

酸化物半導体 TFT を用いたシートディスプレイ

OLED Sheet Display Driven by Oxide Semiconductor Thin-Film Transistors

齊藤 信美

坂野 竜則

山口 一

■ SAITO Nobuyoshi

■ SAKANO Tatsunori

■ YAMAGUCHI Hajime

紙のような軽さ、薄さ、柔軟性を持ったディスプレイ（以下、シートディスプレイと呼ぶ）を実現するには、ディスプレイの基板をガラスからプラスチックのような割れにくい材質に替える必要がある。しかし、プラスチック基板はガラス基板に比べて耐熱性が低いため、各画素の表示を行う薄膜トランジスタ（TFT）を従来より低温で作製する必要がある。

東芝は、低温で形成しても高い電子移動度を示す酸化物半導体 InGaZnO^(注1) を使用し、水素の挙動に着目して InGaZnO 膜質を改善することで、プラスチック基板上にガラス基板上の場合と同等の駆動信頼性を持つ TFT を実現した。更にこの技術を用いて、世界最大クラスとなる 11.7 型有機 EL (Electroluminescence) シートディスプレイの試作に成功した。

In order to realize a sheet display with ultrathinness, light weight, and flexibility like that of paper, the glass substrate of display panels must be replaced by a material that is not easily broken such as a plastic substrate. However, it is difficult to achieve thin-film transistors (TFTs) with high mobility and stability on a plastic substrate because plastic films are generally less durable under high temperature than glass substrates.

To solve this issue, Toshiba has developed an indium gallium zinc oxide (InGaZnO) TFT with high mobility on a plastic substrate, whose stability is almost equal to that of an InGaZnO TFT fabricated on a glass substrate. This was realized by improving the quality of low-temperature-formed films. Using this technology, we have succeeded in fabricating an 11.7-inch organic light-emitting diode (OLED) sheet display.

1 まえがき

一般にディスプレイは基板にガラスを用いているため、割れ防止のために頑強な保護部材が必要になり、電子機器の厚さや質量を増加させている。ディスプレイ用基板をガラスからプラスチックに替えることで保護部材を簡素化し、紙のように軽くて薄くて柔らかいといった特長を持つシートディスプレイを実現できる可能性がある。シートディスプレイは、スマートフォンやタブレットなどの薄型化や軽量化だけでなく、ポスターのように壁に貼れるテレビの実現など、現在の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“軽、薄、柔”の特長を生かすには、表示方式はバックライトが必要な液晶ディスプレイ (LCD) よりも、有機 EL ディスプレイが好ましいと考えられる。LCD や有機 EL ディスプレイでは、基板上に TFT をマトリックス状に形成し、画素ごとに表示素子を駆動する。LCD では TFT を信号電圧の読み込みスイッチとして 2 値で動作させるのに対して、有機 EL ディスプレイでは電流量を多値で制御するため、TFT にはより高い駆動能力（電子移動度）と連続駆動での特性の安定性（駆動信頼性）が要求される。更に、プラスチック基板はガラス基板よりも耐熱性が低いため、TFT を従来よりも低

い温度で形成する必要がある。

一般に低温で形成した膜ほど欠陥を多く含むため、TFT の電子移動度や駆動信頼性が低下するという課題が生じる。国立大学法人 東京工業大学の細野秀雄教授らは、酸化物半導体 InGaZnO は室温で作製しても有機 EL シートディスプレイ用 TFT の駆動に求められる電子移動度である $10 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 以上の値を示す、という特長を持つことを 2004 年に発表した⁽¹⁾。この発表以降、次世代 TFT 材料としてディスプレイパネルメーカーを中心に活発な開発が進められ、国内のパネルメーカーから、ガラス基板上に形成された InGaZnO TFT を用いた高精細 LCD が 2012 年に製品化された。しかし、InGaZnO TFT の駆動信頼性を確保するには 400°C 程度でのアニールが必要であり、耐熱性の低いプラスチック基板上に形成された InGaZnO TFT で高い駆動信頼性を達成するのは困難であった。

東芝は、シートディスプレイの実現に向けて InGaZnO TFT の開発を進めており、今回 InGaZnO TFT 中の水素の挙動に着目して低温で形成する際の InGaZnO 膜質を改善した⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。その結果、プラスチック基板上に、ガラス基板上と同等の高い駆動信頼性を備えた InGaZnO TFT を形成することに成功した。更にこの技術を用いて、大型ガラス基板 ($550 \times 670 \text{ mm}$) 対応の TFT 量産ラインを用いてプラスチック基板上に InGaZnO TFT アレイを試作し、世界最大クラスとなる

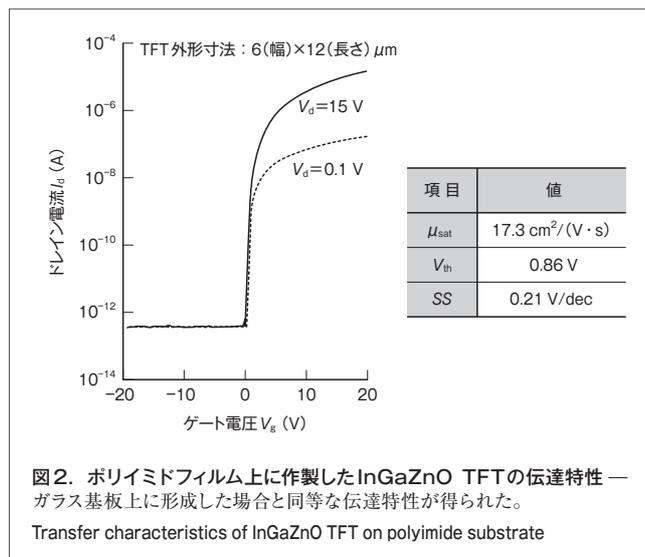
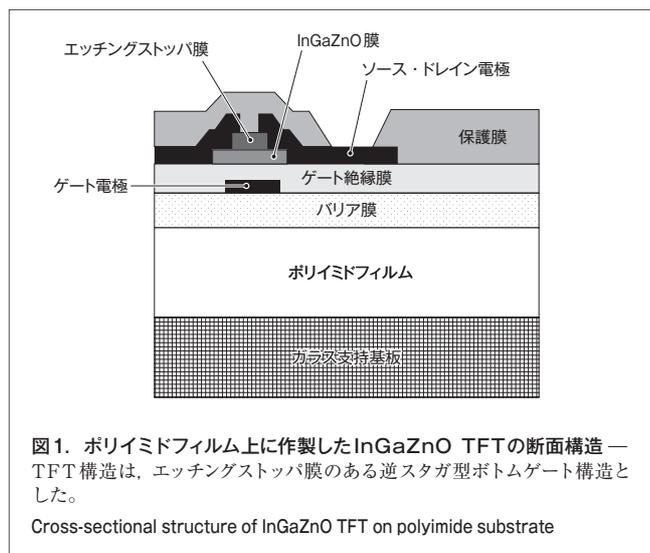
(注1) 酸化インジウム (In_2O_3)、酸化ガリウム (Ga_2O_3)、及び酸化亜鉛 (ZnO) から成る複合酸化物の半導体。

11.7型有機ELシートディスプレイの動作を確認した。

ここでは、当社が開発したプラスチック基板上への高い駆動信頼性を持つInGaZnO TFT作製技術と、試作した有機ELシートディスプレイの特性及び仕様について述べる。

2 プラスチック基板上へのInGaZnO TFTの作製

TFT作製工程でのプラスチック基板の伸縮を抑制するとともに、既存の大型ガラス基板用TFT量産ラインへの展開を容易にするため、ガラスを支持基板として利用し、その上にポリイミド樹脂を塗布することでプラスチックフィルム基板を形成した。5インチのポリイミドフィルム上に作製したInGaZnO TFTの構造を図1に示す。TFTは、エッチングストップ膜を持つ逆スタガ型ボトムゲート構造である。作製したInGaZnO TFTの典型的な伝達特性を図2に示す。飽和領域（ドレイン電圧 $V_d = 15\text{ V}$ ）において電子移動度 (μ_{sat}) $17.3\text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 、しきい値電圧 (V_{th}) 0.86 V 、サブスレシヨルド (SS) 値 0.21 V/dec (dec: decade) を示し、有機ELシートディスプレイの駆動に必要な電子移動度と良好なスイッチング特性が得られた。

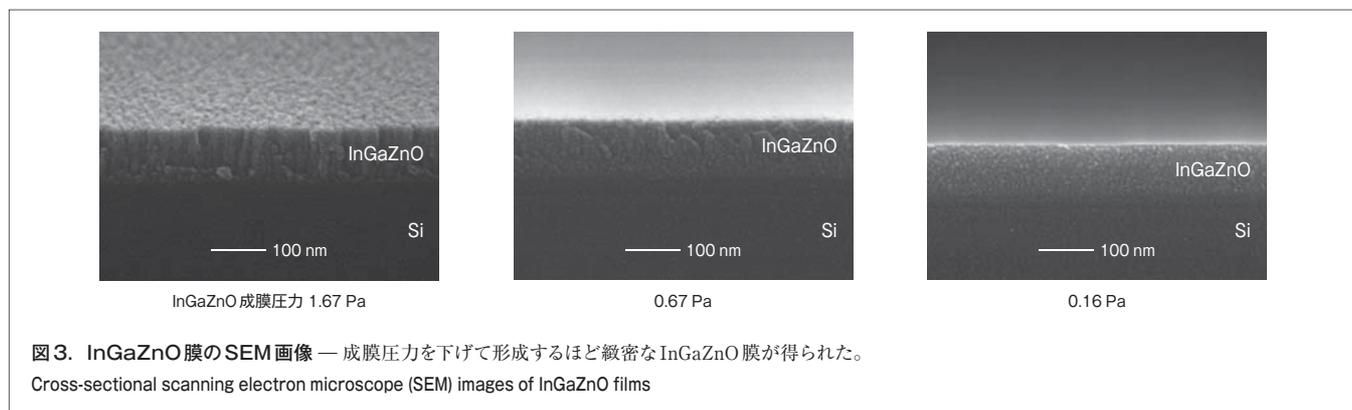


3 駆動信頼性の改善

有機ELシートディスプレイの要求仕様を満たす高い駆動信頼性を確保するには、欠陥の少ないInGaZnO膜を作製すること、及び残存する欠陥を不活性化することが必要になる。

当社は、InGaZnO膜の形成条件と膜質に着目した。シリコン (Si) 基板上に形成したInGaZnO膜の走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像を図3に示す。成膜圧力を下げて形成するほど、InGaZnO膜は緻密になって膜の密度が単結晶に近づき、欠陥の少ない膜になることが判明した。またアニール条件を検討した結果、アニール処理によってInGaZnO膜や、隣接するゲート絶縁膜及びエッチングストップ膜などの絶縁膜に含まれる水素が拡散し、InGaZnO膜中の欠陥を不活性化する働きがあることがわかった⁽⁵⁾ (図4)。

これらの知見に基づいて、5インチのポリイミドフィルム上でInGaZnO膜とエッチングストップ膜の成膜条件、及びアニール条件の最適化を行った。TFTの駆動信頼性の評価手法であるバイアス温度ストレス試験を行った結果を図5に示す。ストレス時間2,000秒において、試験前後での V_{th} 変動量が 30 mV



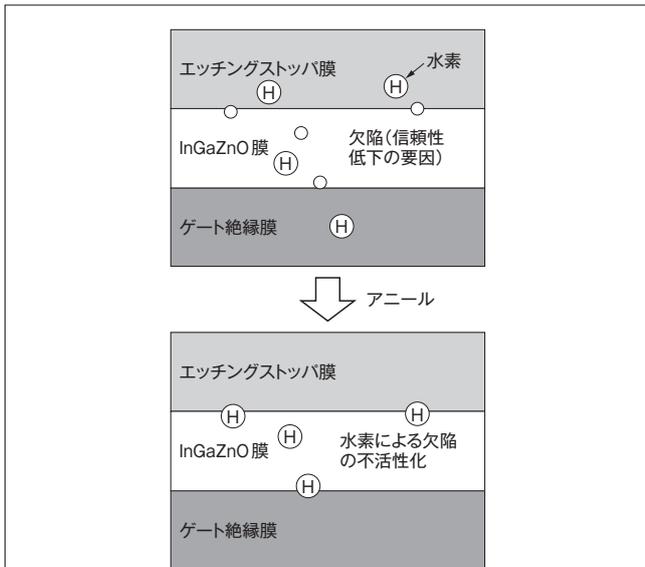


図4. 水素によるInGaZnO膜中の欠陥の不活性化 — InGaZnO膜や隣接する絶縁膜中に含有された水素は、アニールによって拡散し欠陥を不活性化する働きがある。

Hydrogen termination of defects in InGaZnO film

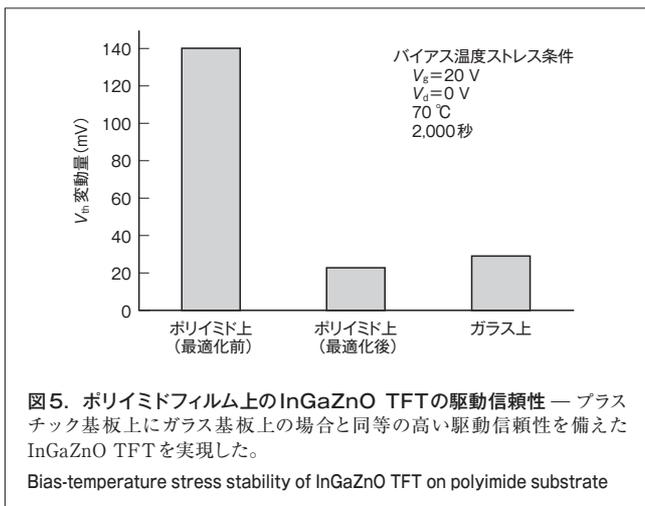


図5. ポリイミドフィルム上のInGaZnO TFTの駆動信頼性 — プラスチック基板上にガラス基板上の場合と同等の高い駆動信頼性を備えたInGaZnO TFTを実現した。

Bias-temperature stress stability of InGaZnO TFT on polyimide substrate

未満に抑制され、最適化前の約1/7に改善された。この値はガラス基板上に作製した場合とほぼ等しく、プラスチック基板上に高い駆動信頼性を備えたInGaZnO TFTを形成できた。

4 有機ELシートディスプレイの試作

プラスチック基板上へのInGaZnO TFTの作製技術を用いて、有機ELシートディスプレイの試作を行った。作製工程を図6に示す。有機EL層の発光を基板側に取り出すボトムエミッション構造のため、ポリイミドフィルムには可視光波長域で透明なものを用いた。

まず、ガラス支持基板 (550×670 mm) 上にポリイミド樹脂

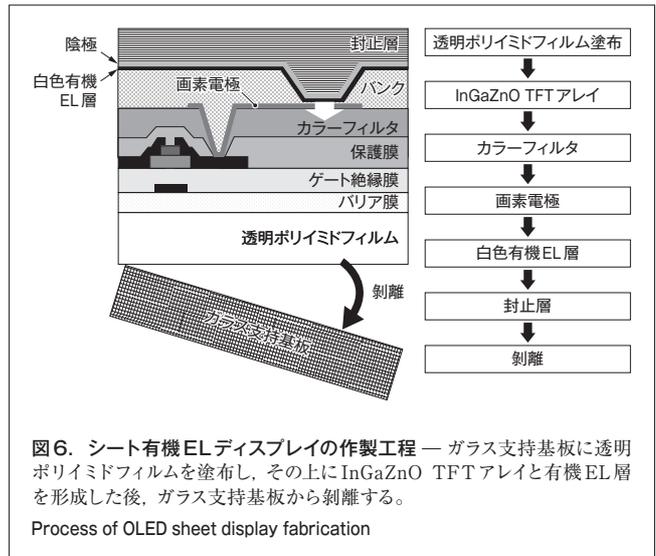


図6. シート有機ELディスプレイの作製工程 — ガラス支持基板に透明ポリイミドフィルムを塗布し、その上にInGaZnO TFTアレイと有機EL層を形成した後、ガラス支持基板から剥離する。

Process of OLED sheet display fabrication

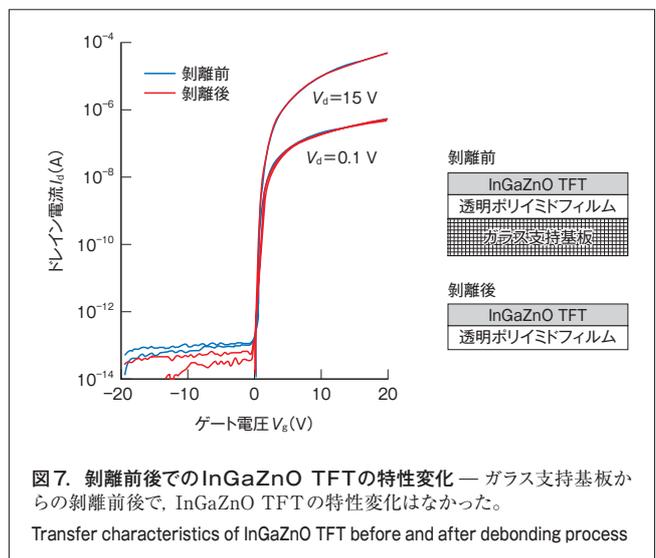


図7. 剥離前後でのInGaZnO TFTの特性変化 — ガラス支持基板からの剥離前後で、InGaZnO TFTの特性変化はなかった。

Transfer characteristics of InGaZnO TFT before and after debonding process

を塗布形成し、その上にInGaZnO TFTアレイを作製した。次に、RGB (赤、緑、青)のカラーフィルタを形成し、続いてカラーフィルタ上に画素電極を形成した。更に発光領域を規定するバンクを形成した後に、白色有機EL層、陰極、及び封止層を形成した。最後にガラス支持基板から剥離することで、有機ELシートディスプレイを得た。ガラス支持基板から剥離する前後でInGaZnO TFTの特性を評価した結果、特性変化がほとんどないことを確認した(図7)。

試作した11.7型有機ELシートディスプレイの外観を図8に、主な仕様を表1に、それぞれ示す。画素数は960×540画素、画素サイズ270×270 μm 、精細度94 ppi (Pixel per Inch)である。画素回路は二つのトランジスタと一つのキャパシタから構成され、開口率は42%である。有機EL構造はボトムエミッション構造であり、白色有機ELとRGBカラーフィルタによってフルカラー表示した。ドライバICや駆動回路基板を除



図8. 試作した11.7型シート有機ELディスプレイ—プラスチック基板上に作製したInGaZnO TFTアレイにより、世界最大クラスの有機ELシートディスプレイの駆動を行った。

11.7-inch prototype OLED sheet display driven by InGaZnO TFTs

表1. 11.7型有機ELシートディスプレイの仕様

Specifications of 11.7-inch OLED sheet display

項目	仕様
対角サイズ	11.7インチ (297.2 mm)
画素数	960×540画素
画素サイズ	270×270 μm
精細度	94 ppi
基板	透明ポリイミドフィルム
TFT	チャンネル材料 InGaZnO エッチングストッパ型ボトムゲート構造
画素回路	2トランジスタ + 1キャパシタ
有機EL構造	ボトムエミッション構造 白色有機EL + RGBカラーフィルタ
開口率	42 %
質量	約10 g*
厚さ	約0.1 mm*

*ドライバICや駆動回路基板を除く

いたディスプレイの厚さは約0.1 mm、質量は約10 gである。また、曲率半径10 mmで曲げた状態でも正常に表示できることを確認した。

5 あとがき

今回、低温で形成した酸化半導体InGaZnOの膜質を改善することで、有機ELシートディスプレイに適用できる高い駆動信頼性を持ったInGaZnO TFTを、プラスチック基板上に実現した。更に、既存の量産ラインを利用して、塗布形成したプラスチック基板上にInGaZnO TFTを試作し、世界最大クラスとなる11.7型有機ELシートディスプレイの駆動に成功した。

今後も当社は、InGaZnO TFTの信頼性や均一性を改善するとともに、紙のようなシートディスプレイの特長を生かして、軽量・薄型化だけでなく新しい価値を提供する端末の創出を目指して開発を進める。

謝辞

11.7型有機ELシートディスプレイのTFTアレイ試作にあたり、ご協力をいただいた(株)ジャパンディスプレイの平松雅人氏と石田有親氏に深く感謝いたします。

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) Yamaguchi, H. et al. 11.7-inch Flexible AMOLED Display Driven by a-IGZO TFTs on Plastic Substrate. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. **43**, 1, 2012, p.1002 - 1005.
- (3) Miura, M. et al. Low-Temperature-Processed IGZO TFTs for Flexible AMOLED with Integrated Gate Driver Circuits. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. **42**, 1, 2011, p.21 - 24.
- (4) Nakano, S. et al. Highly reliable a-IGZO TFTs on a plastic substrate for flexible AMOLED displays. *Journal of the Society for Information Display*. **20**, 9, 2012, p.493 - 498.
- (5) Saito, N. et al. "Amorphous In-Ga-Zn-O TFTs with High Stability against Bias Temperature Stress". *Proceedings of 17th International Display Workshops*. Fukuoka, Japan, 2012-12, ITE and SID. 2010, p.1855 - 1858.



齊藤 信美 SAITO Nobuyoshi

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



坂野 竜則 SAKANO Tatsunori, D.Eng.

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 一 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.