

回折格子構造による白色有機 EL 素子光取出し効率改善検討

Improve light out-coupling efficiency of white organic light-emitting diodes (OLEDs)

東家 安伸, 加藤 信彦, 村上 重則, 北原 弘昭, 藤森 二郎, 小山田 崇人
 Yasunobu Higashika Nobuhiko Kato Shigenori Murakami Hiroaki Kitahara Jiro Fujimori Takahito Oyamada

要旨 有機 EL 素子の光取出し効率を向上させる手段として、2次元回折格子構造による内部光取出しの検討を行った。ガラス基板と透明電極界面に微細な周期構造（回折格子構造）を形成することで、回折効果により、薄膜導波光を基板伝搬光及び外部放射光に変換させ、光取出し効率の向上効果を得ることができた。2次元回折格子構造を内部光取出し層に持つ白色有機 EL 素子では、表面光取出しフィルムとの組み合わせにより、光取出し効率が 1.9 倍に向上できることを確認した。

Summary As a means to improve the light out-coupling efficiency of organic light-emitting diodes (OLEDs), a method of applying the two-dimensional grating structure was examined. We formed the fine periodic structure at the interface between the glass substrate and the transparent anode as the diffraction grating structure. The diffraction at the grating structure improved the light out-coupling efficiency by extracting the light confined in the substrate (substrate mode) and the organic layers (waveguide mode). Using white OLEDs that have the two-dimensional grating structure as the internal light-extraction layer, the light out-coupling efficiency improved 1.9 times in combination with light out-coupling films on the surface.

キーワード: 有機 EL, 2次元回折格子, 薄膜導波光, 光取出し向上

1. はじめに

有機 EL 素子は、電極間に挟まれた有機材料薄膜に電流を流すことにより発光するデバイスである。照明用途では、面発光という特色を生かして、広範囲を自然に照らす快適で目に優しい照明として認知度が高まっている。また、薄く軽量なうえ、紙のように曲げられるフレキシブルパネルも実現できることから、高いデザイン性を可能にする次世代光源として期待されている。

しかしながら、有機 EL 素子には、光取出し効率、すなわち、有機層内部で発生した光が素子の外部に出てくる効率が低いという課題がある。このため、光取出し効率の改善を目指して、様々な光取出し技術の開発が進められている。

有機 EL 素子における光学エネルギー配分図を図 1 に示す。一般的な有機 EL 素子では、光取出し技術を用いない場合、発光層内部で発生した光学エネルギーのうち、空气中に放射する光の割合はわずか 20%程度に過ぎず、残りの光は素子内部に閉じ込められ損失している。素子内部に閉じ込められる光は、基板伝搬光、薄膜導波光、エバネッセント結合によるプラズモン損失に分類される。これらのうち、基板伝搬光を外部放射光に変換するための外部光取出し技術

としては、種々の光取出しフィルムが用いられる。一方、薄膜導波光を基板伝搬光や外部放射光に変換する技術としての内部光取出し技術については、高屈折率基板を用いる方式⁽¹⁾、光散乱層方式⁽²⁾⁽³⁾、回折格子方式⁽⁴⁾などが提案されている。

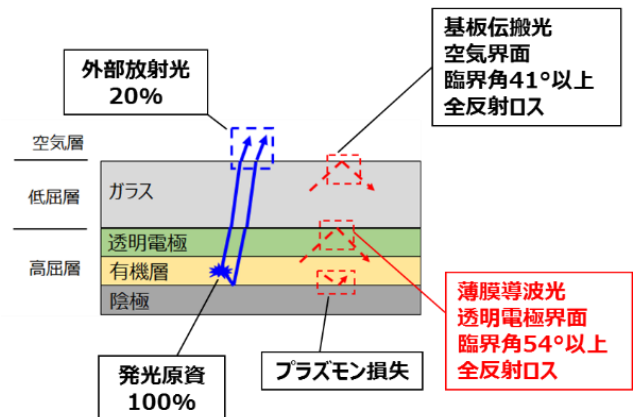


図 1 光学エネルギー配分図

我々は、これらの内部光取出し技術のうち、ガラス内部界面での反射ロスが少なく、ガラス基板内伝搬光の増加が最も期待できる回折格子方式に着目し、ボトムエミッション型白色照明有機EL素子への適用を目指して、光取出しの効果を検証した。

2. 実験方法

2.1 2次元回折格子基板の作製

2次元回折格子構造は、電子線リソグラフィと反応性イオンエッチング(Reactive Ion Etching; RIE)を用いて形成した。基板にはガラス(屈折率 1.52)を用い、表面に回折格子を形成するためのSiO₂層と、ハードマスクとして機能するCr層をスパッタリング法で成膜する。その上に電子線レジストを塗布し、電子線描画装置で露光した後、レジストを現像する。その後、レジストをマスクとしてCr層をエッチングする。最後に、Cr層をマスクとしてSiO₂層をエッチングすることで、ガラス基板上にSiO₂の2次元回折格子構造が完成する。試作した2次元回折格子の電子顕微鏡(SEM)写真を図2に示す。この格子周期は800~1200nm、格子深さは350~1250nmとした。

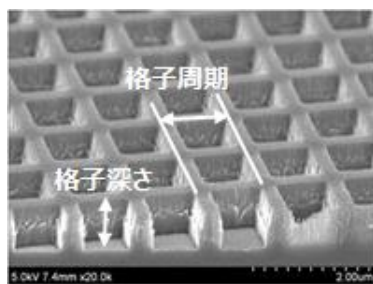


図2 試作した2次元回折格子のSEM像
(周期1200nm, 深さ700nm)

2.2 光取出し効率の評価

光取出し効果の評価は、次の2段階で行った。まず、回折格子基板単体評価により最適な回折格子パラメータを選定し、その後、回折格子構造の基板を適応した白色有機EL素子を作製し、特性を評価した。

2.2.1 回折格子基板単体評価

回折格子基板は、回折格子の急峻な段差によって電極の膜切れや電極間の短絡が生じず、界面屈折率差での全反射ロスが生じないよう、無機絶縁膜及び透明導電膜ITOと近い屈折率1.88の透明絶縁材料を成膜し平坦化した。

回折格子基板単体での光取出し効果を確認するため、回折格子基板単体検証モデルによる評価実験を行った。回折格子基板単体検証モデルの構成を図3に示す。

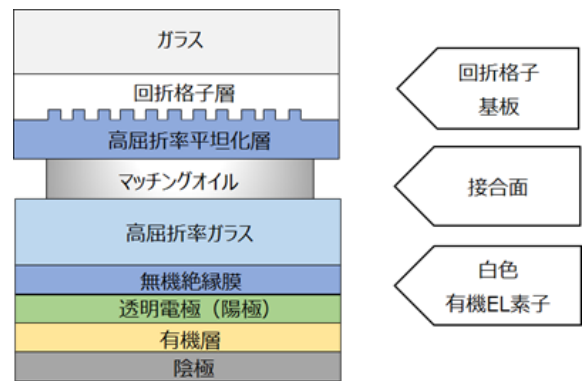


図3 回折格子基板単体検証モデル

光源として、透明導電膜ITOと屈折率の近い高屈折率ガラス基板(屈折率1.88)で作製した白色有機EL素子を使用した。その高屈折率ガラス表面に、屈折率1.78のマッチングオイルを用いて2次元回折格子基板を接合し、積分球により全光束を測定する。この方法で、最も光取出し効果が得られる回折格子形状を選定した。なお、光取出し効果は、回折格子層の無いガラス基板を貼り付けた場合の全光束を基準とした全光束比で評価した。

2.2.2 白色有機EL素子特性評価

次に、回折格子単体検証実験で最も光取出し効果が得られた回折格子構造で白色有機EL素子を作製し、実際の素子での光取出し効果を検証した。試作した白色有機EL素子の基板構成を図4に示す。回折格子無し基板の全光束光比を基準とし、全光束光比で評価した。



図4 白色有機EL素子基板構成

3. 結果及び考察

3.1 回折格子基板単体評価

光取出し効果に影響を与える回折格子パラメータとして、格子深さと格子周期を抽出し、回折格子基板単体検証モデルでの評価を行った。格子周期及び格子深さと全光束比の関係を図5に示す。

格子周期を800nm、1000nm、1200nmと変えて格子深さを350nmから1250nmまで検討した結果、格子深さ850nmで光取出し効果が最大となり、その深さをピークに効率は低下した。格子周期については、格子深さにより効率最大と

なる周期が異なった。格子の深さに伴い効率最大となる格子周期は広くなる傾向があり、格子周期に対して最適な深さが存在することを示唆した。本実験で最も高い光取出し効果が得られた格子深さ 850nm、格子周期 1000nm の回折格子構造では、高屈折率平坦化層とガラス基板界面において、臨界角以上の角度の光が回折によってガラス基板内へ入射された基板伝搬光が最も増加したことにより、光取出し効果が向上したと考えられる。

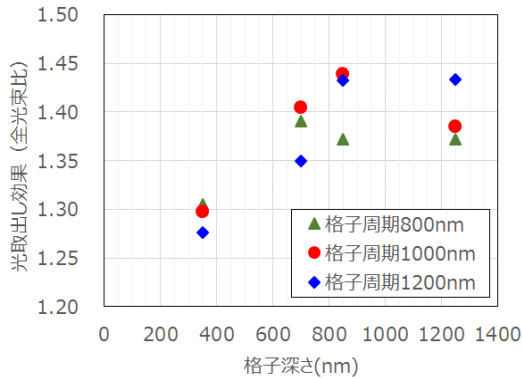


図5 全光束比と回折格子深さ

これを検証するため、図3の回折格子基板単体検証モデルのガラス表面にガラス基板と同等の屈折率を有する半球レンズ(屈折率 1.52)を取り付けて全光束を測定し、ガラス基板に入射する光量の回折格子による変化量を調べた。なお、ガラス基板と半球レンズの接合には屈折率 1.52 のマッチングオイルを使用した。半球レンズ接合時の回折格子基板単体検証モデルを図6に示す。

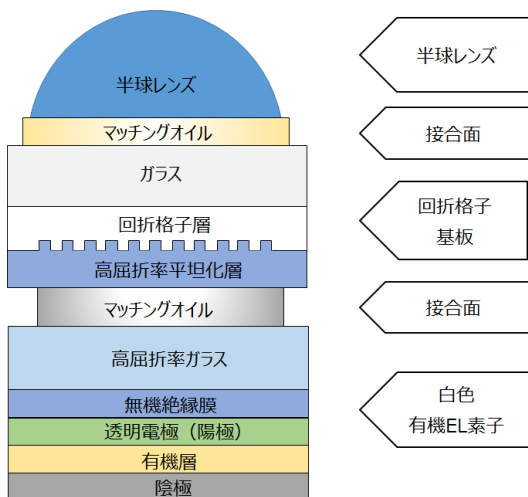


図6 半球レンズ接合時の回折格子単体検証モデル

この実験で得られた回折格子深さと全光束比の関係を図7に示す。回折格子が無い場合を基準として、全光束(基板伝搬光)は格子の深さに伴い5から10%に増加し、図5の結果と対応した。このことから、回折格子構造には、薄膜導波光を基板伝搬光に転換する効果を有することが確認できた。

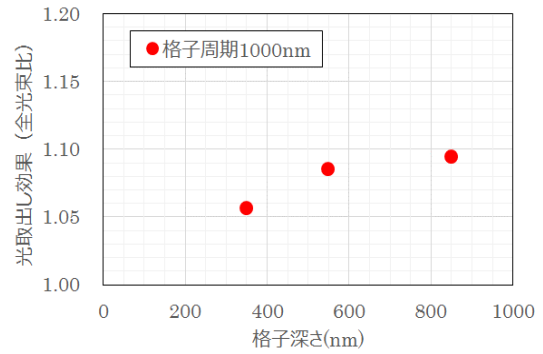


図7 半球レンズ接合時の全光束比と回折格子深さ

3.2 白色有機EL素子特性評価

回折格子基板単体評価実験で最も光取出し効果が得られた格子深さ 850nm、格子周期 1000nm の回折格子構造を基板内部に形成した白色有機EL素子(図4)の特性を評価した。

表1に白色有機EL素子(全光束比)評価結果、図8に白色有機EL素子配光特性評価を示す。2次元回折格子構造を適用することで、回折格子が無い素子に比べて全光束は1.7倍に向上した。これは、回折格子が無い素子に比べ、表面フィルムを組み合わせた構造と同等の効果である。更に、ガラス基板表面に散乱系光取出しフィルムを組み合わせることで全光束は1.9倍に向上した。これは、図7の結果である格子深さ 850nm、周期 1000nm の回折格子構造を適用した場合、基板導波光が10%向上した結果に対応していることから、回折格子構造では、薄膜導波光を基板伝搬光に変換することによる光取り出し効率改善効果を確認した。

回折格子構造	表面フィルム	全光束比
無	無	1.00
	有	1.73
格子深さ 850nm 格子周期 1000nm	無	1.67
	有	1.94

表1 白色有機EL素子評価結果(全光束比)

また、配光特性については、回折格子構造のみを適用した場合、出射光ピークが40°~50°にあり、角度による変化量が大きい。しかし、回折格子構造を適用した場合でも、ガラス表面に散乱系フィルムを貼り付けることで、出射光が均一に改善されること、見る角度による色度変化が少ないことを確認した。

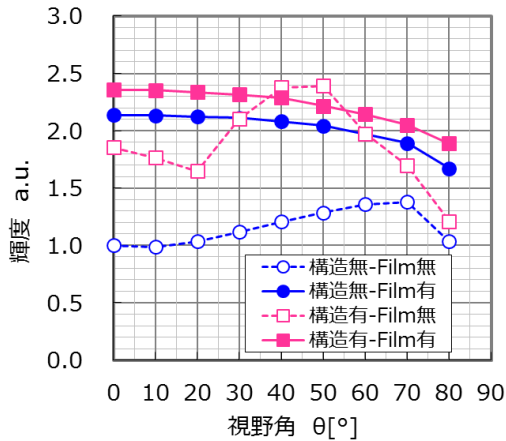


図8 白色有機EL素子配光特性

4. まとめ

回折格子構造を適用した場合の光取出し概念図を図9に示す。

有機EL素子の光取出し効率を向上させる手段として、2次元回折格子構造による内部光取出しの検討を行った。ガラス基板内部に回折格子構造を適用したことにより、「薄膜導波光を基板伝搬光に変換する効果」と「基板伝搬光を外部放射光へ変換する効果」の効果があったと考えられる。ただし、「基板伝搬光を外部放射光へ変換する効果」は、表面フィルムにも同様の効果がある。回折格子基板において、出射光を均一にさせるため、表面フィルムを貼り付けると、回折格子構造によって、「薄膜導波光を基板伝搬光に変換させた効果」つまり基板伝搬光の増加分だけが、効率向上に寄与したと考えられる。

以上、本研究において、ガラス内部界面に2次元回折格子を適用することで、白色有機EL素子の光取出し効率向上に有効であることを確認した。

今後有機EL素子は、一般的な照明分野だけではなく、車載用途としても急激な成長が見込まれているため、更なる光取出し効率向上を目指し取り組みたい。

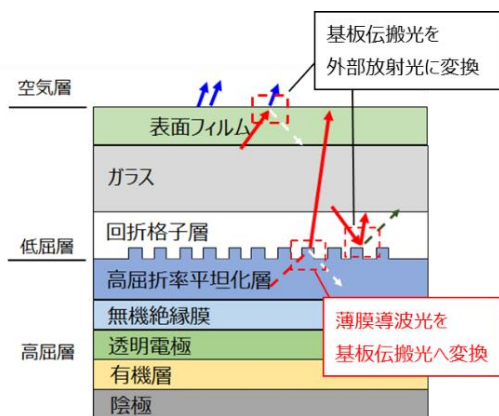


図9 回折格子構造を適用した場合の光取出し概念図

参考文献

- (1) A. Mikami, Proc. of IDW'09, p.447 (2009)
- (2) N. Nakamura, N. Fukumoto, F. Sinapi, N. Wada, Y. Aoki, and K. Maeda, SID 09 Digest, p.603 (2009)
- (3) Y-S Tyan, Y.Q. Rao, J-S. Wang, R. Kesel, T.R. Cushman and W.J.Begley, SID 08 Digest, p.933 (2008)
- (4) 奥谷 他、有機EL 討論会第4 回例会予稿集 S6-2 (2007)

著者紹介

東家 安伸(ひがしか やすのぶ)

研究開発部 第1研究部 研究3課に所属。
光ディスクの研究開発を経て、現在有機ELの研究に従事。

加藤 信彦(かとう のぶひこ)

研究開発部 第2研究部 研究2課に所属。
光ディスクの研究開発を経て、現在分光イメージングの研究に従事。

村上 重則(むらかみ しげのり)

研究開発部 第1研究部 研究4課に所属。
光ディスクの研究開発を経て、現在有機ELの研究に従事。

北原 弘昭(きたはら ひろあき)

研究開発部 第1研究部 研究3課に所属
電子線描画技術の研究開発を経て、現在有機ELの研究に従事。

藤森 二郎(ふじもり じろう)

研究開発部 第1研究部 研究4課に所属
微細加工技術の研究開発を経て、現在有機ELの研究に従事。

小山田 崇人(おやまだ たかひと)

研究開発部 第1研究部 研究3課に所属
有機ELの研究に従事。