

フレキシブルディスプレイ用 マテリアル【特集号】

巻頭言

「ベッタリからスッキリへ カッチリからグニャグニャへ」 2

大阪大学大学院工学研究科 教授

桑畑 進

解 説

フレキシブルディスプレイ技術の研究開発動向 4

報 告

フレキシブル有機ELディスプレイ用電子注入材料の開発 18

電子輸送材料を用いた混合成膜による
高効率量子ドットEL素子の開発 26

高移動度塗布型酸化物薄膜トランジスターの開発 34

研究所の動き

触覚提示を目的としたスポーツ映像解析技術 42

地上放送高度化方式による放送ネットワークの構築に向けた
放送波中継用等化判定器の開発 43

プライバシーに考慮しながら個人データの活用を実現 パーソナルデータストア 44

論文紹介 45

発明と考案 46

研究会・年次大会等発表一覧 50

「ベツタリからスツキリへ カッチリからグニャグニャへ」

桑畑 進

大阪大学大学院工学研究科 教授

巻頭言の最初から私事を書いて誠に恐縮であるが、筆者は昔から今に至るまで根っからのテレビっ子である。どの程度かと言うと、高校受験が近づいていた中学3年生の時に両親が数日間外泊する用事ができ、筆者が留守番をすることとなって、テレビを見ずに勉強するためには自分でテレビの電源コードを切断しなければならないくらい重症であった。もちろん、両親が帰宅する日の朝にはハンダで結線したが、結局、その後は両親が帰ってくるまでテレビを見続けてしまった。そのテレビっ子が、ブラウン管時代から気になっていることがあった。テレビ放映される映画の画質と生中継やビデオ録画されたテレビ番組の画質が違うことである。表現しにくいですが、前者はベツタリとした感じで後者はスツキリした感じである。

大学生の時に友人にその話をすると、「映画はフィルムでの撮影で分子レベルの解像度だから、テレビで放映しても高画質であるに決まっている。ビデオカメラ撮影の動画は、たかだか500本程度の走査線で描いているので、走査線が抜け抜けの画質だからスツキリしているのでは？」との推察。一方、インターネットが充実してきた頃に「映画・テレビ・画質・違い」のキーワードで検索すると、同じ疑問を持っている人はやはりおられた。友人と同様に高解像度な映画の画質に軍配を上げる人がいれば、「映画は24フレーム/秒・プログレッシブであり、それをテレビの30フレーム/秒・インターレースに変換しているので彩度が落ちて均質な感じになってしまうのだ」とビデオカメラ撮影の動画の画質に軍配を上げる人もいる。彩度やコントラストの差で画質の違いは説明できそうであるが、その違いがなぜできるのかは画像が専門でない私にはよくわからない。

月日が経ち、テレビ画面はブラウン管から液晶に、放送もアナログ電波放送から衛星および地上デジタル放送へ。そして、液晶ディスプレイの材料と技術の向上で解像度は目覚ましく向上し、ハイビジョンからフルハイビジョン、4Kへとどんどん進化。ついには人間の視覚の解像度ではピクセルを識別できないと言われていた8Kまで実現させてしまった。すごい技術の進歩である。NHK放送技術研究所を訪問したとき、縦のサイズが身長ほどもある8K大画面でねぶた祭が映しだされているのを間近で見せていただいた。すると、自分の体が自然と動いているのに気が付き、本物の祭りを見ている感覚に包まれ、「ついにここまで来たのか」と大変感心させられた。テレビっ子としては、そのような進化に追随したいのであるが、テレビという電化製品はそう簡単には壊れてくれないので、次から次へと買い替えるわけにはいかない。家電量販店に行くと、それはそれは美しい動画を映し出した液晶テレビや有機ELテレビがずらっと並んでいる。ただし、映し出されている動画（ソース）はいかにもきれいなものばかりなので、家で通常の番組を見ても本当にこんなにきれいなのであろうか？という疑問もちょっぴり持っていた。

そんなある日、実家のテレビが故障したとの連絡が入る。高齢の親が新規購入することは大変なので、

1984年 大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了
1986年 大阪大学大学院工学研究科博士後期課程退学
1986年 大阪大学工学部 助手
1993年 大阪大学工学部 講師
1994年 大阪大学工学部 助教授
2002年 大阪大学大学院工学研究科 教授
現在に至る

現在、電気化学会会長、医学生物学電子顕微鏡技術学会常務理事、国立研究開発法人科学技術振興機構 先端的低炭素化技術開発 (JST ALCA) 分科委員。専門は、電気化学、光電気化学、電子顕微鏡、ナノ材料科学、イオン液体ほか。



我が家のテレビを運んで設置し、我が家で新規購入することにした。これぞチャンスとばかりに、性能と価格を徹底的に調査し55インチの4Kテレビを発注した。家に来て設置し、電源オンでNHKのBS4Kチャンネルにセット。番組表を見ると、スピルバーグ監督の映画「ジョーズ」(リマスター版)が放映されていた。出てきた映像を観た瞬間、「コマーシャルをやっているのだな」と思った。でも、NHKのチャンネルであることに気づき、もう一度見た。すると、小型トラックから見覚えのあるプロディ署長が出てきて市長と口論する有名な場面が・・・。「こんな昔の映画が、ビデオカメラ撮影の動画のようにスッキリとした画面になってしまうの?」と腰を抜かさばかりの驚きであった。映画のデジタルリマスターの技術とディスプレイ技術の劇的な向上が、このテレビっ子がずっと気にしていた画質の差をスッキリと解消してくれたのであった。

そして次なる進化が、本号で特集されるディスプレイのフレキシブル化である。筆者は学生時代に導電性高分子のエレクトロクロミズム特性に関する研究を行っていた。電極から剥がすとヒラヒラの高分子が印加電圧の変化で色が変わるのを見ながら、壁掛けテレビや曲げられるディスプレイの作製も可能かも、と夢見て研究していたが、結局、全く違う方式でそれぞれ実現された。もっとも、導電性高分子も違う働きでフレキシブル化に役立っているようであるが。現在は発光性半導体ナノ粒子(カドミウムフリーの量子ドット)の研究を行っている。発光スペクトルの半値幅がより狭くなるような量子ドットの合成法と粒子表面の修飾法を開発しており、目指しているのは電界発光により彩度の高い色を発光させ、自然界の色をより忠実に表現できるディスプレイ用の量子ドットEL素子に仕上げることである。つまり、筆者が求めていたスッキリ画面をもっとスッキリさせることである。何だか自分自身の研究の順番が、世の中の進歩と逆のようで面白さを感じているが、本特集号に量子ドットEL素子を取り上げられているように、フレキシブルディスプレイを作るには自己発光する素子も重要な要素なので、自分はグニャグニャでスッキリ画質のディスプレイを作る夢を追いかけているのだと思うことにした。

先日、テレビで曲がるディスプレイを搭載した折りたたみ式スマートフォンの紹介をしていた。プロトタイプのものは見る機会が幾度もあったが、ついに製品が出たのかと感心した。ハンディータイプのテレビが発売された時に「一家に一台から一人一台へ」と大いに宣伝していたが、折り曲げてポケットに入る大型テレビという時代がもうすぐ来るのかもしれない。そういう便利なものを作り、若い人が大いにエンジョイできるように研究を頑張りたいと思うと同時に、もし、テレビっ子の筆者が受験生の時にこんなものがあると、どんなに工夫してもテレビから離れることができなくなり、受験を大失敗しているのかもしれないと思うと、複雑な心境になり苦笑いしてしまう。そんな気持ちを持ちつつ、本特集号を読ませていただくことにする。

フレキシブルディスプレイ 技術の研究開発動向

中田 充 深川弘彦 清水貴央 都築俊満

薄く柔軟で曲げることが可能なフレキシブルディスプレイは、軽量性、衝撃耐性、折りたたみや巻き取りによる収納性などの付加価値に加え、曲面形状での映像表示による優れたデザイン性をもつ。また、没入感・臨場感あふれる新しいコンテンツ体験の創出など、将来の視聴スタイルに革新をもたらす可能性を秘めている。本稿では、フレキシブルディスプレイの構造や応用展開、要素技術の研究開発動向について解説する。

1. はじめに

液晶ディスプレイ（LCD：Liquid Crystal Display）や有機EL^{*1}ディスプレイなどのフラットパネルディスプレイの進化は目覚ましく、スマートフォンや家庭用テレビの薄型化・高精細化・大画面化が急激に発展してきた。さらに、これまでフラットパネルディスプレイで用いられてきた硬いガラス基板に代わり、薄く柔軟で曲げることが可能なプラスチックフィルム上に作製するフレキシブルディスプレイが脚光を浴び、実用化が進むと同時に新しい応用に向けた研究開発が進んでいる。フレキシブルディスプレイは、軽量性、収納性、衝撃耐性、可搬性などの優れた特徴により利便性やデザイン性を向上させ、さらには没入感・臨場感あふれる将来の新しい視聴スタイルを生み出すことが期待されている。

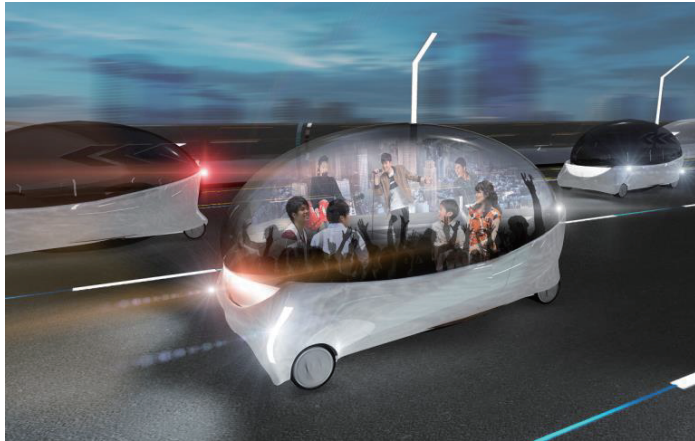
フレキシブルディスプレイを積極的に応用し、実用化が進んでいるのがスマートフォンなどのモバイル端末であり、軽量化によるモバイル性向上を実現した。さらに、折りたたみ型スマートフォンが登場し、コンパクトな収納と大画面視聴を両立する新しい付加価値を生み出した。将来的には、腕に巻きつけたり、衣類に貼りつけたりできるウェアラブルディスプレイや、さらには皮膚へ貼り付けられるスキンディスプレイへの応用も期待される。フレキシブルディスプレイはモバイル端末向けだけでなく、大画面ディスプレイへの応用も期待されている。

近年、フラットパネルディスプレイの大型化が進み、大画面の家庭用テレビも普及してきた。しかし、90インチ以上のサイズのディスプレイになると、ディスプレイの重量やエレベーターや玄関のサイズの制約から家庭に搬入、設置することが難しくなる。さらには、大型化に伴う運搬方法の制約から流通コストの上昇も懸念される。従来のガラス基板から薄いプラスチック素材へ変わることで、軽量化が期待できる。軽量で大画面のフレキシブルディスプレイが実現できれば、ポスターと同じ感覚で丸めて家庭に持ち運び、壁に貼り付けることが可能になる（1図（a））。また、プロジェクターのスクリーンのように丸めて収納可能なフレキシブルディスプレイが実現できれば、大画面であっても視聴しないときの邪魔にならず、リビングの空間との自然な調和が可能になる。ま

*1
物質に電界を印加させて光らせる現象をEL（Electroluminescence）という。特に、有機材料に電流を流すことで発光させるEL素子については、有機発光ダイオード（OLED：Organic Light Emitting Diode）という。



(a)リビング



(b)自動運転車内

1図 将来のフレキシブルディスプレイの応用イメージ

た、30インチ程度の中型で高精細なフレキシブルディスプレイが実現できれば新聞を見る感覚で実物に迫るリアリティーのある映像を気軽に楽しむことができる。

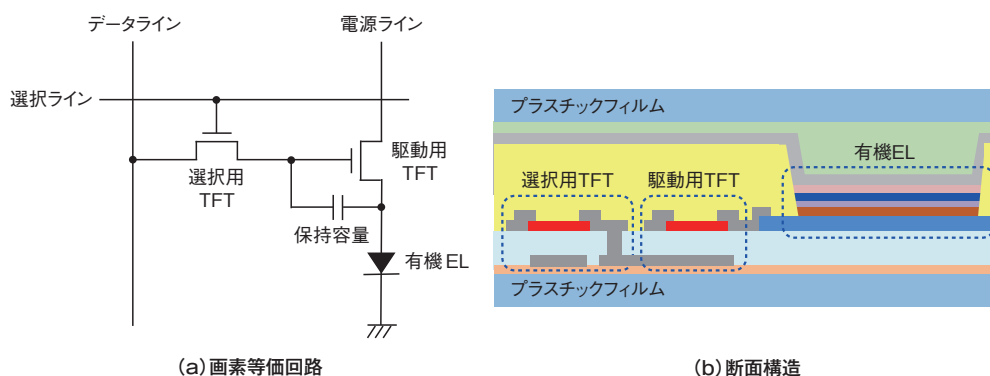
将来的には、1図(a)に描くようにVR(Virtual Reality)や3次元映像技術とともにフレキシブルディスプレイ技術によって好みの視聴デバイスを使って没入感あふれるコンテンツを視聴・体感することが可能になると思われる¹⁾。フレキシブルディスプレイでは、映像を湾曲形状に表示して利用する手法も検討されている。現在は、特に曲面デザインが求められる車載用ディスプレイとしての開発が進められている。将来的には、画面の曲率を大きくすることで頭部を包み込むような没入感の高いディスプレイへの応用も考えられる。さらに、1方向だけの湾曲でなく、球面形状のディスプレイが実現できれば、1図(b)に描くように、自動運転中の車内で没入感が高いコンテンツを複数人で共有して視聴・体感できるようになる¹⁾。

このようにフレキシブルディスプレイは、私たちの生活を一変させる魅力的な特徴を有しており、近年、研究開発が活発に進められている。本稿では、フレキシブルディスプレイの構造について述べた後、要素技術の開発動向について解説する。

2. フレキシブルディスプレイの要素技術の概要と動向

2.1 フレキシブル有機ELディスプレイの構造

フレキシブルディスプレイを実現する表示デバイスとしては、液晶ディスプレイと有



2図 フレキシブル有機ELディスプレイの構造

有機ELディスプレイが候補として挙げられるが、硬いバックライトを必要としフレキシブル化が難しい液晶ディスプレイと比べて、自発光でバックライト不要な有機ELディスプレイの方が有望であると言える。ここでは、フレキシブル有機ELディスプレイの構造について説明する。2図 (a) に、基本的な有機ELディスプレイの画素等価回路を示す。画素等価回路は、有機ELの発光を制御する選択用と駆動用の2つの薄膜トランジスタ (TFT:Thin-Film Transistor) と1つの保持容量 (コンデンサ) で構成される。データとなる電圧は、選択用TFTのスイッチング動作により保持容量に書き込まれ、有機ELに流れる電流と発光は、その電圧に応じて駆動用TFTによって制御される。実際には、TFTや有機ELの画素ごとのばらつきや経時的な特性の変動を補正するためのTFT回路が必要になるため、より複雑な構成になる。2図 (b) には、フレキシブル有機ELディスプレイの断面構造の例を示す。TFTや有機ELは薄くて柔らかいプラスチックフィルム基板上に形成される。曲げることが可能な極薄のガラスを基板に適用することでディスプレイを湾曲させることも可能だが、軽量性、柔軟性、衝撃耐性からプラスチックフィルムを用いた方が得られるメリットは大きい。しかし、プラスチックフィルムは、ガラス基板と比較して、耐熱性が低く、耐薬品性が劣り、線膨張係数^{*2}が高いことからTFTや有機ELの作製プロセス条件が制限されるといった課題がある。さらに、空気中の酸素や水分に対するプラスチックフィルムの封止性能はガラス基板に比べて劣ることから、酸素や水分によって特性が変動しやすい有機ELの寿命の点で大きな課題がある。高耐熱性で低線膨張係数のプラスチックフィルム材料としてポリイミドが知られており、宇部興産 (株) などが開発を進めている。500℃以上の耐熱性があるポリイミドも開発されており、ガラス基板を用いたディスプレイで実用化されているTFTの製造プロセスにも十分適応できる。ただし、ポリイミドフィルムの耐熱性が高いほど光透過率が低くなる傾向があり、基板側に有機EL素子の発光を取り出す構造のボトムエミッションを適用できず、ディスプレイ構造を制限する要因になる。ポリエチレンテレフタレート (PET) やポリエチレンナフタレート (PEN) は、光透過率が高く低コストのプラスチックフィルム材料として知られているが、耐熱性が低いためTFTの製造プロセスへの適応が困難である。今後、高耐熱性で光透過率の高いプラスチック材料の開発に加え、ディスプレイ作製プロセスの低温化が望まれる。

*2
温度上昇によって物体の長さや体積が膨張する割合を温度当たりで示した係数。

2.2 画素駆動用TFT

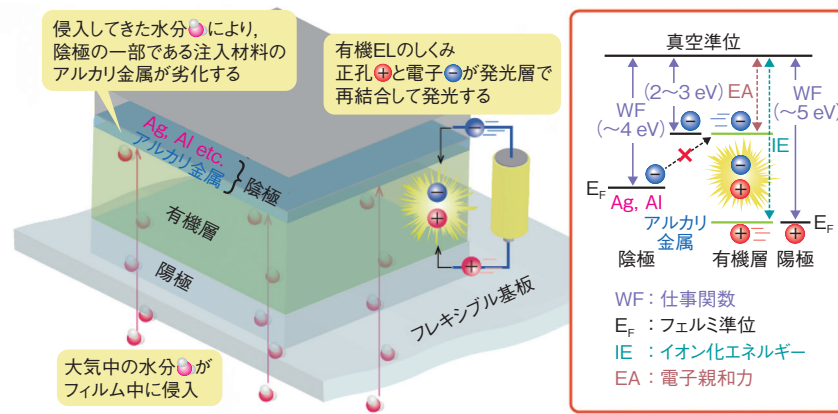
画素を駆動するのに必要なTFTについて解説する。TFTは電界効果トランジスタの一種であり、半導体、絶縁体、および電極（ゲート、ソース、ドレイン）の薄膜で構成されている。半導体材料によってシリコン系TFTと酸化物半導体TFTに大きく分類できる。前者は非晶質シリコン(a-Si: Amorphous Silicon)と低温多結晶シリコン(LTPS: Low-Temperature Polycrystalline Silicon)に分類される。a-Siは大面積に形成できることから大画面液晶ディスプレイに広く採用されている。しかし、電子（または正孔）の移動のしやすさを示す移動度は $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度と低く、流せる電流が少ないことから有機ELディスプレイを駆動することが難しい。これに対してLTPS-TFTは移動度が $50 \sim 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と高く、スマートフォンを中心に小型のフレキシブル有機ELディスプレイに採用されている。移動度が高いため、TFTの面積を小さくしても大電流が得られることから、高精細ディスプレイの駆動素子に適している。さらに、LTPS-TFTは、画素回路だけでなく画素を駆動するための周辺駆動回路を小面積で形成することが可能であり、ディスプレイの狭ベゼル（額縁）化にも有効である。しかし、LTPSはa-Siにレーザーを照射して多結晶化させる必要があるが、このプロセスは大面積形成に対応できないことから大画面ディスプレイに応用することが難しい。後者の酸化物半導体は、東工大の研究グループが開発したIn-Ga-Zn-O (IGZO)²⁾が有名である。酸化物TFTは、LTPS-TFTに比べてオフ電流が少ないという特徴があり、画素等価回路の保持容量のリーク電流に起因したデータ電圧低下を抑制できる。保持容量のリフレッシュレートを低くすることで低消費電力化にも有効である。また、酸化物半導体は、大面積形成が可能なスパッタリング*3による成膜が可能であるのに加えて、移動度 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度と有機ELを駆動するには十分な性能を有することから大画面有機ELディスプレイに適している。小型から大型までさまざまなサイズのディスプレイに採用されており、研究開発でも注目を集めている。

Appleが報告したLTPS-TFTと酸化物TFTを組み合わせたLTPO (Low-Temperature Poly-crystalline-silicon and Oxide) 技術も注目されている³⁾。移動度の高いLTPS-TFTとオフ電流が少ない酸化物TFTのそれぞれの長所を活かすことで、ディスプレイの狭ベゼル化に加え、低リフレッシュレート駆動による消費電力の低減が可能になる。このLTPO技術は、スマートウォッチ向けの技術として採用され、実用化されている。

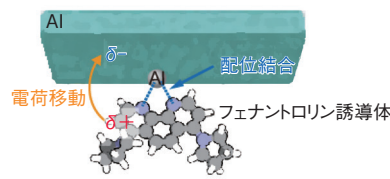
フレキシブルディスプレイのさらなる大画面化や低コスト化を目指して、塗布や印刷で酸化物半導体を形成する研究も進められている。スパッタリングに必要な真空装置を必要としない塗布プロセスで酸化物半導体を形成することができれば、装置サイズの制限に関係なく大面積に形成できるため、装置コストや維持コストの低減にもつながる。印刷プロセスは必要な場所だけに形成できることから、環境負荷の小さい作製プロセスとしても期待されている。当所でも酸化物半導体の塗布・印刷プロセスの研究を進めており、詳細については本特集号の報告3「高移動度塗布型酸化物薄膜トランジスタの開発」を参照していただきたい。

また、近年では伸縮可能なストレッチャブルディスプレイの実現に向けた伸縮可能なTFT回路の研究も盛んに行われている。TFT回路を伸縮可能にするためには、スタンフォード大の研究グループなどが報告している回路を構成するすべてを伸縮可能な材料で形成する方法⁴⁾と、東京大学の研究グループなどが報告している基板に伸縮領域と非

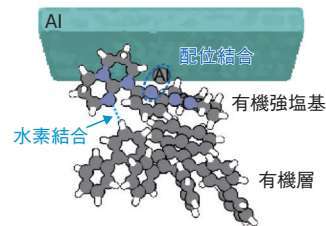
*3
加速したイオンを成膜製膜材料に衝突させ、はじき出された材料を基板に付着させる成膜製膜方法。



(a) フレキシブル有機ELの模式図



(b) 配位結合によるWF低減



(c) 配位結合および水素結合によるWF低減

3図 フレキシブル有機ELの発光プロセス

伸縮領域を設けて伸縮領域にのみ伸縮材料を適用する方法⁵⁾が考えられる。前者の場合、TFTを構成する半導体材料、絶縁材料、電極材料などすべてを伸縮可能にする必要がある。伸縮性のあるTFT材料の研究が盛んに行われているが、材料に制約があるため従来のTFTと同等の移動度や信頼性を得ることが難しい。一方、部分的に伸縮領域を設ける後者の場合には、TFTを構成する領域を非伸縮とし、TFT間の領域のみを伸縮領域とする手法が提案されている。基板自体を伸縮させることにより、TFT領域が伸縮しないように固定され、従来の非伸縮の材料でTFTを構成することができる。しかし、伸縮配線材料は通常の金属材料よりも抵抗が高いことが課題となり、カーボンナノチューブや金属ナノワイヤーなどの低抵抗化を目的とした材料が開発されるとともに、形成プロセスなどの研究開発も進められている。

2.3 有機EL

超薄型・自発光の有機ELは、フレキシブルディスプレイに適した発光素子として有力である。3図 (a) に示すとおり、フレキシブル有機ELは発光材料を含む有機層（発光層）を陽極と陰極で挟んだ構造であって、陽極から正孔を注入し、陰極からは電子を注入することにより、発光層で正孔と電子が再結合し発光する。陽極には酸化インジウムスズなどの仕事関数 (WF : Work Function)^{*4}が5.0 eV^{*5}程度の材料が広く用いられ、イオン化エネルギー (IE : Ionization Energy)^{*6}が同程度の有機半導体は多く存在するため、正孔は陽極から容易に注入できる。一方、Ag (銀) やAl (アルミニウム) など陰極に使われる高導電性材料のWFは4.0 eV程度であるのに対し、多くの有機半導体の電子親和力 (EA : Electron Affinity)^{*7}は3 eV以下であるため電子を直接注入すること

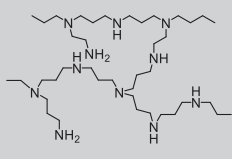
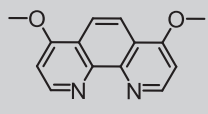

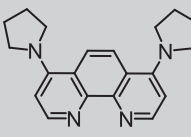
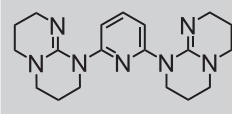
*4
物質の表面から1個の電子を無限遠まで取り出すに必要な最小のエネルギー。

*5
electron volt : エネルギーの単位。

*6
原子または分子から、電子を取り去るのに要するエネルギー。

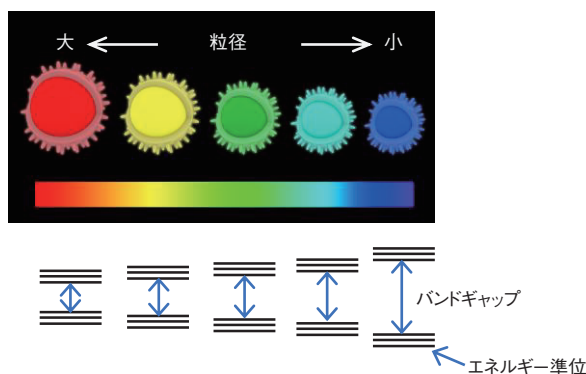
*7
原子、分子または物質の表面から1個の電子を与えたときに放出されるエネルギー。

1表 有機材料で表面を修飾したWFが小さい陰極の報告例

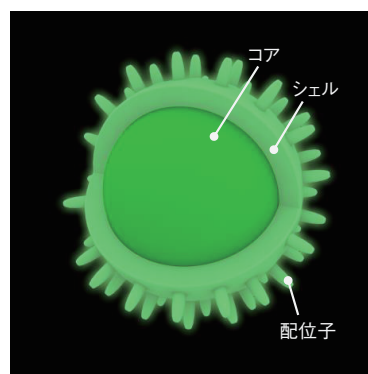
	ジョージア工科大学 ⁸⁾	シンガポール国立大学 ⁹⁾	清華大学 ¹⁰⁾
WFの最小値	3.1 eV	2.4 eV	2.9 eV
WFの調整に用いた有機半導体	 ポリエチレンイミン	高分子 + 多価アニオン [O _x ²⁻ , CO ₃ ²⁻ , SO ₃ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻]	 フェナントロリン誘導体
関連する現象	分子内双極子	電子ドーピング	配位結合
	NHK ¹²⁾	NHK ¹¹⁾	NHK ¹³⁾
WFの最小値	3.0 eV	2.4 eV	2.0 eV
WFの調整に用いた有機半導体	 ジアザビシクロノン等	 フェナントロリン誘導体	 有機強塩基
関連する現象	水素結合	配位結合	水素結合・配位結合

は難しい。電子注入ができないと有機ELの発光に必要な電圧が大幅に向上するのみならず、有機EL内の正孔と電子のバランスがくずれ、発光効率や駆動安定性が大幅に低下する。陰極から有機半導体への効率的な電子注入は、省電力・長寿命な有機ELの実現に不可欠な技術である。したがって、陰極からの電子注入を容易にするために陰極の一部としてWFが2～3 eV程度であるLi（リチウム）やCs（セシウム）などのアルカリ金属を用いることが一般的である。しかしながら、プラスチックフィルムなどの一般的なフレキシブル基板を用いた場合、大気中の水分が侵入し、アルカリ金属が劣化してしまう^{6) 7)}。

このような背景から、近年、Ag/Alなどの電極表面に化学的に安定な有機半導体を成膜することで、電極表面のWFを低減する技術が精力的に研究されている（1表）^{8)～13)}。その先駆けとして、ジョージア工科大の研究グループはポリエチレンイミンを用いることでWFが3.1 eV程度の電極を実現している⁸⁾。そして、シンガポール国立大の研究グループは多価アニオンを用いたWFが2.4 eV程度の電極を報告している⁹⁾。当所、および清華大の研究グループは、フェナントロリン誘導体と金属原子との配位結合を利用してWFを低減する手法を提案している [3図 (b), 1表]。配位結合に伴いフェナントロリン誘導体側から電極側へ微量の負電荷が移動し、電荷の移動量に応じてWFを制御できる^{10, 11)}。当所からは新しい概念として、陰極近傍における有機材料間の水素結合を活用することで、WFが3.1 eV程度の電極を報告している¹²⁾。そして当所は、有機強塩基とAlとの配位結合に加えて、発光層との水素結合が引き起こす分極を利用することで、WFを2.0 eVまで小さくできることを見出した [3図 (c), 1表]¹³⁾。アルカリ金属中でWFが小さいCsと同等のWFを得ることができ、有機強塩基を活用することで水分に最も弱いCsの課題を解決し、あらゆる有機ELに電子を注入できることを示した¹³⁾。このような新しい電子注入層の開発の詳細については、本特集号の報告1「フレキシブル有



4図 量子ドット材料の粒径と発光色の関係



5図 量子ドット材料の模式図

機ELディスプレイ用電子注入材料の開発」を参照していただきたい。

2.4 量子ドット

ディスプレイに求められる重要な特性の一つに色再現性がある。4K8Kスーパーハイビジョンの規格である勧告ITU-R BT.2020（以下、BT.2020）では、HDTVの勧告ITU-R BT.709と比較して極めて広い色域を規定している。ディスプレイにおいて広い色域を表現するためには、高色純度の赤、緑、青の光源が必要となる。特に緑色の場合、BT.2020を満たすためには、発光スペクトルの半値幅が30 nm程度以下であり、かつ余分な発光成分がないことが求められる。量子ドット（QD：Quantum Dot）材料は、これらの要求条件を満たす高色純度の発光材料として、注目されている。量子ドット材料は、サイズが数nm～十数nm程度の半導体微粒子で、粒径によってエネルギー状態が変化する量子サイズ効果^{*8}を示し¹⁴、4図に示すように、発光波長のチューニングが可能である。さらに、それぞれの粒子の粒径ばらつきを抑えることで、発光スペクトル^{*9}の半値全幅が狭くなり、高色純度発光が得られる。量子ドット材料の作製方法としては、バルク半導体の微細加工によるものと結晶成長によるものがあり、結晶成長により作製する量子ドットのうち、液相中の化学合成によって得られる材料はコロイダル量子ドットと呼ばれる。以下、コロイダル量子ドットについて述べる。代表的な構造を5図に示す。コアと呼ばれる半導体微粒子の表面をシェルと呼ばれる別の半導体で覆い、さらにその表面を炭化水素系の配位子で取り囲んだ構造をしているため、有機溶剤に分散させることができる。量子ドット材料を分散した溶液を用いて塗布工程で薄膜を作製できることから大画面ディスプレイへの適用も可能である。

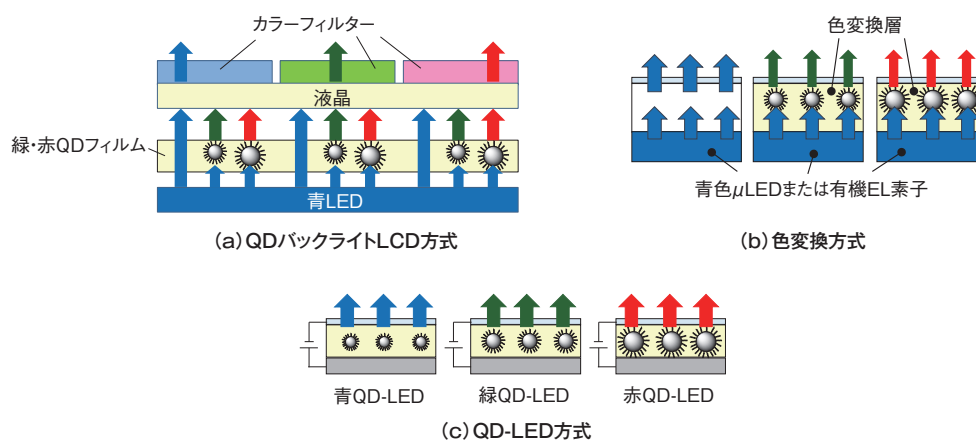
量子ドット材料のディスプレイへの応用例として、主に、6図に示すような3つの方式が検討されている。1つ目は、6図（a）に示すような液晶ディスプレイのバックライトユニットにおける色変換材料として利用する方法（QDバックライトLCD方式）である。青光源としての青色LEDと、青色LEDで励起した量子ドットのフォトルミネッセンス（PL：Photoluminescence）^{*10}を緑・赤光源として組み合わせることで得られる白色光をバックライトとして用いる。2つ目は、6図（b）に示すように、青色の μ LED（マイクロLED）^{*11}または有機EL素子の上に、青色の光を吸収して緑・赤色光に変換する量子ドット材料を配置することで、緑、赤の画素とする方式である。3つ目は、6図（c）に示すように、青、緑、赤色の量子ドット材料に電流を注入して得られるEL

*8
ナノメートルサイズの狭い領域に電子が閉じ込められると、電子のエネルギーはとびとびの離散的な準位をとり、サイズ変化によりエネルギー準位が変化する。

*9
材料や素子の発光強度の波長依存性。

*10
紫外光や青色光などエネルギーの高い光を吸収することで得られる発光。

*11
マイクロメートルサイズの微小なLED。



6図 量子ドット材料のディスプレイへの応用例
(画素を駆動するTFTを省略して図示)

発光を利用する方式である。波長変化による効率劣化がないため、3つ目の方式が最も光の利用効率が高いと考えられる。

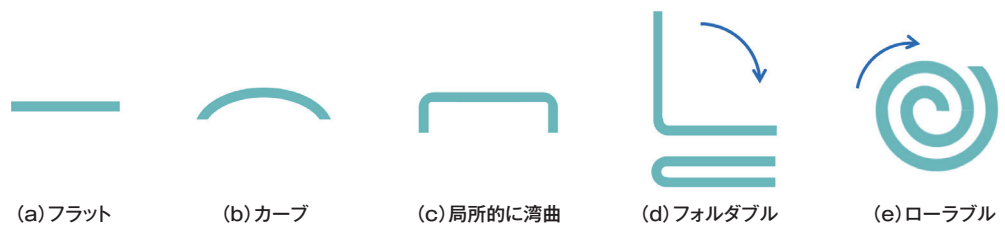
次に、量子ドット材料開発について述べる。当初は、高色純度で高効率の発光が得られることから硫化カドミウム (CdS) やセレン化カドミウム (CdSe) などのカドミウム系材料で研究が進んだ。浙江大学の研究グループより、CdS, CdSeを発光層に用いた量子ドットEL素子で、発光スペクトル半値全幅30 nm以下の高色純度の発光が得られることが報告された¹⁵⁾。しかしながら、これらの量子ドットは、カドミウムの毒性の問題があり、実用化には、カドミウムを用いない材料 (カドミウムフリー材料) への転換が求められている。現状、色純度はカドミウム材料に及ばないものの、効率は著しく改善している。カドミウムフリー材料として、リン化インジウム (InP) やセレン化亜鉛 (ZnSe) が有力な候補として研究され、Samsung Electronics社より、赤、青のEL素子について報告されている^{16) 17)}。当所においても、フレキシブルディスプレイへの適用に向けたカドミウムフリー量子ドットEL素子の研究を進め、量子ドット材料と適切な電子輸送材料*12を混合して成膜することで発光効率を改善できることを見出している¹⁸⁾。詳細については本特集号の報告2「電子輸送材料を用いた混合成膜による高効率量子ドットEL素子の開発」を参照していただきたい。

*12 電子を運ぶ材料。

そのほかの材料の候補として、二硫化銅インジウム (CuInS₂) や二硫化銀インジウム (AgInS₂) などのカルコパイライト系材料も注目されている。カルコパイライト系材料はスペクトル幅の広い欠陥発光が主として得られることから、高色純度発光を得ることは難しいと考えられていたが、最近、大阪大学と名古屋大学の研究グループより、AgInS₂の量子ドットからスペクトル幅の狭いバンド端発光*13が得られることが報告され¹⁹⁾、新しい材料系として期待されている。当所においても、AgInS₂を用いた量子ドットEL素子の試作を行い、半値全幅の狭い緑色発光を得ている²⁰⁾。

*13 半導体における伝導帯の下端の電子と価電子帯の上端の正孔が再結合することによって得られる発光。

量子ドットEL素子を画素として用いたディスプレイ試作も行われている。赤、緑、青の量子ドット材料をインクジェット法により塗り分けて成膜した55インチ4Kディスプレイ (BOE社)²¹⁾、フォトリソグラフィにより微細パターンニングして画素形成したカラーディスプレイ (シャープ (株))²²⁾ の報告例があり、研究が活発化している。



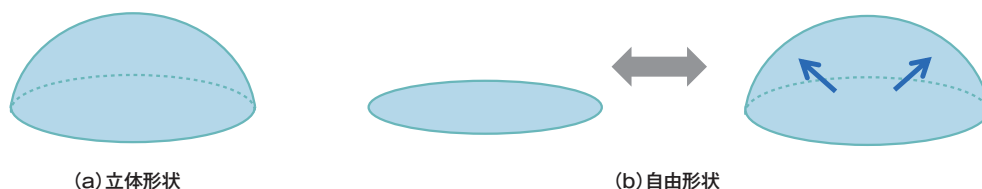
7図 フレキシブルディスプレイの形状応用例（上面からみた形状）

2.5 フレキシブルディスプレイの特徴を活かした応用

次に、フレキシブルディスプレイの特徴を活かした応用について説明する²³⁾。7図に、フレキシブルディスプレイの形状例をまとめた。一定形状で利用する場合（7図（a）～（c））と、形状を積極的に変形させる場合（7図（d）、（e））の2種類に分類できる。

7図（a）のように、フラットな状態で利用する場合でも、従来のガラス基板と比べて薄く、軽いプラスチックフィルムを適用することができれば、ディスプレイの薄型化、軽量化、衝撃を受けたときでも割れにくいといった点で大きなメリットが得られる。軽量化および衝撃耐性が求められるモバイル端末では重要な特徴となる。また、前述のようにテレビなどの大型ディスプレイにおいても、薄くて軽いいため、ポスターと同じ感覚で容易に壁に貼ることができ、設置の自由度が向上する。7図（b）に示すように、全体を均一に湾曲したカーブ形状は、凹状に湾曲させれば画面中央と端の視距離差、視野角差を抑制することができ、画質および没入感の向上が期待できる。また、凸状に湾曲させれば、腕に巻くことで腕時計のデザイン性向上やウェアラブルデバイスへの応用、また、円柱状の柱に設置することでサイネージとしての応用などが考えられる。視聴スタイルによって、平面形状と湾曲形状との切り替え、さらにはパネルの曲率半径を自由に変化させる機構を備えたディスプレイも提案されている。特に、湾曲部分が多い車載用としての応用が求められており、今後、カーブ形状パネルの採用が進むと考えられる。7図（c）のように局所的に湾曲させる形状は、スマートフォンで採用されている。パネル端部を折り込むことで正面から見えるベゼルを極限まで狭くすることが可能であり、画面占有率を向上させることができる。さらには、正面だけでなく側面にも連続して画像を表示することができる。

7図（a）～（c）のように一定形状で使用するディスプレイの場合、プラスチックフィルムで形成後もガラスなどの硬い素材でディスプレイをカバーすることが可能であり、封止性能を得られやすい。これらに対して7図（d）、（e）に示すように変形して使用する場合は、封止性能の向上が必要な点に加えて、繰り返しの湾曲耐性が求められる。技術的な難易度は飛躍的に増すが、収納性が格段に向上することが大きなメリットとなる。7図（d）に示す折りたたみが可能なフォルダブルタイプは、既にスマートフォンで実用化されている。ディスプレイを折り紙のように完全に折り曲げてしまうとTFTや発光素子、プラスチックフィルムの損傷を避けることが困難なため、折り曲げる部分がある程度の曲率で湾曲するように治具を設置することが一般的である。この曲率は、折りたたんだときのデバイス全体の厚さに影響することから、より小さい曲率で折り曲げることが望ましい。また、ディスプレイを山折りにするか谷折りにするかでも求められる曲率半径が変わってくる。湾曲によってディスプレイ内部のデバイスや配線に応力



8図 ストレッチャブルディスプレイの応用例

がかかるため、これを抑制するためのディスプレイ構造の設計、ディスプレイの薄型化、応力の分散方法なども検討されている。7図(e)に示すローラブルは、ディスプレイを視聴しないときは丸めて収納し、視聴するときに広げることが想定される。ローラブルの場合、ディスプレイを構成する2枚の基板に対して丸めるときの内径と外径の差によって生じるひずみが課題の一つとなり、ディスプレイの薄型化や応力を緩和するための構造設計が重要となる。

柔らかく湾曲可能なだけでなく、伸縮可能な基板を用いたストレッチャブルディスプレイの研究開発も活発に進められている。ストレッチャブルディスプレイにおいても一定形状で使用する場合(8図(a))と、積極的に形状を変形する場合(8図(b))の2種類がある。伸縮性の高い材料を基板に用いることができれば、8図(a)に示す球形形状のような多方向に湾曲する立体形状ディスプレイの実現も期待できる。立体形状の実現に向けて、熱可塑性樹脂を基板に用いる手法が提案されている。ディスプレイを製作した後、基板を加熱することで樹脂を軟化し、真空中で金型につきあてることで形状を変形させる。一方、8図(b)のように積極的に形状を変化させる場合は、映像だけでなくディスプレイ自体の形状を自由に变形させ、あたかも物体がそこにあるかのような表現の実現が期待される(自由形状)。また、皮膚に貼り付けた状態でも、高い伸縮性を利用して筋肉や関節の動きに対応可能なウェアラブルディスプレイへの応用も考えられる。ストレッチャブルディスプレイはディスプレイ構造から伸縮材料の開発まで技術課題が多いが、フレキシブルディスプレイ以上に魅力的な特徴を備えており、今後の開発動向が注目される。

3. フレキシブルディスプレイの開発動向

本章では、フレキシブル有機ELディスプレイの開発動向を示す。2表に、主なフレキシブル有機ELディスプレイの開発例とその特徴を示す。

2表(a)は、LG Display社が開発した極薄のガラス基板を用いたローラブルディスプレイである。ガラス基板を薄くすることで湾曲させたり、丸めて台座に収納したりできる。ガラス基板を用いるため水分や空気に対する封止性能が高く、有機ELの寿命の課題もクリアできるため、既に65インチのサイズで実用化されている。

2表(b)は、極薄のガラス基板を用いたフォルダブルタイプであり、Samsung Electronicsがスマートフォンで実用化した。フレキシブルディスプレイの高精細化、大画面化の開発も進められている。2表(c)は、(株)半導体エネルギー研究所が開発した高精細なフレキシブル8Kディスプレイであり、折りたたむことも可能である²⁴⁾。

2表(d)は、LG Displayが開発した画面サイズが77インチの大型フレキシブルディスプレイである。透過率の高いポリイミドフィルムを用い、画素に光を透過する領域を

2表 主なフレキシブル有機ELディスプレイの開発例

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	LG Display	Samsung Electronics	半導体エネルギー研究所	LG Display	NHK シャープ	Samsung Display
特徴	ローラブル ^{※1}	フォルダブル ^{※2}	高精細	大画面	ローラブル	ストレッチャブル ^{※3}
基板	ガラス	ガラス	プラスチック	プラスチック	プラスチック	伸縮基板
画面サイズ (インチ)	65	7.6	13.3	77	30	9.1
画素数	3840 × 2160	2208 × 1768	7680 × 4320	3840 × 2160	3840 × 2160	未公表

※1 ローラブル：巻き取り可能
 ※2 フォルダブル：折りたたみ可能
 ※3 ストレッチャブル：伸縮可能



9図 30インチ4Kフレキシブル有機ELディスプレイ

設けることで透過率40%を実現した。

2表 (e) は、NHKとシャープが共同開発した30インチの4Kフレキシブル有機ELディスプレイである (9図)^{25) 26)}。プラスチックフィルムを用いたローラブルディスプレイとしては最大クラスのサイズとなり、直径40 mmで巻き取りが可能である。このディスプレイを横に3枚並べて湾曲させることで、没入感を高める湾曲型ディスプレイを試作した (10図)²⁷⁾。頭をほぼ180°にわたって包み込むようにディスプレイを湾曲させて配置することで、視野全体を画面で覆うことができる。

2表 (f) は、Samsung Display社が開発した伸縮可能な基板上に形成されたストレッチャブル有機ELディスプレイである²⁸⁾。非伸縮領域に従来のTFTと有機ELを形成しており、画素間を伸縮させることで伸縮性を実現している。

これらのほかにもフレキシブルディスプレイの柔軟性を生かした開発例を2つ紹介する。1つはベゼル領域を湾曲させて隣接するディスプレイの下に重ねて配置し、2枚のディスプレイの画面間隔をほぼ無くすることができる²⁹⁾技術である。この技術を使うと、隣接するディスプレイとの境界を目立たなくし、複数のディスプレイを1枚の大き



10図 湾曲型ディスプレイ (30インチ×3)

なディスプレイのように見せることができる (半導体エネルギー研究所)。13.5インチ画素数1,280×720のフレキシブルディスプレイを6×6に配列することで、81インチで8Kのマルチディスプレイを実現した。もう一方は、ディスプレイの一部を曲げることで、地図のズームイン/アウトや電子書籍のページ送りなどに利用したもので³⁰⁾、直感的な操作を実現したディスプレイである ((株) 東芝)。

有機ELディスプレイ以外にもフレキシブル液晶ディスプレイの研究も進められているが、バックライトの柔軟性確保が大きな課題の一つである。また、フレキシブル基板上にマイクロLEDを配列したディスプレイの開発例もある。実用化に向けてLEDの実装手段に課題はあるが、今後注目される技術である。このように、フレキシブルディスプレイの研究開発は活発に続けられており、その特徴を生かしたさまざまな応用が提案されている。

4. むすび

本稿では、フレキシブルディスプレイの構造や要素技術の研究開発動向について解説した。フレキシブルディスプレイは、薄くて軽く、曲がるといった特徴を活かして、幅広い応用が考えられ、活発に研究開発および実用化が進められている。さらに、伸縮可能なストレッチャブルディスプレイや立体形状ディスプレイなど、これまでにない新しい表示デバイスへと発展しつつある。

当所では、2030～2040年に向けた「放送メディアの未来ビジョン」¹⁾を公表しており、その中では日常のあらゆる生活空間で好みの表示デバイスを使って没入感・臨場感あふれるコンテンツを視聴・体感できるとしている。表示デバイスには、これまで以上に新しく多様な視聴スタイルへの対応が求められる。

未来の放送メディアとして、これまでのテレビの枠を超えた魅力あるサービスを提供できるよう、今後もフレキシブルディスプレイやその要素技術の研究開発を進めていく。

参考文献

- 1) https://www.nhk.or.jp/str/future_vision/index.html
- 2) K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano and H. Hosono : "Room-temperature Fabrication of Transparent Flexible Thin-film Transistors Using Amorphous Oxide Semiconductors," *Nature*, Vol.432, pp.488-492 (2004)
- 3) T. K. Chamg, C. W. Lin and S. Chang : "LTPO TFT Technology for AMOLEDs," *SID2019 Digest*, 39.3, pp.545-548 (2019)
- 4) S. Wang, J. Xu, W. Wang, G. N. Wang, R. Rastak, F. M. Lopez, J. W. Chung, S. Niu, V. R. Feig, J. Lopez, T. Lei, S. K. Kwon, Y. Kim, A. M. Foudeh, A. Ehrlich, A. Gasperini, Y. Yun, B. Murmann, J. B.-H. Tok and Z. Bao : "Skin Electronics from Scalable Fabrication of an Intrinsically Stretchable Transistor Array," *Nature*, Vol.555, pp.83-88 (2018)
- 5) N. Matsuhisa, M. Kaltenbrunner, T. Yokota, H. Jinno, K. Kuribara, T. Sekitani and T. Someya : "Printable Elastic Conductors with a High Conductivity for Electronic Textile Applications," *Nat. Commun.*, Vol.6, 7461 pp.1-11 (2015)
- 6) H. Fukagawa, K. Morii, M. Hasegawa, Y. Arimoto, T. Kamada, T. Shimizu and T. Yamamoto : Highly Efficient and Air-stable Inverted Organic Light-emitting Diode Composed of Inert Materials," *Appl. Phys. Express*, Vol.7, 082104 (2014)
- 7) H. Fukagawa, T. Sasaki, T. Tsuzuki, Y. Nakajima, T. Takei, G. Motomura, M. Hasegawa, K. Morii and T. Shimizu : "Long-lived Flexible Displays Employing Efficient and Stable Inverted Organic Light-emitting Diodes," *Adv. Mater.*, Vol.30, 1706768 (2018)
- 8) Y. Zhou, C. Fuentes-Hernandez, J. Shim, J. Meyer, A. J. Giordano, H. Li, P. Winget, T. Papadopoulos, H. Cheun, J. Kim, M. Fenoll, A. Dindar, W. Haske, E. Najafabadi, T. M. Khan, H. Sojoudi, S. Barlow, S. Graham, J.-L. Brédas, S. R. Marder, A. Kahn and B. Kippelen : "A Universal Method to Produce Low-work Function Electrodes for Organic Electronics," *Science*, Vol.336, pp.327-332 (2012)
- 9) G. Tang, M. N. Syafiqah, Q.-M. Koh, C. Zhao, J. Zaini, Q.-J. Seah, M. J. Cass, M. J. Humphries, I. Grizzi, J. H. Burroughes, R.-Q. Png, L.-L. Chua and P. K. H. Ho : "Multivalent Anions as Universal Latent Electron Donors," *Nature*, Vol.573, pp.519-525 (2019)
- 10) Z. Bin, G. Dong, P. Wei, Z. Liu, D. Zhang, R. Su, Y. Qiu and L. Duan : "Making Silver a Stronger n-dopant Than Cesium via in Situ Coordination Reaction for Organic Electronics," *Nat. Commun.*, Vol.10, 866 pp.1-7 (2019)
- 11) H. Fukagawa, K. Suzuki, H. Ito, K. Inagaki, T. Sasaki, T. Oono, M. Hasegawa, K. Morii and T. Shimizu : "Understanding Coordination Reaction for Producing Stable Electrode with Various Low Work Functions," *Nat. Commun.*, Vol.11, 3700 pp.1-8 (2020)
- 12) H. Fukagawa, M. Hasegawa, K. Morii, K. Suzuki, T. Sasaki and T. Shimizu : "Universal Strategy for Efficient Electron Injection into Organic Semiconductors Utilising Hydrogen Bonds," *Adv. Mater.*, Vol.31, 1904201 (2019)
- 13) T. Sasaki, M. Hasegawa, K. Inagaki, H. Ito, K. Suzuki, T. Oono, K. Morii, T. Shimizu and H. Fukagawa : "Unravelling the Electron Injection/transport Mechanism In Organic Light-emitting Diodes," *Nat. Commun.*, Vol.12, 2706, pp.1-8 (2021)
- 14) Y. Shirasaki, G. J. Supran, M. G. Bawendi and V. Bulović : "Emergence of Colloidal Quantum-dot Light-emitting Technologies," *Nat. Photonics*, Vol.7, pp.13-23 (2013)
- 15) X. Dai, Z. Zhang, Y. Jin, Y. Niu, H. Cao, X. Liang, L. Chen, J. Wang and X. Peng : "Solution-processed, High-performance Light-emitting Diodes Based on Quantum Dots," *Nature*, Vol. 515, pp.96-99 (2014)
- 16) Y.-H. Won, O. Cho, T. Kim, D.-Y. Chung, T. Kim, H. Chung, H. Jang, J. Lee, D. Kim and E. Jang : "Highly Efficient and Stable InP/ZnSe/ZnS Quantum Dot Light-emitting Diodes," *Nature* Vol.575, pp. 634-651 (2019)



なかた みつる
中田 充

2010年入局。同年から放送技術研究所において、フレキシブルディスプレイ、酸化物薄膜トランジスターの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部副部長。博士(工学)。



ふかがわ ひろひこ
深川 弘彦

2007年入局。同年から放送技術研究所において、フレキシブル有機ELディスプレイの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部上級研究員。博士(工学)。

- 17) T. Kim, K.-H. Kim, S. Kim, S.-M. Choi, H. Jang, H.-K. Seo, H. Lee, D.-Y. Chung and E. Jang : “Efficient and Stable Blue Quantum Dot Light-emitting Diode,” Nature, Vol.586, pp. 385-401 (2020)
- 18) Y. Iwasaki, G. Motomura, K. Ogura and T. Tsuzuki : “Efficient Green InP Quantum Dot Light-emitting Diodes Using Suitable Organic Electron-transporting Materials,” Appl. Phys. Lett., Vol.117, 11, pp.111104.1-111104.4 (2020)
- 19) T. Uematsu, K. Wajima, D. K. Sharma, S. Hirata, T. Yamamoto, T. Kameyama, M. Vacha, T. Torimoto and S. Kuwabata : “Narrow Band-edge Photoluminescence from AgInS₂ Semiconductor Nanoparticles by the Formation of Amorphous III-VI Semiconductor Shells,” NPG Asia Mater. Vol.10, pp.713-726 (2018)
- 20) G. Motomura, K. Ogura, Y. Iwasaki, T. Uematsu, S. Kuwabata, T. Kameyama, T. Torimoto and T. Tsuzuki : “Electroluminescence from Band-edge-emitting AgInS₂/GaS_x Core/shell quantum Dots,” Appl. Phys. Lett. Vol.117, 9, pp.091101.1-091101.5 (2020)
- 21) T. Wang, Y. Zhang, Y. Gao, Z. Zhang, Z. Chen, D. Li, W. Mei, Y. Li, L. Zhou, C. Pei, J. Yu, H. Shi, J. Liao and X. Li, X. Xu : “Development of Ink-jet Printing Process for 55-inch UHD AMQLED Display,” SID2021 Digest, 63.4, pp.930-932 (2021)
- 22) Y. Nakanishi, T. Takeshita, Y. Qu, H. Imabayashi, S. Okamoto, H. Utsumi, M. Kanehiro, E. Angioni, E. A. Boardman, I. Hamilton, A. Zampetti, V. Berryman-Bousquet and T. M. Smeeton : “Active Matrix QD-LED with Top Emission Structure by UV Lithography for RGB Patterning,” J. Soc. Inf. Disp., Vol.28, No.6, pp.499-508 (2020)
- 23) 中田 : “フレキシブルディスプレイの開発動向,” 映情学誌, Vol.74, No.4, pp.635-639 (2020)
- 24) K. Takahashi, T. Sato, R. Yamamoto, H. Shishido, T. Isa, S. Eguchi, H. Miyake, Y. Hirakata, S. Yamazaki, R. Sato, H. Matsumoto and N. Yazaki : “13.3-inch 8k4k 664-ppi Foldable OLED Display Using Crystalline Oxide Semiconductor FETs,” SID2015 Digest, 18.4, pp.250-253 (2015)
- 25) https://www.nhk.or.jp/pr/marukaji/pdf_ver/447.pdf
- 26) <https://corporate.jp.sharp/news/191108-a.html>
- 27) <https://www.nhk.or.jp/strl/open2021/tenji/5/index.html>
- 28) J. Hong, J. Shin, G. Kim, H. Joo, G. Park, I. Hwang, M. Kim, W. Park, H. Chu and S. Kim : “The First 9.1-inch Stretchable AMOLED Display Based on LTPS Technology,” SID2017 Digest, 5.5, pp.47-50 (2017)
- 29) D. Nakamura, H. Ikeda, N. Sugisawa, Y. Yanagisawa, S. Eguchi, S. Kawashima, M. Shiokawa, H. Miyake, Y. Hirakata, S. Yamazaki, S. Idojiri, A. Ishii and M. Yokoyama : “An 81-in. 8k x 4k OLED Kawara-Type Multidisplay that Provides a Seamless, Continuous Image,” SID2015 Digest, 70.2, pp.1031-1034 (2015)
- 30) H. Yamaguchi, T. Ueda, K. Miura, N. Saito, S. Nakano, T. Sakano, K. Sugi and I. Amemiya : “Flexible AMOLED Displays Driven by a-IGZO TFTs and Their Applications,” Proc.IDW/AD’12, AMD8/FLX7-1, pp.851-854 (2012)



しみず たかひさ
清水 貴央

2010年入局。同年から放送技術研究所において、フレキシブル有機ELディスプレイの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部上級研究員。博士(工学)。



つつき としみつ
都築 俊満

2002年入局。放送技術研究所、松山放送局、高知放送局を経て、2013年から放送技術研究所において、フレキシブルディスプレイおよび量子ドットEL素子の研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部上級研究員。博士(工学)。

フレキシブル有機ELディスプレイ用 電子注入材料の開発

佐々木 翼 大野 拓 清水貴央 深川弘彦

Development of electron injection materials for flexible OLEDs

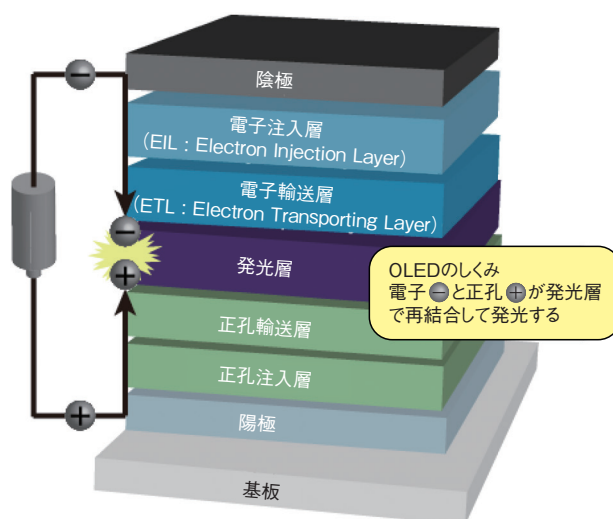
SASAKI Tsubasa, OONO Taku, SHIMIZU Takahisa and FUKAGAWA Hirohiko

要 約

フレキシブル有機ELディスプレイの実用化・普及には、酸素や水分に弱いアルカリ金属などを含まない大気安定性のある材料を用いたOLED（Organic Light Emitting Diode）のデバイス開発が重要となっている。特に電子を効率よく発光層へ注入する電子注入層において、今回、アルカリ金属と同等以上の電子注入性を示す新たな電子注入材料を開発した。さらに、エネルギーレベルとOLEDの電圧-発光特性との相関を調べることでOLEDにおける電子注入・輸送機構を明らかにした。これらの結果から、優れた電子注入性をもつ本材料を用いることで、OLEDの積層構造を簡素化しながらも低電圧・長寿命なOLEDを実現した。

ABSTRACT

The development of air-stable materials without use of alkali metals, which are quite sensitive to oxygen and moisture, has become important for the practical application and spread of flexible OLED displays. For the electron injection layer which efficiently injects electrons into the light-emitting layer, we have developed a new material that exhibits electron injection properties equivalent to or better than those of alkali metals. Furthermore, we clarified the electron injection and transport mechanisms in OLEDs by studying the correlation between the energy level and OLED properties. By using the new electron injection material with excellent electron injection properties, we realized an OLED with low voltage and long life while simplifying the OLED stacking structure.



1図 OLEDの基本的な構造

1. はじめに

OLED^{*1}は近年スマートフォンや各種ディスプレイに使用され始めており、次世代ディスプレイであるフレキシブルディスプレイに適した発光デバイスとして期待されている。OLEDの研究開発は1987年の報告を皮切りに盛んに行われ、現在では1図に示すようなさまざまな役割をもつ層で形成されており、それぞれの層に適した材料の開発が進められてきた^{1)~4)}。特に、発光材料の開発は蛍光^{*2}から始まり、リン光^{*3}材料・TADF^{*4}材料と発光機構の解明とともに目覚ましい進歩を遂げ、OLEDの高効率化が実現されてきた^{5)~7)}。

一方、OLEDの電子注入層 (EIL: Electron Injection Layer)・電子輸送層 (ETL: Electron Transporting Layer) に用いられる材料は、約20年間大きく変化していない^{2)~4)}。電子注入層には仕事関数^{*5}の小さいリチウム (Li) などのアルカリ金属を使用し、電子輸送層にはピリジン^{*6}などの含窒素複素環^{*7}を有する典型的な電子輸送材料を用いることが常識となっている。これらの材料を用いることで、電子を陰極から発光層へ効率的に運ぶことができ、低電圧で駆動可能なOLEDを実現できている。しかし、その電子注入・輸送機構については、深く議論されておらず、詳細には明らかになっていない。これを明らかにすることができれば、今後さらなる低電圧化・長寿命化などが期待できる。

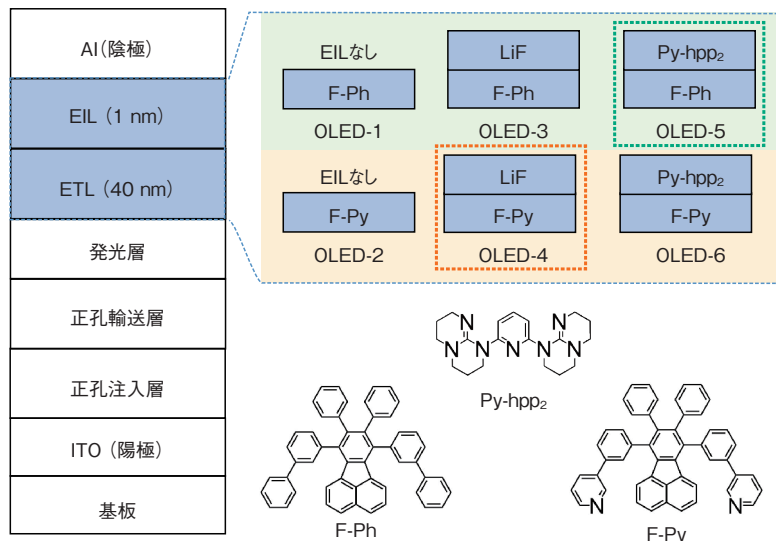
今回、陰極の仕事関数を大幅に小さくできる新たな電子注入材料を開発し、1図の電子注入層と発光層の間にある電子輸送層としてさまざまな材料を用いて試作したOLEDの特性を評価することで、電子注入・輸送機構の解明に成功した⁸⁾。試作したOLEDの駆動電圧

とOLED内のエネルギーレベルとの相関関係について、紫外線光電子分光法 (UPS: Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy)^{*8}、低エネルギー逆光電子分光法 (LEIPS: Low-energy Inverse Photoemission Spectroscopy)^{*9}を用い、詳細に調査した⁹⁾。本稿では、これらの結果から明らかになった電子注入・輸送機構の詳細と、開発した新規電子注入材料、およびそれを用いたOLEDの特性について報告する。

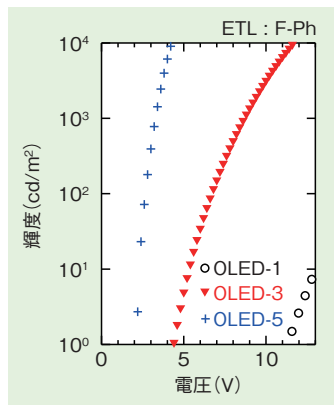
2. 駆動電圧と電子注入障壁との相関

本章では、電子注入・輸送機構を明らかにするため、発光層に緑色リン光材料を使用し、電子注入層および電子輸送層にさまざまな材料を使用し、そのデバイスの発光特性について調査した。

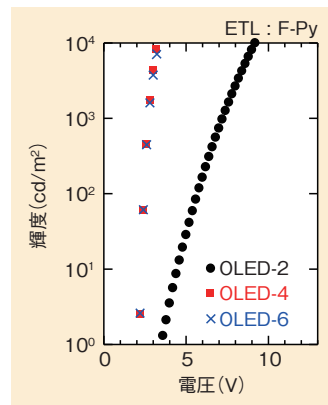
- *1 有機ELは、有機エレクトロルミネッセンス (Electroluminescence) の略称であって有機材料に電圧をかけると発光する現象の総称である。この現象を利用した発光ダイオードはOLEDと略称される。
- *2 発光の種類の一つ。エネルギーを吸収し、励起一重項状態を経た発光。電気エネルギーを発光エネルギーに約25%変換できる材料。
- *3 発光の種類の一つ。エネルギーを吸収し、励起三重項状態を経た発光。電気エネルギーを発光エネルギーに約100%変換できる材料。
- *4 熱活性化遅延蛍光 (Thermally Activated Delayed Fluorescence) の略。熱エネルギーを利用することで、100%近く電気エネルギーを発光エネルギーに変換することができる材料。
- *5 物質の表面から1個の電子を無限遠まで取り出すのに必要な最小のエネルギー。
- *6 炭素原子6個が正六角形の6員環をなしているベンゼンの炭素原子1つが窒素原子に置き換わった構造をもつもの。
- *7 分子を構成する原子が環状に結合したもので、原子が2種以上で構成されているもの。主に炭素と窒素で環状を形成しているものを含窒素複素環という。
- *8 紫外光を照射することで放出される電子の運動エネルギーを測定し、試料表面のエネルギー状態を調べる手法。
- *9 電子線ビームを照射することで放出される光を測定し、試料表面のエネルギー状態を調べる手法。通常の逆光電子分光法より低エネルギーの電子線ビームを利用することで、有機材料を壊さずに測定可能にしている。



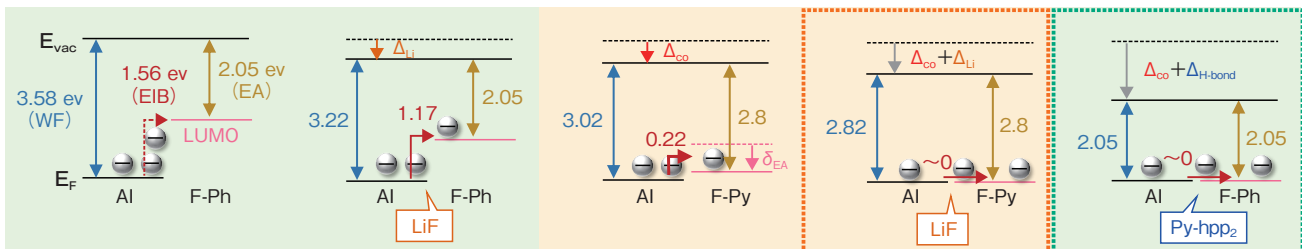
(a) OLEDの層構成と使用した主な材料の分子構造



(b) F-Phを電子輸送層に用いた OLEDの輝度-電圧特性



(c) F-Pyを電子輸送層に用いた OLEDの輝度-電圧特性



(d) OLED-1のエネルギー図 (e) OLED-3のエネルギー図 (f) OLED-2のエネルギー図 (g) OLED-4のエネルギー図 (h) OLED-5のエネルギー図

2図 電子注入層および電子輸送層の組み合わせにおけるOLED特性とエネルギー図

2.1 電子注入障壁と駆動電圧

作製したOLEDの層構成と使用した主な材料の分子構造を2図(a)に示す。電子注入層には新規材料である2,6-bis(1,3,4,6,7,8-tetrahydro-2H-pyrimido[1,2-a]pyrimidine) (Py-hpp₂) と一般的な材料であるフッ化リチウム (LiF) を、電子輸送層には7,10-bis(biphenyl-3-yl)-8,9-dipheylfluoranthene (F-Ph) と7,10-bis(3-[pyridine-3-yl]phenyl)-8,9-dipheylfluoranthene (F-Py) を用いた。

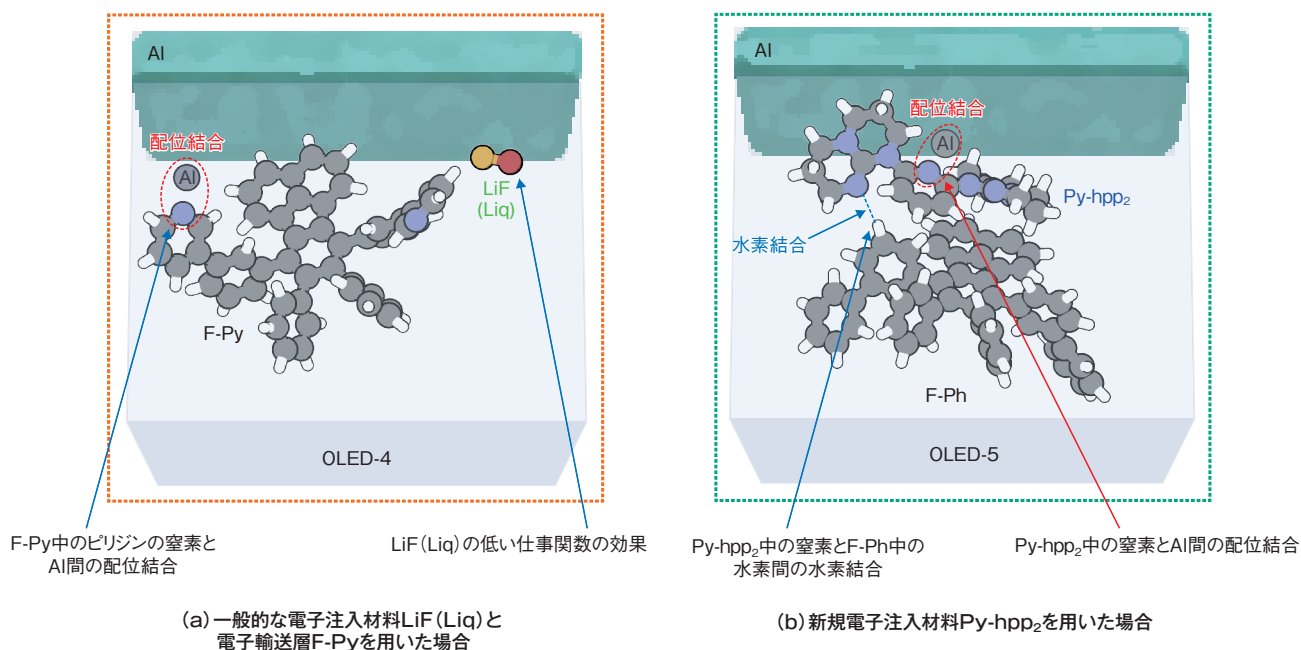
2図(a)に示すとおり、電子注入層と電子輸送層の組み合わせを変えて作製した6種類のOLEDを、

OLED-1～OLED-6と定義する。OLED内の電子注入障壁 (EIB: Electron Injection Barrier) は電子輸送層に用いる材料の電子親和力*10と陰極近傍の仕事関数のエネルギー差で表され、電子親和力はLEIPS、仕事関数はUPSにより測定した。

電子輸送層として用いたF-PhとF-Pyの電子親和力はそれぞれ2.05 eV*11と2.16 eVと同程度の値である。し

*10 原子、分子または物質の表面から1個の電子を与えたときに放出されるエネルギー。

*11 electron volt: エネルギーの単位。



3図 電子注入障壁を低減させる陰極付近の材料構成図

かし、2図(b)、(c)に示す通り、一般的な電子注入材料であるLiFを用いたOLED-3/OLED-4と電子注入層を用いずに作製したOLED-1/OLED-2の特性を比較すると、F-Pyを電子輸送層として用いたOLED-4の方がF-Phを電子輸送層として用いたOLED-3に比べ低い電圧で発光が得られた。同様にOLED-2の方がOLED-1に比べ低い電圧で発光が得られた。このF-Pyを用いたOLEDの低い駆動電圧について、これまでは、分子構造に窒素有するピリジン環を含むF-Pyの方がF-Phに比べて電子輸送性が高いため、低電圧で発光するという考え方が一般的であった。

しかしながら、実際には電子注入層にPy-hpp₂を用いたOLED-5/OLED-6では、電子輸送層に依存することなく、同程度の輝度-電圧特性が得られた。これら駆動電圧の違いを解析したところ、OLEDの駆動電圧と電子注入障壁に強い相関があることが分かった[2図(d)-(h)]。2図(d)に示すとおり、OLED-1においてAl/F-Ph界面には1.56 eVの大きな電子注入障壁が存在し、これにより駆動電圧が高くなっている。LiFを挿入したOLED-3では、LiFの仕事関数は比較的小さいため、電極近傍の仕事関数は3.22 eVまで小さくなり[Δ_{Li} , 2図(e)], 電子注入障壁も1.17 eVまで小さくなることで低電圧化している。

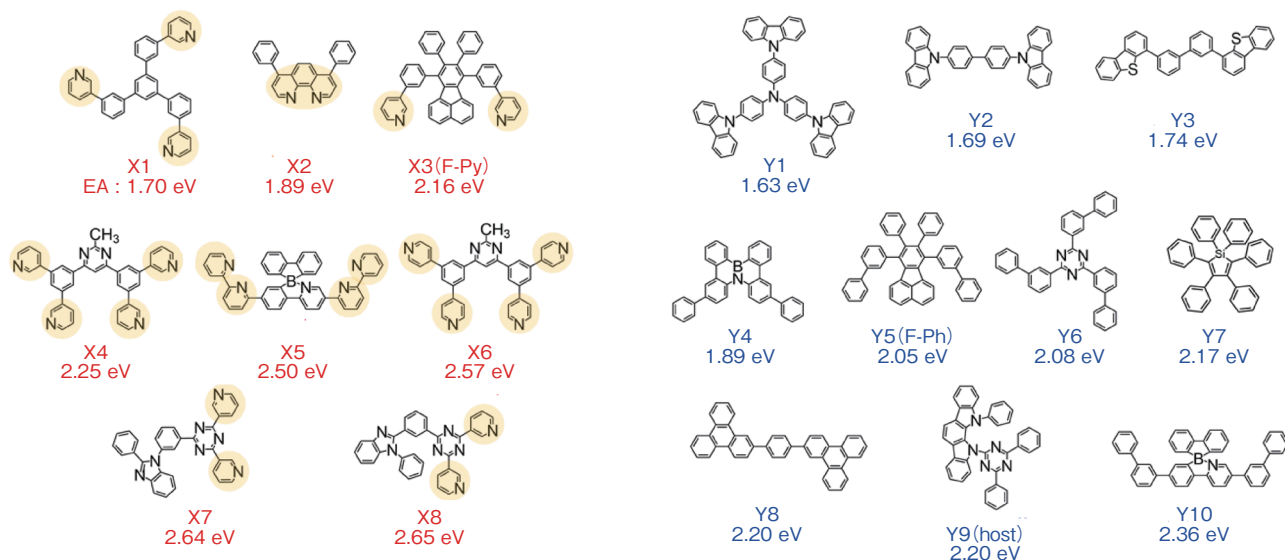
これに対し、電子輸送層にF-Pyを用いたOLEDでは、3図(a)に示すようにF-Py中のピリジンの窒素と、上部電極であるAlとの間で配位結合を形成することで電子注入障壁が大きく低減することを見出した^{10) 11)}。配位

結合の形成により仕事関数が小さくなり[Δ_{Co} , 2図(f)], F-Pyの電子親和力も大きくなる[δ_{EA} , 2図(f)]ことでF-Phを用いた場合に比べて、電子注入障壁が小さくなり駆動電圧が低くなっている。

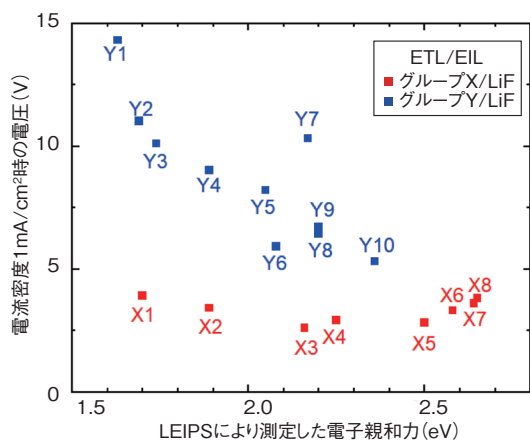
さらに、2図(g)に示すように、電子注入障壁が小さい界面にLiFを挿入することで仕事関数を小さくでき、電子注入障壁がほぼゼロとすることで低電圧駆動を実現できている。電子輸送層にF-Phを用いた場合でも低電圧駆動の特性を示すAl/Py-hpp₂/F-Ph界面の電子注入障壁を調べたところ、AlとF-Phの間にPy-hpp₂を挿入することによりAl陰極の仕事関数を約2 eVまで小さくすることができ、電子注入障壁がゼロであることが分かった(2図(h))。つまり、電子注入障壁をゼロにすることができれば、電子輸送層にピリジンを含む典型的な電子輸送材料を用いることなく、低電圧で高い輝度が得られることが見いだされた。

2.2 水素結合と配位結合による電子注入障壁の低減

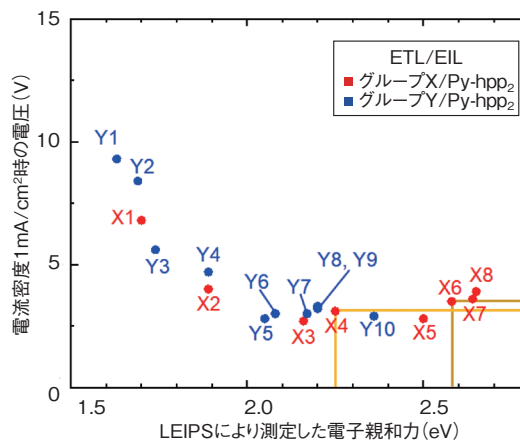
Py-hpp₂を挿入することで電子注入障壁がゼロになる現象については、水素結合と配位結合によるものであることが分かった。具体的には、3図(b)に示すようにF-Ph上にPy-hpp₂を成膜することで、Py-hpp₂中の窒素とF-Ph中の水素との間で水素結合が形成され、これが引き起こす分極により仕事関数が減少する¹²⁾。さらに、Py-hpp₂上にAlを成膜すると、Py-hpp₂中では窒素とAlとの間で配位結合が形成され、さらに仕事関数が減少する^{10) 11)}。



(a) OLEDの電子輸送層に用いた材料の分子構造



(b) OLEDの電子注入層の材料としてLiFを用いた場合



(c) OLEDの電子注入層の材料としてPy-hpp₂を用いた場合

4図 電子輸送層に用いた材料構造, 駆動電圧と電子親和力の相関関係

このように、Py-hpp₂をAlとF-Phの間に挿入することにより仕事関数を大幅に低減でき、約2 eVという極めて小さい仕事関数を有する電極が実現できた。発光層に電子を届けるには、陰極/電子輸送層界面における電子注入過程と電子輸送層（膜厚40 nm）内を電子が輸送される過程の2つが存在するが、この結果より、発光層に電子を届けるために必要な電圧は、主に電子注入障壁によって支配されている可能性が示唆された。

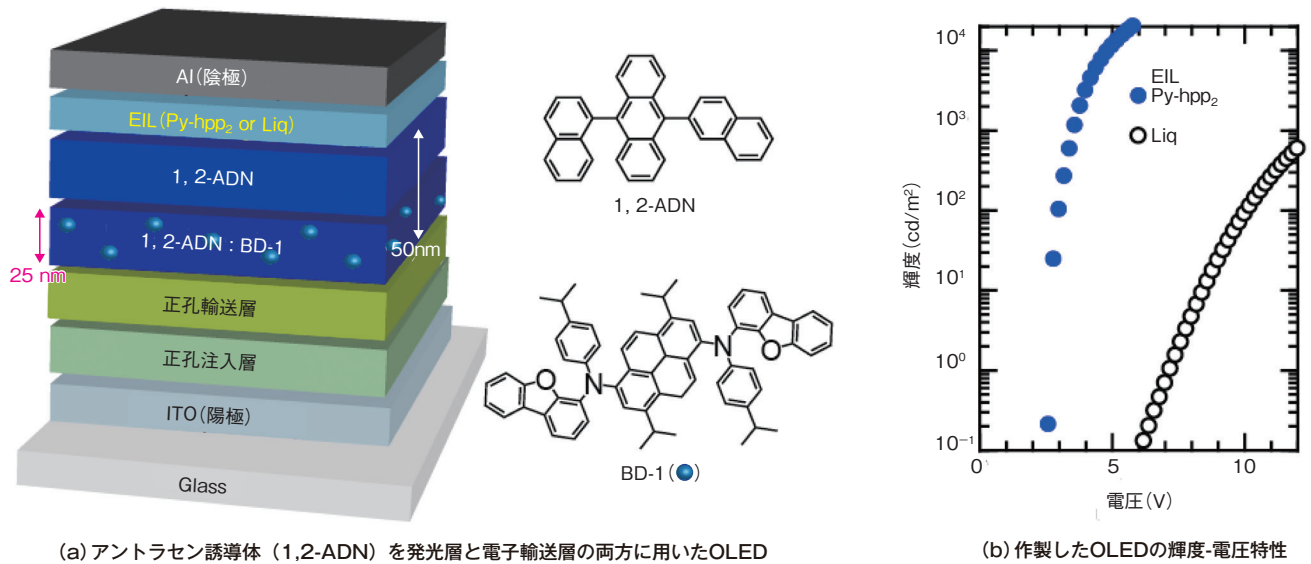
3. 電子輸送材料に依存するデバイス特性

本章では、OLEDにおける電子注入・輸送機構についてより詳細に議論するため、2図(a)の電子輸送層として4図(a)に示す18種類の材料を用いてOLEDを作製し、それぞれの材料物性とOLEDの駆動電圧との相関について調べた。

電子輸送層に用いた18種類の材料は、2つのカテゴリーに分けられる。ピリジンなど窒素有する環状化合物（含窒素複素環）を持つような一般的に広く電子輸送層に用いられる材料群であるXグループと、一般的に電子輸送層として用いられない材料群であるYグループである。陰極/電子注入層の仕事関数と電子輸送層に用いる材料との間の電子注入障壁がOLED特性に及ぼす影響を観測するため、電子親和力が異なる材料を選択して実験した。

4図(b)と(c)には、それぞれ電子注入層にLiFとPy-hpp₂を用いて作製したOLEDの1 mA/cm²時の電圧値とLEIPSによって求めた電子輸送層材料の電子親和力の関係を相関プロットとして示している。

4図(b)から分かるように、電子注入層にLiFを用いた場合、Xグループを用いたOLEDは全体的に低い電圧値を示しているが、Yグループを用いたOLEDは高い



(a) アントラセン誘導体 (1,2-ADN) を発光層と電子輸送層の両方に用いたOLED

(b) 作製したOLEDの輝度-電圧特性

5図 簡素化した青色OLEDの構造と特性

電圧値を示している。前章で説明したように、Xグループの材料では材料中の窒素が陰極であるAlとの結合（配位結合^{*12}）を形成することで電子注入障壁が減少しているが、Yグループではこの配位結合が起これないため電子注入障壁が大きく、駆動電圧が高いと考えられる。

これに対し、電子注入層にPy-hpp₂を用いた4図(c)では、Yグループを用いたOLEDの駆動電圧が大幅に減少している。駆動電圧は分子構造に依存せず、電子親和力とのみ強い相関が確認できる。前章で示したとおり、Py-hpp₂を用いることでAlの仕事関数を約2 eVまで小さくできるが、電子輸送層に用いる材料の電子親和力が2 eVよりも小さくなると駆動電圧が増加している。これは、Al/Py-hpp₂/電子輸送層界面での電子注入障壁の増加に起因すると考えるのが妥当である。電子注入材料としてPy-hpp₂を用いることにより、電子親和力が2 eVよりも大きい有機材料に対しては電子輸送材料の分子構造に依存することなく電子を注入でき、駆動電圧の低いOLEDが実現できる。

次に、膜厚が40 nmの電子輸送層内での電子の輸送過程が駆動電圧に及ぼす影響について考察する。分子構造が類似したX4とX6とで比較した場合、電子の運びやすさの指標である電子移動度は、X6が10⁻³ cm²/Vsであるのに対し、X4は10⁻⁴ cm²/Vsである。それにもかかわらず、X4を用いたOLEDの方がX6を用いた方より駆動電圧は低い¹³。したがって、OLEDの電子輸送層に用いる40 nm程度の膜厚では、電子移動度が駆動電圧に及ぼす影響は小さいと言える。これらの結果より、OLED中の電子注入障壁をゼロに近づけることで電子を発光層に低い電圧で届けることができると結論づけられた。

4. 構造を簡素化した青色OLED

本章では、Py-hpp₂を用いることで、電子輸送層に用いる材料選択の自由度が格段に向上することを生かし、簡素化した構造^{*13}で高性能な青色蛍光OLEDを実現したことを紹介する。5図(a)に示すように、一般的な青色蛍光デバイスの発光層ホストであるアントラセン誘導体(1,2-ADN)を発光層と電子輸送層の両方に用いることで積層構造を簡素化したOLEDを作製した¹⁴。このOLEDでは、電子注入層としてPy-hpp₂もしくは8-hydroxyquinolinolato-lithium(Liq)を用いている。5図(b)に作製したOLEDの輝度-電圧特性を示す。1,2-ANDの電子親和力は約2.1 eVであり、比較のために作製した電子注入層にLiqを用いたOLEDでは電子注入が困難であるため駆動電圧が高いのに対し、電子注入層にPy-hpp₂を用いることで低電圧駆動が可能になり、3Vで100 cd/m²、3.6 Vで1,000 cd/m²の輝度と9%以上の高い外部量子効率を得られた。さらに、加速評価により算出した駆動寿命は、初期輝度100 cd/m²からの輝度半減寿命は100万時間以上という極めて長い値を示した。これらの結果より、Py-hpp₂を用いることで、駆動電圧が低く・駆動安定性が高い簡素化した青色OLEDの作製に成功した。

*12 窒素原子などに存在する余った電子（孤立電子対）が、金属の空の電子軌道に入り込むことで形成された結合。

*13 従来の青色蛍光OLEDでは、赤色や緑色に比べて陰極から発光層への電子注入が困難なため、陰極と発光層の間に多層積層やドーブ層などの複雑な層構成を用いることで低い駆動電圧と高い駆動安定性を確保していた。

5. まとめ

本稿では、OLEDにおいて、酸素や水分に弱いアルカリ金属を用いない新規電子注入材料の開発に成功したことを報告した。開発した電子注入材料は、非常に高い電子注入性を有しており、従来の電子輸送材料を必要としないで低電圧駆動可能なOLEDを実現できることが分かった。これにより、これまでは実現が難しかった低電圧駆動・長寿命な簡素化した構造の青色蛍光OLEDを実現した。

また、OLEDの電子注入・輸送機構について、低い外部電圧で陰極から発光層に電子を届けるには、陰極近傍の仕事関数と電子輸送層に用いた材料の電子親和力のエネルギー差である電子注入障壁を最小限にすることが重要であり、有機層内の電子輸送の影響は小さいことが分かった。今回の成果により、OLEDを構成する他の層の材料革新やデバイス構造の革新が期待され、OLEDの高性能化・高機能化につながると考えられる。また、これまでは不可欠であったアルカリ金属などの耐水性の低い材料が不要になるため、OLEDを用いたフレキシブルディスプレイの実用化・普及につながる研究の進展も期待できる。

本稿は、Nature Communications誌に掲載された以下の論文を元に加筆・修正したものである。

T. Sasaki, M. Hasegawa, K. Inagaki, H. Ito, K. Suzuki, T. Oono, K. Morii, T. Shimizu and H. Fukagawa : "Unravelling the Electron Injection/transport Mechanism in Organic Light-emitting Diodes," Nat. Commun., Vol.12, 2706 pp.1-8 (2021)

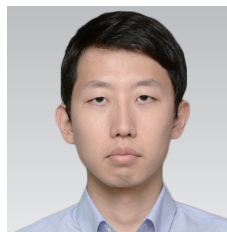
参考文献

- 1) C. W. Tang and S. A. VanSlyke : "Organic Electroluminescent Diodes," Appl. Phys. Lett., Vol.51, pp.913-915 (1987)
- 2) L. S. Hung, C. W. Tang and M. G. Mason : "Enhanced Electron Injection in Organic Electroluminescence Devices Using an Al/LiF Electrode," Appl. Phys. Lett., Vol.70, pp.152-154 (1997)
- 3) K. Walzer, B. Maennig, M. Pfeiffer and K. Leo : "Highly Efficient Organic Devices Based on Electrically Doped Transport Layers," Chem. Rev., Vol.107, pp.1233-1271 (2007)
- 4) L. Xiao, Z. Chen, B. Qu, J. Luo, S. Kong, Q. Gong and J. Kido : "Recent Progresses on Materials for Electrophosphorescent Organic Light-emitting Devices," Adv. Mater., Vol.23, pp.926-952 (2011)
- 5) D. Y. Kondakov, T. D. Pawlik, T. K. Hatwar and J. P. Spindler : "Triplet Annihilation Exceeding Spin Statistical Limit in Highly Efficient Fluorescent Organic Light-emitting Diodes," J. Appl. Phys., Vol.106, p.124510 (2009)
- 6) M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M. E. Thompson and S. R. Forrest : "Highly Efficient Phosphorescent Emission from Organic Electroluminescent Devices," Nature, Vol.395, pp.151-154 (1998)
- 7) H. Uoyama, K. Goushi, K. Shizu, H. Nomura and C. Adachi : "Highly Efficient Organic Light-emitting Diodes from Delayed Fluorescence," Nature, Vol.492, pp.234-238 (2012)
- 8) T. Sasaki, M. Hasegawa, K. Inagaki, H. Ito, K. Suzuki, T. Oono, K. Morii, T. Shimizu and H. Fukagawa : "Unravelling the Electron Injection/transport Mechanism in Organic Light-emitting Diodes," Nat. Commun., Vol.12, 2706 pp.1-8 (2021)
- 9) H. Yoshida : "Principle and Application of Low Energy Inverse Photoemission Spectroscopy: a New Method for Measuring Unoccupied States of Organic Semiconductors," J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., Vol.204, pp.116-124 (2015)
- 10) Z. Bin, G. Dong, P. Wei, Z. Liu, D. Zhang, R. Su, Y. Qiu and L. Duan : "Making Silver a Stronger n-dopant than Cesium via in Situ Coordination Reaction for Organic Electronics," Nat. Commun., Vol.10, 866 pp.1-7 (2019)
- 11) H. Fukagawa, K. Suzuki, H. Ito, K. Inagaki, T. Sasaki, T. Oono, M. Hasegawa, K. Morii and T. Shimizu : "Understanding Coordination Reaction for Producing Stable Electrode with Various low Work Functions," Nat. Commun., 11, Vol.11, 3700 pp.1-8 (2020)
- 12) H. Fukagawa, M. Hasegawa, K. Morii, K. Suzuki, T. Sasaki and T. Shimizu : "Universal Strategy for Efficient Electron Injection into Organic Semiconductors Utilising Hydrogen Bonds," Adv. Mater., Vol.31, 1904201 (2019)
- 13) H. Sasabe and J. Kido : "Multifunctional Materials in High-performance OLEDs: Challenges for Solid-state Lighting," Chem. Mater., Vol.23, pp.621-630 (2011)
- 14) S. Park, Y. Yi, S. W. Cho and H. Lee : "Work Function Reduction Using 8-hydroxyquinolinolato-lithium for Efficient Inverted Devices," Chem. Phys. Lett., Vol.652, pp.102-105 (2016)



さ さ き つばさ
佐々木 翼

2015年入局。同年から放送技術研究所において、フレキシブル有機ELディスプレイの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部に所属。



お お の た く
大野 拓

2012年入局。札幌放送局を経て、2014年から放送技術研究所において、フレキシブル有機ELディスプレイの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部に所属。



し み ず たかひさ
深川 貴央

2010年入局。同年から放送技術研究所において、フレキシブル有機ELディスプレイの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部上級研究員。博士（工学）。



ふかがわ ひろひこ
深川 弘彦

2007年入局。同年から放送技術研究所において、フレキシブル有機ELディスプレイの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部上級研究員。博士（工学）。

電子輸送材料を用いた 混合成膜による 高効率量子ドットEL素子の開発

岩崎有希子 本村玄一 都築俊満

Development of Efficient Quantum Dot Light-emitting Diodes Utilizing Emitting Layers Composed of Quantum Dots and Electron-transporting Materials

IWASAKI Yukiko, MOTOMURA Genichi and TSUZUKI Toshimitsu

要 約

広色域ディスプレイの実用化に向けて、低環境負荷の量子ドット材料を用いた量子ドットEL素子の研究開発を行っている。今回、カドミウムや鉛を含まない量子ドット材料と電子輸送材料を混合成膜した発光層を適用し、緑色の量子ドットEL素子を開発した。また、混合する電子輸送材料を適切に選択することでEL素子の高効率・低電圧化を実現した。さらに、適切な発光色を示す赤・緑・青色の量子ドット材料と電子輸送材料を発光層として混合成膜し、高色純度の量子ドットEL素子を開発した。

ABSTRACT

To improve the performance of low-toxicity quantum dot light-emitting diodes (QD-LEDs) with the goal of using them in wide color gamut displays, we developed green QD-LEDs with emitting layers composed of cadmium-free and lead-free QDs and organic electron-transporting materials (ETMs). Moreover, we improved their efficiency and driving voltage by selecting suitable organic ETMs. In addition, we developed QD-LEDs with high color purity by applying emitting layers composed of suitable red, green, and blue QDs and organic ETMs.

1. はじめに

4K・8K放送のスタジオ規格勧告ITU-R BT.2020¹⁾では、鮮やかな色も実物に近い色で再現できる広色域表色系^{*1}が規定されている。広色域表色系のRGB三原色の色度^{*2}は、レーザーのような他の色成分を含まない単波長光源に相当する。ディスプレイ用発光デバイスには発光スペクトルの半値全幅^{*3}が狭く、かつ余分な発光成分の少ない高色純度発光が求められる。

高色純度発光が可能な材料として、量子ドット材料²⁾が挙げられる。量子ドット材料は数ナノから十数ナノメートルの半導体微結晶からなり、粒径制御による発光色調整や、粒径ばらつきの制御による発光の高色純度化が可能といった特徴がある。また、量子ドット材料は溶剤に分散させて溶液として塗布ことができ、印刷プロセスにてディスプレイを作製することができる。そのため、大画面ディスプレイやフレキシブルディスプレイなどのさまざまな形態のディスプレイに適用できる。量子ドットEL (Electroluminescence: エレクトロルミネッセンス) 素子は、量子ドット薄膜および電荷輸送層^{*4}を2つの電極の間に挟み、電圧を印加し正孔^{*5}および電子を注入することで、量子ドット材料からの発光を得る自発光型の素子である。

これまで、カドミウムや鉛を含む量子ドット材料を用いたEL素子において高効率・高色純度なEL発光が得られているものの^{3)~5)}、材料の毒性が問題となっている。このため、これらの有害物質を含まない低環境負荷の量子ドットEL素子の開発が求められている。このような量子ドット材料の候補の一つとして、リン化インジウム(InP)系量子ドット材料が挙げられる。近年、高効率なInP系赤色量子ドットEL素子が報告されているが^{6) 7)}、緑色に関してはカドミウムを含む素子に匹敵する性能を得るにはさらなる改善が必要である^{7)~11)}。これまで我々は、InP系量子ドット材料と電子輸送材料^{*6}とを混合した溶液を塗布して発光層^{*7}を形成することで、量子ドット材料のみからなる一般的な発光層を有するEL素子よりも高効率化できることを報告したが、素子特性にはまだ改善の余地があった¹²⁾。

本稿では、InP系緑色量子ドット材料とさまざまな分子構造を有する電子輸送材料との混合成膜で発光層を形成したEL素子の作製とそれらの素子特性の比較について述べる。量子ドット材料と混合する電子輸送材料として適切な材料を選択することにより、駆動電圧および外部量子効率^{*8}を大幅に改善できることを報告する。また、素子性能を比較・解析することで、どのような電子

輸送材料が高効率発光に適しているかを明らかにする。

本稿で得られた知見を量子ドットEL素子に適用することで、量子ドット材料の合成法や表面処理を複雑化すること無しに、量子ドットと電子輸送材料との混合溶液塗布といった極めてシンプルな手法で、素子性能の向上が可能である。さらに、赤・青色についても量子ドット材料に適した電子輸送材料と組み合わせることで、ディスプレイに必要な赤・緑・青色の高色純度量子ドットEL素子を開発したことを報告する。

2. 混合成膜によるInP系緑色量子ドットEL素子の作製

InP系緑色量子ドットEL素子の構造を1図に示す。一般的な素子構造では発光層が量子ドットのみから構成されるのに対し、本報告の素子構造の発光層は量子ドットと電子輸送材料を混合した構成である。InP系緑色量子ドット材料としてQDA524-100 (メルク社)を用い、電子輸送材料としては、適切な材料を選定するため、2図に示す分子構造の異なる3種類の電子輸送材料1~3を用いた。

発光層は、量子ドット材料と電子輸送材料とを混合した溶液をスピコート法^{*9} (3図)により成膜した。他の層には、透明陰極としてインジウムスズ酸化物 (ITO: Indium Tin Oxide)、電子注入層として亜鉛酸化物ナノ粒子¹³⁾、正孔輸送層^{*10}として2図に示す正孔輸送材料、正孔注入層^{*11}として三酸化モリブデン、陽極としてアルミニウムを用いた。

3. 量子ドットEL素子の特性

作製した量子ドットEL素子について、特性を比較した。これらのEL素子に電圧を印加したところ、緑色発光が得られた。ELスペクトル^{*12}および、量子ドット

*1 映像システムなどで色を表現する方式。

*2 色の色相 (色味) と彩度 (鮮やかさ) を表す数値。

*3 ピークの半分の強度における波長幅。

*4 正孔や電子などの電荷を運ぶ層。

*5 プラス電荷の担体。

*6 電子を運ぶ材料。

*7 電子と正孔が再結合して生じるエネルギーを発光として取り出す層。

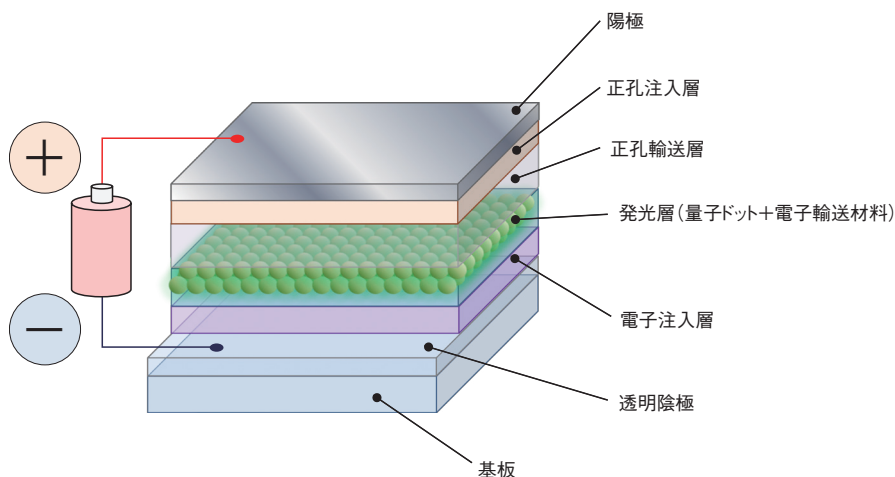
*8 発光層に注入された正孔や電子数に対して、発光素子の外部に放射される光子数の割合。

*9 基板を高速回転させることで、遠心力により薄膜を形成する成膜方法。

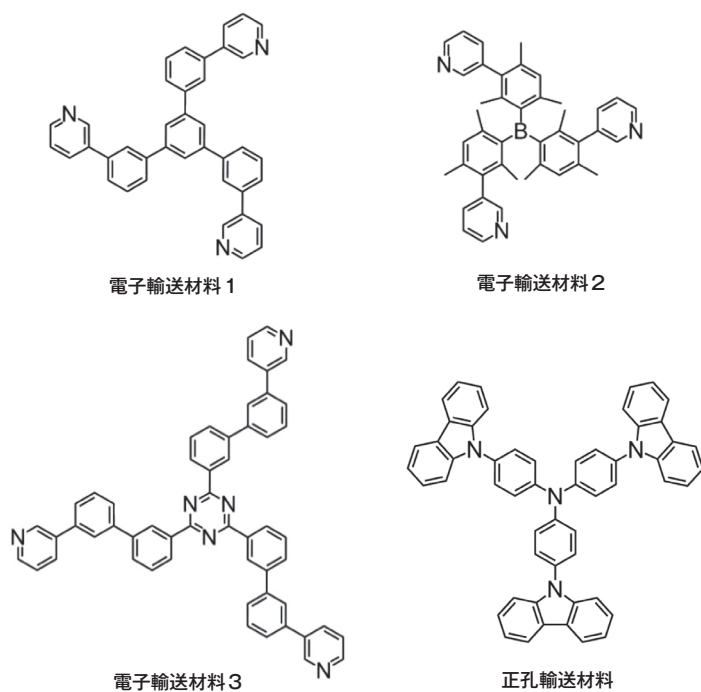
*10 正孔を運ぶ層。

*11 陽極から正孔を注入する層。

*12 EL素子の発光強度の波長依存性。



1図 作製した量子ドットEL素子の構造



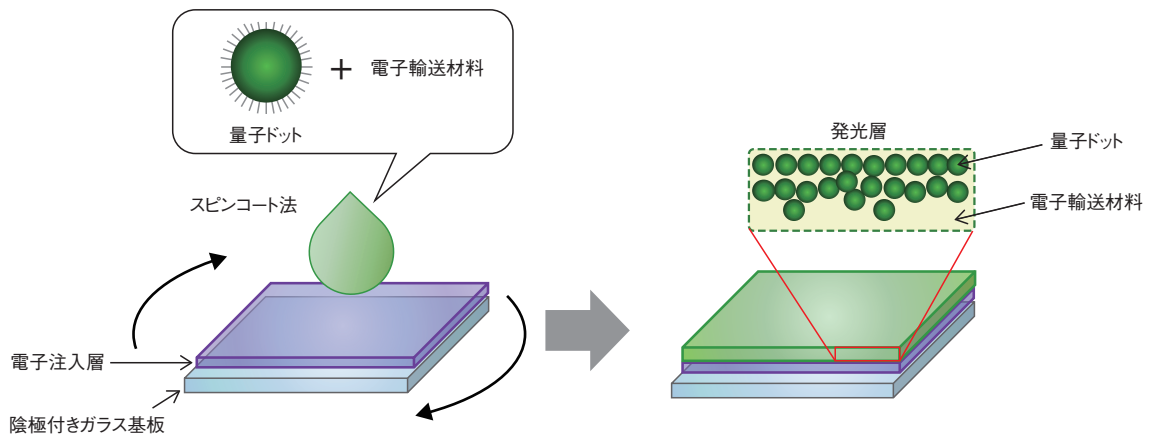
2図 使用した3種類の電子輸送材料と正孔輸送材料

薄膜のPL (Photoluminescence: フォトルミネッセンス)^{*13}スペクトルを4図に示す。ELスペクトルは、量子ドット材料と組み合わせる電子輸送材料によらずほぼ同じであり、量子ドット由来の発光によるPLスペクトルと同様の形状であった。ELスペクトルのピーク波長は530 nm、半値全幅は42 nm、CIE (Commission Internationale de l'Éclairage: 国際照明委員会) 1931のxy色度は(0.25, 0.69)を示した。

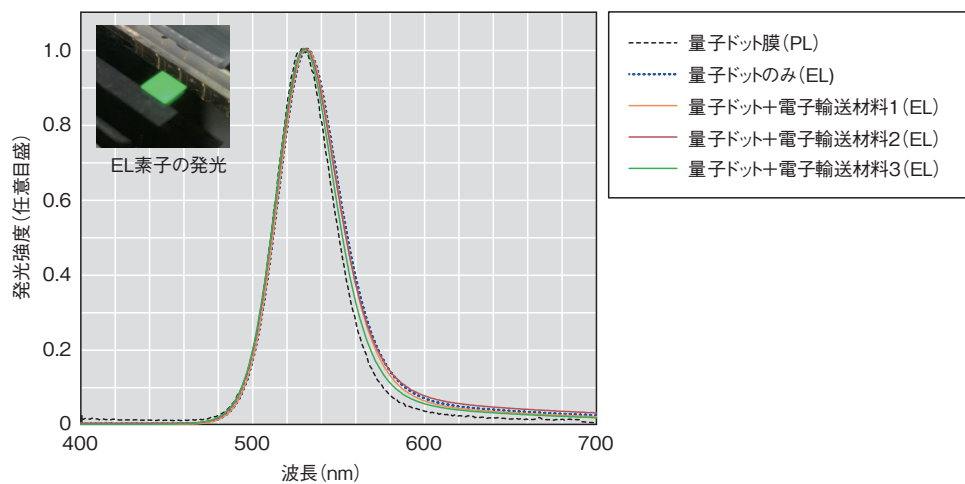
EL素子の外部量子効率および駆動電圧を1表に示す。外部量子効率、駆動電圧は、量子ドット材料と組み合わせて用いる電子輸送材料により異なることが分かった。また、電子輸送材料を使用したEL素子は、使用しない

EL素子と比べて高い外部量子効率を示した。さらに、電子輸送材料3を使用した素子の外部量子効率は10.0%であり、他の電子輸送材料1, 2を使用した素子に比べて著しく高い値を示した。電子輸送材料3を使用した素子は、量子ドットのみが発光層からなる素子と同等の低い立ち上がり電圧を示した。輝度100 cd/m²における駆動電圧は、電子輸送材料1, 2を使用した素子ではそれぞれ5.7 V, 5.5 Vと比較的高いものに対し、電子輸送材料3を使用した素子では3.6 Vと、他の素子と比べて著しく低いことが分かった。電子輸送材料3の分子構造を電

*13 紫外光などエネルギーの高い光を吸収することで得られる発光。



3図 スピコート法による発光層の塗布成膜



4図 量子ドットEL素子のELスペクトルおよび量子ドット膜のPLスペクトル

1表 作製した量子ドットEL素子の特性

発光層	量子ドットのみ	電子輸送材料1 使用	電子輸送材料2 使用	電子輸送材料3 使用
外部量子効率 (%)	0.5	2.6	4.1	10.0
立ち上がり電圧 (V)	2.4	3.6	3.6	2.4
100 cd/m ² における駆動電圧 (V)	4.5	5.7	5.5	3.6

子輸送材料1, 2と比較すると、中心骨格として六員環に窒素原子を3つ含むトリアジン基を有することが、素子の低電圧化に関係していると考えられる。

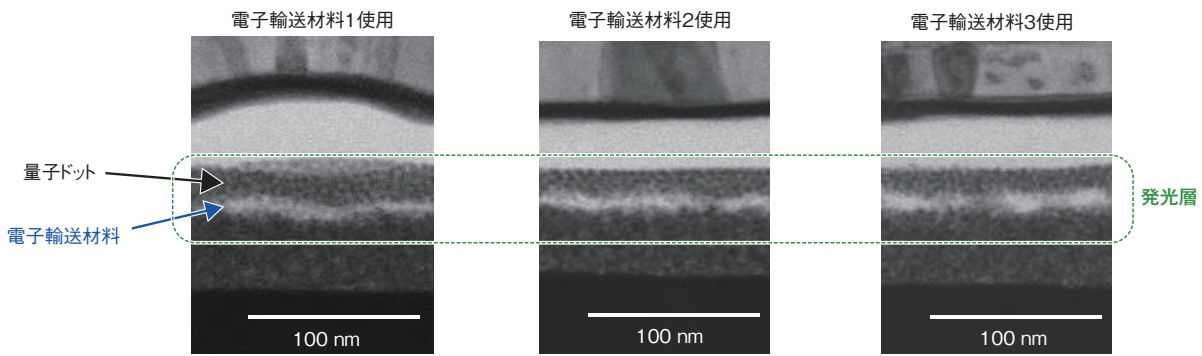
4. 電子輸送材料に依存した高効率化要因の解析

量子ドット材料と組み合わせて用いる電子輸送材料に依存してEL素子の発光効率が変わる要因について、発光層の形状と電荷の挙動の2つの観点から調べた。まず、発光層の形状について調べるため、発光層に電子輸送

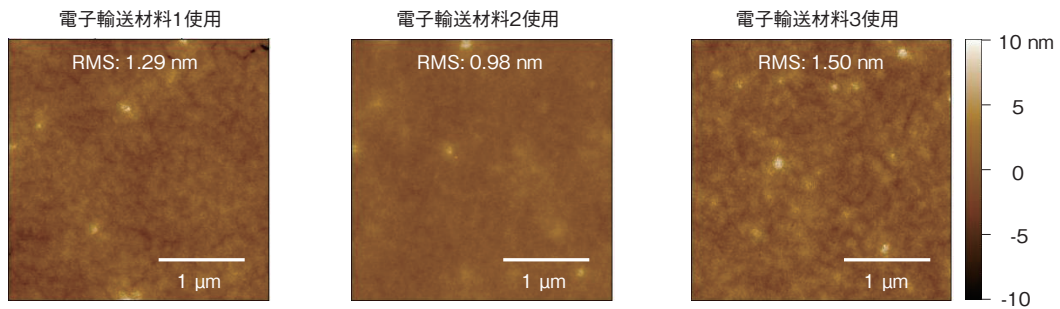
材料1～3をそれぞれ含む量子ドットEL素子断面の走査型透過電子顕微鏡 (STEM: Scanning Transmission Electron Microscopy)^{*14}像および発光層表面の原子間力顕微鏡 (AFM: Atomic Force Microscopy)^{*15}画像を測定した。測定結果を5図に示す。STEM像より、すべてのEL素子において、発光層は量子ドットと電子輸送材料がほぼ2層に分離した構造となっていることが分かった。次に、電子輸送材料1～3を含む発光層について

*14 試料面上に電子線を走査させ、透過した電子を検出して像情報を得る。
*15 走査型顕微鏡の一種。試料と探針の原子間力に働く力を検出して画像を得る。

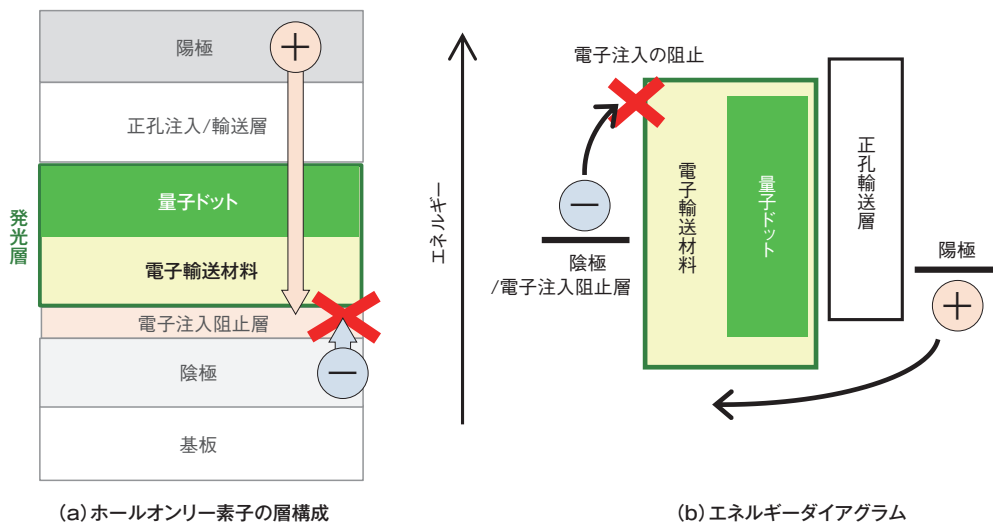
(a) 量子ドットEL素子断面のSTEM像



(b) 発光層の表面のAFM画像



5図 作製した量子ドットEL素子断面のSTEM像および発光層表面のAFM画像



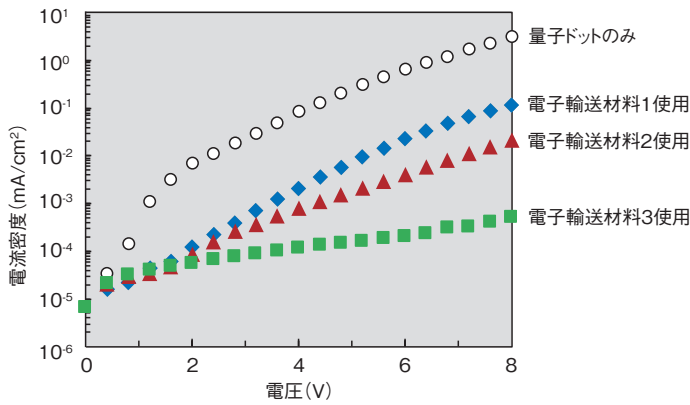
6図 作製したホールオンリー素子の層構成とエネルギーダイアグラム

て、AFM画像より試料表面の凹凸のRMS (Root Mean Square : 二乗平均平方根)^{*16}値を計算したところ、それぞれ1.29 nm, 0.98 nm, 1.50 nmであり、ややばらつきがあるものの近い値を示し、EL素子の外部量子効率との相関は見られなかった。これらの結果から、量子ドットEL素子の外部量子効率の違いは、発光層の積層構造や表面形状に起因するものではないことが分かった。

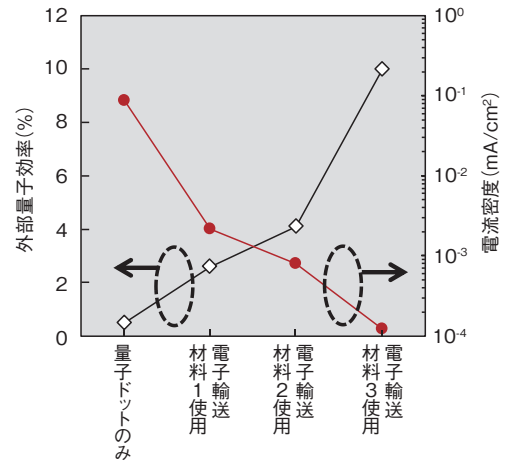
次に、EL素子の電荷の挙動について調べた。量子ドットEL素子の発光層に正孔(ホール)のみが注入される

ホールオンリー素子を作製し、印加電圧に対する電流値を測定した。作製したホールオンリー素子の層構成を6図(a)、そのエネルギーダイアグラムを6図(b)に示す。陽極-発光層の間の層構成は1図に示す量子ドットEL素子と同様だが、陰極-発光層の間に陰極からの電子の注入を阻止する材料を挿入することで、EL素子のホール電流のみを比較・評価できる。ホールオンリー素

*16 二乗した値の平均値の平方根。

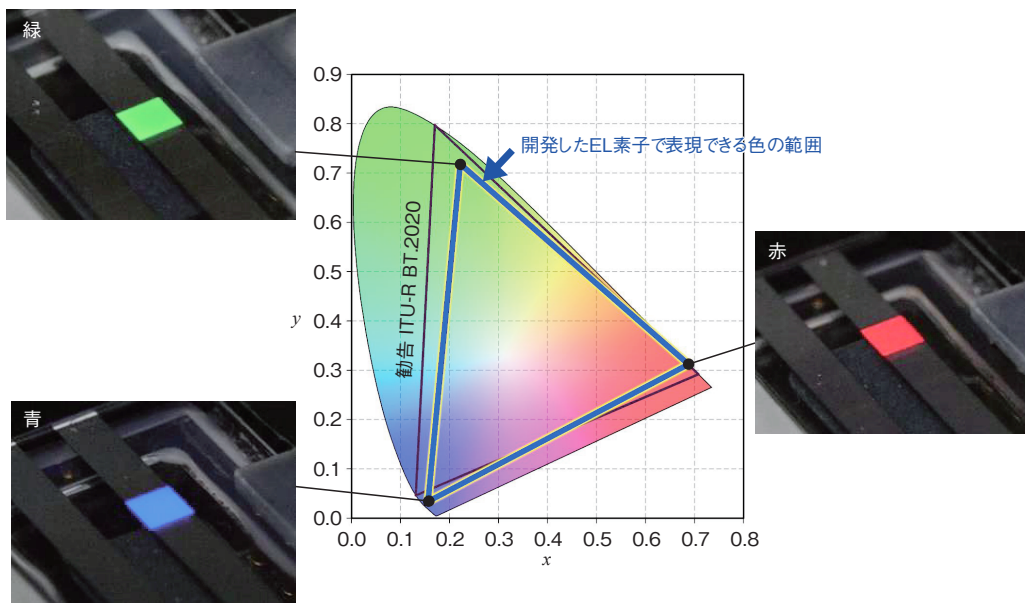


(a) ホールオンリー素子評価結果



(b) 量子ドットEL素子の外部量子効率とホールオンリー素子の4Vにおける電流密度との関係

7図 ホールオンリー素子の評価結果と量子ドットEL素子の外部量子効率との関係



8図 開発した高色純度量子ドットEL素子とそれらを用いて表現できる色の範囲

子の評価結果を7図(a)に示す。発光層から抜け出るホールの電流密度^{*17}は、量子ドットのみEL素子で最も大きく、発光層に電子輸送材料を混合することで小さくなることが分かった。また、電流密度は混合する電子輸送材料によって異なり、電子輸送材料1で最大、電子輸送材料3では最小の値を示した。これらの結果より、発光層に電子輸送材料を混合することは発光層からホールが抜け出るのを防ぎ、量子ドットの発光に寄与する効果があると考えられる。EL素子の外部量子効率とホールオンリー素子の電流密度との関係をまとめたところ、7図(b)に示すように相関がみられた。ホール電流が最も少ない電子輸送材料3のEL素子では、量子ドットの発光に寄与することなく抜け出るホールが減少し、ほかの

EL素子と比べて高い外部量子効率を得られたと考えられる。

5. 量子ドットEL素子の高色純度化

これまで述べたように、量子ドット材料と電子輸送材料を混合成膜した発光層を有するEL素子は高効率化に有効であるため、ディスプレイへの適用に向けて赤・緑・青色の量子ドットEL素子の開発を進めた。勧告ITU-R BT.2020で規定された広色域表示に適した赤・緑・青色の量子ドット材料を選定した。カドミウムや鉛を含まな

*17 単位面積当たりの電流値。

い量子ドット材料として、赤色および緑色はInP系、青色はセレン化亜鉛系材料を用いた。これらの量子ドット材料と適切な電子輸送材料を組み合わせた発光層を有するEL素子を作製した。開発した赤・緑・青色量子ドットEL素子の発光の色度、およびそれらを用いて表現できる色の範囲を8図に示す。開発した赤・緑・青色量子ドットEL素子をディスプレイの画素に用いると、カラーフィルターやキャビティー構造^{*18}を用いることなく勧告ITU-R BT.2020で規定された色域の80%の範囲を表現できる。今後は、さらなる広色域化とこれらのEL素子のディスプレイへの適用を進める。

6. まとめ

量子ドットEL素子の発光層として、カドミウムや鉛を含まないInP系緑色量子ドット材料と様々な電子輸送材料を組み合わせたEL素子を作製し、素子特性を比較した。適切な電子輸送材料を選択することで、EL素子の高効率化および低電圧化が可能であることを見出した。また、発光層から抜け出るホールを低減できる電子輸送材料を用いることがEL素子の高効率化に効果的であることが分かった。

量子ドットEL素子を用いた広色域ディスプレイの実現に向けて、低環境負荷の量子ドット材料と電子輸送材料と組み合わせることで、高色純度の赤・緑・青色量子ドットEL素子を開発し、勧告ITU-R BT.2020色域包含率80%を実現可能な色度の発光を実現した。

本稿は、Applied Physics Letters, IMID2021 DIGESTに掲載された以下の論文をもとに加筆・修正したものである。

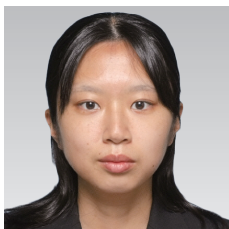
Y. Iwasaki, G. Motomura, K. Ogura and T. Tsuzuki: "Efficient Green InP Quantum Dot Light-emitting Diodes Using Suitable Organic Electron-transporting Materials," Appl. Phys. Lett., Vol.117, No.11, pp.111104.1-111104.4 (2020)

Y. Iwasaki, G. Motomura and T. Tsuzuki: "Realizing High Coverage Ratio for BT.2020 Using Cadmium-free Red, Green, and Blue Quantum Dot Light-emitting Diodes with Emitting Layer Combined with Organic Electron-transporting Materials," IMID2021 DIGEST, P17-55 (2021)

*18 光の波の性質を利用することで特定の波長のみを取り出す構造。

参考文献

- 1) Rec. ITU-R BT. 2020-2, "Parameter Values for Ultra-High-Definition Television Systems for Production and International Programme Exchange," (2015)
- 2) Y. Shirasaki, G. J. Supran, M. G. Bawendi and V. Bulovic : "Emergence of Colloidal Quantum-dot Light-emitting Technologies," Nat. Photon., Vol.7, pp.13-23 (2013)
- 3) X. Dai, Z. Zhang, Y. Jin, Y. Niu, H. Cao, X. Liang, L. Chen, J. Wang and X. Peng : "Solution-processed, High-performance Light-emitting Diodes Based on Quantum Dots," Nature, Vol.515, pp.96-99 (2014)
- 4) J. Song, O. Wang, H. Shen, Q. Lin, Z. Li, L. Wang, X. Zhang and L. S. Li : "Over 30% External Quantum Efficiency Light-Emitting Diodes by Engineering Quantum Dot-assisted Energy Level Match for Hole Transport Layer," Adv. Funct. Mater., Vol.29, 1808377 (2019)
- 5) Z. Yang, Q. Wu, G. Lin, X. Zhou, W. Wu, X. Yang, J. Zhang and W. Li : "All-solution Processed Inverted Green Quantum Dot Light-emitting Diodes with Concurrent High Efficiency and Long Lifetime," Mater. Horiz., Vol.6, pp.2009-2015 (2019)
- 6) Y. H. Won, O. Cho, T. Kim, D. Y. Chung, T. Kim, H. Chung, H. Jang, J. Lee, D. Kim and E. Jang : "Highly Efficient and Stable InP/ZnSe/ZnS Quantum Dot Light-emitting Diodes," Nature, Vol.575, pp.634-638 (2019)
- 7) C. Ippen, W. Guo, D. Zehnder, D. Kim, J. Manders, D. Barrera, B. Newmeyer, D. Hamilton, C. Wang, C. Hotz, R. Ma, J. K. Bin, B. Kim, K. Kim, K. Jang, J. Park, T. Lee, W. Y. Kim and J. Lee : "High Efficiency Heavy Metal Free QD-LEDs for Next Generation Displays," J. Soc. Inf. Disp., Vol.27, pp.338-346 (2019)
- 8) J. Lim, M. Park, W. K. Bae, D. Lee, S. Lee, C. Lee and K. Char : "Highly Efficient Cadmium-free Quantum Dot Light-emitting Diodes Enabled by the Direct Formation of Excitons within InP@ZnSeS Quantum Dots," ACS Nano, Vol.7, pp.9019-9026 (2013)
- 9) H. Zhang, N. Hu, Z. Zeng, Q. Lin, F. Zhang, A. Tang, Y. Jia, L. S. Li, H. Shen, F. Teng and Z. Du : "High-efficiency Green InP Quantum Dot-based Electroluminescent Device Comprising Thick-shell Quantum Dots," Adv. Opt. Mater., Vol.7, 1801602 (2019)
- 10) H. Moon, W. Lee, J. Kim, D. Lee, S. Cha, S. Shinb and H. Chae : "Composition-tailored ZnMgO Nanoparticles for Electron Transport Layers of Highly Efficient and Bright InP-based Quantum Dot Light Emitting Diodes," Chem. Commun., Vol.55, pp.13299-13302 (2019)
- 11) T. Lee, D. Hahm, K. Kim, W. K. Bae, C. Lee and J. Kwak : "Highly Efficient and Bright Inverted Top-emitting InP Quantum Dot Light-emitting Diodes Introducing a Hole-suppressing Interlayer," Small, Vol.15, 1905162 (2019)
- 12) G. Motomura, K. Ogura, Y. Iwasaki, J. Nagakubo, M. Hirakawa, T. Nishihashi and T. Tsuzuki : "Improvement of Electroluminescent Characteristics in Quantum Dot Light-emitting Diodes Using ZnInP/ZnSe/ZnS Quantum Dots by Mixing an Electron Transport Material into the Light-emitting Layer," AIP Adv., Vol.10, 065228 (2020)
- 13) J. Kwak, W. K. Bae, D. Lee, I. Park, J. Lim, M. Park, H. Cho, H. Woo, D. Y. Yoon, K. Char, S. Lee and C. Lee : "Bright and Efficient Full-color Colloidal Quantum Dot Light-emitting Diodes Using an Inverted Device Structure," Nano Lett., Vol.12, pp.2362-2366 (2012)



いわさき ゆきこ
岩崎 有希子

2008年入局。仙台放送局を経て、2012年から放送技術研究所において、スーパーハイビジョンディスプレイおよび映像システム、有機ELおよび量子ドットEL素子の研究開発に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部に所属。



もとむら げんいち
本村 玄一

2006年入局。松山放送局を経て、2008年から放送技術研究所において、フレキシブルディスプレイおよび量子ドットEL素子の研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部に所属。



つづき としみつ
都築 俊満

2002年入局。放送技術研究所、松山放送局、高知放送局を経て、2013年から放送技術研究所において、フレキシブルディスプレイおよび量子ドットEL素子の研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部上級研究員。博士（工学）。

高移動度塗布型酸化物薄膜トランジスターの開発

宮川幹司 辻 博史 中田 充

Development of High-Mobility Solution-processed Metal Oxide Thin-Film Transistors

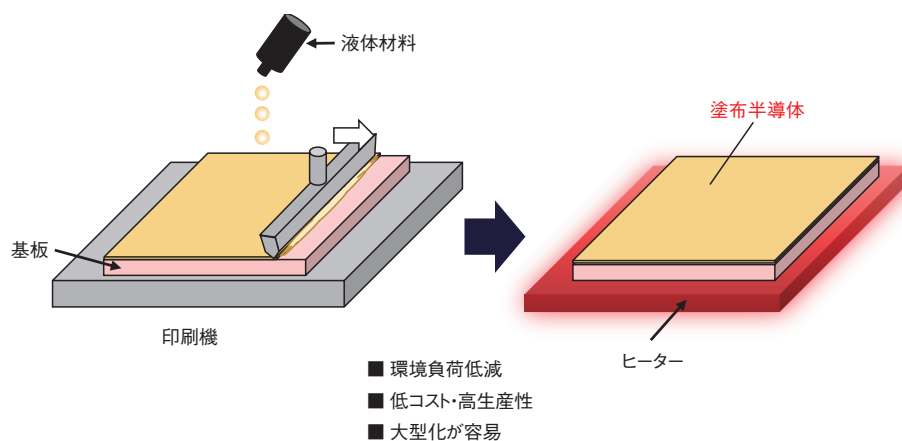
MIYAKAWA Masashi, TSUJI Hiroshi and NAKATA Mitsuru

要 約

塗布溶液を用いた塗布型酸化物薄膜トランジスターは、薄くて軽く柔らかいフレキシブルディスプレイ用駆動素子として、低コスト、省エネルギー、高生産性、大面積化の実現に有望な技術である。我々は、今回、高品質化が可能な水系酸化物半導体と、直接光パターン形成するダイレクトパターンニングの開発により、高性能な塗布型酸化物薄膜トランジスターを実現した。試作したTFTは、真空装置で作製したデバイスに匹敵する高い移動度特性を示した。また、本技術をフィルム基板上に形成することで、大画面フレキシブルディスプレイへの適用可能性も併せて確認した。塗布型デバイスは、将来の低環境負荷が求められるデバイス技術として有望である。

ABSTRACT

Solution-processed metal-oxide TFTs are promising devices for future thin and light-weight flexible displays because of advantages, such as low cost, low energy consumption, high productivity, and large-area fabrication capability. We have developed high-performance solution-processed TFTs using a low-impurity aqueous metal oxide precursor and direct photo-patterning that forms thin-film patterns. The fabricated TFTs demonstrated high mobility characteristics comparable to those of devices fabricated with vacuum equipment. We also showed that this technology can be applied to flexible displays by forming TFTs on a thin plastic film substrate. Solution-processed devices are promising for future electronics that must have a low environmental impact.



1図 塗布成膜プロセスの概略図

1. はじめに

将来の大画面フレキシブルディスプレイの実現を目指し、薄型、曲面、折り畳み可能なフレキシブル有機EL^{*1}ディスプレイの研究を進めている。大画面フレキシブルディスプレイは、ポスターと同じ感覚で壁に貼りつけたり、丸めて収納したりできる魅力的な特徴を有しており、新たな視聴スタイルやこれまでのデザインに変革をもたらす技術として期待されている¹⁾。

ディスプレイに映像を表示するためには、画素ごとに有機EL素子とそれを駆動する薄膜トランジスタ（以下、TFT: Thin Film Transistor^{*2}）が必要である。さらにフレキシブルディスプレイでは、薄いプラスチックフィルム上にディスプレイを形成することも求められる。現在、ディスプレイに使用されているTFTの半導体材料には、非晶質シリコン（a-Si: Amorphous Silicon）、低温多結晶シリコン（LTPS: Low-Temperature Polycrystalline Silicon）、および酸化半導体が用いられている^{2)~4)}。TFTを作製する際には、真空中での薄膜形成が必要であり、大がかりな真空装置が不可欠である。しかし、ディスプレイサイズの大型化に伴い、真空装置の導入コストや製造時の消費エネルギーが課題となっている。そのため、真空装置を用いずに常圧大気下で液体の材料を塗って形成できる塗布型TFT（1図）が、低コスト、省エネルギー、高生産性、大画面化を実現するための次世代の半導体技術として期待されている^{5) 6)}。我々の研究グループでは、ディスプレイ駆動用TFTとして実績のある酸化半導体の塗布成膜技術の研究を進めている。今回、従来の有機溶媒よりも不純物の低減が可能な水を溶媒とした塗布型酸化半導体材料と、光反応を利用して少ない工程で薄膜にパターンを形成するダイレクトパターンニング技術を開発し、真空装置で作製したTFTと同等の移

動度^{*3}を有する高性能な塗布型酸化半導体TFTを実現した。本稿では、この結果について述べるとともに、ダイレクトパターンニング技術がディスプレイサイズの大型化と、低環境負荷をともに実現可能な技術であることを報告する^{7)~9)}。

2. 塗布型酸化半導体

塗布型酸化半導体材料の前駆体溶液^{*4}は、酸化半導体の原料である金属塩を溶媒に溶解することで作製することができる。この溶液を塗布により薄膜化し、熱処理によって溶媒を分解し、金属を酸化させることで酸化半導体が形成できる。2図に塗布型酸化半導体材料のモデルを示す。塗布型酸化半導体では、熱処理によって分解しきれない溶液由来の残留成分が、酸化半導体に必要なM-O-M結合^{*5}の形成を阻害する要因となる。このため、塗布型酸化半導体は、一般的な真空成膜による酸化半導体よりも、緻密なM-O-M結合を有する酸化膜を形成しにくい。特にフレキシブルディスプレイに使われるフィルム基板のように耐熱性が低い基板上に成膜する場合、低温の熱処理となるため、酸化反応が十分ではなく溶液由来の残留成分の影響がより顕著になる。一方、理想的な酸化半導体は、緻密なM-O-M結合が形成された酸化膜であり、良好な伝導性が得られる。

我々はフィルム基板を適用可能な低温プロセスでも酸

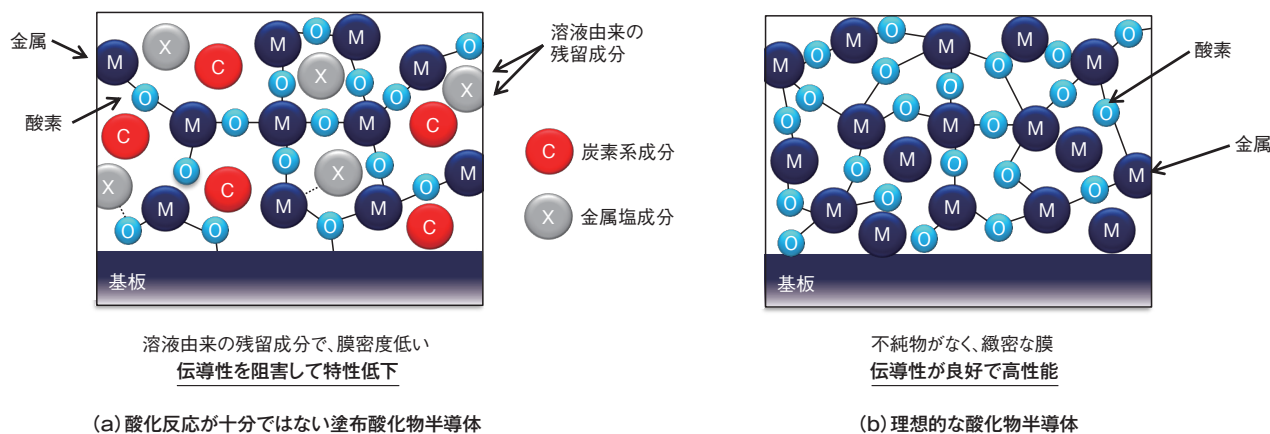
*1 物質に電界を印加すると発光する現象であって、特に有機材料に電流を流しては発光する素子については、有機発光ダイオード（OLED: Organic Light Emitting Diode）と呼ばれている。

*2 有機ELに電流を流すための半導体制御素子。

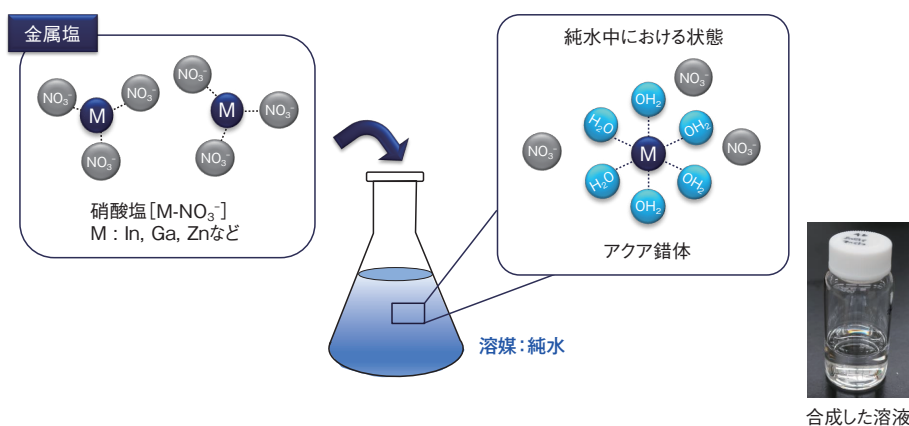
*3 半導体中の電荷の動きやすさを示す指標。高いほど、ディスプレイの大型化や高精細化に有利。

*4 熱などにより酸化半導体となる材料を可溶化した溶液。

*5 酸化半導体中の金属原子Mと酸素原子O、金属原子Mにより形成される結合。



2図 塗布型酸化物半導体におけるモデル



3図 水系塗布型酸化物溶液

化膜の高品質化が可能な材料の探索を進め、有機溶媒を一切含まない水系の塗布半導体材料に注目し研究を進めた。材料に用いる溶媒は純水とし、炭素系成分を含まない硝酸塩を用いた金属塩を中心に前駆体溶液の合成を進め、高性能化が可能な塗布型酸化物半導体材料を開発した(3図)。水系の塗布型酸化物前駆体溶液においては、水が金属イオンに配位したアクア錯体*6を形成することにより、酸化反応を促進できることが知られている^{10) 11)}。分解しにくい炭素系成分を排除し、緻密な酸化膜の形成に有利な組成の前駆体溶液を構成することにより、ポリイミドフィルムが適用可能なプロセス温度の350℃以下でも、良好なスイッチング動作が得られる塗布型酸化物TFTを実現した。

3. 光パターニングプロセス

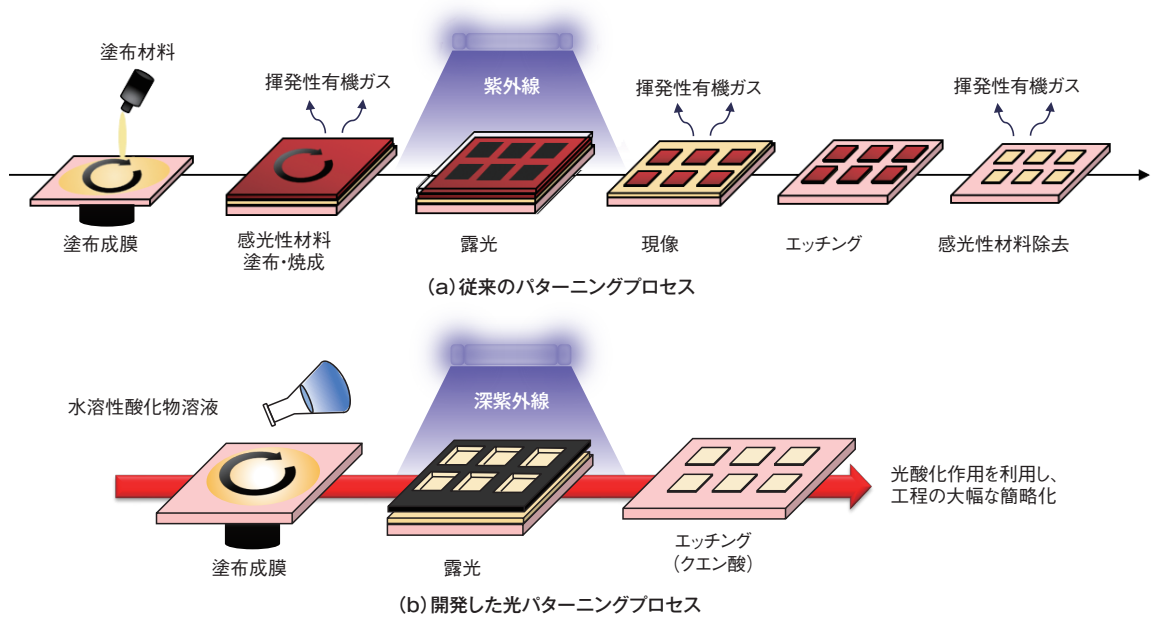
TFTへのデバイス応用には薄膜のパターン化が不可欠であり、従来はリソグラフィー技術によるパターニングが行われてきた。4図 (a) に一般的なパターニングプロセスを示す。パターニングプロセスでは、塗布材料

1表 塗布型酸化物半導体と原料

半導体	IGZO	IZO	InO
原料	In(NO ₃) ₃ Ga(NO ₃) ₃ Zn(NO ₃) ₂	In(NO ₃) ₃ Zn(NO ₃) ₂	In(NO ₃) ₃

を成膜したのち、感光性レジストを塗布し、パターンを有するフォトマスクを介して紫外線を照射、現像液で現像、薄膜の不要部分のエッチング、最後に感光性レジストを除去するという工程で構成される。塗布成膜を適用した場合においても、インクジェット印刷のように成膜とパターン形成を同時に行う手法でない限り、上記のようなパターニングプロセスは欠かせない。感光性レジストや現像液には有害で環境負荷の高い溶剤が含まれており、将来的に環境負荷の低いパターニング手法が必要とされている背景がある。そのため、従来のリソグラフィー技術を用いずに、成膜した薄膜を直接パターニングす

*6 金属イオンと弱い結合により水分子が結びついたもの。

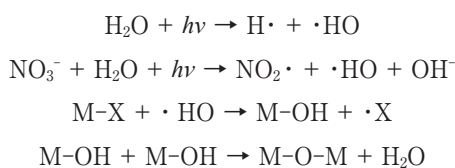


4図 従来プロセスと開発した光パターニングプロセスの比較

るダイレクトパターニング技術により、プロセスの簡略化と有害な溶剤を省略できる点が期待され、研究が進められている。

これらの研究として、塗布型酸化前駆体溶液に感光性の有機官能基^{*7}を付与し、光反応性を持たせる技術の報告がされている。しかし、酸化物では、有機官能基の付与が残留成分として働き高性能化を阻害するため、高性能化が課題であった^{12) 13)}。今回、我々の研究グループは、有機官能基を用いない水系の塗布型酸化物材料を用いて直接光によりパターン化するダイレクトパターニング技術を開発した。感光性の有機官能基を一切添加せずにパターニングを行うことで、移動度を高めることができる塗布半導体材料の優位性を保つことができる。4図 (b) に示すように、酸化前駆体溶液を塗布、薄膜形成し、マスク越しに深紫外線 (185 nm, 254 nm) を照射し、エッチングするという極めてシンプルなプロセスによって半導体膜のパターニングを実現した。

酸化物薄膜の光酸化反応については下記のように記述される。深紫外光の照射により、水が光分解し、フリーラジカル^{*8}を発生することが知られている¹⁴⁾。また、硝酸イオンも、同様に光分解される¹⁵⁾。光酸化反応は次式で記述される：



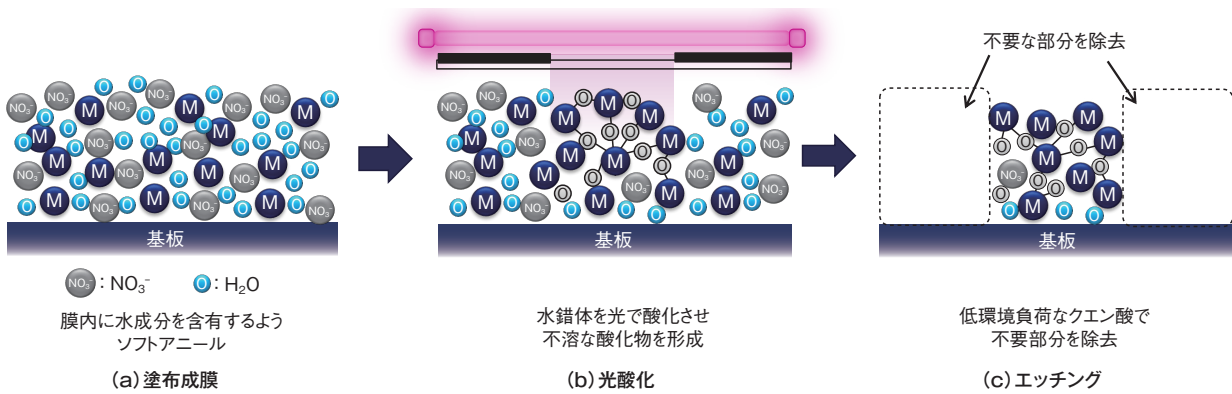
ここにおいて、 $h\nu$ はエネルギー量子、 NO_3^- は硝酸イオ

ン、M-Xは溶液中における酸化反応前の酸化前駆体状態を示す。光分解によって生成されるOHラジカルは、強力な酸化剤であり、酸化物はM-OHを介した酸化反応が進むことで形成される。本技術では、効率的な光酸化反応を促すため、照射時に水が膜内に含まれるように成膜することで、水系酸化物の効率的な光酸化反応を実現した。ダイレクトパターニングでは、エッチング時の光照射部と非照射部の溶解性の違いを利用してパターニングを行う (5図)。そのため、エッチングプロセスも重要な点であるが、膜内に水を含ませることにより、環境負荷の少ないクエン酸でもエッチング処理が可能となった。この塗布成膜技術においては、一切の有害な有機溶剤を用いることなく半導体の成膜からパターニングまでを実現できるようになった。

6図に光パターニングプロセスにより作製した塗布型酸化物半導体 (In-Ga-Zn系酸化物半導体) の顕微鏡写真を示す。深紫外光照射による光酸化反応6図 (b) に伴い、酸化物のM-O-M結合が形成される⁸⁾。その後、クエン酸によるエッチングを行うと、照射領域と非照射領域における溶解性の違いからパターニングされる様子が確認でき (6図 (c), (d)), 20 ~ 30秒程度で良好なパターンが得られた (6図 (e))。照射領域と非照射領域の溶解する速度に40倍以上の差があり、本手法で安定したパターニングが可能であることが示している。開発したダイレクトパターニング技術は水と硝酸イオン間の光酸

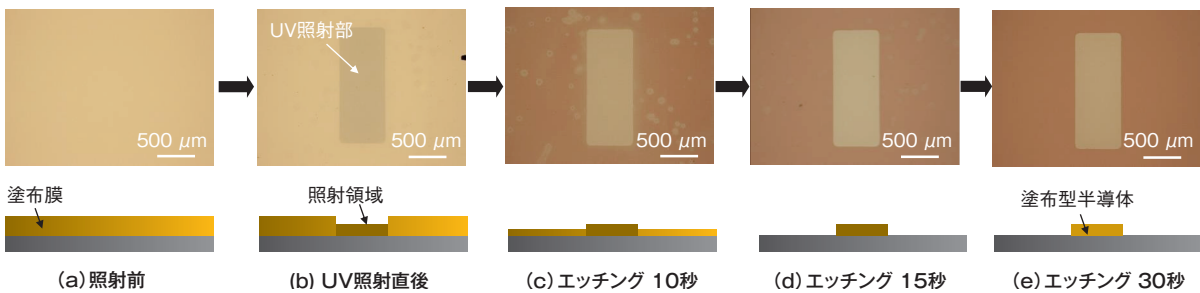
*7 有機化合物における特定の構造を有する原子や原子団のこと。

*8 光分解により生成する対電子を有する不安定な中間体。他の分子と反応する。

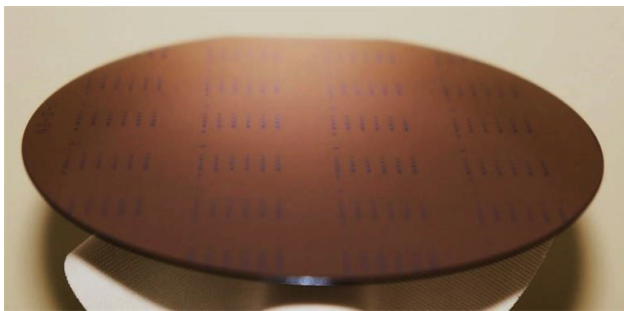


5図 光パターニングプロセスにおける反応メカニズム

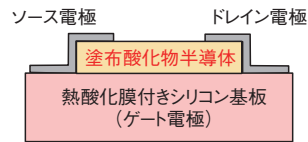
半導体材料:IGZO エッチャント:クエン酸



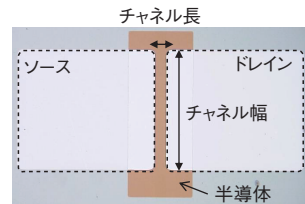
6図 光パターニングプロセスにおけるパターン形状とエッチングレートの比較
(エッチングレートは、照射部:3 nm/min, 非照射部:123 nm/min)



(a) 10センチ基板写真



(b) TFT断面構造



(c) TFT顕微鏡写真

TFTチャンネルサイズ
チャンネル長:100 μm
チャンネル幅:1000 μm

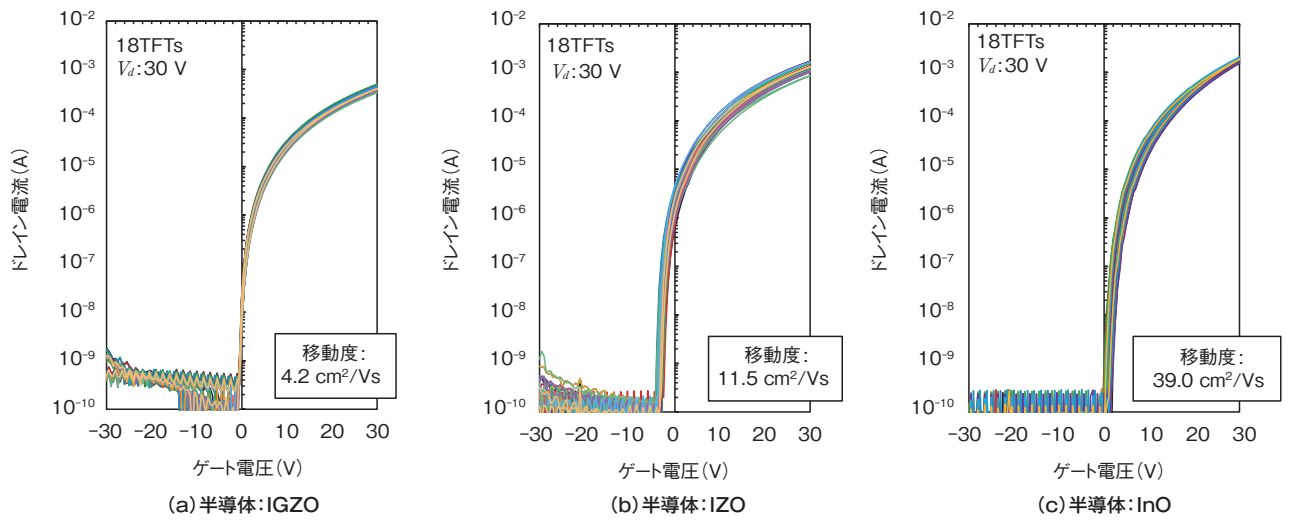
7図 作製した塗布型酸化物TFT

化反応に基づいている。6図ではIn-Ga-Zn-O酸化物半導体 (IGZO) の例を示したが、その他のIn-Zn-O系酸化物 (IZO) およびIn-O系酸化物 (InO) にも同様にパターニング加工ができることを確認し、幅広い塗布材料へ適用可能な技術であると考えられる。

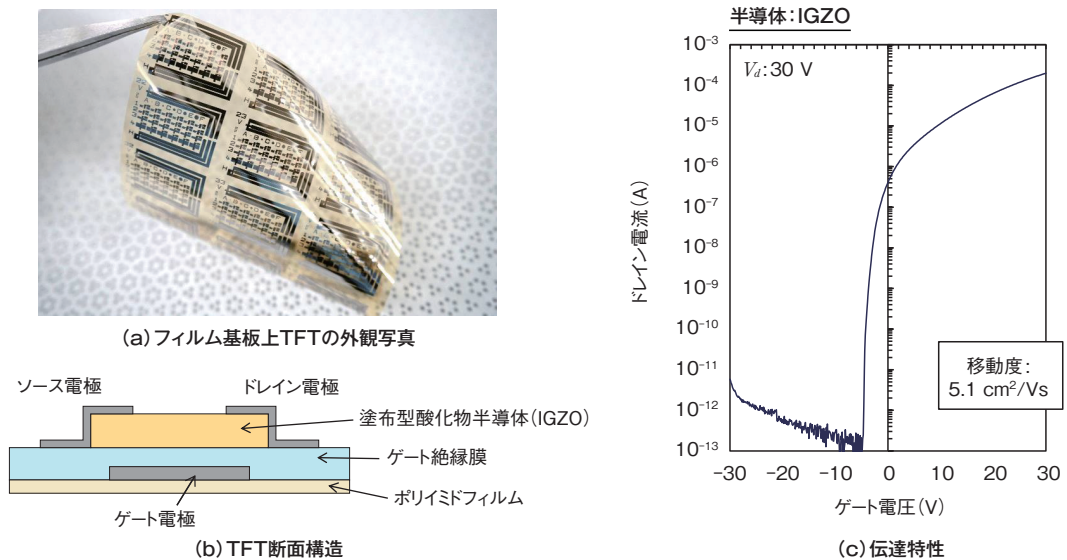
4. TFTの作製と特性評価

前述の水系酸化物前駆体溶液とダイレクトパターニ

ング技術を用いてTFTを作製した。4インチ熱酸化膜付きシリコン基板上に作製した塗布型酸化物TFTの構造を7図に示す。塗布成膜にはスピコート法を用い、その後、光パターニングプロセスを適用した後、大気中にて350℃の熱処理を行った。最後に、メタルマスクを介してモリブデン合金をスパッタリング成膜することでソース・ドレイン電極を形成し、TFTを作製した。TFTはボトムゲート・トップコンタクト構造であり、塗布型酸化物半導体としてはIGZO、IZOおよびInOをそ



8図 作製した塗布型酸化物TFTの伝達特性



9図 プラスチック基板上へ作製した塗布型IGZO TFTとその伝達特性

それぞれ適用し、TFTの評価を行った。

作製したTFTの伝達特性^{*9} (各18素子) を 8図 に示す。いずれの半導体においても良好なスイッチング動作を確認することができ、飽和移動度 (ドレイン電圧 $V_d = 30\text{ V}$) は、それぞれ $4.2\text{ cm}^2/\text{Vs}$ (IGZO), $11.5\text{ cm}^2/\text{Vs}$ (IZO), $39.0\text{ cm}^2/\text{Vs}$ (InO) が得られた。塗布成膜で環境負荷が低く、生産性の高いダイレクトパターンニングにより作製したTFTは、均一性という点で優れている。真空装置で作製したIGZO酸化物TFTの移動度は $10 \sim 30\text{ cm}^2/\text{Vs}$ であり、塗布形成の半導体を用いたTFTにおいても、半導体の選択により高性能なTFTが実現できることを確認した。

5. フレキシブル基板上への適用検討

プラスチック基板上への本技術の適用性を評価するため、ポリイミドフィルム上へ広く適用されている組成であるIGZOを用いた塗布型 TFTの試作を行った。ガラス支持基板上にポリイミドフィルムを塗布形成した後、スパッタリング成膜によりゲート電極とゲート絶縁膜を形成した。半導体は前述した水系のIGZO前駆体溶液を用い、開発した光パターンニングプロセスにより形成した。作製したフィルム基板上TFTの外観と得られたTFTの伝達特性を 9図 に示す。作製したTFTはシリコン基板上と

^{*9} ドレインソース間電圧 (ドレイン電圧 V_d) を一定とした時のドレイン電流とゲートソース間電圧 (ゲート電圧) の特性のこと。

同程度のスイッチング特性を確認することができ、プラスチック基板にも本技術が適用できることを確認した。

6. まとめ

将来の大画面フレキシブルディスプレイの駆動に使用できる高移動度の塗布型酸化物薄膜トランジスターの実現に向けて、高品質化が可能な水系酸化物半導体を見出すとともに、光照射によってその薄膜を直接パターン形成する光ダイレクトパターンニング技術の開発により、高性能な塗布型酸化物TFTを実現した。また、この塗布型TFTをフィルム基板上に形成することで、大画面フレキシブルディスプレイへの適用可能性を確認した。塗布形成が可能な本技術は、現在は半導体のみへの適用であるが、電極や絶縁体へも適用可能な技術であり、適用検討を進めている。塗布成膜は半導体一層だけではなく、デバイスを構成するすべての薄膜へ適用することで、低環境負荷と高生産性化が実現できる革新的なプロセスになる。今後も、フレキシブルディスプレイの家庭普及の早期実現を目指し、溶液を塗布し作製できる塗布型酸化物薄膜トランジスターの研究を進めていく。

本稿は、Scientific Reportsおよび映像情報メディア学会誌に掲載された以下の論文を元に加筆・修正したものである。

M. Miyakawa, M. Nakata, H. Tsuji and Y. Fujisaki: "Simple and Reliable Direct Patterning Method for Carbon-free Solution-processed Metal Oxide TFTs," Sci. Rep., Vol.8, 12825, pp. 1-9 (2018)

宮川, 辻, 中田: "高移動度塗布型酸化物薄膜トランジスタの開発," 映像学誌, Vol.76, No.1, pp.135-140 (2022)

参考文献

- 1) 藤崎, 中田: “フレキシブル有機ELディスプレイの研究開発動向,” NHK技研R&D, No. 167, pp.4-17 (2018)
- 2) T. Kamiya, K. Nomura and H. Hosono: “Present Status of Amorphous In-Ga-Zn-O Thin-film Transistors,” Sci. Technol. Adv. Mater., Vol.11, No.4, 044305 (2010)
- 3) T. Kamiya and H. Hosono: “Material Characteristics and Applications of Transparent Amorphous Oxide Semiconductors,” NPG Asia Materials, Vol.2, No.1, pp.15-22 (2010)
- 4) 清水, 深川, 中田: “大画面フレキシブル有機ELディスプレイの研究開発 スーパーハイビジョンの家庭普及に向けて,” 応用物理, Vol.86, No.9, pp.763-769 (2017)
- 5) E. Fortunato, P. Barquinha and R. Martins: “Oxide Semiconductor Thin-film Transistors: a Review of Recent Advances,” Adv. Mater., Vol.24, pp.2945-2986 (2012)
- 6) W. Xu, H. Li, J. B. Xu and L. Wang: “Recent Advances of Solution-processed Metal Oxide Thin-film Transistors,” ACS Appl. Mater. Interfaces, Vol.10, No.31, pp.25878-25901 (2018)
- 7) M. Miyakawa, M. Nakata, H. Tsuji and Y. Fujisaki: “Highly Stable Low-temperature Aqueous Solution-processed Oxide Thin-film Transistors by the Hydrogen Injection and Oxidation Method,” Flexible and Printed Electron, Vol.3, No.2 (2018)
- 8) M. Miyakawa, M. Nakata, H. Tsuji and Y. Fujisaki: “Simple and Reliable Direct Patterning Method for Carbon-free Solution-processed Metal Oxide TFTs,” Sci. Rep., Vol.8, 12825, pp.1-9 (2018)
- 9) M. Miyakawa, M. Nakata, H. Tsuji, H. Iino and Y. Fujisaki: “Impact of Fluorine Doping on Solution-processed In-Ga-Zn-O Thin-film Transistors Using an Efficient Aqueous Route,” AIP Adv., Vol.10, No.6 (2020)
- 10) Y. Hwan Hwang, J.-S. Seo, J. Moon Yun, H. Park, S. Yang, S.-H. Ko Park and B.-S. Bae: “An ‘Aqueous Route’ for the Fabrication of Low-temperature-processable Oxide Flexible Transparent Thin-film Transistors on Plastic Substrates,” NPG Asia Mater., Vol.5, No.4 (2013)
- 11) Y.S. Rim, H. Chen, T.-B. Song, S.-H. Bae and Y. Yang: “Hexaqua Metal Complexes for Low-temperature Formation of Fully Metal Oxide Thin-film Transistors,” Chem. Mater., Vol.27, No.16, pp.5808-5812 (2015)
- 12) H.S. Lim, Y.S. Rim and H.J. Kim: “Photoresist-free Fully Self-patterned Transparent Amorphous Oxide Thin-film Transistors Obtained by Sol-gel process,” Sci. Rep., Vol.4, 4544, pp.1-6 (2014)
- 13) H.J. Kim, Y.-g. Kim, S.P. Park, D. Kim, N.-e. Kim, J.S. Choi and H.J. Kim: “Self-pattern Process of InZnO Thin-film Transistors Using Photosensitive Precursors,” SID2017 Digest, Vol.48, No.1, pp.180-182 (2017)
- 14) K. Zoschke, H. Bornick and E. Worch: “Vacuum-UV Radiation at 185 nm in Water Treatment—a Review,” Water Res., Vol.52, pp.131-145 (2014)
- 15) J. Mack and J.R. Bolton: “Photochemistry of Nitrite and Nitrate in Aqueous Solution: a Review,” J. Photochem. Photobiol., A, Vol.128, 1-3, pp.1-13 (1999)



みやかわ まさし
宮川 幹司

2015年入局。同年から放送技術研究所において、フレキシブルディスプレイおよびプリンタブルTFTの研究開発に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部に所属。博士(工学)。



つじ ひろし
辻 博史

2011年入局。同年から放送技術研究所にて、薄膜トランジスター、フレキシブルディスプレイの研究開発に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部主任研究員。博士(工学)。



なかた みつる
中田 充

2010年入局。同年から放送技術研究所において、フレキシブルディスプレイ、酸化物薄膜トランジスターの研究に従事。現在、放送技術研究所新機能デバイス研究部副部長。博士(工学)。

触覚提示を目的としたスポーツ映像解析技術

当所では、誰もが放送メディアをより高い臨場感で体験できるように、映像・音声とともに触覚刺激を提示する技術の研究開発を進めている。今回、生中継番組での触覚提示の実現を目的に、車いすラグビー競技を対象とし、車いす同士が衝突するときなどに、いす型および手持ち型触覚デバイスを振動させ、座っている人の臨場感を高めるシステムを試作した。

競技映像と音声から「衝突」や「得点」などの試合イベントを自動的にリアルタイムで検出することで、生中継の映像・音声と連動していすなどの触覚デバイスを振動させることができる。1図に、競技映像入力から解析によるイベント検出、触覚デバイスによる刺激提示までの流れを示す。

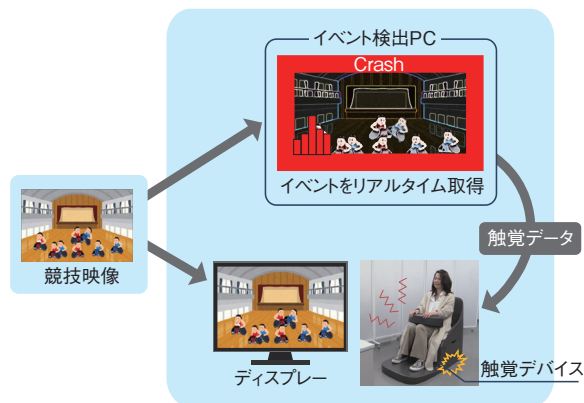
イベント検出において、審判の笛の音や選手がゴールラインを通過する映像は得点シーンの検出に有効であるため、音声と映像を組み合わせるマルチモーダル深層学習を用いたイベント検出手法を提案した。具体的には、2図に示すように、音声と映像の2つの特徴からイベントに関連する特徴を検出するネットワーク（Transformer*¹）を構成した。

このネットワークを深層学習の技術で学習することで、「衝突」、「反則」、「得点」、「イベントなし」の4種類の試合イベントを高い精度で識別する分類モデルを作成した。

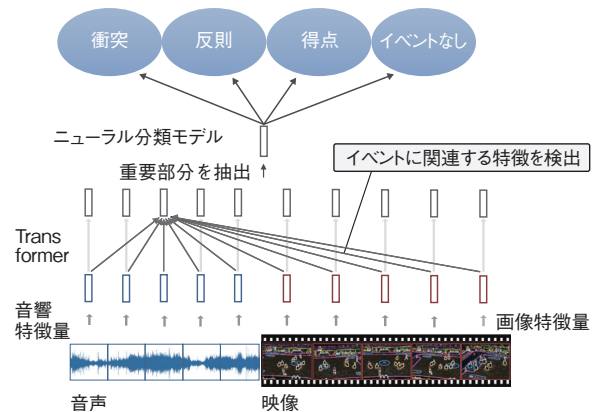
車いすラグビーの生中継映像に合わせ、イベントに応じた振動を提示する実証実験を行い、本手法の有効性を確認した。

今後は、さらなる検出性能の改善を図るとともに、スポーツに限らずさまざまなジャンルの映像からイベント情報を取得する技術の開発を進める。触覚刺激の提示方法についても検討し、誰もがより高い臨場感で映像を楽しめる「体感メディアサービス」の実現を目指す。

*1 深層学習で用いられるネットワーク構造の一種。



1図 生中継映像と連動した触覚刺激提示の流れ



2図 イベント検出の流れ

地上放送高度化方式による放送ネットワークの構築に向けた放送波中継用等化判定器の開発

当所では、4K放送や多彩なサービスを地上波で実現するため、地上放送高度化方式（以下、高度化方式）の研究開発に取り組んでいる。高度化方式を実用化するには、方式そのものの研究開発とともに、全国に放送電波を届けるために多数の中継局を設置する放送ネットワークの検討も必要となる。

■ 放送波中継と等化判定器

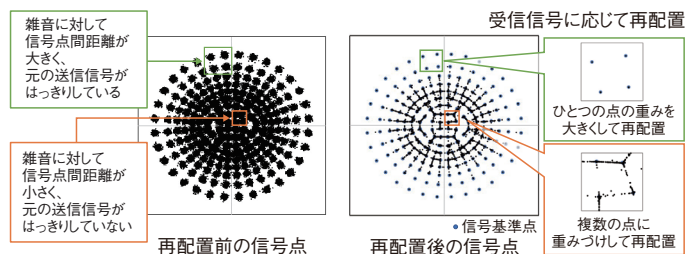
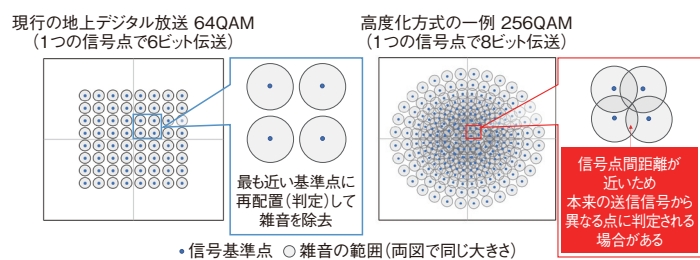
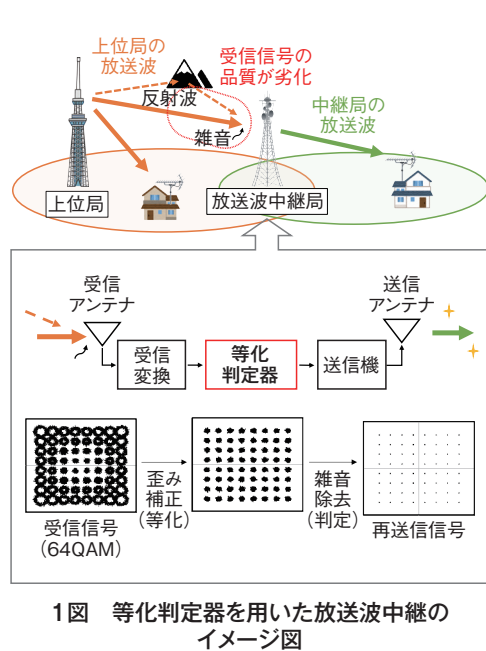
中継局へ放送プログラムを伝送する手段のひとつが放送波中継である。放送波中継局では、上位局からの放送波を受信・増幅して再送信する。受信する放送波（受信信号）は、反射波により歪みが生じるとともに、上位局と中継局間の伝搬路や受信系統で雑音加わること、品質が劣化する。そこで、中継局では「等化判定器」により歪みを補正（等化）するとともに、雑音を除去（本来の信号を再現するための判定）して再送信している（1図）。

■ 高度化方式に対応した等化判定器の開発

高度化方式では大量の情報を伝送するために、デジタル変調された電波の信号点が多くなっている。信号点が多いと雑音の影響を受けやすいため、中継局において本来の信号点とは異なる信号点へ誤って判定されてしまうことがある（2図）。この場合、誤った情報を再送信することになり、受信機で誤り訂正符号が有効に機能せず、正しく受信できなくなることがある。

当所では高度化方式に対応した等化判定手法を開発した。この手法では、あらかじめ定められた基準点へ一律に判定するのではなく、受信信号に応じた重みづけをして再配置する（3図）。これにより、受信機での誤り訂正符号が機能し、正しく受信できるようになる。この手法による放送波中継の有効性を室内実験で確認した。

今後も、高度化方式による放送サービスの実現に向けて、放送ネットワークに関する研究開発を進めていく。



プライバシーに考慮しながら個人データの活用を実現 パーソナルデータストア

皆さんは、テレビ番組で紹介された商品を買ったり、訪れたことのある観光地を紹介するテレビ番組を見たりした経験はないだろうか？このように、毎日のテレビの視聴と、実生活やインターネットにおける行動は密接に関わっている。当所では、放送から得られた情報を必要ときに便利に活用したり、自分に合った新たな放送コンテンツを発見したりするユーザー体験の実現を目指して、視聴履歴を含むパーソナルデータ*1を活用する研究を進めている。

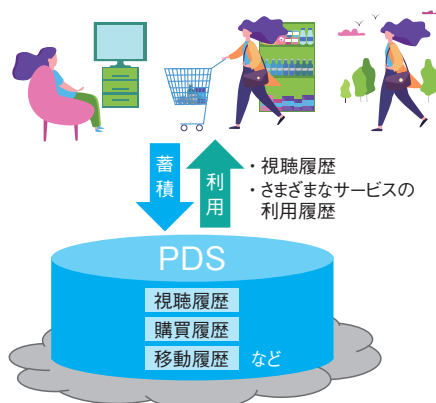
現代では、さまざまなネットサービスの提供元がユーザーの利用履歴を収集し、嗜好や行動を類推して、個人に合わせたサービスを行っている。しかし、例えば家計簿アプリとネットバンキングアプリを連携する場合など、複数のサービスを連携する場合に異なるサービス提供元の間でパーソナルデータが交換されるため、ユーザーは自分のプライバシーがどこまで守られているのかを把握することが難しく、安心してこれらのサービスを利用できないという課題がある。

そこで、パーソナルデータストア（PDS）と呼ばれる機能を用いて、パーソナルデータをユーザーの手元に置いたままで、個人に合わせたサービスを提供する仕組みを検討している。PDSとは、ユーザー自身がパーソナルデータを保持し、どのサービスに使うかを自分で管理できる「箱」である。さまざまなデータが自分の管理する1つのPDSに記録されるため、異なるサービス間で柔軟にデータを連携できる。これを使えば、ユーザーの一人一人に合わせた放送サービスを安心してご利用いただけるのではないかと考えている。

今回、PDSを用いたデータ蓄積システムと、そのデータを利用するスマホアプリを試作した。ユーザーは、NHKやネットサービスの提供事業者に自分のパーソナルデータを開示することなく、NHKや他の放送局の番組に加えYouTubeなどのネット動画を視聴した履歴を1画面でまとめて確認したり、ソーシャルメディアへ自分が投稿した内容に関連する番組を推薦してもらったりすることができる。これにより、自分の意外な行動パターンに気づいたり、思いがけない番組に出会ったり、予想外の発見（セレンディピティ）につながるのではと考えている。

PDSは世界でもまだ新しい、ユーザー自身で個人情報をコントロールできる考え方である。当所では、海外の活用事例などにも目を配りつつ、具体的なサービス例の試作・検証や、他の事業者と連携して研究を進めていく。

*1 テレビの視聴履歴や、その他さまざまなネットサービスの利用履歴を表すデータ。



1図 PDSを活用したパーソナライズサービスのイメージ



友達との履歴の共有

2図 試作したアプリの画面例

Estimating Angular Resolutions Required in Light-Field Broadcasting

IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 67, No.2, pp.473-490 (2021)

澤島康仁, 宮下山斗, 小峯一晃

将来の3D放送の実現に向け、3Dディスプレイに求められる要件を明らかにする研究を行っている。本論文では、光線再生型の3D表示方式を想定し、十分な奥行きを持つシーンの表示に求められる要件を、小画面（13.5インチ）、中画面（55インチ）、大画面（200インチ）のディスプレイについて導出した。具体的には、主観評価実験を通して、表示パラメーター（独立な再生像が観察できる視点数）と主観画質との関係を求め、許容限以上の画質の提供に必要な視点数を導出した。この際、独自に開発した、ライトフィールド表示特性を模擬するシミュレーターを用いることで、様々な視点数と主観画質との関係を効率よく求めることを可能とした。その結果、必要な視点数は、小、中、大画面それぞれにおいて、視域角1度あたり、0.51、11.2、12.1視点であることが分かった。ここで、小画面では、個人視聴の想定により視域を限定できたことが、視点数の大幅な抑制に貢献している。本結果は、将来の3D放送サービス実現に向けた、3Dディスプレイの開発目標値となる。

放送視聴データの積極的な活用に向けたデータ取得・管理システムの開発と評価

情報処理学会論文誌 デジタルプラクティス, Vol.2, No.3, pp.38-46 (2021)

山村千草, 田口周平, 大亦寿之, 関根大輔, 藤沢 寛, 藤井亜里砂

特定の大企業によるデータ寡占の問題や、プライバシー意識の高まりが表面化するなか、個人の安心・安全とパーソナルデータの活用とを両立する環境が求められている。筆者らは、パーソナルデータの1つとして、「いつどんな番組を見たか」を示す放送視聴データに着目し、ハイブリッドキャスト標準技術を用いたスマートフォンとテレビとの端末連携によって、視聴者自らが放送視聴データを取得・管理できるシステムを開発した。本論文では、開発したシステムの実装、被験者へのアンケートやインタビュー調査から得られた知見、および個人が主体となってパーソナルデータを活用することの課題と展望について述べている。具体的には、実際のケーブルテレビの契約者を対象にしたシステムの評価実験を実施し、個人ごとの放送視聴データを取得・管理する手段としてのシステムの有性および放送視聴データの活用可能性を明らかにした。

Spatial Uniformity Improvement at Low Luminance Levels for Organic Light-emitting Diode Displays

ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.9, No.4, pp.234-239 (2021)

岡田拓也, 薄井武順, 中嶋宜樹

有機発光ダイオード（OLED：Organic Light-emitting Diode）を用いた有機ELディスプレイの表示の均一性改善、特に低輝度領域の画質改善に向けてディスプレイ駆動技術の研究を進めている。一般的な有機ELディスプレイは、画素内の薄膜トランジスタ（TFT：Thin-Film Transistor）によってOLEDの電流を制御することで輝度の階調を表現する。しかし、画面内でTFTの特性にばらつきが生じることにより、画面内の明るさが不均一となって画質が低下するという課題があった。本論文では、画面内の明るさの不均一性がOLEDの低い電流値よりも高い電流値で抑制されることに着目した。まず、1フレーム内に発光時間の短いサブフレーム期間を設け、高い電流値で低輝度領域の階調を表現することにより、明るさの均一性を改善できることを示した。さらに、複数画素を発光画素と非発光画素に分割し、発光画素を通常よりも高い輝度で表示することで、時間方向にサブフレームを設けた場合と同様に明るさの均一性を改善できることを示した。これらの手法はフレーム期間や画素を分割することで実現でき、表示映像に対して適応的に制御することで、低輝度領域におけるさらなる均一性改善効果が期待できる。

Evaluation and Analysis of Light Diffraction from One-dimensional Liquid Crystal Devices Using Pixel Pitches more than 1 μm

ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.9, No.4, pp.240-246 (2021)

柴崎純一, 青島賢一, 麻生慎太郎, 船橋信彦, 石鍋隆宏*, 柴田陽生*, 藤掛英夫*, 町田賢司

※ 東北大学

ホログラフィーは究極の3次元表示技術として注目されている。ホログラム映像は空間光変調器（SLM：Spatial Light Modulator）上に表示した干渉縞からの回折光によって再生される。ホログラム映像の広視域化にはSLMの画素ピッチを1 μm 程度に狭めることが必要となるが、狭画素ピッチ化に伴う回折効率の低下が問題となる。本論文では、強誘電性液晶（FLC：Ferroelectric Liquid Crystal）とネマティック液晶（NLC：Nematic Liquid Crystal）を用いた1～10 μm ピッチの1次元くし歯型液晶デバイスを作製し、振幅変調にて白黒ストライプパターンを表示させ、回折効率を評価した。狭画素ピッチ化によって1次回折効率は低下し、画素ピッチ1 μm においてFLCでは5.5%、NLCでは1.4%となり、FLCの方が狭画素ピッチにおける回折効率が高いことが分かった。また、実験値と理論値の比較から、狭画素ピッチ化により白黒パターンの変化が不明瞭になることが回折効率低下の原因の一つであることを確認した。これらの結果から、ホログラフィーに向けた狭画素ピッチ液晶デバイスでは回折効率の高いFLCの方がNLCより適していることが示唆された。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2021-128293	合焦制御装置、パンフォーカスカメラ及びプログラム	レンズの光軸の方向を制御することで、所定の平面の合焦状態を得る合焦制御装置、パンフォーカスカメラ及びプログラム。
特開2021-129003	量子ドット発光素子及び表示装置	発光効率の高い量子ドット発光素子及び表示装置。
特開2021-129148	予測装置、符号化装置、復号装置、及びプログラム	複数の合成方式を三角形分割予測に導入する場合であっても、シグナリングするフラグ量の増加を抑制する予測装置、符号化装置、復号装置、及びプログラム。
特開2021-129149	3次元画像用の撮像装置および3次元画像用の撮像表示装置	2次元撮像素子の各単位素子における、2次元要素画像の強度分布やそれに付随するSNR分布を小さく抑え、再構成した視差画像間における平均輝度分布の差異を減少せしめて、3次元画像に不必要な強度のばらつきや不連続性を抑制する3次元画像用の撮像装置および3次元画像用の撮像表示装置。
特開2021-131457	ホログラム撮影装置及び像再構成システム	空気の揺らぎや振動などの外乱の影響を受けにくく、高い空間分解能を有し、撮像素子の選定が自由なホログラム撮影装置及び像再構成システム。
特開2021-131537	コンテンツ制作装置およびプログラム	話速変換技術に依らずに、所望の長さを有する、音声としての品質の高いコンテンツを制作することのできるコンテンツ制作装置およびプログラム。
特開2021-131741	AR表示制御装置及びそのプログラム、並びに、AR表示システム	空間共有での違和感を低減できるAR表示制御装置及びそのプログラム、並びに、AR表示システム。
特開2021-132259	受信装置及びプログラム	動画のストリーミング再生において、視聴者の体感品質を低下させることなく通信量を削減させる受信装置及びプログラム。
特開2021-132302	画像符号化装置、画像復号装置及びこれらのプログラム	より符号化効率の優れた画面内予測を用いる画像符号化装置、画像復号装置及びこれらのプログラム。
特開2021-132349	フレーミング領域学習装置及びフレーミング領域推定装置、並びに、これらのプログラム	様々なカメラ位置から実際のカメラマンがフレーミングしたようなフレーミング領域を自動で決定できるフレーミング領域学習装置及びフレーミング領域推定装置、並びに、これらのプログラム。
特開2021-135619	状況識別装置、状況学習装置及びプログラム	識別対象に含まれる移動物体の位置情報を用いることで、識別対象の状況を精度高く判定する状況識別装置、状況学習装置及びプログラム。
特開2021-135621	端末装置及びプログラム	コンテンツの再生に伴いIoT機器を動作させる際に、コンテンツのCD及びIoT機器のTDを利用することで、簡易な仕組みにてIoT機器に対する所望の動作を実現できる端末装置及びプログラム。
特開2021-135763	分類装置、機械翻訳システム、およびプログラム	機械翻訳処理に特有の誤りを少なくするための分類装置、機械翻訳システム、およびプログラム。
特開2021-136038	顔認識用学習データ生成装置およびそのプログラム、ならびに、顔認識装置およびそのプログラム	人の手間をかけずに顔認識用の学習データを生成することが可能な顔認識用学習データ生成装置およびそのプログラム、ならびに、顔認識装置およびそのプログラム。
特開2021-136465	受信装置、コンテンツ伝送システム、及びプログラム	演算量及び回路規模の増加を抑制し、3次元音響を組み合わせたAR/VRコンテンツの再生のリアルタイム性を確保し、視聴品質を向上させる受信装置、コンテンツ伝送システム、及びプログラム。
特開2021-136476	送信サーバ、送信装置、受信装置及びプログラム	デジタル放送で利用する誤り訂正符号の符号化データを基に、効率的に、通信を利用して受信側からの再送要求に応じてデータ再送する送信サーバ、デジタル放送に係る送信装置、受信装置及びプログラム。
特開2021-136477	送信サーバ、送信装置、受信装置及びプログラム	デジタル放送で利用する誤り訂正符号の符号化データを基に、効率的に、通信を利用して受信側からの再送要求に応じてデータ再送する送信サーバ、デジタル放送に係る送信装置、受信装置及びプログラム。
特開2021-136478	送信サーバ、送信装置、受信装置及びプログラム	デジタル放送で利用する誤り訂正符号の符号化データを基に、効率的に、通信を利用して受信側からの再送要求に応じてデータ再送する送信サーバ、デジタル放送に係る送信装置、受信装置及びプログラム。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2021-136486	送信サーバ, 送信装置, 受信装置, 符号化器, 復号器, 及びプログラム	デジタル放送で利用する誤り訂正符号の符号化データを基に, 効率的に, 通信を利用して受信側からの再送要求に応じてデータ再送する送信サーバ, 送信装置, 受信装置, 符号化器, 復号器, 及びプログラム。
特開2021-136487	送信サーバ, 送信装置, 受信装置及びプログラム	デジタル放送で利用する誤り訂正符号の符号化データを基に, 効率的に, 通信を利用して受信側からの再送要求に応じてデータ再送する送信サーバ, デジタル放送に係る送信装置, 受信装置及びプログラム。
特開2021-136525	画質評価方法及びその装置	ビットレート毎に評価対象画像の画質を主観評価できる画質評価方法及びその装置。
特開2021-136538	撮像装置及び放射線撮像装置	TFTの製造上のばらつきに起因するしきい値電圧のばらつきによる素子の歩留まり低下を防ぐことが可能な, 画素内に増幅トランジスタを備えた撮像装置及び当該撮像装置を用いた放射線撮像装置。
特開2021-136562	動画像符号化装置, 動画像復号装置及びプログラム	画面間でオブジェクトがぼやけたり鮮鋭化する場合であっても, 精度の高い予測ピクチャを生成し, 符号化効率を向上させた動画像符号化装置, 動画像復号装置及びプログラム。
特開2021-137182	カトラリー類操作装置	機械的な動作により食べ物を箸等のカトラリー類を用いて安定して操作することができるカトラリー類操作装置を提供することを課題とするカトラリー類操作装置。
特開2021-140018	画像処理装置及びプログラム記録再生装置	ページデータ面内の振幅又は位相変調のむらを, 少ないサンプリング数から正確に取得することができる, 画像処理装置及びプログラム記録再生装置。
特開2021-140084	音声認識誤り修正支援装置, プログラムおよび方法, ならびに, 音声認識装置	コンテンツの音声認識の未認識区間において修正作業を行うことが可能な音声認識誤り修正支援装置, プログラムおよび方法, ならびに, 音声認識装置。
特開2021-140480	翻訳装置, およびプログラム	機械翻訳処理において, たとえ原言語文と目的言語文との間で情報の過不足がある対訳文を用いて学習する場合にも, 訳抜けの起こりにくい機械学習を実現する翻訳装置, およびプログラム。
特開2021-141546	2段相関雑音除去回路	固体撮像素子又はCDS回路の出力信号における相関雑音を高精度に除去するよう小規模の回路構成で高精細な固体撮像素子へ適用可能とする2段相関雑音除去回路。
特開2021-141549	動画配信装置, 動画送出装置, 動画配信システム, 動画配信方法及び動画配信プログラム	複数の受信端末に対して, 低遅延なりリアルタイム配信が可能な動画配信装置, 動画送出装置, 動画配信システム, 動画配信方法及び動画配信プログラム。
特開2021-141604	画像符号化装置, 画像復号装置, 及びプログラム	複数の参照画像を用いて予測を行う場合において符号化効率を改善可能とする画像符号化装置, 画像復号装置, 及びプログラム。
特開2021-144430	変換装置およびプログラム	時系列のフレーム画像を入力し, それに対応する記号列(例えば, 所定の言語表現における単語列)を出力することのできる変換装置およびプログラム。
特開2021-144980	有機エレクトロルミネッセンス素子, 表示装置, 及び照明装置	低レベルの封止がなされた状態でも, 大気中での保存安定性が良好で, 発光面の劣化を抑制した有機EL素子エレクトロルミネッセンス素子, 表示装置, 及び照明装置。
特開2021-145093	有機エレクトロルミネッセンス素子, 表示装置, 照明装置	トランジスタ及びキャパシタを用いずにメモリ性を有する有機エレクトロルミネッセンス素子, 表示装置, 照明装置。
特開2021-145168	配信サーバ及びプログラム	負荷を軽減させることが可能な配信サーバ及びプログラム。
特開2021-150604	積層型撮像素子およびその製造方法	有機光電変換膜が, 積層プロセスでパターニングを行う場合に用いられる薬品等によりダメージを受けることなく, かつ, 高温加熱処理を不要とし有機光電変換膜の特性劣化を招来せず, 生産効率の大幅低下を阻止する積層型撮像素子およびその製造方法。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2021-150692	イメージセンサ及び撮像装置	被写体を撮影した際に発生するストリーキングノイズを抑制可能とする、二次元画素配列のイメージセンサ及び撮像装置。
特開2021-150742	イメージセンサ	低ノイズと広ダイナミックレンジを両立することができるイメージセンサ。
特開2021-153270	ユーザ端末及びプログラム	ネット動画を視聴しているユーザが切替操作を行ったときに、新たな動画の視聴開始までの待ち時間を短縮すると共に、不体裁の発生を防止するユーザ端末及びプログラム。
WO2021/201215	デブロッキングフィルタ制御装置及びプログラム	映像信号を符号化する符号化装置又は符号化された映像信号を復号する復号装置において、復号済み画像に対するデブロッキングフィルタ処理を制御するデブロッキングフィルタ制御装置及びプログラム。
WO2021/201222	符号化装置、復号装置、及びプログラム	量子化処理を行う量子化部と、適応ループフィルタ処理を行うループフィルタと、適応パラメータセットをビットストリームに含めて出力するエントロピー符号化部とを備える符号化装置、復号装置、及びプログラム。
特開2021-156914	レンズアレイ及び立体表示装置	画質低下を抑制し、簡易な構成で色モアレを抑制できるレンズアレイ及び立体表示装置。
特開2021-158510	撮像装置	撮影画像を正確に補正できる撮像装置。
特開2021-164039	ジッタ発生装置	所望の確定的ジッタを付加した信号を生成して出力するジッタ発生装置。
特開2021-164098	信号処理装置およびプログラム	伝送規格によらず、伝送路歪に対する歪補償を行う信号処理装置およびプログラム。
特開2021-166276	光電変換膜積層型固体撮像素子	印加電圧を光電変換膜の耐電圧以内に抑え、均一で、アバランシェ増倍現象を利用可能な、高い電界強度を電極間に発生させ得る光電変換膜積層型固体撮像素子。
特開2021-166358	シングルキャリア受信装置	SC-FDE方式において、複数ブロックのチャネル推定結果の平均化処理を行う場合であっても、精度の高いチャネル推定値を得るシングルキャリア受信装置。
特開2021-167853	異常音検知装置及びそのプログラム	音声信号に含まれる様々な異常音を検知できる異常音検知装置及びそのプログラム。
特開2021-168085	コンテンツ受信装置、端末装置、視聴記録データ生成装置、およびプログラム	視聴記録データを生成する事業者以外の第三者がデータを検証することのできるコンテンツ受信装置、端末装置、視聴記録データ生成装置、およびプログラム。
特開2021-168447	送信装置、受信装置、及びプログラム	第1解像度の映像から第2解像度の映像を生成するための専用機器を不要としつつ、第1解像度の映像を映像分割することで第2解像度の映像を生成し、両映像を高画質を保ったまま低遅延に伝送可能とする送信装置、受信装置、及びプログラム。
特開2021-170724	映像抽出装置及びプログラム	要約映像を生成するために、画力のある区間映像を元の映像から抽出する映像抽出装置及びプログラム。
特開2021-170725	シングルキャリア受信装置	SC-FDE方式において、チャネル推定の精度を向上させ、所要C/Nを低減するシングルキャリア受信装置。
特開2021-173822	インコヒーレントデジタルホログラム撮像装置およびその撮像方法	再構成された画像のSNRを向上させ得る、インコヒーレントデジタルホログラム撮像装置およびその撮像方法。
特開2021-174117	学習装置、代表画像抽出装置及びプログラム	番組映像から、番組制作のノウハウを考慮した代表画像を抽出可能な学習装置、代表画像抽出装置及びプログラム。
特開2021-174253	疑似体験システム	ユーザーに力覚を提示することが可能なVRコンテンツの疑似体験システム。
特開2021-175052	撮像装置	簡便な方法で高精度な合焦状態検出と、高画質な画像取得を両立することができる多板撮像方式の撮像装置。

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2021-175059	送信装置及び受信装置	IPをベースとした通信伝送路に対して親和性の高いものとし、複数の放送伝送路を利用してTLV/パケット形式でリオーダーリング及び各伝送路間の伝送遅延差を考慮して所定のデータを分割しバルク伝送する送信装置及び受信装置。
特開2021-175060	送信装置及び受信装置	IPをベースとした通信伝送路に対して親和性の高いものとし、複数の放送伝送路を利用してTLV/パケット形式でリオーダーリング及び各伝送路間の伝送遅延差を考慮して所定のデータを分割しバルク伝送する送信装置及び受信装置。
特開2021-175090	画像符号化装置、画像復号装置及びこれらのプログラム	より符号化効率の優れた画面内予測を用いる画像符号化装置、画像復号装置及びこれらのプログラム。
特開2021-176081	コンテンツ提示装置およびプログラム	リクエストにおいて指定されたコンテンツの関連コンテンツを提示することのできるコンテンツ提示装置およびプログラム。
特開2021-176218	撮像装置	撮像素子の信号線の電圧振幅を最適に制御し、ノイズやアーティファクトを抑制することが可能な撮像装置。
特開2021-177329	翻訳装置、手話映像生成装置、およびプログラム	うなずきや指差などといった動作に対応する記号を含む翻訳結果を性能良く出力することのできる翻訳装置、手話映像生成装置、およびプログラム。
特開2021-177599	画像符号化装置及びそのプログラム	ブロックベース符号化に対し親和性の高い態様で、画面間予測精度を高めつつ符号化効率を向上させた画像符号化装置及びそのプログラム。
特開2021-177611	送信サーバ、送信装置、受信装置及びプログラム	デジタル放送で利用する誤り訂正符号の符号化データを基に、効率的に、通信を利用して受信側からの再送要求に応じてデータ再送を可能とする送信サーバ、デジタル放送に係る送信装置及び受信装置、及びプログラム。
特開2021-177626	ディスプレイ変調度測定装置およびそのプログラム	精度の高いディスプレイ変調度を求めることが可能なディスプレイ変調度測定装置およびそのプログラム。
特開2021-179468	発話音声テキスト生成装置、発話音声テキスト生成プログラムおよび発話音声テキスト生成方法	複数の発話音声を含んだ音声データと対応するテキストデータとから、発話区間ごとの音声データとテキストデータとを生成することが可能な発話音声テキスト生成装置、発話音声テキスト生成プログラムおよび発話音声テキスト生成方法。
特開2021-180218	フレームトランスファー型CCDエリアイメージセンサ	スミアの発生を抑制したフレームトランスファー（FT）型CCDエリアイメージセンサ。
特開2021-180381	放送通信制御装置、番組選択装置、放送通信制御システム、及びプログラム	特定の配信サーバへアクセスが集中した場合に、映像の品質低下を抑制する放送通信制御装置、番組選択装置、放送通信制御システム、及びプログラム。
特開2021-180492	画像復号装置及び画像復号方法	符号化効率を改善する画像復号装置及び画像復号方法。
特開2021-180495	予測画像補正装置、画像符号化装置、画像復号装置、及びプログラム	予測画像を適切に補正可能とする予測画像補正装置、画像符号化装置、画像復号装置、及びプログラム。
特開2021-182662	二方向狭指向性マイクロホン	複雑な構造や製造を回避して、1本の音響管を使用し直線二方向に狭指向性で分離收音可能とする二方向狭指向性マイクロホン。

研究会・年次大会等発表一覧 (2021年8月～2021年11月)

題目	発表者	発表先／誌名	資料番号	発表年月日
アンケートデータを対象とした傾向抽出手法と評価	岡本大輝, 後藤 淳	第20回情報科学技術フォーラム講演論文集 [FIT 2021]	No.1, CA-005, pp.19-26	2021.8.25～27
VVCにおける4K8K映像用RD最適化モデルの検討	近藤雄一, 杉藤泰子, 市ヶ谷敦郎	第20回情報科学技術フォーラム講演論文集 [FIT 2021]	No.3, I-034, pp.237-238	2021.8.25～27
メタデータ連携基盤を用いた教育番組における関連コンテンツ提示実証実験の評価	佐藤壮一, 小松佑人, 藤沢 寛, 藤津 智	第20回情報科学技術フォーラム講演論文集 [FIT 2021]	No.3, K-001, pp.333-334	2021.8.25～27
近未来におけるAR/VRメディアの視聴スタイル	川喜田裕之	超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム (URCF) 2021年シンポジウム	-	2021.8.27
トポロジカル絶縁体BiSbを接合した磁性細線における磁区の電流駆動	中谷真規, 高橋真央, 小倉 溪, 石井紀彦, Pham Nam Hai (東京工業大学), 宮本泰敬	第45回日本磁気学会学術講演概要集	01aB-2, p.93	2021.8.31～9.2
[Invited] Unraveling Electron Injection/transport Mechanism in OLEDs	深川弘彦	13th Asian Conference on Organic Electronics (A-COE 2021)	VIP3-5, p.49	2021.9.2～4
地上放送高度化に向けたチャンネルボンディングの一検討	朝倉慎悟, 佐藤明彦, 神原浩平, 岡野正寛, 斎藤恭一	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.24, BCT2021-37, pp.9-12	2021.9.3
地上放送高度化方式におけるトランスポート層でのチャンネルボンディング機能の検証	佐藤明彦, 朝倉慎悟, 神原浩平, 岡野正寛, 斎藤恭一	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.24, BCT2021-38, pp.13-16	2021.9.3
地上テレビジョン放送高度化方式におけるサブ階層を用いた高耐性移動受信サービスに関する一検討	宮坂宏明, 川島祥吾, 朝倉慎悟, 竹内知明, 岡野正寛	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.24, BCT2021-39, pp.17-20	2021.9.3
高度化STLの多重伝送方式の一検討	永田裕靖, 河村侑輝, 大西正芳, 今村浩一郎	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.24, BCT2021-40, pp.21-24	2021.9.3
NMOS制御情報と連携したIP制作システム監視ツールの試作	小山智史, 倉掛卓也	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.24, BCT2021-41, pp.25-28	2021.9.3
地上放送高度化方式の概要と名古屋地区での大規模野外実験	朝倉慎悟	令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会	J6-3	2021.9.7～8
任意の指向性を有する移動音源によって形成される波面の合成	佐々木陽, 松井健太郎, 中山靖茂	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	1-2-6, pp.187-190	2021.9.7～9
ITU-R SG6における高臨場感オーディオに関する標準化	大出訓史	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	2-2-7, pp.1349-1350	2021.9.7～9
MPEG Audio Codingにおける標準化動向	杉本岳大	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	2-2-9, pp.1353-1354	2021.9.7～9
測定時間が異なる複数のラウドネス値を基準とした副音声制作におけるダイアログレベルの自動調整法	久保弘樹, 西口敏行, 大出訓史	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	2-2-10, pp.1355-1356	2021.9.7～9
MPEG-H 3D Audioによるモノ信号の圧縮符号化	杉本岳大	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	2-2-11, pp.1357-1358	2021.9.7～9
人声の3次元放射特性の推定法における検討	木下光太郎, 杉本岳大, 中山靖茂	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	2-2-12, pp.1359-1360	2021.9.7～9
任意の3次元放射方向の人声の再現に必要な角度の分解能—水平面および正中面における検討—	杉本岳大, 木下光太郎	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	2-8-8, pp.807-808	2021.9.7～9
低域効果用スピーカによる群遅延が聴感に与える影響	小野一穂 (NHK-ES), 杉本岳大, 大出訓史, 大久保洋幸	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	3-1P-1, pp.349-350	2021.9.7～9
ネット同時配信のための適切な字幕表示タイミングの検討	伊藤 均, 田中 壮, 佐藤裕明, 三島 剛, 河合吉彦, 小森智康, 佐藤庄衛	2021年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集CD-ROM	3-10-5, pp.1223-1224	2021.9.7～9
低毒性のAg-In-S系量子ドットを発光層に用いた電界発光 (EL) 素子の作製	泉竜之介 (大阪大学), 上松太郎 (大阪大学), 本村玄一, 岩崎有希子, 都築俊満, 島本 司 (名古屋大学), 桑畑 進 (大阪大学)	2021年電気化学秋季大会	2C07	2021.9.8～9

研究会・年次大会等発表一覧 (2021年8月～2021年11月)

題目	発表者	発表先/誌名	資料番号	発表年月日
視聴データを用いたサービス運用で想定される利用者のリスク認知の調査	伊藤優吾 (情報セキュリティ大学院大学), 村崎康博, 松村欣司, 藤井亜里砂, 藤本正代 (情報セキュリティ大学院大学)	情報処理学会研究報告 EIP 電子化知的財産・社会基盤	Vol.2021-EIP-93, No.1, [8p.]	2021.9.9～10
映像評価指標に基づく配信帯域制御による品質管理型ABR配信手法の検討	福留大貴, 北田裕之 (NTT), 黒住正顕, 西出彩花, 西村 敏, 奥山隆文 (NTT), 趙 笑添 (NTT), 山本正男	電子情報通信学会技術研究報告 CQ コミュニケーションセキュリティ	Vol.121, No.173, CQ2021-61, pp.115-120	2021.9.9～10
BiSbトポロジカル絶縁体のスピンホール効果のSb組成比依存性	市村雅貴 (東京工業大学), Nguyen HuynhDuy Khang (東京工業大学), 高橋真央, 宮本泰敬, Pham Nam Hai (東京工業大学)	2021年(令和3年)秋季第82回応用物理学会学術講演会講演予稿集	12p-S302-5, pp.09-070	2021.9.10～13
OLEDにおける電子注入・輸送メカニズムの解明	佐々木翼, 長谷川宗弘 (日本触媒), 稲垣魁斗 (東京理科大学), 大野 拓, 森井克行 (日本触媒), 清水貴央, 深川弘彦	2021年(令和3年)秋季第82回応用物理学会学術講演会講演予稿集	13p-N205-5, pp.11-370	2021.9.10～13
新規電子注入材料によるOLED積層構成の革新	稲垣魁斗 (東京理科大学), 佐々木翼, 長谷川宗弘 (日本触媒), 大野 拓, 森井克行 (日本触媒), 清水貴央, 深川弘彦	2021年(令和3年)秋季第82回応用物理学会学術講演会講演予稿集	13p-N205-6, pp.11-371	2021.9.10～13
五感メディアに向けた嗅覚情報によるストーリーテリングに関する一検討	東真希子, 澤島康仁, 小峯一晃	第26回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集	1B1-3	2021.9.12～14
Synthesis of Highly Luminescent Ag-Na-Ga-In-S Quantum Dots and Their Application to Electroluminescence Devices	都澤 諒 (名古屋大学), 宮前千恵 (名古屋大学), 本村玄一, 岩崎有希子, 都築俊満, 亀山達矢 (名古屋大学), 上松太郎 (大阪大学), 桑畑 進 (大阪大学), 鳥本 司 (名古屋大学)	2021年光化学討論会	1P66★E	2021.9.14～16
時系列解析による帯域変動予測手法における負の誤差の軽減	板倉慧汰, 森 翔平, 黒住正顕, 西村 敏	2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, 通信2	B-11-10, p.135	2021.9.14～17
有機光電変換膜を適用した撮像デバイス用増幅型TFT画素回路	今村弘毅, 堺 俊克, 高木友望, 峰尾圭忠, 渡部俊久, 佐藤弘人, 相原 聡	2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス2	C-10-3, 2021, p.33	2021.9.14～17
Crystalline Selenium Layer Stacked CMOS Image Sensors with Pixel-Wise 1-bit A/D Converters Using Avalanche Multiplication Suitable for Photon Counting	後藤正英, 為村成亨	2021 International Image Sensor Workshop (IISW 2021)	R41, pp.284-287	2021.9.20～24
全天球映像における視点の高さの知覚の実験心理学的研究	原澤賢充, Janina Karhunen (豊橋技術科学大学), 北崎充晃 (豊橋技術科学大学)	2021年日本視覚学会夏季大会	3p10	2021.9.22～24
Development of LDPC FEC Encoder/Decoder for IP Network to Compensate for Rain Attenuation in 21-GHz-band Satellite Broadcasting	小泉雄貴, 鈴木陽一, 楠 知也, 横畑和典, 筋誠 久	26th Ka and Broadband Communications Conference [In conjunction with 38th International Communications Satellite System Conference (ICSSC 2021)]	Ka-01, #100, [8p.]	2021.9.27～30
WoT Device Emulator	遠藤大礎, 佐藤辰哉, 松村欣司, 藤沢 寛	W3C Web of Things Plugfest	< https://github.com/w3c/wot-testing/tree/main/events/2021.09. Online/Projects/NHK >, (accessed 2021-11-11)	2021.9.27～10/1
Toward Complex Amplitude Multi-Level Holographic Memory	室井哲彦, 信川輝吉, 片野祐太郎, 木下延博, 石井紀彦	International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2021 (ISOM'21) Technical Digest	Mo-D-01, pp.35-36	2021.10.3～6
Reduction of Random Noise in Parallax Images Acquired by Single-Pixel Imaging Using Deep Neural Network	木村一正 (電気通信大学), 永田 門 (電気通信大学), 和田佑太 (電気通信大学), 片野祐太郎, 石井紀彦, 渡邊恵理子 (電気通信大学), 室井哲彦	International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2021 (ISOM'21) Technical Digest	Mo-E-04, pp.47-48	2021.10.3～6

研究会・年次大会等発表一覧 (2021年8月～2021年11月)

題目	発表者	発表先／誌名	資料番号	発表年月日
Compensation of Distortion Aberration and Defocus Blur in Depth Images Acquired via Incoherent Digital Holography	室井哲彦, 信川輝吉, 片野祐太郎, 萩原 啓, 石井紀彦	International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2021 (ISOM'21) Technical Digest	Tu-C-02, pp.111-112	2021.10.3～6
Common-path Configuration for Single-shot Phase-shifting Incoherent Digital Holography with a Single Diffraction Grating	信川輝吉, 片野祐太郎, 室井哲彦, 石井紀彦	International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2021 (ISOM'21) Technical Digest	Tu-D-01, pp.115-116	2021.10.3～6
Media Use Cases and Issues	遠藤大礎, 佐藤辰哉, 松村欣司, 藤沢 寛	W3C Web of Things WG/IG vF2F at World Wide Web Consortium Combined Technical Plenary/Advisory Committee Meetings 2021 (W3C TPAC 2021)	< https://github.com/w3c/wot/tree/main/PRESENTATIONS/2021-10-online-f2f/2021-10-26-WoT-F2F-UseCases-NHK-Endo.pdf >, (accessed 2021-11-17)	2021.10.5～8
Effect of Peak Luminance on Perceptual Color Gamut Volume	Jiang Fu (アップル), Fairchild Mark D. (ロチェスター工科大学), 正岡顕一郎	IS&T Best Student Research Seminars Fall 2021	-	2021.10.6
Stacked Image Sensor with Avalanche Multiplication in a Surface-enhanced Crystalline Selenium-based Photoconversion Layer	為村成亨, 峰尾圭忠, 新井俊希, 宮川和典, 渡部俊久, 久保田節, 相原 聡, 西本啓介, 杉山 睦 (東京理科大学), 難波正和	IEEE International Semiconductor Conference 2021 (CAS 2021)	A7P-C, Microsensors & Devices, Paper ID 9081	2021.10.6～8
次世代移動中継用FPUによるリモートプロダクションの検討	佐藤貴弘, 牧野仁宣, 伊藤史人, 中川孝之, 居相直彦	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.27, BCT2021-43, pp.23-28	2021.10.7～8
地上テレビジョン放送高度化方式用等化判定器の室内実験による伝送特性評価	川島祥吾, 宮坂宏明, 竹内知明, 岡野正寛	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.27, BCT-2021-44, pp.29-32	2021.10.7～8
A Study on Improving Error-correction Performance by Combining Signals Received Via Satellite Channel and IP Network for 21-GHz-band Satellite-broadcasting	小泉雄貴, 鈴木陽一, 亀井 雅	電子情報通信学会技術研究報告 SAT衛星通信 [2021 Joint Conference on Satellite Communications (JC-SAT 2021)]	Vol.121, No.189, SAT2021-48, pp.28-31	2021.10.7～8
Study on Digital Pre-Distortion with I/O Interfaces for Analogue Baseband Signal over Satellite Channel	小島政明, 小泉雄貴, 亀井 雅	電子情報通信学会技術研究報告 SAT衛星通信 [2021 Joint Conference on Satellite Communications (JC-SAT 2021)]	Vol.121, No.189, SAT2021-52, pp.47-50	2021.10.7～8
Gdx-Fe1-x磁性細線を用いた磁気光学光変調素子の電流誘起磁壁移動特性	早乙女巧真 (東海大学), 青島賢一, 保坂千都 (東京電機大学), 船橋信彦, 東田 諒, 秋山泰伸 (東海大学), 町田賢司	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.28, MMS2021-33, pp.13-18	2021.10.8
有機半導体への電子注入機構の解明とOLEDの材料革新	深川弘彦	高分子学会有機エレクトロニクス研究会	21-2, pp.9-10	2021.10.14
NHK STRL Open House 2021 Introduction to Our Latest Research Results	添野拓司	SET eXPerience	< https://setexperience.org.br/en/introduction-to-our-latest-research-results/ >, (accessed 2021-11-01)	2021.10.18
TOFセンサと可視光センサで構成した同軸光学系RGB-Dカメラを用いたポイントクラウド生成システムの開発	大川裕司, 林田哲哉, 瀧口吉郎	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.29, 3DIT2021-35, pp.21-24	2021.10.19
ネット配信動画のための適切な字幕表示タイミングの検討	小森智康, 伊藤 均, 田中 壮, 佐藤裕明, 三島 剛, 河合吉彦, 佐藤庄衛	電子情報通信学会技術研究報告 WIT福祉情報工学	Vol.121, No.203, SP2021-25, WIT2021-18, pp.6-11	2021.10.19
フォトンカウンティングの実現に向けた電荷増倍型結晶セレン膜と画素並列A/D変換回路を集積したCMOSイメージセンサ	後藤正英, 為村成亨	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.30, IST2021-50, pp.9-12	2021.10.21

研究会・年次大会等発表一覧 (2021年8月～2021年11月)

題目	発表者	発表先/誌名	資料番号	発表年月日
画素ソースフォロアンプのバイアス電圧サンプリングアンドホールド機能によるイメージセンサのノイズ低減	富岡宏平, 安江俊夫, 菊地幸大, 中村友洋, 山下蒼行, 北村和也, 川人祥二 (静岡大学)	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.30, IST2021-59, pp.45-48	2021.10.21
Recent Update and Remaining Issues on Hybridcast	佐藤辰哉, 瀧口 徹, 遠藤大礎, 松村欣司, 藤沢 寛	World Wide Web Consortium Combined Technical Plenary/Advisory Committee Meetings 2021 (W3C TPAC 2021) Media and Entertainment Interest Group vF2F meeting	<https://www.w3.org/2011/webtv/wiki/images/5/52/NHK-update-MEIG-TPAC-2021.pdf.>, (accessed 2021-11-22)	2021.10.25 ~ 27
インコヒーレントデジタルホログラフィの空間分解能の考察	信川輝吉, 片野祐太郎, 後藤正英, 室井哲彦, 井口義則, 萩原 啓, 石井紀彦	Optics & Photonics Japan 2021 [日本光学学会年次学術講演会講演予稿集]	28pC3	2021.10.26 ~ 29
放送サービスに適したセキュアメッセージング用グループ鍵共有	梶田海成, 江村恵太 (NICT), 小川一人, 野島 良 (NICT), 大竹 剛	コンピュータセキュリティシンポジウム2021 (CSS 2021) [情報処理学会コンピュータセキュリティ研究会主催]	3E4-1, pp.981-988	2021.10.26 ~ 29
[ポスター講演] ミリ波大容量伝送に向けたMIMO SC-FDE方式の一検討	松崎敬文, 山岸史弥, 島崎智拓, 中川孝之, 居相直彦	革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (MIKA2021) [電子情報通信学会通信ソサイエティ主催]	MIKA2021-71	2021.10.27 ~ 29
Next-Generation Audio Console Supporting the Serial-Audio Definition Model (S-ADM) for Live Production of Immersive and Personalized Sound	久保弘樹, 西口敏行, 杉本岳大, 大出訓史	NAB Proceedings 2021 [NAB Broadcast Engineering and Information Technology Conference]	[NEXT GEN TV TECHNOLOGIES]	2021.11.4
Haptic Perception System Synchronized With Live Broadcasts	高橋正樹, 東真希子, 石渡太智, 半田拓也, 佐野雅規, 山内結子 (NHK-ES)	NAB Proceedings 2021 [NAB Broadcast Engineering and Information Technology Conference]	[TV ENHANCEMENT]	2021.11.4
8K Camera System with Multi-plane Phase-detection Autofocus	菊地幸大, 船津良平, 中村友洋, 安江俊夫, 富岡宏平, 山下蒼行	SMPTE 2021 Annual Technical Conference & Exhibition	[Technical Session 5-1]	2021.11.9 ~ 18
地上放送の高度化に向けた低遅延高耐性伝送の一検討	朝倉慎悟, 古屋琴子, 神原浩平, 岡野正寛, 斎藤恭一	電子情報通信学会技術研究報告 RCS 無線通信システム	Vol.121, No.234, RCS2021-167, pp.124-128	2021.11.10 ~ 12
地上放送の高度化に向けた低遅延高耐性伝送特性の野外実験による検証	古屋琴子, 朝倉慎悟, 神原浩平, 岡野正寛, 斎藤恭一	電子情報通信学会技術研究報告 RCS 無線通信システム	Vol.121, No.234, RCS2021-168, pp.130-135	2021.11.10 ~ 12
近接場頭部伝達関数の測定	松井健太郎, 伊藤敦郎, 木下光太郎, 北島 周	日本音響学会研究会資料 聴覚	Vol.51, No.7, H-2021-66, pp.345-350	2021.11.15 ~ 16
点音源からの距離の変化による音の弁別能力の検証	木下光太郎, 松井健太郎, 伊藤敦郎	日本音響学会研究会資料 聴覚	Vol.51, No.7, H-2021-94, pp.509-513	2021.11.15 ~ 16
深層学習によるエントロピー符号化順序を考慮した量子化手法の検討	新井大地, 岩村俊輔, 市ヶ谷敦郎	2021年画像符号化シンポジウム/映像メディア処理シンポジウム (PCSJ2021 / IMPS2021)	P2-16, pp.91-92	2021.11.15 ~ 17
地上放送高度化に対応した高度化STL/TTL伝送方式の検討	島崎智拓, 松崎敬文, 中川孝之	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.33, BCT2021-45, pp.9-14	2021.11.18 ~ 19
U-SDIジッタ発生装置の開発	中村友洋, 大川裕司, 米内 淳, 瀧口吉郎	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.33, BCT2021-46, pp.15-18	2021.11.18 ~ 19
フルスベック8K制作システムの相互接続性向上の取り組み	中村友洋, 大川裕司, 米内 淳, 瀧口吉郎	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.33, BCT2021-47, pp.19-22	2021.11.18 ~ 19
[Invited] Immersive Media for Connecting with Remote Family and Friends: Development of Space-Sharing Content Viewing System	半田拓也, 吉野数馬, 川喜田裕之, 久富健介	20th International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK 2021)	IN14	2021.11.18 ~ 19
Thin-Film-Transistor-Based Active Pixel Sensor Circuits with an Organic Photoconductive Film	今村弘毅, 堺 俊克, 高木友望, 峰尾圭忠, 渡部俊久, 佐藤弘人, 相原 聡	20th International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK 2021)	RO1	2021.11.18 ~ 19

研究会・年次大会等発表一覧 (2021年8月～2021年11月)

題目	発表者	発表先／誌名	資料番号	発表年月日
超低仕事関数電極の実現によるOLEDの電子注入・輸送機構の解明	稲垣魁斗 (東京理科大学), 佐々木翼, 長谷川宗弘 (日本触媒), 大野 拓, 森井克行 (日本触媒), 清水貴央, 深川弘彦	2021年第33回有機EL討論会例会予稿集	S3-1, p.11	2021.11.18 ～ 19
機械学習を利用したスポーツ中継における映像表現・触覚提示	高橋正樹	精密工学会画像応用技術専門委員会研究会報告	Vol.36, No.4, 2021, pp.16-24	2021.11.19
自由視点ARストリーミングの効率的配信に向けた可視オブジェクトフィルタゲートウェイの実装	河村侑輝, 蛭間信博, 今村浩一郎	映像情報メディア学会技術報告	Vol.45, No.35, BCT2021-48, pp.35-40	2021.11.25
〔依頼講演〕空間共有コンテンツ視聴システムー離れた場所の人と一緒にAR・VRコンテンツを体感ー	半田拓也, 吉野数馬, 川喜田裕之, 久富健介	映像情報メディア学会技術報告 [高臨場感ディスプレイフォーラム2021]	Vol.45, No.37, AIT2021-158, IDY2021-27, 3DIT2021-52, pp.21-24	2021.11.29

編集委員会

編集長	石川 清彦
委員	鴨田 浩和／本田 悠葵／藤津 智／川本 潤一郎 中島 奈緒／田高 礼子／船橋 信彦／中田 充
事務局	松原 智樹
幹事	田中 克／小川 由紀

NHK技研R&D No.188 (2022年冬号)

2022年2月15日発行

編集・発行	日本放送協会 放送技術研究所 ©2022 日本放送協会 〒157-8510 東京都世田谷区砧1-10-11 電話 03-3465-1111 (NHK代表) ホームページ https://www.nhk.or.jp/str/
制作・印刷	株式会社 NHKビジネスクリエイト 〒150-0047 東京都渋谷区神山町5-5 NRビル1F 電話 03-3469-8230

※本誌は、「著作権法」によって著作権等の権利が保護されている著作物です。
※本誌に掲載されている会社名・製品名は、一般に各社の商標または登録商標です。

NHK