

微細回折構造による OLED の高輝度化技術

自己組織化によるナノ加工技術で閉込め光を取り出す

次世代発光デバイスとして期待される OLED (Organic Light Emitting Diode) を、自己組織化によるナノ加工技術を用いて作製した微細回折構造により、高輝度化する技術を開発しました。

東芝のオリジナル技術である、微粒子をエッチングマスクに用いたナノ加工技術を用いて、微細回折構造を持つ OLED を作製し、全光束で 1.6 倍、発光ピーク波長で約 2 倍の高輝度化を実現しました。

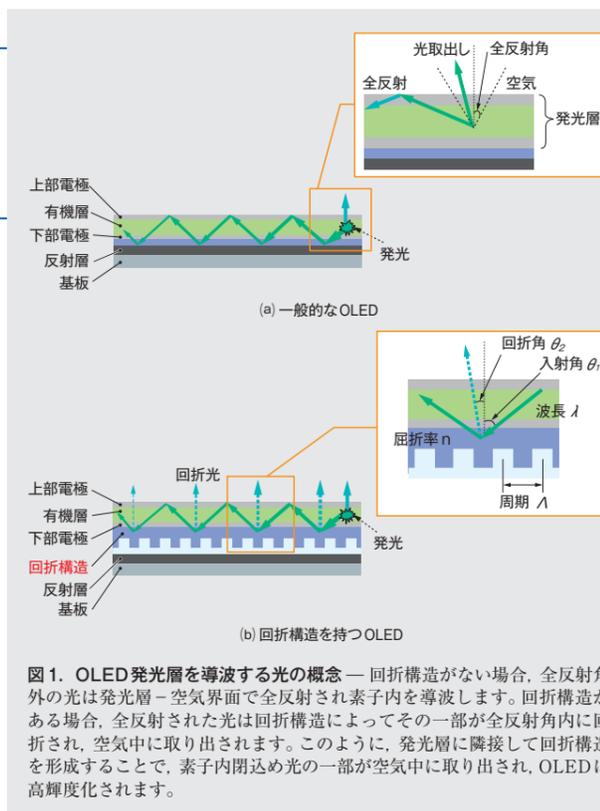


図1. OLED 発光層を導波する光の概念 — 回折構造がない場合、全反射角外の光は発光層-空気界面で全反射され素子内に導波します。回折構造がある場合、全反射された光は回折構造によってその一部が全反射角内に回折され、空気中に取り出されます。このように、発光層に隣接して回折構造を形成することで、素子内閉込め光の一部が空気中に取り出され、OLED は高輝度化されます。

OLED における光取出し効率

OLED はコントラストが高く、薄型・軽量化が可能な次世代ディスプレイとして開発が進んでいます。ディスプレイ以外にも、面発光特性を利用して、照明やバックライトなどへの応用が期待されています。

素子内部から空気中に光を取り出す OLED での光取出し効率は約 30% と低く、多くの光が素子内に閉じ込められています。これは、透明電極と有機層から成る発光層と空気の屈折率差によって、発光層-空気界面で全反射が起こるためです。発光層の屈折率は約 2.0、空気の屈折率は 1.0 で、このときの全反射角は 30° となります。発光層で生成した光のうち、この角度内の光だけが空気中に取り出され、それ以外は素子内で全反射を繰り返し、やがて吸収されてしまいます(図 1(a))。

微細回折構造による OLED の高輝度化

通常は損失となる閉込め光を空気中に取り出すことができれば、素子の高効率化が可能です。東芝は、全反射されてしまう光を、発光層に隣接した回折構造によって取り出す方法を検討しました(図 1(b))。

回折構造は、金属反射層上の透明膜を凹凸加工し、これを平坦化して形成します。平坦化の際、発光層と同等の屈折率を持つ材料を用いることで、光はロスなく回折構造へ入射します。周期 Λ の回折構造に入射角 θ_1 で入射した光は、次の式を満たす回折角 θ_2 の方向に m 次 (m : 整数) の反射回折光を生じます。

$$\Lambda (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) = m \lambda / n$$

λ : 波長 n : 発光層の屈折率

すべての閉込め光を全反射角内に回折させることは困難ですが、強度の大きい 1 次光を全反射角内に回折するよう凹凸周期を最適化することで、閉込め光を効率よく取り出せます。このとき、周期は波長程度にする必要があり、ナノオーダーの加工技術が必要となります。

EPM 法による 微細回折構造の作製

ここで、当社が開発した、単粒子層をエッチングマスクに用いたナノ加工技術の EPM (Embedded Particle Monolayer) 法⁽¹⁾を適用することで、大面積領域に簡単に微細回折構造を作製できます。EPM 法は、一般的なリソグラフィ技術^(注1)に必要な露光装置を用いず、ナノパターンを形成できる

(注1) 半導体やディスプレイ製造工程などで、基板上に回路パターンなどを形成する技術。

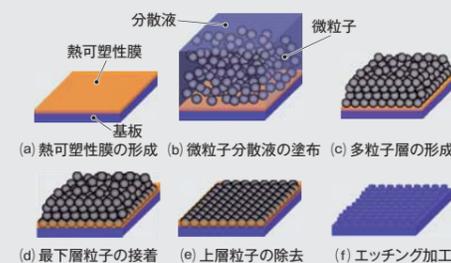


図2. EPM 法 — 基板上に形成した熱可塑性膜により最下層の粒子だけを接着することで、エッチングマスクとなる単粒子層が均一に形成されます。これを用いて基板のエッチング加工を行うと、大面積領域に微細回折構造が形成されます。

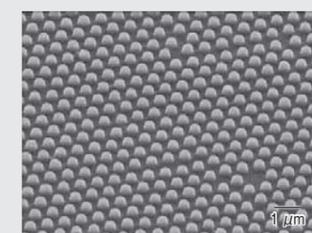


図3. EPM 法で作製した微細回折構造 — 粒子径 700 nm の微粒子をエッチングマスクに用いて、EPM 法で加工した SiO₂ 表面の SEM 像です。SiO₂ 表面に、粒子径を反映した周期 700 nm の凹凸の微細回折構造が形成されています。

利点があります。

EPM 法のプロセスフローを図 2 に示します。エッチングマスクとなる単粒子層を均一に形成するため、基板上に加熱によって軟化する熱可塑性膜を形成しておきます(図 2(a))。続いて、微粒子分散液を塗布して乾燥すると、微粒子間の等方的な分子間力によって、微粒子が密に集合した多粒子層が形成されます(図 2(b), (c))。基板を加熱すると、毛管現象により微粒子が熱可塑性膜中にうずまります(図 2(d))。このとき、熱可塑性膜の厚さを制御することによって、最下層粒子だけを基板に接着できます。基板を洗浄すると、固定化されている最下層粒子以外は除去され、単粒子層が得られます(図 2(e))。これをマスクに用いてドライエッチングを行うと、粒子配列パターンが基板に転写され、回折構造が形成されます(図 2(f))。

回折構造の周期は微粒子径を反映す

るため、ナノサイズの微粒子を用いれば、微細回折構造が大面積領域に均一に形成されます。

光取出し効率の評価

EPM 法を用いて周期 700 nm、高さ 300 nm の回折構造(図 3)を持つトップエミッション型 OLED を試作しました。試作した素子の断面 SEM (走査型電子顕微鏡) 像を図 4 に示します。発光層下部に、二酸化ケイ素 (SiO₂) と窒化ケイ素 (SiN) から成る回折構造が形成されています。図 5 に示す発光スペクトルから、回折構造を持たないリファレンス素子と比較して、全光束比で 1.6 倍、ピーク波長強度比で約 2 倍の高輝度化が実現しています。

今後の展望

通常は損失となっている OLED 素子内に閉じ込められた光を、空気中により

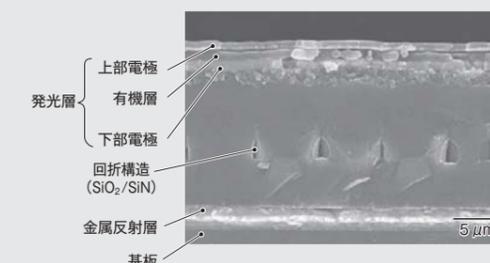


図4. 微細回折構造を持つ OLED の素子構造 — 回折構造を持つ OLED の断面 SEM 像です。発光層下部に、SiO₂ と SiN から成る微細回折構造が形成されています。

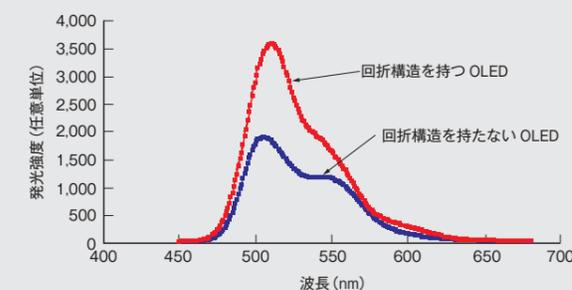


図5. 作製した OLED の発光スペクトル — 微細回折構造を持つ OLED は、リファレンス用の回折構造を持たない OLED と比較して、発光強度は全光束で 1.6 倍、ピーク波長で約 2 倍に向上しました。

多く取り出すことができれば、OLED は高輝度になります。今後いっそうの高輝度化を目指し、改良を進めていきます。

なおこの研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受け、(財) 光産業技術振興協会において東芝松下ディスプレイテクノロジー (株) が実施したものです。

文献

- (1) Nakanishi, T., et al. Nano-Patterning using an embedded particle monolayer as an etch mask. *Microelectronic Engineering*, 83, 4-9, 2006, p.1503-1508.

中西 務

研究開発センター
機能材料ラボラトリー