

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05441

研究課題名（和文）金属ナノ構造を用いた量子ドットLEDの高効率化とその機構解明

研究課題名（英文）Development of Quantum Dot LED with plasmonic metal nanostructures

研究代表者

木場 隆之（Kiba, Takayuki）

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40567236

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、発光デバイス内に組み込んだ金属ナノ構造の局在表面プラズモン(LSP)による発光増幅効果を利用した発光効率の改善が目的である。その為、特に量子効率の低い発光材料系を主な対象として、それに適した金属ナノ構造の探索と時間分解PL測定による発光増幅効果の確認、および金属ナノ構造のデバイス中への実装を試みた。金属薄膜の熱処理によるナノ構造作製や、ナノスフィアリソグラフィ法を利用した金属ナノメッシュ構造の作製を行い、LSP共鳴波長の可視域内での制御、および発光材料との組み合わせでの発光増幅能が確認された。またナノ構造だけではなく金属/誘電体積層薄膜に生じる表面プラズモンの有用性も確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属ナノ構造の作製・評価や発光材料との組み合わせによる発光増幅現象の観測・機構解明、および金属/誘電体複合薄膜の発光デバイスへの応用を進めた。それに加え電磁界シミュレーションによる解析から、金属ナノ構造や複合薄膜の中に生じるプラズモンモードとの対応関係を明らかにした上で、発光増幅の機構についての理解が進んだ。得られた知見を基に、発光デバイス、特に電極構造のデザインを最適化することが可能となる。これにより近年需要が大きく広がっているディスプレイ用途の有機EL素子等の省電力化を図ることができる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to improve emission efficiency by utilizing the emission enhancement effect of localized surface plasmon (LSP) of metallic nanostructures incorporated in light-emitting devices. For this purpose, we have investigated metal nanostructures suitable for emission materials with low quantum efficiency, confirmed the luminescence amplification effect by time-resolved PL measurements, and fabricated metal nanostructures in the devices. We fabricated nanostructures by annealing thin metal films and metal nanomesh structures by nanosphere lithography, and confirmed that the LSP resonance wavelengths can be controlled within the visible range and the ability to enhance emission in combination with light-emitting materials. The effectiveness of surface plasmons generated in metal/dielectric multilayered thin films as well as nanostructures was also confirmed.

研究分野：光物理化学

キーワード：プラズモン 発光増幅 有機EL 量子ドット

1. 研究開始当初の背景

ディスプレイ用途として有機 EL 素子、有機発光ダイオード(Organic Light Emitting Diode: OLED)が再び注目を集めている。ここ数年でスマートフォンやテレビへの応用が急速に進み、需要が増している。また有機発光材料だけではなく、半導体材料をナノサイズに加工した量子ドット(Quantum Dot: QD)を発光層へ用いた量子ドット LED(QLED)は、そのサイズや分布によって発光波長、線幅を制御できる点や温度安定性等の利点がある。QLED の応用が進む中で省電力化の要請は常に存在し、発光効率の向上は必要不可欠である。

現在、研究レベルでの QLED の開発はすでに進んでおり、CdSe をコアに使用したコロイド型 QD で、通常の光取り出し効率の限界である外部量子効率 20%に近いデバイスが実現している [Dai et al, Nature 2014][Wang et al, ACS Appl. Mater. Interfaces 2017]。しかし、Cd 等の重金属を含む材料系はその毒性が製品化の障害となっており、低環境負荷な材料系を用いた QD の内部量子効率の向上が可能となれば、さらに応用の可能性が広がる。

発光の量子効率を改善する手段として、金属ナノ構造に発生する局在表面プラズモン(LSP)を利用した発光増幅現象がある。様々な金属材料・発光材料の組み合わせで、2000 年頃から研究が続けられている。中でも光励起によるフォトルミネッセンス(PL)増幅の研究は進んでおり、その機構も明らかにされつつある。

発光と LSP の結合による発光増幅機構における限界・課題は、無輻射失活で失われていたエネルギーをプラズモンに移して再輻射させるという原理の為、すでに高い量子効率を達成している発光材料に対しては効果が無い点である。これは逆に言うと、プラズモンによる発光増幅は量子効率の低い材料系で高効率化に大きく寄与できることを意味している。したがって、量子効率が相対的に低い InP/ZnS 系 QD などを対象にする事で、金属ナノ構造との組み合わせにより、発光効率の改善が期待できる。本研究で提案する金属ナノ構造による発光増幅・高効率化は、原理的には対象となる材料系を問わず、適用することができる。発光増幅のコンセプト実証のために、対象は QD だけに限定せず、OLED の有機発光材料も含めて実験を行う。

したがって本研究では、金属ナノ構造の局在表面プラズモンと発光材料間でのエネルギーフローを明らかにし、発光増幅機構の理解の元でのデバイス設計により、QLED, OLED において発光効率を改善させることは可能か?を検討する。

2. 研究の目的

本研究は、QLED, OLED 内に組み込んだ金属ナノ構造の局在表面プラズモン(LSP)による発光増幅効果を利用した発光効率の改善が最終目的である。その為、特に量子効率の低い QD を主な対象として研究を行う。具体的には、

- ・発光材料に適した金属ナノ構造の探索と時間分解 PL 測定による発光増幅効果の確認
- ・金属ナノ構造の QLED, OLED 中への組み込みと最適構造による高効率化 に取り組む。

他報告例では、PL の短寿命化を根拠にプラズモン増幅であると結論付ける報告は多くあるが、LSP が結合する過程が発光・吸収のどちらなのかの検証、輻射・無輻射過程を切り分けた上で増幅機構を議論している例はごく少ない。電流注入型の OLED デバイスでは、発光と LSP が結合した上で輻射過程が加速されていなければ、効率の改善は起こらない。金属ナノ構造の存在下での、キャリア注入、輻射・非輻射過程、LSP 準位へのエネルギー移動と再輻射等のダイナミクスの観測により、デバイス内におけるエネルギーフローや発光増幅機構を解明する事は、デバイスの高効率化を図る上での設計指針となる。

QLED の高効率化を目指す研究としては、従来 QD 自体やキャリア注入・輸送層の材料選定、膜厚等の条件の最適化といったアプローチが取られているが、本研究においては、QLED 内に金属ナノ構造を組み合わせることで効率改善を図る。原理的には、あくまで発光と金属ナノ構造間の相互作用に基づくため、本手法による量子効率の改善は、無輻射過程でのロスが存在する系であれば、材料系・発光波長によらず適用可能であり、汎用性が高い。

3. 研究の方法

・発光材料に適した金属ナノ構造の探索と時間分解 PL 測定による発光増幅効果の確認

これまでの OLED の発光材料(Alq_3 薄膜)のプラズモン発光増幅に関する申請者の研究の中で、発光体と金属ナノ構造の組み合わせに関する条件としては、第一に発光波長との LSP 共鳴波長のマッチングが必要との知見が得られた。LSP 共鳴波長は、Ag もしくは Al を用いる事で、金属薄膜の加熱処理による形態制御、もしくはナノスフィアリソグラフィによるサイズ制御により、可視域内での自由な制御が可能であり、発光波長に合わせた設計をする。本研究では、QLED お

よび OLED へのプラズモン発光増幅の応用を考えた、金属ナノ構造の作製と PL 増幅能の評価、時間分解 PL 測定により、輻射過程と非輻射過程の切り分けと、LSP の結合対象(発光 or 吸収)を同定した上で、発光増幅機構の検証を行う。LSP と発光が結合した上で増幅が起こる系でなければ、電流注入型デバイスでは効率改善が望めないため、金属ナノ構造を発光デバイス中へ組み込む為の設計指針となる知見を集める。

・金属ナノ構造の QLED, OLED 中への組み込み

プラズモン発光増幅のために必要な次の条件は、発光体・金属ナノ構造間の最適な距離設計である。予備的な検討により、PL 増幅効果に対する発光体と金属ナノ構造間のスペーサー膜厚は 20~40nm 程度が最適との結果が得られた。しかし QLED, OLED 中では電流注入過程への影響も考えられる。デバイスを作製した上での発光増幅効果と電流注入効率と共に有効な最適構造の検討が重要となる。そこで、前項で発光増幅が確認された QD と金属ナノ構造の組み合わせで、デバイスを試作する。これまで作製実績のある Alq_3 を発光材料として用いた OLED を基に、金属ナノ構造を電極上へ直接配置、もしくはキャリア注入・輸送層中へ組み込む。各層の膜厚依存や、誘電体によるナノ構造の埋め込み等も含めて、条件を変えたデバイスを試作し、発光特性並びに電流注入特性の測定から最適構造を検討し、発光デバイスの外部量子効率の改善を狙う。

・金属ナノ構造を組み込んだ QLED, OLED の最適構造による高効率化

前述の項目で得られる知見を踏まえて、相対的に内部量子効率が高い Cd フリー QD や有機蛍光材料を用いた、電流注入型デバイスにおいて発光増幅効果が発現するかどうか？また、その機構は光励起の PL 増幅の場合と同様の機構で起きているのか？を明らかにし、金属ナノ構造の LSP 共鳴による発光増幅効果の有用性・汎用性を示した上で、外部量子効率の改善を図る。

4. 研究成果

(1) . Ag 薄膜の熱処理によるナノ粒子化とその形態制御による LSP 共鳴波長制御

以前、ガラス基板上的 Ag 薄膜の熱処理により Ag ナノ粒子が作製可能である旨我々も報告をしているが、その粒子径や粒子間隔の制御性をより詳細に検討するため、初期膜厚や熱処理温度による変化を系統的に調査した。

石英基板上に抵抗加熱真空蒸着法により、5、10、15、20、25nm の厚さの Ag 薄膜を成膜した。その後、得られた Ag 薄膜をアルゴンガス雰囲気ホットプレート上で 400℃、1 時間アニールした。得られた Ag 薄膜の形態を SEM で観察し、画像解析により粒子径を算出した。有機発光体である Alq_3 薄膜を Ag NPs 上に成膜し、Ag NPs の透過率と反射率スペクトル、および Ag NPs と Alq_3 の PL スペクトルを測定した。図 1(a) に示すように、得られた Ag NP の平均直径は、加熱前の Ag 薄膜の厚みが増すにつれて、50nm から 300nm まで大きくなっていることがわかる。このサイズ変化に対応して、図 1(b) に示すように、Ag NPs の局在表面プラズモン (LSP) 共鳴に起因すると考えられる吸収ピークの顕著なレッドシフトが確認された。また適切なサイズの Ag NPs と組み合わせることで、 Alq_3 のフォトルミネッセンスが約 4 倍向上することが確認され、有機発光デバイスの光取り出し効率の向上に応用することができる。

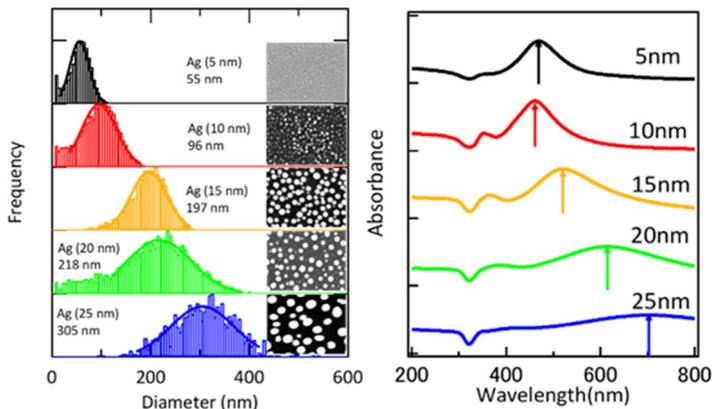


図 1(a) Ag 薄膜を 400℃ 1 時間アニールし作製された Ag NPs のサイズ分布のヒストグラムと SEM 像 (b)異なるサイズの Ag NPs の吸収スペクトル

以上のように簡便な真空蒸着法と熱処理の組み合わせにより、可視域全般にわたって LSP 共鳴波長が制御可能である事がわかった。

[T. Kiba et al., *Vacuum* **192**, 110432 (2021).]

(2) . ナノスフィアリソグラフィ法による金属ナノメッシュの作製・評価

ポリスチレンビーズ配列をテンプレートとした金属ナノ構造の作製を行ってきたが、デバイス応用を考えると導電性を担保し電極として使用可能なメッシュ構造(ナノホール配列)が相応しいと考えた。金属ナノメッシュ構造では、導電性を保ちながら光透過性を兼ね備える性質を持つ。これはナノメッシュ構造における表面プラズモンの異常透過現象に由来し、特定波長域において開口率以上の透過率が期待できる。さらに開口による凹凸が散乱源として作用することで導波モード光の取り出しも可能であり、波長選択性を持った電極として応用が期待できる。

開口サイズ、周期の異なる Ag ナノメッシュ構造を作製し、その導電・光学測定の評価を行っ

た。期待される局在表面プラズモン共鳴による影響の理論的検証も行った。また、ナノメッシュ上に典型的な OLED の発光材料である Alq_3 を蒸着し、そのフォトルミネッセンス (PL) に与える影響について検証を行なった。

水面展開法により石英基板上に直径 350, 500 nm のポリスチレン (Ps) ビーズを規則配列させ、反応性ドライエッチング (RIE) 法によりビーズ径を小さくした。その後、Ag 薄膜 50 nm を真空蒸着法にて成膜し、超音波洗浄により Ps ビーズを除去することで Ag ナノメッシュ構造を得た。作製した試料について、SEM および AFM により形状評価を行った。また四探針法によりシート抵抗を、分光光度計を用いて透過スペクトルの測定を行った。シミュレーションには、FDTD 法を用い、ナノメッシュ構造における電場分布や誘起されるプラズモンモード、透過反射特性の検証を行った。さらに、ナノメッシュ試料上に Alq_3 薄膜を 100 nm 蒸着し、 Alq_3 膜側より励起光 (400 nm) を照射し、定常 PL 及び時間分解 PL スペクトルについて測定を行った。参照用の Alq_3 単層膜 (100 nm) での測定結果との比較から、ナノメッシュ存在下での発光増強について検討した。

図 2 に直径 350 nm の Ps ビーズで作製し、開口径を変化させた場合の Ag ナノメッシュ構造の透過スペクトルと、典型的なサンプルの AFM 像及びサンプル写真を示す。AFM 像より、エッチング処理時間により、ホール配列の周期を保ちながら開口径を制御できる事が確認できた。透過スペクトルでは、いずれのサンプルも Ag 薄膜固有のピークが 330 nm 付近に観測される一方で、ナノメッシュ構造では全ての開口径のサンプルで、Ag 単層膜では現れなかった 500 nm より長波長側での透過率の上昇を観測した。このブロードな透過帯は、配列周期 ($P=$)350 nm, 開口径 ($D=$)250 nm から算出される開口率 23% から予測されるよりも高い透過率を示していることから、ホールの「周期構造」をもつナノメッシュに生じた表面プラズモンに由来する異常透過現象だと考えられる。

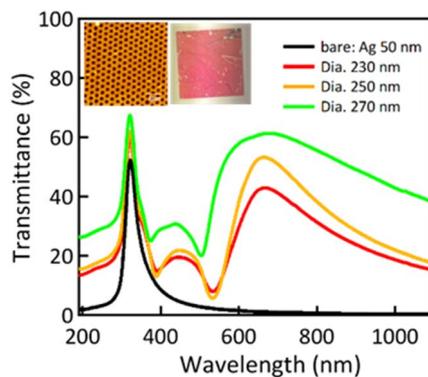


図 2 異なる開口径をもつ Ag ナノメッシュ構造の透過スペクトルと $D=250$ nm の AFM 像及びサンプル写真

また、Ag ナノメッシュ薄膜は開口径に応じて黄～赤色を呈しており、この長波長側の透過帯の変化を反映している。開口径が大きくなるにつれ透過率の上昇が見られ、それに伴いシート抵抗値も増大した。今回作製した開口径すべてのサンプルで、有機 EL 素子の透明電極として ITO よりも導電性が良好である結果が得られた。

また、ホールの配列周期や開口径を変化させた Ag メッシュ構造を作製し、有機発光材料である Alq_3 との組み合わせで、最大 4 倍の発光増幅効果を確認した。新規に導入した電磁界解析ソフトウェア (Lumerical FDTD) を用いたシミュレーションにより、ナノメッシュ構造の光応答および光照射時の電界分布 (図 3) について計算を行い、生じている局在表面プラズモンのモードと発光増幅との関連性に関する知見を得た。

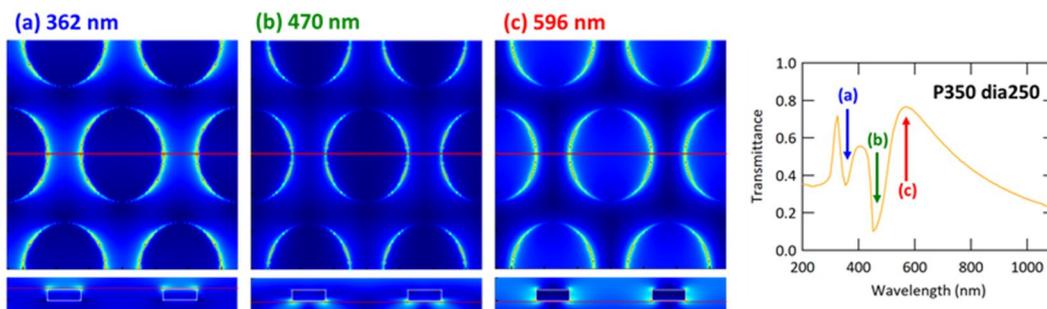


図 3 $P=350, D=250$ nm の Ag ナノメッシュ構造に、透過ディップ (a) 362 nm, (b) 470 nm, 透過ピーク (c) 596 nm に対応する平面波を入射した場合の電界分布シミュレーション結果

[Ugajin et al., *Surf. Coat. Technol.* **435**, 128258 (2022).]

(3) . ナノスフィアリソグラフィ法と斜め蒸着を組み合わせた、各種金属ナノトライアングルダイマーの作製と熱処理による形態変化

PSt ビーズテンプレートを用い、金属蒸着時に基板を傾斜させ斜め蒸着を複数回することにより、近接した金属ナノ構造を作製しその光学特性や、発光材料との組み合わせによる発光増幅能の評価を行った。通常のナノ配列と比較し、斜め蒸着で作製したダイマー構造では消光スペクトルに変化が現れ、近接したナノ構造間でのギャッププラズモンの寄与も示唆されたが発光増強への寄与は小さく、むしろ熱処理による三角プリズム状から半球状への変化の方が発光増強へ大きく寄与した。(投稿論文準備中)

(4) . 金属/誘電体/金属 (MDM) 構造を電極として用いた OLED の試作・評価

MDM 構造はそれぞれの界面で生じるプラズモン同士の結合により、波長選択的な光透過を示す。

金属 Ag と誘電体 ZnS の組み合わせで MDM 積層構造を作製し、青色・緑色 OLED の陽極として用い、中間層 ZnS の膜厚変化により発光波長・発光色が大きく変化する事を見出した。また、その傾向は MDM 構造における透過波長から予測されるものとは大きく異なり、OLED の両電極間で生じるマイクロキャビティ効果と、陽極側に生じる MDM 構造の表面プラズモンとが、互いに相互作用して発光エネルギーが決定する事を、OLED 素子構造における FDTD 計算から明らかにした。

また、上層の Ag 層の膜厚変化により、マイクロキャビティモードと MDM 中表面プラズモン間の結合強度が制御でき、ピーク分裂の大小が顕著に変化する事を FDTD シミュレーションとの組み合わせにより明らかにした。(投稿論文準備中)

(5). 簡便なプロセスによる金属/誘電体/金属(MDM)ナノキャビティ構造の作製

ナノサイズの共振器内に光を局所的に閉じ込めることで、既存のナノ構造や金属薄膜に生じるプラズモン効果を超える、強結合領域での相互作用の活用を目的とする。極薄 Al 保護膜の導入により下層の金属・誘電体層は平坦な薄膜構造を維持し、上層の金属層のみを熱処理によりナノ粒子化させる工程により、Ag/WO₃/Ag 系においてナノキャビティ構造の作製に成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 M. Ugajin, S. Park, T. Kiba, J. Takayama, S. Hiura, A. Murayama, M. Kawamura, Y. Abe	4. 巻 435
2. 論文標題 Optical characterization and emission enhancement property of Ag nanomesh structure fabricated by nanosphere lithography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Surface and Coatings Technology	6. 最初と最後の頁 128258
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.surfcoat.2022.128258	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Satoh, T. Tanno, T. Kitabayashi, T. Kiba, M. Kawamura, Y. Abe	4. 巻 7
2. 論文標題 CaF ₂ /ZnS Multilayered Films on Top-Emission Organic Light-Emitting Diode for Improving Color Purity and Moderation of Dark-Spot Formation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 17861-17867
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsomega.2c01128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T. Kiba, K. Masui, Y. Inomata, A. Furumoto, M. Kawamura, Y. Abe, K. H. Kim	4. 巻 192
2. 論文標題 Control of localized surface plasmon resonance of Ag nanoparticles by changing its size and morphology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 110432
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.vacuum.2021.110432	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 0件／うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Yuto Masuda, Masashi Ohara, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe
2. 発表標題 Spectral modification of electroluminescence in microcavity OLEDs coupled with metal/dielectric/metal multilayered anode
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Atsushi Furumoto, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe
2. 発表標題 Emission enhancement of the Alq3 in the presence of Ag nanotriangles and nanohemispheres fabricated by nanosphere lithography
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Takahashi, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe
2. 発表標題 Fabrication and Characterization of Metal/Dielectric/Metal Nanocavity by Vacuum Thermal Evaporation and Metal Dewetting
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsubasa Tanno, Naoya Satoh, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe
2. 発表標題 Characterization of CaF2/ZnS multilayered films on top-emitting OLED - its optical and protective performance and flexibility
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 優介、木場 隆之、川村 みどり、阿部 良夫
2. 発表標題 アニール処理による金属/誘電体/金属ナノ光共振器構造の作製
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田 侑杜、大原 将、木場 隆之、川村 みどり、阿部 良夫
2. 発表標題 Ag/ZnS/Ag陽極を用いたOLEDにおけるプラズモン-マイクロキャビティモード間の結合に基づく発光波長制御
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Ugajin, S. Park, T. Kiba, M. Kawamura, Y. Abe, J. Takayama, S. Hiura, A. Murayama
2. 発表標題 Emission Enhancement of Tris(8-hydroxyquinolino)aluminum with Ag Nanomesh Structure
3. 学会等名 NANOSMAT-Asia 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Satoh, T. Kiba, M. Kawamura, Y. Abe
2. 発表標題 Device Protection Performance of CaF ₂ /ZnS Multilayer Films formed on Inverted Structure OLED Devices
3. 学会等名 NANOSMAT-Asia 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Furumoto, T. Kiba, M. Kawamura, Y. Abe
2. 発表標題 Effect of Morphological Change in Ag Nanostructures on Plasmonic Emission Enhancement of Organic Emitter
3. 学会等名 International Thin Films Conference (TACT2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Ugajin, S. Park, T. Kiba, M. Kawamura, Y. Abe, J. Takayama, S. Hiura, A. Murayama
2 . 発表標題 Time-resolved Photoluminescence Study of Alq3 in the presence of Ag Nanomesh Structure
3 . 学会等名 International Thin Films Conference (TACT2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Tanno, T. Kiba, M. Kawamura, Y. Abe
2 . 発表標題 Fabrication and Characterization of CaF2/ZnS Distributed Bragg Reflector (DBR) on a Flexible Substrate
3 . 学会等名 International Thin Films Conference (TACT2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 N. Satoh, T. Kiba, M. Kawamura, Y. Abe
2 . 発表標題 Fabrication and Characterization of Blue OLED with Ag thin-film and Ag/ZnS/Ag Multilayered Electrodes
3 . 学会等名 International Thin Films Conference (TACT2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 丹野 翼、木場 隆之、川村 みどり、阿部 良夫
2 . 発表標題 CaF2/ZnS分布ブラッグ反射鏡(DBR)のフレキシブル基板上への作製と特性評価
3 . 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 古本 淳士、木場 隆之、川村 みどり、阿部 良夫
2. 発表標題 Agナノ構造の形態が有機発光体のプラズモン発光増幅へ与える影響
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇賀神 舞、朴 昭暎、木場 隆之、川村 みどり、阿部 良夫、高山 純一、樋浦 諭志、村山 明宏
2. 発表標題 Agナノメッシュ構造による有機発光材料の発光増強
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 修也、木場 隆之、川村 みどり、阿部 良夫
2. 発表標題 Ag薄膜およびAg/ZnS/Ag積層構造の青色OLEDへの電極応用
3. 学会等名 2021年 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田 侑杜、大原 将、木場 隆之、川村 みどり、阿部 良夫
2. 発表標題 Ag/ZnS/Ag構造を陽極として利用したOLEDの性能向上
3. 学会等名 2022年 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takayuki Kiba, Kazuaki Masui, Yuuki Inomata, Midori Kawamura, Yoshio Abe, Kyung Ho Kim
2. 発表標題 Control of the localized surface plasmon resonance of Ag nanoparticles by changing its size and morphology
3. 学会等名 18th International Conference on Thin Films & 18th Joint Vacuum Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mai Ugajin, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe, Kyung Ho Kim, Yafeng Chen, Junichi Takayama, Satoshi Hiura, Akihiro Murayama
2. 発表標題 Fabrication and optical characterization of Al nanomesh structure by nanosphere lithography
3. 学会等名 18th International Conference on Thin Films & 18th Joint Vacuum Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoya Satoh, Takuya Kitabayashi, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe, Kyung Ho Kim
2. 発表標題 Fabrication and characterization of CaF ₂ /ZnS multilayered film for improving OLED performance
3. 学会等名 18th International Conference on Thin Films & 18th Joint Vacuum Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mai Ugajin, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe, Kyung Ho Kim, Yafeng Chen, Junichi Takayama, Satoshi Hiura, Akihiro Murayama
2. 発表標題 Optical characterization of metal nanomesh structure for wavelength selective electrode fabricated by nanosphere lithography
3. 学会等名 14th International Conference of Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials (Nanosmat 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoya Satoh, Takuya Kitabayashi, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe, Kyung Ho Kim
2. 発表標題 Spectrally narrowed electroluminescence from inverted top-emission OLED with a distributed Bragg reflector
3. 学会等名 14th International Conference of Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials (Nanosmat 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masashi Ohara, Takayuki Kiba, Midori Kawamura, Yoshio Abe, Kyung Ho Kim
2. 発表標題 Ag/ZnS/Ag multilayered films as wavelength-selective electrode for organic light-emitting diodes
3. 学会等名 14th International Conference of Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials (Nanosmat 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇賀神舞、木場隆之、川村みどり、阿部良夫、金 敬鎬、陳 亜鳳、高山純一、樋浦諭志、村山明宏
2. 発表標題 金属ナノメッシュ構造の作製と電気・光学特性評価
3. 学会等名 2020年 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大原 将、木場隆之、川村みどり、阿部良夫、金 敬鎬
2. 発表標題 金属/誘電体/金属積層膜を電極に用いたOLEDの作製と特性評価
3. 学会等名 2020年 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤修也、北林拓弥、木場隆之、川村みどり、阿部良夫、金 敬鎬
2. 発表標題 有機EL素子を高性能化するCaF ₂ /ZnS多層薄膜の作製と特性評価
3. 学会等名 2020年 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大原 将、木場隆之、川村みどり、阿部良夫、金 敬鎬
2. 発表標題 Ag/ZnS/Ag積層膜のOLED陽極としての応用とその波長選択性
3. 学会等名 第56回応用物理学会北海道支部・第17回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北見工業大学 電子材料研究室 Website http://www.mtrl.kitami-it.ac.jp/~kawamura/ 北見工業大学・研究者総覧 木場 隆之 http://hanadasearch.office.kitami-it.ac.jp/searchja/show/id/1306
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------