

有機薄膜トランジスタによるアクティブマトリクス駆動 有機ELパネル

Active Matrix Organic Light Emitting Diode Panel using Organic Thin Film Transistors

中馬 隆，大田 悟，原田 千寛

Takashi Chuman, Satoru Ohta, Chihiro Harada

吉澤 淳志，宮口 敏，佐藤 英夫

Atsushi Yoshizawa, Satoshi Miyaguchi, Hideo Satoh

田辺 貴久，土田 正美

Takahisa Tanabe, Masami Tsuchida

要 旨 有機半導体としてペンタセンを用いた有機TFTを開発し，同一基板上に有機TFT素子と有機EL素子を配した有機ELパネルのアクティブマトリクス駆動に成功した。画素数は 8×8 であり，各画素は選択トランジスタと駆動トランジスタとで駆動されている。このパネルにおいて，アナログ駆動方式による16階調表示を確認した。

Summary By using organic thin-film transistors with pentacene as the active organic layer, an active matrix organic light emitting diode panel has been developed. The number of pixels in the panel is 8×8 , and each pixel is driven by switching and driving transistors. We confirmed the display of 16 gray scales by means of an analog driving method.

キーワード： 有機TFT，ペンタセン，有機EL，五酸化タンタル，アクティブマトリクス駆動

1. まえがき

次世代のフラットパネルディスプレイとして注目を集めている有機ELディスプレイ(Organic electroluminescent display)は，発光層厚がサブミクロンオーダーである薄型面発光，DC低電圧駆動自発光ディスプレイであり，視野角が広い，コントラストが高い，応答速度が速いなど，LCD(Liquid Crystal Display)にはない特長を有している。

1987年のKodakによる高輝度，高効率有機

EL素子の報告⁽¹⁾以来，有機ELの研究が加速され，1997年の秋にはパイオニアから世界初の緑単色ドットパッシブマトリクス駆動ディスプレイが市場に導入された。その後，主にカーステレオのメインパネルや携帯電話のサブディスプレイを主力商品として，パッシブマトリクス駆動タイプの有機ELディスプレイが各社から製品化されている。

これを第一世代とすれば，2003年にSKディスプレイが製品化した低温ポリシリコンTFT

(LTPS Thin Film Transistor)によるアクティブマトリクス駆動デジタルカメラ用ディスプレイや、パイオニアが製品化した赤色燐光素子を用いた携帯電話用サブディスプレイなど第二世代のキーワードはアクティブマトリクス駆動と燐光素子といえる。

そして第三世代はフレキシブルディスプレイとなる可能性が高い。有機ELにおいてディスプレイをフレキシブル化するための課題は、水分などのアウトガス、熱、紫外線対策、そして何よりも曲げても素子が壊れないことである。これまで、プラスチック基板による有機ELデバイス作製に関して数件の報告^{(2)・(3)}があるが、それらはいずれも単なるテストピースか、TFTを用いないパッシブマトリクス駆動方式であった。そのため、プラスチック基板上に容易に作製でき、曲げても壊れることがないTFTが熱望されている。

2. 有機ELディスプレイの駆動方式

有機ELディスプレイの駆動方式としては、パッシブマトリクス駆動とアクティブマトリクス駆動に大別される。パッシブマトリクス駆動とは、走査電極とデータ電極の交差する画素に対応し、線順次に走査電極を選択しながら、ラインごとに有機EL素子を駆動する方式である。対してアクティブマトリクス駆動とは、画素ごとに能動回路を有し、それにより電流供給を行う駆動方式である。

アクティブマトリクス駆動では画素ごとに電流を制御できるため、映像の1フレーム間を連続的に発光させることができる。このため、有機ELディスプレイの低消費電力化および有機EL素子の長駆動寿命化というメリットがある。しかし、液晶と違って電流注入型素子なので1画素にスイッチングトランジスタとドライビングトランジスタの最低2個のトランジスタが必要となる。

以前は移動度の低いアモルファスシリコンTFT(a-Si TFT)では有機EL素子を駆動できない

と言われていたが、IDTech⁽⁴⁾やカシオ計算機⁽⁵⁾がa-Si TFTを用いた有機ELディスプレイを開発し、移動度 $1\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度でも十分に有機EL素子の駆動が可能なが証明された。また、有機EL素子も燐光発光材料の出現により、今までより低電流で高輝度発光が可能となった^{(6)・(7)}。これらの開発の進展に伴って、シリコン半導体の代わりに炭素骨格を基本とした有機化合物を半導体層として用いた有機TFTでも、アクティブマトリクス駆動有機ELディスプレイが実現できる可能性が高くなった。

シリコン系TFTは工程が複雑で、200℃以上の高温プロセスを行う必要があるのに比べ、有機TFTは蒸着や印刷などの手法を用いて、低温プロセスで大面積に作製可能であり、コストも低く抑えることができるため、第三世代のフレキシブル有機ELディスプレイの駆動に最適なTFTといえる。

3. 有機TFTの構造

図1に各種有機TFT構造を示す。(a)はトップコンタクト型の有機FET(Field Effect Transistor)であり、有機半導体膜を平面上に成膜できるため均質で特性の良好な膜が得られやすい。ただし、上部のソース電極とドレイン電極成膜にはフォトリソグラフィ技術が使用できないため、成膜エリアに開口部を設けたシャドウマスクによるパターニングとなっており、電流を多く流すために必要なソース/ドレイン電極間の微細化が困難である。(b)はボトムコンタクト型有機TFTであり、ソース/ドレイン電極のパターニングにフォトリソグラフィ技術に代表される微細加工技術を用いることができるため、有機TFT素子の微細化が可能であり、高精細ディスプレイ用途に適しているが、逆に半導体材料の均質化の点ではやや劣る。その他にも(c)トップ&ボトムコンタクト構造FET⁽⁸⁾や(d)縦型静電誘導トランジスタ(SIT)⁽⁹⁾などの新規構造も提案されている。

我々は、量産性などを考慮し、ボトムコンタ

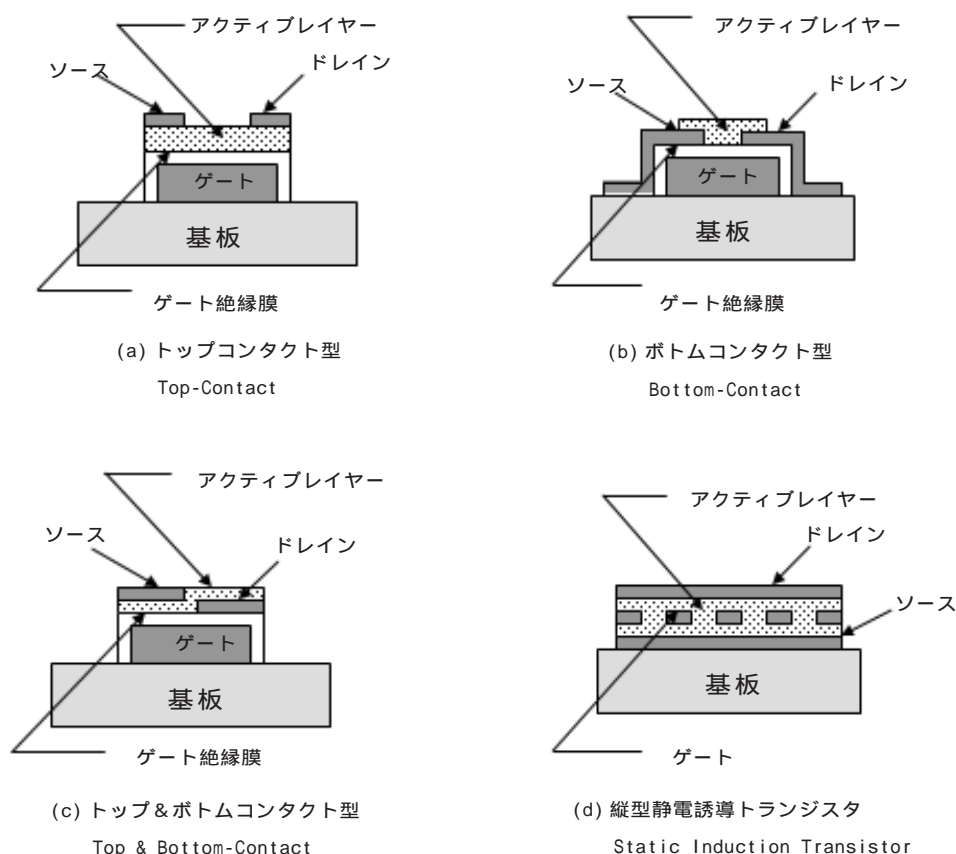


図1 有機TFT各種構造

Fig.1 Structures of Organic-TFT

クト型有機TFTによるアクティブマトリクス駆動有機ELパネルを試作し、有機TFTの可能性を検証した⁽¹⁰⁾。

4. ペンタセンを用いたボトムコンタクト型有機TFT

ペンタセンは、その半導体特性がa-Si TFTと同等もしくはそれ以上である有機半導体として知られている。図2に示すのはペンタセンの分子構造である。我々はこのペンタセンを用い

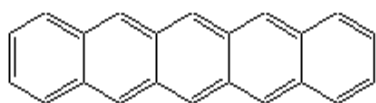


図2 ペンタセン分子構造

Fig.2 Structures of Pentacene

てボトムコンタクト構造有機TFTを開発した。さらにその有機TFTと有機EL素子とを同一基板上に組み込むプロセスを開発し、アクティブマトリクス駆動で有機EL素子を発光させた。

以下にそのデバイス構造と作製手順を示す。

4.1 画素構造

図3に画素部の回路構成および構造写真を示す。スイッチングトランジスタ(Sw-TFT)とドライビングトランジスタ(Dr-TFT)の2つの有機TFTを並列に配置し、その横に有機EL素子を設けた。また、メモリコンデンサとして容量60pFのものを設置した。ドットサイズは1mm×1mmであり、有機EL画素の開口率は27%である。有機TFTのチャンネル長は10μm、チャンネル幅はスイッチングトランジスタ(Sw-TFT)が400μm、ドライビングトランジスタ(Dr-TFT)が680μm

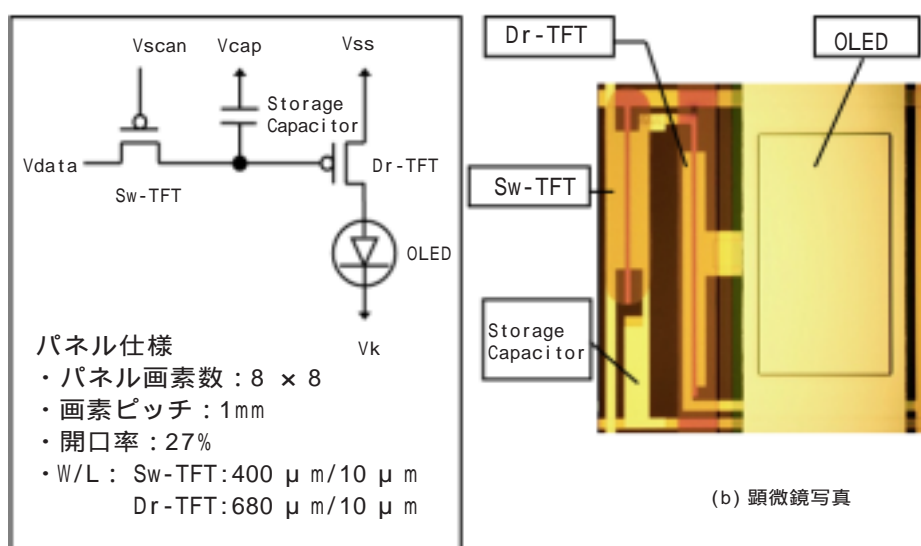
である。

4.2 画素作製法

図4に画素の断面構造を示す。有機TFTはボトムコンタクト構造であり、有機半導体としてペンタセンを使用している。また、ゲート絶縁膜として五酸化タンタル(Ta_2O_5)を使用している。 Ta_2O_5 は比誘電率が23以上と非常に高いため、スレッシュホールド電圧(V_{th})の減少と相互コンダクタンスの増加が期待できる。有機EL素子は低分子系材料を使用しており、緑の燐光材料であるイリジウム金属錯体をドーパントとし

て発光材料に使用した。

次に作製方法を図5に示す。基板は厚さ0.7mmの無アルカリガラスを使用した。洗浄したガラス基板上にタンタル(Ta)をマグネトロンスパッタで成膜し、ゲート電極、キャパシタンスライン(Vcap)、スキャンライン(Vscan)となるようなパターンをリアクティブイオンエッチング(RIE)で形成する。このTaパターンの一部に陽極酸化を行うことによって Ta_2O_5 膜を形成する。この Ta_2O_5 膜がゲート絶縁膜であり、同時にストレージキャパシタの誘電体層となる。陽極酸



(a) ピクセル回路図

(b) 顕微鏡写真

図3 画素の回路構成と構造写真

Fig.3 Circuitry & Structure of a pixel

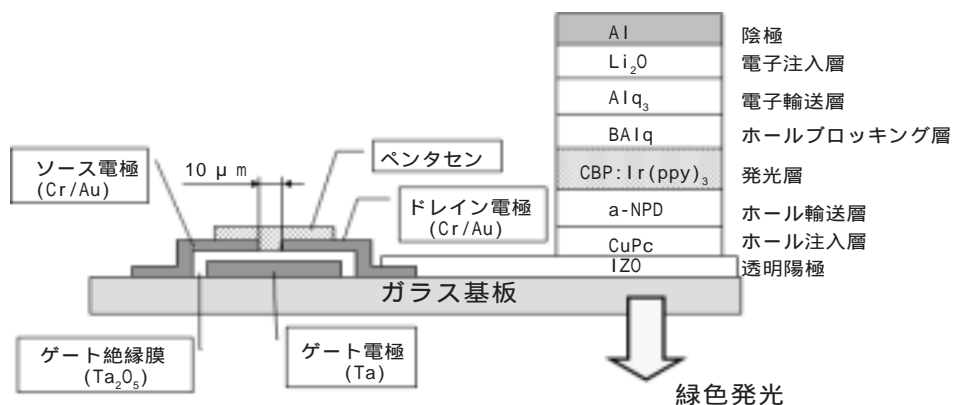


図4 画素の断面構造

Fig.4 Cross section of the Organic-TFT & the OLED

化では、化成液として1.5wt%のアジピン酸アンモニウム水溶液を使用した。陽極酸化後のTaおよびTa₂O₅の膜厚はそれぞれ100nm, 150nmである。

その後、有機EL素子の陽極として透明導電膜であるインジウム亜鉛酸化物(IZO)をマグネトロンスパッタ法で形成、パターニングする。

次にソース/ドレイン電極、データライン(Vdata)、電源ライン(power supply)となる金属膜として、クロム(Cr)を接着層とした金(Au)をマグネトロンスパッタ法で形成し、リフトオフ法を用いてパターニングを行う。

ペンタセンの成膜を行う前に、基板前処理としてTa₂O₅膜上に疎水基を設けるため、ヘキサメチルジシラザン(HMDS)処理を行う。その後、ペンタセンを真空蒸着法で50nmの厚さで成膜する。この時、メタルマスクを用いてSw-TFT上とDr-TFT上に分けて成膜する。

最後に有機EL素子を真空蒸着にて成膜し、

画素として完結する。

4.3 有機TFTの特性

画素中の有機TFTの特性を評価することは困難であるため、評価用の有機TFT素子を同一基板上に設け、それを評価した。今回作製した有機TFTの代表的な半導体特性を図6および図7に示す。図6がHMDS処理有の半導体特性のグラフで、図7がHMDS処理無しの半導体特性のグラフである。左側のグラフは横軸にゲート電圧(Vg)、縦軸にドレイン電流(I_d)をとった、I_d-V_gのグラフであり、ドレイン-ソース間電圧(V_{ds})は-15Vである。右側のグラフは横軸にV_{ds}、縦軸にI_dをとった、各V_gに対するI_d-V_{ds}のグラフである。今回の有機TFTはP型の半導体特性を示した。HMDS処理無しに比べ、HMDS処理有の方のドレイン電流がより多く流れ、スレッショルド電圧が低電圧側にシフトしていることが分かる。

また、飽和領域におけるドレイン電流I_dは

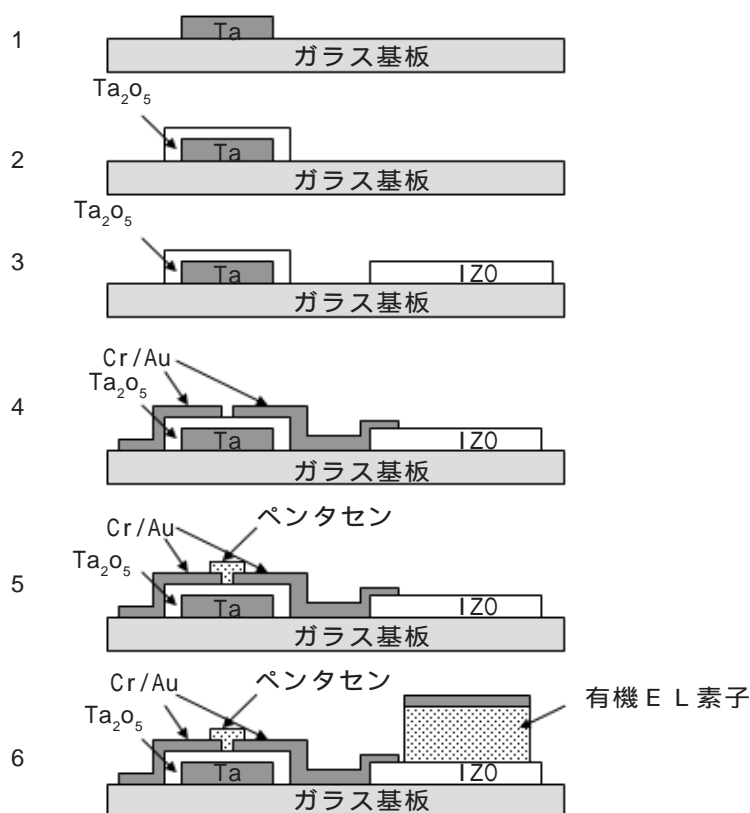


図5 アクティブマトリクス有機ELパネルの作製工程

Fig.5 Process of the active matrix OLED Panel

以下の式より導かれることが知られている。

$$I_d = (1/2)(W/L)\mu \cdot C(V_g - V_T)^2$$

ここで、 W はチャネル幅、 L はチャネル長、 μ は移動度、 C はゲート絶縁膜の単位面積あたりの静電容量、 V_g はゲート・ソース間電圧、 V_T は

スレッシュホールド電圧を表す。これから算出した HMDS 処理有無の素子特性の比較データを表 1 に示す。

4.4 8×8ドットアクティブマトリクスパネル

図 8 に、試作した有機 TFT アクティブマトリ

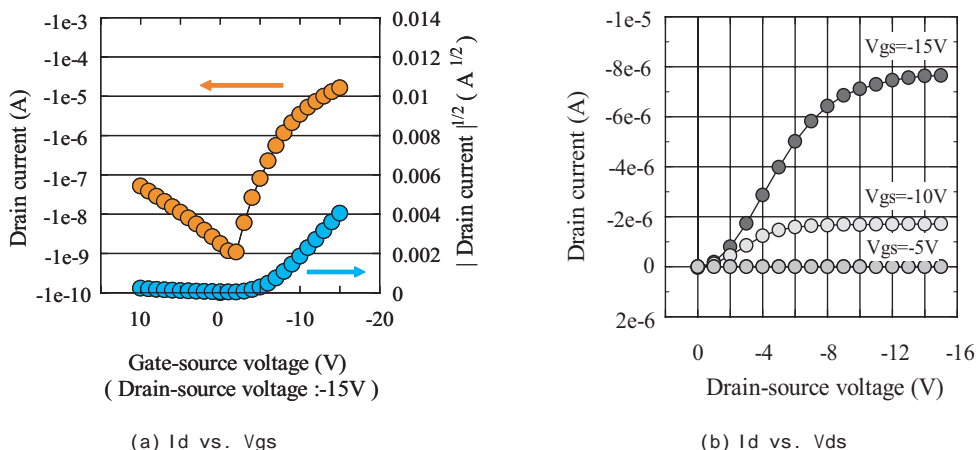


図 6 HMDS 処理無しの TFT 特性

Fig.6 Characteristic of Organic-TFT without HMDS

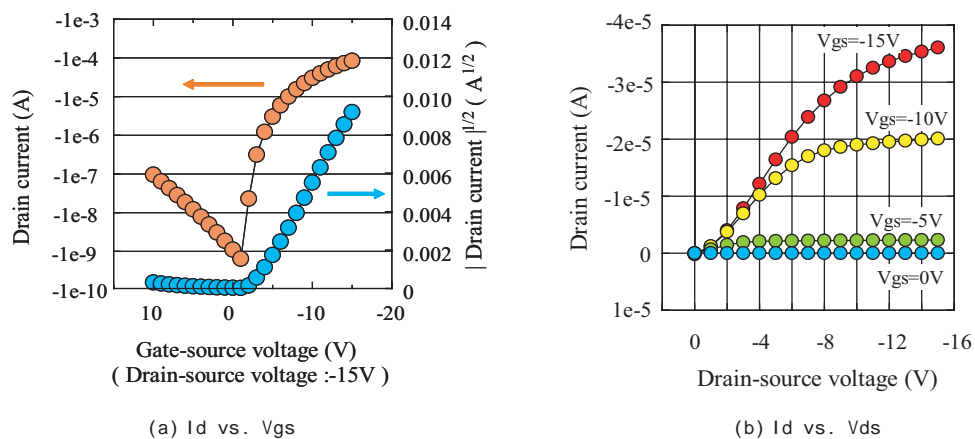


図 7 HMDS 処理有りの TFT 特性

Fig.7 Characteristic of Organic-TFT with HMDS

表 1 HMDS 処理有無の素子特性比較

Table 1 The typical characteristic of the Organic-TFTs

	HMDS処理有り	HMDS処理無し
移動度(cm ² /Vs)	0.2	0.04
スレッシュホールド電圧(V)	-3	-6
on/off 比	10 ⁵	10 ⁴

クス駆動 8 × 8 素子有機 EL パネルの全体写真を、また図 9 に実際の発光状態の写真を示す。

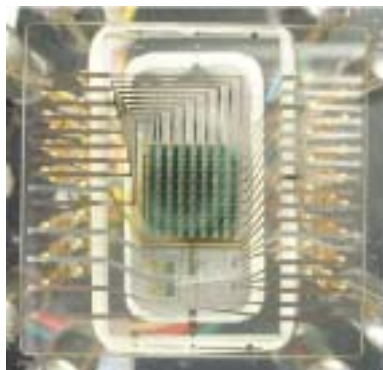
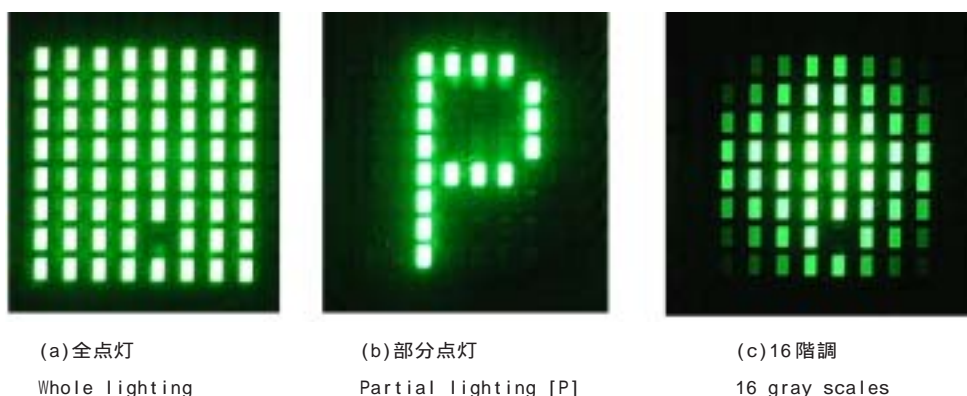


図 8 8 × 素子有機 EL パネルの全体写真

Fig.8 Picture of 8x8 OLEDs Panel

駆動条件は、フレーム周波数 60Hz、Duty 比 1/60 で、階調表示方式はアナログ表示である。この条件下におけるパネル輝度は 400cd/m² であり、16 階調のアナログ表示が確認できた。また、各画素均一な輝度で発光しており、有機 TFT の特性のばらつきが小さいことが確認できた。

次に、こちらこれらの条件で駆動させた素子の発光強度を図 10 に示す。上のラインがスキャンパルスを、下のラインが発光強度を表す。本駆動条件における選択期間は 0.28msec であり、発光、非発光を繰り返している。この選択期間において発光強度が維持されていることから、この駆動条件でのアクティブマトリクス駆動を確認できた。



(a)全点灯

Whole lighting

(b)部分点灯

Partial lighting [P]

(c)16 階調

16 gray scales

図 9 8 × 8 素子有機 EL パネルの発光パターン

Fig.9 Image of active matrix driven 8x8 OLEDs

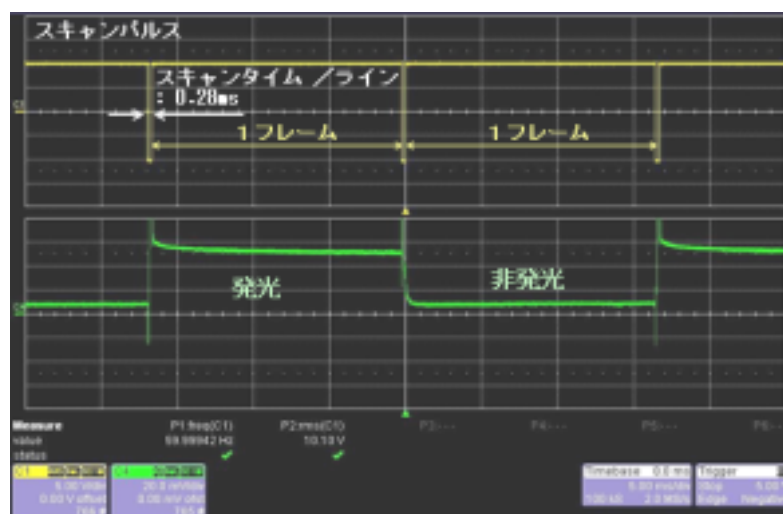


図 10 駆動素子の発光強度

Fig.10 Stability of emission intensity

5. まとめ

以上述べたように、第三世代の有機ELディスプレイとして、有機TFTによるアクティブマトリクス駆動有機ELディスプレイの可能性を示した。今回紹介した有機ELパネルは画素数、画素サイズや作製工程もまだ実用化レベルのものとはほど遠く、課題も多い。しかし有機TFTの研究は現在、材料メーカーを含めて各社が注目しているテーマでもあり、今後急速に開発が進展していくと考えられる。数年後には、薄型軽量でフレキシブルなアクティブマトリクス駆動有機ELディスプレイを実用化できるよう有機TFTのさらなる性能改善を図って行きたい。

参考文献

- (1) C. W. Tang, S. A. VanSlyke: Appl. Phys. Lett., 51, 913, (1987)
- (2) J. K. Mahon, J. J. Brown, P. E. Burrows, G. L. Graff, M. E. Gross, M. Sullivan, Proceedings of Display Works 2000, (2000)
- (3) A. Sugimoto, A. Yoshida, T. Miyadera, S. Miyaguchi, Proceedings of The 10th International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence (EL'00), 365-366, (2000)
- (4) T. Tsujimura et al., SID 03 DIGEST 4.1, 6 (2003)
- (5) T. Shirasaki, R. Hattori, T. Ozaki, K. Sato, M. Kumagai, M. Takei, Y. Tanaka, S. Shimoda, T. Tano, Proceedings of 10th International Display Workshops, AMD4/OEL5-5, 1665, (2003)
- (6) M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson, S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 75, 4 (1999)
- (7) T. Tsutsui, M. J. Yang, M. Yahiro, K. Nakamura, T. watanabe, T. Tsuji, Y. Fukuda, T. Wakimoto, S. Miyaguchi, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38, 1502, (1999)
- (8) T. Kamata et al., Proceedings of SPIE., 5217, 133, (2003)
- (9) K. Kudo, D. X. Wang, M. Iizuka, S. Kuniyoshi, K. Tanaka, Thin Solid Films, 331, 51 (1998)
- (10) T. Chuman, S. Ohta, S. Miyaguchi, H.

Satoh, T. Tanabe, Y. Okuda, M. Tsuchida, SID 04 DIGEST 5.1, 45 (2004)

筆者紹介

中馬 隆 (ちゅうまん たかし)

技術開発本部 総合研究所 表示デバイス研究部。主な経歴：有機系色素を用いた追記型光ディスク、電子放出素子の研究開発、有機ELを用いた3Dディスプレイの研究を経て、現在、有機半導体の研究に従事。

大田 悟 (おおた さとる)

技術開発本部 総合研究所 表示デバイス研究部。主な略歴：入社以来、有機半導体の研究に従事。

原田 千寛 (はらだ ちひろ)

技術開発本部 総合研究所 表示デバイス研究部。主な略歴：入社以来、有機半導体の研究に従事。

吉澤 淳志 (よしざわ あつし)

技術開発本部 総合研究所 表示デバイス研究部。主な略歴：コンパクトディスク、有機系色素を用いた追記型光ディスク、電子放出素子の研究開発、有機ELを用いた3Dディスプレイの研究を経て、現在、高性能有機デバイスおよび有機半導体の研究に従事。

宮口 敏 (みやぐち さとし)

技術開発本部 総合研究所 表示デバイス研究部。主な略歴：磁気ヘッドの開発、光集積回路の研究開発を経て、現在、有機ELディスプレイの研究開発に従事。

佐藤 英夫 (さとう ひでお)

技術開発本部 総合研究所 表示デバイス研究部。主な経歴：生産技術センターにて、ロボット、画像認識などの自動化機器の開発、電子放出素子の研究開発、有機ELを用いた3Dディスプレイの研究を経て、現在、有機半導体の研究に従事。

田辺 貴久 (たなべ たかひさ)

技術開発本部 総合研究所 表示デバイス研究部。主な略歴：磁気記録技術および光ディスク記録技術の研究開発を経て、現在有機半導体の研究に従事。

土田 正美 (つちだ まさみ)

所属：技術開発本部 総合研究所 表示デバイス研究部。主な略歴：ホーム用AV機器の開発・設計を経て、1994年より有機ELディスプレイの研究開発に従事。