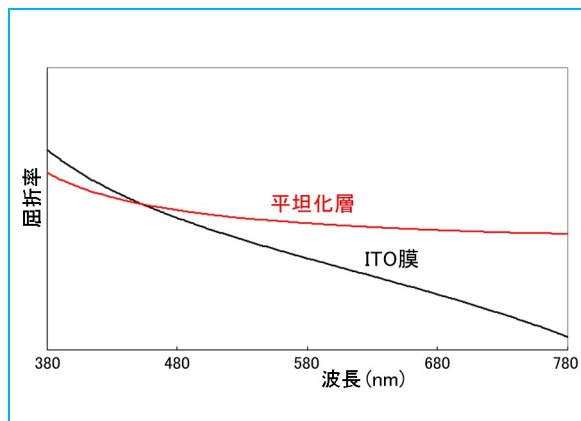


図5 平坦化層及びITO膜の屈折率

### 3.4 量産化に向けて

光取り出し基板の散乱層・平坦化層を形成する方式としては、材料利用効率が高く、液晶パネル等の大型サイズ基板での量産実績もある塗布方式を採用している。これにより、散乱層・平坦化層の形成された基板上に、従来パネルと同様の透明電極を形成することでコストを抑えたシングル構造の光取り出し基板が実現できた。

光取り出し構造のシミュレーション技術をパネル設計に取り込むことで、設計を効率的に進めることが可能となった。また、製造工程におけるパネルの設計公差や設計ルールを見直すことで発光面積の拡大にも取り組み、外形 145mm×145mm サイズのパネルにおいて、外形寸法は変えずに面積を約6%増大させた。今回開発した有機ELパネル P09 シリーズはライティングジャパン 2014 に出展し(図6)、実用レベルの輝度と寿命を兼ね備えたことで好評を博した。現行製品である P07 シリーズとの比較表を表2に示す。本パネルは 2014 年度半ばにリリース予定である。



図6 有機ELパネル P09 シリーズ  
(外形 145mm×145mm パネル)

表2 現行製品 P07 シリーズとの特性比較表  
(外形 145mm×145mm パネル)

項目	単位	性能	
		P07 シリーズ (現行製品)	P09 シリーズ (新製品・予定)
相関色温度 (CCT)	K	4000	4000
輝度	cd/m <sup>2</sup>	3000	4000
全光束	lm	140	200
発光効率	lm/W	30	40
演色性 (CRI)	Ra	90	85
寿命 (LT <sub>70</sub> , 3000cd/m <sup>2</sup> )	h	12000	40000

## 4. 照明用有機 EL パネルの適用事例について

有機EL照明パネルの性能が着実に向上してきている中、演色性などの特性にも着目したパネル開発がなされ、薄型拡散面光源として有機ELの特徴を活かした適用事例が増えてきている。

最近の国内の実用例としては、高演色性、発熱が小さい、紫外や赤外の有害光線を持たないといった特徴から、美術館や博物館での使用例が出てきている。図7に東京国立博物館にて国宝の展示に使用された例を示す。



図7 博物館の展示ケース照明  
(独立行政法人 国立文化財機構・東京国立博物館)

また、図8は部屋全体の主照明として会議室のシーリングライトとして使用された例であり、有機EL照明のみで十分な明るさが確保されている。図9は店舗の空間にマッチングするペンダントライトとして飲食店で使用された例である。従来とは異なる照明としてデザイン領域でも注目されており、多くの照明器具が提案されているが、斬新なデスクライトとして使用された市販の製品例を図10に示す。



図8 会議室の主照明(日新製薬(株))

図9 飲食店のペンダントライト  
(米沢牛・山懐料理 吉亭)図10 デスクライト  
(デザイン事務所 Feel Lab)

現状、美術館や博物館、デザイン照明など比較的限られた用途での製品化が主であるが、今後の性能向上、コスト低減により一般照明用途を含めた広範な平面照明への展開が期待される。

また、有機 EL ならではの特徴を活かした試作品も多く提案されてきている。通常アルミ膜などを用いる金属電極をITOなどで透明電極化して、非点灯時には透明な照明や、樹脂基板や極薄のガラス上に有機 EL 素子を形成した曲がる照明などである。まだ課題は多いが既存の照明には無かったあかりを提供できるという点で新しい価値を創造していくという期待が持たれている。

## 5. まとめ

素子開発と量産技術開発を着実に進めることで、P09 シリーズにおいて蛍光灯並の輝度  $4000\text{cd}/\text{m}^2$  と LED 照明並の長寿命 40000 時間という、有機 EL 照明としてトップクラスの性能を達成した。現在、更なる素子性能改善に取り組むとともに、有機 EL パネルの特徴である軽量・薄型をより一層活かせるようにするため、超薄型ガラス基板などを使用したフレキシブルパネルや主照明への採用を目指した大光量 300mm 角大型パネルの開発を行っている。一方、一般照明市場への参入にはパネルの低コスト化も重要な課題であり、次期大量生産向けパネル構造や生産装置の検討を開始しているところである。LED 照明と並び、次世代照明の本命と称される有機 EL 照明パネルの普及により、地球環境の改善に貢献することが出来れば幸いである。

## 参考文献

- (1) 三菱重工技報第 49 巻第 1 号“世界最高レベルの実用性能を備えた有機 EL 照明パネルの開発”(2012)
- (2) 鈴木ほか, “有機 EL 照明”, 映像情報メディア学会誌 Vol.67 No.12(2013)
- (3) 筒井哲夫監修“有機 EL ハンドブック”, p203-228 (2004)