

フレキシブル有機EL照明パネル量産化への取り組み

Bringing the World's First Flexible OLED Lighting Panel to Mass Production

渡辺 裕之*
Hiroyuki WATANABE

宇田 孝史*
Takashi UDA

赤木 清**
Kiyoshi AKAGI

三木 伸哉***
Nobuya MIKI

新井 賢司*
Kenji ARAI

要旨

古来より照明は我々の生活に不可欠なものであり、その道具も焚火の時代から蝋燭、石油ランプ、ガス灯などへと変遷してきた。1879年にカーボン白熱電球が発明されて以降、照明の世界は大きく変わったが、その白熱電球も百数十年の歴史に幕を下ろしつつあり、現在一般照明機器として主力の蛍光灯も環境上の問題や省エネルギーの課題を抱えている。日本のオフィスや家庭における照明機器によるエネルギー消費は、一般向け電力の大凡20%を占めており^{1),2)}、地球規模の様々な環境問題が議論されるなか、照明機器の省エネルギー化も喫緊の課題と言える。この点において、LED照明は蛍光灯に比べてエネルギー利用効率が高く、蛍光灯とは異なり有害な水銀を使用しないため、現在広く社会に普及しつつある。

一方、有機エレクトロルミネッセント（以下、有機ELまたはOLED）照明は、原理的にさらに高いエネルギー利用効率が期待できるうえ、有害物質も使用しないことから、より環境に優しい次世代照明技術として注目されている。また、面発光体かつ薄膜という特徴から、従来の照明光源では実現できないデザイン性に優れた照明機器への展開も期待されている。

コニカミノルタは、有機EL照明の研究開発にいち早く取り組み、2011年にりん光発光材料だけを使用した有機EL照明パネル「Symfos OLED-010K」を世界に先駆けて製品化した³⁾。また、2014年には世界最初のプラスチックフィルム基材フレキシブル有機EL照明パネルの新工場を建設し量産を開始した。本稿では、コニカミノルタの有機EL照明パネルの製品化に向けたこれまでの取り組みについて述べる。

Abstract

Environment-friendly OLEDs (organic light emitting diodes) promise to be our next generation of lighting technology because they offer significant reductions in power consumption and do not require harmful materials such as mercury.

With the debut of the Symfos OLED-010K lighting panel in 2011, Konica Minolta became the first company to commercialize an all-phosphorescent lighting panel. Thanks to its phosphorescent materials, the Symfos OLED-010K offers 45 lm/W efficiency in mass production. By 2014, we constructed an experimental OLED lighting panel with a lifetime exceeding 55,000 hours that achieved a world record in efficiency — as high as 139 lm/W — and with performance comparable to high-brightness LED devices.

Thanks to Flexent, Konica Minolta's ultra-high barrier film, we displayed color-tunable, flexible OLEDs and ultra-thin, flexible OLED lighting panels in Frankfurt, Germany, at Light + Building 2014, the world's premier lighting and building trade show.

In 2014, to accelerate OLED lighting's penetration of the lighting market, Konica Minolta initiated the mass production of flexible OLED lighting panels at a newly built plant in Yamanashi Prefecture, Japan, using a roll-to-roll production method and a plastic film substrate.

At that new plant, flexible white OLED panels were used to fabricate 5,000 "Shining OLED Tulips" for the 2015 Tulip Festival at Huis Ten Bosch, a famous theme park in Sasebo, Japan. Unique applications like this demonstrate the enormous range of possibilities offered by flexible OLED panels, and the enthusiastic feedback from visitors to the park indicate that the public is receptive to the innovations in lighting design that flexible OLEDs panels promise.

Konica Minolta's continuing R&D and production design efforts maintain the company in the forefront of flexible OLED manufacturers. Because OLEDs enhance value to the customer and protect the environment, they are leading to a new era in general lighting.

* アドバンストレイヤー事業本部 OLED事業部開発部

** アドバンストレイヤー事業本部 OLED事業部生産部

*** 開発統括本部 要素技術開発センター 第2開発室

1 はじめに

1987年にTangやVanSlykeによって有機層積層構造の発光素子が報告されて以来⁴⁾、有機EL素子は、面発光体かつ薄膜という特徴から薄型ディスプレイへの応用が期待され、企業や研究機関を問わず精力的な研究と製品化に向けた技術開発が進められている。

一方で、面発光体かつ薄膜という特徴は照明用途においても大きな商品価値になりうるものであり、また、従来の照明光源と比較しエネルギー消費量や二酸化炭素排出量を削減でき、有害な水銀を使用する必要も無いため、有機EL素子は環境に優しい次世代の照明技術としても注目されている。特に、発光形状を自由にデザインできる点は、同様に次世代照明技術に位置付けられるLED光源や従来の照明光源では得られない特徴であり、イルミネーションや装飾照明などの特殊照明用途への展開も期待されている。

2011年以降、各社から有機EL照明用パネルが相次いで販売されたが、既にオフィスや一般家庭に普及しつつあるLED照明と比較し、性能とコスト面で未だ乖離が大きく、また、有機EL照明の特徴を活かした商品価値を訴求しきれていないため、照明市場への展開が遅れている。コニカミノルタは、有機EL照明が照明市場に浸透していくためには照明機器としての基本性能の向上に加え、既存の照明機器には無い新しい商品価値を創造することが重要と捉え、技術開発・製品開発を進めてきた。以下では、その取り組みの成果について紹介する。

2 基本性能の向上

有機EL発光素子は、厚さ100 nmほどの有機物の積層体を2枚の電極で挟んだ構造の固体光源である。その両側の電極から積層体に電子と正孔を注入すると励起子が生成される。励起子の励起状態には1重項励起子と3重項励起子があり、1重項励起子が基底状態に輻射遷移する際に放出される光を蛍光、3重項励起子の輻射遷移で放出される光をりん光と称する。原理的に、1重項励起子と3重項励起子の生成確率は1:3であるため、蛍光を利用した有機EL素子の内部量子効率(励起子の利用効率)は最大で25%であり、残り75%以上は無輻射遷移し熱として放出されてしまう。一方、3重項励起子からの発光であるりん光を利用した有機EL素子の場合、1重項から3重項への項間交差を考慮すると100%の内部量子効率が期待できる。このため、3重項励起子からの発光であるりん光有機EL素子の方が、原理的に発光効率が高く消費電力の観点で優れている。

コニカミノルタは、2006年に世界で初めてエネルギー利用効率に優れるりん光発光材料だけを使用した有機ELパネルを開発し、りん光方式の有機EL照明の可能性と将来性を示した⁵⁾。その後もコニカミノルタの強みである材料技術や光学技術を駆使して有機EL素子の高効率化

に精力的に取り組み、2014年には139lm/W@1,000nits、輝度半減時間5.5万時間以上という世界最高の発光性能を実現するに至った⁶⁾。Fig. 1に、白色LEDパッケージ照明製品の効率と⁷⁾、上記コニカミノルタの高効率有機EL素子の関係を示す。暖色系においては、LEDに対し競争力のある性能を獲得できていることが理解できよう。

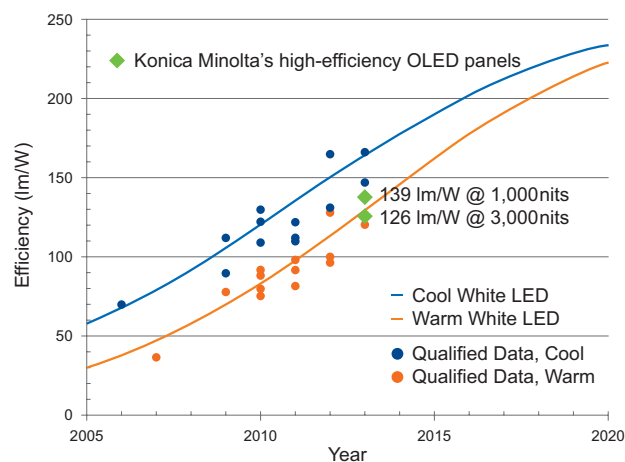


Fig. 1 The efficiency of Konica Minolta's high-efficiency OLED panels compete with the performance of commercial warm white-light LED packages.⁷⁾

3 商品価値の創造

有機EL照明が照明市場に浸透するためには、既存の照明機器とは異なる商品価値を具体的に明示することが重要である。コニカミノルタは、面発光体という特徴に加え、「薄さ」、「軽さ」、「フレキシビリティ」を有機EL照明の商品価値と位置付け、それを実現するための技術開発を行ってきた。

有機EL素子は、極微量の水分でも敏感に性能劣化を生ずるため、現在製品化されている有機EL照明パネルでは、バリア性に優れるガラス基板が用いられており、パネルの薄さや軽さ、フレキシビリティを追求する上での障害となっている。この課題に対して、コニカミノルタはプラスチックフィルムを基材とする独自のバリアフィルム技術の開発を進めてきた。コニカミノルタが開発したバリアフィルム「Flexent」は、バリア性と屈曲性を両立させる独自のバリア層設計によって、プラスチックフィルム基材の特徴である薄さと軽さを備えつつ、有機ELパネルにも適用可能なハイバリア性能と、ロール・トゥ・ロールの生産態様にも対応可能なフレキシビリティを実現した⁸⁾。

コニカミノルタは、上記自社開発のバリアフィルム基材と、低温成膜可能な独自の透明導電膜技術や固体封止技術等を導入することにより、薄さ0.35 mm、軽さ0.06 g/cm²、曲率半径10 mmのフレキシビリティを有する有機ELパネルの開発に成功した。この薄さと軽さは、ガラス基板を用いた既存の有機ELパネルの約1/5に相当する。これらの優れた特徴は、フレキシブル有機EL照明の

実現に期待が高まる中で、コニカミノルタが果たした先駆的な成果であり、照明機器デザインの自由度を広げ照明の概念を変革することを可能にするものである。

コニカミノルタは、フレキシブル有機EL照明の可能性を広く世界に周知し、照明市場への展開を加速すべく、世界最大の照明・建築の見本市「Light+Building 2014」で、これらの技術成果をベースとした世界初の調色機能付きモデル、及び世界最薄モデルのフレキシブル有機EL照明パネルの展示を行った (Fig. 2)。

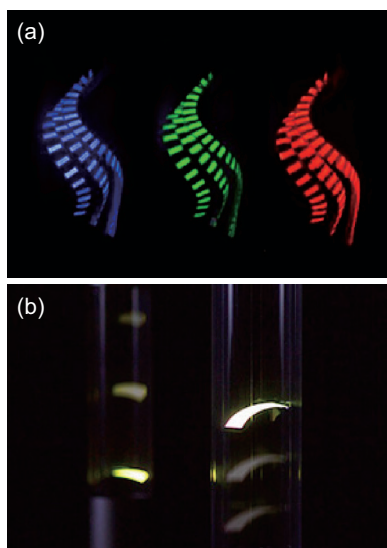


Fig. 2 Konica Minolta flexible OLED panel models, at Germany's premier lighting and building trade show, Light + Building 2014: (a) *Irodori* ("bright colors"), color-tunable flexible OLED panels producing 16 million colors, and (b) *Ibuki* ("breath"), feather-shaped, ultra-light-weight flexible OLED panels.

4 量産化と製品事例

4.1 量産工場の建設

2014年、コニカミノルタは照明市場への有機EL照明の浸透を加速すべく、世界最初のプラスチックフィルム基材を用いたフレキシブル有機EL照明パネルの新工場を建設し量産を開始した (Fig. 3)。新工場には、写真フィルムの生産で培った技術ノウハウを応用したロール・トゥ・ロールの生産方式を導入しており、月産約100万パネルの生産能力を有する。コニカミノルタのロール・トゥ・ロール方式は、ロール状のバリアフィルム基材を途切れることなく連続的に繰り出しながら、基材の搬送プロセスで順次各種機能層をパターン形成し、最後に封止処理を施した後ロール状に巻き取るという生産態様である。有機ELパネルの各生産プロセスを途切れることなく一貫通貫に実施することによって、現在主流となっている枚葉生産方式に比べ、遙かに高い生産性と低コスト化を実現できる。現状の有機EL照明の重要課題の一つである低コスト化を実現するために極めて有効な手段であり、この新工場の建設は、有機EL照明業界にとっても重要なマイルストーンの一つに位置付けることができよう。



Fig. 3 Konica Minolta's new plant in Yamanashi Prefecture, Japan, for the production of the world's first plastic substrate flexible OLED lighting panel.

4.2 製品事例

2015年コニカミノルタは、日本の有名なテーマパークであるハウステンボスとの共同企画として、新工場で生産された発光サイズ16 mm × 43 mmの白色有機ELパネル3枚を花卉部に組み込んだ「光る有機ELチューリップ」を開発した。ハウステンボスが求めた製品イメージは、「本物らしく」かつ「花びら全体が光る」イルミネーション照明であり、花びらが薄く曲面を有する生花のチューリップを表現するために、コニカミノルタの「薄い」、「曲がる」、「面発光」の有機ELパネルがまさに最適であった。

「光る有機ELチューリップ」は屋外に展示されるため、素子に対して雨水や太陽光に耐えうる機能を付与している。Fig. 4 (a)に示すように、発光素子部と配線基板全体を透明バリアフィルムで挟み込み、屋外耐候性を有するモジュールを構成した。素子自体が薄いことから、筐体等で囲うことなく、フレキシブル性を保ったまま、様々な使用場面に適用させることが容易である。このモジュールを花卉部品と一体化することにより、ハウステンボスの要望に叶う本物らしく、花びら全体が光るチューリップが完成した (Fig. 4 (b))。

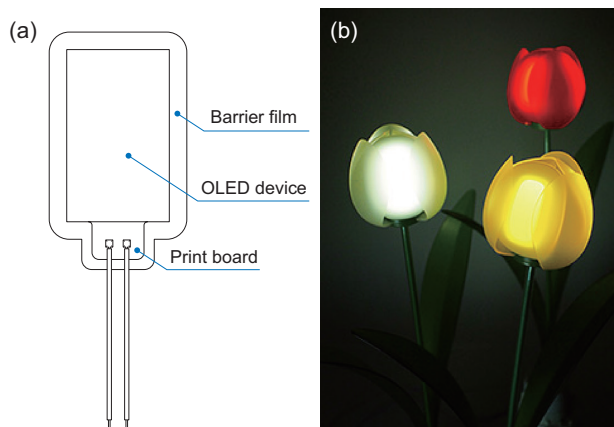


Fig. 4 (a) Structure of weatherproof and lightfast lighting modules used to create the "Shining OLED Tulips" for the 2015 Tulip Festival at the Huis Ten Bosch theme park in Sasebo, Japan. (b) Each individual petal of each Shining OLED Tulip shines with light.

同年春、ハウステンボスで開催されたチューリップ祭には、約5,000本の光る有機ELチューリップで彩られた「光のチューリップガーデン」が誕生し (Fig. 5), 訪れた人達を幻想的な世界に誘い、TVや新聞など多くのメディアでも紹介され好評を博した。LEDを用いた一般的なイルミネーションと異なり、「光る有機ELチューリップ」は光っていない昼間においても、本物のようなデザインがハウステンボスを訪れる観光客に好評であった。このことはコニカミノルタのフレキシブル有機EL照明パネルが、照明機器のデザインに革新をもたらすことを予見する好例と言えよう。



Fig. 5 At the 2015 Tulip Festival, 5,000 OLED tulips glow.

5 まとめ

コニカミノルタは、有機EL素子の発光効率や発光寿命といった照明機器としての基本性能を向上させる基盤技術開発と同時に、有機EL照明ならではの商品価値の創造にも注力してきた。そして、2014年に世界初のフレキシブル有機EL照明パネルの大量生産工場を新設し、魅力的かつユニークな特徴を有するフレキシブル有機EL照明製品を世に送り出すための準備を整えた。Fig. 6は、これまでにコニカミノルタが成し遂げた業績をまとめたものである。

こうしたコニカミノルタの先駆的な取り組みが認められ、IDTechEx Printed Electronics Europe 2015において「Best Technical Development Manufacturing Award」を受賞した。さらに、有機EL討論会でも、樹脂基板フレキシブル有機EL照明パネルのロール・トゥ・ロール方式による生産に対して「業績賞」を受賞した。

コニカミノルタは、照明による環境負荷を軽減するために、一般照明市場にも有機EL照明が広く普及するよう、引き続き世界の有機EL照明の技術開発・製品開発をリードしていく。

6 謝辞

本成果の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」プロジェクトの委託を受けて開発したものである。また本成果の一部は、Universal Display CorporationのPHOLED技術を利用し達成した。ここに謝意を表する。

●参考文献

- 1) <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010energyhtml/2-1-2.html>
- 2) http://www.yonden.co.jp/life/energy_saving/kurashi_energy/page_03.html
- 3) <http://www.konicaminolta.com/oled/products/>
- 4) C.W.Tang and S.A.VanSlyke: "Organic electroluminescent Diodes," Applied Physics Letters, Vol.51, No.12, p.913 (1987)
- 5) T. Nakayama, K. Hiyama, K. Furukawa and H. Ohtani: "Development of Phosphorescent White OLED with Extremely High Power Efficiency and Long Lifetime," SID 2007 Digest, p.1018 (2007)
- 6) T. Tsujimura, J. Fukawa, K. Endoh, Y. Suzuki, K. Hirabayashi and T. Mori: "Flexible OLED using Plastic Barrier Film and its Roll-to-Roll Manufacturing," SID2014 Digest, 104-107 (2014)
- 7) U.S. Department of Energy Solid-State Lighting Research and Development: Multi-Year Program Plan, April 2014
- 8) 森孝博, 後藤良孝, 竹村千代子, 平林和彦: フレキシブル OLED 照明用バリアフィルムの開発, KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol.11, 83-87 (2014)



Fig. 6 Konica Minolta's extensive history of remarkable achievements in OLED development and production.