

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：32621

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656216

研究課題名(和文) ナノミスト堆積法の開発と無機有機複合型ディスプレイ光機能性シートの研究

研究課題名(英文) Development of nano-mist deposition technique and study on inorganic/organic hybrid disposable optical functional sheet

研究代表者

菊池 昭彦 (KIKUCHI, Akihiko)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：90266073

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ノズル先端近傍に中間電極を配置した多電極型静電塗布装置であるナノミスト堆積(NMD)装置を作製し、高分子材料や低分子材料およびMgZnO系無機半導体薄膜に対して良好な成膜特性を有することを検証した。F8BT/ZnO有機/無機複合型緑色LEDではスピンコート法による素子と遜色ない性能を発揮することや可溶性溶媒を用いても下地侵食を抑制したAlq3/NPB低分子積層構造の成膜が可能であることを示し、基板との親和性の低い低分子材料にも適用可能なマルチモードNMD法を開発した。NMD法によりコート紙とPETシート上に有機ELデバイスを試作し、ディスプレイ発光機能性シートの可能性を実証した。

研究成果の概要(英文)：We investigated the deposition characteristics of some polymer materials, low-molecular materials and MgZnO inorganic semiconductor thin-films by three-electrode electro spray deposition, called nano mist deposition (NMD) that improves the controllability of deposition. The surface morphology of the layers were relatively smooth and the device characteristics of the MoO3/F8BT/ZnO inorganic-organic hybrid LED fabricated using NMD were comparable to those using spin-coating. We also demonstrated an Alq3/NPB layer stack without interface erosion and developed multi-mode NMD which applicable for smooth layer deposition of low-molecular thin-film with low-affinity of substrate. We also demonstrated a possibility of disposable optical functional sheet by fabricating OLEDs on coated paper and PET sheet.

研究分野：半導体工学

キーワード：半導体成膜 静電塗布 ナノミスト 発光ダイオード 太陽電池 低分子 高分子 ディスposable

1. 研究開始当初の背景

有機 EL や有機太陽電池、有機トランジスタ等の有機層成膜法として、低分子材料には真空蒸着法、高分子材料にはスピコートやディップコート法、スクリーン印刷等の溶液法が用いられている。これらの成膜法は実用デバイスに利用される高度な技術水準に達しているが、原料利用効率の低さや多層構造化の困難さ、高度な設備を要する等々に課題があり、低コストでかつ制御性に優れた成膜技術の開発が望まれていた。申請者は、これらの課題を解決し得る成膜技術の候補として溶液法の一つである静電スプレー堆積 (ESD) 法に着目した。ESD 法は、高電圧を印加したノズルの先端から静電霧化現象によって有機溶液を直径数十 μm ~数十 nm の帯電した微粒子 (ナノミスト) として放出させ、電界によって基板に堆積し成膜させる技術であり、簡便な装置構成と高い原料利用効率、有機半導体・酸化半導体・金属ナノ粒子・コロイダル半導体量子ドット等の多様な機能性材料への適用可能性等を特徴とする。研究開始時点における ESD 法による有機薄膜の報告は、幾つかの先駆的研究例があるものの極めて少ない状況であった。従来の ESD 法は、噴霧する液体と基板間に高電圧をかける 2 電極構成が主流であり、制御性や安定性、成膜品質に課題があった。そこで本研究では、ESD 法の装置構成を進展させ、高い制御性と広い材料対応性が期待されるナノミスト堆積法 (Nano Mist Deposition: NMD 法) の開発を目指した。

また、ディスプレイや太陽電池は高価であり、通常の紙媒体や乾電池の様な使い捨ての概念は導入されていない。しかし、NMD 法を用いれば有機材料や無機材料、最終的には電極金属さえも一連に超低コストで成膜できる可能性がある。材料自体の安全性が確保されれば PET や紙の様なフレキシブル基材に無機有機複合型光デバイスを成膜し、一時的な利用後に容易に廃棄できるディスプレイ光機能性シートという新しいカテゴリの光デバイスが将来出現するであろうと着想した。ディスプレイ光機能性シートは、NMD 法の有効性を実証する一例であるが、実現可能性が示されれば、従来の紙メディアの限界を打破する革新的ブレークスルーをもたらす可能性さえある斬新なデバイスである。初期段階では、寿命や輝度にこだわらず、発光が確認されるだけでも未来を想像させる大きなインパクトが期待される。

2. 研究の目的

簡便な装置構成と低コスト、多様な材料への適用性等を特徴とする ESD 法の特徴に加え、優れた制御性が期待される NMD 法の開発と、新たなカテゴリの光デバイスであるディスプレイ光機能性シートの試作検証を行うことを目的とした。新規に開発する NMD 法は、既存の 2 電極型 ESD 法の構

成を進展させ、中間 (引き出し) 電極を付加することにより制御性向上と材料対応性の拡大を狙った成膜技術である。本研究では、NMD 装置の作製と有機半導体の成膜特性の系統的評価、有機/無機複合発光デバイス作製への応用、ZnO 等の無機半導体の成膜特性の評価を目的とした。

一方、ディスプレイ光機能性シートは、NMD 法で紙や PET 等の低コストシートに光デバイスを成膜する紙の様に使い捨て可能 (ディスプレイ用) な新奇光デバイスの提案であり、初期段階として発光素子の作製可能を検証することを目的とした。また、これらの研究の関連技術として、有機/無機複合デバイスのための半導体低コスト・低損傷加工技術の開発、ITO に変わる新しいフレキシブル透明導電膜の開発等についても並行して検討を行った。

3. 研究の方法

従来の ESD 法は、図 1(A) に示すようにノズル-基板間に高電圧を印加する単純な構成であり、溶液の供給速度やノズル-基板間距離、印加電圧等の制御パラメータが相互に敏感に依存し、制御性が低いことが課題であった。本研究では図 1(B) に示すように引き出し電極を付加して成膜パラメータの制御性向上を目指す多電極型 ESD 装置 (NMD 装置) を作製し、様々な条件で有機材料 (高分子、低分子) や無機半導体 (MgZnO) の成膜を行い、成膜速度や表面モロロジー等の成膜特性、従来の溶液法では困難であった可溶性溶媒を用いた低分子有機多層構造の形成可能性の評価を行った。また、NMD 法とスピコート法で同一構造の発光素子を作製し、成膜法による特性を比較した。

ディスプレイ光機能性シートの検証実験では、インクジェット法で銀ナノインク電極を形成した PET シート及びコート紙を基材に用い、その上に導電性高分子である PEDOT:PSS と有機発光層を NMD 法で成膜し、真空蒸着法で Al 電極を形成する簡易型発光デバイスを試作した。

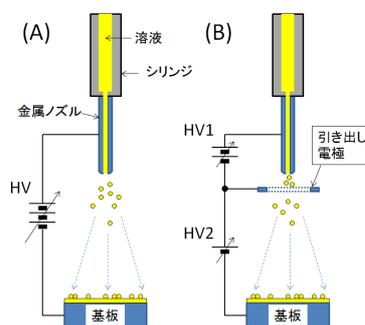


図 1. 静電霧化法 (A) とナノミスト堆積法 (B) の概念図。

4. 研究成果

(1) NMD 装置の作製と基礎特性解析

図2に作製したNMD装置の構成図(a)と外観(b)を示す。電極間距離制御、窒素雰囲気制御、基板温度制御などの機能を有する2連式であり、各機能において良好な制御性を有することを確認した。また、三次元電磁界解析を行い、従来の二電極型静電塗布法とNMD法の電界分布の違い、成膜面積の印加電圧依存性の解析、印加電圧とノズル先端電界強度の解析と実験の比較、安定な成膜条件の把握を行い、NMD法の基礎特性を把握した。

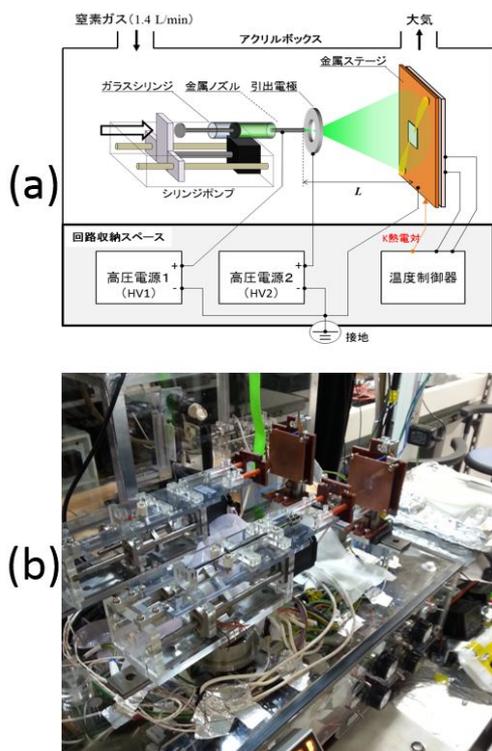


図2. 作製したNMD装置.

(2)NMD法による有機薄膜の成膜特性

ITOやAZOをコートして導電性を付与したガラス基板上に高分子膜(F8BT)と低分子膜(NPB, Alq₃, TPD等)を成膜し、溶媒の種類や溶質濃度、添加溶媒、供給速度、基板温度などの依存性を調べた。図3にジクロロメタン(DCM)にジメチルスルホキシド

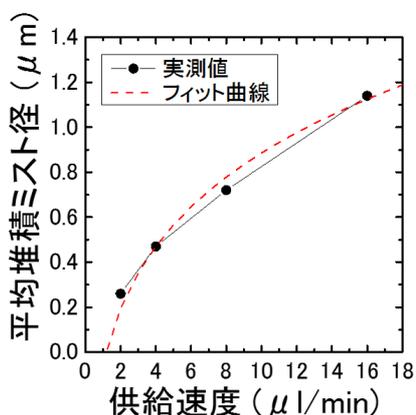


図3. 堆積痕直径の供給速度依存性.

(DMSO)を3vol%添加した溶媒に低分子NPBを溶かして堆積した場合の、基板面に付着した堆積痕直径の供給速度依存性を示す。供給速度の低下に伴い平均直径が微細化した。実験結果は、粒子系が供給速度の1/6乗に比例する理論解析フィット曲線(図中の赤破線)と良く整合する傾向を示した。

図4は、オルトジクロロベンゼンにジメチルホルムアミドを10vol%添加した溶媒に緑色発光高分子F8BTを溶かした溶液を用いてノズル-基板間距離を変えながらF8BT膜を約120nm堆積した場合の表面モロロジー(白色干渉顕微鏡)である。最適距離5.5cmにおいてRMS値0.56nmという極めて平坦な膜が得られた。これは、ミストの乾燥状態が最適化されたためと考えられる。

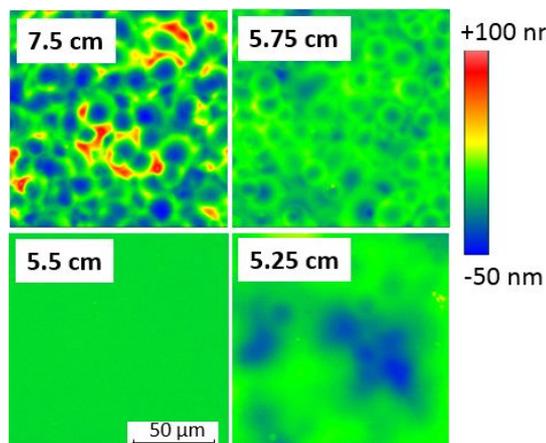


図4. NMD法で成膜したF8BTの表面モロロジーのノズル-基板間距離依存性.

(3)NMD法による有機系発光素子の作製

F8BT層をNMD法とスピコート法で成膜した2種類のAu/MoO₃/F8BT/AZO/ITO構造の無機/有機複合型LED(IO-HyLED)を作製した。作製した素子の電圧-電流特性を測定したところNMD法、スピコート法のどちらの素子も約2Vで立ち上がる良好な整流特性を示した。図5は電流密度-輝度特性であり、NMD法はスピコート法と遜色なく、両素子とも10,000cd/m²を超える輝度を

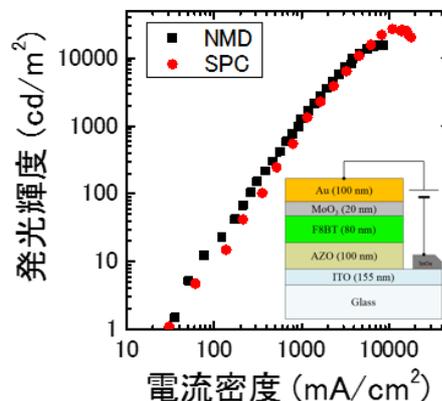


図5. NMDとスピコート法で作製したIO-HyLEDの電流密度-発光輝度特性.

示した。同様に、NMD法を用いた低分子/高分子積層型有機EL素子についても100cd/A程度の電流注入発光が得られており、これらの結果からNMD法が発光デバイスの作製に有望な成膜技術であることが示された。

(4)NMD法による低分子多層構造の成膜

一般に、基板との親和性の低い低分子膜を溶液法で成膜するとピンホールや凝集が生じて均質な成膜が困難である。本研究ではNMD装置のノズル-基板間に通常よりも高い電圧を印加して複数の液系を形成するマルチモードを用いると、ミストの最大直径が数 μm 以下に微細化し、ピンホールの無い均一な低分子膜が成膜可能であることを見出した。このマルチモードNMD法を用いると適度に乾燥した微細かつ均一なミストを基板面に堆積することが可能となり、表面粗さRMS=4nmの均質な燐光系低分子混合有機薄膜CBP:PBD:TPD:Ir(mppy)₃のウェット法による成膜に成功した(図6)。

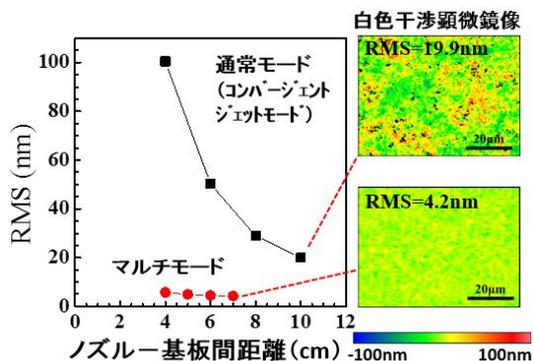


図6. 2種のNMD噴霧モードで堆積したCBP:PBD:TPD:Ir(mppy)₃低分子薄膜の表面粗さのノズル-基板間距離依存性。

また、低分子多層構造の成膜に向け、代表的な低分子OLEDであるAlq₃/NPB構造の成膜を試みた。NPBとAlq₃の両方を可溶性DCM/DMSO混合溶媒を用いてNPB膜上にNMD法でAlq₃を数秒間堆積して表面の侵食状態を評価したところ、成膜温度が低温(25℃)かつDMSO添加量20%以上のとき、NPBを侵食せずにAlq₃を堆積できることを見出した。この条件でNPB上にAlq₃を60nm成膜して発光スペクトルを評価したところ、NPBからAlq₃への電荷移動の抑制が示唆され、界面での分子混合が少ない急峻な積層構造が形成されたことがわかった。

(5)NMD法による無機MgZnO薄膜の成膜

NMD法によるMgZnO薄膜の成膜特性を評価した。MgZnOはMgとZnの組成比により禁制帯が変化する混晶化合物半導体であり、透明導電膜やトランジスタ、IO-HyLEDの電子注入層等に应用可能な機能性材料である。ここではエタノールにZn(CH₃COO)₂·2H₂O(酢酸亜鉛二水和物)とMg(CH₃COO)₂·4H₂O(酢酸マグネシウム四水和物)

を溶かし、エタノールアミン(安定剤)を添加した溶液を用い、基板温度、成膜距離、Zn/Mg組成比等をパラメータとしてNMD法による成膜特性を評価した。基板温度300℃、成膜距離10mmの条件で堆積したMgZnO膜では溶液中のMg組成の増加に伴い、膜厚50nmではRMS値が約3nmから6nm、膜厚10nmでは1.5nmから2.9nmに増加した。また、得られたMgZnO膜のMg組成は約0.2で飽和した。これはMgZnO混晶のMg固溶限が低く、かつNMD法が熱平衡系であるためMgOが析出しやすいことに起因すると考えられる。次に、燐光系IO-HyLEDの電子注入層にNMD法で成膜したMgZnOやZnO中間層の導入効果を検討した。素子構造は基板側からCs₂CO₃/BA-CH₃/EML/MoO₃/Auとし、発光層(EML)にはスパッタで成膜したPVK:PBD:TPD:Ir(mppy)₃=60:25:10:5、基板にはITOコートガラスを用いた。ITOとCs₂CO₃層の間に電子注入層としてNMD法によるZnOあるいはMg_{0.1}Zn_{0.9}O、スパッタ法によるAlドープZnO(AZO)層を挿入した。図7は、作製したIO-HyLEDの電流効率-電流密度特性であり、中間層なし(茶)、スパッタ成膜AZO(黒)、NMD成膜ZnO(青)、スパッタ成膜AZOとNMD成膜Mg_{0.1}Zn_{0.9}Oの二層中間層(赤)の順に電流効率が向上する結果となった。この様に、NMD法は無機化合物半導体薄膜の成膜にも適用可能であることを示した。

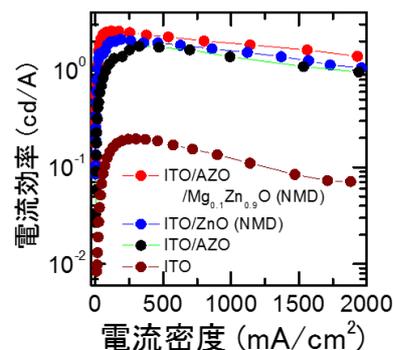


図7. 燐光系IO-HyLEDの電流効率-電流密度特性の電子注入中間層導入効果。

(6)ディスプレイ用光機能性シートの試作

AZO膜を直接蒸着したフレキシブルPET基板の上にスパッタ法でF8BTの成膜を試みたところ、F8BTの成膜によってAZO層に多数のクラックが形成された。一方、PET/AZO界面のアクリル系コート剤を成膜するとクラック低減に有効であることを見出した。これは有機溶剤によるPETシートの膨潤あるいは溶解をコート層が防いだためと考えられる。初期実験として、PET基板の上にアクリル系コート剤を介してAZO/Ag/AZO透明導電層、F8BT(スパッタ法)MoO₃/Au電極の順に成膜したフレキシブルIO-HyLEDを作製し、屈曲状態に

においても電流注入発光が可能であることを確認した。次に、コート紙および PET シートにインクジェット印刷で Ag ナノ粒子電極層を形成した導電性フレキシブルシートを基材として用い、その上に特性の異なる 2 種類の PEDOT:PSS 水分散液を NMD 法で塗布した。1 層目は約 4 μ m 厚の高導電性 PEDOT:PSS 層 (H.C. Starck 社 PH500) を凹凸緩衝層兼有機溶媒保護層として成膜し、2 層目にホール注入層に適した別種の PEDOT:PSS (H.C. Starck 社 AI4083) を 100nm 成膜した。この上に F8BT 系有機 EL 構造を積層した簡易型素子において、図 8 に示すように微弱ながらも緑色の電流注入発光を達成した。

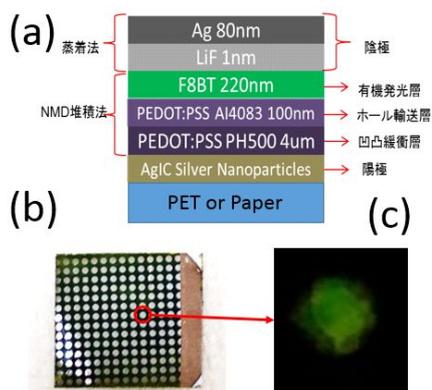


図 8. PET シート上に試作したディスプレイ IO-HyLED の構造(a) 素子の写真 (b) および電流注入時の発光像(c) .

(7)関連する成果

無機/有機ハイブリッド LED (IO-HyLED) における多重電荷注入層の導入効果の検証を行い、自己配列双極子分子 (SADM) や MgZnO 中間層が電子注入効率の向上に効果的であることを実証した。

In を含まない透明導電膜として期待される金属/誘電体多層構造 (MDM) である 3 層の Ag 層を含む Ag/ZnO 系 MDM を設計・作製し、優れた可視域透過性 (89.1%) と良好な電気伝導性 (12.2 Ω /sq.) を得た。

Ag 層への微量 Al 添加による Ag の初期島状成長の抑制効果を見出した。この結果、膜厚数 nm でもプラズモン吸収が抑制された Ag 薄膜の成長が可能となった。この技術を用い、紫外 315nm ~ 可視 780nm における平均透過率 89.0%、シート抵抗 8.9 Ω /sq. という優れた特性を有する MgZnO/Ag/MgZnO 透明導電膜の作製に成功した。

窒化物半導体ナノ構造上と有機半導体のハイブリッド光デバイスの実現に向けて、低加工損傷で、毒性ガスを用いず、簡便な装置構成で幅数十 nm 以下の GaN ナノ構造を作製可能なナノ加工技術 (水素雰囲気異方性熱エッチング: HEATE 法) を開発した。

5 . 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 3 件)

R. Kita, R. Hachiya, T. Mizutani, H. Furuhashi and A. Kikuchi, Characterization of hydrogen environment anisotropic thermal etching and application to GaN nanostructure fabrication, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 54, No. 4, 2015, pp. 046501_1-2, DOI: 10.7567/JJAP.54.046501.

Y. Shimada, J. Ishino, S. Shirasaki, T. Irie, and A. Kikuchi, Effect of MgZnO-bilayer/BA-CH₃ combination interlayer on emission characteristics of MoO₃/F8BT/ZnO hybrid light emitting diodes fabricated on ZnO/Ag/ZnO transparent cathode, Displays, Vol. 34, No. 5, 2013, pp. 437-441, URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938213000656>.

菊池 昭彦、MoO₃/ZnO/F8BT 系 無機/有機複合型 LED の作製と評価、月刊ディスプレイ (株)テクノタイムズ社) 解説論文、査読無、Vol.18 No.9、pp.40-46、ISSN 1341-3961、2012/9/1 発行。

(学会発表) (計 27 件) 内招待講演 計 3 件
新沼 佳樹、西 大紀、石野 隼一、菊池 昭彦、多電極型静電塗布法 (ナノミスト堆積法) による低分子 (CBP:PBD:TPD:Ir(mppy)₃) 有機薄膜の成膜特性の検討、第 62 回応用物理学会春季学術講演会、11a-D2-11、東海大学湘南キャンパス、2015/3/11-14 .

杉本 悠紀子、菊池 昭彦、AMZO/Ag(Al)/AMZO-DMD の熱処理効果、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、19a-A10-6、北海道大学、2014/9/17-20 .

新沼 佳樹、石野 隼一、菊池 昭彦、ナノミスト堆積法 (多電極型静電塗布法) による ZnO 薄膜の成膜と評価、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、19a-A10-4、北海道大学、2014/9/7-20 .

石野 隼一、新沼 佳樹、菊池 昭彦、ナノミスト堆積法 (多電極型静電塗布法) による MgZnO 薄膜の基礎的検討、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、19a-A10-3、北海道大学、2014/9/17-20 .

高塚 祐輔、西 大紀、菊池 昭彦、ナノミスト堆積法 (多電極型静電塗布法) を用いた Alq₃/ α -NPD 薄膜積層構造の成膜評価、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、17p-A5-17、北海道大学、2014/9/17-20 .

西 大紀、石野 隼一、菊池 昭彦、ナノミスト堆積法 (多電極型静電塗布法) による高分子 F8BT 薄膜の表面モホロジー制御及び OLED の作製、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、17a-A4-8、北海道大学、2014/9/17-20 .

Y. Takatsuka, T. Irie, D. Nishi, and A. Kikuchi, Investigation of initial deposition

stage of small molecule Alq₃ on α -NPD layer by modified electro-spray deposition (ESD) technique (nano-mist deposition: NMD), 2015 Int. Conf. on Solid State Devices and Mater. (SSDM2014), PS-10-13, Tsukuba, Japan, Sep. 8-11, 2014.

高塚 祐輔、入江 崇之、菊池 昭彦、ナノミスト堆積法(多電極型静電塗布法)法を用いた Alq₃/ α -NPB 膜積層構造の成膜初期過程の評価、第 61 回応用物理学会春季学術講演会、20p-E5-1、神奈川、2014/3/17-20.

入江 崇之、西 大紀、菊池 昭彦、ナノミスト堆積法(多電極型静電塗布法)による α -NPD 薄膜の平坦化に向けた成膜条件の評価、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、18a-C4-14、京都、2013/9/16-20.

石野 隼一、島田 雄平、菊池 昭彦、燐光系無機/有機ハイブリッド LED における AZO/Ag/AZO 透明導電膜と二重中間層の導入効果、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、18a-C4-9、京都、2013/9/16-20.

菊池 昭彦、ナノミスト堆積法による有機/無機ハイブリッド LED の作製と評価、第 43 回静岡大学若手グローバル研究リーダー育成拠点 (GRL) セミナー、2014/1/14. **(招待講演)**

J. Ishino, Y. Shimada, and A. Kikuchi, Effect of Combination Interlayer on Emission Properties of Phosphorescent Inorganic-organic Hybrid Light-emitting Diodes with AZO/Ag/AZO Transparent Cathode, The 4th Int. Symp. on Organic and Inorganic Electron. Mat. and Related Nanotech. (EM-NANO 2013), P1-42, 17-20 June, 2013, Kanazawa, Japan.

A. Kikuchi, S. Shirasaki, and R. Kita, Characterization of Ag/ZnO based metal dielectric multilayer (MDM) transparent conductive film, 16th Int. Conf. on II-VI Compound and Related Materials (II-VI 2013), Mo-A4, Nagahama, Japan, Sept. 9-13, 2013.

石野 隼一、島田 雄平、菊池 昭彦、燐光系無機/有機ハイブリッド LED における Cs₂CO₃ 中間層と自己配列双極子分子を用いた電子注入特性の改善効果、第 60 回応用物理学関係連合講演会、29a-G13-8、神奈川、2013/3/27-30.

風間 みなみ、入江 崇之、菊池 昭彦、ナノミスト堆積法(多電極型静電塗布法)による有機分子成膜特性の基礎的検討、第 60 回応用物理学関係連合講演会、29a-G13-6、神奈川、2013/3/27-30.

白崎 慎也、田仲 晃基、西 大紀、菊池 昭彦、金属/誘電体(Ag/ZnO)多層膜(MDM)透明導電性材料の熱処理効果、第 73 回応用物理学会学術講演会、13a-C13-1、愛媛、2012/9/11-14.

入江 崇之、風間 みなみ、菊池 昭彦、ナノミスト堆積(NMD)法を用いた高分子/低分

子積層型 OLED の作製、第 73 回応用物理学会学術講演会、11a-H3-9、愛媛、2012/9/11-14.

島田 雄、石野隼一、喜多 諒、白崎 慎也、菊池 昭彦、MoO₃/F8BT/ZnO 系無機/有機複合 LED における Mg_xZn_{1-x}O 中間層と自己配列双極子分子を用いた電子注入特性の改善、第 73 回応用物理学会学術講演会、11a-H3-5、愛媛、2012/9/11-14.

菊池 昭彦、島田 雄平、石野 隼一、喜多 諒、誘電体/金属多層構造透明導電膜を用いた無機/有機複合 LED の作製と評価、IDY2013-1、映像メディア学会、情報ディスプレイ研究会、東京、2013/3/15. **(招待講演)**

菊池 昭彦、入江 崇之、西 大紀、風間 みなみ、多電極型静電塗布法を用いた有機光デバイスの作製と評価、H24 理研シンポジウム「塗布型有機電子デバイス開発の新展開」、埼玉県、2012/12/11. **(招待講演)**

②菊池 昭彦、入江 崇之、ナノミスト堆積(NMD)法を用いた有機薄膜の成膜と OLED への応用、2012-05-OME、電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会(OME)、東京、2012/5/4.

②J. Ishino, Y. Shimada, and A. Kikuchi, Effect of Combination Interlayer on Emission Properties of Phosphorescent Inorganic-organic Hybrid Light-emitting Diodes with AZO/Ag/AZO Transparent Cathode", The 4th Int. Symp. on Organic and Inorganic Electron. Mat. and Related Nanotech. (EM-NANO 2013), P1-41, Kanazawa, Japan, June 17-20, 2013.

③T. Irie, M. Kazama, and A. Kikuchi, Nano-mist deposition (NMD) technique for fabrication of organic light emitting devices, 9th Int. Conf. on Electrolumi. & Organic Optoelectron. (ICEL2012), P-82, Fukuoka, Japan, Sept. 3-7, 2012.

④Y. Shimada, R. Kita, J. Ishino, S. Shirasaki, and A. Kikuchi, Enhanced emission characteristics of MoO₃/F8BT/ZnO hybrid LED based on ZnO/Ag/ZnO transparent electrode by MgZnO/BA-CH₃ combination interlayer, 9th Int. Conf. on Electrolumi. & Organic Optoelectron. (ICEL2012), P-83, Fukuoka, Japan, Sept. 3-7, 2012.

⑤T. Irie and A. Kikuchi, Multi-layered OLED consisted of low- and high-molecular layers fabricated by Nano-Mist Deposition (NMD) technique, KJF Int. Conf. on Organic Mat. for Electron. and Photonics, PB29, Miyagi, Japan, Aug. 29-Sep. 1, 2012. (他 2 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊池 昭彦 (KIKUCHI, Akihiko)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：90266073