

酸化物半導体 In-Ga-Zn-O スパッタリングターゲットの開発

研究者：細野 秀雄 東京工業大学 応用セラミックス研究所 教授
開発企業：大井 滋 JX 日鉱日石金属株式会社 代表取締役社長
(推薦者：鈴木 章仁 JX 日鉱日石金属株式会社 電材加工事業本部
薄膜材料事業部 液晶・磁性担当ユニット長)



細野 秀雄氏



大井 滋氏

1. 技術の背景

現在、液晶ディスプレイの画素制御に用いられている薄膜トランジスタ (TFT) には水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) が主に使用されている。しかし、a-Si:H TFT では移動度が低い (電界効果移動度： $<1 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$) ためオン電流が稼げず、有機 EL のような電流駆動のデバイスの駆動素子として使用することはできない。また、a-Si 膜をレーザアニール処理によって結晶化させる低温ポリシリコン (LTPS) は、移動度が大きいことから高解像度小型液晶・有機 EL に使われているが、結晶粒界の電気特性のばらつきにより素子特性にも大きなばらつきが生じてしまう。そのため、有機 EL を駆動する際には輝度むらをなくすために、数個の TFT を各画素に形成する必要がある、パネル開口率が低下するという問題がある。

本技術は、従前には半導体材料として殆ど認識されていなかったアモルファス酸化物が、実は Si を凌駕する長所を持つという独自の視点に発する。アモルファス膜の状態でも $10 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ を超える移動度の TFT が作製でき、現時点で 65 型有機 EL テレビまで実用化されている

In Ga Zn O (以下 IGZO と表記)について、2メートル超の大型スパッタリングターゲットに関するものである。

2. 技術の概要

従来、アモルファス半導体では構造の乱れに起因する裾状態や欠陥の密度が非常に高いために、良い半導体デバイスができないというのが一般的な認識であった。実際、アモルファスカルコゲナイドなど数多くのアモルファス半導体が報告されてきたが、TFTとして動作した例は a-Si:H に限られていた。その場合でも結晶に比べるとその移動度は3桁も低下する。そのため、アモルファス半導体の TFT で結晶に匹敵する移動度を実現できるとは考えられていなかった。

一方、透明酸化物半導体(Transparent Oxide Semiconductor: TOS)の研究は SnO_2 、 ZnO 、 In_2O_3 などの結晶を中心に行われてきたが、これらの材料は大面積ガラス基板上で形成される多結晶膜では、酸素欠陥を容易に生成し、デバイスの特性制御、安定性確保が難しい。実用に耐える半導体デバイスを作製するためには、キャリア濃度を適正な範囲で安定させること、必要とされる以上の移動度を有すること、2メートル超のガラス基板へ均質なデバイスを高速で作製できる必要がある。

研究者らは、 In_2O_3 - ZnO - Ga_2O_3 三元系酸化物において、必要とされる高移動度を持ち、キャリア濃度制御性・安定性を示し、かつ、均質なデバイスを形成可能な組成の探索を行った。当時、 In_2O_3 - ZnO 系酸化物が $40\text{cm}^2/(\text{Vs})$ 程度の高い移動度を有し、アモルファス膜を形成することは知られていたが、TFT の必要条件の1つである低いキャリア濃度を安定して制御できるとは考えられていなかった。研究者らは Ga_2O_3 自体も透明導電膜として電子伝導性を示す一方で、高濃度のキャリアドーピングが困難であることから、 In_2O_3 - ZnO - Ga_2O_3 三元系酸化物に着目した。その結果、In-Ga-Zn-O 組成を持つアモルファス酸化物半導体を活性層に用いることで、 $10\text{cm}^2/(\text{Vs})$ 程度の電界効果移動度をもつ TFT を室温プロセスのみで作製できることを世界で初めて報告した。

図1は、その透明フレキシブル TFT シートの写真である。これは、アモルファス半導体であっても、適切な材料設計指針に従って物質系を選択すれば、大きな移動度を実現することが可能であることを実証したものである。

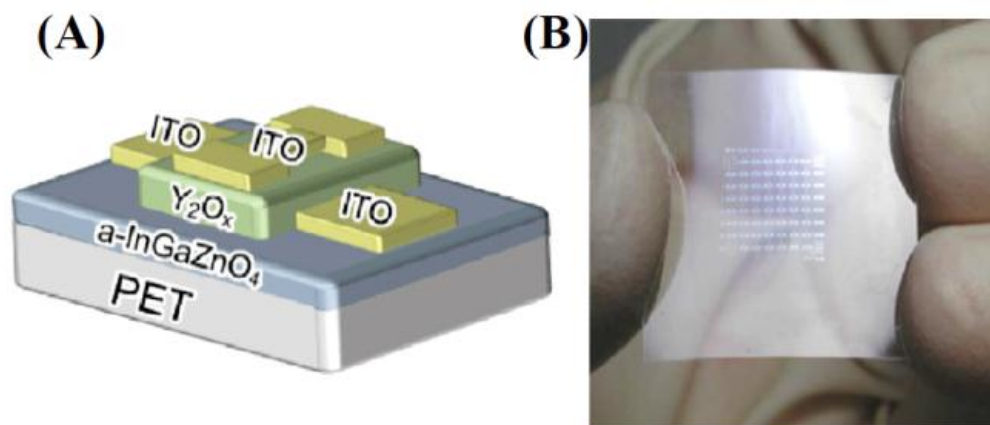


図1 a-IGZOをチャンネル層に、ITOを電極に用いた
透明フレキシブルTFT
(A: デバイス構造 B: TFTシート)

IGZOは、すでにTFTに用いられているITO ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$) と似た特徴をもつことから、同様にスパッタリング法による大面積薄膜の製造が可能である。そのため、半導体層の作製のみをIGZO用スパッタリング装置に置き換えることで、既存のa-Si:H TFTの製造ラインを転用できるなど、現有技術との親和性が高い。IGZOのスパッタリング技術を確認するためには、均質、高密度で不純物相がなく安定に長時間のスパッタリングが可能な大型のターゲット材料の開発、製造が不可欠となる。

開発企業では、焼結条件、機械加工条件など大型IGZOターゲット製造に必要な生産技術の開発に成功し、2010年に第8.5世代基板(基板サイズ 2,200mm×2,500mm)用の大型スパッタリングターゲット(長さ約 2,700mm)を一般に公開した(写真1)。また、製造条件を最適化することで組成の均一性、強度等の材料特性の安定化も達成した。この結果、面内の組成ばらつきが無くなり、ターゲットの使用初期から終了時にわたり、大型基板に特性の均一な膜を得ることが可能となった。また、成膜時におけるパーティクル発生が抑制されたことで、欠陥の少ない良好な膜を得ることが可能となり、パネルメーカーの生産性が向上した。

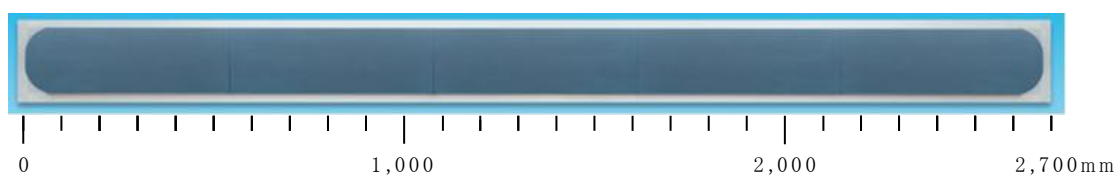


写真1 第8.5世代基板用IGZOターゲット

3. 効果

研究者らが透明アモルファス酸化物半導体（Transparent Amorphous Oxide Semiconductor: TAOS）の探索、設計を独自に行い、IGZOをチャンネル層に用いた透明TFTを作製、動作実証して以降、国内外のパネルメーカーが実用化に向けた取り組みを開始した。2012年からスマートフォン、タブレット端末への搭載が始まっており、超高精細小型液晶パネルや大型有機ELテレビなどにも実用化されている（表1）。

表1 TFTチャンネル用の代表的な半導体の比較

TFT半導体材料	IGZO	a-Si:H	LTPS
電子移動度 (cm^2/Vs)	10~50	<1	50~100
最大量産ライン	第8.5世代	第10世代	第6世代
基板サイズ (mm)	2200×2500	2880×3500	1500×1800
ターゲット サイズ(mm)	200×2700程度	200×3500程度	1950×2300程度
適用可能な アプリケーション	超大型・高精細 液晶テレビ 大型有機EL、 スマートフォン等	液晶テレビ PCモニター、 スマートフォン等	小型有機EL、 スマートフォン 等

前述の通り、IGZO膜はスパッタリング法で製造されており、開発企業では品質改善、コストダウンの取り組みを続けつつ、透明半導体デバイスの市場拡大に向けた生産体制を構築している。

最後に、研究者らが開発したIGZO TFTについては、室温での形成も可能なことから、電子ペーパー、フレキシブルなディスプレイ、透明電子デバイスなどへの展開も期待されている。更に、今後はディスプレイ用途だけではなく、集積回路への応用など、より広い分野での利用、展開が期待される材料として、産業界への貢献、影響は大きいと言える。