

## 有機 EL ディスプレイ事始め(後編)

工学博士 米田 清 (元三洋電機株)



## ＜前編 [74号 2012年1月]のあらすじ＞

三洋電機はソニーと協働で DVC のモニター用途向けの LTPS LCD パネルの生産を 1996 年 9 月に世界に先駆けて開始した。量産の初期にクローズアップされた問題は ELA 技術に起因する画質での筋斑不良であったが、TFT の配置を垂直から 45° の傾斜配置にした事で、筋斑不良の大幅な改善が出来、歩留の向上も図れた。

そこで、このバックプレーン(BP)技術を AMOLED にも使い、2003 年 3 月に SK ディスプレイは DSC 用途向け AMOLED パネルの世界初の量産を行った。処が、量産では筋斑不良とは異なるシミ斑不良により画質が損なわれる問題に遭遇した。シミ斑の誘発は TFT の閾値( $V_{th}$ )のばらつき( $\Delta V_{th}$ )に起因し、このばらつきを制御するレベルは LSI 並みの  $V_{th}$  の 4.0%以下に抑える必要が出て来た。

LTPS TFT の特性は Poly-Si に係る粒径や均質性、更には粒界でのトラップ密度等の要素によって支配されているので、Poly-Si 膜を用いて均質な TFT を作製することは Si ウエハ上に比べて遥かに難しい。従って特性のばらつきは本来有るものとして認め、LTPS TFT を如何に使いこなすかで、AMOLED ディスプレイの実用化が決まる。その一例として、TFT の  $V_{th}$  のばらつき( $\Delta V_{th}$ )を補正する回路を画素内に埋め込む閾値補正回路や TFT の電流値のばらつきを補正する回路が提案された<sup>4)</sup>。これらの回路を画素内に埋め込む場合には、AMOLED を駆動する画素基本回路であるアドレス用の選択 TFT(T)と OLED の駆動用の TFT(T)および電位固定用の補助容量(C)からなる 2T+1C 構成に比べると、TFT の数は 4~5 個に増加し、それに伴いバスライン配線も増加した複雑な回路を画素内に組み込むことになる。その結果、画素領域内は TFT と配線で殆ど占有されることになる。

出射光を TFT アレイ配置側に取り出す Bottom Emitter(BE)構造では、輝度と寿命を同時に満足させるには十分な開口率(AR, Aperture Ratio)が必要だが、それが難しくなる。これに対して TFT アレイ配置と対抗した側に射出光を取り出す Top Emitter(TE)構造は AR 依存性を持たない。従って、例え複雑な画素回路を採用したとしても略 100%の AR の確保が可能となるので、輝度と寿命とを同時に満足させ

ることが比較的容易にできる。しかし、OLED デバイスの陰極側に光を出射させる為には、半透過性金属電極を形成する工程と BE 構造とは異なる封止工程等の新たなプロセスが必要とされる。これらのプロセス技術の開発を完成させたグループのみが TE 構造デバイスを採用することができる。その当時はサムスン 1 社だけがこれらの技術開発に積極的な姿勢を示していたが、それでもまだ完成の域には達していなかった。

当時の我々の開発状況も同程度であったので、2T+1C の画素基本回路を採用することが出来る BE 構造に拘り、補正回路を画素内に組み込む検討よりもむしろ、TFT の特性ばらつきを外部回路で補正する off pixel compensation 方法の開発に力を注いだ。

KODAK との JD Program の顕著な成果が追い風となり、三洋電機・KODAK の両者間で有機 EL ディスプレイを事業として積極的に展開する機運が高まり、2001 年 12 月に三洋電機岐阜事業所内に有機 EL ディスプレイパネルの製造合弁会社であるエス・ケイ・ディスプレイ(株)(SK ディスプレイ)を設立した。JD で開発してきた TFT のばらつき補正技術はこの会社に引き継がれた。

私は 2003 年 9 月に三洋電機を早期退職し、その年の 11 月に(財)山形県産業技術振興機構有機エレクトロニクス研究所に副所長として入所することになった。ここでは有機 EL 照明関係の新たな研究開発の仕事に携わることになった。

翌年 2004 年の初めに三洋電機グループの液晶事業とエプソン社の液晶事業を統合するとことで両社が合意し、10 月に合弁会社三洋・エプソンイメージングデバイス(株)が発足した。丁度その年の 10 月 23 日に新潟県中越地方の小千谷市の地下 13km を震源とするマグニチュード 6.8、震度 7 の中越大地震が発生した。小千谷市にあった三洋電機の半導体子会社の新潟三洋電子(株)は震度 7 の地震に襲われ、甚大な被害を被った。復旧は殆ど無理では無いかと云われたが、僅か半年の短期間で復旧を成し遂げた。マスコミからもその努力に大いなる喝采が送られた。然しながらこの震災での被災が引き金になったと云われているが、三洋電機グループは 3000 億円の債務超過に陥り、破綻寸前まで追い詰められ、銀行・投資ファンドの支援により、何とか破綻は免れたが事業の選択と集中による財務体質の早期改善が急がれた。液晶事業は売却、完全撤退を

余儀なくさせられた。

2006年12月には岐阜のG1(ガラス基板サイズ300x400mm<sup>2</sup>)のLTPS工場だけでなく、鳥取三洋電機(株)のG3(ガラス基板サイズ550x670mm<sup>2</sup>)のa-Si TFT LCDとLTPS TFT LCDの兼用工場、更にはG3.5(ガラス基板サイズ680x880mm<sup>2</sup>)のa-Si TFT LCD工場までもがエプソンの完全子会社のエプソン・イメージングデバイス(株)に移管された。KODAKとしてはLTPS BP製造工場を持たない三洋電機とAMOLEDで協業を継続して行く意味は最早無いと判断し、2006年1月に双方の合意の元で合弁会社SKディスプレイを解散した。

### 5. GMCによるTFT特性のばらつき補正

TFT特性のばらつき補正技術は幸いにもKODAKのOLEDシステムズ事業部に戻され、GMC(Global Mura Compensation)と名付けて開発は継続されていた。2007年にLPL社(LG PHILIPS LCD)、現LGD(LG Display)と共同でこの技術を組み込んだワン・チップLSIを開発した。そのLSIを搭載した3型QVGA 24万画素フルカラーOLEDパネルを完成させ<sup>⑥</sup>、LPLに技術移転した。翌年の2008年には、LPLからこの3型OLEDパネルのOEM供給を受け、GMCを内蔵したシステムを搭載したワンセグTVをKODAKブランド・加賀電子社製として、KODAKの日本国内総販売代理店である加賀電子の販売ルートを使って販売を行った<sup>⑥</sup>。また、GMCのメモリ容量アップし画素数のスケールアップにも対応出来るパネルの開発を目指し、台湾のCMEL(Chi-Mei EL)と協働で8型VGA 白色OLED+カラーフィルタ方式のフルカラーOLEDディスプレイを開発した。このパネルを採用したKODAKブランドのフォトフレームを2008年のFPD Internationalをはじめとする日米欧の各展示会に出展し、好評を得た。

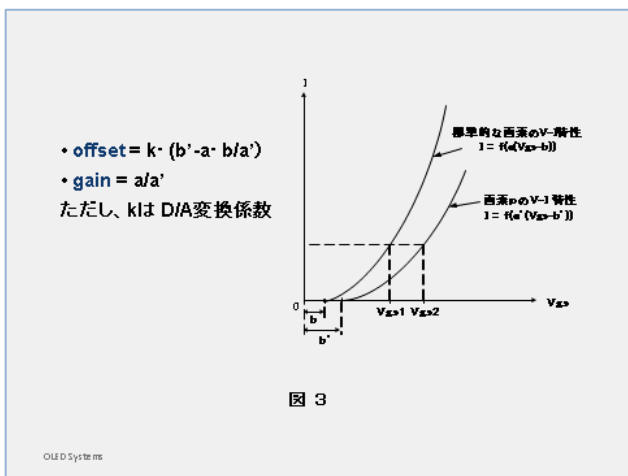


図3 poly-Si TFTのばらつきと補正係数

GMCの基本的な考え方は図3に示す様に標準的な画素TFTのV-I特性と各々の画素のOLED駆動用TFTのV-I特性を比較し、標準的な画素TFTのV-I特性のVgs1と対照している全ての画素のOLED駆動用TFTのV-I特性のVgs2との差を測定し、さらに立ち上がり電圧bおよびb'を予め測定し、offsetおよびgainを求め、補正係数を導き出している。

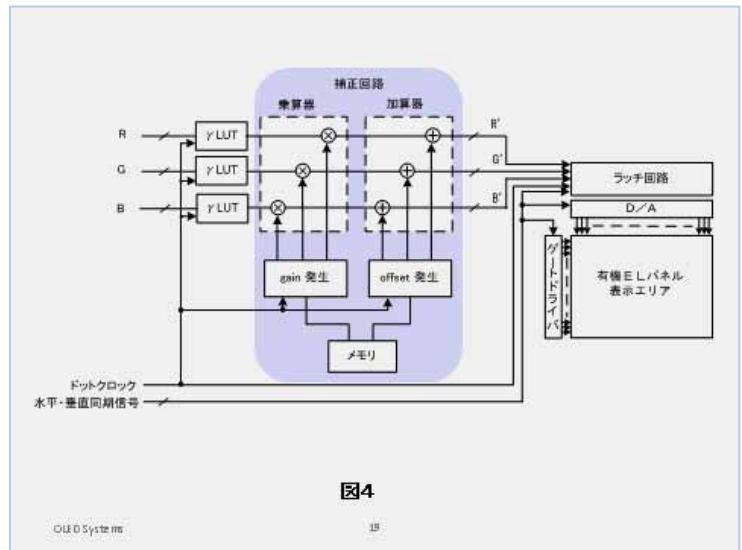


図4 GMC補正回路ブロック図

図4に示す様にワン・チップ化された補正回路のメモリにデータをストアさせておき、特性のばらつきを補正している。

図5は4型QVGA AMOLEDディスプレイの低輝度時にシミ斑が視認できるパネルの補正前後の画質を比較した例である。補正後には完璧にシミ斑は消失し、高品質な画面が得られている。このことはGMCが効果的に働いていることを意味している。GMCの最大の欠点はパネルの精細度が高くなると、例えば画素数がQVGAからVGAさらにはXGAに上がるに従って、それに見合ったフラッシュ・メモリの容量の増大を必要とすることと、ディスプレイの駆動に使っている全ての画素のOLED駆動用TFTのV-I特性を予め読み込ませる為に所定の時間を必要することである。この読み込みは、量産品ではパネルの出荷前に行なわれることになる。LSIチップのコストは殆どフラッシュ・メモリのコストで決まる。フラッシュ・メモリのコストは年々急激な下落が見込まれるので、将来的には十分なコスト対応力を持つものになると信じている。

2008年5月にディスプレイで有名な国際学会SID(Society For Information Display)から私はLTPS技術をベースにしたAMOLEDディスプレイの実用化に多大な貢献をしたとの理由で「Special Recognition Award」賞を有難くも戴いた。この授賞はこれまでに苦楽を共にし、粘り強く頑張りぬいてくれた関係各位のお陰と感謝している。

2008年の10月に米国で不動産バブルが弾け、米国の大

手証券会社のリーマン・ブラザーズ社が倒産する羽目に陥ったリーマン・ショックは世界を震撼させた。KODAK もこのリーマン・ショックの煽りを受けた。

2009年12月には早期事業化を見込めない有機EL事業からは撤退し、それと同時にこれまでに蓄積してきた全てのOLED技術に関連する特許を売却する方針が下され、2010年2月に全ての事務処理を完了し、特許はLGグループに売却された。嘗てKODAKで長年研究活動に従事してきた米国内および外の多くの技術者達は散り散りばらばらになり、最早KODAKには有機ELの跡形も無くなってしまった。

これまでに蓄積してきた膨大なOLEDの技術とそれに係るBPの技術遺産を誰がどの様に活用するかが今後の命題である。

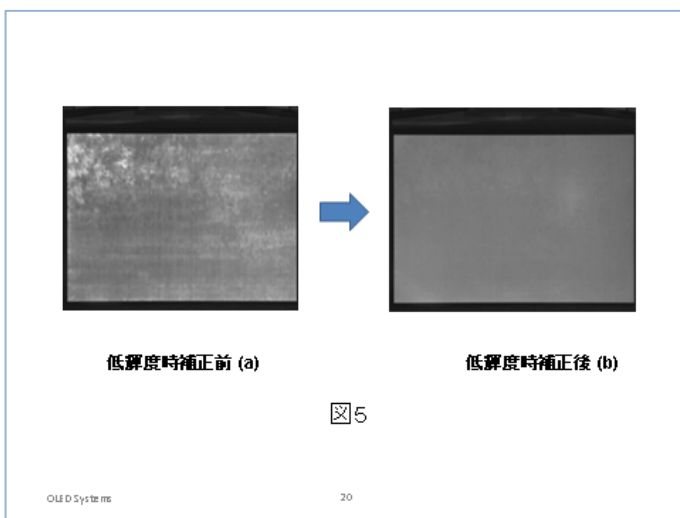


図5 GMCによる補正前後の画質比較;低輝度時の補正前画質(a)と補正後画質(b)

## 6. アクティブ型有機ELディスプレイの将来像

PMOLEDディスプレイは1998年に東北パイオニアが世界初の量産を開始して以来、携帯電話のサブディスプレイやMP3プレイヤーの表示に採用されて来た。しかしPMOLEDの価格はLCDの価格下落に引っ張られて下落し、現在では事業として存続するには極めて厳しい環境の下に晒されている。

SKディスプレイは2003年にDSC用途向けAMOLEDパネルの量産に世界で初めて名乗りを上げたが、この時の販売は台湾・欧州と限定的であった。

その後すぐ、ソニーもPDA用途向けAMOLEDパネルの量産に乗り出したが1年程で生産を中止してしまっただ。2007年には改めて11型AMOLEDを搭載した有機ELTVの発売を開始し、好評を得ていたが、それも2009年にはコンシューマ向けは止む無く生産を中止し、医療等の特殊な用途向けの限られた市場にのみ供給を継続している。

サムソンSDI社は2007年に自社開発した2.4型AMOLEDパネルを京セラ社の携帯電話のメインディスプレイに採用されたのを契機に本格的な量産体制を整えた。その後2009年にサムソン電子社は自社の中・小型LCD事業とサムソンSDIの有機EL事業を取り込みサムスン・モバイル・ディスプレイ社(SMD)を設立した。AMOLEDパネルの生産をサムソンSDIから引き継ぎ、現在では世界のトップメーカーとして君臨している。

これまでに量産を試みたパネルメーカーでも技術レベルの未熟さ故にやむなく量産を中止する企業やはたまた開発だけ行って撤退する企業が近年日本国内で多々出始めた。そのお陰で日本のOLEDの生産や開発に関わる既存の設備は中古装置メーカーの手を渡って、中国に転売され、再活用されだしている。その煽りを受けて数少ない優秀な日本の有機EL技術者達でさえリストラの対象になり、OLEDの仕事の続けたいと願うなら海外に活路を見出さざるを得ず、技術の海外流出が加速しているのは悩ましい事である。

それでも昨年からのブームに乗ったスマートフォンの爆発的な普及と電子ブックの市場の予想外の立ち上がりの好調さが追い風となり、また又中・小型ディスプレイ市場が活況を呈して来ている。この勢いに乗って、SMDが2010年にG5.5のハーフサイズ基板を使ったAMOLEDラインを立ち上げたとし、2012年にはG6のフルサイズ基板を使うAMOLEDラインの立ち上げを計画している。一方LGDもG5.5あるいはG6のAMOLEDラインの建設を前向きに検討している。これら韓国勢に対して、遅まきながら、日本でも2011年の今年にソニー、東芝、日立の3社が連合し、Apple社向けのLCDパネル供給を狙い、将来は有機ELパネルの製造を睨んだFPDパネル製造合弁会社であるジャパン・ディスプレイ(GP)社を設立し始動出した。この会社の今後の動向が日本のFPDの行く末を担っていると云えるが、ただ不安な事はApple頼みのところが強く、Appleがこけると皆こけたにことになりかねないことである。

スマートフォンやタブレットPCに求められるディスプレイの仕様は以前とは大幅に異なり、タッチパネルの搭載が必須である。それ故、LCDに比べ応答速度の速いAMOLEDにより人気が集まっている。またタッチパネルのイン・セル化でも、AMOLEDパネルはLCDパネルよりも優位性を発揮できる。タッチパネルをイン・セル化したAMOLEDパネルは、LCDパネルに比べて薄型化が可能で、その上にトータルコストでLCDよりも安価に抑えられる事から、LCDとのパネルのコスト差が縮まっており、これまで程の差は無くなりつつある。従ってAMOLEDパネルを採用する傾向が高まってきている事で、キラーアプリが見当たらないと永年云われて来たAMOLEDディスプレイもキラーアプリの鉤脈を漸く探り当てた感がある。

しかし将来に於いても尚 LCD よりも優位な立場に立ち続ける為には残された課題はまだ多い。その一つは BP に関する問題である。斑不良が招く画質の劣化は殆ど BP の TFT 特性のばらつきに依存し、それが歩留の低下をも齎していることは事実明らかである。それでも LTPS 開発技術者の仲間内ではその現実をすぐさま信じ、認めようとはしない。それは同じ工場生産している LTPS LCD パネルでは高歩留生産が出来ているからである。LCD パネルでは斑不良と全く判定できないものが、OLED パネルでは明らかに斑が視認でき、不良と判定され弾かれる。同じ用途のディスプレイパネルであっても LCD と AMOLED では必要とされる TFT の性能が異なる。LCD は電圧駆動型デバイスであり、方や OLED は電流駆動型デバイスであるが故に輝度に敏感に反応する。その為 LCD よりもより厳しい条件でデバイス性能を制御しなければならない。OLED に用いる TFT の  $\Delta V_{th}$  の制御を 4.0% 程度まで抑え込んで尚不十分である。プロセスからの改善に頼るだけで無く、これまでに画素内補正回路や外部補正回路で見掛け上補正する技術を開発してきたが、もっとソフト対応等を施したスマートな工夫も組み込んだ対応が不可欠である。

最近では、スマートフォン用途向け 4 型クラスのディスプレイには 300ppi を超える高精細度仕様が求められている。この様に高精細度仕様になると例え TE 構造を採用したとしても、画素サイズが縮小され、画素内に複雑な補正回路を埋め込もうとすると高い微細加工レベルを必要とされ、その為の制約も加わる。それに対して GMC の様に外部回路での工夫は画素サイズに囚われる事無く使えるので 300ppi 以上の高精細度仕様にも微細加工等の制約を受けずに十分に対応できる。

近年、フレキシブルディスプレイや大型 TV への欲求も高まりつつある。LTPS BP の置き代えとしての酸化半導体である IGZO (InGaZnOxide) TFT や有機 (Organic) TFT の研究が活発に行われている。最近、シャープが IGZO TFT を BP に使った大型 LCD TV の量産に成功した。IGZO TFT や OTFT を AMOLED の BP に使う場合、BP の大型化は LTPS に比べ比較的容易だが、LTPS BP で経験したばらつき制御の問題はここでも避けては通れない。LTPS に勝るとも劣らないばらつき制御が IGZO TFT や OTFT でもはたして可能か如何かが実用化の鍵を握っている。LCD で使用可能になったからと云って、必ずしも AMOLED で使用できるとは限らない。LTPS は量産が開始されて以来、15 年の歴史を背負って来ている。IGZO TFT や OTFT が実用化され完成の域に達するまで必要な歴史の長さを何処まで短縮できるか興味深いものがある。

## 7. おわりに

AMLCD や AMOLED ディスプレイを量産する上で問題となったのは、ディスプレイそのものを動かすのに必要な BP をどの様な方法で作らねばならぬかであった。我々は ELA-LTPS TFT を BP 技術として選択し、それを用いて AMLCD 更には AMOLED ディスプレイの実用化に力を注いできた。然しながら適用用途によってディスプレイの要求は変わり、それと同時に BP の仕様も自ずと違って行くことが分かった。

将来に亘っても LTPS BP 技術を用いた中・小型ディスプレイ市場は大なる成長を見込めるにも拘らず、今の日本の FPD 業界の活気の無さを見るとまだまだ低迷状態からは脱出できないだろう。長年リーダーシップを取って来た分野であるにも拘らず、実用化に漕ぎ着くまでにすでに日本の企業は息切れしている。昨今の韓国、台湾の台頭は無論のこと、中国も FPD 事業に積極的な姿勢で立ち回っている。永年日本で育てられた独創的な FPD 技術をごっそり持ち去られ、後はペンペン草しか残らなくなってしまうのでは無いかと日本の FPD 業界の今後を占うと悲痛である。早急に活路を見出す必要がある。その手始めが JD であり、台湾の EMS メーカーの鴻海精密工業に資本参加を仰ぎ、手を組んだシャープの行く末、ソニーとパナソニックが技術提携し、AUO を抱え込んだ大型 AMOLED TV 戦略の今後の動向が日本の FPD 業界の再生につながるか如何は見逃せない。

2011 年 3 月 11 日 (金) 14 時 46 分に発生した宮城県牡鹿半島沖海底 130Km を震源地とするマグニチュード 9.0、震度 7 の東日本大震災とそれに続く 8~9m の大津波で根こそぎ持っていかれた大惨状を TV ニュースの記録映像で見る毎に、熾烈な競争の中にある日本 FPD 業界と罹災し荒廃した東北地方の姿が 2 重に写しに焼きつけられる。今後の日本の FPD 業界再生への道程は東日本大震災の復旧・復興と同じくらい険しいものになるかも知れぬと思うと眠れない。

## 参考文献

- 4) T. Sasaoka et al, SID01 Digest, pp384(2000).
- 5) T. Tsujimura et al, SID07 Digest, pp84(2007).
- 6) 米田 清、「2008 FPD 故障解析分析技術大全 第 1 篇 第 3 章 有機 EL の故障解析分析技術の現状と動向」  
電子ジャーナル出版(2008)