

有機 EL 照明の現状と将来

石黒 裕太郎, 野田 徹

Yutaro ISHIGURO, Toru NODA

1 はじめに

近年, 省エネ商品の市場が飛躍的に拡大している。照明においても, その影響は例外ではなく LED 照明などの製品化が進んでいる。現在, 有機 EL 照明は次世代の照明として注目を集めている。有機 EL は薄さからテレビ等のディスプレイにおいて注目され, その後照明への利用を考慮に入れて研究が進んできた。しかし, 未だ開発段階であり克服しなければならない課題も多い。本稿では有機 EL 照明の特徴を述べ, 今後どのように発展していくかについて述べる。

2 有機 EL とは

有機 EL (Electro-Luminescence) とは, 有機物質を用いた発光を伴う物理現象である。有機 EL の構成は単純であり, 2 枚の電極に有機物を挟みガラスやプラスチックなどの基板に載せただけの構造である。この構造は発光ダイオード (LED) に類似しているため, 有機 EL は OLED (Organic Light Emitting Diode) とも呼ばれている。以下において, 具体的な有機 EL の発光原理と有機材料について述べる。

2.1 発光原理

有機 EL の陰極と透明陽極に電圧をかけることで, 各々から電子と正孔^{*1}を注入する。注入された電子と正孔はそれぞれ, 電子輸送層と正孔輸送層を通過し発光層で結合する。両者が発光層で結合すると, 発光層である有機物はいったん励起^{*2}と呼ばれる高エネルギー状態になり, これが元の安定状態に戻る際に発光する。この現象を利用した製品として有機発光ダイオードや発光ポリマー等が存在する。これらの発光素子は発光層が有機化合物からなる発光ダイオードを構成しており, 有機化合物中に注入された電子と正孔の再結合によって生じたエネルギーによって発光を繰り返す¹⁾。発光原理の図を Fig. 1 に示す。

2.2 有機材料

有機 EL の発光層部分には, 大きく分けて低分子と高分子の 2 種類の有機物質が用いられる。両方とも炭素-炭素の 2 重結合を持ち分子内に自由な電子をもつ分子構造になっている。以下において, 低分子材料と高分子材料について説明し, それぞれの有機物質を用いた場合の有機 EL の構造について述べる。

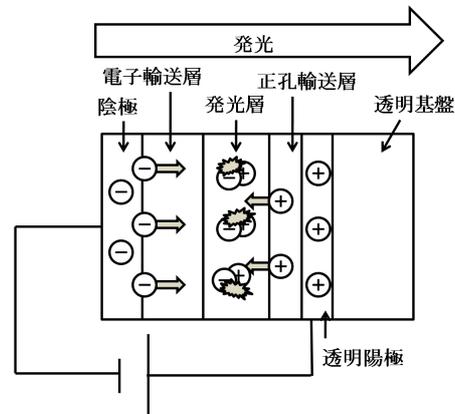


Fig.1 発光原理 (参考文献¹⁾を参照)

● 低分子材料

低分子材料を用いた有機 EL の構造を Fig. 2(a) に示す。低分子有機 EL の構造は電子輸送層, ホール輸送層, ホール注入層などの機能が多層膜で分離分担している。このようなものを機能分離型素子と呼ぶ¹⁾。Fig. 2(a)におけるホール注入層とホール輸送層が, Fig. 1における正孔輸送層に当たり, 発光低分子層が発光層に当たる。正孔輸送層には - NPD や電子輸送層材料のキノリノールアルミ錯体がありその分子のサイズは 1nm ~ 2nm 程度である。

● 高分子材料

高分子材料を用いた有機 EL の構造を Fig. 2(b) に示す。高分子有機 EL の構造は主に発光高分子層とホール注入層からできており, 低分子材料に比べて簡単な構造をしている¹⁾。Fig. 2(b)におけるホール注入層が, Fig. 1における正孔輸送層に当たり, 発光高分子層が発光層に当たる。1990 年の開発当初は, 高分子材料としてポリフェニレンビレン (Poly P-phenylene Vinylene:PPV) が用いられていたが, 現在ではポリエチレンジオキシチオフェン (Poly Ethylene DiOxy Thiophene:PEDOT) などが使われている。

2.3 有機 EL 照明の構造

次世代照明として注目を浴びている LED 照明との違いに関してであるが, 有機 EL 照明と LED 照明との発光原理の差は少ない。LED 照明では LED チップが発光することにより発光が実現される。有機 EL 照明では有機 EL 素子が発光する事により発光が実現される。また, LED 照明の構造を Fig. 3 に有機 EL 照明の構造を Fig. 4 に示した。

*1 固体の結晶構造の中の電子が欠落した部分で, あたかも正の電荷を持った電子のようにふるまう物質

*2 電子が何らかのエネルギーを得ることによって今ある状態からより高いエネルギー状態へ移ること

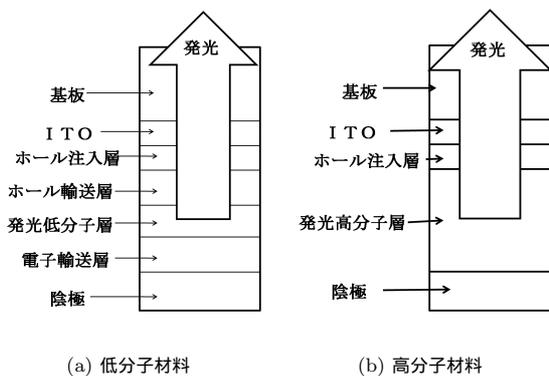


Fig.2 低分子材料と高分子材料の有機 EL 素子の構造 (参考文献¹⁾を参照)

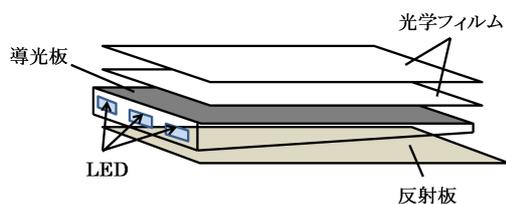


Fig.3 LED 照明の構造

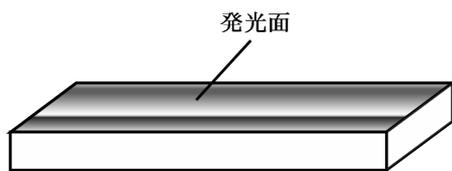


Fig.4 有機 EL

3 有機 EL 照明の現状

有機 EL はディスプレイの用途として開発が始まった。そして現在では様々な分野で応用されようとしている。その中の 1 つに有機 EL 照明がある。以下において、有機 EL 照明の特徴について述べる。

3.1 有機 EL 照明の利点

有機 EL 照明の利点は「薄さ」、「面発光」、「低消費電力」、「低発熱」、「低有害物質」という点である。各々の内容について説明する。

- 薄さ

現在、発光層を支える基盤にはガラスを用いた開発が多く進められているが、この基盤にプラスチックフィルム等を用いることで、A4 用紙よりも薄くすることが可能である。この薄さを実現することによって、曲げることが可能な照明が実現されている²⁾。

- 面発光

有機 EL 照明は面で発光するため、光を拡散させる必要がない。そのため、拡散させる為の器具が不要であり、省スペース化が実現可能である²⁾。

- 低有害物質

蛍光灯では、紫外線を発生させるために水銀が用いられている。それに対し、有機 EL 照明は廃棄時に有害となる物質を含んでおらず、廃棄する際に有害物質を取り除くなどの工程が必要ない²⁾。つまり有機 EL 照明は環境に優しい照明であると言える。

- 低発熱

有機 EL は、製造時にインクジェット法を用いて基板上に薄い膜を作る。このような手法を用いることで、高い発光効率^{*1}を実現している。高い発光効率を実現することにより電子が熱に変化する割合が下がり、単位面積当たりの発熱量が極めて低い²⁾。

- 低消費電力

有機 EL 照明の消費電力は、蛍光灯に比べて理論上半分以下であると言われている³⁾。また、2030 年に蛍光灯の 50%、白熱電球の 40% が有機 EL 照明に置き換わると仮定すると、照明全体の消費電力の約 20% を削減することができる¹⁾。

3.2 既存の照明との比較

現状における有機 EL 照明と既存照明の比較を Table1 に示す。既存の照明は部分的に照らす事しか実現できない。その為、広い範囲を照らそうとすると複数の照明器具が必要であり、同時にたくさんの電源ユニットなども必要である。電源ユニットが多くなると、照明器具が放つ熱は多くなる。このことから、照明器具には放熱性が求められ照明器具自体が大きくなってしまいう欠点があった。以上の点においては、有機 EL 照明が有利であるが、Table1 を見ると分かる様に、コスト・消費電力・寿命の点においては既存照明と比べて抜き出た特徴が無いのが現状である。製造方法の確立が行われていないためコストが高く、寿命においては白熱電球に勝るものの LED 照明には遠く及んでいないのが現状である。また、消費電力においても LED 照明に及んでいない。

Table1 有機 EL 照明とその他の照明の違い

	有機 EL 照明	白熱電球	蛍光灯	LED 照明
コスト	×			×
消費電力		×	×	
寿命	2000 時間	1000 ~ 2000 時間	13000 時間	78000 時間

3.3 有機 EL 照明の課題

有機 EL 照明は注目を浴びている照明デバイスであるが実現するには欠点も多い。以下において、有機 EL 照明の欠点について述べる。また、材料の違いを Table2 に示す。

*1 一定のエネルギーでどれだけの明るくできるかを表す指標

Table2 高分子材料と低分子材料の違い

	低分子材料	高分子材料
コスト		×
大型化		×
寿命		×

3.3.1 有機材料の課題

2.2でも述べたが、有機ELの発光層における材料は低分子材料と高分子材料がある。現在は低分子材料と高分子材料のどちらを用いても欠点が存在する。両者の欠点について説明する。低分子材料は製造時に真空にした空間の中で有機物を蒸発させ、離れた位置にある基板の表面に付着させる真空蒸着方式が主流である。そのため、低分子材料を発光層部分に吹き付ける際に必要なシャドーマスクと呼ばれる金属板が膨張してしまいムラが出来やすいという特徴がある。大きなシャドーマスクほど、膨張率が高い為にムラが発生しやすくなる。このため、低分子材料を用いた場合には大型化が難しいという欠点がある。次に高分子材料の欠点について述べる。高分子材料を用いた有機ELデバイスは1990年から開発が始まっているが、量産化されていないためコストが高い。その為に実際に製品化されているものも少なく未だ実験段階である。また、高分子材料は低分子材料を用いた場合よりも、寿命が短いという欠点がある^{1) 7)}。

3.3.2 防水性

有機EL素子は水分に弱い。そのため、現行の有機EL素子の構造は防水性に優れたガラス基板を使用していることが多い。ガラス基板を用いた有機ELは、比較的簡単な構造であるので乾燥材を構造の中に入れる事ができる。この事により、十分な水分の吸湿性と防湿性を実現することができる。一方でフレキシブル基板にした場合においては、プラスチックを基板として使用するため水分の吸湿性や防湿性に優れた構造にするには防湿膜と封止膜が必要であり構造が複雑になる。つまり、曲げられる有機EL照明を実現するには、有機EL素子の水分に弱い性質を乗り越えるために複雑な構造にしなければならないという欠点がある。ガラス基板を利用した有機ELの構造をFig. 5に、フレキシブル基板を利用した構造をFig. 6に示す¹⁾。

3.3.3 輝度・寿命

照明に必要とされる要素は、明るさと長寿命である。以下において、有機ELの高輝度の実現と長寿命化を実現する際の課題に関して述べる。Table3に代表的な場所の照明に求められる明るさを示す。照明では高輝度化を実現し照明を明るくしようとすると、長寿命化が実現しにくくなるという課題がある。このような照度を実現するためには光量が約6000lm、補助照明としては約1000lm必要とされる。つまり、輝度が10000cd/m²の有機EL素子が必要である。しかし、現段階では輝度が1000cd/m²

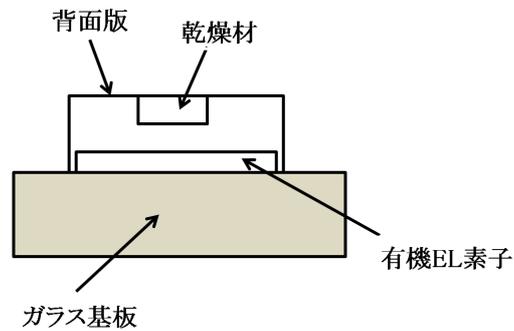


Fig.5 ガラス基板を利用した有機EL(参考文献¹⁾を参照)

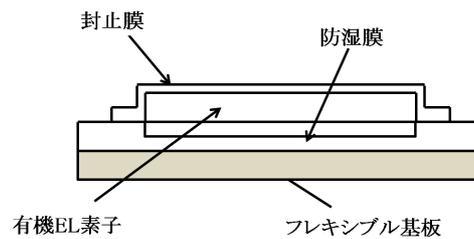


Fig.6 フレキシブル基板を利用した有機EL(参考文献¹⁾を参照)

Table3 代表的な場所の照明に求められる輝度

	教室、会議室、事務室など	車路(交通量大)	車路(一般)
照度 (lx)	200 ~ 750	150 ~ 300	75 ~ 150

~2000cd/m²のとき、寿命が数1000時間である。製品化されるためには10000時間が一般的に必要なため、有機EL照明には輝度と寿命のバランスに課題があると言える¹⁾。

3.3.4 高発光率化

照明用光源とする場合は既存の蛍光灯や今後改善が進む白色LEDの発光効率と競合できるレベルの発光効率にを達成する必要がある。現在の白色有機ELの発光効率は、1000~2000cd/m²の輝度の時5~10lm/Wである。蛍光灯や白色LEDと競合するためには、少なくとも50lm/W、出来れば100lm/Wが必要である¹⁾。つまり、有機EL照明は今後も高発光率化していく必要があると言える。

3.3.5 コスト

有機EL発光層の材料の違いだけでなく、製造ラインが確立されていないという理由から非常にコストが高い。2009年現在では1m²あたり10万円程度である。これは蛍光灯や白熱電球に比べ極めて高価である⁸⁾。一般家庭で利用される様になる為には更なるコストダウンが望まれる。

4 有機 EL 照明の今後

有機 EL 照明の今後は、現在ある欠点の克服・更なる用途の拡大・市場規模・LED との比較の 4 点から述べる。

4.1 現在ある欠点の克服

有機 EL 照明が今後普及していく為には、現在ある欠点の克服が重要である。以下において、高分子材料の使用と高輝度化・長寿命化が今後どのように実現されていくかについて述べる。

4.1.1 高分子材料の使用

今後、有機 EL の大型化とコストの観点から、高分子材料を使用する有機 EL 照明が実現されると考えられる。高分子材料は液体に溶かす事ができるため、製造方法としてインクジェットプリンタと同じ方法であるインクジェット方式が主流となっている。この方式では、画素の必要な領域に有機材料を塗布して成膜していくために、数ミクロン単位での制御が可能である。そのため、成膜時のムラを少なくすることが可能となり有機 EL の大型化が容易となる。また高分子材料では、材料使用効率も良く低分子系よりも低コスト化にも向いている^{7) 8) 9)}。具体的には 2015 年ごろには $1m^2$ あたり 2~3 万円、2020 年ごろには 5000 円程度になるという試算もある。

4.1.2 高輝度化・長寿命化

すでに蛍光灯の並みの寿命で白熱灯並みの輝度を実現している有機 EL 照明パネルも存在する。また発光材料にリン光発光材料を用いることで、1 万時間の長寿命と 64lm の輝度を達成する照明も開発されている。これにより、将来的には蛍光灯の効率を抜く可能性があると考えられる^{8) 9)}。

4.2 用途の拡大

有機 EL 照明の光は発光スペクトルが幅広く、自然光により近い特性を持っている。そのために照らす対象により自然な物の見え方を促進し、自然な色合いを再現しやすい。この特徴を利用することで、博物館、店やオフィスで導入が実現されるのではないかと考えられる²⁾。また、有機 EL 照明は平面であれば形を自由に変わることや曲げることが可能で、これまで照明の実現に工夫が求められるような箇所でも容易に照明が実現できる。そのため、飛行機や車の内部のような複雑な形状の面に張り付けるように照明が設置されていくことなどが考えられる²⁾。

4.3 市場規模

有機 EL の市場の規模が確立されるのは 2011 年頃であると予測されている。ディスプレイは単価が高くなるが、出荷量はそれほど大きくない。それに対し、照明は単体では安価であるが市場規模はディスプレイの数十倍ある。そのため、2011 年ごろの国内での市場規模は 100 億円を超え、世界市場では 2015 年に 5000 億円以上、2020 年には 1.4 兆円規模になると予想されている。有機 EL 照明の発光効率や有害物質の観点から考えると、照明の明る

さにさほどこだわらない海外、特に北米や環境意識の高い欧州での市場形成が期待される¹⁰⁾。

4.4 有機 EL 照明と LED 照明の今後

有機 EL 照明は LED 照明と共に開発が進んでいる。有機 EL は「面発光」や「形状に制約がない」という点で LED と対比的である。今後有機 EL の欠点が解消されると、「広い場所を照らす事が出来る」などの特徴を活かし LED 照明と棲み分けが進んでいくのではないかと考えられる。クリア な白色を実現できる LED 照明は白熱電球から置き換わる可能性が高く、有機 EL 照明は技術的に未解決な課題を含むため、LED 照明に少し遅れて蛍光灯から置き換わるのではないかと考えられる。

5 まとめ

有機 EL 照明は次世代の照明器具として期待度は極めて高い。それは明るさや寿命などの様々な面からみても明らかである。しかし、有機 EL は未だ課題が多いため今後の研究開発の動向が注目される。現在 10 年後を目処に研究が進んでいるため、商品として売り出される日も近いと考えられる。

参考文献

- 1) 有機 EL ハンドブック、筒井哲夫 監修、城戸 純二 編集 委員長、リアライズ理工センター 発行、2004
- 2) コニカミノルタ <http://konicaminolta.jp/index.html>
- 3) 有機エレクトロニクス研究所
<http://www.organic-electronics.jp/about/ellight/>
- 4) ケンプラッツ
<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/building/news/20091028/536455/?ST=led>
- 5) 東芝モバイルディスプレイ
http://www.tmdisplay.com/tm_dsp/jp/technology/oled.html
- 6) ECO JAPAN
http://eco.nikkeibp.co.jp/style/eco/report/070928_yuuki-el/index2.html
- 7) 日経エレクトロニクス 日経 BP 社、2008 年
- 8) UniversalDisplayCorporation
<http://www.universaldisplay.com/search.asp>
- 9) EETIMES <http://eetimes.jp/article/23058>
- 10) ケンプラッツ
<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/knp/news/20080930/526651/>
- 11) 省エネルギー秘術戦略に関する調査「次世代省エネデバイス技術」著財団法人 光産業技術振興協会