

有機発光型トランジスタによるアクティブマトリクス駆動

Active Matrix Display Using Organic Light-Emitting Transistors

中村 健二, 秦 拓也, 吉澤 淳志

Kenji Nakamura, Takuya Hata, Atsushi Yoshizawa,

小幡 勝也, 遠藤 浩幸, 工藤 一浩

Katsunari Obata, Hiroyuki Endo, Kazuhiro Kudo

要旨 我々は有機薄膜トランジスタと有機ELを組み合わせた有機発光型トランジスタ(MIS-OLET)を新たに開発し、素子構造を最適化することで、最大電流 $149\mu\text{A}$ 、最大輝度 $1034\text{cd}/\text{m}^2$ ($V_D = -20\text{V}$, $V_G = -50\text{V}$)、On/Off 電流比 10^4 の特性を得る事に成功した。また、この MIS-OLET 素子を用いてプラスチック基板上に画素サイズ 16×16 ドットのマトリクスパネルを作製し、アクティブマトリクス駆動を実現した。

Summary We have developed novel metal-insulator-semiconductor-type organic light-emitting transistors (MIS-OLETs), and have improved the characteristics of the MIS-OLETs by optimizing the device structure. The MIS-OLET shows a maximum drain current of $I_D = -149\mu\text{A}$, maximum luminance of $1034\text{ cd}/\text{m}^2$ ($V_D = -20\text{ V}$, $V_G = -50\text{ V}$) and an On/Off current ratio over 10^4 . In addition, we have demonstrated an active matrix display using these MIS-OLETs fabricated on a plastic substrate.

キーワード : 有機トランジスタ, 発光型トランジスタ, 有機EL, アクティブマトリクス駆動

Keywords : organic transistor, light-emitting transistor, organic electroluminescence, active-matrix driving

1. まえがき

有機ELディスプレイは、薄型で自発光デバイスであるため視野角が広く、応答速度が速い (μs 以下) などの理由から次世代のフラットパネルディスプレイとして有力視されている。しかし有機EL素子は単純なダイオード素子であるため、大画面・高精細なディスプレイを実現するためには画素内にスイッチング素子を複数配置し、アクティブマトリクス駆動する必要がある。すでに実用化が始まっているアクティブマトリクス有機ELディスプレイ (Active Matrix drive Organic Light Emitting Diode, AMOLED) は、スイッチング素子として薄膜トランジスタ (TFT) が使用されており、その活性層には低温ポリシリコン (LTPS) やアモルファスシリコン (a-Si) が用いられている^{(1),(2)}。研究段階ではあるが活性層材料には他に酸化物半導体、有機半導体などの候補も挙げられている。その中でも有機半導体を用いた TFT⁽³⁾⁻⁽⁷⁾ (Organic

Thin Film Transistor, OTFT) は作製プロセスが比較的低温 ($200\text{ }^\circ\text{C}$ 以下) であることや、インクジェット印刷など低コストな作製法が適用できる⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾ ことから、フレキシブルなプラスチック基板上に AMOLED を安価に作製できる可能性が高いとして近年注目を集めている。当社はすでに OTFT を用いた 8×8 画素の AMOLED ディスプレイの試作に成功し、OTFT による有機ELのアクティブ駆動が実現可能であることを示している。しかしながら、有機半導体は LTPS と比較すると移動度が低いことから、有機ELに十分な電流を供給するためには OTFT の面積が大きくなってしまい、一画素内における有機ELが占める面積が小さくなってしまふ (先述の例では 27%) という問題点があった。

今回我々は OTFT と有機ELを組み合わせた新しい有機発光型トランジスタ (Metal-Insulator-Semiconductor type Organic Light Emitting

Transistor, MIS-OLET) を考案した⁽¹¹⁾(図 1)。従来の OTFT は、ガラスなどの基板上に形成されたゲート電極と呼ばれる電極上に絶縁膜(ゲート絶縁膜)を介して、ペンタセンなどの有機半導体薄膜を形成し、基板に対し平行に電流が流れるように形成されたソース・ドレイン電極が設けられた構造をもつ。ソース・ドレイン電極の幅をチャンネル幅(W)、ソース電極とドレイン電極間の間隔をチャンネル長(L)と呼び、ソース・ドレイン電極間に流れる電流 I_D は以下の関係にある⁽²⁴⁾

$$I_D \propto W/L \quad (1)$$

従って、OTFT から有機 EL に供給される電流を大きくするためには W を大きく、 L を短くする必要がある。しかしながら画素の大きさやプロセスの困難性から、現実的には W/L 比を飛躍的に大きくすることは難しい。今回新たに開発された MIS-OLET は発光部を OTFT 上に形成し、櫛状にソース電極を形成することで、 W を大きくしつつも画素の開口率を犠牲にすることなく有機 EL 部に大きな電流を送ることができるという特徴をもつ。同じような目的から TFT 以外の構造の有機トランジスタ⁽¹²⁾⁻⁽¹⁵⁾や MIS-OLET とは異なる有機発光型トランジスタ⁽¹⁶⁾⁻⁽²²⁾が数多く提案されているものの、

- ・駆動電圧が高い。
- ・On/Off 比が悪くコントラストが取れない。
- ・作製プロセスが複雑で再現性が悪い。

などの問題がある。我々の MIS-OLET はこれらの問題をもたず、有機発光型トランジスタの中では最も実用化に近い構造といえる。

2. MIS-OLET の作製法と動作原理

トップコンタクト型 MIS-OLET 素子と、トップコンタクト素子を改良したセパレート型 MIS-OLET 素子の概略構成を図 1 に示す。両構造とも基板上に設けられた透明電極からなるゲート電極上にゲート絶縁膜が形成され、ゲート絶縁膜上には有機半導体層と有機 EL 層(OLED 層)が積層された形状となっている。このとき有機 EL の陰極にあたる電極がドレイン電極となり、有機半導体と接する電極がソース電極となっている。この 2 つの構造の違いはソース電極の位置と電荷規制層と呼ばれる絶縁膜の位置関係にある。有機半導体層上にソース電極と電荷規制層を形成したものをトップコンタクト型 MIS-OLET、有機半導体層をソース電極と電荷規制層で挟んだ構造のものをセパレート型 MIS-OLET と呼んでいる。

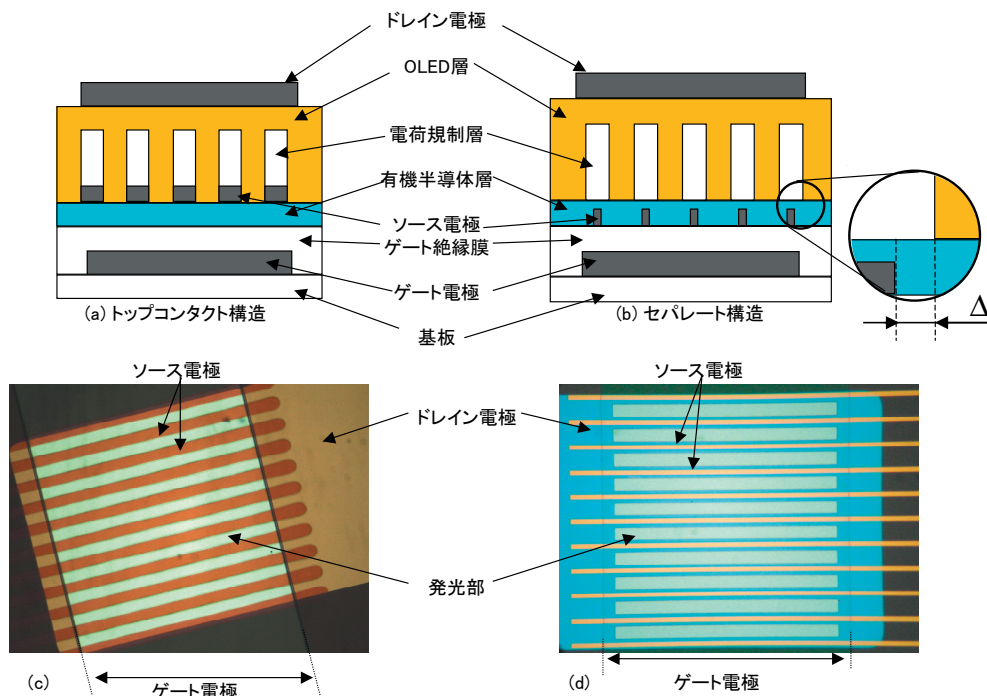


図 1 トップコンタクト型 MIS-OLET の構造概略図 (a) と実際の素子写真 (c)、同じくセパレート型 MIS-OLET の構造概略図 (b) と実際の素子写真 (d)

Fig.1 The structure of MIS-OLETs; device I and II are schematized in (a), (b) respectively. Photographs of device I (c) and device II (d).

今回作製した素子は、ゲート電極に膜厚 100nm の ITO(Indium-Tin-Oxide), ソース電極に Au(膜厚 30 nm), ドレイン電極には Al(100 nm) をそれぞれ用いた。ゲート絶縁膜にはスピンコート法により形成した Poly hydroxyl styrene 系ポリマーからなるポジ型感光性レジスト(東京応化 TMR-P10, 膜厚 300nm)を用いた。有機半導体にはペンタセン(50nm), 有機 EL 層は α -NPD(50 nm)/Alq₃(60 nm) とし、電子注入層としてド

レイン電極との間に LiF(1 nm) を挿入している。電荷規制層にはトップコンタクト型では SiO₂(100 nm) を用い、セパレート型では TMR-P10 などのポジ型レジストを使用した。前述したように MIS-OLET 素子は有機半導体層と有機 EL 層が単純に積層された構造となっている。有機半導体ペンタセンは p 型の材料であるため、負のゲート電圧 (V_G) を印加することにより有機半導体/ゲート絶縁膜界面にホールが蓄積される。蓄積されたホールはドレイン電圧 (V_D) によって有機 EL 層に引き込まれ、同時にドレイン電極から注入された電子と発光層で励起子を形成し、発光が得られるものと考えられる(図 2)。逆に、ゲート電圧を 0 もしくは正の電圧にすると、ホールは蓄積されず、結果として発光が得られなくなる。すなわち、ゲート電圧によって有機 EL 層に入るホールの量をコントロールし、輝度を変化させる構造となっている。トップコンタクト型 MIS-OLET 素子において一定のゲート電圧を印加した際のドレイン電圧に対するドレイン電流の依存性 (V_D - I_D 特性) と同時に測定した輝度の依存性 (V_D - L 特性) を図 3 に示す。前述したように実際の素子においても、ゲート電圧によってドレイン電流と輝度の変調が得られることが確認された。

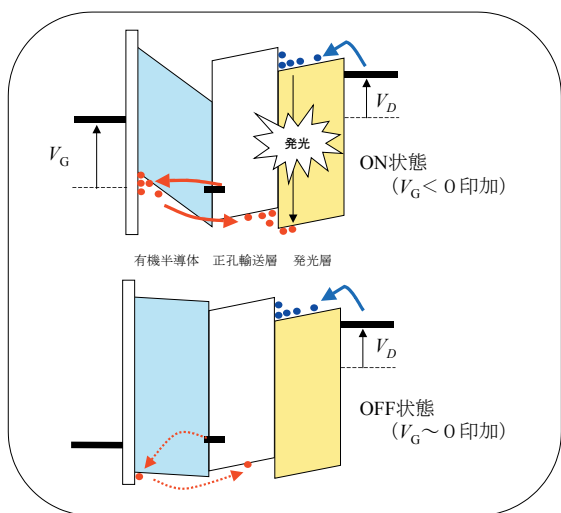


図 2 トップコンタクト型 MIS-OLET 素子の ON 状態と、OFF 状態でのエネルギーバンドダイアグラムの模式図

Fig.2 A schematic view of energy band diagram in the ON state and the OFF state of top-contact type MIS-OLET.

3. MIS-OLET 素子の On/Off 比の改善

トップコンタクト型 MIS-OLET 素子では 300 cd/m² 以上の発光を実現したものの、Off 時に 20 μ A 以上のリーク電流が流れてしまうため、On/Off 比は 10² 程度であった。このリーク電流は発光として現れるものと考

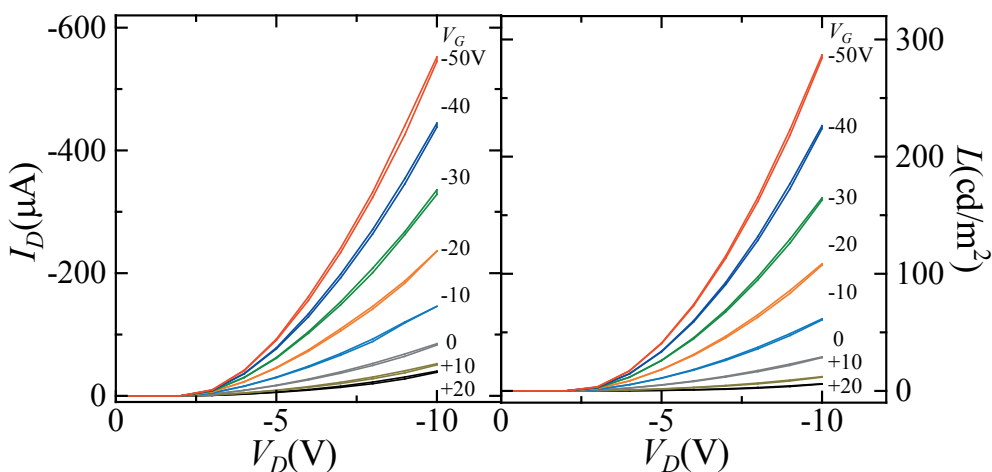


図 3 トップコンタクト型 MIS-OLET 素子の V_D - I_D , V_D - L 特性

Fig.3 Typical output characteristics of top contact type MIS-OLET; I_D - V_D characteristics and L - V_D characteristics as V_G is varied from +20 to -50V in increments of -10 V.

えられるため、Off 時の発光状態の観察を行った。その結果、ソース電極の脇もしくはソース電極上が主なリーク電流の経路であることがわかった。このリーク電流の主な理由として、

- ・ 製膜法や装置の理由などにより、ソース電極の方が電荷規制層よりも若干大きく形成されている。
- ・ 電荷規制層に用いた SiO₂ を電子ビーム蒸着法で製膜しているため絶縁特性が悪い。

の 2 点が考えられる。

このリーク電流成分を低減し、On/Off 比を向上させるため、電荷規制層の形状を見直した結果、ソース電極をゲート電極上に形成し、ソース電極より幅が広い電荷規制層を有機半導体層上に作製するセパレート型構造を導入した(このときソース電極端部から電荷規制層の端部までの距離 Δ を定義した。拡大した状態を図 1(b) に示す)。セパレート型構造では、電荷規制層を形成する際に精密な位置合わせ (10 μ m 以下) を必要とするため、電荷規制層にポジ型レジストを用いてフォトリソグラフィ法によりパターンを形成した。有機半導体として用いるペンタセン薄膜は、有機溶剤によって結晶形が変わり、移動度などの性能が落ちることが知られており^{(24),(25)}、さらにペンタセン膜はレジスト膜との密着性が極端に悪く、レジスト膜が剥がれ、パターン不良となるなどの問題が発生した。それらの理由から、電荷規制層としてレジスト膜を製膜する際に、ペンタセン膜とレジスト膜との間

に銅フタロシアニンの薄膜 (CuPc, 40 nm) を挿入したところ、良好なレジスト膜を形成することができた。このとき CuPc 膜は、いわゆる緩衝材としてペンタセン膜へのダメージを抑えるとともに、レジスト膜の密着性をあげているものと考えられる。作製したセパレート型素子はソース電極幅 60 μ m、電荷規制層幅 100 μ m であり、ソース電極端部より 20 μ m 大きく電荷規制層が形成されている ($\Delta = 20 \mu$ m)。なお、素子の開口部は 100 μ m \times 1.8 mm で、約 2 \times 2mm² の素子面積中に開口部が 10 箇所形成されている。図 4 にトップコンタクト型素子とセパレート型素子の $V_G - L$ 特性のグラフを示す。リーク電流に対する対策を施したため、Off 時のドレイン電流と輝度が大幅に低減され、ともに 10⁴ 程度の On/Off 比を得ることに成功した。しかし、150cd/m² を得るために必要なドレイン電圧が -16 V まで上昇している。この駆動電圧の上昇は、 Δ を設けたことによってホールの移動距離が長くなったことに加えて、電荷規制層形成時における有機溶剤・水分・酸素などがペンタセンへ影響している⁽²⁴⁾⁻⁽²⁸⁾ ことも考えられる。

このドレイン電圧の上昇とソース電極から開口部までの距離の関係を調べるために電荷規制層幅は 100 μ m に固定し、ソース電極幅を 10 ~ 80 μ m と変化させて素子を作製した結果を図 5 に示した (例：ソース電極幅が 80 μ m のときには、ソース電極 - 開口部間の距離 (Δ) は 10 μ m)。図 5 に示すように Δ が 10 μ m

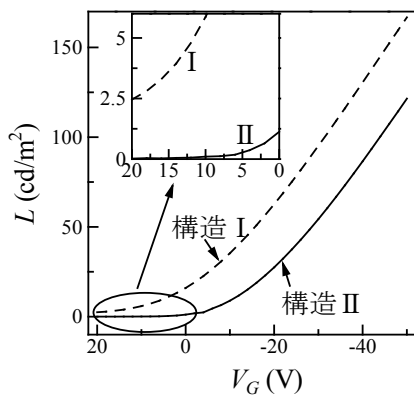


図 4 トップコンタクト型素子 (構造 I 点線: $V_D = -8$ V) と、セパレート型素子 (構造 II 実線 $V_D = -16$ V) の $V_G - L$ 特性

Fig.4 $L - V_G$ curves of top contact type (open rectangles) and separate type (filled triangles) MIS-OLET. The drain voltage (V_D) is -8 V for top contact type and -16 V for separate type.

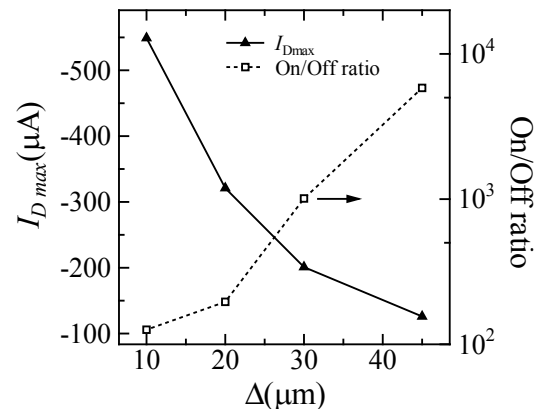


図 5 ソース電極 - 開口部間の距離 (Δ) と最大ドレイン電流 (I_{Dmax}), ドレイン電流の On/Off 比 (右軸) の関係

Fig.5 The dependence of the maximum drain current (I_{Dmax}) versus overhang length (Δ); the right axis represents the On/Off ratio of the drain current.

から $45\ \mu\text{m}$ と大きくなるにつれて最大ドレイン電流が反比例して減少していくのが分かる。逆に On/Off 比は Δ に正比例して増加する。この材料の組み合わせで作製された素子では $\Delta = 20 \sim 30\ \mu\text{m}$ に最適値があるものと考え、 16×16 ドットマトリクスは $\Delta = 20\ \mu\text{m}$ として設計した。

4. 6×16 画素アクティブマトリクス駆動 MIS-OLET パネル

これまでの結果を踏まえ、1画素 $1.8 \times 1.8\ \text{mm}^2$ の 16×16 ドットマトリクスパネルを作製した。図6に実際に作製したパネルの1画素の拡大写真と等価回路、断面の模式を示す。画素回路はスイッチングトランジスタと MIS-OLET をそれぞれ一つずつ用いた 2 トランジスタ構成とした。スイッチングトランジスタには横型 TFT を用い、チャンネル幅 (W) とチャンネル長 (L) 比 $W/L = 1500\ \mu\text{m}/5\ \mu\text{m}$ とし、ゲート電極には Cr(100nm)、ゲート絶縁膜には MIS-OLET 部と同じポジ型感光性レジストを用いた。ソース・ドレイン電極は Au(30nm) である。有機半導体層には MIS-OLET 部の有機半導体層と同じペンタセン (50 nm)/CuPc(40nm) 積層膜を用い、シャドウマスクを用いて MIS-OLET 部と同時に形

成した。MIS-OLET 部は、約 $1.4 \times 1.4\ \text{mm}^2$ でソース電極幅 $10\ \mu\text{m}$ 、電荷規制層幅 $50\ \mu\text{m}$ ($\Delta = 20\ \mu\text{m}$)、 $100\ \mu\text{m} \times 1.4\ \text{mm}$ の開口部が 1 画素に 10 箇所形成されている。各層の構成はゲート電極 ITO(100 nm)/ゲート絶縁膜 TMR-P10(300 nm)/ソース電極 Au(30 nm)/有機半導体層ペンタセン・CuPc 積層膜 (50nm/40nm)/ホール輸送層 α -NPD(50 nm)/発光層 CBP:8wt%-Ir(ppy)₃(20nm)/ホールブロック層 BCP(10 nm)/電子輸送層 Alq₃(30nm)/電子注入層 LiF(1nm)/ドレイン電極 Al(100nm)とした。なお、プロセス数削減のため、ゲート絶縁膜とソース電極はスイッチングトランジスタと MIS-OLET 部で同時に形成されるように設計されている。また MIS-OLET の電荷規制層作製時にスイッチングトランジスタ上にレジスト膜が製膜されるため、あえてレジスト膜をそのまま残し、スイッチングトランジスタの保護膜としている。

マトリクスと同一基板上に作製されたスイッチングトランジスタと同サイズの TFT の保護膜作製前と保護膜作製後の特性を図7に示す。保護膜作製前は移動度 $\mu_h = 0.14\ \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、閾値電圧 $V_{th} = -9\ \text{V}$ 、On/Off 比 $> 10^4$ であったのに対し、保護膜作製後は $\mu_h = 0.05\ \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、 $V_{th} = -5\ \text{V}$ 、On/Off 比 $> 10^4$ と On/

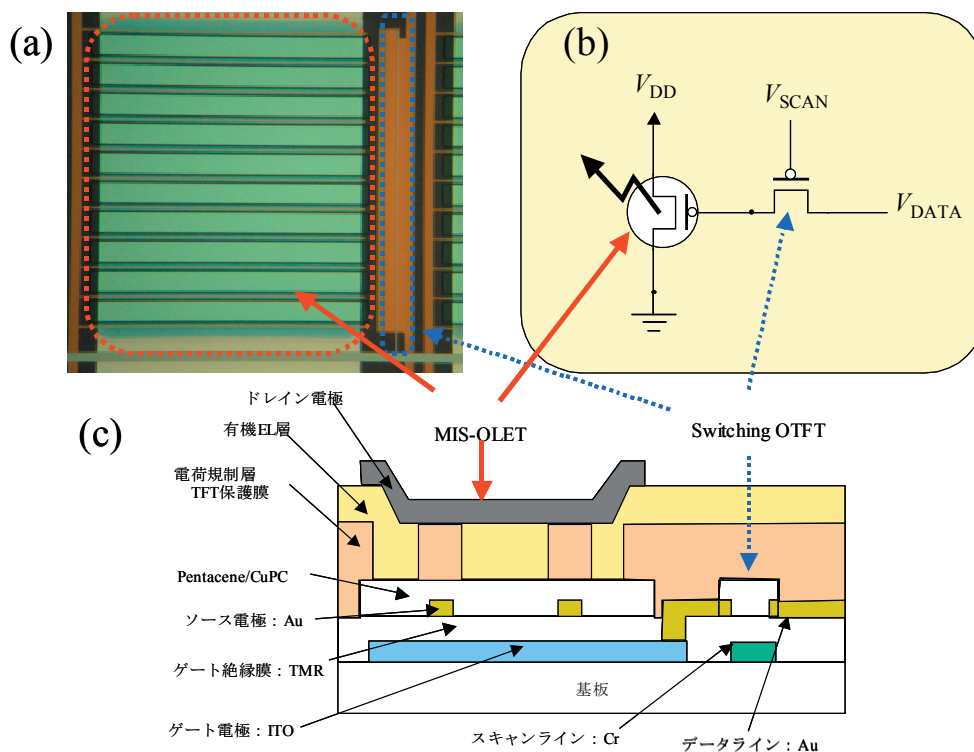


図6 16×16 ドットマトリクスの一画素の (a) 写真と (b) 等価回路、(c) 断面図

Fig.6 The pixel in 16×16 AMOLET display: (a) Photographs, (b) circuit schematic, and (c) schematic view of deformed pixel.

Off 比は維持したまま移動度が 6 割以上減少し、閾値電圧も + 側にシフトすることが確認されている。同じように同一基板上に作製された MIS-OLET 素子はドレイン電圧 $V_D = -20V$ 時の最大ドレイン電流、最大輝度がそれぞれ $I_D = -0.15 \text{ mA}$, $L = 1034 \text{ cd/m}^2$, Off 時には、 $I_D = -14 \text{ nA}$, 輝度は測定装置の測定限界 (0.01 cd/m^2) 以下とドレイン電流、輝度ともに On/Off 比 10^4 以上であった。ガラス基板上に作製されたマトリクスは駆動電圧 $-12V$, 走査線電圧: $+15 \sim -40V$, データ線電圧: $+15 \sim -40V$, フレーム周波数 60 Hz , デューティ比 $1/32$ で駆動したところ、 400 cd/m^2 程度の輝度が得られ、発光特性も 1 フレーム間発光を保持し続

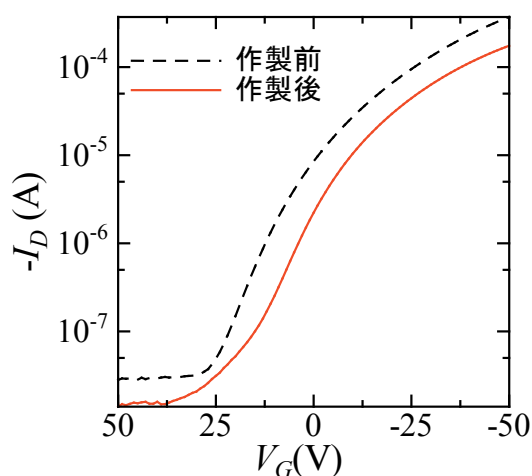


図7 保護膜 (電荷規制層) 作製前後の有機 TFT の伝達特性

Fig.7 Difference of transfer characteristics in OTFT: before (dash line) and after passivation (solid line).

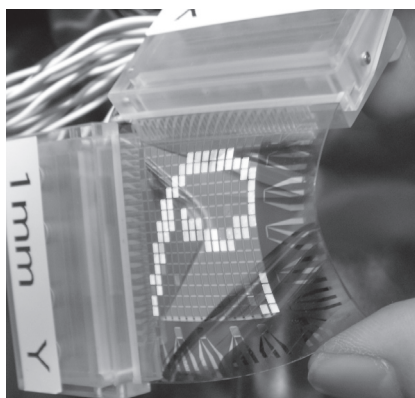


図8 フィルム基板上に作成した 16×16 ドットマトリクスの写真

Fig.8 AMOLED display on a PES substrate showing character "N"

けていた。

またポリエーテルサルホン樹脂 (PES) 基板を用いて同構造でパネルを作製することにも成功し、ガラスと同じ駆動条件でパネル輝度 50 cd/m^2 程度ながら動画表示が可能で、かつ曲げても動画表示が可能であることを実証した (図8)。

5. まとめ

MIS-OLET の性能向上のため、On/Off 比の向上を目的として構造の最適化を行った。Off 電流の低減させるセパレート構造を導入した結果、Off 時のドレイン電流と輝度が大幅に低減され、ともに 10^4 程度の On/Off 比を得ることに成功した。さらに MIS-OLET の発光層に燐光材料を導入することにより、 1000 cd/m^2 以上の輝度を得ることに成功した。

また、MIS-OLET 素子を用いて、ガラス基板上とプラスチック基板上に 16×16 画素のマトリクスパネルを作製しアクティブ駆動を実現した。

本研究は、財) 光産業技術振興協会が NEDO から受託したプロジェクト「高効率有機デバイスの開発事業」に関するものである。

6. 謝辞

本成果を得るためにプロジェクト参加企業の方々をはじめ、多くの方々との有益なディスカッションをしていただきましたことをこの場をお借りして深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1)H. Kageyama, H. Akimoto, N. Kasai, N. Tokuda, K. Kajiyama, N. Nakamura, T. Sato, SID Int. Symp. Digest Tech. Papers 37, 1455 (2006).
- (2)T. Hasumi, S. Takasugi, K. Kanoh, Y. Kobayashi, SID Int. Symp. Digest Tech. Papers 37, 1547 (2006).
- (3)T. Chuman, S. Ohta, S. Miyaguchi, H. Satoh, T. Tanabe, Y. Okuda, and M. Tsuchida, SID Int. Symp. Digest Tech. Papers 35, 45 (2004).
- (4)Chung-Kun Song and Gi-Song Ryu, Proc. SPIE 5632, 25 (2005).
- (5)Wei Wang, Jiawei Shi, Shuxu Guo, Hongmei Zhang, Mingda Liu, Baofu Quan, and DongGe Ma, Semicond. Sci. Technol. 21, 295 (2006).
- (6)M. C. Suh, J. H. Jeong, T. Ahn, J-S. Park, S. Y. Kim, Y-J. Kim, T. J. Kim, H. J. Lee, S. M. Lee, Y. W. Park, Y-G. Mo, and H-K. Chung, B. W. Koo, S-Y. Kim, and S. Y. Lee, SID

- Int. Symp. Digest Tech. Papers 37 116 (2006).
- (7)Lisong Zhou, Alfred Wanga, Sheng-Chu Wu, Jie Sun, Sungkyu Park, and Thomas N. Jackson, Appl. Phys. Lett. 88, 083502 (2006).
- (8)J. Z. Wang, J. Gu, F. Zenhausern, and H. Sirringhaus, Appl. Phys. Lett. 88, 133502 (2006).
- (9)D. R. Hines, V. W. Ballarotto, E. D. Williams, Y. Shao, and S.A. Solin, J. Appl. Phys. 101, 024503 (2007).
- (10)P. Cosseddu and A. Bonfiglio, Appl. Phys. Lett. 88, 023506 (2006).
- (11)K. Nakamura, T. Hata, A. Yoshizawa, K. Obata, H. Endo, and K. Kudo, Appl. Phys. Lett. 89, 103525 (2005).
- (12)Shin-Ya Fujimoto, Ken-Ichi Nakayama, and Masaaki Yokoyama, Appl. Phys. Lett. 87, 133503 (2006).
- (13)Liping Ma and Yang Yang, Appl. Phys. Lett. 85, 5084 (2004).
- (14)N. Stutzmann, R. H. Friend, and H. Sirringhaus, Science 299, 1881 (2003).
- (15)M. S. Meruvia and I. A. Hummelgen, Adv. Funct. Mater. 16, 459 (2006).
- (16)Aline Hepp, Holger Heil, Wieland Weise, Marcus Ahles, Roland Schmechel, and Heinz von Seggern, Phys. Rev. Lett. 91, 157406 (2003).
- (17)Takahito Oyamada and Hiroyuki Sasabe, Yoshiaki Oku, Noriyuki Shimoji, Chihaya Adachi, App. Phys. Lett. 88, 093514 (2006).
- (18)Fabio Cicoira, Clara Santato, Manuela Melucci, Laura Favaretto, Massimo Gazzano, Michele Muccini, and Giovanna Barbarella, Adv. Mater. 18, 169 (2006).
- (19)Franco Dinelli, Raffaella Capelli, Maria A. Loi, Mauro Murgia, Michele Muccini, Antonio Facchetti, and Tobin J. Marks, Adv. Mater. 18, 1416(2006).
- (20)J. Zaumseil, R. H. Friend, and H. Sirringhaus, Nat. Mater. 5, 69 (2006).
- (21)J. S. Swensen, C. Soci, and A. J. Heeger, Appl. Phys. Lett. 87, 253511 (2005).
- (22)Kazuhiro Kudo, Curr. Appl. Phys. 5, 337 (2005).
- (23)S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices 2nd Edition Wiley, New York 1981.
- (24)D. J. Gundlach, T. N. Jackson, D. G. Schlom, and S. F. Nelson, Appl. Phys. Lett. 74, 3302 (1999).
- (25)Tommie W. Kelley, Paul F. Baude, Chris Gerlach, David E.

Ender, Dawn Muyres, Michael A. Haase, Dennis E. Vogel, and Steven D. Theiss, Chem. Mater. 16, 4413 (2004).

- (26)Y. Qiu, Y. Hu, G. Dong, L. Wang, J. Xie, and Y. Ma, Appl. Phys. Lett. 83, 1644 (2003).
- (27)R. Ye, M. Baba, K. Suzuki, Y. Ohishi, and K. Mori, Thin Solid Films 464, 437 (2004).
- (28)D. B. A. Rep, A. F. Morpurgo, W. G. Sloof, and T. M. Klapwijk, J. Appl. Phys. 93, 2082 (2003).

著者紹介

中村 健二 (なかむら けんじ)

技術開発本部 総合研究所 デバイス研究センター 表示デバイス研究部。主な略歴：有機 EL ディスプレイの研究開発，有機半導体の研究を経て，国家プロジェクト「高効率有機デバイスの研究」に参加。現在，有機 TFT の研究に従事。

秦 拓也 (はた たくや)

技術開発本部 総合研究所 デバイス研究センター 表示デバイス研究部。主な略歴：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，有機半導体の研究を経て，国家プロジェクト「高効率有機デバイスの研究」に参加。現在，有機 TFT 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 デバイス研究センター 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有機半導体の研究，国家プロジェクト「高効率有機デバイスの研究」を兼任。現在，有機 TFT の研究に従事。

小幡 勝也 (おばた かつなり)

大日本印刷株式会社 研究開発センター FD プロジェクト

遠藤 浩幸 (えんどう ひろゆき)

日本電気株式会社 ナノエレクトロニクス研究所 新概念デバイス T G

工藤 一浩 (くどう かずひろ)

千葉大学大学院 工学研究科 教授