

有機 EL ディスプレイ事始め(前編)

工学博士 米田 清 (元三洋電機株)



1) はじめに

1995年1月17日(火)未明に淡路島北部地下16kmを震源とするマグニチュード7.3の巨大地震、阪神淡路大震災が発生し、淡路島、神戸市、西宮市、芦屋市で震度7を記録した。神戸市の長田地区では震災後に町全体が数日間燃え続ける大火災の発生で多くの人々が罹災した。

その当時、私は三洋電機(株)研究開発本部に所属し、ポリシリコン(Poly-Si)TFT(Thin Film Transistor)をアレイ基板に用いた液晶(LCD)ディスプレイの開発プロジェクト(PJ)のリーダーを務めていた。PJの拠点は三洋電機岐阜事業所構内の研究所にTFT基板技術を開発する部隊と神戸市の研究開発本部塩屋研究所に液晶プロセスを開発する部隊との2か所に分散していた。大地震の被災状況としては、岐阜の研究所は震度4位で大層な揺れでは無かった為、全てが正常であった。塩屋の研究所も幸い建物には大した被害も無く、研究設備の一部が位置ずれしたり、倒れたりした程度で済んだ。然しライフラインは全て遮断され、復旧に1カ月以上はかかった。その後この震災が引き金となり、2か所に分散していた開発拠点を3月に岐阜の1か所に集約し、LCDディスプレイの開発に本格的に取り組んだ。

2) LTPS TFT バックプレーン(BP)技術

1995年の5月に入って、ソニー(株)から低温ポリシリコン(LTPS, Low Temperature Poly-Si)TFT LCDパネルの事業化に関する協業の提案があった。当時の三洋電機のLCD事業としては岐阜地区に第1世代(G1、ガラス基板サイズ300x400mm²)のa-Si TFT LCD製造ラインを1992年にすでに建設済みであったが、その後の数年間でガラス基板サイズの世代交代がG1からG3.5へと目覚ましく進んだ時期でもあり、旧世代のLCD製造ラインの競争力は忽ち失速し、高付加価値製品に向けての生産移行を強いられていた。三洋電機社内でもこの危機感は共有されており、次世代液晶技術の開発の急務が叫ばれていた。

ソニーの厚木研究所では、LTPS TFT LCD技術は

事業化を進める段階に来ていると判断していたが、我々は実用化までにはまだ2~3年以上は懸かると想定していた。本格的な市場の立ち上がりも今は期待できそうも無いと読んでいたので、実用化時期の判断には当初は両社に食い違いがあったが、それは大した議論には為らなかった。LTPS技術、中でもエキシマ・レーザ照射でa-Si膜をPoly-Si化する技術、即ちELA(Excimer Laser Anneal)技術についてはソニーも我々も基本的には同じ手法を使っていたが、使用するTFTのデバイス構造は異なっていた。ソニーはa-Si TFTで用いられている逆スタガー構造と同じBottom Gate(BG)構造のTFTを採用していた。一方、我々はLSIと同じTop Gate(TG)構造のTFTの開発を進めていたので、どちらが有利か激論を交わしたが、現存のa-Si TFTラインとの整合性が良い事、LTPS技術特有に必要な設備を追加するだけの投資でライン変更がa-SiからLTPSに容易に出来る事、マスク枚数もTG構造に比べて1枚少なくして済み生産効率が高い事を理由に、協業のコア技術としてBG構造TFTを採用した。

1995年10月1日に低温ポリシリコン液晶事業の協業締結の合意が為され、PJのメンバー40名全員が事業部に転籍し、ソニーとの協働がスタートした。ソニーからも約10名の技術者が開発メンバーとして加わり、岐阜工場に常駐する体制を作ってきた。

その年の12月に米国のボストンで開催されたIEDM(International Electron Device Meeting)国際学会に於いて全プロセスをドライ化で形成したPoly-Si TFT LCDに関する論文を我々のこれまでの開発成果として発表した¹⁾。

協働で開発したビデオカメラのモニター用途向け2.5型18万画素フルカラーLTPS TFT LCDパネルを量産品1号として1996年9月に世界で初めてリリースした。このパネルをモニターに搭載したビデオカメラ(DVC)がJVC社から発売された。JVCは秋のエレクトロニクスショーの展示会にこのDVCを出展し、好評を得た。

LTPS TFT LCDパネルの量産に当たって初期にクローズアップされた問題は縦あるいは横に現れる筋斑不

良であった。通常の LTPS TFT LCD パネルでは、画素アレイの周辺に、垂直ドライバー回路や水平ドライバー回路を配置している。これらの周辺回路はレーザー走査方向に対してソース・ドレインが垂直に配置された TFT を含む回路構成になっている。

この配置では ELA の際に矩形状レーザービーム(LB, Laser Beam)を TFT のチャンネル幅方向に走査する事になり、LB ショットを重ね合わせた形で Poly-Si 化が起こることになる。走査中にミスショットや極端なエネルギー変動が起こった場合、チャンネル幅の一部の領域は微結晶化した Poly-Si が形成され、ソース・ドレイン領域までその微結晶 Poly-Si が跨ぐ事になる。これが TFT の特性の劣化を招く原因になっている。

通常の回路配置で設計されたパネルの水平ドライバー回路内のスイッチング TFT のオン電流のパネル内分布を調べると、異常に小さい電流値を示す TFT が頻発に、且つランダムに存在することが分かった。またこのオン電流のばらつきは最大 35% にまで達している。この様に劣化した TFT が周辺回路内に埋め込まれると液晶の画像表示では斑、今回は縦筋斑として検知される。この筋斑不良を撲滅する為には、ELA での LB の出力の安定性を高めることが第一であるが、電源の安定化や LB のエネルギーの安定性を向上させることはそう容易ではない。量産当初はこの筋斑不良の問題が解決できていなかったため、生産歩留は極めて低かった。

そこで考案したのが、LB の走査方向に対して 45° に傾斜配置した TFT を故意に周辺回路に作り込むことであつた。このアイデアの採用で 60% を超えるまでの大幅な歩留改善が見込めた。結果として LTPS TFT LCD が事業として成り立つとの確信を得た。

その成果を 1997 年にカナダのトロントで開催された IDRC(International Device Research Conference) で発表し高い評価を得た²⁾。

然しこれはどんな回路配置にも使える訳では無く、レイアウト設計に工夫が要るのが欠点である。

この斑解決に関連した多くの特許登録で 2004 年 12 月に平成 16 年度近畿地方発明表彰「発明協会支部長賞」を受賞した。

1997 年には LB エネルギーの安定性を見違えるほど向上させ、またミスショットの確率を極端に低減させた ELA 装置がリリースされた。この装置のお陰で最早筋斑不良に悩まされることは無くなった。

量産に入って暫く経った後、BG TFT に特有の斑が発生した。筋斑ほどでないが、注意深く検査すると分かる。セットメーカー側の受入基準が厳しくなりクレームが付いて来た。この斑もやはり TFT の Vth シフトに起因していた。この斑を黴斑と名付けた。この Vth シフトは初期からのものでは無く、時間経過後に徐々に顕在化されること

が分った。BG 構造では TFT のバック・チャンネルは層間絶縁膜として形成した PECVD SiN(Silicon Nitride)膜で直接に被覆されている。V-T(Voltage-Time)ストレス・テストの動作中にフローティング・ゲートとして働いた SiN 絶縁膜中に電荷の蓄積が起こり、その結果 Vth シフトを起こす要因になっていた。そこで SiN 膜上に TFT のバックチャンネル領域までドレイン配線を延伸させ覆うデバイス構造にして Vth シフトを最小に抑え、黴斑不良対策を取った。

3) アクティブ型有機 EL ディスプレイの事始め

私は以前からこれまでの液晶ディスプレイ事業がスケールメリットを生かしたコスト競争力を高める戦略に偏り過ぎ、ガラス基板の拡大を図る投資競争に嵌まっていくことにどれだけの企業が就いて行けるのか疑問に思い、その必然性に危機感を感じていた。

1997 年には三洋電機の岐阜の LCD 工場での生産性および歩留も向上していたので、LTPS 事業は採算を見込めるまで成長していた。それと同じく LTPS TFT LCD パネルの認知度も飛躍的に向上し、DVC や DSC のモニターとして確固たる地歩を固めるまでに市場は拡大していった。

これまでの事業で培ってきた技術やインフラ資産を将来も有効に活用できる有望な次世代ディスプレイ事業は何かを今の内に模索しておかなければ a-Si TFT LCD 事業の二の舞になるとの恐怖感が生まれ、フルカラー・アクティブマトリックス有機 EL ディスプレイ(AMOLED, Active Matrix Organic Light Emitting Diode)の検討に真剣に取り組む様になったのも、低温ポリシリコン液晶事業の成功が追い風に有ったからである。

丁度その年に有機 EL の材料を開発している枚方の研究所のグループから有機 EL ディスプレイの事業化の可能性について打診を受け、試作品を見に研究所を訪れた。夕闇どきであつた上に、窓のブラインドが閉されていたせいもあつたのか、展示されていた時計表示のパッシブ型有機 EL ディスプレイ(Passive-Matrix OLED, PMOLED)が輝いて見えた。光っている緑色と青色の表示パネルを一見して、以前青色 LED の開発を手掛けていた時に四苦八苦したが思うような輝度の青色発光が作れなかった事を思い浮かべて、この程度の明るさの青色発光が研究所の試作レベルでも得られるなら、実用化への道は必ず通ずると直感した。

研究所のメンバーと技術面で勿論熱論を戦わせた後、事業化の話に移った。話題の中心は特許が障害になっていることであつた。LTPS LCD の事業化に於いても特許で大いに悩まされていたので、これは厄介な事になるかもしれないと云う気持ちが先に走った。そうは思っても事業化する上で特許問題は避けて通れないので、

早いうちに解決しておくことが急務との認識から、有機 EL の基本特許を所有している EASTMAN KODAK 社とまずは特許ライセンスの話をする機会を作る必要があるとの共通した認識に立った。

研究所からも何度も KODAK へ特許許諾の話を持ちかけたが良い返事が貰えていないと嘆いていた。研究所とは違った立場で事業部が真剣に話を持ちかけると、先方の受け止め方も変わるものと信じて、KODAK の本社があるニューヨーク州ロチェスターに飛び、ライセンス交渉を申し入れた。

最初の印象は有機 EL の事業化に対する KODAK 側の感触は極めて消極的であった。ライセンス許諾の話はこちら側が積極的に持ちかけても明確な答えは無かった。暫く間を置いて、KODAK から「三洋電機の有機 EL に対するビジネスモデルを聞きたい」と訊ねられたので、現在我々は LTPS 技術を用いた液晶事業を積極的に展開している。また世界初の量産技術を立ち上げたリーダーであると自負している。LTPS TFT は a-Si TFT よりも桁違いに移動度が高いので、AMOLED ディスプレイの駆動には向いている。この BP 技術を AMOLED に展開出来るのは、今は我々しかいない。この優位な立場を利用して、早期に AMOLED の事業化を図りたい。

説得した甲斐が有ったのか、翌年 1998 年の年が明けて早いうちに、KODAK から三洋電機の岐阜工場を訪問したい旨の連絡が急遽私に入った。これが本格的なライセンス交渉の始まりであった。

1997 年はアジアに金融危機の嵐が吹いた年で、韓国は大打撃を被り IMF から多額の融資を受けて、国として何とか再生する厳しい経済環境に直面していたし、KODAK も又ロシア、中国へのこれまでの積極的な投資が裏目に出て、大リストラを敢行しなければならない事態に追い込まれていた。そんな訳で、その当時は新規事業への投資に消極的で慎重に為らざるを得なかったと後になって KODAK の幹部から訊いた。

会議の回を重ねるにつれて、有機 EL 事業を共同で立ち上げたいとの思いが双方に芽生えてきた。この思いは一旦大きく膨らみかけたが、KODAK のトップから時期尚早との判断が下され、再度議論を詰めた。まずは事業化を睨んだ共同開発に的を絞り込んだ契約を進めることに合意し、AMOLED の共同開発、JD(Joint Development) Program を始動させる協業契約を 1999 年 2 月に東京で締結した。日本の FPD 業界に関係するマスコミ各社はこの協業に意外性と驚きを持って受け止め、興味を持って見守る記事を掲載した。

JD program での開発技術の分担としては、KODAK が材料を主体とした有機 EL 技術を担当し、三洋が有機材料開発の分野で補強することに為っていた。一方 OLED 駆動に最適な LTPS TFT の開発は三

洋電機が担当し、TFT 基板としての BP を KODAK に提供する契約になっていた。

まず手始めに、DSC 向けの 2.4 型 QVGA フルカラー AMOLED ディスプレイを開発品に選定した。唾・呷の呼吸で、それに適した BP の設計を契約交渉の直前から開始したこともあって、このパネルの試作品を JD 契約締結後僅か 3 ヶ月の短期間で仕上げた。

その成果を 1999 年 6 月に開催された SID(Society for Information Display)国際学会に KODAK と三洋電機が共同で発表し、デモ展示も Author Interview で行った³⁾。聴衆から万雷の喝采を受けたと聞いている。その年の秋に幕張で開催された CEATEC Japan の三洋ブースでも展示し、好い反響を得た。

翌年の 2000 年の CEATEC Japan には、前年よりもインパクトを与え得る開発品を展示しようとの思いから、5.5 型に画面を拡大したデモ品を出展し、次世代ディスプレイとしての有機 EL の地盤を確かなものにした。TV のニュース番組の WBS(World Business Satellite News)でも放映され、将来の壁掛けテレビに繋がる第一歩として高い評価を得た。

4) AMOLED ディスプレイに纏わる斑不良

JD Program を開始した当初の試作品の画像表示ではそれほど気に為らなかった斑の問題が、ある時期から非常に気になり出した。原因は何かを調べると、KODAK では以前より遥かに量子効率の良いドーパント材料を開発し、その材料を使って OLED デバイスの作製を開始していた事が分かった。駆動電圧の低電圧化だけでなく、量子効率の向上によって輝度や寿命も向上している筈との返事が返ってきた。調べてみると最新の材料を使った OLED デバイスは確かに少ない駆動電流で高い輝度が得られていた。つまり旧来の OLED デバイスに比べて、鋭い電流-電圧、電流-輝度特性を持つ著しい改善がなされていた。その為量子効率の向上が図られているパネルに限って、斑発生の問題が顕在化していた。斑が壁に付いたシミの様に見えることからシミ斑と名付けて、原因究明を急いだ。

図 1 はシミ斑があると見える A-B 断面および C-D 断面での暗い所と明るい所との TFT の閾値(V_{th})の変化を示したものである。明るい所は閾値が平均値より小さく、暗い所は平均値より大きい値を示していた。A-B 断面および C-D 断面の明暗の境界領域での V_{th} の変化はそれぞれ僅か 0.06V および 0.08V 程度である。この程度の V_{th} の変化が LCD ディスプレイの場合に例え存在したとしても斑としては顕在化されはしないが、OLED ディスプレイでは明らかにシミ斑として視認され、判別できる。これは OLED が電流駆動型デバイスであり、電流値の増減に対して線形に輝度変化が対応して

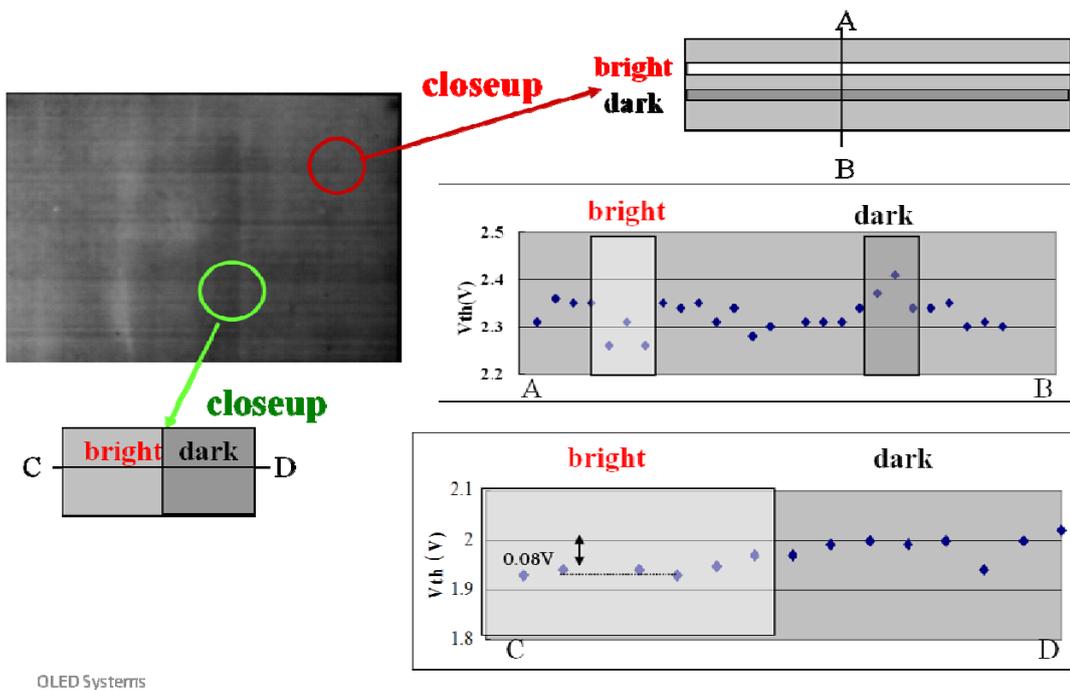


図1 AMOLED ディスプレイに於ける TFT の閾値と斑との関係

いる為である。図中に示す様に OLED に使われている C-D 断面の TFT の V_{th} の平均値は 2.00V で、ばらつき (ΔV_{th}) の最大値を 0.08V とすると、ばらつきは 4.0% となる。

このばらつきの値は Si ウエハ上に作製した MOS FET(Field Effective Transistor)の ΔV_{th} と同等レベルでの制御を要求している事になる。このばらつきレベルを Poly-Si TFT で制御することは至難の技である。それは Poly-Si の物性値は単結晶 Si に比べて本質的にばらついているものであるから、TFT 性能のばらつきを極小化する為に Poly-Si 膜の均質化に多大な努力を払



図2 世界初の 2.16 型 AMOLED パネルを搭載した KODAK ブランド DSC (EasyShore LS633)

ったとしても、単結晶 Si の性能には到底追いつかないからである。従って LTPS のプロセスやデバイスの改善に頼るだけでは無く、ばらつきは本来有るものとして、回路等の新たな工夫を組み込む手法を編み出す必要性を痛感した。そこで駆動回路を工夫し、ばらつきを制御する良い方法は無いかと検討を行ったが、量産開始時期までには間に合わず、ばらつき補正回路を何ら組み込まないでパネル量産を開始し、2003 年 3 月に図

2 の 2.16 型 13 万画素フルカラー AMOLED ディスプレイパネルをモニターに採用した KODAK の DSC、EasyShare LS633 を欧州・台湾地区向けに限定発売した。

この限定販売は生産に係るものではなく、特許に係わる配慮からであった。2001 年 12 月に三洋電機と KODAK の両社で設立した OLED パネル製造合弁会社の SK ディスプレイ社が世界で初めて AMOLED ディスプレイを実用化し、量産に乗り出したのである。然しながら SK ディスプレイのパネル生産歩留はシミ斑不良の問題が未解決で有った為、想定内の低歩留であった。その時の日経マイクロデバイス誌にこの量産開始の記事が「嵐の中の船出」との題で掲載され、手厳しい論評を頂いた。

(7月号につづく)

参考文献

- 1) Y. Morimoto et al, IEDM 95-837(1995), pp3351.
- 2) K. Yoneda et al, Proc. of the 17th IDRC, L-1(1997).
- 3) G. Rajeswaran et al, SID00 Digest, pp974(2000).