

アモルファスシリコンTFT-LCDの高解像度化

野尻 勲*
安田尚平*

High Resolution Amorphous Silicon TFT-LCD

Isao Nojiri, Shohei Yasuda

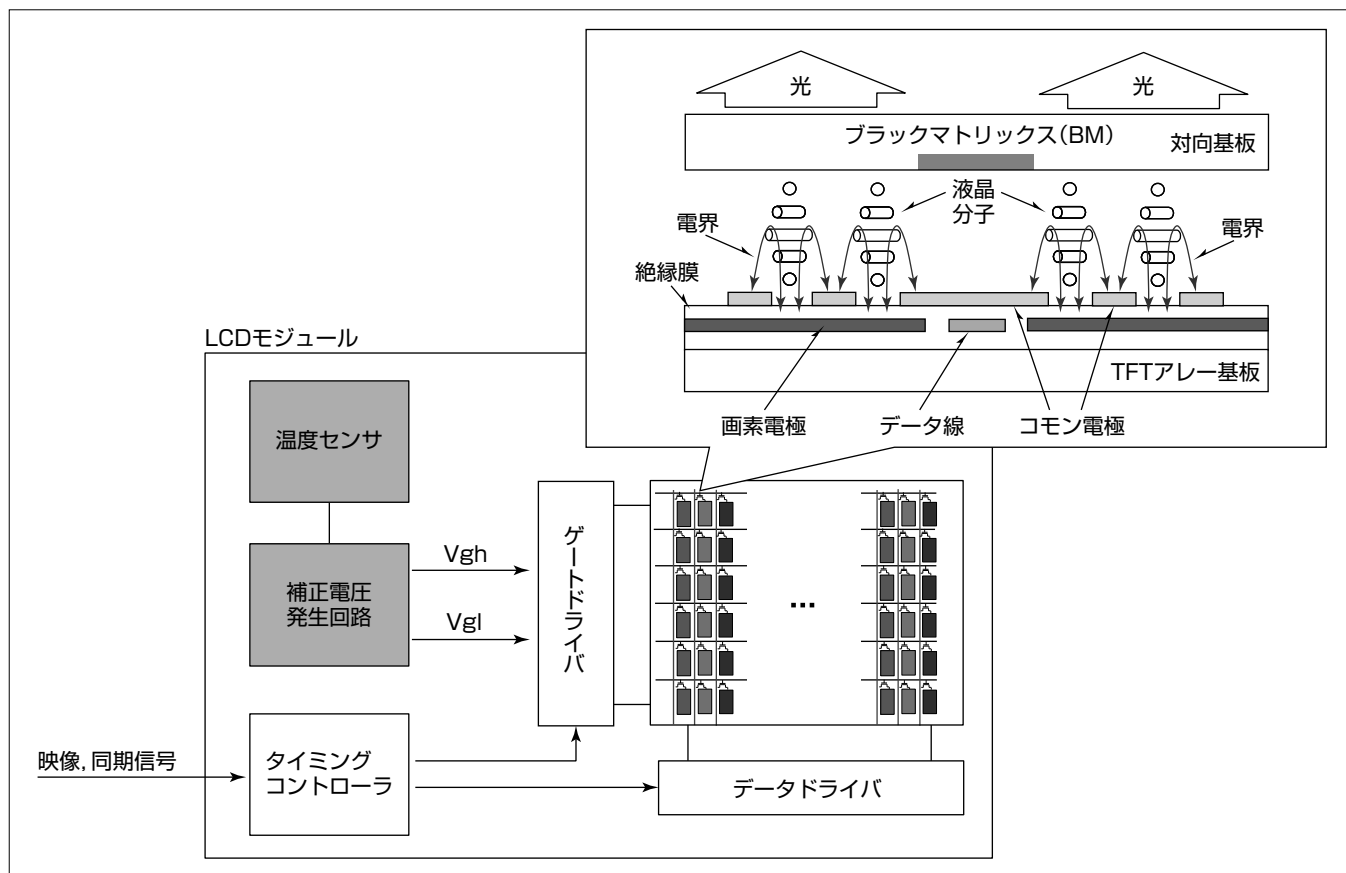
要 旨

TFT(Thin Film Transistor)を用いたアクティブマトリックス駆動LCD(Liquid Crystal Display)は映像機器の表示デバイスとして圧倒的な地位を占めている。TFTの主流はアモルファスシリコンTFTであり、その理由は、製造プロセスがシンプルで生産性が高いためである。

高解像度LCDは、ゲート線(走査線)数が多いためTFT選択時間が短くなる。TFTを介した画素充電時間はTFT選択時間から配線遅延時間を除いた時間となるため、高解像度LCDでは配線遅延時間の割合が相対的に大きくなり、画素充電が厳しくなる。また、産業用及び車載用LCDでは、民生用と異なり-30℃というような低温での表示品位も要求されるが、アモルファスシリコンTFTは低温時

に電荷移動度(電荷の移動のしやすさ)低下が大きいため画素充電時間をより必要とする。このため従来のアモルファスシリコンTFT-LCDでは、産業用及び車載用途で、低温時での画素充電不足によって表示品位が低下して高解像度化が困難であった。

三菱電機では従来の画素構造を見直すことで配線遅延時間の短縮化を行った。またTFTに印加されるゲートハイ電圧を低温時に高くする等の駆動技術の工夫を行った。これらの効果について、-30℃で表示品位を持つ産業用、及び車載用に対応した高解像度アモルファスシリコンTFT-LCDを実現できることをシミュレーションによって検証した。



高解像度アモルファスシリコンTFT-LCD

従来の画素構造を見直し、高解像度に対応した画素構造を開発した。また、ゲート電圧を温度に応じて制御する駆動技術等を適用した。

1. ま え が き

現在、液晶ディスプレイ(LCD)は映像機器の表示素子として圧倒的な地位を占めている。LCDの発展の原動力はTFTを縦横に配置し、データ線とゲート線で駆動するアクティブマトリクス型の実用化にあり、各画素を独立に制御できるため高画質化が可能となった。TFTとしては、1980年代に開発が開始されたアモルファスシリコン(a-Si)TFTに加え、近年ではa-Siよりも電荷移動度が高い低温ポリシリコンTFT、酸化物半導体TFTが開発・量産化されてきているが、TFTの主流はいまだにa-SiTFTである。その理由は、製造プロセスがシンプルで生産性が高く、かつ画素と同数の多数のTFTを大面積ガラス基板に均一に形成できるためである。

当社では、1990年代前半にノートパソコン用ディスプレイの製品開発を皮切りに、デスクトップモニター用LCDの製品化、そして現在では産業用、及び車載用LCDへと主要製品をシフトさせている。

a-SiTFTはこれらのメリットがあるものの、産業用、及び車載用LCDに適用する場合、民生用と異なり新たな課題が生じる。これらの用途では、-30℃というような低温での表示品位も要求されるが、a-SiTFTは低温時に電荷移動度が急激に低下するため、画素充電が不十分となりコントラスト等の表示品位が低下する場合が生じる。また、高解像度LCDでは、ゲート線(走査線)数が多くなるため、TFT選択時間(画素充電に割り当てられる最大時間)も短くなる。TFT選択時間 T は、フレームレートを60Hzとし、ゲート線数を n 、垂直ブランキング数を m とすると

$$T(\mu\text{s}) = \frac{10^6}{60 \times (n + m)} \dots\dots\dots (1)$$

で表される。垂直ブランキング数 m として一般的な値を用いて、TFT選択時間とゲート線数 n の関係を示すと図1のようになる。ゲート線数が768本のXGA(eXtended Graphics Array)に対し、ゲート線数2,000本程度の解像度になると、TFT選択時間は約1/3まで減少する。また、

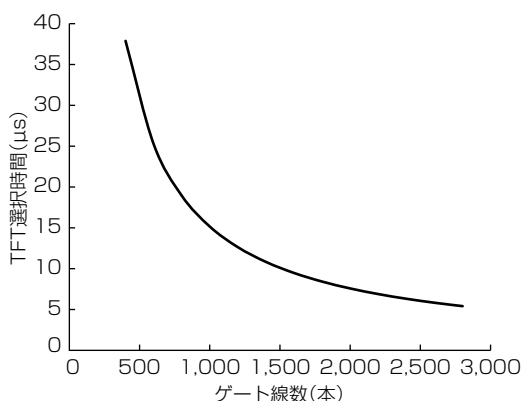


図1. ゲート線数とTFT選択時間の関係

TFT選択時間のうち、配線遅延時間は画素充電へ寄与しない時間となるが、TFT選択時間が短くなることで画素充電に対する配線遅延時間の割合が相対的に大きくなり、画素充電は非常に厳しくなる。

そこで当社では、従来の画素構造を見直し、配線の寄生容量を低下させて配線遅延時間が小さい画素構造の開発を行った。さらに、新しい駆動技術を適用することで、従来困難であった、産業用、及び車載用途での高解像度a-SiTFT-LCDの実現性を検証した。

2. 高解像度a-SiTFT-LCD

2.1 画素構造

当社では従来、高視野角で高透過率のLCDを開発してきた。図2にその断面構造を示す。上部が対向基板、下部がTFTアレー基板である。対向基板にはブラックマトリクス(BM)だけを示している。画素電極を面状に形成し、その上に絶縁膜を介してスリット形状のコモン電極を配置して液晶を駆動するFFS(Fringe Field Switching)構造を用いている。コモン電極と画素電極の距離が非常に近いため、液晶を駆動する電界強度が強く、電極部の液晶が全体的に駆動されて電極部の透過率が向上することが特徴である。

またデータドライバから供給される画素電位は、データ線から画素へ電界を形成し、この電界が液晶分子を望まない方向へ配列させる。この領域はBMで遮光して非透過領域となる。当社では、このデータ線からの漏れ電界を効率的に遮蔽するため、データ線の上層にデータ線を覆うようにコモン電極を配置し、コモン電極を遮蔽電極として活用するEOS(Electrode Overlapped Structure)と呼ぶ技術を開発してきた。データ線から画素への漏れ電界が遮蔽されることで、データ線上の遮光領域であるBM幅を狭くすることができ、透過率を向上させた⁽¹⁾。

今回、従来の画素構造を見直し、高解像度化に対応するため、配線の寄生容量が小さい画素構造の開発を行った。

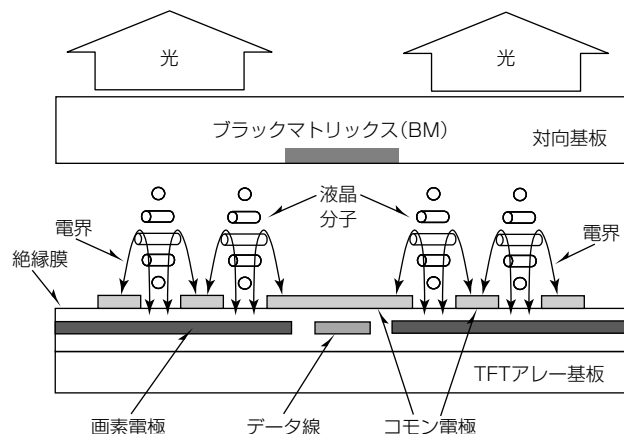


図2. 当社のFFS画素構造(EOS)

図3に、新しい画素構造でのデータ線近傍の拡大図を示す。従来の画素構造では、画素電極はデータ線と同層に配置していたが、図3に示すようにデータ線と画素電極間に新たに絶縁膜を配置し、データ線と画素電極との構造的な分離を行った。こうすることで、データ線とコモン電極間で生じる寄生容量を小さくし、データ線の配線遅延時間の短縮が可能となった。また、高解像度化による画素面積の縮小に伴ってデータ線等の非透過領域に占める割合が増加するが、この画素構造では、データ線と画素電極間の距離を離すことによってデータ線から画素への漏れ電界を従来以上に小さくした。この結果、BM幅を更に縮小させ、従来画素より透過領域を向上させることが可能となった。

2.2 駆動方法

画素を充電するTFTの駆動能力の向上は、TFTのゲート線信号電圧を増加させることで可能となる。TFTサイズ(チャンネル幅)を大きくすることもTFT駆動能力を向上させるのに有効ではあるが、TFTは画素内の非透過領域であるため、画素面積の小さい高解像度LCDでTFTサイズを大きくすることは、画素の透過率への影響が大きくなる。また、TFTサイズを大きくすることで、ゲート線とTFT間の寄生容量が増加するため、ゲート線電圧がハイレベルからローレベルに切り替わるタイミングで画素電位が低下する現象(フィードスルー)が大きくなる。このフィードスルーが大きいと、表示面内の画素電位ばらつきが大きくなる傾向にある。その理由はゲート線立ち下がり遅延が小さいゲートドライバ近傍の画素はフィードスルーによって画素電位が低下したままだが、ゲート線立ち下がり遅延の大きいゲートドライバから離れた画素は、ゲート線電位がTFTのしきい値電圧(電流が流れる状態と流れない状態の境界の電圧)以下になるまでの間、画素への電荷の再充電が行われ、その結果、画素電位の低下量が小さくなるためである。この表示面内の画素電位のばらつきは、フリッカ(画面のちらつき)や表示むらの原因となるため、TFTサイズは適切な値に調整する必要がある。

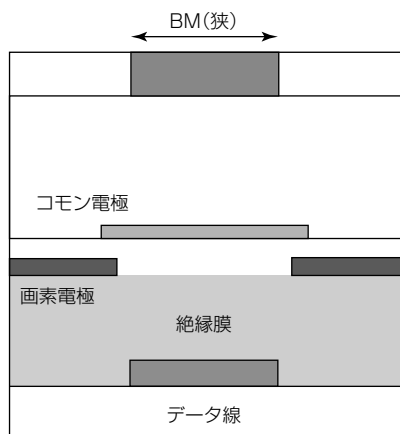


図3. 新画素構造(データ線近傍)

ゲート電圧を増加させることで、TFTの充電能力は増加するが、先に述べたフィードスルー量が増加することで、画素電位の面内ばらつきが生じ、フリッカや表示むらが発生しやすくなる。この現象は特に高温時に発生しやすい。その理由は、高温時にはTFTの電荷移動度が増加するため、ゲート線が十分にローレベルになるまでの期間、画素の再充電量が大きくなるためである。一方、低温時には逆にTFTの再充電量が減少するため、画素電位の面内ばらつきは生じにくい。a-Si TFTは、低温時に電荷移動度が急激に低下するため、周囲温度が低温時にはゲートハイ電圧を増加させ、逆に高温時には画素電位の面内ばらつきを抑えるためにゲートハイ電圧を低下させる駆動技術を適用した。

図4に今回適用した回路ブロック図を示す。ゲート電圧を温度に応じて制御する部分は、温度センサと補正電圧発生回路によって構成される。温度センサによってパネル温度を検出し、補正電圧発生回路で温度センサの出力に対応したゲート線信号の電圧レベルを調整する。ここで、ゲート電圧はハイ電圧(Vgh)及びロー電圧(Vgl)の両方を制御させている。Vglも変化させている理由は、高温時に表示むら等の要因となるTFTのオフリーク(ゲート線信号がローレベル時の漏れ電流)を、Vglを変化させることで低減させるためである。

図5に、周囲温度に対するVghとVglの設定値を示す。従来は周囲温度に対し固定であったゲート電圧値に対し、TFTの充電能力低下が大きい低温時にはVghを大きく上げることで、TFT充電能力を向上させている。逆に電荷移動度が向上する高温時にはVghを従来の電圧値より下げ、フィードスルーによる画素の再充電量を小さくし、フリッカや表示むらの発生を抑制している。またVglは、高温時に低下させることで、高温時のTFTしきい値電圧低下に伴うオフリーク量を低減させている。

また、ほかにも画素充電に有利な駆動方法の適用を行った。

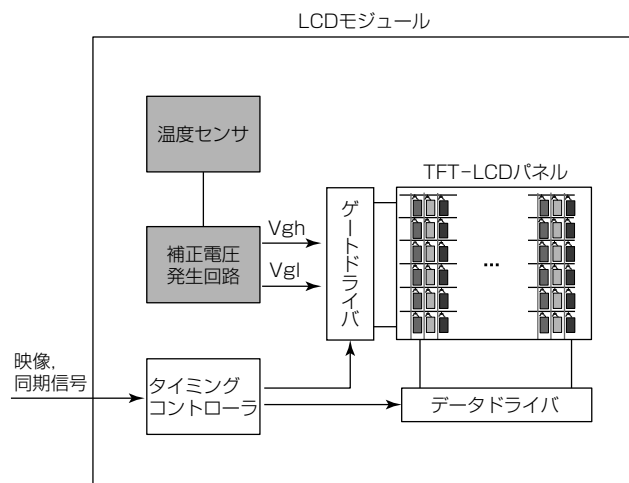


図4. 回路ブロック

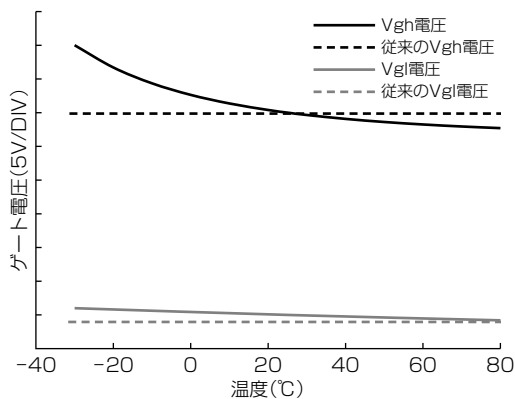


図5. VghとVglの設定値

3. 検証結果

従来での画素構造、駆動技術と、今回適用した新画素構造、駆動技術での充電特性差について、シミュレーションによる比較検証を行った。図6に、画面サイズが対角12インチ、アスペクト比(画素数縦横比率)が4：3のディスプレイでのゲート線数に対する画素最短充電時間を、従来技術と新技術の場合とで比較して示す。また、画素充電への割当時間であるTFT選択時間も併せて示している。ここで画素最短充電時間は、当社内で定めた-30℃及び室温での表示品位基準を満たすことを前提としているため、画素設計の最適化を行っている。

図6に示すとおり、従来技術では、ゲート線数が1,000本未満で画素最短充電時間がTFT選択時間を超えてしまい、画素充電が不十分となる。一方、新技術適用の場合には、ゲート線数が2,000本近くまで、TFT選択時間内に当社表示品位基準を満たす画素充電が行われることが分かる。

これらから、今回開発した画素構造、駆動技術は低温での表示品位が要求される産業用、及び車載用途での高解像度化が可能であることが確認された。

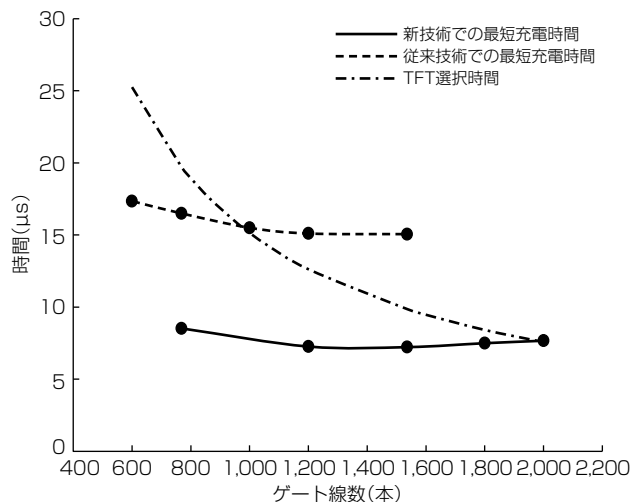


図6. 対角12インチでアスペクト比4：3のディスプレイでの画素最短充電時間

4. むすび

アモルファスシリコンTFT-LCDは低温での画素の充電能力が不足し、低温での表示品位が要求される産業用、及び車載用途では従来、高解像度への対応が困難であった。今回開発した画素構造、及び新しい駆動技術はそれを可能とし、生産性が高く特性の均一性の良いアモルファスシリコンTFT-LCDの適用範囲を更に広げていくものである。今後、この技術を適用し、産業用、及び車載用途に対応した高解像度LCDの製品展開を行っていき、幅広い顧客要求に従来以上に依っていく。

参考文献

- (1) 永野慎吾,ほか：最新の広視野角TFT-LCD技術，三菱電機技報，85，No. 6，374～377（2011）