

令和元年6月25日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05957

研究課題名(和文) マルチカソード構造を用いた高演色・広視角および高色純度・指向性有機EL素子の開発

研究課題名(英文) Development of high color rendering, wide viewing angle and high color purity, directional organic light emitting device using multi cathode structure

研究代表者

三上 明義 (Akiyoshi, Mikami)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：70319036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：高色純度・高指向性の高効率有機EL特性および高演色性・広視野角特性の高輝度白色発光特性を実現するため、電磁光学や近接場光学を繋ぐシームレスなマルチスケール解析手法を開発すると共に、同法を低分子系カラー有機EL素子に適用し、色純度および発光効率の改善を検討した。その結果、RGB有機EL素子における発光スペクトルの半値幅が約1/2に低減し、発光の色度座標が改善すると共に、光取り出し効率は25～35%の範囲に向上した。また、同手法を三波長型白色有機EL素子に適用し、独自の陰極構造(マルチカソード)に光散乱特性を付加した結果、光取り出し効率およびパワー効率が向上し、演色性および視野角が改善された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はマルチカソード構造を利用した高演色性・広視野角特性の白色有機EL、並びに高色純度・高指向性の有機ELディスプレイを実現する光学設計技術の開発であり、電力損失の主因である表面プラズモン効果の低減により高効率を維持したまま、照明装置やディスプレイ装置が要求する発光特性を実現できる。また、本研究で開発したマルチスケール解析手法は有機薄膜デバイスの光学理論および高性能化に向けた構造・材料の探索・設計に新たな学術的知見を与える。同研究成果は有機EL照明の高輝度化、並びに次世代4K8K-TV用のBT2020規格に適合した色再現範囲の広いカラー有機ELディスプレイの開発に寄与する。

研究成果の概要(英文)：We developed a multi-scale optical analysis method that connects electromagnetic optics and near-field optics in order to realize highly efficient OLED characteristics with high color purity and high directivity and high luminance white light emission characteristics with high color rendering and wide viewing angle characteristics. At the same time, the same method was applied to color organic devices to study improvement in color purity and luminous efficiency. As a result, the full width at half maximum of the emission spectrum of the RGB luminescence was reduced to about 1/2, the chromaticity coordinate of emission was improved, and the light extraction efficiency was improved to a range of 25 to 35%. Moreover, as a result of applying the same method to a white OLED with the combination of multi-cathode and light scattering layer, light extraction efficiency and power efficiency are improved, and color rendering and viewing angle are also improved.

研究分野：電子デバイス

キーワード：有機EL 発光効率 光学解析 マイクロキャビティ 光取りだし

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機EL素子は高画質ディスプレイ、次世代固体照明の実現に向けた開発が進められている。有機EL照明の分野では、環境低負荷型材料であること、演色性に優れること、面光源などから、環境や人に優しい高効率照明の重要技術に位置付けられ、既に欧州、米国および国内では国家プロジェクトとして推進されている。しかし、それらの技術目標値は現行の蛍光灯や発光ダイオードを超えるものではない。また、ディスプレイ用途においても、高視認性、広色再現性、フレキシブル機能などの特徴があるものの、現行の液晶技術の優位性を凌ぐまでには至っていない。有機EL照明およびフレキシブル・ディスプレイの実現には更なる高効率化、色調制御が不可欠であり、その重要な技術課題として、外部量子効率を律速している光取り出し効率および光学特性制御におけるブレイクスルー技術が必要と考えられている。

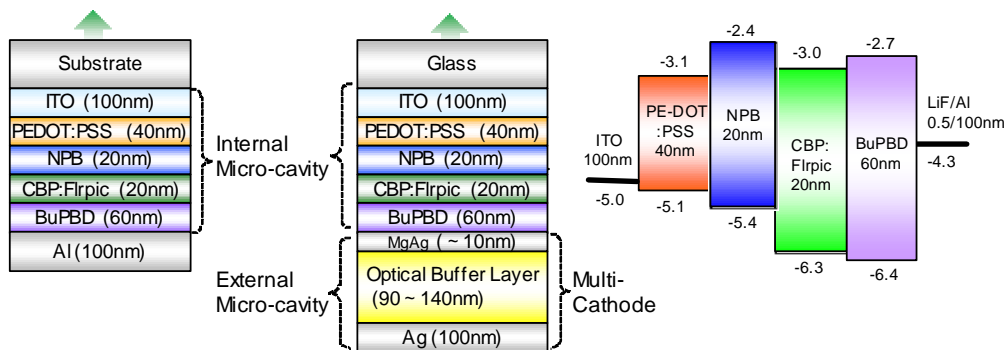
申請者は有機EL技術の研究を進める中で、有機層内部の損失光を効果的に外部に取り出す新しい素子構造として“高屈折率基板と多孔質光散乱層を組み合わせた光取り出し構造を提案し、同方式を改良した緑色発光の燐光有機ELにおいて、最大発光効率 210 lm/W、外部量子効率 56.9%を実現した。同成果は当時としては世界最高値であるが、更なる高効率化に向けては金属電極で消失する表面プラズモン損失の低減が大きな課題となっており、その解決に向けて、光学解析ツールの開発と新しい電極構造の検討に着手した。2012年、申請者は半透過性陰極/光学補償層/高反射金属の積層構成による新たな電極構造としてマルチカソード構造を提案し、金属電極両界面で生じる2種類の表面プラズモン共鳴の相互作用を光学補償層により制御することで、表面プラズモン損失を10%以下(従来比1/5)に低減できる可能性を理論的に示した。しかし、その実現にはキャビティ効果およびプラズモニック効果などの光学現象を高精度に解析すると共に、表面プラズモン損失(非伝搬光)の回避により生じた新たな薄膜導波光(伝搬光)を外部に取り出し、光波長サイズの薄膜層と金属電極から構成される有機EL特有の光学的効果を定量化できる新たな設計手法およびその作製技術の開発が課題であった。

2. 研究の目的

高演色性・広視角特性の高輝度白色有機EL照明および高色純度・高指向性RGB有機ELディスプレイのように、互いに相反する発光特性を可能とする有機EL基本構成の実現を最終目的として、申請者が独自に創案したマルチカソード構造を有機EL素子に適用すると共に、自在な光学特性の制御を可能にするための光学デザイン手法の開発のため、光線光学、波動光学、電磁光学、近接場光学を統合化した独自のマルチスケール解析手法を発展させ、有機薄膜内の光波伝播現象と金属電極界面での表面プラズモン効果の定量解析に適用でき、近接場のマイクロ構造と波動場のマクロ構造の光学現象をシームレスに繋ぐ光学ツールを開発する。これらにより、光学損失の約50%を占める表面プラズモン損失の低減と光取り出し効率の改善を図ると共に、マルチカソード構造における外付け光学補償層に対して、光散乱効果を付加することで、白色有機ELに適した高演色性・広視角特性を備え、マイクロキャビティ効果を付与することで高色純度・高指向性を備えた発光特性を実現する。更に、光学補償層の光学特性制御により、白色照明に必要な高演色性・広視角特性、ディスプレイ用途に必要な高色純度・高指向性という互いに相反する光学特性を高性能に実現するものであり、白色有機EL照明およびフレキシブル有機ELディスプレイの実現に寄与することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究ではまず、既に申請者が独自に開発した有機EL光学シミュレータの機能を発展させ、電磁光学や近接場光学を繋ぐ新規なアルゴリズムに基づくマルチスケール解析法を発展させ、発光効率、光学モード分布に加えて双極子近接場のプラズモニック効果を高精度で計算できる光学理論を確立すると共に、同手法を図1(b)に示したマルチカソード構造に適用した高効率有機EL素子の光学設計に適用し、燐光材料で予測される発光効率(電力効率120 lm/W、光取り



(a) 従来構造 (b) マルチカソード構造 (c) ポイテンシャルエネルギー

図1 実験に使用した有機EL素子の基本構造

出し効率 50%) の実証を第一目標とする。次に光学補償層に表面プラズモン制御とマイクロキャビティ効果を同時に付与し、高色純度と高指向性を兼ね備えた RGB 発光を実現する。更に光学補償層に表面プラズモン制御と光散乱効果を同時に付与し、高演色・広視野角特性を兼ね備えた RGB 発光を実現し、広い制御範囲を可能とするマルチカソードを用いた基本素子の光学的構造設計手法を確立する。

4. 研究成果

本研究では高色純度・高指向性の高効率有機 EL 特性および高演色性・広視野角特性の白色発光特性のいずれにも適用可能な基本素子構造を実現するため、有機 EL 光学解析システムの計算機能を高めて電磁光学や近接場光学を繋ぐシームレスな解析手法を開発すると共に、同解析手法を低分子系緑色発光有機 EL 素子に適用し、色純度および発光効率の改善を検討した。また、同手法をフルカラー化に展開し、赤色および青色発光の効率および色純度の改善に取り組んだ。更に、三波長型白色有機 EL 素子にも適用し、独自の陰極構造(カルチカソード)における光学補償層に光散乱特性を付加した外付け方式の光学特性機能を検討した。主な研究成果は以下のようである。

素子内部の光学モード分布、配光分布、光学エネルギー分布を定量化および可視化し、表面プラズモン効果およびマイクロキャビティ効果を視覚的に観察した。図 2 に光学エネルギー密度の波数依存性を示す。従来構造では波数 1.82 付近に強い表面プラズモン損失が見られるが、マルチカソード構造では、それが殆ど認められず、代わって外部発光モード(External)が強くなる。これは金属電極の両界面が生じる 2 種類の表面プラズモン共鳴の相互作用に基づくものであり、非伝搬波から伝搬波へのモード転換が生じていることを明らかにした。

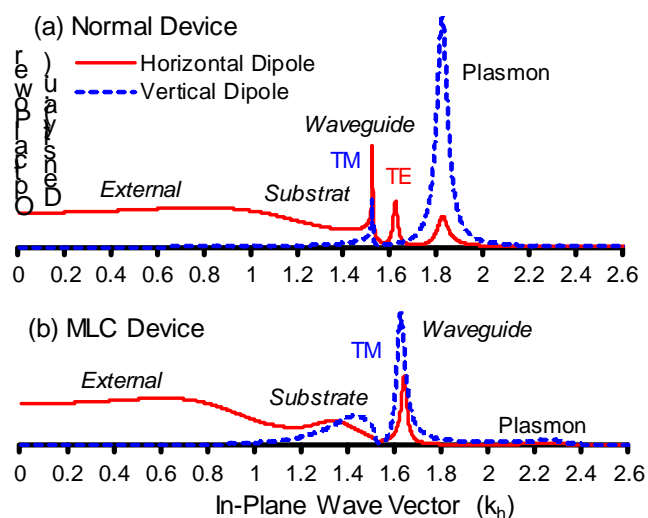
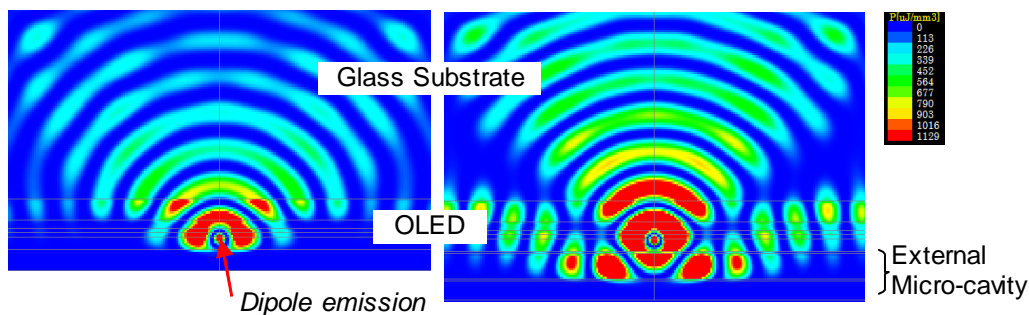


図 2 光学エネルギー密度の水平波数依存性
(a) 従来構造 (b) マルチカソード構造

緑色発光材料を用いた低分子系有機 EL 素子構造に適用することで、緑色発光スペクトル、配光分布、発光効率などの発光特性に対するマルチカソード構造に対する最適設計を行った結果、標準構造では色度(0.326, 0.621)、光取り出し効率 21.3%であるのに対し、外部マイクロキャビティ効果を導入した新構造では色度(0.161, 0.685)、光取り出し効率 25.6%を実現した。図 3 は素子内部の光学エネルギー密度分布を可視化したものであり、マルチカソード構造では、キャビティ構造の内部による強い伝搬光が見られると共に、発光強度の前面指向性が強く、新構造の効果が認められる。また、マルチカソード構造における光学補償層を透明膜とした外付け型マイクロキャビティ構造を背面側に設置し、光学補償層の材料、膜厚、光学定数の制御による高色純度・高指向性の最適設計を試作実験に基づいて検討した。具体的には、基板および有機薄膜の光学異方性が光学モード分布に及ぼす影響を解析および最適化した緑色発光有機 EL に適用した。その結果、発光層の有機膜に水平



(a) 従来構造 (b) マルチカソード構造
図 3 有機 EL 素子内部の光学エネルギー密度分布

方向の分子配列を付与することで、光取り出し効率の増大が認められ、理論的には 50%以上の高効率化を示唆する結果を得た。

マルチカソード構造に基づく設計指針を赤色(R)、緑色(G)および青色(B)発光カラー有機EL構造に適用し、発光スペクトル、配光分布、発光効率などの発光特性に対する陰極および陽極構成に対する最適設計の効果を検証した。その結果、図 4(a)に示すように、発光スペクトルの半値幅は約 1/2 に低減し、RGB 発光の色度座標は同図(b)に示すように、それぞれ(0.65, 0.31)、(0.16, 0.68)および(0.13, 0.12)に改善した。また、光取り出し効率は 25~35%の範囲に向上した。更に、マルチカソード構造、光散乱特性、光学異方性基板の組合せにより発光特性の改善を進めた結果、白色発光においても光取り出し効率およびパワー効率の改善が認められた。しかし、現時点では発光特性の再現性ならびに経時変化が不十分であり、作製方法、成膜条件などの更なる改善が必要である。

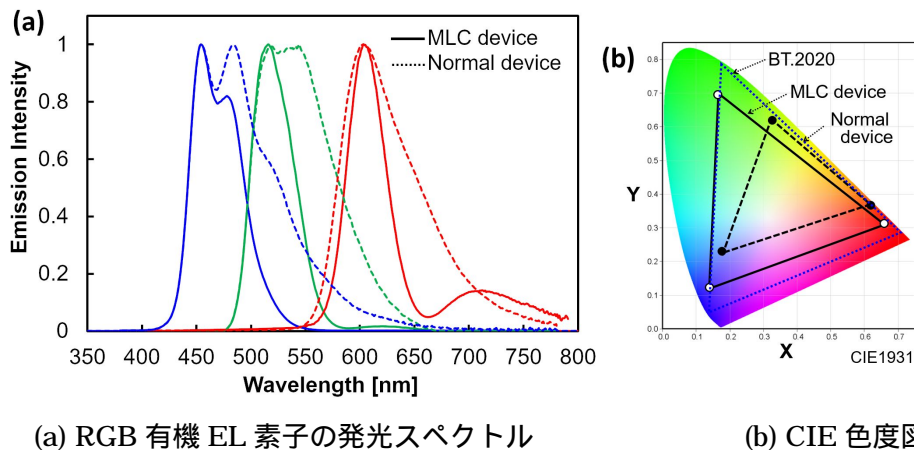


図 4 カラー有機 EL 素子の発光特性

今後、有機 EL 素子の輝度変化、演色性、発光色の経時変化などの基礎データを継続的に収集することで、実用化に向けた基礎技術に繋がるものと考えられる。特に次世代 4K8K-TV に要求されている BT.2020 規格に適合した色再現範囲の広い高色純度・高効率カラー有機 EL ディスプレイの開発に寄与することが期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Akiyoshi Mikami, Effect of External Micro-cavity coupled with Surface Plasmon on the Performance of Organic Light Emitting Devices, The International Journal of Engineering and Science, Vol.6, pp.24-31 (2017)

Akiyoshi Mikami, Reduction of the Optical Loss in the Multi-cathode Structure Organic Light Emitting Device Using a Long Range Surface Plasmon, Optics and Photonics Journal, Vol.6, pp.226-232 (2016)

〔学会発表〕(計 9 件)

Akiyoshi Mikami “Optical Design for High Efficiency and Wide-Color-Gamut in OLEDs with Multi-Cathode Structure”, International Meeting of Information Displays, Pusan, (2018)

Akiyoshi Mikami “Enhanced Color Purity and Emission Efficiency in Organic Electroluminescence by Surface Plasmon Coupled External Micro-cavity Effect”, The 3rd International Conference on Chromogenic and Emissive Materials, Lisbon (2018).

三上明義, 外部キャビティ効果を利用した高効率・広色域有機 EL の光学設計, 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, 金沢 (2018)

三上明義, 高効率・広色域有機 EL デバイスの開発に向けた光学モード制御, 電子情報通信学会 第 40 回ポリマー光部品研究会, 東京 (2018)

三上明義, 分子配向と光取り出し技術, 有機 EL 討論会第 25 回例会, 札幌, pp.9-10 (2017)

Akiyoshi Mikami, Effect of External Micro-cavity on the Improved Color Purity in OLEDs, Proceedings of the 33th International Research Conference, Berlin (2017)

Akiyoshi Mikami, Enhancement of optical micro-cavity effect coupled with surface plasmon in an organic light emitting device with nanosized multi-cathode structure, Nanophotonics and Micro/Nano Optics International Conference, Barcelona (2017)

Akiyoshi Mikami, External Microcavity Effect in an Organic Green Light Emitting Device with Multi-cathode Structure, XVII International Symposium on Luminescence Spectrometry, Taipei (2016)

三上明義、土居周平、外部マイクロキャビティ効果を利用した高色純度・高効率マルチカソード構造有機 E L 素子の光学シミュレーション解析, Optics & Photonics Japan, 東京 (2016)

〔図書〕(計3件)

三上明義、有機 E L に関する発光効率向上, 部材開発, 新しい用途展開, (株)技術情報協会出版, ISBN 978-4-86104-692-6, 全 600 頁 (2018)

三上明義、白色有機 E L 照明技術, (株)シーエムシー出版, ISBN 978-4-7208, 全 244 頁 (2017)

三上明義、最先端の有機 E L (株)シーエムシー出版, ISBN 978-4-7813-1240-8, 全 426 頁 (2017)

6 . 研究組織

研究分担者なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。