

マイクロLEDディスプレイを効率的に駆動する方法

クリス・マイニー

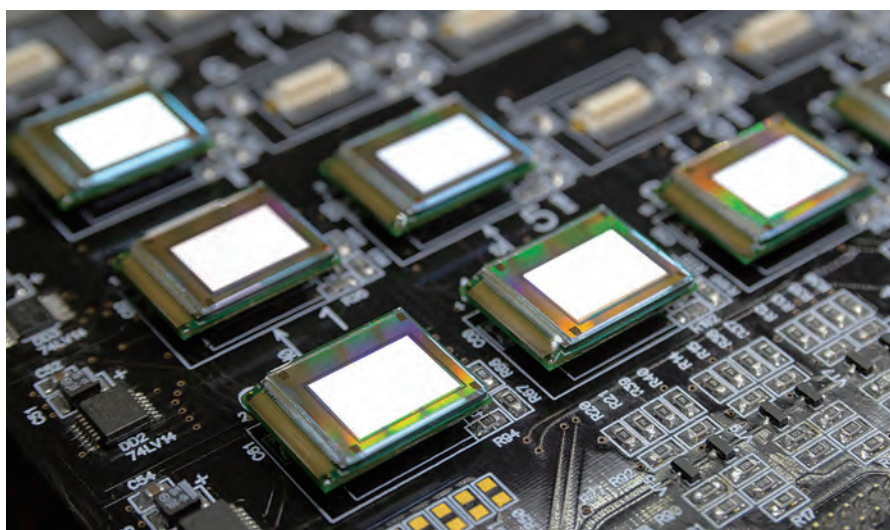
製造コストの削減とピクセル回路の性能改善につながる可能性がある、マイクロLEDの薄膜トランジスタバックプレーンに対するハイブリッド設計手法について、概要を説明する。

今日、フラットパネルディスプレイ市場は主に、液晶ディスプレイ(LCD)と有機EL(OLED)ディスプレイで構成されており、大型インフォメーションディスプレイやテレビ画面から、タブレット、スマートフォン、拡張現実／仮想現実(AR/VR)用のマイクロディスプレイに至るまでの最終製品をターゲットとしている。

LCDは、無機LEDバックライトの光を液晶マトリックスに通すことによって、画像を生成する。有機ELディスプレイは自発光式で、電流に反応して発光する有機化合物を使用する。

新たに登場しているマイクロLEDディスプレイは、従来のディスプレイよりも低い消費電力で、さらに多くの色と高い輝度を約束する技術である。大手ディスプレイメーカー各社によるテレビやビデオウォールなど、最初に投入された一連の製品は市場に好印象を与え、エンターテインメントやビジネス環境を対象とした究極の視覚体験を期待させるものだった。

マイクロLEDは、従来のLED(1mm以上)の微小版で、サイズは50 μ m未満である。従来のLEDは個々にパッケージ化されるのに対し、マイクロLEDは多数をベアダイの形に集積することによって、ディスプレイを構成する。それぞれ赤色、緑色、青色のマイクロLEDを含むサブピクセルによっ



て、カラーディスプレイが構成される。発光色は、LEDを構成する無機材料のバンドギャップによって決まる。例えば、AlGaInP(アルミニウムインジウムガリウムリン)は赤色、InGaN(窒化インジウムガリウム)は緑色を発光する。

大型モジュール式ディスプレイの可能性

ディスプレイの個々のピクセルのスイッチングと駆動を行うバックプレーントランジスタアレイが、アクティブマトリックス方式のマイクロLEDディスプレイを制御する。マイクロLEDは、バックプレーンの材料によって2種類に分類される。1つは、標準的なCMOS製造プロセスフローで作成されたシリコン(Si)ベースのトランジスタを使用す

るものである。これらのトランジスタは非常に微細にすることが可能で、それによってバックプレーンのピクセルピッチは小さくなり、高解像度のAR/VRアプリケーションやプロジェクターに理想的なものとなる。しかし、Siバックプレーンは比較的高額で、サイズに限界があり、光を透過しない。

2種類目は、アモルファスシリコン、低温多結晶シリコン(Low Temperature Polycrystalline Si:LTPS)、または酸化インジウムガリウム亜鉛:(Indium Gallium Zinc Oxide:IGZO)でできた薄膜トランジスタ(Thin Film Transistor:TFT)を使用するものである。TFTは、シリコンよりも大きな基板上で作成可能で、量産すれば単位面積あたりのコストを低減できる可能

性がある。本稿で取り上げるのは、TFT基板上のマイクロLEDである。

1つのアプリケーションは、家庭、映画館、広告、またはカンファレンスや会議室用のテレビやビデオウォールをターゲットとした、大型モジュール式ディスプレイである。モジュールのサイズと数によっては、最終的なディスプレイのサイズは200インチを超える場合もある。このアプリケーションに対しては、TFT採用のマイクロLEDの方がTFT採用の有機ELよりも高い性能が得られると予想される。マイクロLEDの方が効率が高く、同じ駆動電流で高い輝度が得られるためである。また、有機層がないためにマイクロLEDディスプレイにはカプセル化が不要で、モジュール間のシームレスな遷移が容易になる。有機ELの場合は、各モジュールを個々にカプセル化する必要がある。

有機ELとは異なり、大型ディスプレイ用のマイクロLEDは、同一基板上でモノリシックに作成することはできない。そのため、中型から大型のディスプレイには、ピック&プレースなど、他の製造方式が必要である。ピック&プレース方式では、マイクロLEDは3つの異なるエピウエハ(それぞれ赤、青、緑用)を使用して製造され、さいの目状に切り分けられ、高速ピック&プレースシステムを使用してTFTバックプレーンに転写される。

マイクロLEDのTFTバックプレーン設計に関する考察

高性能マイクロLEDディスプレイは、バックプレーン設計に新たな課題をもたらす。アクティブマトリクス式有機EL(AMOLED)の設計手法に基づくものや、パッシブなPCBベースの設計に

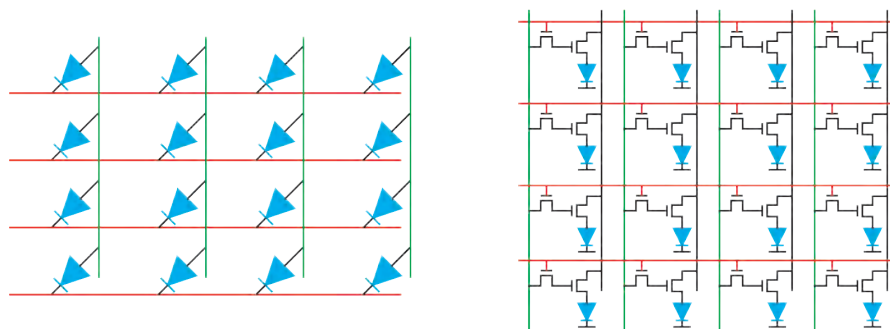


図1 パッシブマトリクス駆動方式(左)とアクティブマトリクス駆動方式(右)

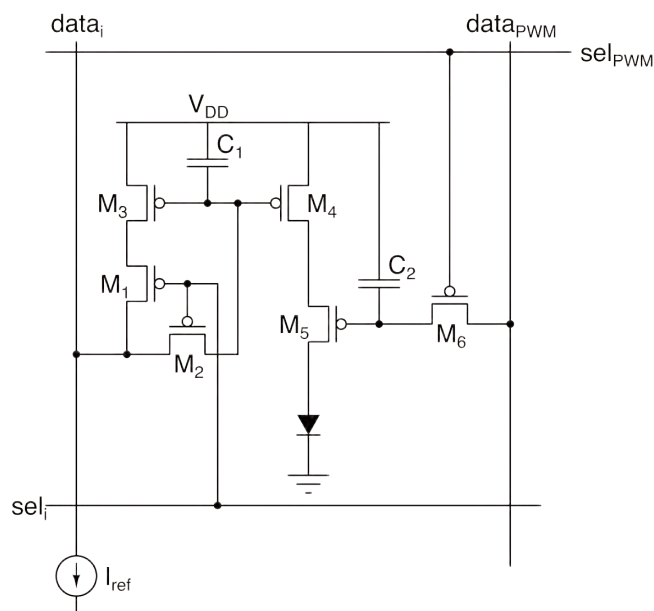


図2 マイクロLEDディスプレイの駆動用に提案する6T2Cピクセル回路

基づくものなど、さまざまなエレクトロニクス手法が追求されている。

どの手法にも、グレーレベル、フリッカ(ちらつき)、ピクセルピッチ、放熱、消費電力の面で、長所と短所がある。ベルギーに本部を置く国際研究機関imecは、TFT回路に関する同機関の専門技術を活用して、マイクロLEDディスプレイの進歩につながる、代替ピクセル回路の開発に取り組んでいる。以下では、ディスプレイ/視覚化技術を提供するベルギーのバルコ社(Barco)と共同開発した、モジュール式マイクロLEDディスプレイ用の新しいTFT回路設計の例を紹介する。

マイクロLEDディスプレイを駆動するための6T2Cピクセル回路

特定種類のディスプレイを対象としたバックプレーン回路を開発する場合、設計者は、最適なマトリクスアーキテクチャ(アクティブマトリクス駆動かパッシブマトリクス駆動か)、グレーレベルの設定方法(アナログ駆動かデジタル駆動か)、LEDプログラミングモード(電圧プログラミングか電流プログラミングか)を選択する必要がある。imecの研究者らは、さまざまな最先端手法を比較および評価し、異なる手法の最も良い部分を組み合わせ

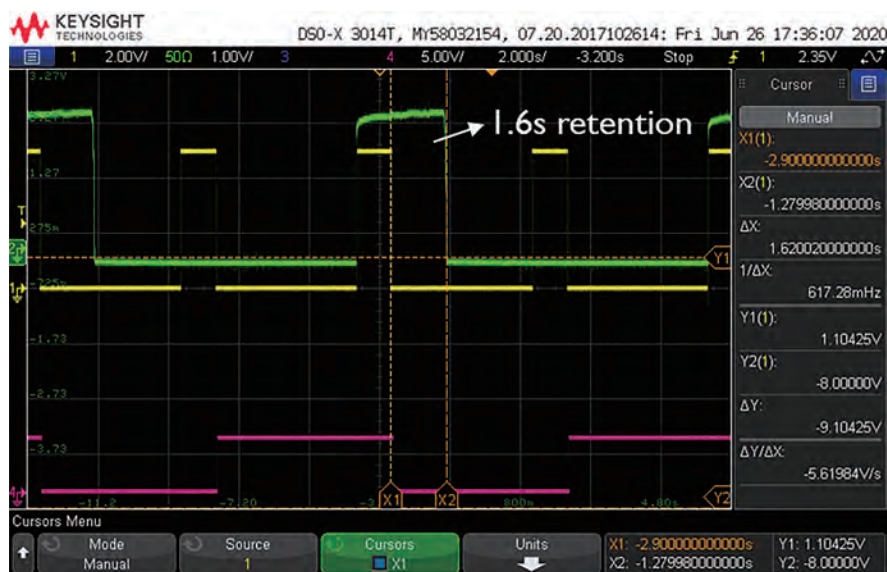


図3 優れたデータ維持期間を示す、LTPSパネルの特性評価結果。データ維持期間とは、スイッチング後にカレントミラーとコンデンサにおいて、データが維持される期間のことである

ハイブリッド型的手法として、マイクロLEDディスプレイの新たな課題に対応できる、新しい6T2Cピクセル回路を開発した。

マトリクスアーキテクチャー—アクティブ方式とパッシブ方式の比較

アクティブマトリクス方式とパッシブマトリクス方式のどちらを採用するディスプレイも、水平方向と垂直方向のラインをそれぞれ使用することによって、ラインを選択し、対応する画像データをそのラインのピクセルを駆動するカラムに適用する。ラインは高速に駆動されるため、人間の目はそれをライン走査ではなく平面フレームとして認識する。

今日のマイクロLEDウォールに採用されているパッシブマトリクス駆動では、非選択ラインのピクセルはオフとなる。ピクセルは、ラインが選択されている短い時間だけオンになる。言い換えると、一度に発光するラインは1本だけである。

アクティブマトリクス駆動(AMOLEDと同じ設計方法)では、す

べてのピクセルが蓄電素子を備えており、値が再び更新されるまで、スイッチングサイクルを通してオン状態を維持することができる。つまり、ラインは他のラインがプログラムされているときも発光し続けることになり、ピクセル輝度要件と電流レベルの低下につながる。

アクティブマトリクス方式は、消費電力、コスト、画質の面でメリットがある。パッシブマトリクス方式では、ピクセルが短時間しかオンにならないため、アクティブ方式と同じ全体輝度を得るには、ピーク輝度をかなり高くする必要があり、それに相応する電流をLEDに流さなければならない。それによって消費電力は増加し、放熱の必要性も高まる。従って、数百万もの発光体で構成される大型モジュール式ディスプレイに対しては、アクティブマトリクス駆動方式の方がパッシブマトリクス方式よりも望ましい。

グレーレベル—デジタル駆動とアナログ駆動の比較

LEDを流れる電流量によって、個々の発光体のグレーレベル(すなわち輝

度)が決まる。ピクセルを構成する個々のLEDのグレーレベルによって、マイクロLEDディスプレイの全体輝度が決まる。

AMOLEDディスプレイに採用されるパネルベースの設計では、アナログ駆動方式が一般的に実装されている。つまり、アナログ電圧(または電流)をピクセルに印加することで、有機ELに電流が流れ、グレーレベルが決まる。この方式では、電流レベルが高いほど発光が高くなり、ピクセルの輝度は高くなる。しかし、無機のマイクロLEDの場合、グレーレベルを変えるために電流レベルを変更すると、発光波長にも影響が生じ、望ましくない色シフトが生じる。

従って、マイクロLEDディスプレイにはデジタル駆動方式のほうが望ましい。この方式では、パルス幅変調(Pulse Width Modulation: PWM)によってマイクロLEDを流れる電流量を決定するため、固定の電流レベルがすべてのLEDに印加される(色シフトは生じない)。ただし、LEDがオンになる平均時間(デューティ比)を変えることによって、平均発光(すなわちピクセルの

グレーレベル)を調整することが可能である。

12ビットの符号化テーブル

デジタル駆動を実装するためのPWMをプログラムする、複数の符号化方式が存在する。符号化テーブルは、マイクロLEDがオンまたはオフになる正確な期間を詳しく定義するものである。imecのR&Dチームは、暗時間を最小限にして、光学的外観を最適化することにより、ディスプレイのちらつきを著しく抑制する、独自の12ビットの符号化テーブルを、提案している。

6T2C ピクセル回路

ピクセル回路の設計では、複数の選択を行わなければならない。例えば、より従来型の2T1C(2個のトランジスタと1個のコンデンサで1画素を構成する)構造を選択することが可能である。2T1C回路では、1つのトランジスタでピクセルを選択し、もう1つのトランジスタで入力データ電圧を設定することによってLEDを流れる電流を駆動する。しかし、トランジスタ特性の任意のばらつきに起因して、電流のばらつきや色シフトが生じる可能性があるため、電圧駆動方式は避けるべきである。

imecとバルコ社の研究者らは、いわゆるカレントミラーによってマイクロLEDに流れる固定電流を正確に設定し(2つのトランジスタを使用)、電圧レベルによってPWMデータを適用する(2つのスイッチングトランジスタを使用)、ハイブリッド方式を開発した。スイッチングトランジスタは、符号化テーブルに従って固定ミラー電流のオン/オフを行う。6T2C回路の残り2つのトランジスタは、入力電流を更新するピクセルを選択する。

imecとバルコ社の共同R&Dチームは、このピクセル回路を使用して、提案するハイブリッド設計方式を実装し、マイクロLEDディスプレイを最適な性能で駆動することに成功した。同チームは、6T2Cピクセル回路の応用可能性を広げるために、その派生形も提案している。例えば、カレントミラーを共有するという概念に基づいてピクセル回路の全体的な占有面積を縮小するバージョンや、グローバルシャッタ設計を採用してモジュール式ディスプレイのサブモジュールを更新するための同期を改善するバージョンが提案されている。

TFTバックプレーンの量産に向けて

革新的なピクセル回路設計は、ディスプレイ製造コストを削減しつつ、高性能で大画面のマイクロLEDディスプレイの実現を可能にする。提案したTFT採用のアクティブマトリクス方式は、TFTバックプレーンの設計に(Siよりも)大きな基板を使用するため、Si CMOS採用のアクティブマトリクス方式や、Si CMOSとTFTバックプレーン技術の両方を組み合わせたハイブリッド方式よりも、製造コストが低くなり、TFTの量産の可能性を拡大するものである。Si CMOS技術に対して既に存在する、複数のプロジェクトを対象としたウエハサービスと同様に、独自のファウンドリモデルがTFTメーカーとともに開発されて設定され

ている。

imecとバルコ社の共同チームは、この製造能力を示すために、上述のピクセル回路設計に基づく、LPTSバックプレーン採用のマイクロLEDディスプレイのプロトタイプを設計した。このプロトタイプはその後、一部のTFTファウンドリで製造されている。TFT材料としてIGZOよりもLPTSを選んだのは、LPTSのほうがより高いディスプレイ駆動電流に対応できるためである。

結論

マイクロLEDのTFTバックプレーンを設計するためのハイブリッド型の手法として、既存方式の最も良い部分を組み合わせた、電流プログラミングでPWM駆動のアクティブマトリクス方式を提案した。また、このハイブリッド設計方式でマイクロLEDを駆動して最適な画質を実現するための、6T2Cピクセル回路を新たに考案した。マイクロLEDを駆動するためのTFTバックプレーンは、量産が可能になれば、従来のパッシブ方式のPCBに基づく設計や、ピクセルが埋め込まれたSi CMOSチップ手法よりも高い性能を維持しつつ、コストを低減する可能性がある。

imecは、本稿で紹介したようなR&D、プロトタイプ開発、製造サービスを提供している。

参考文献

本稿で紹介した研究成果は、imecを代表してクリス・マイニー氏によって、第21回International Meeting on Information Display(IMID 2021)で発表されている。

著者紹介

クリス・マイニー(KRIS MYNY)は、imecの首席サイエンティストであり、ベルギーのルーヴェン・カトリック大(KU Leuven)の教授。フレキシブル薄膜トランジスタを応用した回路設計を専門としている。