

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：83906

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02627

研究課題名（和文）Operando電子線ホログラフィーによる有機ELデバイス内部の電位分布直接観察

研究課題名（英文）Direct observation of electric potential in organic EL devices by operando electron holography

研究代表者

山本 和生（Yamamoto, Kazuo）

一般財団法人ファインセラミックスセンター・その他部局等・主席研究員

研究者番号：80466292

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：導入した成膜装置を用いて、alpha-NPD層とAlq3層の2層からなる有機EL試料を作製した。集束イオンビーム装置を用いて、厚さ360 nmの薄片化試料を作製し、電子線ホログラフィーで2層の電位分布の直接観察を行った。その結果、電界の異なる3つの領域が形成されていることがわかった。先行研究の結果も参考にし、3つの電界領域の形成要因も解釈することができた。また、3Dテンソル分解法と呼ばれる機械学習を用いることで、従来よりも1/60の低電子線量で、電位分布を観察できる新たな電子線ホログラフィー技術を開発した。この技術を用いることで、電子線照射による有機ELの電位分布への影響が明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、有機EL内部の電位分布を直接可視化でき、これまで未解明であった有機半導体の学理構築に大きく寄与できると考えられる。これは有機ELにとどまらず、有機系太陽電池等、有機エレクトロニクス全般にも寄与するであろう。また、今回、電子線ホログラフィーと機械学習を用いた新たな観察技術を確立した。この技術により、より高速な物理現象や、電子線に脆弱な試料も観察可能となり、半導体分野の域を超えた幅広い分野（生物分野等）にも貢献できる。我々の生活に必須である電子デバイス（PCやスマートフォン等）は機能性材料を使用しているため、より高性能なデバイス開発により、より便利な社会構築にも寄与できる。

研究成果の概要（英文）：The organic electro-luminescence (OEL) samples consisting of two layers, an alpha-NPD layer and an Alq3 layer, were fabricated using an organic film deposition system that we introduced in this project. A focused ion beam system was used to thin the sample with a thickness of 360 nm, and electron holography was used to directly observe the potential distribution in the two layers. The results showed that three regions with different electric fields were formed. The results of previous studies were also used as a reference to interpret the formation factors of the three electric field regions. We also developed a new electron holography technique using machine learning named 3D tensor decomposition method, which enables us to observe the electric potential distribution with an electron dose that is 1/60 lower than that of the conventional method. By using this technique, the effect of electron irradiation on the potential distribution in OELs was clarified.

研究分野：電子顕微鏡計測

キーワード：有機EL 電位分布 電子線ホログラフィー 透過電子顕微鏡 機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

電圧印加によって自発光する素子である有機 EL (Electro Luminescence) デバイス[1]は、テレビやスマートフォンなど、様々な分野に応用されつつあり世界中で研究開発が活発化している。しかし、有機分子を用いているがため、隣接する有機分子間にはエネルギー障壁があり、その結果、バンド構造やキャリア輸送のメカニズムなどは、Si や GaAs のような無機半導体と比べて複雑であり、その詳細なメカニズムは未解明である。低電圧で動作し、高輝度かつ長寿命な有機 EL デバイスを設計するためには、キャリアの移動をあらかじめ予測することが必須であり、有機 EL 内での電位分布を可視化することが重要である。

半導体内部の電位分布を定量的に観察できる手法の一つとして、電子線ホログラフィー[2]が挙げられる。この手法は、透過電子顕微鏡法 (Transmission Electron Microscopy: TEM) の一つであり、電子の干渉性を利用して試料内部の電位分布をナノメートルスケールで直接観察できる技術である。本研究開始当初では、Si や GaAs, GaN など無機半導体において、電子線ホログラフィーが利用され、デバイス内部の p-n 接合や 2 次元電子ガス層の評価が行われていた。しかし、有機半導体においてはほとんど実施例が無く、我々の研究グループが有機 EL 多層膜 (5 層) の電位分布を捉えたのみで、その物理的解釈は不明であった[3,4]。解釈が困難な理由は、有機半導体や接合界面におけるバンド構造などの基礎的学理が構築されておらず、信頼できる計算機シミュレーションも無いことが原因であった。そのため、高性能な有機 EL デバイスを開発するためには、デバイス内部の基礎的学理の構築が必要不可欠と言える。

## 2. 研究の目的

上記のような背景の元、本研究では、発光するシンプルな有機 EL デバイスを作製し、電子線ホログラフィーを用いて、EL 内部の電位分布を直接観察するとともに、その電位分布の解釈を行うことを目的とした。また、発光した状態の有機 EL デバイスをその場で (*in situ / operando*) 観察できる技術を確認するために必要な課題を明らかにし、それを解決する基本的な技術開発も行う。

## 3. 研究の方法

### 3.1 試料作製方法

本研究で導入した「有機半導体膜 成膜装置」を使用し、有機半導体 2 層からなる有機 EL デバイスを作製した。図 1(a)に本装置の外観写真を、図 1(b)に作製した試料の基本構造を示す。本試料は、正孔輸送層 (p 型有機層) である  $\alpha$ -NPD (正式名称: *N,N'*-di-[(1-naphthyl)-*N,N'*-diphenyl]-(1,1'-biphenyl)-4,4'-diamine) と電子輸送層 (n 型有機層) 兼発光層である Alq<sub>3</sub> (正式名称: tris-(8-hydroxyquinoline)aluminum) の 2 層からなる。この 2 層を、真空蒸着法を用いて、陽極として用いる酸化インジウムスズ (ITO) / ガラス基板上に蒸着した。その後、陰極としてアルミニウムを蒸着した。本装置は、有機層を蒸着できる空間と金属層を蒸着できる空間を備えており、真空を破ること無く蒸着できるように設計してあるため、図 1(b)に示す材料をすべて真空中で作製した。図 1(c)に、試料に電圧を印加したときの発光の様子を示す。10 V 程度の電圧を印加した時に、緑色の発光を確認した。

電子線ホログラフィーで有機層内部の電位を観察するためには、透過電子顕微鏡で観察できるほど試料を薄くする必要がある。そこで、既存の集束イオンビーム (Focused Ion Beam: FIB) 装置 (日立ハイテクノロジーズ, NB5000) を用いた。この装置は、5~40 kV 程度に加速した Ga イオンビームを試料に照射し、そのエッチングによって TEM 観察用の薄片化試料を作製できる装置である。図 1(d)に示すように、この FIB 装置を用いて、くさび形 (くさび角度: 45 度) の断面 TEM 試料と平板形の断面 TEM 試料 (膜厚: 360 nm) を作製した。くさび形の試料を作製した理由は、 $\alpha$ -NPD と Alq<sub>3</sub> は異なる有機材料であり、それぞれの平均内部電位を正確に測定するためである。FIB による TEM 試料の作製後、TEM 観察時のチャージアップを抑制するため、両面からカーボン蒸着を行った。つまり、観察を行った TEM 試料は、短絡の状態を意味する。

### 3.2 観察方法

電子線ホログラフィー計測は、加速電圧 300 kV の透過電子顕微鏡 (日立ハイテクノロジーズ,

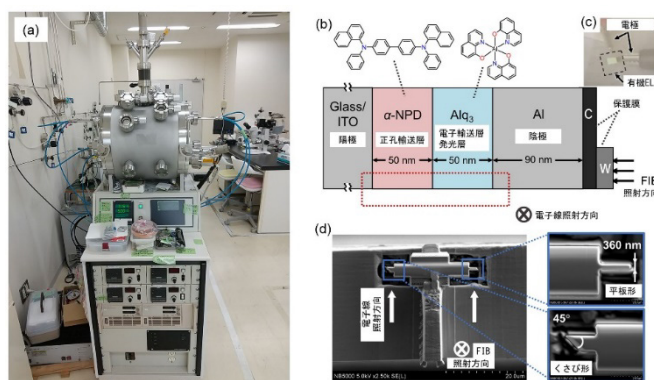


図 1 有機 EL 試料の作製

(a) 有機半導体膜 成膜装置の外観写真, (b) 有機 EL 試料の構造, (c) 試料に電圧を印加し発光している様子, (d) FIB による二次イオン像。

図 1 (a) 有機半導体膜 成膜装置の外観写真, (b) 有機 EL 試料の構造, (c) 試料に電圧を印加し発光している様子, (d) FIB による二次イオン像。

HF3300-EH) を用いた。この装置は、結像系に電子線バイプリズムを3本搭載しており、フレネル縞の無い様な電子波干渉パターン(ホログラム)を撮影できる特殊な電子顕微鏡である。この装置を用いて、有機EL層のホログラムを撮影した。撮影に用いたTEM用カメラは、Gatan社製のCCDカメラ(Gatan, US4000)を用いた。

### 3. 3 画像解析方法

撮影されたホログラムから、電子波の位相像(電位分布像に相当する)を得るために、位相シフト再生法[5,6]を用いた。この手法は、通常の電子線ホログラフィーで使用されるフーリエ変換再生法と比べて、格段に高い空間分解能と位相計測精度が得られる手法である。位相シフト再生法は、通常、干渉縞をシフトさせた多数枚のホログラムから1枚の位相像を再生するため、電位分布が変化する試料に対しては不得意であるが、ホログラムシフト法[7]と呼ばれる再生法を用いれば、1枚のホログラムから位相分布を再生することができる(再生アルゴリズムは、位相シフト法をベースとしている)。本研究では、静的な電位分布を観察する実験には位相シフト再生法、動的な電位分布を観察する実験にはホログラムシフト法を用いた。

動的な電位分布を観察するためには、ホログラムの撮影を、通常よりも高速に撮影する必要がある。しかし、高速に撮影すると、検出できる電子数が減少するため、ホログラムに多くのショットノイズが重畳する。そのノイズを除去する目的で、本研究では3次元(3D)テンソル分解法と呼ばれる機械学習[8]を用いた。この手法は、連続的に撮影した多数枚の画像から、x方向成分、y方向成分、時間方向成分の特徴量をそれぞれ抽出し、各方向成分のノイズをカットして再構築する特殊な画像処理法である。これまで我々が独自に改良を重ねてきたソフトウェアを今回の処理に用いた。

## 4. 研究成果

### 4. 1 有機EL内部の電位分布の可視化(静的観察)[9]

はじめに、くさび形試料の電子線ホログラフィー観察を行った。くさびの角度は45度で作製しているため、TEM観察した領域のTEM試料厚を $\tan(45^\circ)$ を用いて容易に計算することができる。詳細な計算方法は論文[9]に譲るが、この観察から $\alpha$ -NPDとAlq<sub>3</sub>の平均内部電位は、それぞれ $6.48 \pm 0.05$  V、 $6.52 \pm 0.04$  Vであることがわかった。この結果から、2層は、誤差範囲で平均内部電位が同等と言えるため、以下の電子線ホログラフィー計測(平板形試料)にとっては、ホモ接合と同じように電位分布を解釈できることがわかった。

次に、平板形試料の電子線ホログラフィー計測を行った。図2(a)に平板形試料の断面TEM像を示す。 $\alpha$ -NPDとAlq<sub>3</sub>界面の位置が見にくいですが、水平方向の強度プロファイル(図2(b))から界面において若干の強度変化が見られる。従って、この位置を2層の界面とした。この領域のホログラムを図2(c)に示す。十分な干渉縞のコントラストが得られるレンズ条件で、干渉縞をシフトさせた50枚のホログラム撮影した。その後、位相シフト再生法を用いて2層の位相分布像(電位分布像に相当)を得た。その結果を図2(d)に示す。また、水平方向のラインプロファイルを図2(e)に示す。有機層は2層であるが、驚くべき事に、電位の傾斜(電界)が異なる3つの領域((i),(ii),(iii))が観察された。各領域の電界を計算した結果、それぞれ、 $-1.8 \pm 0.4$  MV/m、 $-10.0 \pm 2$  MV/m、 $3.1 \pm 0.6$  MV/mであることがわかった。

$\alpha$ -NPDの(i)の領域については、 $\alpha$ -NPDの熱励起で生成された正孔が、電界の生成に寄与したと考えられる。一般に、金属/有機層界面では、金属や不純物と有機層の間の相互作用で界面準位が形成されることが知られている。Takahashiら[10]によると、この界面準位からの熱励起によって正孔が誘起され、局所的に正孔の蓄積が界面で生じる。これをActivation of Localized Carrier Source(ALCS)と呼ばれている。ALCSは、室温付近でも発生すると言われており、今回の観察において、電子線照射下で正孔の供給が促進された結果、界面に過剰な正孔が蓄積し、ITO/ $\alpha$ -NPD界面から $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub>界面方向に電界が形成されたと解釈できる。

次に、Alq<sub>3</sub>層の(iii)の領域における電界形成の要因について解釈する。この領域では、Alq<sub>3</sub>分子の自発的な配向分極による巨大表面電位(Giant Surface Potential: GSP)[11]の形成が要因と考えられる。このGSPの電位差は、暗所で蒸着することで膜厚に比例して増加し、最大で数十Vに達することもある。この分極現象は、 $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub>界面に負の固定電荷を誘起すると考えられるため、領域(i)とは逆方向の電界が、領域(iii)に形成されたと解釈できる。

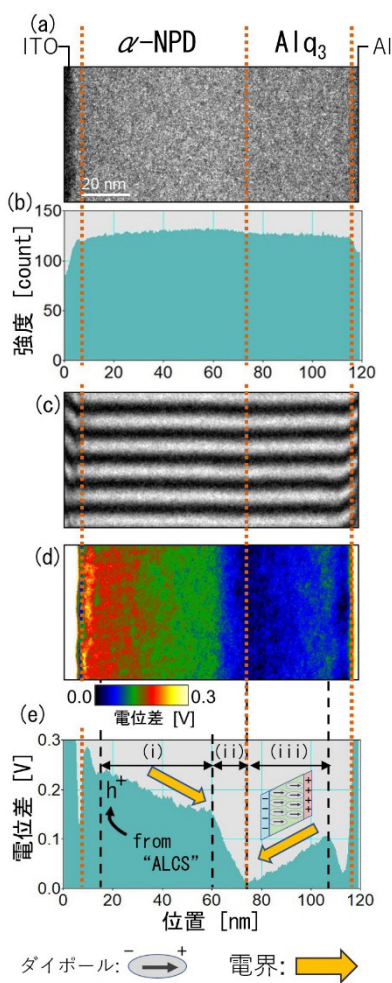


図2 有機EL試料内部の電位分布  
(a) 有機EL層部分の断面TEM像、  
(b) 断面TEM像の強度プロファイル(水平方向)、  
(c) ホログラム、(d) 電位分布像、(e) 電位プロファイル(水平方向)

最後に、領域(ii)の急峻な電位傾斜について解釈する。この領域は、 $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub> 界面から、 $\alpha$ -NPD の領域で形成されていることがわかる。一つ目の要因は、上記に述べた GSP による影響である。Alq<sub>3</sub> 分子の自発分極により  $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub> 界面には負電荷が蓄積されているため電界が生じたものと考えられる。さらに、二つ目の要因として、界面近傍では、p-n 接合による電界形成も重畳したと考えられる。p 型有機層の  $\alpha$ -NPD のフェルミ準位は 3.9 eV、n 型有機層の Alq<sub>3</sub> のフェルミ準位は 4.4eV である[12]。つまり、 $\alpha$ -NPD のフェルミ準位の方が相対的に高い位置にあるため、 $\alpha$ -NPD から Alq<sub>3</sub> 側に電子が移動する。この2つの要因によって、強い電界が(ii)の領域に形成されたと解釈できる。

#### 4. 2 *In situ/Operando* 電子線ホログラフィー実現のための低ドーズ観察技術の開発 [13]

有機 EL デバイスの *in situ/operando* 電子線ホログラフィー計測を実現するためには、高速かつ低ドーズな計測ができる電子線ホログラフィー技術を確立する必要がある。有機 EL 層内のキャリアは電子と正孔であるため、電位分布は高速に変化することが予想される。また、有機半導体は、一般に電子線照射にも弱いことが予想される。4. 1 節の TEM 観察では、電子線照射により膜自体の損傷は無かったが、照射による電位の変化までは TEM 像からは判断できない。そこで、従来よりも高速にホログラムを撮影して電位分布を計測できる観察技術の開発および電子線照射による影響を評価した。

図 3(a) は、露光時間 30 s で撮影した  $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub> 領域のホログラムと水平方向の強度プロファイルである。また、図 3(b)は、60 倍高速に撮影した露光時間 0.5 s のホログラムと強度プロファイルである。電子線の照射量（ドーズ量）が少ないためノイズが多く、干渉縞の強度にも多くのノイズが重畳していることがわかる。このノイズの多いホログラムから、3Dテンソル分解法と呼ばれる機械学習を用いてノイズを除去した。その結果を図 3(c)に示す。ノイズ除去後のホログラムと強度プロファイルから、いずれも効果的にノイズを除去することができ、露光時間 30 s で撮影したホログラム（図 3(a)）と同程度の画質が得られていることがわかる。

図 3(a) - (c)のホログラムから、ホログラムシフト法を用いて再生した位相分布像を図 4(a) - (c)に示す。露光時間 0.5 s のホログラムから再生した位相分布像（図 4(b)）は極めてノイズが多く、各層の界面さえも判別することは困難である。しかし、ノイズを除去したホログラムの位相分布像（図 4(c)）では、はっきりと各層の領域が観察できている。各位相分布像の垂直方向の位相プロファイルを図 4(d)に示す。露光時間 0.5 s で撮影したホログラムでも、3Dテンソル分解法を用いることで、露光時間 30 s で得られた位相

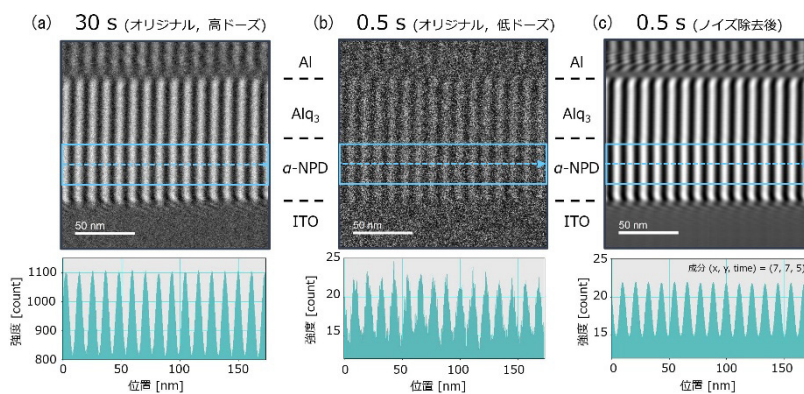


図3 3Dテンソル分解法によるホログラムのノイズ除去処理  
 (a) 露光時間 30 s の高いドーズ量で撮影したホログラムと強度プロファイル（青枠部分の水平方向）、  
 (b) 露光時間 0.5 s の低いドーズ量で撮影したホログラムと強度プロファイル  
 (c) 3Dテンソル分解法を用いて、(b)のホログラムからノイズ除去したホログラムと強度プロファイル

プロファイルと匹敵するプロファイルが得られていることがわかる。つまり、3Dテンソル分解法を用いれば、従来よりも60倍高速な現象を捉えることができる。また、有機物のような電子線照射に弱い材料においても、従来よりも1/60のドーズ量で観察できる。*in situ/operando* 電子線ホログラフィーを実現するためには、機械学習は極めて有効であることがわかった。

この機械学習+電子線ホログラフィー技術を使って、電子線のドーズ量に対する有機EL層の影響を評価した。図 5(a)は、 $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub> 領域のホログラムを連続的に350枚撮影し、各ホログラムから再生した位相分布像を並べたものである。連続的に撮影しているため、1番目のホログラムと350番目のホログラムでは、累積したドーズ量が異なる。つまり、電子線照射によって電位分布になんらかの変化が生じれば、その変化を捉えることができる。

図 5(b)は、 $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub> 領域の位相プロファイル（電位プロファイルに相当）である。350枚のプロファイルを表示することは困難であるため、350枚を5つのグループ(A-E)に分け、各グループの強度は平均化したプロファイルを示している。Alq<sub>3</sub> 領域の位相プロファイルの拡大図を図 5(c)に示す。累積ドーズ量が増加するにしたがって、若干ではあるが位相分布の傾斜（電界に相当）が小さくなっていることがわかった。図 5(d)に、累積ドーズ量に対する位相の傾斜（電界）を測定し、プロットした図を示す。累積ドーズが増加するに従って、Alq<sub>3</sub> 層の自発分極に若干のダメージがはいる、その結果、電界が低下したと解釈できる。この結果から、有機ELの *in situ/operando* 観察を実現するためには、限界累積ドーズ量  $1.7 \times 10^5$  [e<sup>-</sup>/nm<sup>2</sup>]以下で行う必要があることがわかった。

以上の実験から、機械学習と電子線ホログラフィーを組み合わせることにより、より高速かつ

低ドーズな電位分布の計測が可能となった。また、電子線照射によって、Alq<sub>3</sub>層の自発分極に影響が生じることもわかった。今後 *in situ/operando* 観察を行う上で極めて重要な知見が得られた。

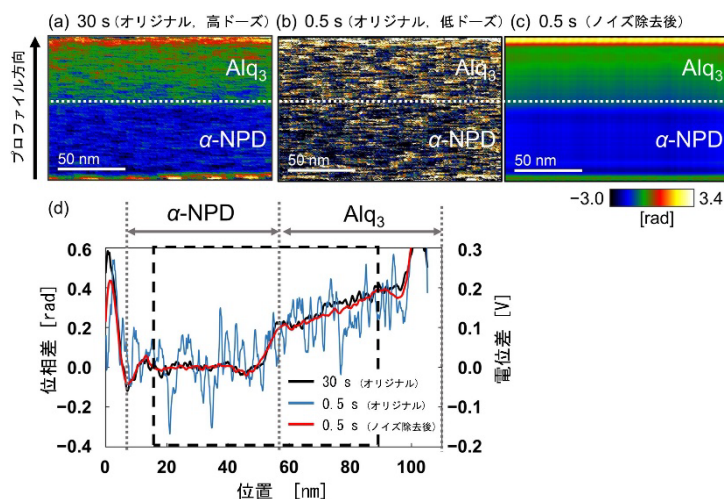


図4 ノイズ除去前後のホログラムから再生した位相分布  
(a) 露光時間 30 s の高いドーズ量で撮影した時の位相分布, (b) 露光時間 0.5 s の低いドーズ量で撮影した時の位相分布, (c) ノイズ除去した後のホログラムから再生した位相分布, (d) (a)-(c)の位相プロファイル (垂直方向)

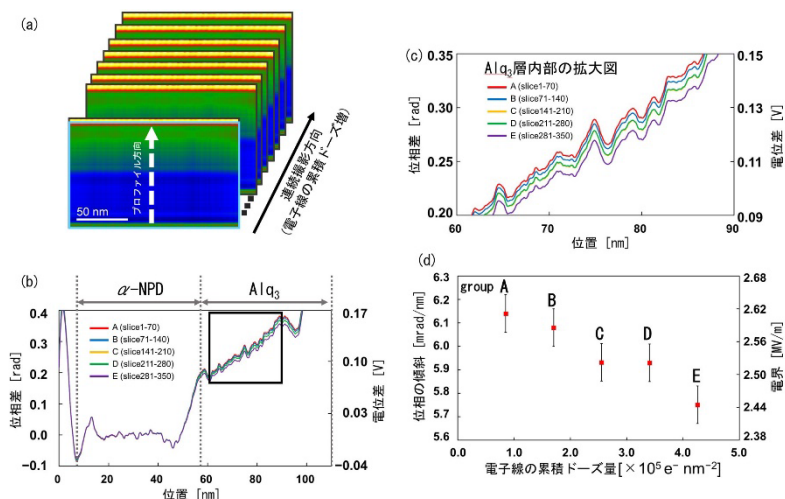


図5 電子線照射による有機EL層の電位分布変化  
(a) 露光時間 0.5 s で 350 枚連続撮影したホログラムからの各位相分布像, (b) 350 枚を 5 つのグループに分けた位相プロファイル (垂直方向), (c) Alq<sub>3</sub> 層内部の位相プロファイル (b) の拡大図), (d) 累積ドーズ量に対する Alq<sub>3</sub> 層内部の位相傾斜 (電界)

#### 参考文献

- [1] S. A. VanSlyke and C.W. Tang, *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 12, 913-915 (1987).
- [2] A. Tonomura, *Electron Holography*, 2nd ed. (Springer, Berlin Heidelberg, 1999).
- [3] T. Sato, K. Yamamoto, M. Tsuchiya, K. Ito, R. Kamiya, N. Yoshimoto and Y. Taniguchi, *Microscopy*, **64**, S1, i116 (2015).
- [4] K. Yamamoto, S. Anada, T. Sato, N. Yoshimoto and T. Hirayama, *Microscopy*, **70**, 24-38 (2021).
- [5] Q. Ru, J. Endo, T. Tanji and A. Tonomura, *Appl. Phys. Lett.*, **59**, 19, 2372-2374 (1991).
- [6] Q. Ru, G. Lai, K. Aoyama, J. Endo and A. Tonomura, *Ultramicroscopy*, **55**, 2, 209-220 (1994).
- [7] Q. Ru, T. Hirayama, J. Endo and A. Tonomura, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**, 1919-1921 (1992).
- [8] Y. Nomura, K. Yamamoto, S. Anada, T. Hirayama, E. Igaki and K. Saitoh, *Microscopy*, **70**, 3, 255-264 (2021).
- [9] Y. Sasaki, K. Yamamoto, S. Anada, T. Hirayama and N. Yoshimoto, *Appl. Phys. Exp.*, **14**, 075007 (2021).
- [10] J. Takahashi and H. Naito, *Org. Electron.*, **61**, 10-17 (2018).
- [11] E. Ito, Y. Washizu, N. Hayashi, H. Ishii, N. Matsui, K. Tsuboi, Y. Ouchi, Y. Harima, K. Yamashita and K. Seki, *J. Appl. Phys.*, **92**, 12, 7306-7310 (2002).
- [12] P. Juhász, J. Nevrela, M. Micjan, M. Novota, J. Uhrík, L. Stuchlikova, J. Jakabovic, L. Harmatha and M. Weis, *Beilstein Journal of Nanotechnology*, **7**, 1, 47-52 (2016).
- [13] Y. Sasaki, K. Yamamoto, S. Anada and N. Yoshimoto, *Microscopy*, (published on-line) (2023). (<https://doi.org/10.1093/jmicro/dfad019>)

## 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<br>Sasaki Yusei, Yamamoto Kazuo, Anada Satoshi, Hirayama Tsukasa, Yoshimoto Noriyuki  | 4. 巻<br>14                    |
| 2. 論文標題<br>Direct visualization of electric potential distribution in organic light emitting diode by phase-shifting electron holography | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Applied Physics Express  | 6. 最初と最後の頁<br>075007 ~ 075007 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.35848/1882-0786/ac07f1   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Yamamoto Kazuo, Anada Satoshi, Sato Takeshi, Yoshimoto Noriyuki, Hirayama Tsukasa   | 4. 巻<br>70            |
| 2. 論文標題<br>Phase-shifting electron holography for accurate measurement of potential distributions in organic and inorganic semiconductors | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>Microscopy  | 6. 最初と最後の頁<br>24 ~ 38 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1093/jmicro/dfaa061   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>Sasaki Yusei, Yamamoto Kazuo, Anada Satoshi, Yoshimoto Noriyuki   | 4. 巻<br>印刷中       |
| 2. 論文標題<br>Low-dose measurement of electric potential distribution in organic light-emitting diode by phase-shifting electron holography with 3D tensor decomposition | 5. 発行年<br>2023年   |
| 3. 雑誌名<br>Microscopy  | 6. 最初と最後の頁<br>印刷中 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1093/jmicro/dfad019   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 6件/うち国際学会 0件）

|                                 |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名<br>山本和生                 |
| 2. 発表標題<br>電子線ホログラフィーII（応用編）    |
| 3. 学会等名<br>大阪大学社会人教育プログラム（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2021年                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>山本和生                         |
| 2. 発表標題<br>先端的透過型電子顕微鏡法による機能性材料の定量/動的評価 |
| 3. 学会等名<br>富士電機主催 技術セミナー（招待講演）          |
| 4. 発表年<br>2021年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>山本和生                         |
| 2. 発表標題<br>最先端透過型電子顕微鏡法による機能性材料の電磁場直接観察 |
| 3. 学会等名<br>岩手大学 セミナー（招待講演）              |
| 4. 発表年<br>2021年                         |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>山本和生                    |
| 2. 発表標題<br>最先端透過型電子顕微鏡法による賢材の電磁場観察 |
| 3. 学会等名<br>賢材研究会（招待講演）             |
| 4. 発表年<br>2022年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々木祐聖、佐藤岳志、山本和生、葛原大軌、吉本則之      |
| 2. 発表標題<br>電子線ホログラフィーによる有機EL素子内部の電位分布の可視化 |
| 3. 学会等名<br>日本顕微鏡学会 学術講演会                  |
| 4. 発表年<br>2020年                           |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々木祐聖、山本和生、吉本則之              |
| 2. 発表標題<br>電子線ホログラフィーによる有機EL素子内部の電位分布計測 |
| 3. 学会等名<br>日本顕微鏡学会シンポジウム                |
| 4. 発表年<br>2020年                         |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>山本和生                    |
| 2. 発表標題<br>電子線ホログラフィーによる機能性材料の応用解析 |
| 3. 学会等名<br>大阪大学社会人教育プログラム（招待講演）    |
| 4. 発表年<br>2023年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>山本和生、佐々木祐聖、穴田智史、野村優貴、平山司    |
| 2. 発表標題<br>JFCCにおける電子顕微鏡計測インフォマティクスの試み |
| 3. 学会等名<br>顕微鏡学会 超高分解能顕微鏡法分科会（招待講演）    |
| 4. 発表年<br>2023年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々木祐聖、山本和生、穴田智史、吉本則之                           |
| 2. 発表標題<br>低ドーズ電子線ホログラフィー技術による有機EL発光素子内部に形成された電位分布変化の直接観察 |
| 3. 学会等名<br>応用物理学会（春期）                                     |
| 4. 発表年<br>2023年   |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々木祐聖、吉本則之、山本和生、穴田智史、平山司               |
| 2. 発表標題<br>高感度位相シフト電子線ホログラフィーによる有機EL素子内部の電位分布直接観察 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会 学術写真賞 (優秀賞受賞作品)             |
| 4. 発表年<br>2022年                                   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|   |
|---|
| <p>有機EL試料内部に形成された電位分布の直接観察に成功<br/> <a href="https://www.jfcc.or.jp/press/r21_2.html">https://www.jfcc.or.jp/press/r21_2.html</a><br/>         有機EL試料内部に形成された電位分布の直接観察に成功<br/> <a href="https://www.iwate-u.ac.jp/cat-research/2021/07/004269.html">https://www.iwate-u.ac.jp/cat-research/2021/07/004269.html</a></p> |
|---|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                           | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)               | 備考 |
|-------|---|-------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 吉本 則之<br><br>(Yoshimoto Noriyuki)<br><br>(80250637) | 岩手大学・理工学部・教授<br><br><br><br>(11201) |    |

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)    | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)               | 備考 |
|-------|------------------------------|-------------------------------------|----|
| 研究協力者 | 佐々木 祐聖<br><br>(Sasaki Yusei) | 岩手大学・理工学部・博士後期課程<br><br><br>(11201) |    |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|