

軽くて薄いシートディスプレイを実現する酸化物半導体 TFT

Thin-Film Transistor Using Oxide Semiconductor for Realization of Thin and Lightweight Sheet Display

三浦 健太郎

上田 知正

山口 一

■ MIURA Kentaro

■ UEDA Tomomasa

■ YAMAGUCHI Hajime

紙のように軽くて薄いシートディスプレイは、タブレット端末などモバイル機器のいっそうの軽量・薄型化や、ポスターのように壁に貼れてインテリアに溶け込むテレビの実現など、ディスプレイの利用シーンを大きく変える可能性がある。シートディスプレイの実用化には、プラスチック基板上の薄膜トランジスタ (TFT) の駆動能力と駆動安定性の確保が必須となる。

東芝は、液晶テレビで用いられるアモルファスシリコン TFT の 10 倍以上の高い駆動能力と駆動安定性を持ち、プラスチック基板上に 200 °C の低温プロセスで形成できる酸化物半導体 TFT を開発した。この TFT を用い、ゲートドライバ回路を同時形成した、IC 部を除くパネル部の質量 1 g、厚さ 0.1 mm の 3 型有機 EL (Electroluminescence) シートディスプレイを製作し、正常に動作することを検証した。

Thin and lightweight sheet displays similar to paper will create dramatic changes in the usage of displays, leading to the realization of thinner and lighter mobile devices, wall-hung TVs that blend into interiors like posters, and so on. The driving capability and stability of thin-film transistors (TFTs) on a plastic substrate are becoming increasingly critical for achieving practical use of sheet displays.

As a solution to this issue, Toshiba has developed an amorphous oxide semiconductor for TFTs processed on a transparent plastic substrate at 200°C. The driving capability and stability of the TFT are more than 10 times higher than those of amorphous silicon (a-Si) TFTs that are commonly used for liquid crystal display (LCD) TVs. We have developed a 3-inch prototype organic light-emitting diode (OLED) sheet display with simultaneously formed integrated gate driver circuits of 1 g in weight and 0.1 mm in thickness except for the driver circuits, and confirmed its practicality.

1 まえがき

プラスチック基板を用いたシートディスプレイには、紙のように軽くて薄く、更に割れにくいといった特長がある。そのため、ディスプレイ自体の軽量化だけでなく、割れやすいガラス基板を用いた場合に必要なディスプレイ保護部材を簡略化できる。これにより、スマートフォンやタブレット端末をはじめとするモバイル機器をよりいっそう軽く、薄くでき、新聞や雑誌のように気軽に持って使うことができるようになる。更に、工事を必要とせず、ピンやマグネットで貼れるポスターのようなテレビや、普段は壁やインテリアに溶け込むようなテレビといった新しい応用も期待できる。

シートディスプレイの表示方式としては、バックライトが不要な自発光型あるいは反射型が望ましい。液晶ディスプレイ (LCD) で必要とされるバックライトは、シートディスプレイの軽量で薄型という特長を損なうためである。テレビへの応用も考える場合、明るいフルカラーの動画表示が求められるため、候補は自発光型に絞られる。自発光型としては、プラズマディスプレイ (PDP)、電界放出ディスプレイ (FED)、有機 EL (Electroluminescence)、及び無機 EL を挙げることができる。この中で、非真空プロセスと低消費電力の観点から、有機 EL がシートディスプレイにもっとも適した表示方式と考えられる。

東芝は、高い駆動能力と駆動安定性を持ち、プラスチック基板上に低温プロセスで形成できる酸化物半導体 TFT (薄膜トランジスタ) を開発した。ここでは、この TFT の課題、形成方法、及び特性と、この TFT で駆動した有機 EL シートディスプレイの動作検証について述べる。

2 シートディスプレイ用の TFT

シートディスプレイを実現するために大きな課題となるのは、プラスチック基板上への高性能な TFT の形成である。特に、有機 EL は電流駆動となるため、LCD と比べより高い駆動能力と駆動安定性が TFT に求められる。

有機 EL シートディスプレイ用 TFT の要求仕様とチャネル材料候補を表 1 に示す。発光に必要な電流を供給するために、移動度として $10 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 以上が必要である。焼付きなどの画質劣化を補償回路なしで防ぐために、駆動安定性として、ストレス試験前後でのしきい値電圧 V_{th} シフト 0.1 V 以下が求められる。ストレスの条件は、ゲート電圧 V_g が 20 V、温度が 70 °C、時間が 2,000 秒である。更に、プラスチック基板は、ガラス基板と比べて耐熱温度が低いため、200 °C 以下での TFT 形成が必要とされる。また、大型化や工程数の削減も考慮すべき点である。

表 1. 有機ELシートディスプレイ用TFTの要求仕様とチャンネル材料候補の比較

Required specifications of TFTs for OLED sheet displays and comparison of candidate channel materials

項目	要求仕様	TFTのチャンネル材料		
		IGZO	a-Si	poly-Si
移動度	10 cm ² /(V·s)以上	○	×	○
駆動安定性(しきい値電圧変動)	0.1 V以下	○	×	○
低温形成	200℃以下	△	△	×
大型化	G6基板以上	○	○	△
工程数(コスト)	—	○	○	×

○ 適している △ 詳細検討が必要 × 適さない

一方、TFTのチャンネル材料としては、大型テレビ用LCDなどに広く用いられているアモルファスシリコン(a-Si)、小型高精細LCDや有機ELディスプレイに用いられている低温ポリシリコン(poly-Si)がある。そして、大型テレビや有機ELディスプレイ用の新規チャンネル材料として注目を集めている酸化半導体IGZO(InGaZnO)が候補に挙げられる。IGZOは、酸化インジウム(In₂O₃)、酸化ガリウム(Ga₂O₃)、及び酸化亜鉛(ZnO)から成る複合酸化物の半導体である。

a-Si TFTは、移動度と駆動安定性が低いため有機ELには適さない。また低温poly-Si TFTは、移動度と駆動安定性は高いが、400℃を超える高いプロセス温度が必要なためプラスチック基板上に直接形成するのは困難である。IGZO TFTは、低温で形成したアモルファス状態でも比較的高い移動度(～10 cm²/(V·s))を示す⁽¹⁾。更に、ガラス基板上に320℃で形成したIGZO TFTは、優れた駆動安定性と均一性を示し⁽²⁾、大型基板への形成例も報告されている⁽³⁾。有機ELシートディスプレイ用のTFTチャンネル材料として、IGZOは有望な候補と考えられる。課題は、低温で形成したIGZO TFTにおいて、有機ELの要求仕様を満たす高い駆動安定性を確保することにある。

3 プラスチック基板上へのIGZO TFT形成方法

プラスチック基板の耐熱温度は、ガラス基板と比べて低い。表1に示したように200℃以下の低温プロセスが必要になる。一般に、プロセスの低温化とTFTの高性能化はトレードオフの関係にある。当社は、ガラス基板上に形成したIGZO TFTで得られた知見⁽²⁾をもとに、プラスチック基板上に200℃プロセスで、駆動能力及び駆動安定性に優れた高性能IGZO TFTを形成する技術を開発した。

また、薄いプラスチック基板は柔らかく変形しやすいため、TFT形成プロセス時に基板の支持が必要になる。支持の方法には、プラスチック基板を支持用基板に貼り付ける方法と、ロールtoロール方式によりフィルムの両側を引っ張ることで支持する方法の二つが考えられる。当社は、現行の量産装置での基板の搬送及び固定が行えるように、支持用基板としてガ

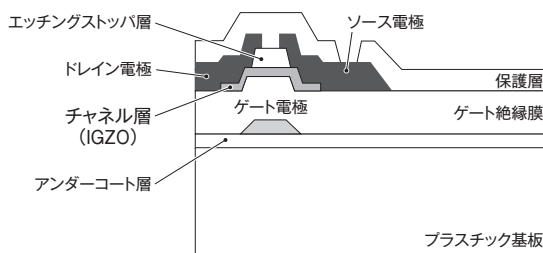


図1. プラスチック基板上に形成したIGZO TFTの断面模式図 — チャンネルとなるIGZOの上部に、エッチングストップ層を形成したボトムゲート構造である。

Cross-sectional structure of InGaZnO (IGZO) TFT on plastic substrate

ラスに貼り付ける方式を採用した。

プラスチック基板上に形成したIGZO TFTの断面模式図を図1に示す。チャンネルとなるIGZOの上部にエッチングストップ層を形成したボトムゲート構造のTFTである。IGZOは、アルゴン(Ar)と酸素(O₂)の混合ガス雰囲気下において、直流スパッタリング法で成膜した。当社は、320℃でガラス基板上に形成したIGZO TFTにおいて、IGZOの成膜条件とアニール条件がTFTの初期特性及び駆動安定性に大きな影響を与えることを確認している⁽²⁾。

これらの条件に着目して、プラスチック基板上に形成したIGZO TFTの駆動能力と駆動安定性の向上を検討した。

4 プラスチック基板上に形成したIGZO TFTの初期伝達特性と駆動安定性

200℃プロセスでプラスチック基板上に形成したIGZO TFTの初期伝達特性を図2に示す。4×4 mmの領域内に形成し

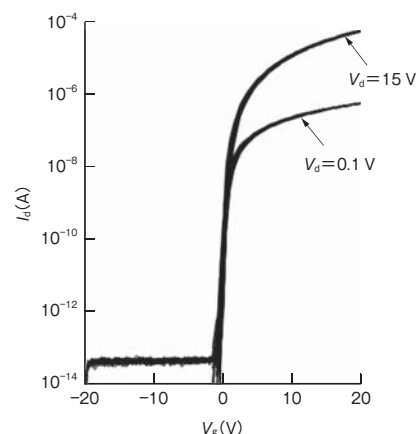
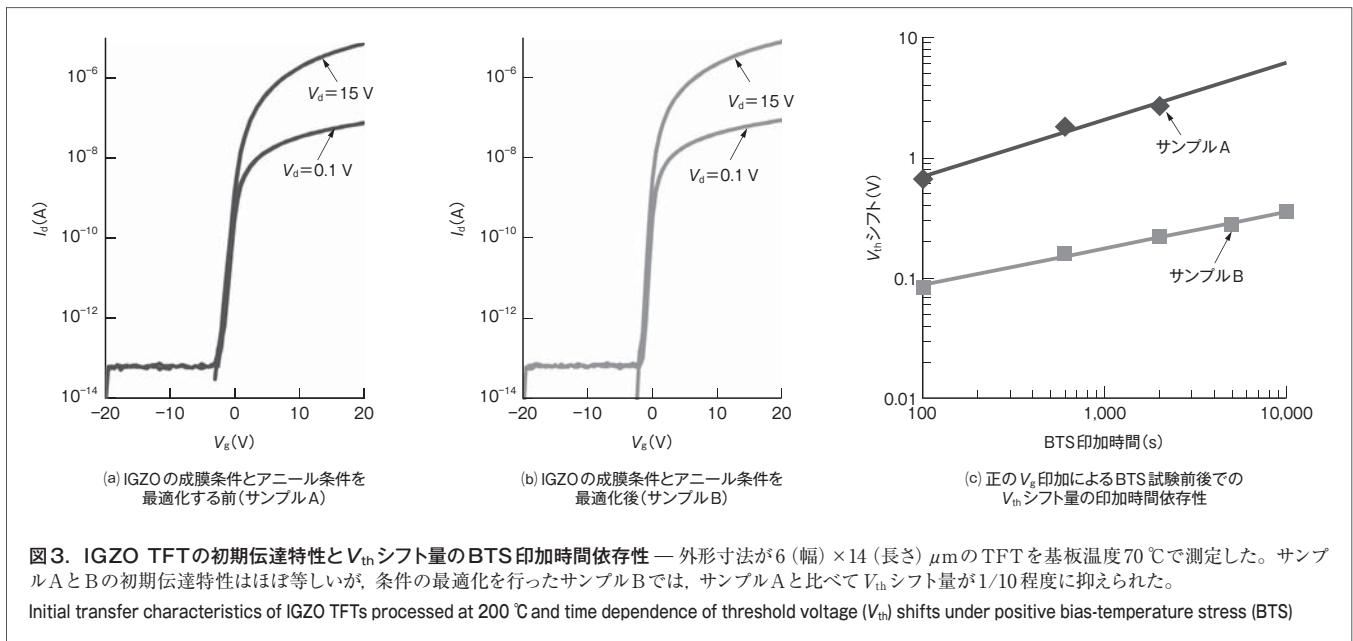


図2. 低温形成IGZO TFTの初期伝達特性 — 200℃プロセスで形成した外形寸法が20(幅)×13(長さ)μmのTFTを室温で測定した。ばらつきを評価するため、25個のTFT特性を重ねて表示している。移動度が11.6 cm²/(V·s)、V_{th}が+1.6 Vと良好なTFT特性が得られた。

Initial transfer characteristics of low-temperature-processed IGZO TFTs



た25個のTFT特性を重ねたものである。移動度が $11.6 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 、 V_{th} が+1.6 Vと良好なTFT特性が得られた。この移動度は、a-Si TFTの10倍以上であり、表1に示した有機ELの駆動能力条件を満たしている。更に、 $V_g = 0 \text{ V}$ でのドレイン電流 I_d が1 nA以下と小さく、ゲートドライバなどの回路動作に求められるノーマリーオフ特性も実現できている。また、ばらつきの小さい均一な特性が得られていることがわかる。

駆動安定性は、ストレス試験前後での V_{th} シフト量で評価した。シフト量が小さいほど安定性が高い。ここでは加速試験として、温度70℃、 $V_g = +20 \text{ V}$ あるいは -20 V 、ドレイン電圧 $V_d = 0 \text{ V}$ の条件でBTS (Bias-Temperature Stress) 試験を行った。駆動安定性の確保に向けて、IGZOの成膜条件とアニール条件を最適化する前 (サンプルA) と後 (サンプルB) のIGZO TFTの初期伝達特性をそれぞれ図3(a), (b)に示す。図3(c)は、正の V_g 印加によるBTS試験前後での V_{th} シフト量の印加時間依存性である。

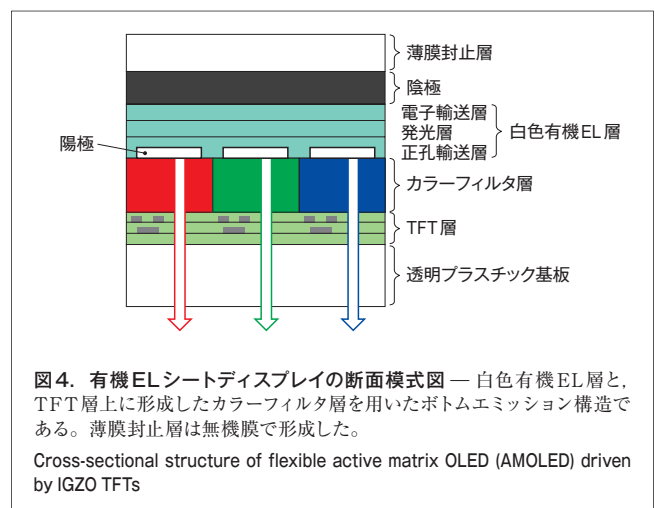
初期伝達特性がほぼ等しい二つのサンプルだが、最適化後のサンプルBでは、最適化前のサンプルAと比べて V_{th} シフト量が1/10程度に抑えられた。2,000秒で+0.22 Vと、a-Si TFTの1/10以下の値である。また、負の V_g 印加時の V_{th} シフトについても、サンプルBでは $V_g = -20 \text{ V}$ 、2,000秒で-0.24 Vと、a-Si TFTの1/10以下の値であった。このように、IGZOの成膜条件とアニール温度を最適化することにより、200℃プロセスでプラスチック基板上に形成したIGZO TFTで高い駆動安定性を得ることができた。

表1に示した有機ELシートディスプレイ用TFTの要求仕様を満たすためには、駆動安定性の更なる向上が必要である。当社は、 V_{th} シフト量のストレス印加時間及び温度に対する依存性などからTFTの劣化メカニズムの解析を進めている。こ

れまでの解析結果から、ガラス基板上に320℃で形成したTFTとプラスチック基板上に200℃で形成したTFTで、劣化メカニズムに大きな差はないと考えている。ガラス基板上の高温プロセス形成TFTと同様の手法により、プラスチック基板上の低温プロセス形成TFTの駆動安定性の向上を引き続き図っていく。

5 IGZO TFT駆動有機ELシートディスプレイの動作検証

200℃でプラスチック基板上に形成した高い駆動安定性を持つIGZO TFTを用いて、有機ELシートディスプレイを試作した。断面構造を図4に示す。大型化に有利なボトムエミッション構造の白色有機ELを採用し、赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の3色のカラーフィルタをTFT層と有機EL層との間に設けて



いる。カラーフィルタ上に透明の陽極、正孔輸送層、発光層、電子輸送層、陰極の順に蒸着法で形成し、その上に外部からの水と酸素を遮断するために無機膜を用いた薄膜封止を行った。最後に、支持用基板のガラスから透明プラスチック基板を剝離し、有機ELシートディスプレイを作製した。プロセス温度は、TFT工程も含めて最高200℃である。

試作した有機ELシートディスプレイの仕様を表2に、動作結果を図5に示す。均一な表示が実現できていることから、200℃でプラスチック基板上に形成したIGZO TFTアレイが

表2. 試作した有機ELシートディスプレイの仕様

Specifications of prototype AMOLED sheet display

項目	仕様
対角サイズ	3.0インチ (76.2mm)
画素数	160×120画素
画素サイズ	381×381 μm
画素構成	2トランジスタ+1キャパシタ
ゲートドライバ	内蔵 (120段)
有機EL構造	ボトムエミッション構造 白色有機EL+カラーフィルタ方式
開口率	40%

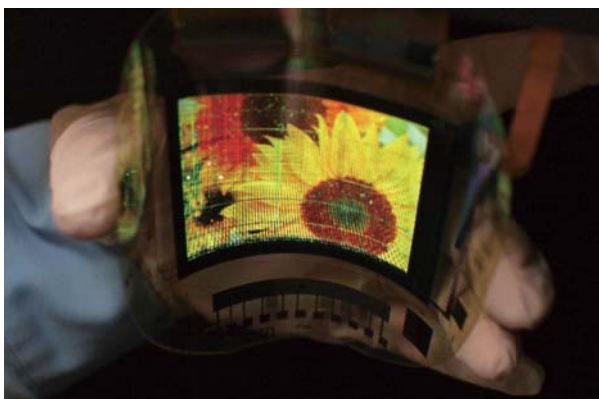


図5. IGZO TFTを用いた3型有機ELシートディスプレイー最大プロセス温度200℃で作製した試作品では、均一な表示が実現できている。曲げても表示可能であり、最小曲率半径は約1cmである。
3-inch AMOLED sheet display driven by IGZO TFTs

対角3型の表示領域内で均一な特性を示していることがわかる。また、画素駆動TFTとともに、プラスチック基板上にIGZO TFTを用いて同時形成したゲートドライバ回路が正常に動作していることも確認できた。

このシートディスプレイは、ICを除くパネル部が質量1g、厚さ0.1mmで、従来のガラス基板を用いたディスプレイ⁽²⁾と比較して、ともに10分の1以下を実現した。また、曲げることも可能で、曲率半径1cmでも表示上の異常は観察されなかった。

6 あとがき

当社は、a-Siと比べ10倍以上の高い駆動能力と駆動安定性を持ち、200℃の低温プロセスでプラスチック基板上に形成できる酸化物半導体IGZO TFTを開発した。更に、この高い駆動安定性を持つIGZO TFTアレイを用いて、ゲートドライバ回路を同時形成した3型有機ELシートディスプレイ(160×120画素)を試作し、正常に動作することを検証した。

今後は、超軽量モバイル端末やポスターのように壁に貼ることのできるテレビの実現に向けて、プラスチック基板上に形成したIGZO TFTの更なる駆動安定性向上を図るとともに、シートディスプレイの製造と大型化へ向けた開発を進める。

文献

- (1) Nomura, K. et al. Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors. *Nature*, **432**, 2004, p.488 - 492.
- (2) Saito, N. et al. "Amorphous In-Ga-Zn-Oxide TFTs with High Stability against Bias Temperature Stress". *Proceedings of 17th International Display Workshops*. Fukuoka, Japan, 2010-12, ITE and SID. 2010, p.1855 - 1858.
- (3) Lu, H. et al. 32-inch LCD Panel Using Amorphous Indium-Gallium-Zinc-Oxide TFTs. *SID International Symposium Digest of Technical Papers*, **41**, 2010, p.1136 - 1138.



三浦 健太郎 MIURA Kentaro

研究開発センター 表示基盤技術ラボラトリー。
ディスプレイの研究・開発に従事。SID会員。
Electronic Imaging Lab.



上田 知正 UEDA Tomomasa

研究開発センター 表示基盤技術ラボラトリー主任研究員。
ディスプレイの研究・開発に従事。
Electronic Imaging Lab.



山口 — YAMAGUCHI Hajime

研究開発センター 表示基盤技術ラボラトリー主任研究員。
ディスプレイの研究・開発に従事。SID会員。
Electronic Imaging Lab.