有機 EL ディスプレイの大型化

辻 村 隆 俊*

1. はじめに

有機 EL は1987年に現在用いられている素子の原型となる多層構成素子が Tang and VanSlyke らによって提唱されて以来、高効率化、長寿命化に重点をおいて開発が進められ、市場においても携帯電話のサブもしくはメイン画面、デジタルカメラのビューワー等の小型ディスプレイに用いられ始めている。しかし、有機 EL デバイスの特徴である高コントラスト、短い応答速度、広視野角といった点を考えると、実はテレビに非常に向いた特性を持っている事が判る。

現実にはデジタル放送の時代を睨んで、有機 EL ディスプレイをポータブルビューワーとして用いようという動きもさかんになってきている。

一方、テレビの市場調査結果を調べてみると、世の中で売られているテレビのほとんどが20インチ以上である事が判る。テレビにはサイズというパラメータが非常に重要であり、有機 EL の大型化が実現されれば、大きな市場に参入できる可能性がある。

ところが、有機 EL 技術を大型テレビとしてスケールアップするには大きな課題が存在する。それはアクティブマトリクス駆動用バックプレーンが今のところ単結晶シリコン⁽¹⁾⁽²⁾とポリシリコン⁽³⁾⁽⁴⁾に限られているために、ディスプレイサイズが大きく出来ないという問題である。

有機 EL の優れた表示特性を生かした大型テレビを実現するには、従来サイズ上での制約となっていたバックプレーンに新技術を持ち込む必要がある。Tsujimura らは複数の新開発技術を組み合わせる事により、輝度、寿命、分布等あらゆる観点よりアモルファスシリコン TFT が大画面有機 EL ディスプレイを駆動できる事を発表⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾、SID2003 において世界最大の20.0インチ有機 EL ディスプレイを展示し、有機 EL がテレビとして非常に優れた能力を持つことを示した。有機 EL は液晶ディスプレイと比較して、原理的に非常に少ない部材で作成する事ができることから、生産インフラの成熟とともに大幅なコスト低下が可能となる可能性があり、アモ

ルファスシリコン TFT による大型ディスプレイの駆動が可能となれば、将来テレビ技術の主流となる可能性がある。

次に今までなぜアモルファスシリコン駆動が不可能とされてきたのかをまとめてみる。この理由は大きく分けて2つに分類される。

(1) アモルファスシリコンはモビリティが $0.4 \sim 0.6 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 程度と、ポリシリコンのモビリティ (>100 以上 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) に比べて $1/100$ 以下である為に、有機 EL 素子に十分なオン電流を供給できない。

(2) アモルファスシリコン TFT は電流を流した時に大きな特性変動を起こすので、時間と共に電流を流せなくなる。

アモルファスシリコン駆動を実現する為には、この「不可能」とされてきた根拠を覆す工夫が必要となる。

(1)の問題を解決する為には、数倍の TFT 電流改善、もしくは有機 EL デバイスの効率改善が不可欠である。アモルファスシリコンの改良だけでモビリティを数倍上昇させる事は不可能であるので、いくつかの手法を組み合わせで設計ウィンドウを満たすような改善を加える必要がある。

(2)の問題を解決するに数ボルト動く TFT の閾値電圧による輝度変化を人間が視認できないレベルにまで削減する必要がある。やはりこれもいくつかの手法を組み合わせで初めて可能となる。いくつかの技術の組み合わせで TFT の閾値変動を視認されないレベルにまで抑えられるので、アモルファスシリコンの特性変動問題は解決可能である。

この2点を解決する事でアモルファスシリコン駆動の有機 EL が実現可能となる。

2. TFT オン電流問題の克服

(1) TFT オン電流の設計上制約について

有機 EL は電流駆動デバイスであるから、テレビで必要とされる $450 \text{ cd}/\text{m}^2 \sim 500 \text{ cd}/\text{m}^2$ 程度の明るい大型ディスプレイを実現する為には大電流が必要になる。

サブピクセルサイズを a 、最大輝度を L_{MAX} とした時、必要な画素あたりの電流は以下の式のようにになる。

* コダック株式会社 ディレクター (〒222-0033 横浜市港北区新横浜3-20-12)
Large-area Organic Light Emitting Diode Display; Takatoshi Tsujimura (Kodak Japan, Yokohama)
Keywords: organic light emitting diode, amorphous silicon, thin film transistor, threshold voltage, mobility, instability
2004年6月17日受理

$$I_{\text{pixel}} = 9a^2 L_{\text{MAX}} / \eta \quad (1)$$

(L_{MAX} : ディスプレイの最大輝度, I_{pixel} : 有機 EL ダイオードを流れる最大電流値, η : 有機 EL ダイオードの電流効率, a : 画素ピッチ)

あるドレイン電圧におけるドライバ TFT の最大電流は次のように表される。

$$I_{\text{pixel}} = W\mu C_{\text{OX}}(V_{\text{GS}} - V_{\text{TH}})^2 / (2L) \quad (2)$$

(W : ドライバ TFT のチャンネル幅, L : ドライバ TFT のチャンネル長, μ : TFT のモビリティ, C_{OX} : TFT のチャンネル容量, V_{GS} : TFT のゲート電圧, V_{TH} : TFT の閾値電圧)

従って,

$$W = (18L_{\text{MAX}}a^2L) / \{\eta\mu C_{\text{OX}}(V_{\text{GS}} - V_{\text{TH}})^2\} \quad (3)$$

という, 必要なドライバ TFT のチャンネル幅を与える関係式が得られる。

チャンネル幅, モビリティ, 有機 EL の電流効率の関係を図 1 に示す。ここで例えば対角 20.0 インチ (50.8 センチ), 解像度は WXGA (横 1280 本, 縦 768 本) を仮定する。画素サイズは横 113 μm , 縦 340 μm であるので, 低いモビリティと低い有機 EL 効率を仮定すると, 必要な輝度を満たすのに必要なチャンネル幅は画素サイズより大きくなってしまい, 実現不可能である。しかし, 高いモビリティ μ , 優れた有機 EL デバイス効率 η , つまり大きな $\eta\mu$ 値が得られれば, 必要なチャンネル幅は画素サイズより小さくなって実現可能となる。

(2) トップエミッション構造による設計制約の緩和

アモルファスシリコン TFT を有機 EL のバックプレーンとして用いる場合には駆動によって特性が変化するので, 特性変化を補償する為に画素内に補償回路が必要であり, 2TFT 回路では寿命問題を解決する事が出来ない。また補償回路を図 2(a) のように画素にむりやり押し込んでも, ボトムエミッション構造では大きなドライバ TFT によって画素内の大きな面積が食われる為, 画素補償回路の設計パラメータの自由度が制限されてしまい, 補償性能が不十分となってしまう。

図 1 要求されるドライバ TFT のチャンネル幅と材料効率, モビリティの関係(文献(5)より引用)。

一方トップエミッション構造の場合, 複雑な画素補償回路は平坦化膜の下に隠し, 広い 2 階部分に大きな開口部を確保する事が可能である。また, 1 階部分も大きな面積に補償回路を配置する事が可能である為, 補償性能に優れた補償回路パラメータを実現できる。

必要なドライバ TFT チャンネル幅を算出する式(3)をもう少しよく理解するためにいくつかの現実的な仮定を置いて議論する。

必要な $\eta\mu$ 値(電流効率とモビリティの積)はディスプレイサイズによって図 3 左軸のように変化する。モビリティを 0.6 [$\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$] とおいた時の電流効率を右軸に記した。

ドライバ TFT のチャンネル幅を仮に画素長辺の半分の大きさ(補償回路が入ることを考慮), ディスプレイの最大輝度 L_{MAX} を仮に 450 cd/m^2 , ディスプレイを 20.0 インチ WXGA (1280 × 768), $V_{\text{GS}} = 10 \text{ V}$, $V_{\text{TH}} = 3 [\text{V}]$, トップエミッション駆動と仮定すると

$$\eta\mu = (18L_{\text{MAX}}a^2L) / \{WC_{\text{OX}}(V_{\text{GS}} - V_{\text{TH}})^2\} = 4.68 [(\text{cd}/\text{A})(\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s})] \quad (4)$$

となる。 $\eta\mu$ が 5 程度より大きくなる事が駆動最低条件の目安であると言える。アモルファスシリコン TFT のモビリティを 0.6 [$\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$] と仮定すると, 有機 EL ダイオードの白色電流効率は, 補償回路でドライバ TFT のサイズ制約がある事を考えると 7.8 [cd/A] 以上が必須であるといえる。

図 2 ボトムエミッション構造(a)とトップエミッション構造(b)。

図 3 駆動の為に要求される効率, モビリティ(文献(7)より引用)。

Hack や Nichols らはアモルファスシリコン TFT 駆動を実現するのに三重項材料が必須であると文献において結論している。高い効率を実現する事は、ディスプレイの輝度向上、TFT 設計ルールの緩和(チャンネル長等)による歩留まり向上、低電流駆動による TFT 寿命向上、低電流駆動による電圧降下低減、ドライバ耐圧低減によるコスト削減、駆動電圧低減によるパワー削減等、様々な恩恵、相乗効果をもたらす可能性があり、アモルファスシリコン TFT 駆動に三重項材料を用いるメリットは大きい。

(3) アモルファスシリコン形成手法によるモビリティ向上

輝度を確保するのに必要なドライバ TFT のチャンネル幅を記述した式(3)を見ると、 $\eta\mu$ (有機 EL ダイオードの電流効率×モビリティ)によってドライバ TFT のサイズがどれだけ小さく出来るかが決まる事が判る。また、大きな $\eta\mu$ 値を実現する事でディスプレイの輝度 L_{MAX} を向上できるとも解釈可能である。モビリティの向上が達成されれば、画素中に補償精度の高い回路を実現、もしくは有機 EL ディスプレイの輝度向上が可能である。

TFT の移動度を向上する場合、通常 CVD レシピを変更する手法が多く用いられる。図4はアモルファスシリコン移動度向上の典型例である。モビリティは向上するに従い V_{TH} シフトも大きくなってしまっている。この現象は移動度の上昇によって、より多くの電荷がチャンネル中を流れるため V_{TH} シフトが比例して増えていくという説明ができると思われる。大型有機 EL ディスプレイを実現するにはモビリティと TFT の特性安定性の両立が必要であるので、移動度向上とともに V_{TH} シフトが増えるのでは有機 EL ディスプレイのバックプレーンとしては不適である。

図5が新成膜手法を用いて得られた TFT の特性である。飽和領域のモビリティは $1.154[\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}]$ と高い値を示している。

このような技術を用いる事で、高いモビリティによって高輝度、高精度の補償性能を持った有機 EL 用バックプレー

ンの形成が可能である。

3. TFT 特性変動問題の克服

(1) TFT 特性変動の設計上制約について

従来より TFT 特性の初期ばらつきを画素回路で補償する手法がポリシリコン TFT 駆動有機 EL では用いられている。アモルファスシリコン TFT は特性の初期ばらつきはとても小さいものの、駆動によって閾値とモビリティが劣化する事が数々の研究より知られている。この特性変動を画素補償回路で補償する事が可能であるが、大型化には大きな問題が存在した。

一般に、画素補償回路には電圧補償型と電流補償型の2種類が存在する。電圧補償型は閾値を補償する事ができるが、モビリティを補償する事はできない。一方、電流補償型は閾値、モビリティの両方を補償する事が可能であるが、低グレースケールにおける電流書き込みに時間がかかる為に、大型化した際には配線容量が大きくなって時間内に書き込めない問題が存在した。閾値とモビリティの両方が劣化するとする従来の TFT 特性変動に関する報告を鵜呑みにすれば、解は無いことになってしまう。

アモルファスシリコン TFT の劣化メカニズムについては、2つの説(1)ダングリングボンド形成説(2)チャージトラッピング説の優位性が議論されてきた。

Hepburn らはアモルファスシリコンのダングリングボンド形成による特性変化が支配的であると報告している⁽⁸⁾。一方、Powell らは低電圧ではダングリングボンドの形成、高電圧ではゲート絶縁膜へのチャージトラッピングが起こり、前者はゲート絶縁膜 SiNx の組成依存性が無いのに対し、後者は組成依存性が高いと報告している⁽⁹⁾。さらに Powell らは、アモルファスシリコンのダングリングボンド形成は時間のべき乗に比例するが、電荷注入は時間の log に比例する。高正電圧下ではチャージトラッピングが支配的、低正電圧下ではダングリングボンド形成が支配的であるが、Si の多い SiNx を用いた場合は低電圧でもチャージトラッピング

図4 CVD レシピ変更によるモビリティ向上例(文献(5)より引用)。

図5 新成膜手法を用いた TFT 特性(文献(5)より引用)。

が支配的であるとしている⁽¹⁰⁾。Gelatos や Kanicki らは、Si のダングリングボンド形成では CV シフト量を説明できないので、SiNx へのチャージトラッピングが劣化の主因ではないかとしている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

Libsch らは、量産レベルの CVD レシピによって形成した TFT を用いて実験を行い、アモルファスシリコンの劣化はダングリングボンドの形成ではなく、界面におけるバンドテール準位励起が SiNx の遷移層に移り、SiNx の深い準位へと移っていく Multiple Trapping Model で説明できる事⁽¹³⁾、および TFT の劣化が Stretched Exponential Equation,

$$|\Delta V_{TH}| = |\Delta V_0| \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t_{ST}}{\tau} \right)^\beta \right] \right\} \quad (5)$$

で記述可能であるとしている^{(14)~(16)}。

以上の既知の TFT 劣化メカニズムは TFT 技術の LCD への適用を目的に発展してきたため、ゲート電圧がドレイン電圧より大きな領域、すなわち線形領域で行われてきたものであり、有機 EL で用いられるような飽和領域での振る舞いについては未解明であるといつてよい(表 1 参照)。

そこで飽和領域でのアモルファスシリコン TFT の劣化の様子を調べたのが図 6 である。TFT 電流はアモルファスシリコン TFT を駆動するに従って急激に減少する。一般に TFT 電流の減少は 2 つの原因、正方向への閾値シフトとモビリティの劣化で説明される。図 6 より従来の線形領域での TFT 劣化とは根本的に異なり、飽和領域駆動においてはほとんど閾値シフトが支配的であり、モビリティの低下は長期間に亘って無視できるレベルである事が判った。つま

り、モビリティの補償ができない電圧補償型画素回路でアモルファスシリコン TFT の特性変動は補償可能であり、大型化には電圧補償型画素回路が使用可能である事が判った。

以下に、閾値シフトを抑制する様々な手法について議論する。閾値シフトを小さくする技術の組み合わせによって特性変動を視認されないレベルにまで抑え込む事が可能である。

(2) 電流集中型 TFT 特性劣化の解明と解決

TFT の電流値は通常式(2)のようなグラジュアルチャネル近似で記述されるが、実際のアモルファスシリコンチャネル中のダメージは均等にはならない。TFT 設計における特異点の存在や電流集中が TFT の劣化を加速させるであろう。例えば境界条件の設定によっては、図 7 のようにデバイ

図 6 正電圧ストレスによるモビリティ、電流値の変化(文献(5)より引用)。

表 1 アモルファスシリコン TFT の駆動による劣化解析文献のストレス条件一覧(文献(6)より引用)。

論文名	ストレス条件
A. R. Hepburn, C. Main, J. M. Marshall, C. van Berkel and M. J. Powell: Journal of Non-Crystalline Solids, 97&98 (1987), 903.	$V_{DS}=0$ で実験なので線形領域相当
M. J. Powell, C. van Berkel, I. D. French and D. H. Nicholls: Appl. Phys. Lett., 51 (1987), 1242.	V_{DS} 書いてないが V_{GS} は 35~70 V なので線形領域。ゲート電圧低いところでの劣化は高いところと異なるようだという考察をしている。
M. J. Powell, C. van Berkel and J. R. Hughes: Appl. Phys. Lett., 54 (1989), 1323.	V_{DS} 書いてないが V_{GS} は 24~100 V なので線形領域
A. V. Gelatos and J. Kanicki: Appl. Phys. Lett., 57 (1990), 1197.	CV 測定なので線形領域相当。
J. Kanicki, C. Godet and A. V. Gelatos: Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 219 (1991).	CV 測定なので線形領域相当。
Frank Libsch: IEDM Digest, (1992).	$V_{DS}=0.5$ V, $V_{GS}=30$ V なので線形領域。
M. J. Powell, S. C. Deane and W. I. Milne: Appl. Phys. Lett., 60 (1992), 207.	V_{DS} 書いてないが V_{GS} は 25~100 V なので線形領域
F. R. Libsch and J. Kanicki: Extended Abstract of the 1992 International Conference on Solid State Devices and Materials, (1992), 155.	$V_{DS}=0.5$ V, $V_{GS}=30$ V なので線形領域。
F. R. Libsch and J. Kanicki: Society for Information Display 93 Digest, (1993), 455.	$V_{DS}=0.5$ V, $V_{GS}=30$ V なので線形領域。
F. R. Libsch and J. Kanicki: Appl. Phys. Lett., 62 (1993), 1286.	$V_{DS}=0.5$ V, $V_{GS}=30$ V なので線形領域。
W. B. Jackson and M. D. Moye: Phys. Rev. B, 36 (1987), 6217.	V_{DS} 書いてないが V_{GS} は 20 V。他の線形領域ストレスでの論文と比較しているので線形領域と思われる。

図7 ATLAS デバイスシミュレータを用いた TFT における電流集中シミュレーション(文献(5)より引用).

図8 同心円状 TFT と従来の TFT における TFT 閾値電圧シフトの比較(文献(5)より引用).

スシミュレータによってチャンネル端に生じる電流集中を再現する事ができる。

実際に図8は従来の TFT と同心円状に形成したまったく同じチャンネル幅を持つ TFT の特性変化である。BTS(Bias Temperature Stress)試験において、従来の TFT に対し同心円状の TFT は閾値変動が少ない事が判る。

このように電流集中が生じるような特異点を平面設計上除去する事によって V_{TH} シフトを削減可能である。

電流集中は TFT 設計における特異点においてのみ起こる訳ではない。通常、アモルファスシリコン TFT においてチャンネルはゲート絶縁膜/アモルファスシリコン界面から 1 nm 程度の間に存在すると言われている(図9)。このような電流集中は TFT の劣化を促進する大きな原因になると想像される。

図10は従来型の TFT(図9)と、上下にゲート電極を設置し、アモルファスシリコン中にチャンネルが2個発生するような条件における定電流 BTS(同じ電流になるようにゲート電圧を変化させながらストレスを与える手法)の測定結果である。電流集中の緩和によって TFT の劣化が抑制されている。

この実験より、電流の平面内での集中、深さ方向への集中が TFT の劣化を加速させる事、その要因を取り除くことで、TFT の閾値シフトを抑制する事が可能である。

図9 通常の TFT における電流集中シミュレーション(文献(5)より引用).

図10 深さ方向への電流集中削減による閾値シフト抑制(文献(5)より引用).

(3) TFT の駆動最適化による特性劣化の最小化

同じ輝度スペックを実現する為にドライバ TFT から有機 EL ダイオードに電流を流す方法としてはたくさんの選択肢がありうる。

図11の一番上の図は絶えず一定の電流 I_{PIXEL} が流れる条件である(DC 条件)。一方、図11の真中の図は50%のデューティで2倍の電流値 $2I_{PIXEL}$ を ON 期間に流す条件である。この駆動条件は平均電流が I_{PIXEL} であるので、一番上の駆動条件と同じ平均輝度となる。最下部の図は25%のデューティで4倍の電流 $4I_{PIXEL}$ を ON 期間に流す条件である。

これら3つのケースにおいて、ディスプレイの平均輝度はまったく同じであるが、駆動ストレスがもたらす TFT の特性変化は異なったものとなる。

V_{TH} シフトをできるだけ小さくする条件を選ぶことでアモルファスシリコン TFT の寿命を延ばす事が可能である。

さらに図12は様々な駆動条件における V_{TH} シフトの違いを示している。 V_{TH} シフトが小さくなる条件を調べ、採用する事で、TFT の特性変動を最小化する事が可能である。

図11 様々なデューティ駆動方法(文献(7)より引用).

図12 様々な駆動条件における V_{TH} シフト量の違い(文献(5)より引用).

これらの詳細についていくつか示す.

TFT のドレイン電圧を変化させた時の V_{TH} シフトの違いを図13に示す. 一般に TFT の V_{DS} が大きくなるとのソース・ドレイン電流も大きくなる. しかし図13のグラフは, 電流が大きくなるはずの大きな V_{DS} はど小さい V_{TH} シフトを示している. つまり劣化は単純に電流値に支配されているのではない事を意味している. この状況は V_{DS} が大きくなることで, TFT の駆動系が線形領域から飽和領域に移り, ドレイン・ゲート間の垂直電界が緩和されるので, アモルファスシリコン・ゲート絶縁膜間のチャージトラッピングが少なくなるからであると思われる.

図14はデューティ駆動法の違いによる V_{TH} シフトの変化を示す. DC 駆動の場合と AC 駆動の場合とでは AC 駆動の方がずっと V_{TH} シフトが小さい事が判る. AC 駆動時にはリカバリー効果が現れるからであると思われる. また, デューティが50%の場合と25%の場合とで顕著な差が見ら

図13 ドレイン電圧による V_{TH} シフトの違い(文献(7)より引用).

図14 デューティ駆動による V_{TH} シフトの違い(文献(7)より引用).

れないことから, 過渡応答に起因する V_{TH} シフトモードが存在する事が判る.

図15のように, パルスの立ち上がり時間, 立下り時間を変化させた場合の V_{TH} シフトの変化を図16に示す. ゆっくり立ち上げた方が V_{TH} シフトが大きくなっている事が判る. ゆっくり立ち上げることでより多く線形領域状態に系が入っている事が原因である可能性がある.

チャージトラッピングのような現象を考えると, TFT にかかるストレスを正負に振ることで, 電圧ストレスの緩和が生じて V_{TH} シフトが小さくなるのではという推測のもとにドレイン電圧の反転条件依存性を調べたのが図17である. 推測とは裏腹に反転させた方が DC よりも V_{TH} シフトが大きくなっている. これもパルスの立ち上がり依存性と同様に, 線形領域に入る時間が長い事に起因する可能性がある.

このように様々な駆動ストレスの中から V_{TH} シフトが小さいものを選び出すことで, 比較的 V_{TH} シフトの小さい条件を実現可能である.

図15 パルスの立上がり時間，立下り時間(文献(7)より引用)。

図16 立上がり/立下り時間による V_{TH} シフトの違い(文献(7)より引用)。

図17 ドレイン電圧を正負に振った場合の V_{TH} シフト(文献(7)より引用)。

(4) 有機 EL デバイス構造による TFT ストレスの最小化

有機 EL の電流効率を改善することによってアモルファスシリコン TFT と有機 EL 両方のストレスを減少し，劣化を抑制する事が可能である。従来よりアモルファスシリコン TFT の劣化はゲート絶縁膜への電荷注入とアモルファスシ

リコンのダグリングボンドが生じる現象が支配的である事が知られてきた。

理想的なアモルファスシリコン/ゲート絶縁膜界面および，倍の電流効率を持ち同じ電流耐性を持った有機 EL デバイスを仮定した場合，同じ輝度を実現するのに半分の電流で済むので，アモルファスシリコン TFT，有機 EL ダイオードの寿命はクーロン仮定より倍になる可能性がある。

さらに低い電流密度によって有機 EL ディスプレイの駆動温度が低くなるので，TFT，有機 EL 素子ともにアレニウスの関係によって寿命が長くなる。

電流ストレスと温度ストレスの相乗効果により TFT，有機 EL デバイスの両方が劣化する事を考えると，有機 EL デバイスの効率改善によってもディスプレイ寿命が大きく改善されるはずである。

Beierlein, Oh, Yamada, Nakamura らは膜厚設計とドーピング濃度を最適化する事で，デバイスの効率を大きく改善し，有機 EL，アモルファスシリコン TFT のストレスを緩和する事に成功している⁽¹⁷⁾⁻⁽²¹⁾(マイクロキャピティ効果)。

このような手法を用いる事で $\eta\mu$ 値を大きく改善し，輝度向上，電流ストレスと駆動温度低減の相乗効果による TFT および有機 EL 素子両方の大幅な寿命改善が可能である。

(5) 画素補償回路による TFT 特性変動の吸収

アモルファスシリコン TFT の場合，論じてきた様々な手法によって特性変動を抑制する事ができるが，視認されないレベルまで TFT 特性変動を抑制するのは困難であるので，焼きつき現象を防ぐために，画素補償回路を使用して視認されないレベルにまで電流変動を抑える必要がある。

閾値シフトを抑制する回路には，様々なバリエーションがある。

Dawson ら⁽²²⁾，He ら⁽²³⁾，Sasaoka ら⁽²⁴⁾ はアモルファスシリコン駆動用の画素補償回路として電流ドライバを用いた定電流回路を提唱している。

Dawson ら⁽²⁵⁾，He，Hattori ら⁽²⁶⁾ や Sanford⁽²⁷⁾ らは有機 EL を駆動するためのアモルファスシリコン TFT 回路として電圧駆動回路を提案している。

たとえば図18の回路はその一例(Dawson らによる回路の変形)である。この回路では V_{TH} リセット時に自動的にドライバ TFT のゲートノードに閾値が書き込まれるようになっている。

図19に閾値検知の実データを示す。この実験はドライバ TFT に直流電源を用いてストレスを与えた後，TFT 特性を測定する事で閾値電圧(図19横軸)を計算する。次に V_{TH} リセット動作を行った後にゲートノードの電圧をマイクロプローブで測定(図19縦軸)するものである。

この実験よりドライバ TFT のゲートノードに正確に閾値がセットされている事が判る。 V_{TH} リセット後，信号電位を書き込む事で閾値に依存せずに信号レベルを書き込む事が可能である。

図18 画素補償回路の一例(文献(5)より引用)。

図19 「 V_{TH} リセット」動作後のゲートノード電圧と閾値電圧との関係(文献(5)より引用)。

このような V_{TH} 補償回路と今まで議論してきた様々な V_{TH} シフト抑制手法を組み合わせる事で、駆動によって生じる TFT の特性変化を目に見えないレベルにまで抑え、事実上テレビとして用いるのに問題のない表示特性変化にする事が可能である。

4. 世界最大20インチ有機 EL ディスプレイの実現

図20は、アモルファスシリコン TFT による世界最大(2003年9月現在)の20.0インチ有機 EL ディスプレイである。解像度は WXGA、つまり 1280×768 対応で、 500 cd/m^2 以上の高輝度を表示可能である。この事実は、低モビリティのアモルファスシリコン TFT を用いてもテレビとして十分な輝度を持つディスプレイを作れる事を意味している点で重要である(表2)。

また、有機 EL のメリットである応答時間、コントラストもそれぞれ 1 ms 以下、 $1:1000$ 以上とはるかに液晶ディスプレイをしのぐ特性をもっている。

大型薄型で優れた動画性能を持つ大型テレビを、低コストのアモルファスシリコン TFT 駆動で作成する事に成功したわけであり、この技術の発展により有機 EL 技術が大画面デ

図20 アモルファスシリコン TFT を用いた世界最大20.0インチ有機 EL ディスプレイ(文献(5)より引用)。

表2 作成した有機 EL ディスプレイのスペック(文献(5)より引用)。

サイズ	20.0インチ対角
解像度	WXGA/HDTV
最大輝度	$> 500 \text{ cd/m}^2$
色数	16M
TFT 設計	アモルファスシリコン TFT 画素補償駆動
有機 EL 設計	トップエミッション
Gamut	$< 105\%$ 比
Response time	$< 1 \text{ ms}$
Contrast ratio	$> 1000:1$

ィスプレイにおいても液晶ディスプレイやプラズマディスプレイを脅かす存在になってくると予感される。

文 献

- (1) G. W. Jones: Society for Information Display 2001 Proceeding, (2001), 134.
- (2) J. Sanford and E. S. Schlig: Society for Information Display 2001 Proceeding, (2001), 376.
- (3) T. Sasaoka, M. Sekiya, A. Yumoto, J. Yamada, T. Hirano, Y. Iwase, T. Yamada, T. Ishibashi, T. Mori, M. Asano, S. Tamura and T. Urabe: Society for Information Display 2001 Proceeding, (2001), 384.
- (4) G. Rajeswaran, M. Itoh, M. Boroson, S. Barry, T. K. Hatwar, K. B. Kahen, K. Yoneda, R. Yokoyama, T. Yamada, N. Komiya, H. Kanno and H. Takahashi: Society for Information Display 2000 Proceeding, (2000), 974.
- (5) T. Tsujimura *et al.*: Society for Information Display 2003, (2003), 6.
- (6) T. Tsujimura: “アモルファスシリコンおよび微結晶シリコン TFT を用いた有機 EL ディスプレイの大型化”, Ph. D Thesis (University of Tokyo) to be published, (2004).
- (7) T. Tsujimura: Jpn. J. Appl. Phys., **43**(2004), 5122.
- (8) A. R. Hepburn, C. Main, J. M. Marshall, C. van Berkel and M. J. Powell: J. Non-Cryst. Solids., **97 & 98**(1987), 903.