

## 進化する FPD 技術のための新しい試験方法

Charles Cimino, David Rose  
Keithley Instruments, Inc.

### 進化する FPD

フラットパネルディスプレイ(FPD)メーカーは、要求の厳しいアプリケーションニーズを満たす新しい技術に大きな期待を寄せています。そのアプリケーションには、大型で低コストのラップトップ用モニタ、携帯電話やその他のポータブル機器用の小型・低消費電力パネル、家庭用の HDTV やワイドスクリーン、信頼性が高く昼光下でも読み取り可能な、戦闘機、戦車、軍艦の「ガラスcockピット」用ディスプレイがあります。ディスプレイの技術は、アモルファスおよび低温ポリシリコン(LTPS)の LCD パネルから、新しい有機 LED などの分野におよびます。これらの新技術の登場により、付加価値の高い製品を提供できるようになります。しかし、市場に投入するまでの時間を短縮し、新しい生産ラインを立ち上げ、理想的な歩留まりを確保するためには、新しいツールや測定法に対し、ディスプレイ OEM 各社の投資は著しく増加します。これらのすべてに対処するには、研究開発と生産の両方の領域において、より大きなスループットと精度を実現する一層効率的な計測器やシステムが要求されます。

ディスプレイデバイスの測定には、従来の CMOS やバイポーラの製造工場でおこなわれている測定と同様に、プローバとパラメトリックテスタが使用されており、ケースレーの本来の市場といえます。長年、弊社は、CMOS やバイポーラのメーカーおよびアクティブマトリクス液晶ダイオード(AMLCD)ディスプレイの主要メーカーに半導体特性評価システムおよびパラメトリックテスタを納入してきました。

お客様である AMLCD メーカーの多くはアジアにあります。アクティブマトリクス FPD に関連する測定および試験技術は、基本的に他の半導体と同じです。しかし、弊社は、試験と測定に対する新たなアプローチの必要性を見つけつつあります。

ディスプレイ OEM 各社と半導体メーカーは、明らかに異なるタイプのプロトタイプ機および生産機器を使用しています。代表例をあげると、ディスプレイ試験において、プローバは物理的に大きく、計測器と試験対象デバイス(DUT)の距離は、従来の半導体ウェーハより離れています。この長い距離により、寄生容量やノイズが大きく、感度の低下、測定安定時間の増加、スループット低下など、望まぬ結果を招くことがあります。新しいディスプレイデバイスを試験する場合、このような問題を避けるには革新的な測定技術および試験機器の改良がしばしば必要になります。

### アモルファスシリコンの LCD の試験

AMLCD の伝統的なアモルファスシリコン(a-si)技術は、

携帯電話から PDA やラップトップ、デスクトップモニタ、大半の TV 市場において、依然として支配的なシェアを占めています。a-si 薄膜トランジスタ(TFT)デバイスが新型の LTPS LCD に比べて低速、大型、低輝度、多数の外部回路の必要性にかかわらずこのようなシェアを占めているのは、この技術が高いレベルでリファインされ、低コストであるためです。今では、第 5 世代や第 6 世代の a-si 基板技術を使用して大型ディスプレイが作成されており、メーカーは大量生産と歩留まり向上により、さらなるコスト低減に取り組んでいます。

コストは最も重要な事柄であり、生産ラインでの試験時間は最小限にする必要があります。生産ラインでは、通常次のような基本特性だけが測定されます。

- $I_d-V_g$  曲線の掃引、上昇下降のヒステリシスも含む。
- 電圧しきい値、 $V_{th}$
- 順方向(オン)電流レベル
- リーク(オフ)電流、 $I_L$
- スwitchingタイム(応答時間)
- コンタクトチェーンの抵抗値と静電容量

これらの測定値は、LCD パネルのエッジ周辺にある数個のテストエレメントグループ(TEG)から取得します。時々、数個の実ピクセルも測定して均一性をチェックし、ITO 導電層の特性をスポットでチェックする場合もあります。

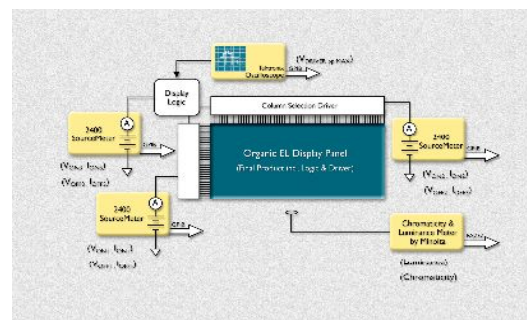


図 1a. 代表的な FPD の生産試験ダイアグラム

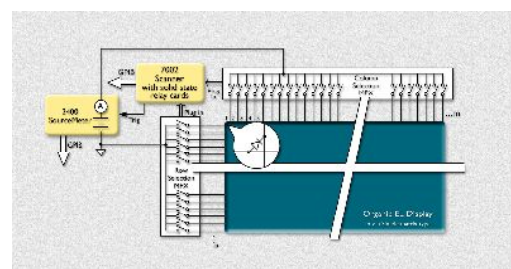


図 1b. OEL リーク電流テスタ

FPD 内の能動素子を特性評価する代表的なシステム(図 1)には、DCソースメジャーユニット(ソースメータ)、スイッチマトリックス(1台の計測器で複数のデバイスのテストを可能にする)、プローブステーション(図には示されていない)、さまざまなコンポーネント間の配線が含まれます。パネルのガラス基板サイズが大きいため、FPD の製造装置は大型化し、LCD の TEG と実ピクセルをつかむプローブステーションも含め、高度に自動化される傾向があります。そのために測定器を信号源の近くに配置することが困難になります。プローブカードと計測器のテストヘッドを長いケーブルで接続することになりますが、このごく一般的な解決方法では、測定上の問題を発生させます。

LCD TFT のパラメトリック特性評価では、通常、オフ状態で高感度なドレイン電流測定が必要です。しきい値電圧およびサブスレッシュホールド電流が高すぎると、画像のゴーストが発生するので、 $I_L$  はフェムトアンペアレベルまで測定しなければなりません。ゲートリーク電流も、他の微小電流現象と同様、デバイスのパフォーマンスにとって重要です。

FPD の特性評価システムを構築する場合、仕様決定の担当者は DC パラメトリック機器の選定には注力しますが、配線やプローブカードなど、システムの他の部分をあまりに軽視しがちです。実際、信号経路に直接介在するそれらのコンポーネントは往々にしてノイズ源になりがちです。たとえば、低品質のケーブル、シールドの不完全なケーブル、リーク電流の大きなスイッチングシステムなどは注意を要します。

超微小電流の測定を行うシステムとしては、計測器だけではなくテストフィクスチャ、プローブステーション、スイッチングシステム、接続部、配線、アース、シールドがしっかりしたパラメータ特性評価システムであることが重要です。したがって、テストエンジニアは、システム全体の視点に立つ必要があります。正しく構成されたシステムであっても、それらは測定ノイズ、精度、スループットに影響する可能性があります。

- 配線および派生する寄生容量やシャント抵抗
- アース/シールド/ガード
- スwitchingマトリックスのオフセットおよびリーク電流
- プローブカードとテストヘッドの設計
- 計測器のノイズと安定時間
- 環境の電気ノイズレベルとそのタイプ
- TEGのデバイスとその試験方法

#### 個々の試験問題に対する解決方法

上記諸問題から発生する誤差やノイズを低減し、試験時間を短縮するには効果的な手法を採用する必要があります。それには、デバイス、材料、機器の固有の問題に対し独自の解決方法が必要です。半導体、LCD、受動素子の試験に関する 30 年以上にもおよぶ経験をいかし、ケースレーは、導電性コーティングや絶縁酸化物からマルチエレメントのディスプレイ完成品まで、すべての試験に対する革新的なソリューションを開発しました。ケースレーの 4200-SCS 型半導体特性評価システムは、LCD デバイスの試験用の低ノイズプラットフォーム

です。4200-SCS 型のモジュラー設計、ローカルまたはリモートのプリアンプ、柔軟性の高い GUI ソフトウェア環境により、代表的な FPD の生産ラインにおける試験用にカスタマイズできます。

一般に、DUT 信号が非常に小さい(つまり、S/N 比が低い)と、システムノイズは測定の完全性に大きな影響を与えます。それは、信号に含まれるノイズを増幅することなく信号だけを増幅することが困難だからです。FPD の試験において微小レベルの測定を高確度で行うためには、S/N 比の向上が重要です。

4200-SCS 型のノイズ仕様は、レンジのわずかに約 0.2% であり、最低の電流レンジでのピークツーピークのノイズは、たったの数フェムトアンペアです。信号を正しく平均化すれば(フィルタを通すかパワーラインのサイクルでの積分回数を増やす、あるいは両者の組み合わせによる)、ノイズをさらに低減することが可能です。これによってスループットの問題が生じた場合は、低ノイズのリモートプリアンプオプションにより、さらにフェムトアンペア未満の測定が可能です。

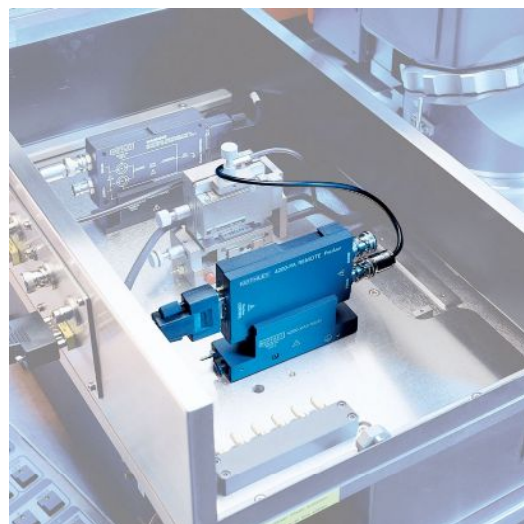


図 2. プローブステーションのプラテンに取り付けられた SMU リモートプリアンプ

そのレベルの感度を得るには、通常、プリアンプはプローブステーションにリモートで取り付けます(図 2)。この配置により、信号は増幅されるまでに短距離(プローブニードルの長さだけ)しか伝搬しません。増幅された信号はケーブルとスイッチングマトリックスを経由して測定ハードウェアに入力されます。

この配置により、ケーブル長が著しく短くなり、その結果寄生容量が小さくなるので、測定安定時間が短縮され、試験のスループット向上にも効果があります。試験システムに複数の DUT を接続できるケースレーのマトリックススイッチングシステムの製品群により、スループットはさらに向上します。ケースレーの低リーク電流のマトリックススイッチングカードは、特に超微小電流測定用に設計されています。

## 低温ポリシリコンの試験

初期の多結晶シリコンでは、高い成膜温度が必要であったために、ガラス上に作成される LCD 向けには実用的ではありませんでした。しかし、現在の LTPS 技術は、これら製造上の問題の多くを克服した上、本来の高速性能ゆえに、ディスプレイにおいて明らかな利点があります。ガラス上の p-si のもう 1 つの利点は、同じプロセス中にドライバチップも製造できるので、コストとスペース両面で経済効率も良く、信頼性が向上することです。さらに低温用に低コストの製造方法が開発されるにつれ、p-si ディスプレイは高度化し、市場シェアの拡大が期待できます。これらのディスプレイはアレイドライバに加え、最終的にはメモリや CPU も取り込み、急速に付加価値の高いディスプレイになりつつあります。これらの「システムオンガラス」の FPD は、現世代の a-si 技術や p-si 技術よりは、所要電力が少なく、画像輝度が高く、速い応答速度、高解像度を実現し、必要な外部回路も少なくてすみます。

LTPS ディスプレイには、ピクセルの TFT に加え他の制御デバイスが組み込まれ、ビデオレートでの動作が対象であるため、より多くの試験が必要です。これらの試験には、ドライバ IC に関する測定、クロック信号によるデジタル試験、高周波動作のチェックが含まれます。その結果、従来の a-si 製品より試験スループットを高くすることが一層重要になります。p-si のアクティブ素子がより小さいサイズで、低電流でより効率的に動作するならば、試験には a-si デバイスよりも高感度の測定が必要になるでしょう。

そうでなければ、p-si の FPD には同様なパラメータ試験が実行され、a-si 技術に関連する測定の問題とすべて同じ問題が伴うこととなります。しかし、信号源と計測器を追加すると、LTPS 試験システムコンポーネントの統合についてはより多くの問題が生じます。それらには、パラメトリックテストのインターフェイスの問題、同期の問題、ソフトウェアの互換性の問題が含まれます。

## 感度と速度の最適化

1990 年代にビデオ用途の高速 AMLCD パネルが進化していく中で、ケースレーは、ディスプレイの OEM 各社によるデバイスの歩留まり向上と製品品質管理の促進を支援する、高速で完結したプロセスモニタリングシステムを開発しました。LTPS には、ドライバやその他の高度な回路をガラス上に統合することができるので、ケースレーの TEG システムは、特定タイプの高速な機能試験をサポートするために、パルス機能と RF 機能によって強化されています。これらの機能は生産プロセスの初期の段階で TEG 試験と組み合わせられ、不良デバイスへの高価なパッケージングを回避し、修正処置や修理を行って、コストを低減できます。

LTPS ディスプレイ OEM 各社が測定の感度とスループットを最適化できる、さまざまなテストプラットフォームを提供します。超微小電流の測定が課題ではない場合は、ケースレーの S400 型自動パラメトリックテスト(APT)システムは、完全配線されたアプリケーションで、超低寄生容量のスイッチングマトリックスと高感度の SMU によりスループットを向上させます。また、高感度測定と高いス

ループットの両方が必要な場合は、ケースレーの S600 型 APT システムにより、優れた微小電流性能、および、高速の擬似並列試験と(多くの場合)真の並列試験の両方が可能です。

S400 を使用する用途で測定感度を向上させるには、システムマトリックスにより 4200-SCS 型を最大 4 つの独立したピクセルプローブカードに接続します。これにより、DUT での電流感度を 1~2fA のレンジにすることができます。その他のさまざまなハードウェアバリエーションにより、特定用途に対してシステムを最適化できます。

## 有機エレクトロルミネッセント(OEL)FPD

これらの高度なディスプレイデバイスは、能動型、受動型、そのバリエーションも含め、急速に商品化の域に近づいています。図 3 に、代表的な OEL デバイスを示します。2 つの技術が登場し、異なる用途に適用できます。

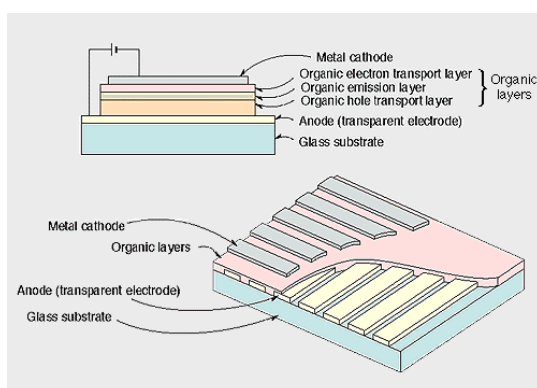


図 3. 代表的な OEL デバイスの構造。有機層はストライプ状のカソードとアノードの間に配置される。有機層には、アノード側から、ホール移送層、発光層、電子移送層がある。この構造は PIN 接合をもつ発光ダイオードに近い。

発光ポリマー(LEP)デバイスは、イギリスのケンブリッジ大学の Burroughes らによって発案された高分子ポリマー技術をベースに開発中です。この技術の開発目的は、携帯電話、デジタル「インクアンドペーパー」、布、グリーティングカード、ウィンドウ/ポップアップ表示の宣伝用デバイスなど、小さなスペースでの利用や低速低解像度の用途を追求することにあります。ポリマーディスプレイの利点は、ガラス基板の上の層を回転できることであり、場合によってはフォトリソグラフィーによって薄膜をパターン形成できることです。したがって、理論的にはシンプルで低コストなアクティブマトリックスディスプレイを簡単に製造でき、異なる発光層のストライプを微細に形成すればフルカラー画像用の高解像度(高コストの)ディスプレイを製造できます。

Kodak の低分子量ポリマーの技術に基づく OLED デバイスは、ほとんどの半導体プロセス技術と互換性がありますが、製造方法は LEP よりかなり複雑です。それでも、モニターや TV のどの情報量が多いビデオ帯域のディスプレイ用としては先端を行っています。これらの用途については、多くの研究者や創業間もない企業がこの技術に注力しており、シリコンベースの LCD の優位性を揺るがすでしょう。(アクティブマトリックス OLED ディスプレ

いで可能な程度に高密度の無機 LED アレイの統合に成功した人はいません。)

材料の寿命は、依然として OEL FPD 技術の普及拡大を制限している重要な課題であるため、開発試験は、光出力対動作寿命に対する材料、プロセス、デバイスの評価に焦点が置かれています。製品開発とプロセス開発におけるデバイスの特性評価のために今必要とされる試験システムは、その後、マイナーな改造によって使用できるようになり、進行中のプロセスをモニタリングすることにより、メーカーは歩留まりと品質を向上させることができます。

OLED 用途のためのそのようなシステムは、精密な電圧・電流印加および測定機能をもつソースメータファミリなど、ケースレーの計測器を使用することにより開発できます。さらに、コアとなるこれらの I-V ツールは、2000 シリーズ DMM ファミリ、7000 シリーズスイッチングメインフレームファミリ、2700 シリーズ統合データロギングファミリなど他の計測器および高密度スイッチングシステムとシステムレベルでの互換性があります。これらの計測器をさまざまに組み合わせ、手動および自動の試験システムを構築し、寿命、I-V 特性、光-電流-電圧(LIV)特性を評価できます。

OLED の試験に関連する課題の 1 つは、構造内の静電容量レベルが大きいことです。必要な測定項目の多くは AMLCD と同じですが、試験システムと方法は、試験時間を延ばすことなく大きな静電容量に対処できなければなりません。また、OEL FPD のピクセルがアクティブな発光デバイスであることを考えれば、DC およびパルス化 DC 動作をさせながら LIV 特性を評価することが重要です。これは、試験をもっと複雑にします。

### 進化する OEL 試験システム

従来の半導体およびレーザダイオードの試験経験をふまえ、ケースレーは、OLED および LEP の研究者とプロセス開発技術者のために、I-V 特性/LIV 特性評価用の計測器およびシステムを開発しました。緊急に立ち上げる生産システムの電気測定ニーズに対し、ケースレーの計測器やシステムプラットフォームは、スループットが高く堅実に統合されるべきファンクション試験システムの要件を満たしながら、先端デバイス測定用に仕上げられています。

ケースレーの 2400 と 2500 シリーズのソースメータ I-V 計測器ファミリおよび LIV 特性評価システムの機能をいかし、それらを弊社の高密度スイッチングシステムと組み合わせることによって、数十チャンネルから数百チャンネルまでのテストソリューションを提供します。したがって、広範なレンジで性能/価格

をカスタマイズ可能なマトリクス配列 I/O を、プロトタイプ作成および大規模生産システム用に構築できます。お客様と緊密に連携し、重要測定ニーズを学び、弊社の計測ブロックを測定の最適化のためどのように利用するかを知ることによって、試験時間を短縮する革新的な試験アルゴリズムをもつ堅実な統合システムを提供します。

たとえば、電圧や電流を DUT に印加する方法によって、DUT と試験機器の安定時間が大きく影響されます。DUT に大きな電圧ステップを突然印加すると、ケーブルと DUT の静電容量およびプローブカードの誘電吸収特性によって、I-V 安定時間が長くなります。測定が過度に素早く行われると、指数的に変化する I-V 応答曲線の立ち上がり部分や立ち下がり部分で、測定される確率が高くなり、測定結果は不安定になります。不必要に長いデレイ時間を設けると、非効率で低速な測定になります。計測器のレンジが適切でない場合、状況は一層悪くなります。

計測器のスweep機能を利用して大きな電圧ステップを小さなステップに分割した方が良好になることがあります。小さな電圧ステップで最終電圧に近づけることによって、測定の安定特性を改善することができます。もう 1 つのアプローチは、高度なパラメトリックテストの安定状態測定コマンド(たとえば、ケースレーの `ssmeas` 機能)を利用することです。安定状態測定コマンドは、「読み値の変化が 3%以下になるまで測定する」などのように、ユーザが定義した変化判定基準を満足するまで測定を継続するようにテストに指示します。

### 高度な FPD 開発におけるケースレーの貢献

OEL 技術の継続的な発展に応じて、ケースレーは、主要なパートナーとして公官庁あるいは民間セクタの研究者、材料メーカー、また商品化市場においては既存新規参入を問わずパートナーと密接に連携し業務を推進しています。

これらの技術パートナーシップにおけるケースレーの貢献は、現在開発段階あるいは構想段階にある製品の定義・最適化を支援する、新測定手法と計測方法の提供です。

ケースレーは、LCD や OEL の緊急製品技術について主要な参入企業の方々と、弊社の現在のテストソリューションおよび今後の方向について議論したいと考えます。特に、FPD 試験要件の探求は、弊社の大きな関心事であり、弊社のオプト試験技術と RF 試験技術が役立つと考えています。

###

**KEITHLEY**

ケースレーインスツルメンツ株式会社

〒105-0022 東京都港区海岸 1-11-1 ニューピア竹芝ノースタワー13F

TEL 03-5733-7555 FAX 03-5733-7556 <http://www.keithley.com> [info.jp@keithley.com](mailto:info.jp@keithley.com)