3

平面ディスプレイの目地レス配列技術と大型表示装置への応用

[正会員] 原 善一郎[†], 切 通 聡[†], 寺 崎 信 夫[†], [正会員] 結 城 敏 尚^{††}

キーワード 目地レス配列技術, 不等ピッチ化, 有機ELディスプレイ, 大画面化, 曲面化, 長寿命化

1 ま え が き

各種表示デバイスは、年々大型化してきた。表示デバイス単体の大型化には技術的制約があり、超大型の分野は、表示素子を多数配列する大型表示装置がその役割を担っている。大型表示装置の表示素子LEDは、高解像度化とともに高密度に配列すると、コストが高くなる。コスト削減には、高画素密度の平面ディスプレイを配列する方式が検討されているが¹⁾、多数の平面ディスプレイを1枚の表示デバイスのように配列する目地レス配列が課題である。特に表示素子周辺の封止部、電極端子部などが目地レス化を難しくしている。

本稿では、表示素子の目地レス配列の課題を明らかにし、目地レス配列に適した表示素子の構造と画素配列について検討する。さらに具体例として、画素ピッチ3mmの有機EL方式大型表示装置について述べる。この平面ディスプレイの目地レス配列によって、曲面を含む任意のサイズの大画面表示装置を構成できるようになる。

2 表示素子の目地レス配列への取組みと課題

図1(a)は、平面ディスプレイを単純に配列した例で、表示素子間の非発光部が目地として目立つ。このような平面ディスプレイの配列において、目地を目立たなくする方法には、個々の表示部をライトガイドで光学的に拡大する方法や、表示面積に比べて目地幅を最小化する考え方がある。前者は、表示素子の個々の表示を非発光部まで広げるもので、目地は軽減されるが解消することは難しく、視野角も制限される。後者は、液晶のマルチビジョンなどに使用されており、目地は目立つが最小化して容認されている。

図1(b)は、目地を解消するために、各画素間に目地幅相当のギャップを挿入した表示素子の例である。各画素間のギャップの寸法は、表示素子封止部の寸法を含んでおり、

(a) 平面ディスプレイの単純配列

(b) 目地レス配列用表示素子

図1 表示素子の配列例 (口絵カラー参照)

画素の開口率を制約する。特に高解像度の表示素子では、画素ピッチが短縮されても、画素間ギャップの短縮は難しく、開口率の制約が顕著である。

3 目地レス配列に効果的な画素配列

画素の開口率拡大対策は、図2のような画素配列を不等

[†] 三菱電機株式会社 長崎製作所 施設システム部^{††} 東北バイオニア株式会社 OLED事業部 技術部

"The Seamless Tiling Technology for OLED Scalable Display" by Zenichiro Hara, Satoru Kiridoshi, Nobuo Terazaki (Nagasaki Works, Mitsubishi Electric Corporation, Nagasaki), Toshinao Yuki (OLED Business Unit, Tohoku Pioneer Corporation, Yamagata)

図2 画素面積の拡大による不等ピッチ画素配列

ピッチ化して画素面積を拡大する方法がある。表示素子の設計では、この方法が適用できると考えられ、ここでは、不等ピッチ化の特徴を画像のスペクトル構造²⁾³⁾をもとに明らかにする。

3.1 画像のスペクトル構造

図2の座標系において、 x_0 、 y_0 および α 、 β をそれぞれ x 、 y 方向の画素ピッチおよび画素寸法とする。各画素間には目地幅と同等のギャップ g_p が設けられる。斜線部は、開口率の拡大を示す。 x 方向の拡大幅 $\Delta\alpha$ による画像の特徴を表すために不等ピッチ率 $r_p = (x_0 - \Delta\alpha) / x_0$ を定義し、 $\Delta\alpha$ を拡大して画素配列を不等ピッチ化すると、図2に表示される画像のスペクトルは、 r_p をパラメータとして図3で表される³⁾。

3.2 画質の特徴

不等ピッチ化された画素配列の特徴は、図3に基づいて説明できる。図3は、実数部が基本周波数成分に高調波が付加された画像のスペクトル構造を表す。不等ピッチ化(高開口率化)により、高調波の減衰とともに基本周波数成分の高域が低下する。虚数部は、2画素毎の画素構造の目立ちに対応する高調波が不等ピッチ化によって生じること示す。この高調波は、画像の基本周波数成分(実数成分)には影響せず、フィルタによって除去できる。実用的には視覚がフィルタの役割を果たすことから、適切な視距離からの観視によって目立たなくなる。図4はシミュレーション画像の例である。図4(a)は、近距離からの観視に対応し、画素構造が目立つ。図4(b)は、十分な視距離からの観視に対応し、画素構造は目立ち難く、むしろ高開口率化に対応する輝度の向上が画質を良くしている。

4 目地レス配列のための表示素子構造

平面ディスプレイの目地レス配列に最適の表示素子として、有機ELを適用したときの表示素子の設計と性能改善について述べる。

4.1 目地幅の短縮

画素配列を不等ピッチ化すると、画素の開口率を拡大できる。一方、表示素子内では、隣接する表示素子の画素間

図3 不等ピッチ配列の画像のスペクトル構造

ギャップ g_p と同寸法のスペースが2画素ごとに必要である。画素間ギャップ g_p は、図5に示すように封止部、電極取出し部、表示素子配列の公差に対応する表示素子間のギャップから成り、その短縮に向けて以下の設計を適用する。

- (1) 封止部の短縮：封止部は、表示素子内部への外気や水分の浸入を防ぐために表示素子周辺に充分な幅を必要とするため、実用上の最低限の幅を実験により見出し、表示素子进行設計する。
- (2) 電極の取出し方法の革新：電極は、表示素子中央の裏面から取出す技術を確認し(図5)、表示素子进行設計する。画素間ギャップ g_p は、電極取出し部に対応するスペースが短縮される。駆動電流は、表示素子中央から両端に向かって分流され、配線上の電流が半減し、駆動電圧を低くできる。
- (3) 表示素子間ギャップの短縮：目地幅の短縮には、 g_p に含まれる表示素子間ギャップの最小化も重要である。ここでは、表示素子の外形寸法を高精度化し、配列時のパネルの接触を避けうる最小寸法として g_p 値を確定した。

4.2 表示素子の高輝度化・長寿命化

大型表示装置は、従来の小型ディスプレイよりも高輝度が要求されるため、有機EL表示素子の実用レベルでの高

図5 電極の中央取出し位置（口絵カラー参照）

図4 シミュレーション画像の例（口絵カラー参照）

輝度化技術が重要である。表示素子の画素を構成するRGBの有機EL素子自体は、電流を流せば所望の輝度が得られるが、次に述べる実用上の制約事項の中で高輝度化を達成する必要がある。

(1) 幅広い電流領域での高効率化

有機EL素子の発光効率は、発光層における発光材料自体に強く依存する。高輝度で表示素子を効率よく発光させるには、高電流領域まで電流輝度効率 (cd/A) を安定化させなければならない。経験的に、発光層のキャリア輸送性

図6 一般的有機EL素子内のキャリア輸送と再結合（概念図）

が正孔/電子輸送のどちらかに偏りが強い場合は、高電流領域で発光層内でのキャリアバランスが崩れやすく、低電流領域と比べて電流・輝度効率が低下しやすい。高電流領域でも高効率を保つためには、発光層自体のキャリア輸送性の改善か、発光層内に正孔と電子を効率よく閉じ込める電子ブロック性の高い正孔輸送層、または正孔ブロック性の高い電子輸送層が重要となる。特に青色発光材料はワイドバンドギャップのため、正孔/電子のブロック層に適する周辺材料の選択に注意を要する。

(2) 高輝度表示素子の長寿命化

有機EL素子の輝度劣化の最大因子は電流であり、高輝度化と長寿命化はトレードオフとなる。一般に、図6に示すように、有機EL素子はわずか100～200nmの薄膜に正孔と電子が注入され、有機材料の酸化・還元が繰り返される。キャリアの注入・輸送層、発光層のどの部分で劣化が生じて通電による輝度劣化は生じるが、発光層を構成する発光材料のダメージが支配的である。発光層内に閉じ込められたキャリアの再結合エネルギー（励起エネルギー）が、

発光層全体へ均一に広がり、発光層全体が発光に寄与することが、発光層へのダメージ低減にとって理想的である。しかし、素子への電流密度が大きくなると、図7のように、発光層へ注入された正孔と電子が再結合し発光している領域も偏りが生じやすくなり、長寿命化の阻害要因となる。そのため、高輝度領域においても、発光層内部での発光領域ができるだけ広がるような発光材料の開発と素子構造の最適化が大切である。また、表示素子の駆動時の温度が高いと輝度劣化を加速するが、高輝度領域では自己発熱も無視できなくなる。そのため、高輝度の有機EL表示素子の長寿命化においては、素子自体の発熱の抑制（高効率化、低電圧化）や放熱構造も重要となる。

図8は青色素子の特性比較例を示す。図8(a)は電流－輝度特性で新規素子構造により高電流領域において従来よりも高効率化（外部量試効率：7.2% @400mA/cm²）している。図8(b)は1/64dutyパルス駆動（初期輝度500cd/m²，ピーク輝度32,000cd/m²，25℃）時の輝度－寿命特性で材料とデバイス構造の最適化により大幅な寿命特性の改善を達成している。

4.3 表示素子の試作と目地レス配列の検証

図9は、上記の検討結果に基づく8×32画素の表示素子16枚を配列しており、表示素子間の目地は解消されている。次の試作では、表示素子と駆動回路を実装したユニットを配列し、画面の組立を通じて不等ピッチ化や画素間ギャップ値 g_p などの設計値の妥当性を検証した。さらに主観評価実験によって画素構造が気にならない視距離が6m程度であることを確認し、図10の155型画面を試作した。画質は、約6m以上の視距離では、画素構造が気にならず、開口率の拡大による輝度の向上が印象を良くしている。

図8 青色素子の寿命特性の改善（従来標準品STDの特性との比較）

図9 192×192mm×2セット(各16素子) (口絵カラー参照)

5 パネルを目地レス配列した大型表示装置の特徴

図11は、有機ELの指向特性を示す。有機ELは、目地レスで配列すると曲面を含む任意のサイズを構成できる。図12は有機ELを円筒型に配列したとき、図13は球面の一部を構成した時のそれぞれの表示例である。これらは、平面の表示素子をわずかに傾斜させて配列した擬似曲面ではあるが、有機ELは、視野角が広く、わずかに傾斜したパネルが滑らかな曲面に見える。さらに急角度の部分も自然な表示が得られる。

6 む す び

大画面化が難しいとされる平面ディスプレイにおいて、

図10 1920×3456mm(2880表示素子)
(CEATEC2009出展 三菱電機ブース)(口絵カラー参照)

図13 1/3球形型ディスプレイ
(CEATEC2010出展 三菱電機ブース)(口絵カラー参照)

図11 有機ELの指向特性

の応用製品の開発において、貢献できる技術として役に立てられれば幸いである。

(2013年9月30日受付)

〔文 献〕

- 1) M. Aston: "Design of large-area OLED displays utilizing seamless tiled components", Journal of the SID, 15, 8, pp.535-540 (2007)
- 2) 原ほか：「大画面ディスプレイにおける画素配列と画質」，信学論，77-C-II，3，pp.148-159 (1994)
- 3) 原ほか：「画像の時空間モデルによる平面ディスプレイの画質解析」，映情学誌，55，3，pp.422-430 (2001)
- 4) Z.Hara et al: "The High Performance Scalable Display with Passive OLEDs", SID 10 DIGEST, pp.357-360 (2010)

図12 円筒型ディスプレイ(口絵カラー参照)

目地レス配列に必要な技術を確認することで、超大型ディスプレイを実現した。

適用事例としての有機ELは、高コントラスト、広視野角などの優れた画質上の特徴を有しており、構造的には軽量薄型化とともに曲面化・フレキシブルディスプレイへの適用が有効である。表示素子の目地レス配列技術は、いろいろな用途に展開できる柔軟性を保有しており、有機EL

原 善一郎 1981年，九州大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年，三菱電機(株)に入社。入社以来，大画面ディスプレイの研究開発に従事。現在，同社長崎製作所施設システム部に所属。2011年，R&D 100賞。工学博士。正会員。

切通 聡 2007年，九州大学大学院電子デバイス工学専攻修士課程修了。同年，三菱電機(株)に入社。以来，大画面ディスプレイの開発に従事。現在，同社長崎製作所施設システム部映像表示技術課に所属。2011年，R&D 100賞。

寺崎 信夫 1972年，工学院大学電子工学科卒業。同年，三菱電機(株)入社。同社長崎製作所にて，船舶・工業用システムの開発に従事後，大型映像表示装置の開発と事業立ち上げを担当し，1996年，本社映情技術センター長，営業部長を経て，現在，同社長崎製作所にて，事業企画，販売支援を担当。主な受賞に，1990年，市村産業功績賞受賞など。技術士(電気・電子部門)。

結城 敏尚 1993年，山形大学大学院高分子材料工学専攻修士課程修了。同年，帝人(株)に入社。1999年，山形大学大学院工学研究科博士課程修了。同年，東北バイオニア(株)に入社。以来，有機ELディスプレイ，有機EL照明の開発に従事。現在，同OLED事業部技術部長。工学博士。正会員。