

情報ディスプレイ技術の研究動向

別井圭一^{†1}, 石鍋隆宏^{†2}, 久武雄三^{†3}, 馬場雅裕^{†4}, 清水貴央^{†5}, 藤崎好英^{†5},
薄井武順^{†5}, 吉田茂人^{†6}, 中村篤志^{†7}

1. まえがき

2014年～2016年の期間に発表された情報ディスプレイ関連技術の内容を元に、各種のディスプレイデバイス、システム、関連材料などの開発状況、動向をまとめた。

近年のインターネットを中心とした情報メディアの発展により、人々は常に情報に囲まれて生活するようになってきた。その結果、情報に触れる場所、時間は飛躍的に増大している。情報の出口としてのディスプレイの果たす役割はますます重要になってきている。

情報ディスプレイとしては、使われる目的、状況に応じて多種多様な形態・機能が要求される。そのため、使われる技術間でしのぎを削る競争が常態化しており、また技術分野の分化も進んでいる。そのような状況で、統一した視点でディスプレイ技術のまとめを行うのは困難な状況であり、本報告も分野別の羅列にならざるを得ない部分も多々あるが、できる限り判りやすいまとめとなるように努めた。

(別井)

2. 液晶ディスプレイ

2.1 新規液晶動作モード

スマートフォン用途として、誘電異方性が負の液晶を用いたn-FFSモードが光配向技術とともに広く普及し、その一方

^{†1} 株式会社日立製作所 研究開発本部

^{†2} 東北大学 大学院工学研究科

^{†3} 株式会社ジャパンディスプレイ

^{†4} 株式会社東芝 研究開発センター

^{†5} NHK 放送技術研究所

^{†6} シャープ株式会社 研究開発事業本部 通信・映像技術研究所

^{†7} 静岡大学 大学院総合科学技術研究科

"ITE Review 2017 Series (2): "Research Trend on Information Display Technology" by Keiichi Betsui (Center for Technology Innovation Hitachi, Ltd., Tokyo), Takahiro Ishinabe (Department of Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai), Yuzo Hisatake (Japan Display Inc., Tokyo), Masahiro Baba (Corporate Research & Development Center, Toshiba Corp., Kawasaki), Takahisa Shimizu, Yoshihide Fujisaki, Takenobu Usui (Science & Technology Research Laboratories, NHK, Tokyo), Shigetoshi Yoshida (Telecommunication and Image Technology Laboratories, Corporate Research & Development Business Unit, SHARP Corporation, Nara), Atsushi Nakamura (Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University, Hamamatsu)

で新たな機能性を有した動作モードの技術開発が進んだ。

次世代の高速液晶技術の一つであるブルー相液晶の駆動電圧の低減方法として、壁電極構造が提案された¹⁾。電極の高さは $3.5\ \mu\text{m}$ 、駆動電圧は30V、10型のTFTパネルが試作され、従来の2倍のコントラスト比が実現された。駆動技術としては、1画素に対してデータ線を2本設けるとともに(2DIG法)、コモン電極の電圧を変化させることで(COM-Swing法)、32Vまでの電圧印加が可能であることが報告された。

また、ブルー相液晶のフレキシブルディスプレイへの応用が報告された²⁾。プラスチック基板を用いたブルー層液晶セルを湾曲させると、基板の変形により液晶のセル厚が変化し、ブルー相液晶の構造に欠陥が生じる。フォトマスクを用いた紫外線のパターン露光により、ブルー相液晶中にポリマ壁を形成することで、湾曲時における配向の安定化が実現された。

自動車への応用に向けて、広い温度範囲における液晶ディスプレイの高速化が望まれている。電圧印加時のIPSモード液晶において、液晶ダイレクタが回転しない領域の間隔をセルギャップと等しくすることで、液晶応答の高速化を実現できることが報告され、この現象を利用したShort-range Lurch Control In-plane Switching (SLC-IPS) モードが提案された³⁾⁴⁾。応答時間は -30°C の環境で、立ち上がり78ms、立ち下がり50ms、従来の3倍の高速化が実現された。

また、透明・白・黒状態を表示可能な透明液晶ディスプレイが開発された⁵⁾。モノクロ液晶パネルと透明な導光板による色順次方式を用いる。カラーフィルタを用いないことから液晶パネルの透過率は22%と従来の4倍を達成した。パネルサイズは20型、コントラスト比は400:1、色再現性は80%。バックライトのオンオフにより、透明状態による白黒画像と、フルカラー画像(非透明状態)を切替えることができる。

ディスプレイの高機能化に向けた研究開発が進み、新たな応用分野が広がることを期待する。

2.2 新規液晶材料

誘電異方性が負の液晶を用いたn-FFSモードの実用化に伴い、負の液晶材料の特性改善、特に応答速度と電圧保持

率の改善について検討が進んだ。

高速化に向けて、誘電異方性が大きく、かつ回転粘性が小さい負の液晶材料が開発された⁶⁾。また、FFSモードでは弾性定数K22が駆動電圧、応答速度において重要なパラメータであり、K22の制御方法について検討が進んだ。電圧保持率、およびフリッカーについては、従来の正の液晶材料と同程度の性能を実現できることが報告されている。

一方、誘電異方性が正の液晶材料を用いたp-FFSモードの透過率の改善に向けて、 ϵ_{\perp} が大きい液晶材料が開発された⁷⁾。FFSモードの電極近傍における斜め電界により、液晶分子がチルトアップすることを抑え、高透過率化が期待できる。分子長軸と双極子モーメントの角度を大きくすることで、 ϵ_{\perp} を大きくすることが可能であり、これによりp-FFSモードの透過率が5%改善されることが報告された。

また、液晶ディスプレイの低電力化に向けて、低周波駆動用の液晶材料の開発が報告された⁸⁾。従来の60 Hz駆動と異なり、画像の書換えが1秒以上と長くなることから、電圧保持率が高く、残留DC電圧が低い液晶材料の開発が望まれる。一般に、双極子モーメントが大きい液晶材料は不純物イオンを引きつけ易く、このことから双極子モーメントが小さい材料が検討された。この結果、双極子モーメントを2.6D以下とすることで、液晶混合物の抵抗率 $10^{14} \Omega \text{ cm}$ を実現し、この材料を用いた反射型カラー液晶ディスプレイが開発された。パネルサイズは6.05型、解像度は212ppi、静止画を表示時のフレーム周波数は1/60 Hz。フリッカー、および焼き付きは極めて少ないことが報告されている。

2.3 反射型液晶ディスプレイ

ディスプレイの低電力化技術として、バックライトを用いず、周囲光を用いて表示を行う反射型カラー液晶ディスプレイの高画質化と実用化が進んだ⁹⁾。特に、明るい屋外光の下で、鮮明な画像表示が可能であることから、デジタルサイネージへの応用が注目され、32型の反射型液晶パネルを4枚タイリングした64型の大型デジタルサイネージディスプレイが提案されている。軽量でかつ、ディスプレイの温度管理に必要となる冷却装置が不要となることも大きな特長の一つである。表示性能としては、正方パターンのRGBW多色カラーフィルタ、銀反射電極、および指向性光拡散フィルムが提案され、光の利用効率の改善により、反射率25%、コントラスト比30:1、色再現性NTSC比30%が実現された。

また、反射型液晶ディスプレイの更なる低電力化技術として、画素内に内蔵したメモリー(メモリーインピクセル: MIP)が実用化され、従来の透過型液晶ディスプレイの1/100以下の低消費電力が実現された他、画素内に遮光層を設け、TFTの光リーク電流により生じるフリッカーを抑制することで、低温ポリシリコンTFTによる1 Hzの低周波駆動技術が報告された¹⁰⁾。

また、反射型ディスプレイの高画質化に向けて、二色性

染料を用いた無彩色偏光板が開発された^{11) 12)}。従来のヨウ素系偏光板は、低波長領域における二色比が低く、透過率の波長依存性の改善が重要な課題となっていた。この問題を解決するため、色素として二色性染料を用い、二色比を可視光領域で一定にすることで、透過率の波長依存性を抑え、偏光板の無彩色化を実現した。この無彩色偏光板を用い、高い反射率と紙の印刷物のような高品質な白表示を実現したペーパーホワイト反射型ディスプレイの開発が報告されている。ヨウ素系偏光板と比較して、色素系偏光板は100℃の高温環境下において偏光度の変化が少なく、また紫外線に対して高い耐性を有していることから、デジタルサイネージなどの屋外用途への応用が期待されている。

この他、反射型液晶ディスプレイと有機ELディスプレイを組合せたハイブリッドディスプレイの開発が報告された^{13)~15)}。Field Effect Transistor (FET)を形成した層の両側に転写技術を用いて反射型液晶セルとボトムエミッション型有機EL層を作製した。反射型液晶と有機ELデバイスを独立して駆動することで、明るい環境および暗い環境において良好な画像表示が可能であることが報告された。

周囲光を利用した反射型ディスプレイは、飛躍的な消費電力の低減と、軽量・薄型化による設置自由度の向上が期待できる非発光型の液晶ディスプレイ特有の表示方式である。今後の新たなアプリケーションに向けて、更なる開発の進展が期待される。

2.4 フレキシブル液晶ディスプレイ

柔軟なプラスチック基板を用いたフレキシブルディスプレイは、軽量化・薄型化が可能であり、また高い衝撃耐性を有することから、小型の携帯端末から大画面のシート型テレビまで幅広い応用に向けた開発が進められている。特に、近年では自動車への応用として、薄いガラス基板を用いた湾曲ディスプレイでは実現が困難な、自由曲面への対応が期待されており、ディスプレイのより一層のフレキシブル化と信頼性の向上が重要な課題となってきた。フレキシブルディスプレイは、有機ELディスプレイが先行して実用化されたが、高精細化が可能で信頼性が高い液晶ディスプレイのフレキシブル化について開発が進んだ。

プラスチック基板として、強化繊維プラスチック(FRP)を用いたフレキシブル液晶ディスプレイが開発された¹⁶⁾。FRPは、ガラス転移温度が250℃以上と高く、光学異方性が極めて小さい。キャリアガラスにプラスチック基板を貼り付け、液晶パネルを作成後に剥離することで、低コストで作製が可能であることが報告された。TFTにはアモルファスシリコンが用いられ、プロセス温度は200℃、剥離による特性の変化は極めて小さいことが報告されている。試作した液晶パネルの湾曲半径は40 mm。

フレキシブル液晶ディスプレイの、柔軟化に向けて塗布・剥離法を用いたポリイミド基板について検討が進んだ^{17)~20)}。塗布によるポリイミド基板の厚さは、約10 $\mu \text{ m}$ 、透過率は

90%、面内位相差 R_e は1 nm以下、厚さ方向位相差 R_{th} は約90 nm。液晶セル内に紫外線のパターン露光によるポリマ壁を形成することで、湾曲時におけるセル厚の変化を抑え、湾曲半径2mmが実現できることが報告された。

低温ポリシリコンTFTによるフレキシブル液晶ディスプレイの高精細化に向けて、高いガラス転移温度を有するポリイミド材料を用いたフレキシブルディスプレイの設計手法が報告された²¹⁾。一般に塗布・剥離法に用いられるポリイミド材料は、ガラス転移温度と光学異方性との間にトレードオフの関係がある。基板の位相差を低減するため、ポリイミド基板を $3.4\ \mu\text{m}$ と薄膜化し、その上に $6.6\ \mu\text{m}$ のアクリル層を設けることで基板を補強した。試作したデバイスは、2.95型のFFSモードLCD。解像度は271ppi、コントラストは860:1、パネル厚さは $400\ \mu\text{m}$ 。ポジティブCプレートによる光学補償により、従来のFFSモードLCDと同程度の視野角特性が実現された。

その他、有機TFTを用いたフレキシブルLCDが報告された²²⁾。プロセス温度は 100°C 以下と低温であることから、プラスチック基板としてトリアセチルセルロース(TAC)が用いられた。試作したデバイスは4.7型IPSモードLCD、湾曲半径は50 mm。1万回の湾曲試験(湾曲半径: 0.5 mm)後における有機TFTの閾値の変化は、極めて小さいことが報告された。

また、フレキシブル液晶ディスプレイの薄型化に向けて、染料系偏光板を用いたインセル型偏光板が提案された²³⁾。PET基板に高い耐熱性を有する染料系偏光板を貼り付け、透明電極、配向膜を積層することで、薄型の液晶デバイスが作製できる。プラスチック基板の光学異方性の影響を受けないため、PET等の安価なプラスチック基板が使用できる。

ポリイミドを用いた塗布・剥離法により、これまで実現が困難とされてきた液晶ディスプレイのフレキシブル化が、一気に進んだ。今後、更なる柔軟化と、実用化に向けたプロセス技術の確立が進むことを期待したい。(石鍋)

2.5 バックライト技術

非発光表示素子であるLCDは面光源としてパネル後方にバックライト(BL)、もしくは前方にフロントライト(FL)を必要とする。2000年くらいまで、これらBL、FLの発光行体は冷陰極管が主流であったが青色LED、そして白色LEDが実用化されて以降、環境(水銀レス)、安全性、寿命、消費電力の観点からBL、FLの発光体は白色LED(無機)に置き換わった。白色LEDは照明用途向けには光利用効率の観点から青色発光に黄色の蛍光体(フォトルミネセンス)を組合せていたが、LCDの色域拡大のニーズに応じるため、青色発光に緑色、赤色の蛍光体を組合せ、青、赤、緑にピーク波長を有する白色発光が主流となっている。しかしながら、蛍光体を用いた白色発光は、近年の更なる色域拡大の要望に対しては十分な演色性とは言えず、青、赤、緑の発光波長幅(バンド幅)を、発光効率を維持しながら、より

狭くする開発が盛んに行われている。この狭帯域の3色発光を実現する手段として盛んに開発されているのは3 in 1(光の三原色である赤色・緑色・青色の発光ダイオードのチップを用いて一つの発光源として白色を得る方法)と量子ドット(ナノサイズの結晶を3次的に配列して、その結晶の大きさで蛍光波長ならびに波長幅を制御する蛍光体)、量子ロッド(量子ドット同様、ナノサイズの結晶を3次的に配列した蛍光体だが粒子がシリンジカルな形状をしており、偏光光を発光でき、偏光を制御するLCDとの相性が良い)とレーザ光源である。3 in 1はコストと消費電力の問題を抱えており、これを克服すれば光源の主流になり得る。量子ドット、量子ロッドはカドミウム(Cd)やセレン(Se)など毒物の使用が問題視されておりInPなどCdフリーの研究が盛んに行われている。一方、レーザは単波長でかつ偏光光を発光させることができ、最も狭帯域な光源となるが、現状、青色レーザの発光効率が不十分で、なおかつ製造コストも高い。青色レーザが実用域に入れば、最も有望な光源となる。

これら発光光の狭帯域化、発光ピーク波長の制御はブルーライト問題にも有効である。人間は、網膜が470 nm付近の光を感受するとメラノプシン(色素)を発現し、メラトニン(睡眠と関連した天然ホルモン)を抑制し、不眠症などを誘発する。不眠症によって、発がん性、糖尿病、肥満などのリスクが報告されている。メラトニンは、昼はほとんど分泌されず、夜分泌される。夜分もしくは睡眠をとるべき時間帯には470 nm付近の発光を避けた方が良いが、現状、表示信号で抑制するか青色光をある程度カットするフィルムを通して観察するなどの対策しか取られていない。青色光を完全にカットするとフルカラー表示ができなくなる。一般的なLCD用青色カラーフィルタの透過波長のピークは440~50 nmであり、光源の青色光のピーク波長をこれに合わせ、発光波長域から470 nmを外せば、広色域とブルーライト対策を両立できる。

赤色、緑色、青色、そして白色のLEDが実用化されたことによって、近年、BLはさまざまな発展を遂げている。LEDは点光源であり、1列に並べると線光源にもなる。線光源であった冷陰極管ではできないことが実現できる。ITUがハイダイナミックレンジの推奨事項を発行(ITU-R BT.2100(2016))したようにテレビ用ディスプレイには高い輝度レンジが要求されるようになってきた。LCDの輝度コントラスト比は年々向上しているが、ITUの輝度レンジ推奨値はパネルコントラストだけでは実現できていない。これを実現した技術がBLのローカルディミングである。テレビ用LCDではパネル直下にLEDを2次的に敷き詰め、光源機能を領域ごとに制御する。分割された領域の表示画像に応じてLEDの輝度を調整しディスプレイとしての輝度コントラスト、輝度レンジを高める技術であり、すでにテレビ用ディスプレイとしてITUの推奨値を満たしたも

のが実用化されている。今後、このローカルディミング技術は他の分野、取り分けディスプレイの厚みが比較的許容される分野(例えば、車載用ディスプレイやヘッドアップディスプレイなど)にも波及するだろう。

さらに、近年、シースルーディスプレイやフレキシブルディスプレイなどさまざまなタイプのディスプレイが開発されている。シースルーLCDはBLを有さない透過型LCDにて実現されたが、背景が暗いと表示が見えなくなるという問題を抱えていた。この問題を解決したのが透明BLである。この透明BLは反射型に応用されたFLをBLとして用いたものだが、LEDの性能向上にともない十分に高い輝度を実現している。シースルーOLEDは発光と透明しか表示できない。BLを有さない透過型LCDは暗いところでは十分な表示が為せない。これに対し透明BLを用いたシースルーLCDは透明状態も黒表示も(見かけ上)発光表示もできる。液晶の時間的応答性が改善されたことにより、フレームレートが向上し、この透明BLをフィールドシーケンシャル方式(時間的に色を分割してカラーフィルタレスでカラー表示する方式)として透過性の高いシースルーLCDも開発されている²⁴⁾。

一方、フレキシブルディスプレイも基板のフィルム化が実用域に入り盛んに開発されている。OLEDや反射型LCDは基板のみフレキシブルにすれば良いが、透過型LCDの場合、BLもフレキシブル化する必要がある。このフレキシブル面光源の有望な手段がOLED-BLである。光源としてのOLEDの特長は、①面発光ができること、②フィルム上に形成できること、③曲げに強いこと、の3点であり、すでにロールツーロール方式にて量産もされている²⁵⁾。

2.6 アクティブマトリクスバックプレーン

1985年にa-Siを用いたTFT-LCDが実用化され、低温プロセスにより、サファイヤガラスを用いなくてもLCDが生産できるようになり、大画面化と低コスト化が進んできた。1994年には、低温ポリシリコンを用いたTFT-LCDの画だしがなされ²⁶⁾、1998年にはドライバ回路を内蔵したTFT-LCDが公開された(東芝 α 展)。以降、酸化半導体、フレキシブルTFT-LCD/OLEDも実用化され、画面の大型化、解像度、精細度の向上、フレキシブル、フォーダブルなディスプレイが実現されている。本編では、TFT-LCDにフォーカスして最近のトレンドに触れる。

酸化半導体TFTはiMac、iPad Pro、Surface Pro4などの数の出る製品に搭載されるようになった。また、LTPS TFT、oxide TFT共に<40型以下で8Kクラスの超高精細TFT-LCDパネルがデモンストレーションされ始めている。

フレキシブルディスプレイに関しては、OLEDに限らず、LCDでも薄いプラスチック基板を用いたフレキシブルディスプレイが試作されている²⁷⁾。

フルアクティブLCDの開発も盛んで表示領域内にドライ

バを内蔵したり、配向膜の位置精度などを向上させたりして4辺フリー化が進んでいる²⁸⁾。

また、駆動系の回路内蔵にLPTS、画素を駆動するTFTにIGZOを使うというアイデアも出ている²⁹⁾。(久武)

2.7 液晶ディスプレイの高画質化技術

ITU-R勧告BT.2020の発行を受けて、スーパーハイビジョン(UHDTV)への対応を目指した液晶ディスプレイが数多く発表された。BT.2020では、主要なスペックとして、画素数が7,680×4,320、フレーム周波数が最大120 Hz、階調数が最大12ビット、色域はPointerが1980年に発表した自然界に存在する色のカバー率が99.9%(CIE1931 xy色度図上)となる色度点と規定されており、このスペックを満たすための駆動方法や広色域化技術が提案されている。

高い空間解像度と高フレームレートを両立するための駆動方法として、画面を上下2分割して駆動するとともに、画素へ予備充電(プリチャージ)をしてから画素値を書込む方式が提案されている。この駆動方法とRGBの半導体レーザーを用いたバックライトを組合せ、55型8K、階調数10ビット、色域が対BT.2020比98.4%(CIE1976 u'v'色度図上)の液晶ディスプレイが試作された³⁰⁾。また、1画素列に対して2本の信号線を配置し、2行まとめて書込みを行う駆動により、画素への書込み時間を確保する方法も提案されている。1本の光ファイバで256 Gbpsの映像データを伝送できる入力インタフェースと組合せられ、8K、階調数12ビット、色域が対BT.2020比85%(CIE1931 xy色度図上)の液晶ディスプレイの試作が報告されている³¹⁾。

広色域化技術では、量子ドットを用いた方式が数多く報告されている。量子ドットとは、直径が10 nm以下の半導体微粒子で、LEDバックライトで多く用いられているYAGによる白色LEDの青色光から、狭帯域の緑、赤色光に変換する機能を備える。YAGの白色LEDの発光スペクトルは、青は狭帯域だが、緑と赤は幅広いスペクトルの黄色の発光が液晶パネルのカラーフィルタで分光されるため、色域が狭くなる。量子ドットを用いることで、バックライトから出射される緑、赤の発光スペクトルを狭帯域化でき、色域を広げることができる。量子ドットフィルムを既存の液晶ディスプレイに導入することで、BT.2020比66~74%(CIE1976 u'v'色度図上)の色域が、83~92%に広がるという報告が出ている³²⁾。また、量子ドット以外の取組みでは、バックライトに設置されたRGBWのLED出力を画像の色、明るさの範囲に応じて制御するとともに、LEDの発光強度に応じて画像を変換することで、消費電力の抑制と広色域化を両立する方式が提案されている³³⁾。

これらの高画質化技術は今後ますます進展すると思われる。近い将来のスーパーハイビジョン対応液晶テレビの普及が期待される。(馬場)

3. 有機ELディスプレイ

3.1 発光材料

ここ数年、100%の内部量子効率を得られる熱活性化遅延蛍光 (TADF) 材料についての研究開発が盛んに行われている。特に、最近の傾向として計算化学を活用した高性能な材料の開発が加速している。発光性能だけでなく、分子配向制御なども取り入れて、外部への取出し効率も含めた量子効率(外部量子効率)が、30%を超える材料が報告されている³⁴⁾。さらに、TADF材料を発光色素ではなくホストとして用い、リン光色素を光らせることにより、高効率で長寿命な素子が報告されている³⁵⁾。また、ドナー性とアクセプター性の2分子を混合した材料系でエキサイマーを形成することでも同様なホスト材料となりうる事が報告されており、リン光発光色素を用いて高効率・長寿命な素子が実現されている^{36) 37)}。青色材料については、TADFの報告例もあるが、発光性能、寿命がまだ不十分である。しかしながら、多環芳香族炭化水素系の一部の炭素結合にホウ素や窒素などのヘテロ原子を入れることで、三重項のエネルギーレベル (E_T) を高め、長寿命、高効率な青色リン光用のホストが開発されている³⁸⁾。この青色ホストについても、三重項のエネルギーレベルが高くなることにより、一重項と三重項のエネルギー差が小さいTADF系の材料と言える。

TADF材料は、寿命や青色材料の難しさなど大きな課題が残されているが、高効率と長寿命を両立できる発光材料である。上記のように、発光色素ではなくホスト材料に用いることで、青色や寿命についても性能向上の突破口となると思われる。ディスプレイ用途に対しては、色純度の向上なども含め、今後の材料開発の発展に期待したい。

3.2 素子構造

有機ELは、次世代のディスプレイや照明用の発光素子として期待されているが、大気中で劣化しやすいという課題がある。これがプロセスコストや部材コストを押し上げる要因となっている。特に、基板にフィルムを用いたフレキシブル有機ELディスプレイにおいては、フィルム基板が酸素や水蒸気を透過し易く、そのため、無機・有機を積層した多層構造の高価なバリア膜が必要となる。これに対し、酸化亜鉛など大気中で安定な材料のみを陰極に用いた逆積層構造型の有機EL素子が注目され、盛んに研究が行われるようになってきた。これまでの報告では、大気中の保存安定性についてのみ長寿命化が示されていたが、特殊な材料を混合した有機膜と、酸化亜鉛を積層した電子注入層を用いることで、通常構造並みの低電圧、連続点灯寿命が示されている³⁹⁾。また、酸化亜鉛とは異なる無機材料層のみで、高い素子性能を実現する研究開発も進められており、仕事関数の小さなエレクトライドと呼ばれる酸化カルシウムとアルミナから形成される材料を用いることで、高い電子注入性を得たとの報告もなされた⁴⁰⁾。一方で、通常

構造の有機ELにおいても、陰極にマグネシウムと金の合金を用いることにより、大気安定性が向上したとの報告もなされた⁴¹⁾。

上述したように、大気安定性の向上について活発に研究が行われ、発光性能、寿命性能についても、良好な結果が得られ始めている。これらの技術は、生産プロセスでの水分・酸素管理を容易にし、バリアフィルムなどの部材コストを大幅に低減することができる革新的技術であるため、今後の技術動向が大きく注目されている。

3.3 封止技術

前節で述べたように、大気中での安定性の向上が図られる一方で、従来のハイバリアフィルムの生産性を向上させる技術も進んでいる。例えば、ALD法による無機・有機積層膜の作製では、30~50 nmのアルミナの単層膜で、水蒸気透過率 $10^{-4} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ のハイバリア膜の形成が可能であるため、積層する層の数を少なくでき、膜封止の生産性を上げることができる⁴²⁾。また、従来からバリアとして用いられているCVD法によるSiO_x膜についても、透過率が高く、単層でも $10^{-4} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ のハイバリア膜の形成が可能なる前駆体材料についての報告がなされた⁴³⁾。

これら生産性を向上させる封止技術と、前節で述べた大気安定性向上技術とを複合し、更なる有機ELの発展を期待したい。

(清水)

3.4 パネル作製技術、フレキシブル化

この2年で、有機ELディスプレイの実用・商品化が大きく進展した。開発のトレンドは、50型以上の大画面テレビとフレキシブル用途向けの小型パネルに大別される。大型パネルとしては、これまでの55型に加え、65型、77型の4Kテレビが新たに海外メーカーから販売されている。これら大型有機ELディスプレイの作製技術について、ここ2年で大きな変化は見られていない。画素駆動には、大型基板に向けたスパッタ成膜の酸化物半導体IGZO-TFTバックプレーン、発光部にタンデム型白色有機ELとRGBWカラーフィルタ (CF) を組合せたボトムエミッション構造が採用されていると考えられる⁴⁴⁾。2016年の国際会議SIDでは、8Kなど更なるディスプレイの高精細化と高輝度化に対応するため、従来の2層(青と黄色)から3層(青2層と黄色1層)構造に変更するなど白色タンデム有機EL素子の高性能化についても報告があった⁴⁵⁾。液晶ディスプレイと同様に、ハイダイナミックレンジに対応するため、パネルの高輝度化技術も進んできている⁴⁶⁾。

フレキシブルパネルについては、10型前後の小型パネルを中心に商品レベルに近い開発品が国内外の複数メーカーから報告されている。パネルサイズとしては最大となる18型のフレキシブル有機ELが2015年のSID国際会議で報告された⁴⁷⁾。2016年の同会議では、4.35型のフォルダブル、5.5型、12.3型などさまざまなサイズのフレキシブルOLEDが展示され、小型モバイル向けに開発が急ピッチで進んでい

る。いずれも耐熱性の高いポリイミドフィルムを基材とし、LTPSまたは酸化物TFTのバックプレーンを作製している。発光部については、TFTの配線やサイズによらず画素面積を大きくとれるトップエミッション構造有機ELが一般に採用されている。フレキシブル有機ELディスプレイの実用化においては、有機ELの長寿命化が大きな課題となっている。特に基板が大型化するとこの問題が顕在化すると考えられる。3.3節で述べたように、封止技術の一層の向上に加え、大気中で安定な逆構造有機ELなどデバイス技術の進展が求められる。その他、プラスチック基板上へのFPC、IC、COFなどボンディング技術も実用に向けた課題となっている^{48) 49)}。

その他のパネル作製技術として、13.5型の小型有機ELパネルをカワラ状にタイリングしたマルチディスプレイが報告された⁵⁰⁾。光学等方性の高いTACフィルムを基板に採用することで、隣接パネル間の繋ぎ目部分の反射を抑制し、シームレスなディスプレイをデモした。また、有機ELと反射型液晶セルを画素単位で積層させたハイブリッド型ディスプレイなどが報告された⁵¹⁾。

3.5 バックプレーン技術

今後の大画面、超高精細ディスプレイ駆動を視野に、プロセス、素子構造、材料の面で研究開発が進んでいる。新たなトレンドとして、LTPS-TFTバックプレーンの大型化技術が報告され注目を集めた。従来、Siの結晶化にラインビーム状にしたエキシマレーザーアニールを使っているが、50型以上の大型パネルに対応することは困難とされてきた。マイクロレンズアレイを導入した局所レーザーを導入することで、第10世代の大型基板に対応できることを示した⁵²⁾。今後の大画面UHDディスプレイ向けTFT技術として注目される。

酸化物TFTについては、信頼性改善や高移動度化技術について幾つかの進展が見られた。酸化物TFTの大きな課題として照射下での特性変動が挙げられる。従来のIZOやIGZOと比較して、広いバンドギャップ(3.8 eV)をもつ新規アモルファス半導体材料が提案され、白色LED照射下においても閾値電圧がほぼシフトしない極めて高い安定性を持つTFTが報告された⁵³⁾。ディスプレイドライバ回路向けの大電流変調、高速駆動TFT技術として、ダブルゲート構造を配したバルクアキュミレーション型TFTなどが報告された⁵⁴⁾。酸化物半導体の活性化温度を下げる新規プロセス手法も研究が進んでいる⁵⁵⁾。酸化物TFTの安定性を確保するには、一般に300℃以上の熱アニールなど活性化処理が必要となるが、減圧ガス雰囲気下やバイアスを印加させた状態でアニール処理することで低温での活性化が可能であることが示された。今後、活性化温度を100～200℃まで低温化できると、プラスチック基板との適合性もさらに高まり新たな波及効果が期待される。

一方、塗布や印刷法で成膜可能なTFTデバイスの研究に

おいても進展が見られた。有機半導体を用いた有機TFTにおいては、フェニルBTBTなど液晶性半導体を用いたTFT素子で移動度 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える高性能な素子が報告された⁵⁶⁾。酸化物半導体についても、IZOやIGZOをベースとした前駆体溶液を用いて移動度 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 前後の性能を持つ素子が報告されているが、300℃近い高温処理を必要とすることが課題となっている。水溶性溶媒を用いた前駆体や水素アニールなどを使った低温処理が報告されている⁵⁷⁾。

(藤崎)

3.6 有機ELディスプレイの高精細化技術

これまで、有機ELディスプレイは液晶ディスプレイに比べて高精細化は難しいとされてきたが、画素の微細化加工技術の開発が進み、1000 ppiを超えるディスプレイが、スマートフォンやウェアラブルディスプレイ向けに試作されている。CAAC (C-Axis Aligned Crystal) 酸化物TFTを使用した1058 ppiのAMOLEDが報告された⁵⁸⁾。ディスプレイサイズは2.78型あり、画素数は 2560×1440 、画素配列はRGBのストライプ構造で白色OLEDにCFを用いている。さらに2016年には、プラスチック基板を用いた、同等の精細度を有するフレキシブルディスプレイが試作された⁵⁹⁾。また、HMD向けのマイクロディスプレイとして、CMOSバックプレーンを使用した2645 ppiの超高精細AMOLEDが報告されている⁶⁰⁾。ディスプレイサイズは1型、画素数は 1920×1200 、サブピクセルは $3.2 \mu\text{m} \times 9.6 \mu\text{m}$ であり、RGBをストライプパターンで塗り分けている。非常に高い開口率を持ち、 $2000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 以上の輝度が報告されている。スマートフォン向けとしては、5.5型程度で8Kの解像度を目指して、フォトリソグラフィーを用いた1250 ppiでのパターンニング技術の開発なども行われている⁶¹⁾。有機ELディスプレイは、自発光デバイスであり、高コントラストで早い応答速度を持つため、高画質なディスプレイとして期待できる。さらに、高精細化が進むことにより、立体感や奥行き感も向上する⁶²⁾と報告されており、今後、スマートフォンなどの携帯端末をはじめ、さまざまなデバイスへの有機ELディスプレイの採用が進むことが期待される。

(薄井)

4. AR/VR用ディスプレイ

4.1 HUD

HUD(ヘッドアップディスプレイ)は、主に日米欧の高級車の車載用を中心に実用化が進展している。フロントガラスに情報を表示することで、運転時の視線の移動を小さくできることが特徴で、Euro NCAP 2015でミドルクラス以上の新車へのHUD搭載が推奨されていることもあり、欧州を中心に市場が拡大している。

車載用HUDでは、フロントガラス越しの実景に表示が重畳されるため、外界の明るさに対する高コントラスト化、高輝度化への取組みが多く報告されており、例えば、

RGBWのカラーフィルタを備えた液晶パネルと、ローカルディミングを組合せることで、高コントラストかつ低消費電力なHUDが提案されている⁶³⁾。これにより、フロントガラスの表示領域が黒浮きしてしまう課題が改善される。

また、医療用のMRI装置にHUDを適用したシステムが提案されている⁶⁴⁾。MRI検査では、患者は長時間狭い装置内に入る必要があり、患者によっては負担が大きいという課題があった。これに対し、非磁性のコンバイナをMRI装置内に設置、外部よりプロジェクタで映像を投影するHUDにより、患者に広視野映像を提示し、装置内の狭さを感じさせない試みである。HUDの新しい応用として、今後の実用化が期待される。

4.2 HMD

HMD(ヘッドマウントディスプレイ)は、アミューズメントや作業支援ツールとして、製品化が進んでいる。HMDは、視界を覆ってバーチャル映像を表示する没入型と、(半)透明な表示領域で、実景が透けて見えている上に映像を重ねて表示する光学シースルー型に大別される。

没入型HMDでは、スマートフォンをレンズ付き筐体にセットすることで気軽に広視野なバーチャル映像を楽しめる製品や、ゲーム機の付属品として、バーチャル空間で迫力あるゲーム映像を視聴できる製品が広がりを見せている。これらの機器は、両眼視差を利用した3D映像を表示できるものが多いが、眼の調節と輻輳の矛盾により映像酔いを引き起こしやすくなる可能性が報告されている。この課題に対して、2枚の液晶パネルを重ね合わせたライトフィールドディスプレイに、3D映像の奥行に応じて分解した2枚の映像を表示することで、眼の調節位置に応じてフォーカスに変化する立体視HMDが提案されている⁶⁵⁾。空間解像度の向上や、正しい映像が見える範囲の拡大といった課題はあるが、より疲れない没入型HMDとして、技術の発展が期待される。

一方、光学シースルー型では、倉庫のピッキングなどの作業支援システムとして、実証実験や実用化の報告が増えている。長時間の作業では、通常のメガネのように軽量で掛けやすいデバイスが求められるが、これに対して、マルチミラーアレイ(MMA)と呼ばれるフレネル形状のハーフミラーをコンバイナとして用いた単眼表示の小型軽量光学シースルー型HMDが提案されている⁶⁶⁾。光学シースルー型HMDの実用化事例はまだ少ないが、今後、表示デバイスやバッテリーなどの部品のより一層の小型化が進み、ますます数多くの提案、報告が出てくると思われる。(馬場)

5. 放送・映像規格における高画質化技術

5.1 スーパーハイビジョン

8Kスーパーハイビジョン放送は、2016年8月に放送衛星を利用した試験放送が開始された。試験放送を受信できる装置は市販されていないが、全国のNHKの放送局に設置さ

れた8Kモニターで視聴することができる。2018年には実用放送を開始し、2020年の東京オリンピック・パラリンピックにおいて、その普及を目指している。これまでに、国際規格(ITU-R勧告BT.2020)や国内規格(ARIB標準規格STD-B56)において、実在する物体色をほぼすべて表現できる色域と120 Hzのフレームレートが規定されている^{67) 68)}。さらに、より鮮やかな映像表現を可能とするハイダイナミックレンジ(HDR: High Dynamic Range)に関しても規格化が進んだ。従来のダイナミックレンジ(SDR: Standard Dynamic Range)との互換性が高いHLG(Hybrid Log-Gamma)方式が開発され、2015年7月にARIB標準規格STD-B67が策定された⁶⁹⁾。さらに、2016年7月には、ITU-RにおいてBT2100が策定され⁷⁰⁾、HLG方式とPQ方式の二つの方式がHDRとして規格化された。

8Kスーパーハイビジョン用の直視型ディスプレイは、これまでに98型や85型の大型LCDが主に開発されていたが、画素の微細化が進み、中型から小型のディスプレイの開発が進んだ。TFT材料にa-Siを使用した55型のディスプレイが報告された⁷¹⁾。a-Siを用いているため、書込み速度が問題となるが、駆動方法の工夫とマルチスキャンを用いて8Kで120 Hzの駆動を実現している。色域に関しては、BT2020の82%、DCIおよびAdobeRGBの100%をカバーしている。また、IGZOをTFT材料に用いた27型のディスプレイが報告された⁷²⁾。24個のデータドライバを上下に配置して、シングルスキャンで120 Hzを実現している。色域はBT2020を78%カバーしており、開口率は49%となっており、ピーク輝度は1000 cd/m²以上となっている。さらに、LTPS-TFTを用いた120 Hz駆動の17.3型のディスプレイも試作されている⁷³⁾。一方、有機ELディスプレイでは、13.5型で画素数が1280×720のフレキシブルディスプレイを36枚利用した81型の「瓦タイプマルチディスプレイ」が報告された⁷⁴⁾。フレキシブルディスプレイの薄さを利用し、パネル端部を重ね合わせることで、表示エリアが滑らかに繋がり、繋ぎ目が目立たないような設計となっている。2018年の実用放送に向けては、コントラストが高く視野角特性に優れた大型の有機ELディスプレイの開発が期待されている。(薄井)

5.2 HDR技術

この1, 2年でHDR技術が一気に注目されるようになった。その背景として、次世代ブルーレイやネット配信映像などで、HDRに対応した映像信号が取り扱われるようになったことが挙げられる。ここでは代表的なHDR規格を紹介し、併せてHDRに対応する各種ディスプレイにおいて今後どのような開発が進められていくかを記すことにする。

現在、Ultra-HD Blu-rayなどで採用されているHDR規格はPQ(Perceptual Quantizer)方式である。PQ方式の特徴は、最大10,000 cd/m²までの輝度値を絶対輝度として管理するもので、人間の視覚特性に基づく新たな輝度特性を有

することを特徴としている。判り易く説明すると、「黒表示」と「白表示」においては、映像のコード値と輝度の絶対値の関係を規定しており、例えば、10ビット入力時「64」を0.01 cd/m²、「940」を10,000 cd/m²というように規定している。もっとも、すべてのディスプレイが10,000 cd/m²もの性能を有するわけではないので、最終的にはディスプレイが対応する輝度範囲に変換して表示される。また、暗い階調領域の表現力を高めるため、より多くの映像コード値を暗部に与える特性が規定されており、輝度特性が他方式よりもかなり非線形な特性になっているのが特徴ともいえる。

またPQ方式においては、いわゆる従来のSDR (Standard Dynamic Range) とはまったく別の輝度特性となり、例えば、従来のSDRディスプレイにPQ方式のHDR信号を入力すると、全般的に明るい映像となってしまふ。そのため、PQ方式に対応したUltra HD BDなどでは、SDR信号とHDR信号それぞれの映像信号が収録されており、それぞれのディスプレイに応じた信号で表現できるように工夫されている⁷⁵⁾。

特に2016年は、VODサービスでHDR配信が多数スタートしている。2016年春からNETFLIXが配信をスタートし、他のVODサービス会社も今後参入してくると予想されるが、これらVODサービス会社が多く採用しているのがPQ方式である。

一方で、NHK等で運用が進められているHLG (Hybrid Log Gamma) 方式も今後大いに目にすると思われる。HLG方式の特徴は、従来のディスプレイと同様に、相対的な輝度特性で規定されているところにある。判り易く説明すると、「黒表示」と「白表示」を表示するディスプレイの相対的な輝度で表現するので、10ビット入力時「64」を「黒」、「940」は「白」としている。また、PQ方式ほど非線形な特性でないこと、また10ビット入力時、映像コードの0～512の範囲は従来と同じ $\gamma=2.4$ となるので、SDRディスプレイにHLG方式のHDR信号が入力されても違和感のない映像が再現できるのが特徴である。その結果、SDR相当で撮影した映像でも、改めてグレーディングする必要もなく、HDR表示できることから、ライブ放送にも向いているのはHLG方式と言える⁷⁶⁾。

2016年8月にはNHKが8Kの試験放送を開始したが、一部の放送においてはHLG方式でのHDR放送も行われている。また同年秋からはひかりTVでもHLG方式でのHDR放送もスタートしている。

なお、HLG方式はこれまで撮像側の伝達特性がSTD-B67で策定されていたが、今年2016年7月にITU-R BT.2100としてディスプレイ側の伝達特性が新たに勧告化された。このBT.2100では、従来のディスプレイ (SDR) と異なり、ディスプレイが持つピークホワイトを基準とし、Y (輝度) のゲインで管理するといった特徴が言える^{77) 78)}。

これらのHDRの方式においてはそれぞれにメリットがあ

るので、どちらかが淘汰されるというものではない。むしろそれぞれのHDRの表現ポテンシャルを活かすため、ディスプレイ側がその表現力を有する必要がある。ディスプレイにおけるHDRの表現力として必要なスペックは主に以下の項目が挙げられる⁷⁹⁾。

- ・多ビット化 (10ビット以上) : 低階調表示においてはいずれも高い階調情報を有するため、できるだけ多ビット表現を可能にする必要がある。
- ・高輝度化 : HDR表現の醍醐味とも言える「まぶしさ」の表現を実現するには、従来のディスプレイでは再現できなかった高輝度表現も重要な仕様である。
- ・高コントラスト化 : 上記で明るくなった反面、逆に黒領域が浮いてしまうとせっかくのHDR表現が台なしである。
- ・信頼性 : これまでの表示能力を高めるため、いわゆる輝度のブースト処理を行うことになるが、その結果、表示品位が経時的に著しく劣化してしまうことも避ける必要がある。

現在HDR表示をうたっているディスプレイの種類として、LCD、OLED、プロジェクタなどが挙げられる。しかしいずれのディスプレイ方式においても、上記の項目をすべて問題なくクリアしているわけではない。

その他、HDRで特筆すべき動向としては、多くのディスプレイ会社やコンテンツ製作会社らで設立されたUHD Allianceにおいて、2016年1月にULTRA HD PREMIUMという認証プログラムが設けられ、特にHDRに関する仕様も明確に示されている。測定方法など細かく策定されているため、ここでは詳細を割愛するが、一例として、HDR Peak Whiteにおいては、液晶モニターであれば1000 cd/m²以上、OLEDモニターであれば540 cd/m²以上としている。現時点の商用テレビとしてはハイエンドな輝度規定であり、表示側の性能を担保することで、HDRコンテンツの魅力を増やさないことが求められている⁸⁰⁾。

したがって、それぞれのディスプレイ方式が開発すべき要素技術はまだ数多くあり、各社それらの開発にこれまで以上に余念がないと言っても過言ではない。(吉田)

6. 最近のトピックス

6.1 蛍光体・量子ドット

ITUがUltra High Definition (UHD) の推奨事項を発行 (ITU-R BT.2020 (2012)) して以降、テレビ用ディスプレイには高い色彩度ならびに広い色再現範囲が要求されるようになった。この流れはテレビ用ディスプレイに限らず、さまざまな用途に波及しつつある。LCDバックライト用のLEDにおいても青色LEDに黄色の窒化物蛍光体 (例えば母体結晶としてLa₃Si₆N₁₁、発光中心元素としてCe) が組合されていたが、赤色、緑色の彩度を高めるために赤色フッ化物蛍光体 (KSF、母体結晶としてK₂SiF₆、発光中心元素と

してMn)と緑色窒化物蛍光体(母体結晶としてSiAlON, 発光中心元素としてEu)を青色LEDと組合せ、従来以上に高彩度、広色再現範囲を実現している。

一方、量子ドット(Quantum Dot)はLCDの更なる高彩度化、広色再現範囲化の手段としてBLの発光特性の狭帯域化を目的として開発が盛んになっている。また、そのものを発光層として用いるQLEDの開発も盛んに行われている。

BL用量子ドットは、溶液による量子ドット製造方法が開発され、コア、シェル構造による量子効率、安定性が確立、溶液による量子ドットの製造プロセスも確立され、均一な特性の量子ドットの生産体制を整ってきた。量子効率が高くなり、Cdの量を減らすことができ、RoHSに適合できている。5社がテレビ製品に適用している。しかしながら、RoHS指令も規制を強化する方向に進んでおり、カドミウムフリーの量子ドットの研究が盛んに行われている⁸¹⁾。(久武)

6.2 透明導電膜

透明導電膜は可視光に対して透明で導電性があり、現在のディスプレイをはじめとするオプトエレクトロニクスにとって重要な材料の一つである。透明導電膜自体は古くから研究開発がなされているが、昨今の新規ディスプレイの出現に伴い要求される特性も変化している。これまでの透明導電膜は真空プロセスによって成膜した透明導電性酸化物(TCOs)薄膜が中心であったが、TCOs以外の材料(金属ナノワイヤーや有機半導体)で透明導電膜を実現する取り組みもなされている。

牽引する技術・用途別の分類において、①携帯電話(スマートフォン)、タブレット、ノートパソコン、モニターおよびテレビ、②タッチ対応型ウェアラブル機器、③有機太陽電池と色素増感型太陽電池、④有機EL照明、⑤ELディスプレイ、⑥スマートウィンドウ、の分野で必須構成要素として使用されている。透明導電膜は膜であるために成膜基板とあわせて開発を進める必要がある。最近のディスプレイ分野は、液晶(LCD)と有機ELが主力牽引技術となるが、プリンテッドエレクトロニクスに代表されるようにフレキシブル・ウェアラブル・3D立体表示への要請があり、フレキシブルディスプレイ、太陽電池と電子素子などのフレキシブル光電子技術の発展で、従来のガラス基板を用いないでフレキシブル基板上に製作できるフレキシブル透明導電膜成膜技術への関心が高い。

従来のITO on glassの場合、最近のインジウム価格の高騰、ITO電極自体のクラック特性や基板には曲げに對特性が劣るため、ITO on PETや代替できる金属(Ag, Cu)ナノワイヤー、高分子透明導電膜、CNT、グラフェンベースの透明導電膜などが提案されている。これに伴い代替材料として、透明導電酸化膜(TCO; AZO, GZO)、金属ナノワイヤー(Ag, Cu)、高分子導電膜(PEDOT)、カーボンナノチューブ(CNT)、グラフェン(Graphene)をベースにした次世代透明導電膜が候補として開発されている。

材料別に、透明導電酸化膜(TCO)はITOに対する低コストの選択肢としてZnO系の(AZOおよびGZO)、フッ素ドープ酸化スズ(FTO)が検討されている。これらの材料は、ITOに比べて光電子特性はやや劣る。さらに、AZOの問題は、特に100nmよりも薄くした薄膜では、湿度の高い環境にさらされると膜の電気的安定性に問題が残る。典型的には膜厚50nmで透過率80%以上のGZOで $7.4 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 、AZOで $1.45 \Omega \cdot \text{cm}$ の抵抗率が報告されている⁸²⁾。

金属ベースの透明電極材料としての銀ナノワイヤーの特長は、直径40~60nm、長さ15~35 μm の繊維状に絡み合ったインク原料から印刷技術を用いて製造されるため、曲面形状対応や大型パネル(15型程度)に最適な透明導電フィルムである。主としてタッチパネル用透明導電フィルム用途に使われ、透過率96.4%、シート抵抗 $24 \Omega/\text{square}$ 、ヘイズは1.04%が報告されている⁸³⁾。

PEDOT, poly(3,4-ethylenedioxythiophene)は π 共役系導電性で、水溶性高分子のPSS, poly(styrenesulfonate)と組合せて、塗布形成でき、透明性に優れている導電性高分子である⁸⁴⁾。シート抵抗は300~400ohm/sqで、透過率は86%程度である。少量のDMF(ジメチルホルムアミド)やアルコールなどの高極性溶媒をPEDOT:PSSに添加することにより、導電性が2~3桁程度向上することが報告されている。PEDOT-PSS(5-5.2eV)の仕事関数は、電子的にOLEDの正孔注入層に適している。多くのデバイスではITO上に薄いコーティングとして使用され、ITOの脆さをカバーすることができる。

CNTベースでは常圧常温でフレキシブルPETフィルムに分散塗布プロセスで、可視光透過率90%、 $60 \Omega/\text{sq}$ 程度の透明導電膜が報告されている⁸⁵⁾。マスクを使うことでパターンニングも可能で素子化にも適していることから、ロールツーロール法と組合せて低コストで実用化できる可能性がある。

グラフェンは最も有力な透明導電膜材料として期待されているが、研究開発は未だ初期段階と思われる。今後、グラフェンの合成と大量生産に関する研究成果が反映されれば実用化ステージに進むと考えられる。例えば、グラフェンと銀ナノワイヤーのハイブリッド化することで、それぞれの材料の弱点を補うことができる。

ディスプレイのフレキシブル化、透明化などの次世代デバイスの関心が大きく、今後の透明導電膜の役割はますます大きくなっていくであろう。(中村)

7. 今後の発展

各種情報ディスプレイの技術開発動向とトピックは以上のとおりである。デバイス利用分野の成熟度により今後の開発ターゲットも幅が広い。従来からのフラットパネルディスプレイの主たる用途であるテレビ用についてはLCD方式、有機EL方式とも現行の放送規格であるHD用としては

ほぼ成熟の域にあり、新たな放送規格である4K・8Kへの対応へ開発が主力となっている。PCモニター用については、フルHD解像度で一旦足踏み状態にあったが、4K・8Kのテレビパネル技術とタブレット用の300ppiクラスの超高精細技術が融合した結果、4K・8Kクラスのデスクトップモニターの開発が加速され、各種ドキュメントの視認性が向上することからペーパーレス化の更なる促進につながると思われる。

スマートホン・タブレット端末向けのディスプレイは、薄型化と高精細化はほぼ一段落しており、今後はフレキシブル化など新たな形態での進化が期待できる。

もっとも変化の激しい分野はヘッドアップディスプレイ、ヘッドマウントディスプレイに代表されるあたらしいディスプレイシステム用途への応用技術である。ヘッドアップディスプレイは車載ディスプレイとして速度表示レベルでは普通に搭載されるようになっており、今後運転者に与える運転補助情報の増加にともない、高画素化がますます、また視認性についても更なる向上が必要となってくる。ヘッドマウントディスプレイはAR技術などの進化で具体的なアプリケーションを考えられるレベルに環境が整いつつある。それに対して、ディスプレイシステムの性能が遅れをとっているように思われ、今後なおいっそうの技術開発の促進が必要な分野だと思われる。

ディスプレイシステムの複雑化に伴い、多様な技術開発が行われているが、技術の取捨選択が、使われる技術の優劣が単体の性能ではなく、他の技術との組合せで判断されるケースが多くなってきている。開発サイドとしても、種々の技術の開発動向を注視して適材適所となる技術開発を行っていくことが技術の生き残りに重要になっている。

日本のディスプレイ技術開発は、基礎から応用分野まで幅広い研究者・技術者がそろっていることが特徴である。今後新規な発想により、この年報には記載のない、飛躍的な技術開発を期待したい。

(別冊)

(2016年12月19日受付)

〔文 献〕

- 1) T. Ishinabe, H. Sakai and H. Fujikake: "High Contrast Flexible Blue Phase LCD with Polymer Walls", SID Dig., pp.553-556 (2015)
- 2) C-Y Tsai, F-C Yu, Y-F Lan, P-J Huang, S-Y Lin, Y-T Chen, T-I Tsao, C-T Hsieh, B-S Tseng, C-W Kuo, C-H Lin, C-C Kuo, C-H Chen, H-Y Hsieh, C-T Chuang, N. Sugiura: "Blue Phase Liquid Crystal Display Applying Wall-Electrode and High Driving Voltage Circuit", SID Dig., pp.542-544 (2015)
- 3) T. Matsushima, K. Okazaki, Y. Yang, K. Takizawa: "New Fast Response Time In-Plane Switching Liquid Crystal Mode", SID Dig., pp.648-651 (2015)
- 4) T. Matsushima, K. Takizawa: "Analysis of a Novel In-plane Switching Mode for Fast Response Liquid Crystal Displays", Proc. of IDW'15, pp.44-47 (2015)
- 5) Y. Iyama, T. Sasaki, I. Aoyama, K. Hanaoka, T. Ishihara, M. Yashiki, K. Takase, H. Miyata, H. Yoshida: "Transparent Liquid Crystal Display with Three States: Transparent, White and Black", Proc. of IDW'15, pp.1291-1294 (2015)
- 6) M. Engel, G. Bernatz, A. G_tz, H. Hirschmann, S-K Lee: "UB-FFS: New Materials for Advanced Mobile Applications", SID Dig., pp.645-647 (2015)
- 7) Y. Matsumura, H. Tanaka, T. Maeda, T. Asakura and E. Machida: "Development of Novel LC Compounds and Mixtures to Improve Transmittance for Np-FFS Mode", Proc. of IDW'15, pp.48-50 (2015)
- 8) Y. Niikura, D. Kubota, R. Hatsumi, Y. Hirakata, H. Miyake, S. Yamazaki, A. Nakamura, Y. Chubachi, M. Katayama: "New Approach to Developing Liquid Crystal Materials for Idling Stop Driving on Reflective Displays", SID Dig., pp.454-457 (2016)
- 9) M. Mitsui, Y. Fukunaga, M. Tamaki, A. Sakaigawa, T. Harada, N. Takasaki, T. Nakamura, Y. Aoki, T. Tsunashima, H. Hayashi and T. Nagatsuma: "High Image Quality Reflective Color LCD Using Novel RGBW Technology", SID Dig., pp.93-96 (2013)
- 10) T. Sano, H. Yamaguchi, Y. Kawata, Y. Matsuuura, M. Akiyoshi, K. Takebayashi, A. Murayama, Y. Fukunaga, M. Tamaki, M. Mitsui, N. Takasaki, T. Nakamura, Y. Aoki, H. Hayashi: "Reflective Full-Color LCD Using LTPS TFT at 1Hz with Measures against Photo Leakage Current", SID Dig., pp.688-691 (2016)
- 11) N. Mochizuki, N. Koma, J. Toda, T. Ishinabe and H. Fujikake: Novel Achromatic Polarizer with High Dichromatic Ratio, SID Dig., pp.692-695 (2016)
- 12) N. Mochizuki, T. Ishinabe, D. Fujiwara, N. Koma, D. Nakamura and H. Fujikake: "Development of Highly Durable Achromatic Polarizer with High Heat and Moisture Resistance", SID Dig., pp.390-393 (2015)
- 13) K. Kusunoki, S. Kawashima, Y. Jimbo, D. Kubota, K. Yokoyama, Y. Hirakata, J. Bergquist, S. Yamazaki, M. Nakada, S. Idojiri and H. Adachi: "Transmissive OLED and Reflective LC Hybrid (TR-Hybrid) Display", SID Dig., pp.57-60 (2016)
- 14) T. Sakuishi, R. Hatsumi, A. Chida, A. Yamashita, M. Nakano, T. Ishitani, T. Sasaki, K. Kusunoki, S. Kawashima, S. Seo, Y. Hirakata, J. Bergquist, S. Yamazaki, M. Nakada, S. Idojiri, H. Adachi: "Transmissive OLED and Reflective LC Hybrid (TR-Hybrid) Display with High Visibility and Low Power Consumption", SID Dig., pp.735-738 (2016)
- 15) T. Ohide, S. Yasumoto, M. Nakada, H. Adachi, S. Idojiri, K. Okazaki, Y. Hirakata, J. Bergquist and S. Yamazaki: "Application of Transfer Technology to Manufacturing of Transmissive OLED and Reflective LC Hybrid (TR-Hybrid) Display", SID Dig., pp.1002-1004 (2016)
- 16) Z-H Chen, T-H Huang, J-K Lu and N. Sugiura: "Plastic Substrate Technology for Flexible Liquid Crystal Display", Proc. of IDW'14, pp.1461-1464 (2014)
- 17) P-H Chiu, W-Y Li, Z-H Chen, Y-T Wu, W-J Chiu, T-H Huang, J-K Lu and S. Norio: "Roll TFT-LCD with 20R Curvature using Optically Compensated Colorless-Polyimide Substrate", SID Dig., pp.15-17 (2016)
- 18) T. Ishinabe, A. Sato and H. Fujikake: "Wide-viewing-angle flexible liquid crystal displays with optical compensation of polycarbonate substrates", Appl. Phys. Exp., 7, pp.111701 (2014)
- 19) H. Fujikake, H. Sakai, A. Sato, E. Uchida, D. Sasaki, Y. Obonai, Y. Isomae and T. Ishinabe: "Advanced Polymer and LC Technologies for High Quality Flexible Displays", Proc. of IDW'15, pp.1356-1359 (2015)
- 20) T. Ishinabe, Y. Obonai and H. Fujikake: "A Foldable Ultra-Thin LCD Using a Coat-Debond Polyimide Substrate and Polymer Walls", SID Dig., pp.83-86 (2016)
- 21) S. Oka, T. Sasaki, T. Tamaru, Y. Hyodo, L. Jin, S. Takayama, S. Komura: "Optical Compensation Method for Wide-Viewing-Angle IPC-LCDs Using a Plastic Substrate", SID Dig., pp.87-90 (2016)
- 22) James Harding, Mike Banach: "Plastic Liquid Crystal Displays Enabled by Organic Transistor Technology", Proc. of IDW'15, pp.1390-1391 (2015)
- 23) D. Fujiwara, T. Ishinabe, N. Koma and H. Fujikake: "Thin Flexible Liquid Crystal Displays Using Dye-Type In-Cell Polarizer and PET Substrates", SID Dig., pp.18-20 (2016)
- 24) Y. Iyama, T. Sasaki, I. Aoyama, K. Hanaoka, T. Ishihara, M. Yashiki,

- K. Takase, H. Miyata, H. Yoshida: "Transparent Liquid Crystal Display with Three States; Transparent State, White State and Black State", Proc. of IDW'15, DES2-2 (2015)
- 25) http://www.konicaminolta.jp/about/release/2014/0318_01_01.html (2016/11/16確認)
- 26) H. Ohshima: "p-Si TFT Technologies for AMLCDs", IDW '94 proceedings, N-3 (1994)
- 27) S. Oka, T. Sasaki, T. Tamaru, Y. Hyodo, L. Jin, S. Takayama, S. Komura: "Optical Compensation Method for Wide-Viewing-Angle IPS-LCDs Using a Plastic Substrate", SID Dig., 9.2 (2016)
- 28) B.P. Liu, J.Y. Yan, X.F. Zhou, Y.S. Huang, Y.F. Tang, X.A. Xu, X.X. Wu, S.J. Cai, B.P. Shen, G.Z. Chen, J.Y. Li, Z. Zeng: "Over 96% Visual Area LTPS-TFT LCD with Ultra-Slim Border (0.15mm)", Proc. of IDW/AD '16, FMCp1-6 (2016)
- 29) US patent, US 2015/0055051: "Display with silicon and semiconducting oxide thin-film transistor" (2015)
- 30) I. Hiyama, et al.: "The latest IPS-LCD Technology realizing Super High Resolution and Wide Color Gamut", Proc. IDW'15, pp.1055-1058 (2015)
- 31) T. Kumakura, et al.: "Development of a Novel Wide Color-Gamut 8K 120-Hz LCD Complying with ITU-R BT.2020", SID Dig., pp.1070-1073 (2015)
- 32) J. Chen, et al.: "Quantum Dots: Optimizing LCD Systems to Achieve Rec. 2020 Color Performance", SID Dig. pp.173-175 (2015)
- 33) B. Broughton, et al.: "Content Adaptive Expandable Color Gamut LCD", SID Dig., pp.823-826 (2016)
- 34) H. Kaji, et al.: "Purely organic electroluminescent material realizing 100% conversion from electricity to light", Nature commun., 8476 (2015), <http://www.nature.com/articles/ncomms9476>
- 35) H. Fukagawa, et al.: "Highly efficient and stable phosphorescent organic light-emitting diodes with a greatly reduced amount of phosphorescent emitter", Sci. Rep., 5, pp.9855 (2015)
- 36) S. Seo, et al.: "Efficiency enhancement in phosphorescent and fluorescent OLED utilizing energy transfer from exciplex to emitter", SID Dig., pp.605-608 (2015)
- 37) Y.-S. Park, et al.: "Recent advances in understanding of the electronic process in OLEDs", Proc. of IDW'15, pp.625-628 (2015)
- 38) T. Hatakeyama, et al.: "Ultrapure blue thermally activated delayed fluorescence molecules: efficient HOMO-LUMO separation by multiple resonance effect", Adv. Mater., pp.2777-2781 (2016)
- 39) H. Fukagawa, et al.: "Demonstration of highly efficient and air-stable OLED utilizing novel heavy-doping technique", SID Dig., pp.790-793 (2016)
- 40) H. Hosono, et al.: "Novel inorganic electron injection and transport materials enabling large-sized inverted OLEDs driven by oxide TFTs", SID Dig., pp.401-404 (2016)
- 41) 新井啓矢ら: "Mg-Au合金陰極による有機EL素子の電気安定性の向上", 第63回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, pp.10-362 (2016)
- 42) J. Yoon, et al.: "World 1st large-sized 18-in. flexible OLED display and the key technologies", SID Dig., pp.962-965 (2015)
- 43) H. Chiba, et al.: "Inorganic high gas barrier films deposited by PECVD using a novel precursor, TG-4E, for OLED devices", IDW Dig., pp.690-692 (2015)
- 44) C.-H. Oh, H.-J. Shin, W.-J. Nam, B.-C. Ahn, S.-Y. Cha and S.-D. Yeo: "Technological Progress and Commercialization of OLED TV", SID Dig., 21.1, pp.239-242 (2013)
- 45) H.-S. Choi, T.-S. Kim, C.-W. Han, H.-C. Choi, B.-C. Ahn, I.-B. Kang, C.-H. Oh and S.-D. Yeo: "Recent Progress of White Light-Emitting Diodes for an Application to New Models of OLED TV", SID Dig., pp.605-608 (2016)
- 46) H.-J. Shin, et al.: "Advanced OLED Display Technologies for Large-Size Semi-Flexible TVs", SID Dig., pp.609-612 (2016)
- 47) J. Yoon, et al.: "World 1st Large Size 18-inch Flexible OLED Display and the Key Technologies", SID Dig., 65.1, pp.962-965 (2015)
- 48) Y.-H. Lai, et al.: "Study of ACF Bonding Technology in Flexible Display Module Packages", SID Dig., 4.2, pp.12-15 (2015)
- 49) L.-Q. Chen, et al.: "Study of Bonding Technology on Flexible Substrate", SID Dig., 33.3, pp.419-421 (2016)
- 50) D. Nakamura, et al.: "A Novel Seamless Kawara-type Multidisplay with Flexible OLED Panels Using an Optically Isotropic Film", SID Dig., pp.613-616 (2016)
- 51) T. Ohide, et al.: "Application of Transfer Technology to Manufacturing of Transmissive OLED and Reflective LC hybrid Display", SID Dig., 74.1, pp.1002-1004 (2016)
- 52) S. Utsugi, et al.: "Novel LTPS Technology for Large Substrate", SID Dig., 67.1, pp.915-918 (2016)
- 53) J. Kim, et al.: "NBIS-Stable Oxide Thin-Film Transistors Using Ultra-Wide bandgap Amorphous Oxide Semiconductor", SID Dig., 69.4, pp.951-953 (2016)
- 54) J.G. Um, et al.: "Bulk Accumulation Oxide TFTs for Flexible AMOLED Display with High Yield Integrated Gate Driver", SID Dig., 64.3, pp.872-875 (2016)
- 55) W.G. Kim, et al.: "High Pressure Gas Activation for Amorphous Indium-Gallium-Zinc Oxide Thin-Film Transistor at 100°C", Scientific Report, 6, pp.23039 (2016)
- 56) H. Iino, et al.: "Liquid Crystals for organic Thin-Film Transistors", Nat. Commun., 6, 6828 (2015)
- 57) M. Miyakawa, et al.: "Application of Hydrogen Injection and Oxidation to Low Temperature Solution Processed Oxide Semiconductors", AIP Advances, 6, 085016 (2016)
- 58) K. Yokoyama, S. Hirasa, N. Miyairi, Y. Jimbo, K. Toyotaka, M. Kaneyasu, H. Miyake, Y. Hirakata, S. Yamazaki, M. Nakada, T. Sato, N. Goto: "A 2.78-in 1058-ppi Ultra-High-Resolution OLED Display Using CAAC-OS FETs", SID Dig., pp.1039-1042 (2015)
- 59) T. Nagata, S. Hirasa, Y. Dozen, Y. Jimbo, K. Yokoyama, Y. Hirakata, S. Yamazaki, R. Sato, C. Fujiwara, T. Shiraiishi: "A 2.78-in 1058-ppi Ultra-High-Resolution Flexible OLED Display Using CAAC-IGZO FETs", SID Dig., pp.1052-1055 (2016)
- 60) A. Ghosh, E.P. Donoghue, I. Khayrullin, T. Ali, I. Wacyk, . Tice, F. Vazan, L. Sziklas, D. Fellowes, R. Draper: "Directly Patterned 2645 PPI Full Color OLED Microdisplay for Head Mounted Wearables", SID Dig., pp.837-840 (2016)
- 61) P.E. Malinowski, T. Ke, A. Nakamura, P. Vicca, M. Wuyts, D. Gu, S. Steudel, D. Janssen, Y. Kamochi, I. Koyama, Y. Iwai and P. Heremans: "Multicolor 1250ppi OLED Arrays Patterned by Photolithography", SID Dig., pp.1009-1012 (2016)
- 62) Y. Tsushima, K. Komine, Y. Sawahata, T. Morita, N. Hiruma: "Super Hi-Vision (8K) Produces Stronger Depth Sensation than 4K and Hi-Vision (2K)", Proc. of IDW'14, pp.1012-1013 (2014)
- 63) K. Sako, et al.: "Development of New Head-Up Display System Utilizing RGBW LCD and Local Dimming Backlight", SID Dig., pp.680-683 (2016)
- 64) T. Sasaki, et al.: "Hyper-Realistic Head-Up Display System for Medical Application", SID Symposium Digest of Technical Papers, 47, pp.72-75 (2016)
- 65) F.C. Huang, et al.: "The Light Field Stereoscope", ACM Trans. Graph., 34, 7, pp.60:1-60:12 (2015)
- 66) T. Tsuruyama, et al.: "Eyeglasses-Type Wearable Device Using Multi-Mirror Array", SID Dig., pp.157-160 (2016)
- 67) Recommendation ITU-R BT. 2020: "Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange" (2012)
- 68) ARIB 標準規格 STD-B56: "超高精細度テレビジョン方式スタジオ規格" (2013)
- 69) ARIB 標準規格 STD-B67: "Essential Parameter Values for the Extended Image Dynamic Range Television (EIDRTV) System for Programme Production" (2015)
- 70) Recommendation ITU-R BT. 2100: "Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange" (2016)
- 71) R. Oke, T. Nakai, J. Maruyama, D. Kajita, K. Miyazaki, M. Ishii, H. Matsukawa: "World's First 55-in. 120Hz-Driven 8K4K IPS-LCDs with Wide Color Gamut", SID Dig., 72.1, pp.1055-1058 (2016)
- 72) S. Yamada, F. Shimoshikiryoh, Y. Itoh, A. Ban: "Development of a 27-

- in. 8K x 4K Liquid-Crystal Display Utilizing an InGaZnO TFT Backplane", SID Dig., pp.480-483 (2016)
- 73) K. Mochizuki, H. Hayashi, T. Nakamura, H. Kato, A. Oyama, M. Okita, Y. Matsui and H. Kimura: "A 510-ppi 8K x 4K LTPS TFT-LCD with 120-Hz Frame-Rate Driving", SID Dig., pp.919-922 (2016)
- 74) D. Nakamura, H. Ikeda, N. Sugisawa, Y. Yanagisawa, S. Eguchi, S. Kawashima, M. Shiokawa, H. Miyake, Y. Hirakata, S. Yamazaki, S. Idojiri, A. Ishii, M. Yokoyama: "An 81-in. 8k x 4k OLED Kawara-Type Multidisplay that Provides a Seamless, Continuous Image", SID Dig., pp.1031-1034 (2016)
- 75) 電波産業会 デジタル放送システム開発部会 資料52: "HDR放送方式の提案" (2015)
- 76) 西田幸博: "広色域・高ダイナミックレンジ(HDR)映像方式:放送", 映情学誌, 70, 3, pp.407-410 (2016)
- 77) ARIB STD-B67: "Essential Parameter Values for the Extended Image Dynamic Range Television (EIDRTV) System for Programme Production", Version1.0 (2015)
- 78) ITU-R BT.2100-0: "Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange" (2016)
- 79) 櫻井涼二, 藤根俊之: "液晶ディスプレイによる高ダイナミックレンジ映像表示技術", 映情学誌, 70, 3, pp.425-428 (2016)
- 80) UHD Alliance, <http://www.uhdalliance.org/>
- 81) 例えば, N.L. Pickett, N.C. Gresty, I. Naasani: "Heavy Metal-Free Quantum Dots for Consumer Applications", Proc/ of IDW'16 MEET5-2 (2016)
- 82) A. Alkahlout: "A Comparative Study of Spin Coated Transparent Conducting Thin Films of Gallium and Aluminum Doped ZnO Nanoparticles", Physics Research International, 2015, pp.238123 (1-8) (2015)
- 83) M.M. Menampambath, C.M. Ajmal, K.H. Kim, D. Yang, J. Roh, H.C. Park, C. Kwak, J.-Y. Choi and S. Baik: "Silver nanowires decorated with silver nanoparticles for low-haze flexible transparent conductive films", Scientific Reports, 5, pp.16371 (1-9) (2015)
- 84) フレキシブル有機太陽電池用導電性ポリマ材料: Orgacon PEDOT:PSS, <http://www.sigmaaldrich.com/japan/material-science/org-electronics/orgsolv-pedot/agfa-opv.html>
- 85) D.S. Hecht, A.M. Heintz, R. Lee, L. Hu, B. Moore, C. Cucksey and S. Risser: "High conductivity transparent carbon nanotube films deposited from superacid" Nanotechnology, 22, pp.075201 (1-5) (2011)



別井 圭一 1981年, 東京工業大学大学院修士課程物理専攻修了。1981年~2007年, (株)富士通研究所, 2007年より, (株)日立製作所にて, 主としてディスプレイ関係の研究開発に従事。2005年, SID Special Recognition Award受賞。IDW '08, '09実行委員長, IDW '10組織委員長, 当会情報ディスプレイ研究委員会委員長, 当会フェロー認定会員。



石鍋 隆宏 2000年, 東北大学大学院博士課程修了。同年, 日本学術振興会特別研究員(PD), 2003年より, 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻助教。2010年~2011年, セントラルフロリダ大学客員教授。2013年, 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻准助教となり, 現在に至る。低電力ディスプレイ, 広視野角・高速液晶ディスプレイ, フレキシブルディスプレイ等の研究に従事。2011年, Society for Information Display (SID) Special Recognition Award受賞。博士(工学), 正会員。



久武 雄三 1985年, 茨城大学工学部卒業。同年, スタンレー電気(株)入社。以来, 液晶表示素子の研究開発に従事。1990年, (株)東芝入社。2012年, (株)ジャパンディスプレイ配属。IDW '17副実行委員長/VHF-WS代表プログラム委員。SID日本支部特命委員(サマーセミナー校長), URCF特別会員。東京農工大学研究員。日本人間工学会子会員のICT活用委員会副委員長, 正会員。



馬場 雅裕 1998年, 慶應義塾大学大学院理工学研究科修了。同年, (株)東芝に入社。現在, 同社研究開発センター研究企画部技術管理担当参事。液晶ディスプレイシステム, 新映像システムおよび画像処理技術の研究開発を経て, 現在, 同社研究開発センターの技術管理業務に従事。正会員。



清水 貴央 1995年, 東京工業大学生命理工学部生体分子工学科卒業。2000年, 同大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻博士課程修了。同年, 凸版印刷(株)入社。2010年, NHK入局。有機EL材料研究, 印刷法による有機ELディスプレイの研究開発に従事。工学博士。正会員。



藤崎 好英 1998年, 早稲田大学大学院電子情報通信専攻修士課程修了。同年, NHK入局。2001年より, 放送技術研究所にて, フレキシブルディスプレイ, 薄膜トランジスタの研究に従事。現在, 同研究所新機能デバイス研究部上級研究員。博士(工学), 正会員。



薄井 武順 2004年, 東京工業大学大学院理工学研究科集積システム専攻修士課程修了。同年, NHK入局。大阪放送局を経て, 2007年より, 同放送技術研究所。ディスプレイの駆動・信号処理技術に関する研究に従事。正会員。



吉田 茂人 1990年, シャープ(株)入社。反射型ディスプレイ, 低温ポリシリコンTFT-LCD等のモバイル機器向けディスプレイの周辺駆動回路の開発に従事。2014年, 同社8Kディスプレイの開発プロジェクトチームのチーフ職を歴任。現在, 同社通信・映像技術研究所に所属。各種次世代ディスプレイの開発に従事。正会員。



中村 篤志 2002年, 静岡大学大学院理工学研究科物質工学専攻修士課程修了。2005年, 同大学大学院電子科学研究科電子応用工学博士課程修了。同年, 同大学電子工学研究所助手, 2007年, 助教, 2014年, 講師。2015年, 同大学大学院工学研究科講師となり, 現在に至る。その間, 酸化亜鉛系エピタキシャル成長と発光・受光素子への展開, グラフェンCVD成長と透明電極への応用の研究に従事。2014年より, 当会情報ディスプレイ研究会幹事。博士(工学), 正会員。