

1. 有機ELの特徴と応用

有機ELは、面発光する新しい光源です。材料や構成を工夫すれば透明やフレキシブルなパネルも実現できるという新しい特徴もあり、次世代のディスプレイや照明への応用が期待されています。

有機ELは電極間に複数の有機層を有する構成で、陰極から注入された電子と陽極から注入された正孔が発光層で再結合することにより発光します。有機層には、発光層に加えて、キャリアの注入性や輸送性を制御する層などを組み合わせ、発光層で効率よくキャリアが再結合するような工夫を行います。一般に、有機ELの有機層の総膜厚は数百nm～1μm程度になりますが、発光面はそれよりも十分大きなものが実現できます。例えば、ディスプレイでは画素の大きさは100μm程度、照明の場合は発光面の大きさが数十cmのものが実現しています。

2. 有機ELの光取り出し効率

上記の新しい特徴に加えて、近年、有機材料の改良が進み、きわめて高い発光効率が実証され、有機ELは省エネデバイスとしても大きな可能性を秘めていることが示されました¹⁾。しかしながら有機ELには、光取り出し効率、すなわち、発生した光がデバイスの外部に出てくる効率が低いという問題があります。有機層の屈折率は1.7～2.0と大きいため、より屈折率の低い基板($n \sim 1.5$)や空気($n \sim 1.0$)へと伝搬する際に、大部分の光は屈折率の界面で全反射してしまい、取り出し効率は20%程度となります(図1)。全反射した光は面方向に沿って全反射を繰り返し、やがて材料により吸収されるか、デバイスの端部に到達します。ちなみにLEDでは、端

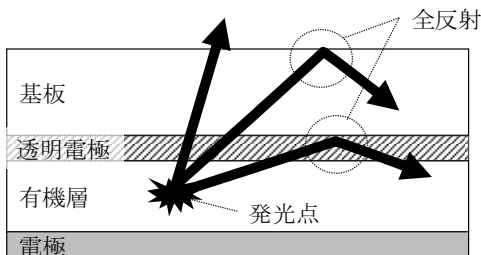


図1 有機ELの断面の模式図。

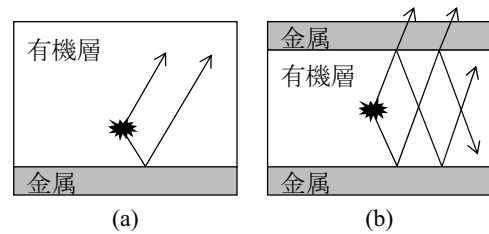


図2 有機ELの発光における干渉効果。

部から出てくる光も活用することができるため、取り出し効率は有機ELほど低くありません。有機ELの光取り出し効率の低さは、面光源ならではの課題といえます。

有機ELの光取り出し効率を高めるために、これまでにさまざまな手法が検討されてきました。有機ELにはディスプレイや照明用途への応用が期待されていますが、両者では求められる性能が大きく異なり、光取り出し技術もそれぞれに適したものを組み合わせることが検討されています。

3. ディスプレイにおける光取り出し技術

ディスプレイでは一般的にR(赤)・G(緑)・B(青)の三色で色を表現しますが、これらの三色には、色純度が高いこと、つまりできるだけスペクトル幅が狭く単色に近いことが求められます。よって、有機材料の発光分子としては、発光スペクトル幅の狭いものが適しています。加えて、干渉効果を利用した光取り出し技術を組み合わせることで、さらに色純度を高めつつ、光取り出し効率を高めることができます。有機ELの一方の電極を金属にすることで、発光する光が金属からの反射光と干渉する効果を利用できます(図2(a))。発光層-電極間の距離は、間の有機層の厚みを変えることで調整できます。パネルに対して垂直な方向の光が干渉で強め合うような条件にすることで、特定の波長における臨界角以内の発光が増加し、光取り出し効率が向上します。さらに、他の波長の光は必然的に強め合う干渉条件からずれますので、光取り出し効率の上昇効果は小さくなり、結果的に色純度が向上することになります。さらに強い干渉効果を得るために、有

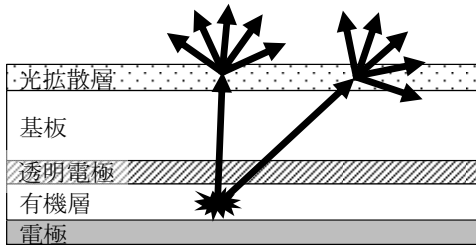


図3 光拡散による光取り出し。

機ELの2つの電極をともに金属にすることで、さらに色純度を高める方法もあります(図2(b))。

4. 照明における光取り出し技術

照明では、白色の光を対象物に当たったときに、それが人間の目に自然な色で映ることが求められます。人にとって理想的な白色光は太陽光であるため、太陽光のスペクトルに近い光が好まれます。有機ELでは、異なる波長で発光する複数の発光分子を同時に光らせることで、白色の光を得ることができます。これまで、一方の電極を金属にして片面側を明るく光らせる構成を中心に開発が進められていますが、この場合、先にも述べた通り、発光は干渉による影響を受けます。干渉条件は波長によって変わるので、発光方向によって特定の波長の光が強くなってしまい、その結果、見る角度(視野角)によって色の変化(色差)が発生します。これは、照明にとっては致命的な問題です。よって、有機EL照明では視野角に対する色差の発生を低減しつつ、光取り出し効率を向上させる技術が求められます。これに対する有効な手段として、光を拡散させる方法があります(図3)。光を拡散させることで取り出し効率が向上するとともに、さまざまな角度の光が混ざり合うことになるので、視野角に対する色差も小さくなります。

光を拡散させる有効な手段として、拡散粒子を用いる方法があります。樹脂の中に屈折率の異なる粒子を分散させることで、光をさまざまな方法へ拡散させることができます。拡散の角度や強さは、粒子の大きさや屈折率を変えることで調整することがで

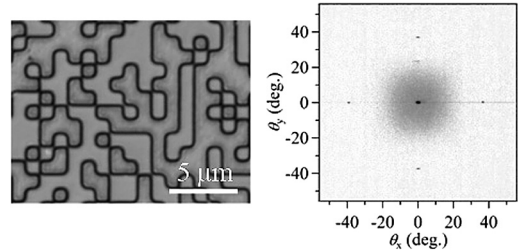


図4 ランダム回折素子の顕微画像と垂直入射時の透過光の回折パターン。

きます。光を拡散する他の手段として、光の回折を利用する方法もあります。波長オーダーの周期性をもった微細構造は回折格子として機能しますが、ランダムなパターンの微細構造では拡散様の回折光を得ることができます(図4)²⁾。また、ランダム性を有するうねりの上に有機層を形成することで、有機層自体に光拡散性をもたせる方法も報告されています³⁾。

有機ELの性能を引き出すために、上記で紹介した以外にもさまざまな光取り出し技術が検討されています。有機ELのデバイスを見かけた際には、光取り出し技術にも注目されてみてはいかがでしょうか。

(パナソニック株式会社 稲田安寿)

文 献

- 1) C. Adachi, M. A. Baldo, M. E. Thompson and S. R. Forrest: "Nearly 100% internal phosphorescence efficiency in an organic light-emitting device," *J. Appl. Phys.*, **90** (2001) 5048-5051.
- 2) Y. Inada, S. Nishiwaki, J. Matsuzaki, T. Hirasawa, Y. Nakamura, A. Hashiya, S. Wakabayashi and M. Suzuki: "Improved light extraction from white organic light-emitting devices using a binary random phase array," *Appl. Phys. Lett.*, **104** (2014) 063301.
- 3) W. H. Koo, S. M. Jeong, F. Araoka, K. Ishikawa, S. Nishimura, T. Toyooka and H. Takezoe: "Light extraction from organic light-emitting diodes enhanced by spontaneously formed buckles," *Nat. Photonics*, **4** (2010) 222-226.