

新市場を拓く次世代電子材料「IGZO」 様々な電子デバイスへの展開が加速

液晶ディスプレイへの展開で、酸化半導体の実用化に業界の先鞭を付けたシャープ。同社と半導体エネルギー研究所が共同で開発した独自の酸化半導体実用化技術「IGZO」は、ディスプレイだけでなく様々な用途の電子デバイスに革新的な進化をもたらし、新たな市場を創造する可能性を秘めている。その先駆けとなる先進的な電子デバイスの試作例が、すでに次々と明らかになってきた。

いまや液晶ディスプレイの分野で、高画質で優れた省エネ性能をあらわすブランドとして一般消費者に認知されている「IGZO」。実は、このIGZOは、シャープと研究開発専門企業の半導体エネルギー研究所が開発した酸化半導体実用化技術のブランドである。酸化半導体は、絶縁体になりやすい酸化物でありながら常温で金属と絶縁物の中間の抵抗率を示すという半導体の特性を備える。酸化半

導体と呼ばれる様々な材料の中で、実用化に向けた研究開発がもっとも進んでいるのが、インジウム(In)、ガリウム(Ga)、亜鉛(Zn)の酸化物であるInGaZnOである。

InGaZnOを使ったトランジスタは、従来のSi(シリコン)トランジスタに比べて優れた特性を発揮する。しかも透明な材料を実現できることから、フラットパネル・ディスプレイの駆動回路に実装するTFT(thin film transistor)の材料として、多くの企業や研

究機関が実用化に向けた研究開発に取り組んでいた。こうした中で、いち早く量産レベルに技術を高めたのがシャープと半導体エネルギー研究所だった。その技術こそがIGZOである。

業界の二歩先を行く“新IGZO”

IGZOを使ったTFTは、オンしたときのチャネル移動度が高い。従来の液晶ディスプレイに採用されているアモルファス・シリコンTFTに比べて20倍～50倍にも及ぶ。しかも、オフ状態の抵抗値が高く、チャネルを流れるリーク電流が、アモルファス・シリコンTFTに比べて100分の1以下と格段に小さい。これら二つの優れた特性が、「高精細」で「低消費電力」の液晶ディスプレイを実現するカギとなっている。

多くの利点を液晶ディスプレイにもたらしたIGZOの技術は、“新IGZO”とも言える進化版の技術が、すでに量産へと展開されている。これが同社と半導体エネルギー研究所が共同で開発した「CAAC(C-Axis Aligned Crystal)-IGZO」である(図1)。CAAC-IGZOは、a、b、cの三つの結晶軸のうちc軸に沿って原子配列が強く配向している新規構造を備えた結



桶谷大亥氏

シャープ株式会社
ディスプレイデバイス開発本部長



松尾拓哉氏

シャープ株式会社
ディスプレイデバイス開発本部
プロセス開発センター 第2プロセス開発室 室長

図1 結晶構造を備えた「CAAC-IGZO」

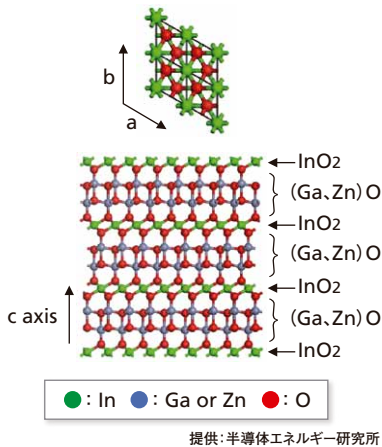
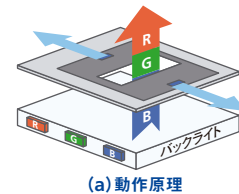


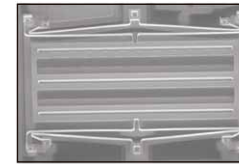
図3 米Pixtronix社と共同で開発しているMEMSディスプレイ



図4 MEMSディスプレイの仕組み



(a) 動作原理



(b) MEMSシャッターの画像

細長い開口部(細長い長方形)の両サイド(写真では上下)にパンタグラフ状のバネがある。バネが交互に伸び縮みしてシャッターを動かす

図2 「IGZO」の技術を使った試作例が続々



晶状態のInGaZnOを採用している。InGaZnOを結晶化したことで、一段と特性が安定する。これによって、優れたチャネル特性や低リーク電流などIGZOがもたらす優れた特性を一段と高いレベルで引き出すことができる。

新たな応用展開が着々と現実に

すでにCAAC-IGZOの技術は、スマートフォン向けの4.9型(HD)および4.8型(フルHD)の液晶ディスプレイに採用されており、これらは市販製品にも搭載されている。だが、CAAC-IGZOの技術のインパクトは、液晶ディスプレイに進化をもたらすだけではない。実は革新的な特長を備えた新しい電子デバイスを市場にもたらす多くの可能性を秘めている。「例えば、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術と融合した新型ディスプレイ、曲がるディスプレイ、医療機器などにも展開できる高性能なイメージング・デバイスなど、様々な応用展開が可能です。その一部は、すでに実用化に向けた開発が進んでいます」(シャープディスプレイデバイス開発本部長の桶谷大

亥氏)。

CAAC-IGZOの技術を新しい電子デバイスに向けて展開する同社の取り組みの最新成果は、一部が明らかになっている(図2)。その一つがモバイル通信技術大手、米Qualcomm社の100%子会社で、次世代ディスプレイの開発を手がける米Pixtronix社と共同で開発しているMEMSディスプレイである(図3)。画面上に縦横に並んだ各画素上に設けた微小なMEMSシャッターを開閉して透過する光の量を制御することで階調を表示(図4)。シャッターが開いたときにシャッターの背面にバックライトとして置いたR(赤)、G(緑)、B(青)のLED(発光ダイオード)を順番に点灯させることでカラー表示に対応する。

実用化に向け量産工場での試作

「カラーフィルタを使ってカラー化する液晶ディスプレイに比べてLEDバックライトが発した光の利用効率が約10倍程度高いので、消費電力を抑えるうえで有利です。しかも、LEDの発光色がそのまま表示に使われるので液晶ディスプレイよりも色再現性

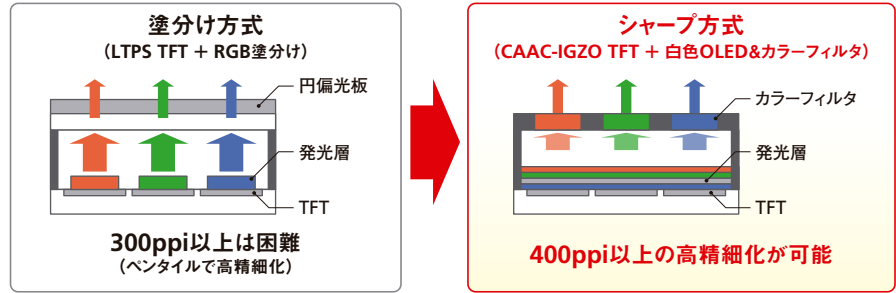
が優れています。色再現性を重視した『高演色モード』と低消費電力を重視した『省エネモード』を切り替えるといった使い方も可能です」(同社 ディスプレイデバイス開発本部 プロセス開発センター 第2プロセス開発室 室長の松尾拓哉氏)

Pixtronix社との共同開発では微小なシャッターの駆動回路を構成するTFTにIGZOの技術を応用。そのうえで、実用化に向けた技術開発を共同で進める。「CAAC-IGZOを使ったTFTは、従来のTFTに比べて、環境温度に対する特性の変動が少ないのが特長です。このためCAAC-IGZOを利用することで新型MEMSディスプレイの耐環境性を一段と高めることができます。将来は、自動車のダッシュボード、航空機のコックピット、船舶の操舵室に設置するディスプレイなどに展開できる可能性があります」(桶谷氏)。すでに、シャープは米子工場の生産ラインを使って、この新型MEMSディスプレイの量産を前提にした試作を始めている。「試作は順調に進んでおり、良好な結果が得られています」(桶谷氏)。

図5 3.4型有機ELディスプレイ

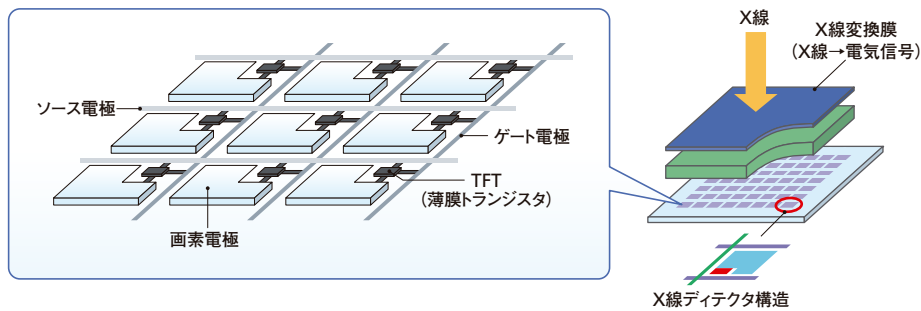


図6 高精細化に有利な構造を実現



提供：半導体エネルギー研究所

図7 X線イメージ・センサの原理



- TFTは、外部から電圧を印加することで電流のON/OFFを制御するスイッチの役割を果たす

- ディスプレイに用いている当該薄膜化技術は、デジタルX線システムにも応用が可能

高精細の有機ELパネルを実現

これに加えて同社は、半導体エネルギー研究所と共同で駆動回路のTFTにCAAC-IGZOを使った有機ELディスプレイを開発。複数の試作品を発表している。いずれも次世代フラットパネル・ディスプレイの本命とされる有機ELディスプレイの付加価値向上につながる先進的な特長を備えており、ディスプレイ業界を中心に多くの注目を集めている。

両社が開発した試作例の一つが2012年6月に発表した3.4型(表示部分の寸法が42.12mm×74.88mm)のフレキシブル有機ELディスプレイである(図5)。画素数は540画素×960画素(×RGB)。326ppiの精細度を実現した。CAAC-IGZOを使った駆動用TFTの上層に白色有機EL発光層を設け、さらにその上に3原色(RGB)のカラーフィルタを置くことでカラー化する方式を採用している。「試作発表で先行したメーカーは、3色(R、G、B)の有機EL発光層を同じ層に塗り分ける方式と、低温ポリSi-TFTを組み合わせた、

いわゆる『塗り分け方式』を採用しています。この方式に対して、CAAC-IGZO TFTとカラーフィルタを組み合わせた方式の方が、高精細を進めるうえで有利です」(松尾氏)。いまのところ塗り分け方式の場合、300ppi以上の精細度を実現するのが難しいとされる。「CAAC-IGZOとカラーフィルタを組み合わせる構造ならば400ppiの高精細化が可能です」(松尾氏)(図6)。

医療機器の進化にも貢献

両社は、2013年5月にカナダで開催されたフラットパネル・ディスプレイの国際学会「SID(Society for Information Display)」で、3.4型有機ELディスプレイの試作品を展示し、学会に集まった技術者の注目を集めた。3.4型で540画素×960画素(×RGB)と、画面の大きさや画素数は2012年の試作品と同じだが、TFTの表面から光を取り出すトップエミッション型と呼ばれる先進的な構造を採用していたからだ。発光層から出た光がTFTの影響を受けないので開口率を維持したまま高精細を進められるのが特長だ。

このほかにシャープはCAAC-IGZOを応用したX線イメージ・センサも試作している(図7)。このセンサは、X線を検出する画素電極を平面上に縦横に並べたもの。各画素にスイッチの役割を担うTFTが設けられており、微小な画素電極でX線を検出したときに発生する電圧を、TFTを切り替えて順番に読み出すことで、X線映像を再生する。「リーク電流が小さいCAAC-IGZOをTFTに使うことによって高感度化を実現しました。これによって撮影時間が短縮し、患者の被曝量を抑えることができます。TFTの小型化を進めることができるので、高精細を進めるうえでも有利です」(松尾氏)。大きなガラス基板上にTFTを作ることもできるので、人間の等身大のX線映像を1回で作成できる装置も実現可能だという。

これまでに明らかになったCAAC-IGZO応用デバイスの試作例は、CAAC-IGZOの技術がもたらす可能性のごく一部に過ぎない。CAAC-IGZOを使った新デバイスの開発に取り組むシャープの今後の展開は、多いに注目すべきだろう。

流れが変わる酸化物半導体の開発 「CAAC-IGZO」が応用展開をリード

シャープが量産品への展開を進めている結晶性酸化物半導体「CAAC-IGZO」。この新材料を最初に発見したのが、半導体エネルギー研究所である。そこで同社代表取締役で工学博士の山崎舜平氏にCAAC-IGZOが生まれた経緯などについて聞いた。

CAAC構造を発見したのは2009年のことです。当時、多くの研究者らと同じようにアモルファス酸化物半導体の研究に取り組んでいました。発見のキッカケは、試作品の特性を調べていた研究者に試作品の構造をTEM(透過型電子顕微鏡)で観察するよう指示したことでした。いつもならば社外の受託サービス会社に試料を送ってTEM画像を撮影してもらうのですが、このときは私も足を運んで現場でTEM画像を見ることになったのです。

このとき材料の表面に原子が整然と並んでいることに気がつきました。この現象を解析すれば特性が安定した酸化物半導体を実現できる。しかも、製造プロセスは従来のままなので量産性も確保できる。こう思った私は、ただちに開発の方向を結晶

性へと向けました。当時から、再現性が低く、特性が一定しないというのがアモルファス酸化物半導体の問題の一つでした。結晶化した層を発見したとき、これを解決できる可能性を感じたのです。

その後、「CG(Continuous Grain、連続粒界結晶)シリコン」を使った液晶ディスプレイの開発で手を組んでいたシャープと協力して、この構造ができる仕組みや電気的特性などを徹底的に解析し、CAAC-IGZOの技術を実現しました。

度重なる幸運が早期実用化に貢献

半導体エネルギー研究所とシャープが、業界に先駆けて酸化物半導体を使ったディスプレイの量産技術を確立できた背景には、いくつか幸運が重なったことがあると考えています。例えばTEM画像の撮影に偶然私が足を運んだこと。たまたま使用していた材料が結晶化に関係していたこと。従来からシャープと共同で開発を進めていたCGシリコンとCAAC-IGZOの間で共通するところが数多くあったこと、などです。

これだけの幸運が重なることは、めった



山崎舜平氏

株式会社半導体エネルギー研究所
代表取締役
工学博士

にありません。いまでは、この幸運を信じて、CAAC-IGZOの可能性を徹底的に追求しようと思っています。実際、半導体エネルギー研究所では、関連会社を含めて約300人も研究者がCAAC-IGZOの開発に取り組んでいます。有機ELディスプレイなどのディスプレイに加えて、ノーマリ・オフ型マイクロプロセッサメモリなどディスプレイ以外の応用の可能性も幅広く探っています。(図A、図B)。

従来から結晶性IGZOの研究開発は、既存のアモルファス酸化物半導体の技術の階段を1段1段上っていくように進歩していくものと思われていました。しかし、このCAAC-IGZOの発見は今までの見方を否定するものと思います。がん医療の大家として知られる杉村隆氏が、著書の中で「日々進歩する科学は傍流が本流より太くなり、異端が正統を飲み込もうとする」と述べています。CAAC-IGZOの技術も、この言葉の通り、イノベーション(変革)であると思います。

図A 13.5型の4Kフレキシブル有機ELディスプレイの試作品



図B ノーマリ・オフ型の酸化物半導体TFTを使ったマイクロプロセッサの試作品



提供：半導体エネルギー研究所

お問い合わせ

SHARP

シャープ株式会社

ディスプレイデバイス開発本部 技術開発センター 技術企画室
〒519-0198 三重県亀山市白木町幸川464 TEL:0595-84-1221(大代表)
<http://www.sharp.co.jp/>