

## IDW'10 ショート速報 [フレキシブルディスプレイ]

長谷川雅樹 (メルク)

会議名 : The 17th International Display Workshops

開催期間 : 2010 年 12 月 1 日 - 3 日

開催場所 : 福岡国際会議場 (福岡市)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*

電子書籍が日本でも脚光を浴びる中、真の電子ペーパーの形態として期待されるフレキシブルディスプレイの今年のトピックスは、低温処理が可能な半導体材料であった。中でも酸化物半導体のセッションでは、その発明で有名な東工大の細野先生が招待講演で講演した後も会場で活発な議論を繰り広げ、会場が大いに盛り上がった。ただ、酸化物半導体は、まだ 300°C以上の熱処理が必要であり、フレキシブルディスプレイへの応用には時間がかかると思われた。

\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

昨年の二世代目の Kindle、今年の iPad と電子書籍のハードウェアが出揃い、アメリカだけでなく日本でも電子書籍のネット販売が始まる中、次世代の電子ペーパーの形態として期待されるフレキシブルディスプレイはどこまで開発が進んでいるのであろうか。液晶、e-ink、QRLPD (Quick-Response Liquid Powder Display) など、フレキシブルに対応した様々な表示方式が提案される中、問題はそれらを駆動する半導体の材料である。メモリー性を有する e-paper ではマトリクス駆動も可能であるが、高精細、動画表示を考えるとアクティブ駆動が必要となる。有機半導体は熱処理が必要なく、すぐにでもプラスチック基板に応用できるが、移動度が低い。一方で、酸化物半導体はアモルファスシリコン以上の移動度が出せるが、300°C以上の熱処理をしないとヒステリシスが残る。こうした状況で開催された今年の IDW では、酸化物半導体の牽引者である東工大の細野先生がキーノートとして講演した。細野先生は、フレキシブルディスプレイやアクティブマトリクスディスプレイのセッションでも積極的に議論し、酸化物半導体のみならず、有機物半導体の研究に対しても持論を展開した。本報告では酸化物半導体、有機物半導体、透明電極、基板などフレキシブルディスプレイを構成する要素材料に関する発表をまとめた。

### 2. 駆動用半導体

フレキシブルディスプレイに応用可能な半導体は、その熱処理温度が基板であるプラスチックの耐熱温度 150°C以下であることが求められる。耐熱温度の高いポリエーテルサルフォン(PES)を用いても 200°C以上にはできない。このため成膜に 300°C以上を必要とするアモルファスシリコンを適用できない。現時点での候補は、酸化物半導体と有機物半導体である。今年の IDW では細野先生が招待されたこともあり、酸化物半導体のセッションが活発であった。

#### 2. 1 酸化物半導体

ディスプレイにおける酸化物半導体はすでに実用化の段階に入っている。細野先生のキーノート講演で紹介

介されたように、サムソンは酸化物半導体IGZOをTFTに用いた 70 インチのLCDの試作パネルを今年のFPD インターナショナル(幕張メッセ)で展示した。また、AUOは 32 インチのLCDパネルを 5 マスクで作製し、移動度  $5.16\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成している。移動度はアモルファスシリコンより一桁大きい  $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ 前後なので、立体表示や動画像の品質向上に必要となる高速駆動が可能となる。ガラス基板は耐熱温度が高いため、 $300^\circ\text{C}$ の焼成が可能で特性の高いTFTが作製できる。しかし、プラスチック基板を用いる場合、高くても  $200^\circ\text{C}$ 以下の処理温度しか許されないため、IGZOでは十分な特性が得られなかった。TeijinのT. Hanadaらはポリカーボネイトに $\text{SiO}_2$ のガスバリア層、アクリルハードコート層を設けた基板の上にスパッタリングでIGZOのTFTを作製し、焼成温度および時間とTFTの特性の関係を報告した。 $180^\circ\text{C}$ では、移動度が  $11\text{cm}^2/\text{Vs}$ で、 $150^\circ\text{C}$ でも 2 時間焼成することで移動度が  $7.4\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、 $s=0.33\text{V}/\text{dec}$ の特性が得られ、低い温度でも時間を長くすることで特性を改善できることを報告した。細野先生は、IGZOでは  $250^\circ\text{C}$ 以上の焼成をしないとヒステリシスを無くすことはできないはずで、 $150^\circ\text{C}$ 焼成でのヒステリシス特性を示すよう要求していた。SamsungのJ.-W. ParkらはIGZOのパッシベーション層として $\text{SiO}_x$ と $\text{SiN}_x$ を用いたときのTFT特性を比較し、 $\text{SiN}_x$ が適していると報告した(AMD8-1)。AUOのY.-C. KaoらはIGZOをスケールアップ可能な高移動度材料との位置づけ、パネルにゲートドライバーを作り込める利点を述べた。また、ガラス基板での実用化の問題点を、安定性、信頼性、大型での均一性とまとめた。IGZOの実用化は始まったばかりで、焼成プロセスや他の材料との相性などまだまだ改善の余地があると思われる。フレキシブルディスプレイへの応用の問題点は、低温処理での低い移動度、 $\text{Id-Vg}$ 特性のヒステリシス、バイアス電圧、温度ストレスによる特性の変化などである。フレキシブルディスプレイの作製プロセスのひとつにロールトゥーロールがあげられているが、このプロセスのためには塗布型の材料が適しており、プリンタブルなIGZO前駆体が必要である。今回のIDWではSeoul Nat. Univ.のY.-U. LeeらがZTO、AUOのK. H. Suら、SamsungのK. B. ParkらがIZOの溶液プロセスについて報告した。ZTOでは、水を加えることで特性を改善でき、移動度  $2.21\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成した。IZOでは、どちらも移動度は  $0.2\text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度であった。

## 2. 2 有機物半導体

近年 $\text{a-Si:H}$ 並みの移動度を持つ有機物半導体材料が開発されているが、結晶性であるため特性の均一性や安定性に問題を抱えている。SONYのI. YagiらはSID2010 で発表して注目を集めたローラブルOLEDの技術内容を紹介した。PXXと呼ぶ有機物半導体を用いた 4.1 インチ、 $432\times 240\text{pixel}$ のOLEDは曲げ半径 4mmで丸めることができる。明るさは 100 ニット以上、 $\text{CR}>1000:1$ の表示特性を持つ。TFTの移動度は  $0.4\text{cm}^2/\text{Vs}$ で、試作ではスパッタでTFTを作製したが、現在ではPXXに側鎖をつけて溶剤に可溶化できた。Osaka Pref. Univ.のH. Naitoらは有機物半導体にシリカナノ粒子を加えることで結晶性を向上させ、半導体特性を改善できると報告した。また、一般に可溶性有機物半導体は基板表面の濡れ性が悪いと結晶性が上がり特性が向上するが、塗布性が悪くなる。Naitoらはナノ粒子を分散させることで塗布性を向上させることもできるとした。チオフェン系の有機物半導体の他に、今注目されているグラフェンを用いた半導体も報告された。Tohoku Univ.のK. Tanigakiらはグラフェン、CNT、有機物半導体を比較し、グラフェンの高移動度など優れた特性による特異性について述べた。講演後の議論では、グラフェンの問題点はデバイス化にあり、触媒として用いている金属の影響を除ければ気相成長による作製に将来性があると語っていた。

## 2. 3 ナノワイヤトランジスタ

これまでSiによる半導体は結晶、アモルファス、低温ポリシリコンなどがあったが、新しい試みとしてSiによるナノワイヤ(Si-NW)を用いたTFTの現状をSungkyunkwan Univ.のD. Prihatが報告した。Si-NWはSi

針状単結晶のコアの周りに絶縁層と金属層を形成し、Siの両端をドレインとソース、金属層をゲートとするものである。移動度は数百と非常に大きい。作製には高温処理が必要であるが、一旦作製されればそれを液中に分散させ、基板に塗布する形で転写することが可能である。また、単体では大きな電流を流せないの、複数のNWをひとつのデバイスに転写する必要がある。Siの他にもGe、InAs、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SnO<sub>2</sub>、ZnO、CdSe:Inなどのナノワイヤトランジスタが報告されている。In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-NWはOLEDのTFTとして応用した例が発表されているが、転写プロセスは確立されていない。量産、大型化が可能な転写プロセスさえ開発できればディスプレイへの応用が期待できる。

### 3. 電極材料

フレキシブルディスプレイ実現には、TFTだけでなく透明電極やTFTへの配線材料も低温プロセスに対応する必要がある。

#### 3. 1 透明電極

Sungkyunkwan Univ.のG. XinらはグラフェンとCNTを混合した透明電極を報告した。CVDで作製したグラフェンシートは100Ω/□以下のシート抵抗を持つが、剥離グラフェン、酸化還元グラフェン分散液でシートを作製するとグラフェン片の接触部分の抵抗が大きく、全体としての抵抗値を下げるができなかった。これを改善するためにCNTを混合しグラフェン間の接触抵抗を下げ、181Ω/□、82.2%の透過率を持つシートを作製した。

#### 3. 2 配線材料

Osaka Univ.のK. Suganumaらは、銀ナノ粒子による低温プロセス配線材料を報告した。アルキルアミンで表面修飾し、トルエン中に分散させた銀ナノ粒子はインクジェットやグラビア印刷などで基板に塗布された後、アルコールで洗浄するだけで室温で粒子同士が結合する。またポリウレタンと混合した数ミクロンサイズの銀粒子をウレタン基板上に塗布し、70°Cで過熱処理すると、600%まで延伸しても1Ωcmの抵抗率を保っていた。

### 4. 基板材料

プラスチック基板のほかに、75ミクロンのガラスを用いたフレキシブルディスプレイがUniv. StuttgartのS. Hoehlaらによって報告された。TFTはa-Si:Hで、移動度0.4-0.6cm<sup>2</sup>/Vs、開口率52%の4インチQVGAのLCDが作製された。基板が薄いため、上下基板のアライメント精度が±2ミクロンと向上したため、高い開口率が実現できた。

### 5. おわりに

酸化物半導体の実用化はこの一年で大きく進んだ。また有機物半導体、グラフェンなどの新しい材料も開発が進んでいる。フレキシブルディスプレイへの応用はまだ実用化レベルではないが、プロセスの改善や周辺材料の開発によって実用化がすぐそこまで来ていると感じた。