

a-Si TFT-LCD の光リーク電流低減対策

Reduction of Photo-Leakage Current of a-Si TFT-LCDs

花澤 康行
Y. Hanazawa

北沢 倫子
T. Kitazawa

樋口 豊喜
T. Higuchi

TFT-LCD (薄膜トランジスタ型液晶ディスプレイ) の性能を向上させるため、TFT の電流リーク経路と入射光に関する考察を行って TFT の構造を改良し、オフ状態における光リーク電流を大きく低減させることができた。この改良型ライトシールド TFT を用いて、対角 26 cm 高精細 TFT-LCD (1,024×768 画素) を開発し、従来の 1.5 倍に相当する 45% という高い開口率を実現した。

今回開発した TFT 構造は、マルチメディアに対応した高輝度ディスプレイへの応用にも非常に有効である。

We have developed a novel pixel structure having an advanced light-shield thin-film transistor (TFT) to greatly reduce photo-leakage current. Using this structure, we have also developed a 26 cm-diagonal high-resolution a-Si TFT-LCD with 1,024 × 768 pixels.

By means of this structure, the sum of the storage capacitance and the liquid crystal capacitance of a pixel can be reduced to 30% that of the conventional structure. Consequently, the aperture ratio has been increased to 45%, which is about 1.5 times that of the conventional structure.

1 まえがき

a-Si (アモルファスシリコン) TFT をスイッチング素子として用いた LCD は、ノートブックパソコン (PC) 用のモニタをはじめとしてさまざまな分野で広く用いられている。ノートブック PC 用の LCD では消費電力を低減させることが重要であり、LCD の開口率の向上が消費電力を低減させるキー技術となる。

ところで、TFT に用いられている a-Si は、光導電性をもつために、バックライトの光が TFT に入射すると光リーク電流が流れる。このことが表示品位に悪影響を及ぼすことから、通常は画素ごとに蓄積容量 (C_s) を付加して、光リーク電流による画質劣化を抑えている。ここで、 C_s は遮光性金属電極と画素電極との間で形成するため、 C_s を大きくすることは開口率の低下につながる。実際の製品設計においては、表示品位を維持しながら、 C_s をできるかぎり小さくすることがポイントとなる。したがって、光リーク電流を減らすことができれば C_s を小さくすることができ、高開口率を実現させることができる。

ここでは、光リーク電流を大幅に低減できる新しい TFT の構造を提案し、対角 26 cm 高精細 TFT-LCD を用いて確認した光リーク電流低減効果について述べる。

2 光リーク電流低減の考えかた

まず、光リーク電流を低減するための考えかたについて説明する。ボトムゲート型 TFT の場合、ゲート電極が光遮

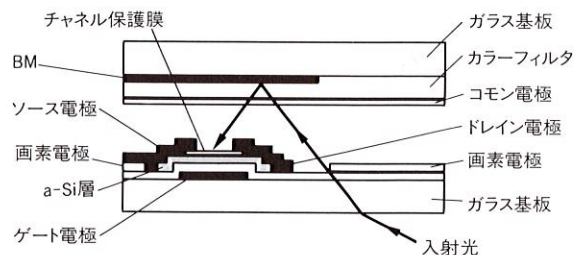


図1. TFT-LCD の部分断面 バックライトからの光の一部は対向基板の BM で反射し、TFT のチャンネル部に入射する。

Cross-sectional view of conventional TFT-LCD

へい層として機能するためバックライトからの光が TFT のチャンネル部に直接入射することはない。しかし、図1に示すようにバックライトからの光がカラーフィルタ基板上のブラックマトリクス (BM) で反射し、TFT のチャンネル部に入射する可能性がある。

図2(a)は従来構造の TFT の平面図である。当社は、すでに光リーク電流が主にチャンネル端部 (以下、サイドチャンネル部と称呼) を流れることを実験により確認し、ライトシールド TFT を開発している⁽¹⁾。

ライトシールド TFT の平面図を図2(b)に示す。この構造では、TFT のサイドチャンネルを長くすることで、ゲート電極による遮光面積を増加させ、チャンネル端部に入射するバックライトからの光を低減して、光リーク電流を低減させている。ここで、オン電流は主に TFT のチャンネル中央部を流れるために、オン電流を低下させることなく光リーク電

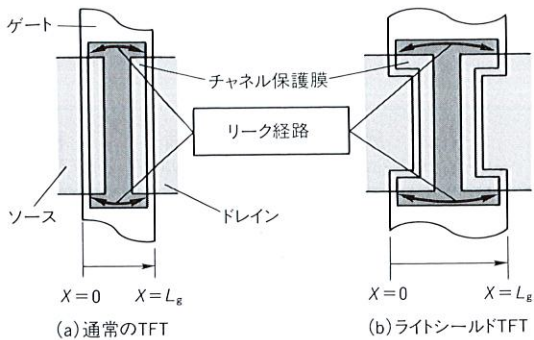


図2. 通常のTFTとライトシールドTFTの比較 リーク経路を長くし、ゲート電極による遮光面積を大きくすることにより光リーク電流を低減する。

Comparison of (a) conventional TFT, and (b) light-shield TFT

流だけを低減させることができる。

3 シミュレーション結果

ライトシールドTFTの光遮へい効果を確認するために、ゲート電極幅を変化させ、バックライトからの光がどれだけサイドチャンネル部に入射するかシミュレーションにより求めた。

ゲート電極幅 L_g をパラメータ ($14\ \mu\text{m}$, $20\ \mu\text{m}$, $40\ \mu\text{m}$) として、サイドチャンネル上の光強度を計算した結果を図3に示す。この図から、光遮へい効果はゲート電極幅が $20\ \mu\text{m}$ 以下では不十分であることがわかる。なぜなら、光リーク電流の電流経路であるサイドチャンネル部における光入射強度が、サイドチャンネル中央部においても完全に小さくはならず、サイドチャンネル部全体に光が入射しているからである。しかし、 $L_g=40\ \mu\text{m}$ の場合には、サイドチャンネルの中央部

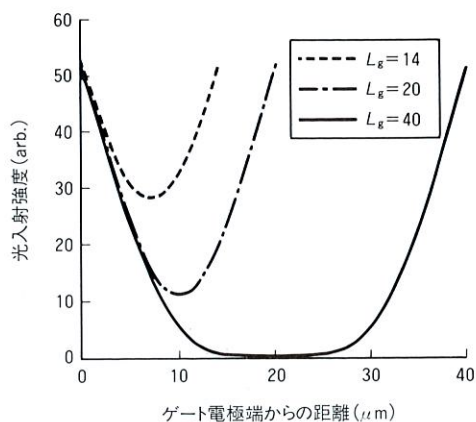


図3. サイドチャンネル上での光入射強度の計算結果 ゲート電極幅 L_g を大きくすることで、サイドチャンネル上に入射する光強度を減少させている。

Calculated irradiance on side-channel

付近での光入射強度がほとんど0であることがわかる。このことは、このチャンネル中央部領域にはバックライトからの光がほとんど入射しないことを意味する。すなわち、光リーク電流経路上に光の当たらない領域が存在し、その領域でのチャンネル抵抗は非常に大きくなるため、TFTのオフ状態における光リーク電流を小さくすることができる。

このように、 L_g が $40\ \mu\text{m}$ あれば十分な遮光効果が得られることをシミュレーションにより確認した。

4 改良型ライトシールドTFT

先のシミュレーション結果を基に、今回新たに改良型ライトシールドTFTを考案した。以下、改良型ライトシールドTFTについて説明する。

図4に改良型ライトシールドTFTの構造を形成過程に従って示す。まず、図4(a)に示すように、開口部をもつゲート電極を形成する。次に、開口部端とゲート電極端の間をチャンネル長とするように、TFTを形成する。図4(b)にはチャンネル長を規定するチャンネル保護膜のパターンを示した。さらに、この開口部をふさぐようにTFTのドレイン電極を形成することにより、ゲート電極幅を大きくしたときと同様の光遮へい効果を得ることができる(図4(c))。したがって、TFTの光リーク電流を小さくすることが可能となり、 C_s を小さくできる。

このように、改良型ライトシールドTFTを採用することにより、 C_s 値 (C_s) を大幅に減らせることが期待できる。

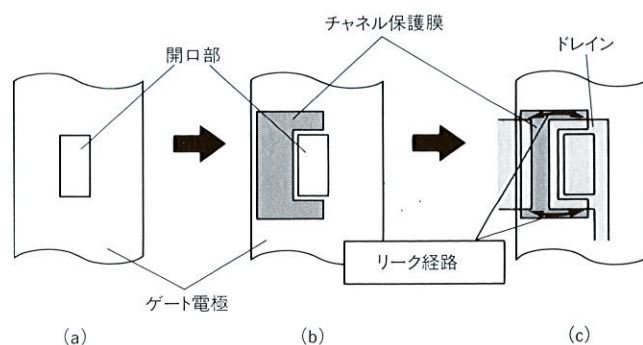


図4. 改良型ライトシールドTFT ゲート電極に開口部を設け、その開口部をふさぐ形でドレイン電極を形成し、光遮へい効果を高めている。

Top view of advanced light-shield TFT

5 実験方法

4章で示した改良型ライトシールドTFTを用いて対角26cm高精細TFT-LCD(画素数 $1,024 \times 768$,画素ピッチ $202.5\ \mu\text{m}$)を試作した。

図5に示すように、 C_s 電極はゲート線から信号線に沿って2本の腕のように延ばした形で形成し、従来と比較しその面積を大幅に減少させた。

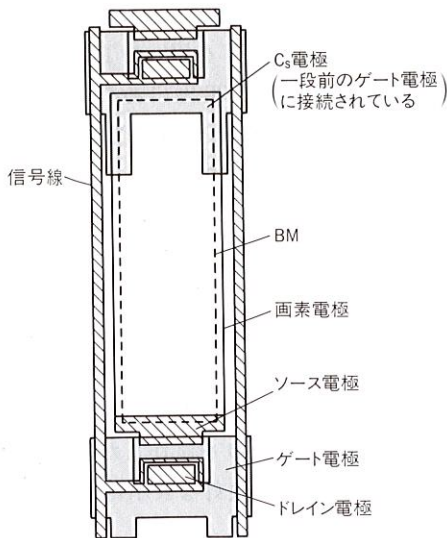


図5. 改良型ライトシールド TFT を用いた画素構造 改良型ライトシールド TFT を用い C_s を低減することで45%の開口率を達成した。
Top view of pixel with advanced light-shield TFT

このデバイスを用いて改良型ライトシールド構造の光遮へい効果を以下のような実験を行い確認した。

いわゆる表示不良のなかで、特にクロストークが画素電位の変動に敏感であり、ここでも光リーク電流の増減を調べるためにクロストークを測定した。

測定には図6に示す表示パターンを用いた。フレーム部分の透過率は10%、ウィンドウ部分の透過率はほぼ0%である。画素電位変動がある場合には、測定点における透過光強度がウィンドウを表示した場合と表示しない場合とで異なり、表示不良(クロストーク)として視認される。この差をクロストーク率と呼び、次の式で定義した。

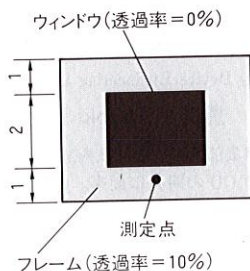


図6. 表示パターン 光リーク電流により、ウィンドウを表示した場合と表示しない場合とで測定点における透過率が変化する。

Pattern and measurement points used in experiment

$$(\text{クロストーク率}) = \frac{(I_W(V_{10}) - I_R(V_{10}))}{I_R(V_{10})} \quad (1)$$

ここで、 V_{10} は透過率が10%となる信号電圧であり、 $I_R(V_{10})$ および $I_W(V_{10})$ は、それぞれ信号電圧 V_{10} を印加したときの、ウィンドウを表示しない場合および表示した場合における透過光強度である。

次に、実験に用いた測定系を説明する。図7に示すように、測定には二つの光源(光源A、光源B)を用いた。光源Aは液晶セルの透過率を測定するための光源であり、光がカラーフィルタ基板側から液晶セルに対して垂直に入射するように配置する。また、透過光強度はフォトマルにより光電変換され出力される。

一方、光源BはTFTアレー基板側から液晶セルに対しておよそ45°の角度で光が入射するように設定する。また、光源Bの光強度はND(Neutral Density)フィルタを用いることにより、一般的なノートブックPC用バックライトの光強度に対して0.0005~10倍の範囲で変えられるようにした。

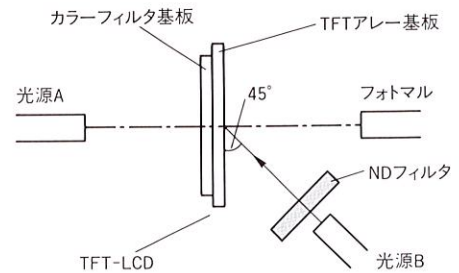


図7. 測定系 光源Aはセルの透過率を測定するための光源。クロストークは光源Bの強度を変化させて測定する。

Schematic diagram of experimental apparatus

以下、サンプルとして C_s だけが異なる3種類のTFT-LCDを作製し、クロストーク率の光強度依存性と C_s と液晶容量値(C_{lc})の合計である負荷総容量($C_s + C_{lc}$)依存性について測定した結果について説明する。

6 実験結果

6.1 光強度依存性

一般に、光強度の増加に伴いTFTの光リーク電流は増加し、クロストーク率は増加すると考えられる。図8に光源Bの光強度とクロストーク率の関係を示す。ここで、光強度は通常のバックライト強度を1として規格化した。従来型TFT-LCDでは、光強度の増加に伴い、クロストーク率は著しく増加し、クロストークがはっきりと視認される。特に、光源Bの光強度が通常のバックライト強度の10倍の場合で

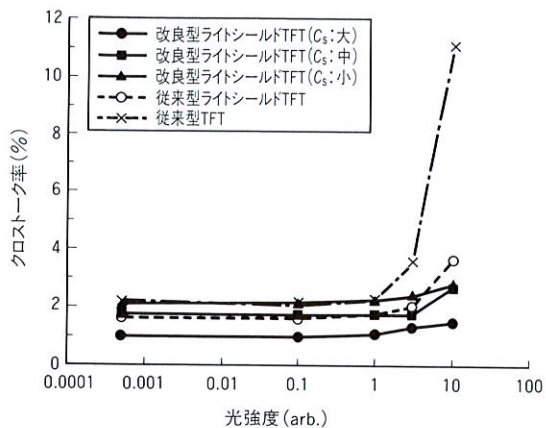


図8. クロストーク率と光強度の関係 改良型ライトシールド TFT はクロストーク率の光強度依存性が小さい。

Relationship between light intensity and crosstalk ratio

のクロストーク率は、光強度が弱い場合と比較し 5 倍以上に増加し 10 % を超える。

一方、従来型のライトシールド TFT を用いた TFT-LCD では、従来型 TFT-LCD よりもクロストーク率は小さくなるが、光強度が強い場合のクロストーク率は、光強度の弱いときと比較して 2 倍以上の値まで増加し、クロストーク率は 3 % を超えてしまう。

しかし、今回開発した改良型ライトシールド TFT を用いた TFT-LCD では、クロストーク率は光強度の増加にほとんど依存せず、クロストーク率の増加はわずかであった。

6.2 負荷総容量 ($C_s + C_{ic}$) 依存性

図 9 に負荷総容量 ($C_s + C_{ic}$) とクロストーク率の関係を示

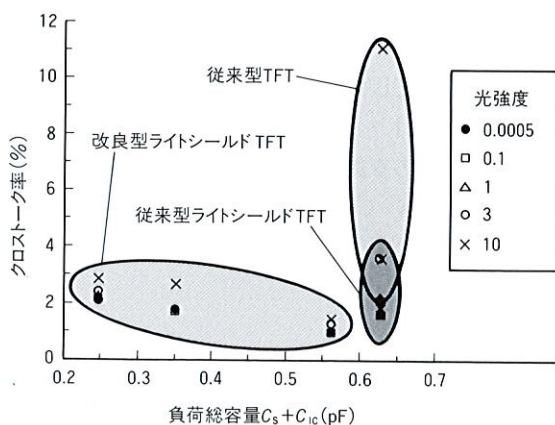


図 9. クロストーク率と負荷総容量 ($C_s + C_{ic}$) の関係 改良型ライトシールド TFT は、負荷総容量が小さい場合でもクロストーク率が小さい。

Relationship between $C_s + C_{ic}$ and crosstalk ratio

す。

従来型 TFT-LCD では負荷総容量がおよそ 0.6 pF であるにもかかわらず、光強度が強いとクロストーク率は 10 % を超える結果になった。これに対して従来型ライトシールド TFT では、クロストーク率は小さくなっているが、光強度が強くなると視認限界である 3 % を超える。今回開発した改良型ライトシールド TFT を用いた TFT-LCD では、負荷総容量が従来型のおよそ 30 % にあたる 0.25 pF の TFT-LCD においても、クロストーク率の光強度依存性が小さく、クロストークは視認されなかった。

7 あとがき

開発した改良型ライトシールド TFT を用いることにより、これまで必要とされていた C_s を 30 % に減少させることができた。この TFT を用いて 45 % という高い開口率をもつ対角 26 cm 高精細 TFT-LCD を試作したところ、クロストークなどの画質不良のない良好な表示特性を得ることができた。

この技術は、従来の TFT アレープロセスを変更することなく、高い開口率を得られ、TFT-LCD の低消費電力化に有効な技術であると考えられる。さらに、改良型ライトシールド TFT を用いた TFT-LCD は、高輝度バックライトを用いても画質の劣化が少ないことから、マルチメディアに対応した高輝度ディスプレイへの応用にも有効な技術である。

文 献

- (1) A. Sugahara, et al: Low Photo-Leakage-Current Structure for a-Si TFT-LCDs, AM-LCD 94 Digest of Technical Papers, pp.184-187 (1994)



花澤 康行 Yasuyuki Hanazawa

ディスプレイデバイス技術研究所ディスプレイデバイス開発第二担当。
TFT-LCD の開発に従事。応用物理学学会会員。
Display Device Engineering Lab.



北沢 倫子 Tomoko Kitazawa

ディスプレイデバイス技術研究所ディスプレイデバイス開発第二担当主務。
TFT-LCD の開発に従事。電子情報通信学会会員。
Display Device Engineering Lab.



樋口 豊喜 Toyoki Higuchi

液晶事業部 LAM 製品技術部グループ長。
TFT-LCD の開発に従事。応用物理学会、日本物理学会会員。
Liquid Crystal Display Div.