

## デジタル・マイクロミラー・デバイス

新地 修・林田 正尚

テキサス・インスツルメンツ (TI) におけるデジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD™) の研究開発は、ほぼ 20 年前ラリー・ホーンベックがデバイスを発明したときに始まった。概略図を図 1 に示す。

この“クローバーの葉”状の DMD は、各ピクセルごとにその直下に配置されたメモリー素子による静電界作用によって動作を行う。すべて通常の IC 製造ラインを使って作られた DMD チップは様々なディスプレイ、プリンター、光信号制御システムなどに応用される。当初、多くのアプリケーションでは、DMD で反射された光の角度や明るさのアナログ制御が要求されたが、今ではほとんどの場合バイナリー位置制御で実現できる。このバ이스テابل・ミラーのアレイの構造を図 2 a~c に示す。これらのミラーは、二端をそれぞれ支柱に支えられ、それらの対角線を中心に安定した 2 つの状態を回転する。支持されていない側のコーナーのどちらかは Si 基板上に Al 膜で形成されたランディングパッドに接触する。現在の DMD (digital micromirror device) という名前は、このタイプのバ이스テابلな動作をするところから名付けられている。

TI は最近 VGA, SVGA や HDTV などに使用する 1280×1024 ピクセル DMD や、2048×1152 ピクセルの高解像度をもつデバイスも開発試作した。TI の NTSC 方式の最初の DMD 全デジタル・ビデオシステムは 768×576 ピクセルのデバイスを使用し、1993 年 2 月に DARPA の HD システム・プログラムレビューで発表された。

### 1. DMD の製造

768×576 ピクセルの DMD の構成について述べる。SRAM アレイはそれぞれのピクセルに対応し、6 Tr. 方式である。標準 CMOS プロセスにより SRAM を形成した後、Si ウェハにポリマー層をコーティングし、露光、選択エッチング、Al スパッター工程を何回か繰

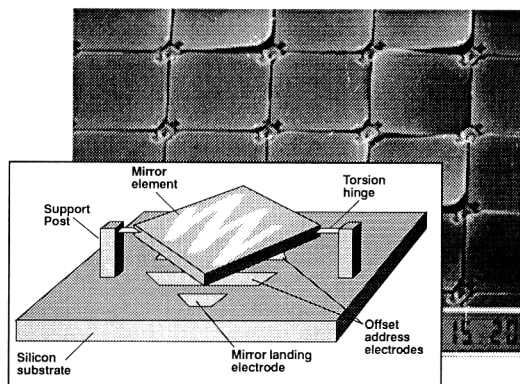


図 1 DMD のピクセルアレイ。

り返してスーパーストラクチャーと称するマイクロミラー構造を形成する。

マイクロミラーとバイアス支柱間のアタッチメント (ヒンジ) は薄膜 Al 層で形成されるので容易に変形することができ、したがってマイクロミラーの対角線を中心にした回転を可能にする。最近の設計ではミラーの面積利用率 (開口率) や光利用効率、さらにコントラスト・レシオを改善するため、図 2 a~d に示すようなヒドンヒンジ方式という構造になっている。

### 2. 動作

現在のデバイスではマイクロミラーの回転角は水平方向に±10度程度あり、その大きな反射角をもつデバイスは外光が入らないような室内で使用する光学システムへの応用に適している。その概略図を図 3 に示す。投射光束は垂直線から 20 度の角度で DMD に投射される。DMD 像はプロジェクションレンズを通してスクリーンに投影される。回転しないマイクロミラーで反射した光束はプロジェクションレンズに集束されないため、スクリーン上では黒点となる。一方回転したマイクロミラーから反射された光束は、アパーチャーを通してスクリーン上に明るく投影される。

ピクセルのアドレス電圧駆動に高速で応答するというマイクロミラーの特性をいかして、768×576 ピクセル

Digital micromirror device (1996 年 3 月 5 日受理)  
Osamu SHINCHI, Masataka HAYASHIDA 日本テキサス・インスツルメンツ(株) (〒107 東京都港区北青山 3-6-12)

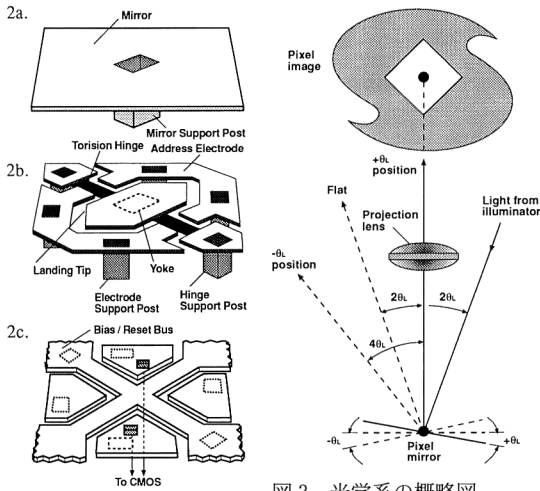


図2 a~c ヒドンヒンジ DMDの構造。

図3 光学系の概略図。

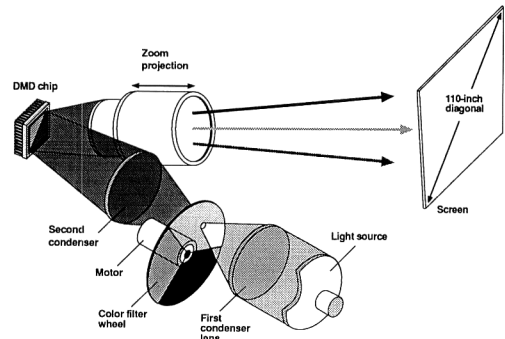


図4 単板ディスプレイシステムの構成図。

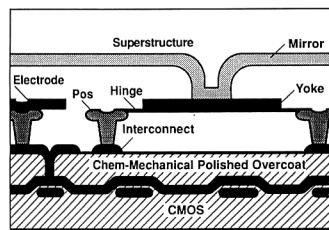


図2d ヒドンヒンジ断面図。

の DMD チップを  
応用してビデオプ  
ロジェクターが試  
作された。マイク  
ロミラーが反転す  
るのに要する時間  
は約  $10 \mu\text{s}$  のオー  
ダーである。この  
スピードは、たと

えば 96 並列入力でビデオのフレームレートを考えたとき、十分実用化可能な速さである。すべてのピクセル上でグレーレベルにエンコードされた明るさが視聴者の目で認識される PWM (pulse width modulation) 変調方式を採用している。このようにして DMD を使って完全なデジタル・ディスプレイ装置が実現可能になった。

3つの DMD チップ (R, G, B に対応) を使うことによりスクリーン上にフルカラーの投影映像が実現できる。代わりに 1 個の  $768 \times 576$  ピクセルの DMD チップを使い、1 つのビデオフィールドタイムに対し十分速いスピードで R, G, B を順次リフレッシュすることでシングル DMD プロジェクターを実現できる。

### 3. 性能

TI が最近デモンストレーションしたプロジェクター

は、 $768 \times 576$  ピクセルのシングルチップ DMD とキセノン・アークランプおよびカラーイメージを作り出すための回転カラーホイールで構成された。図 4 にシステム構造図を示す。

最近では  $270 \text{ kW}$  ランプ、また、 $28 \sim 70 \text{ mm/f}4$  プロジェクションレンズを使用し、スクリーン上には 100 インチの画面が  $400 \text{ lm}$  の明るさで映し出された。DMD チップ上に  $2000 \text{ lm}$  以上の照度の光を照射したが、デバイス上ではその影響によるいかなる不都合も観測されていない。また、Al のマイクロミラーは高反射率 ( $> 90\%$ ) を示し、SRAM 回路も高照度の光による照射にもかかわらず、心配された熱や光により発生されるホット・キャリアにも十分耐えることがわかった。

DMD は、DLP (digital light processing) 技術により大型スクリーン・プロジェクション・ディスプレイへの応用が非常に高い可能性をもっていることを示した。デバイスは、通常の標準的なウエハーフアブの中で、標準的な TI 製造プロセスにより、低いコストで量産が可能である。また、 $2048 \times 1152$  ピクセルの高解像度 DMD チップも最近試作に成功し、それらがあらゆる HD (high definition) 映像システムに適合することが確認された。さらにこれらのデバイスが光エネルギーを変調したり、方向スイッチが要求されるような、あらゆるシステムに適していることも確認された。画質評価においてもフルデジタルコントロールにより、完全な noise free 映像とスクリーン上でほとんど粒々のない seamless picture が得られた。