

MEMSスイッチで有機EL素子を駆動  
大電流駆動と面均一性が特徴

Next-generation MEMS Display Lab, School of EECS Associate Professor, Korea Advanced Institute of Science and Technology Jun-Bo Yoon

最近のアクティブ・マトリクス型有機ELディスプレイの進展は、目を見張るものがある（図1）。特に、モバイル・アプリケーションに関しては広範に使われるようになった。今後も有望な技術であるといえるだろう。特徴は、画像の品質が高いこと、電力効率が高いこと、そして超薄

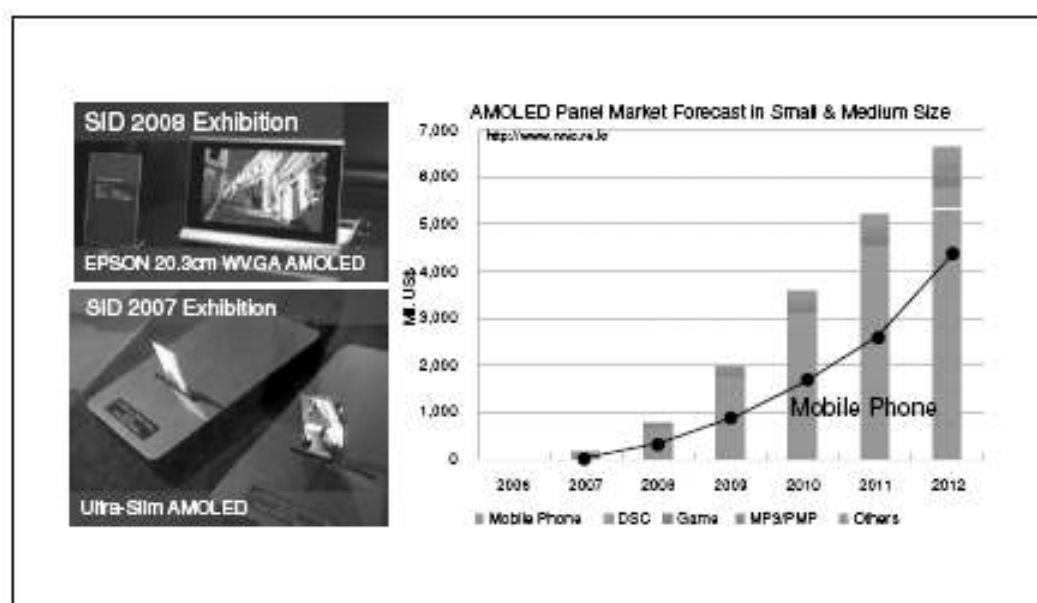


図1：アクティブ・マトリクス型有機ELディスプレイの市場予測

型を実現できることである。

将来のディスプレイは、どのような形になるだろうかを考えると、フレキシブル・ディスプレイや透明ディスプレイが最も有力になるとと思われる(図2)。有機ELディスプレイは有機材料で作られており、フレキシブルであって透明性も実現できる。このような観点からいって、アクティブ・

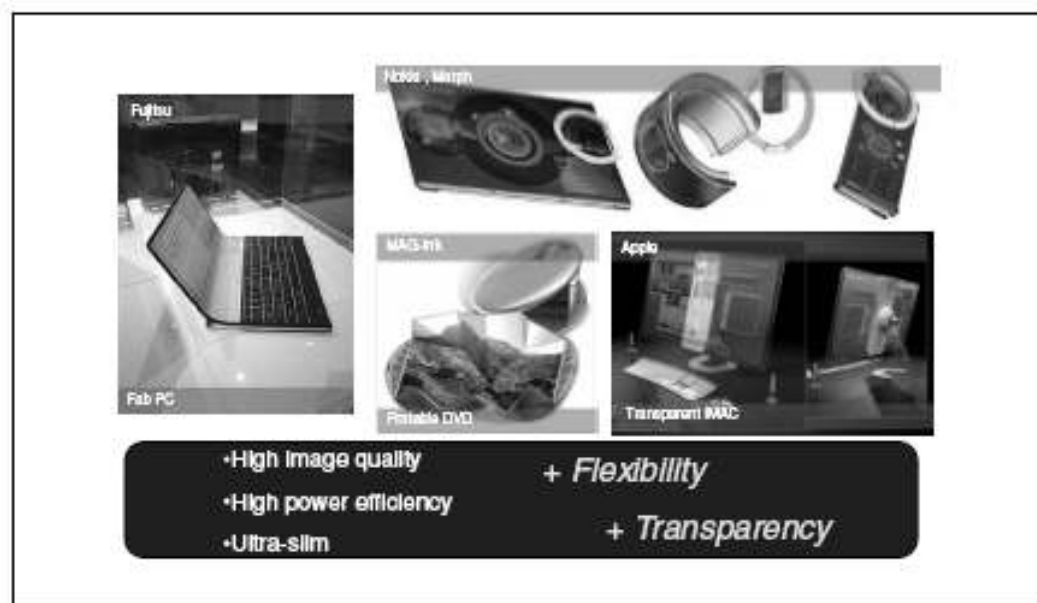


図2：将来のディスプレイのキーワードは「フレキシブル」と「透明」

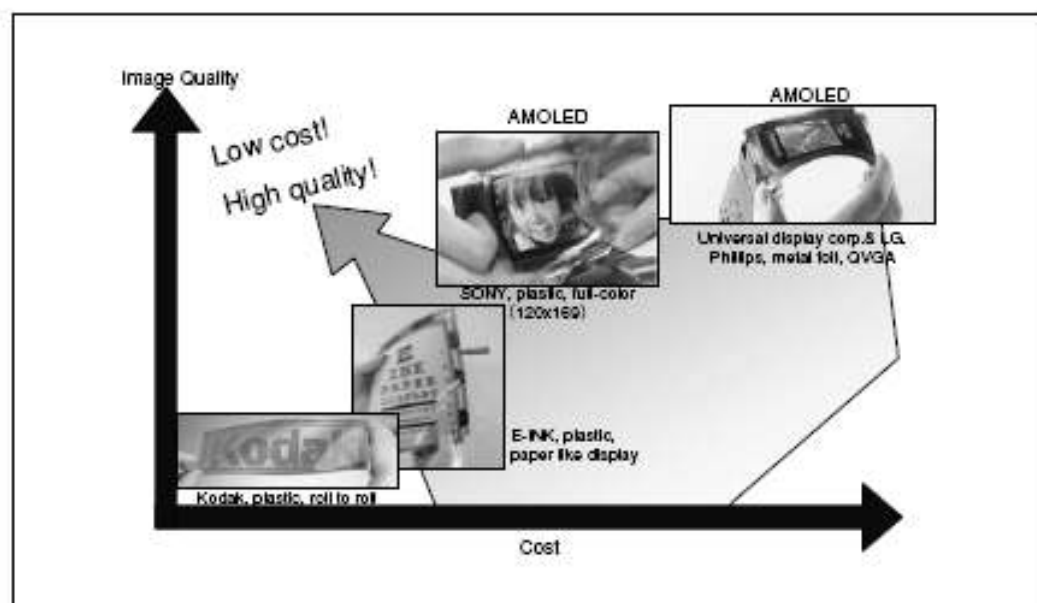


図3：有機EL技術のトレンド

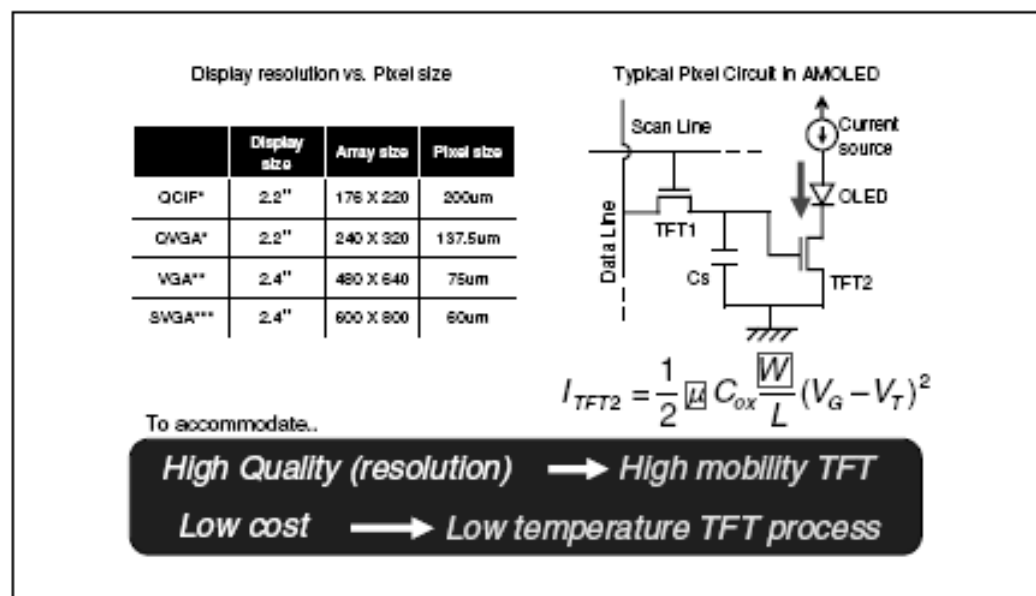
MEMSスイッチ技術 ……MEMSスイッチで有機EL素子を駆動  
大電流駆動と面均一性が特徴

図4：有機ELディスプレイの課題

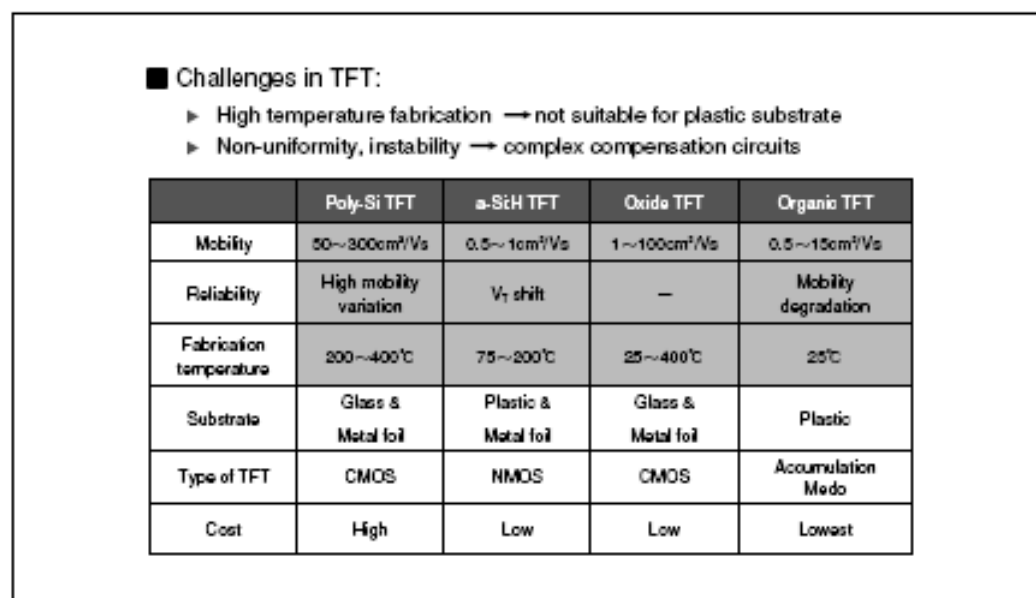


図5：TFTの課題

マトリクス型有機ELディスプレイは非常に有望な技術であると考えている。

有機EL技術のトレンドをしてみる（図3）。横軸がコスト、縦軸が画像の品質である。プラスチック製の、フルカラーのアクティブ・マトリクス型有機ELディスプレイは、既に試作が進んでいる。これからは図の左上の方向、つまりコストが低く、しかも画像の質が高いディスプレイを

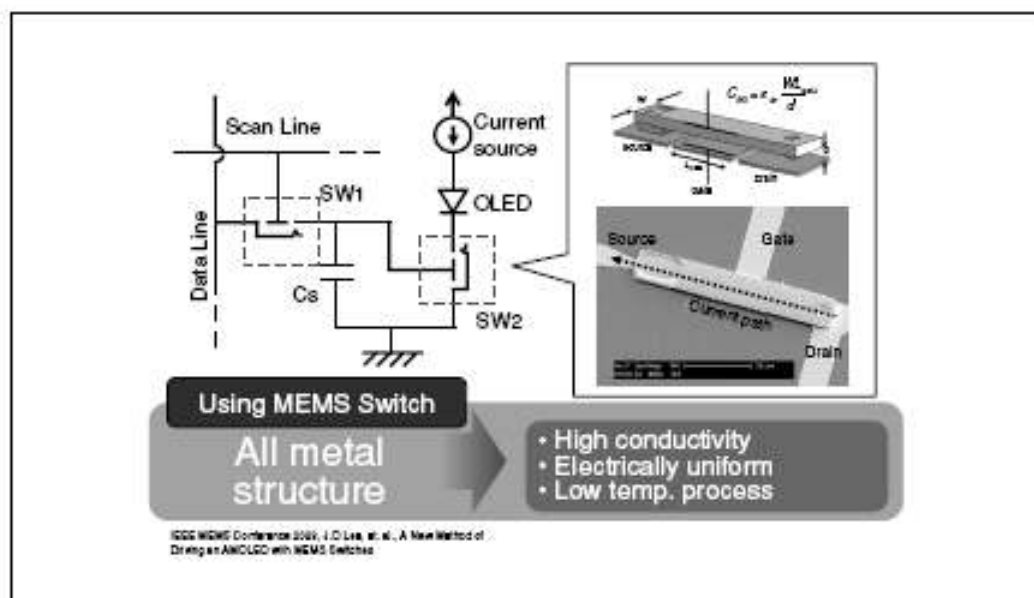


図6：有機ELディスプレイの駆動をMEMSスイッチで代替

追求していかななくてはならない。

アクティブ・マトリクス型有機ELディスプレイの持っている課題を考察する。有機ELパネルは、電流駆動である。TFTの電流 $I$ は、図4の式で表される。 $I$ は移動度 $\mu$ に比例している。移動度が小さい場合、 $I$ を大きく取るためのほかのオプションとしては、デバイスの幅 $W$ を広げることが考えられる。しかし、高解像度のデバイス・サイズには制約があり、解像度を高くするためには、幅を広くしていく余裕がない。

従って、解像度を高くするためには、移動度の高いTFTを使う必要がある。一方、低コスト化を実現するためには、低温のTFT作成プロセスを開発する必要がある。

図5に、現行の四つのTFT技術を示す。これを見ると、それぞれ移動度の問題や作成温度の課題がある。高温のプロセスでは、移動度を高くできる方法がある。しかし、高温プロセスはプラスチック基板には使えない。また不均一性、不安定性の問題がある。これらの問題があると、相当複雑な補正回路が必要になる。

そこで、われわれはTFTをMEMSスイッチで代替しようというアイデアを出した(図6)。MEMSスイッチをメタルで作成すれば、半導体の移動度の問題でもう悩む必要はない。メタルは導電性が高く、MEMSスイッチは基板全体に対して電気的な均一性を保証できる。また、低温プロセスで作成できるという、なかなか大きなメリットがある。

#### なぜMEMSスイッチか

では、MEMSスイッチの概要を見てみよう(図7)。いわば、「機械的なスイッチ」と同じよう

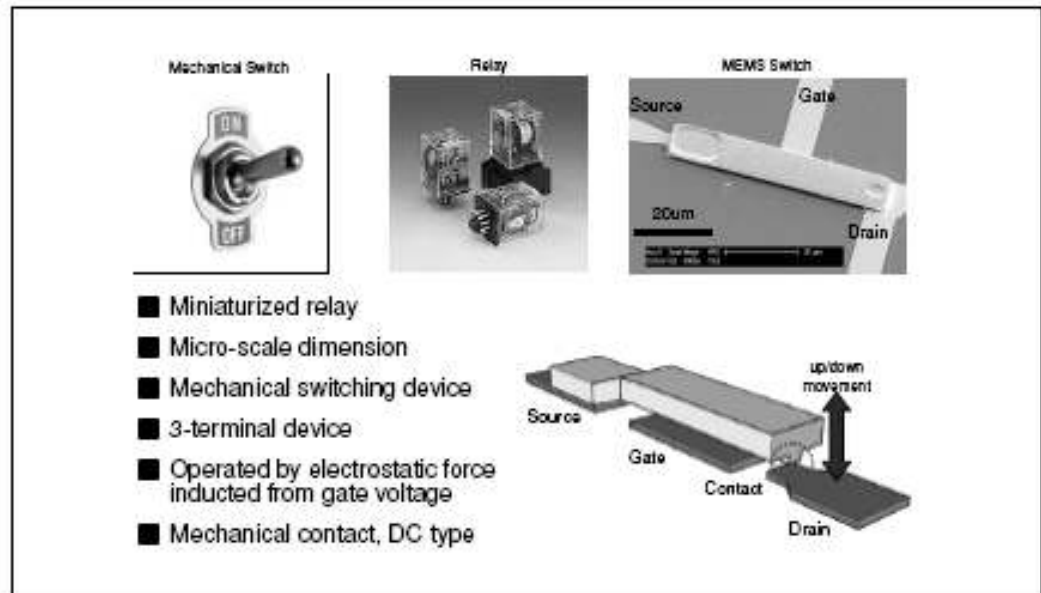
MEMSスイッチ技術 ……MEMSスイッチで有機EL素子を駆動  
大電流駆動と面均一性が特徴

図7：MEMSスイッチの特徴

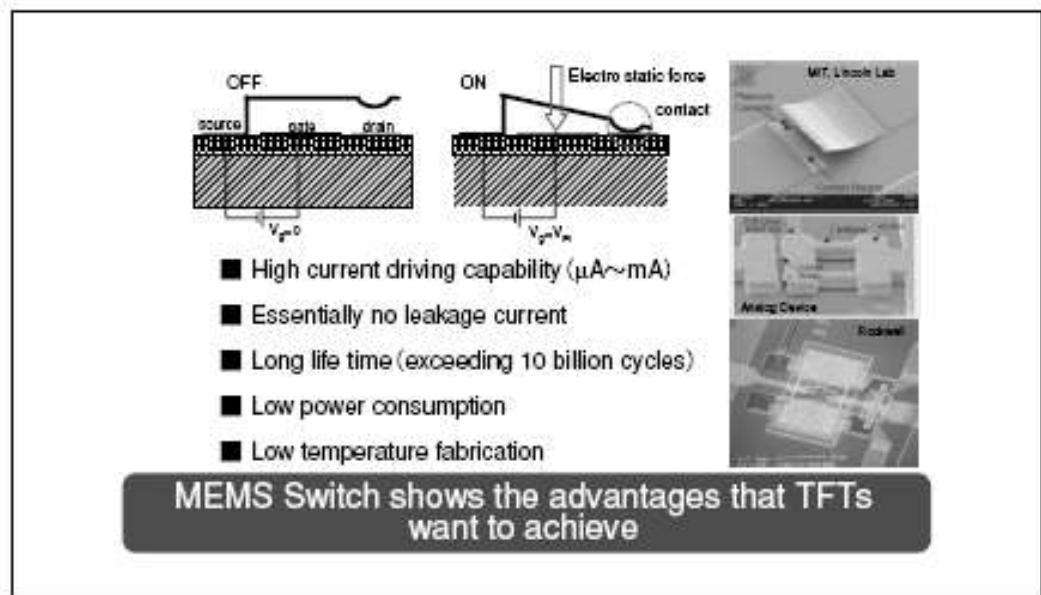


図8：MEMSスイッチの特徴

なものである。また、リレーと同じようなものでもある。違うのは、スイッチでいうところの機械的な入力や、リレーにおける電磁力などの電氣的な力が不要なことである。唯一必要なのが静電気力である。

このMEMSスイッチは、ソース、ゲート、コンタクトという三つの要素で構成している。ゲー

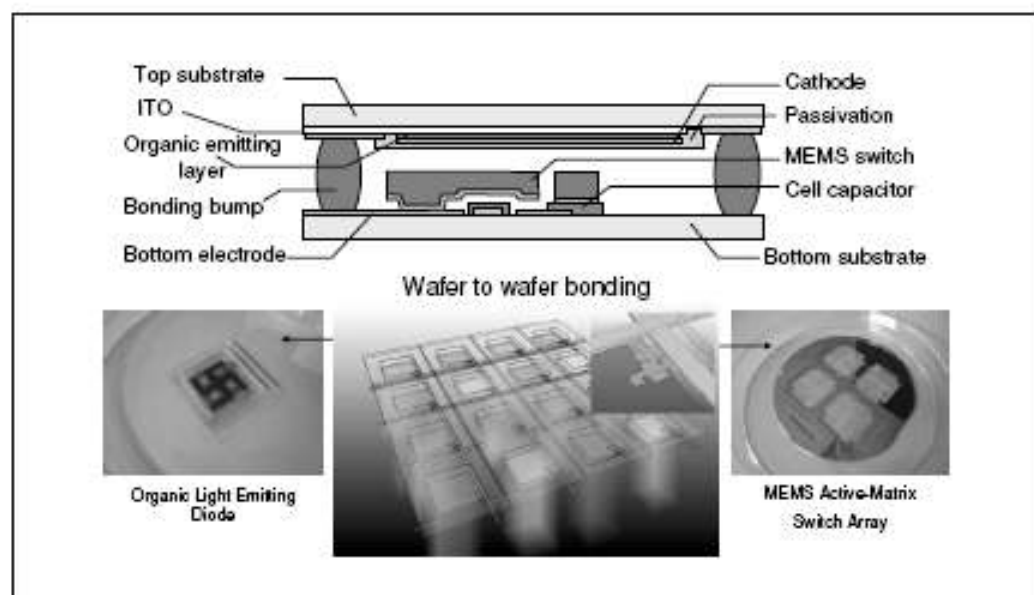


図9：MEMSデバイスによるディスプレイの構造

トとビームの間に電圧を印加すると静電気力が発生し、ビームが接近する。するとドレインが接触する。これは寸法が $\mu\text{m}$ サイズの、超小型のリレーである。

MEMSスイッチの持っているメリットを紹介する(図8)。まず、すべて金属で構成されているため、スイッチがオンの状態になると、高電流を流すことができる。また、オフの状態になれば機械的に分離しているため、リーク電流はゼロである。ここがTFTと全く違う点である。さらに非常に長寿命で、100億サイクルの動作が可能であることが確認されている。電力消費も少ない。低温でデバイスを作成することが可能である。これらのメリットはTFTに対して非常に強力である。TFTで実現できなかったことが、MEMSスイッチで実現できるのである。

#### デバイスの構造

次に、デバイスの構造を見てみよう(図9)。まず、上側の有機ELディスプレイのパートを作る。次に下側のMEMSスイッチ・パートを作る。それぞれ別々に作り、張り合わせている。接合にはバンブを使っている。

図10は、メタル製MEMSスイッチの作成の流れである。まず最初に下部のソース、ゲート、ドレインの各電極を作る。Cuを犠牲層として形成した後、Niめっきをし、パターニングで片持ちはりを形成した後に、犠牲層を選択的に除去することで図のような構造を作る。このプロセスは $150^{\circ}\text{C}$ 以下の低温プロセスである。

作成した結果を図11に示す。左上の写真がスキャン・ラインに使ったMEMSスイッチである。これをオンにすると、データ・ラインのほうに電流が流れてキャパシタに電荷が蓄積し、ス

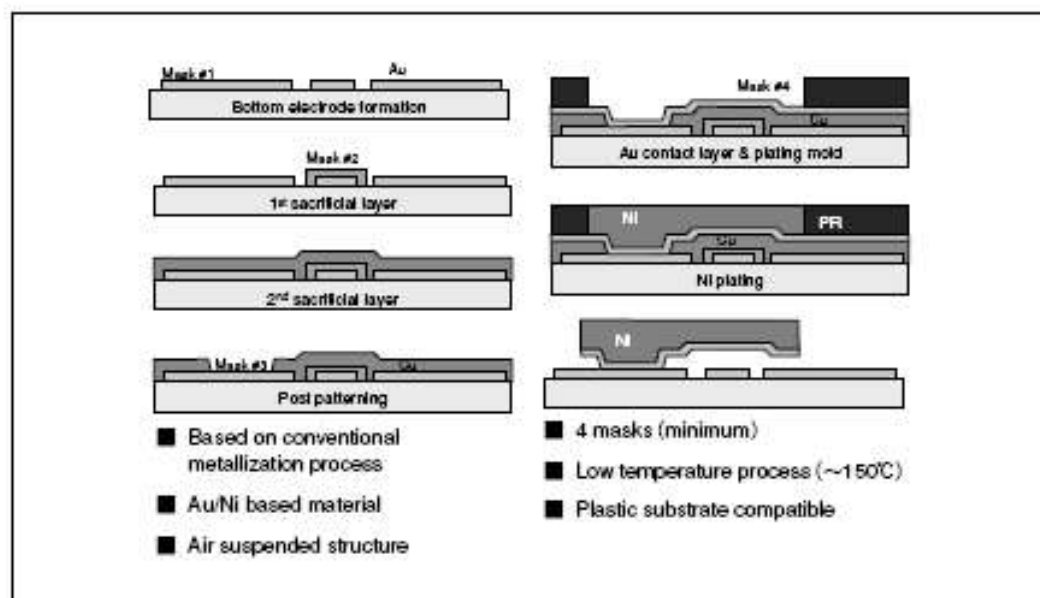
MEMSスイッチ技術 ……MEMSスイッチで有機EL素子を駆動  
大電流駆動と面均一性が特徴

図10：MEMSスイッチのプロセス

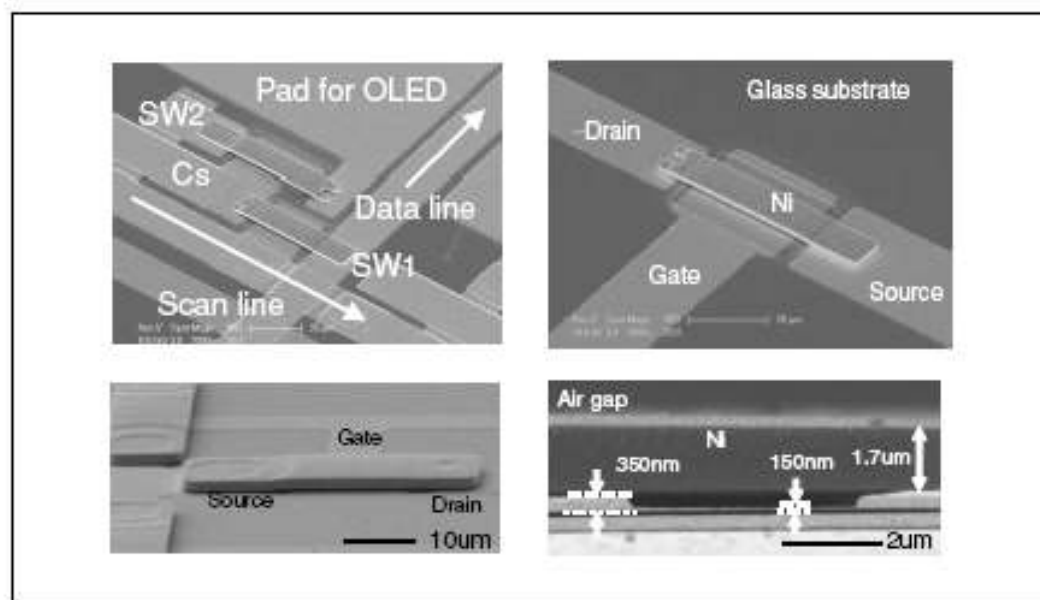


図11：試作したMEMSスイッチ

スイッチ2がオンになって、最終的に電流が有機EL層に流れて点灯する。

右下の写真は、ビームとドレインの間のギャップを示している。ギャップの大きさは150nmである。これはすべてメタルでできている。

図12はI-V特性である。ここでは一つのスイッチに注目している。図のような形でオフ状態

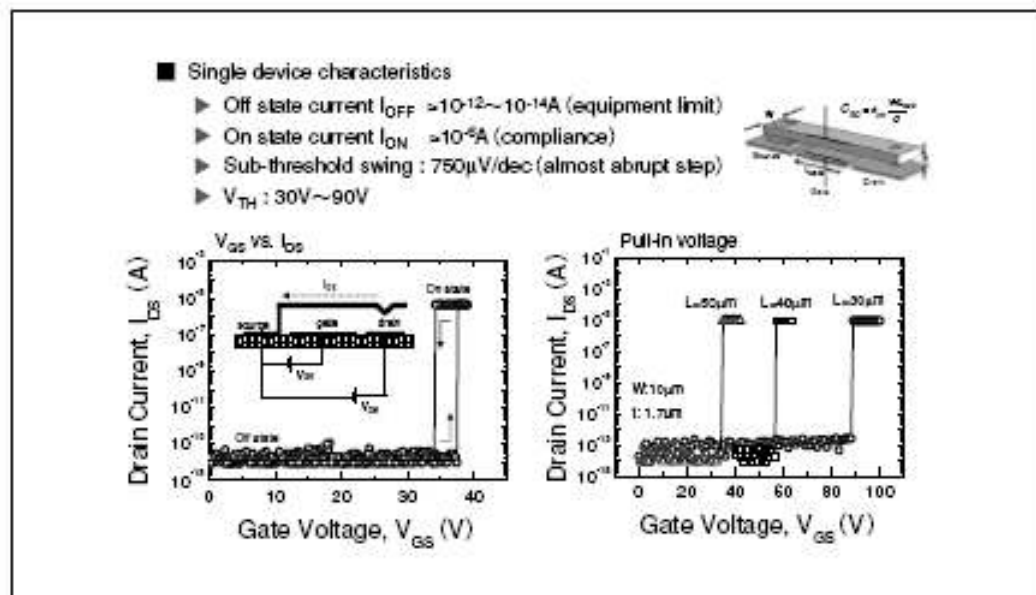


図12 : I-V特性 (1)

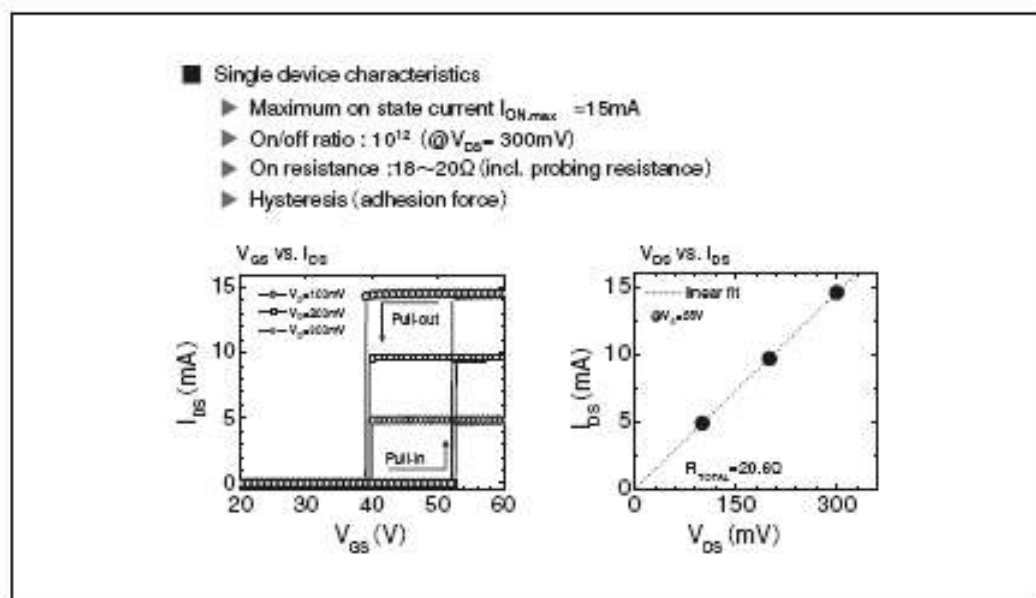


図13 : I-V特性 (2)

からオン状態に急速に、また短時間でスイッチングされている。この特性は、デバイス・サイズによって変わってくることが予想される。これはMEMSスイッチとTFTの違いの一つである。

もう一つのI-V特性を示す(図13)。スイッチをオンにし、ドレインとソースの電圧を高めていくと、電流を比例的に伸ばせることが分かる。ここでは15mAまで高めることができた。TFT



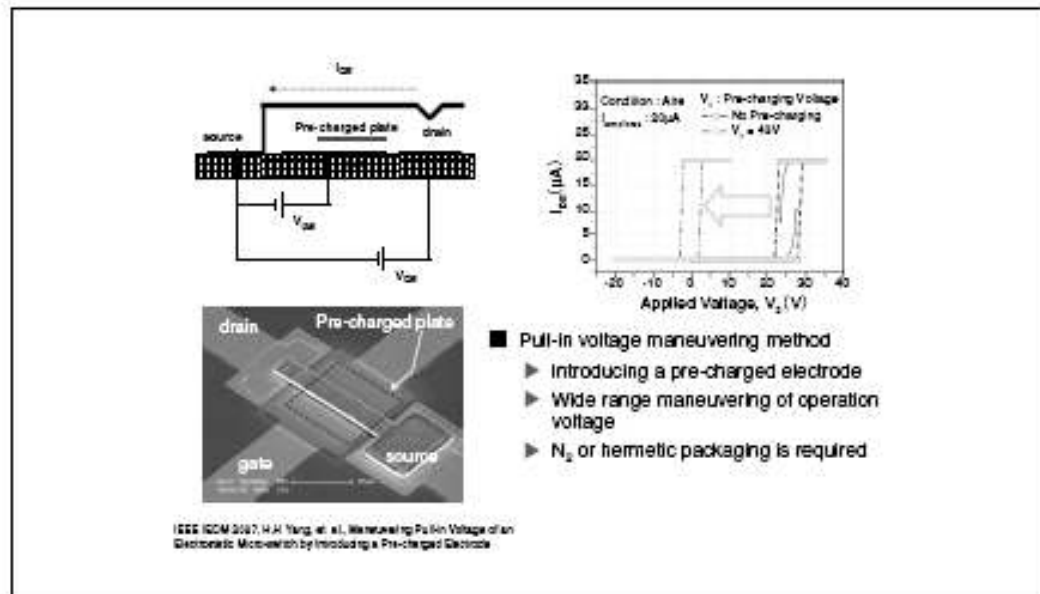
MEMSスイッチ技術 ……MEMSスイッチで有機EL素子を駆動  
大電流駆動と面均一性が特徴

図14：低電圧化の工夫

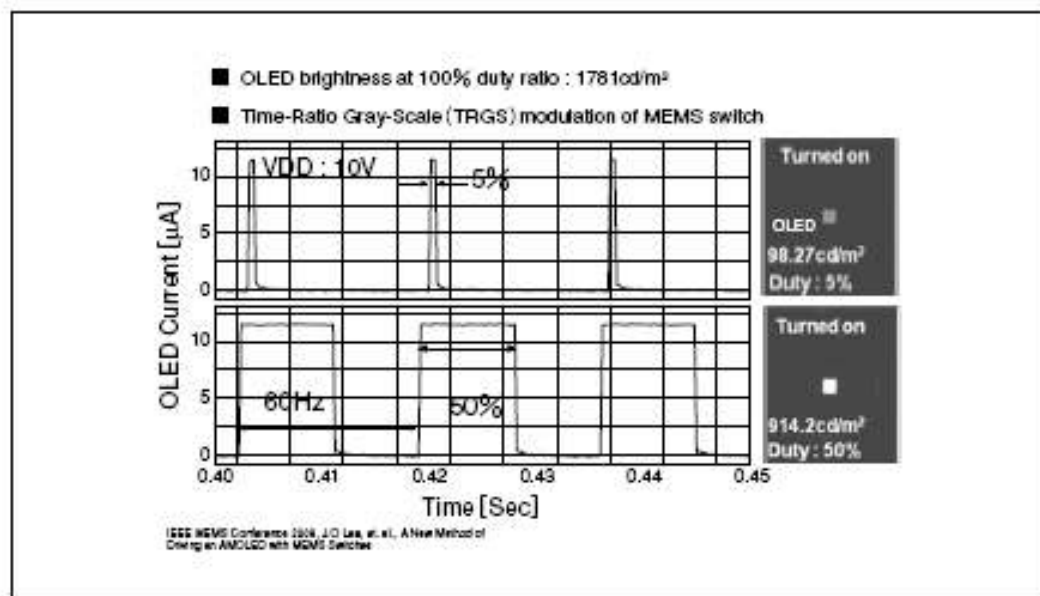


図15：輝度はデューティ比で制御できる

に比べると非常に大きな数字を実現できる。

このままどんどん駆動電圧が高くなるように見えるかもしれないが、構造的な別の工夫で駆動電圧を下げるができる。ビームを下げるメカニズムは静電気力である。そこで、もう一つの電極を図14のようにビームの下に形成する。ここにあらかじめ高電圧で電荷を蓄積しておく、

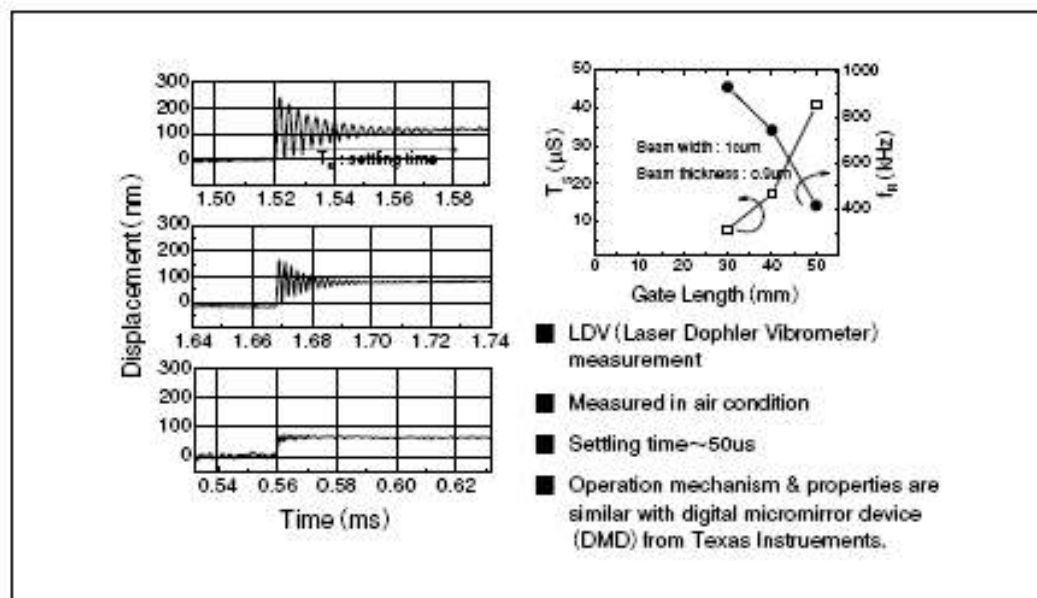


図16：スイッチング時の振動

ビームの後ろ側のみを低いゲート電圧で駆動することでビームを下げられる。この構造を使えば、電圧をそれほど高くしないで駆動できる。

図14右はその結果である。事前に電荷を蓄積する電極を入れることにより、電圧を30Vから3Vまで下げることができた。このプレチャージが大型になる場合、N<sub>2</sub>雰囲気などの密閉状態が望ましい。大気中で駆動すると、その水分が電荷に影響を及ぼしてしまう。

スイッチの動作回数を評価したところ、大気中の雰囲気でも13万回まで稼働することが確認できた。これを窒素ガスで封止した場合は、寿命が長くなる。

また誘電層の有無によっても、結果は変わってくる。誘電層がないと、このスイッチング性能は上がる。また信頼性も高くなる。

輝度は、デジタル的にパルス変調幅で調整できる。スイッチの周波数が十分に高いため、デューティ比を変更することで輝度を調整できるのである。

図15は、デューティ比を1/10にすることで輝度を1/10にした例を示している。

図16は、スイッチの切り換え速度である。オフになった時に、下がっていたビームがリリースされ、その後に図のような振動が起こる。この振動の周波数から、ビームの共振周波数を知ることができる。共振周波数は素子のサイズにも左右されるため、小さいデバイスであればスイッチングのスピードを速くできる。図の例では10<sup>15</sup>msとなっている。米Texas Instruments Inc. (TI) の「DLP」ミラーと同様の性能を持っている。

次に、アドレッシングの方法を紹介する。これは三つの手法がある。一つは、トランジスタ1個とMEMSスイッチ1個である(図17)スキャニングにトランジスタ、駆動にMEMSという組

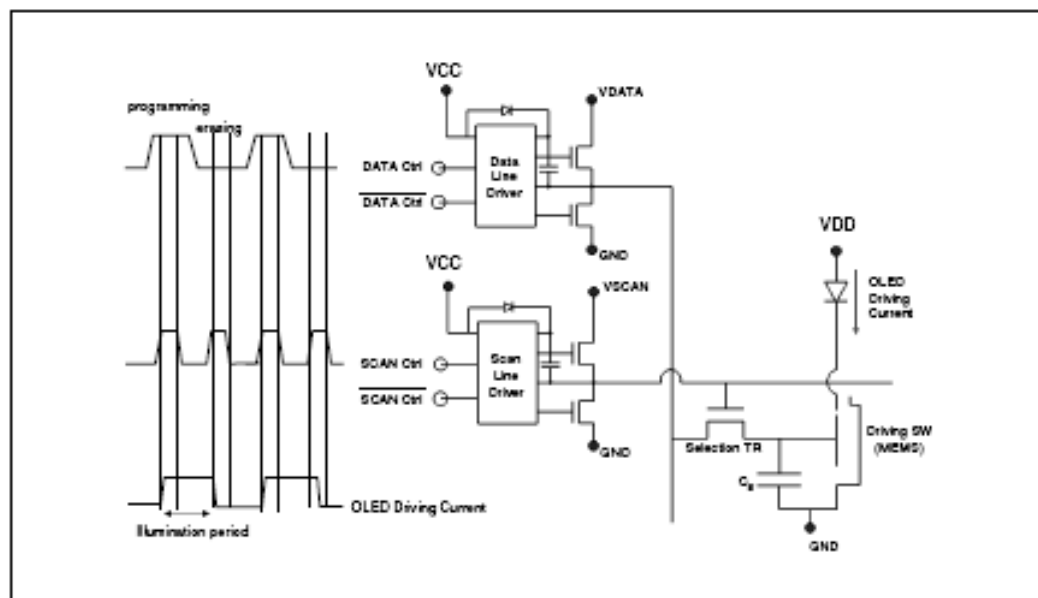
MEMSスイッチ技術 ……MEMSスイッチで有機EL素子を駆動  
大電流駆動と面均一性が特徴

図17：TFT1画素とMEMSスイッチ1画素の構成

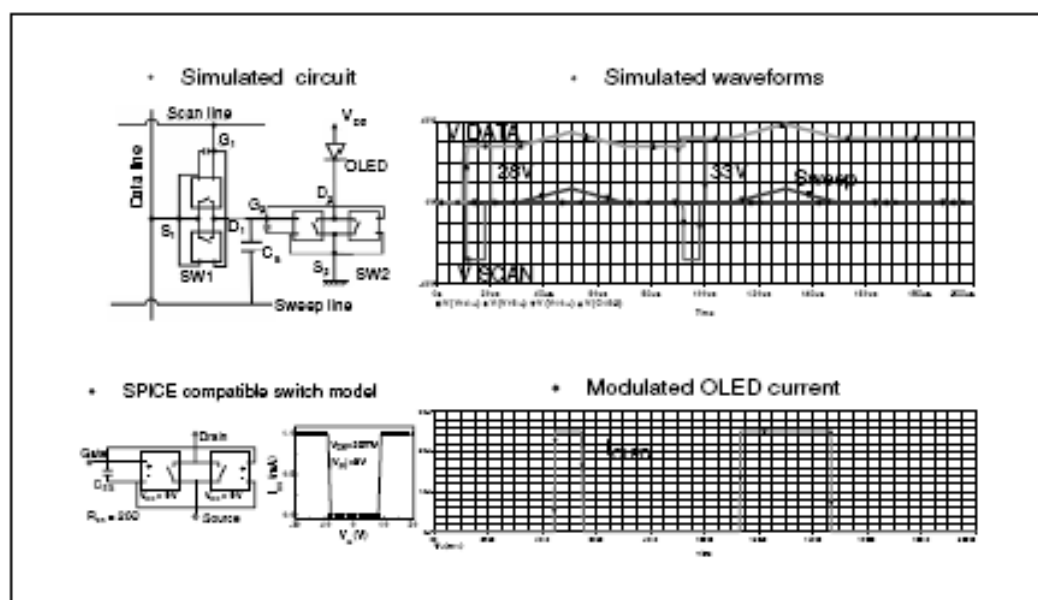


図18：アナログ手法による輝度制御例

み合わせである。トランジスタに比べてMEMSスイッチは動作が速くない。そこで、駆動スイッチのみをMEMSに代えた。

ノコギリ型の波形を使って、アナログ電圧をキャパシタに印加する手法も実験している。このアナログ電圧によってターンオン電圧を維持する時間を制御でき、従って有機ELをオンにしてい

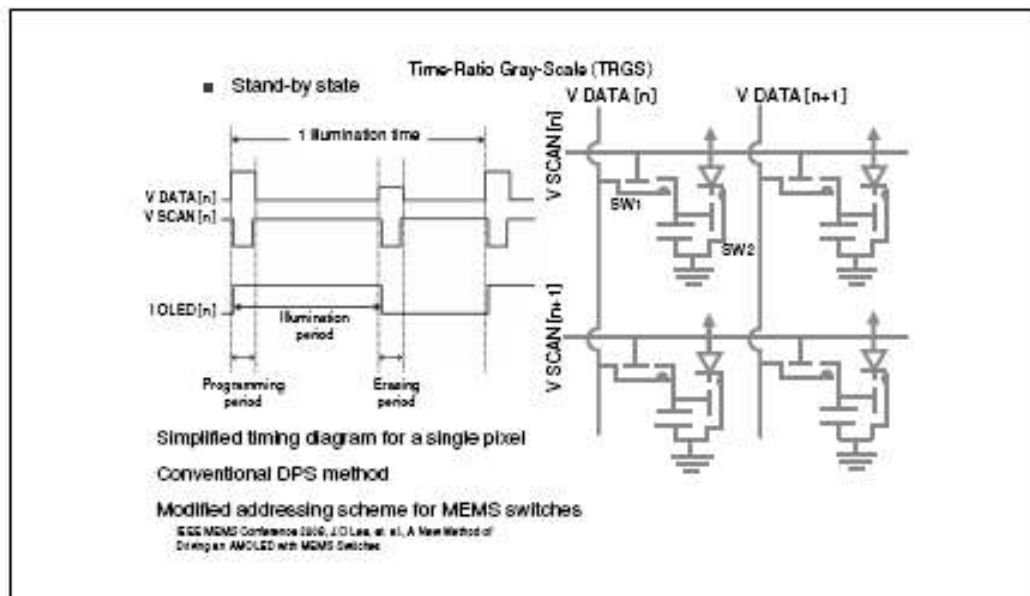


図19：MEMSスイッチ2個の例

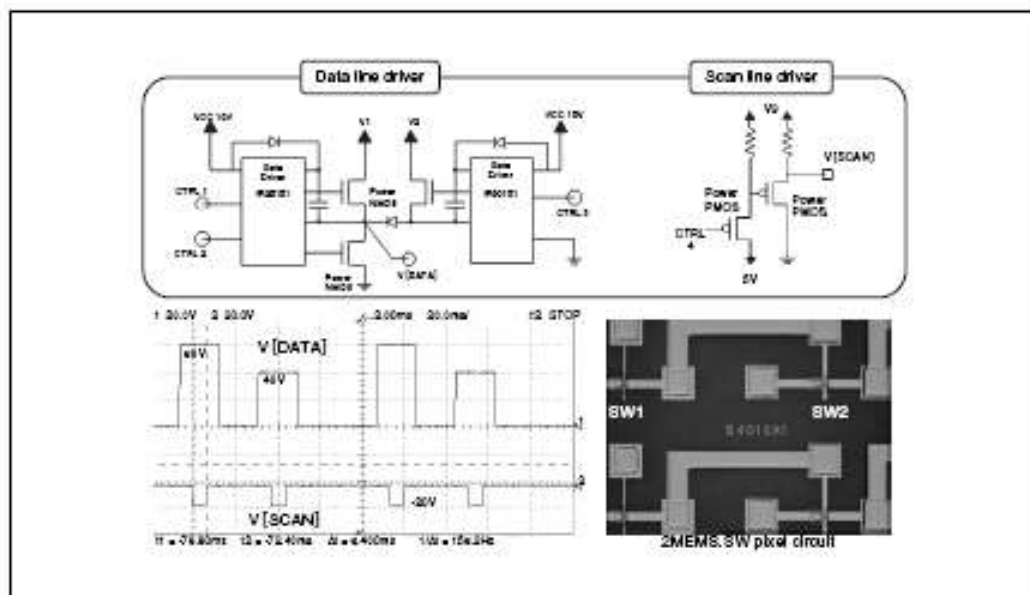


図20：2個のMEMSスイッチによる試験回路とシミュレーション

る時間を決定できる。高い電圧を印加すると光っている時間を長くでき、電圧を低くすれば発光時間を短くできる。

図18はシミュレーションの結果である。28Vにするとターンオンの時間が短くなる。33Vを印加するとターンオンの時間が長くなる。つまり、このようにアナログ手法で輝度を制御できる

MEMSスイッチ技術 ……MEMSスイッチで有機EL素子を駆動  
大電流駆動と面均一性が特徴

のである。

図19は、MEMSスイッチを2個使った回路の例である。

図20は実験の様子である。左上がシミュレーションに使ったMEMSスイッチの回路である。シミュレーションの結果と実験がうまく一致している。まだ実験は進行中である。

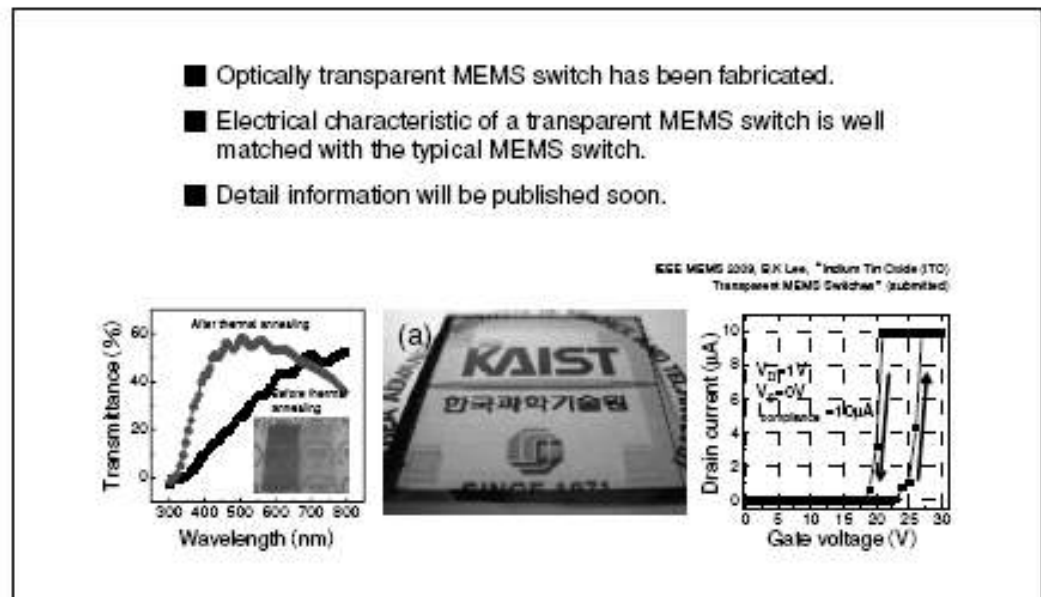


図21：ITOによる透明MEMSスイッチを使った透明ディスプレイ

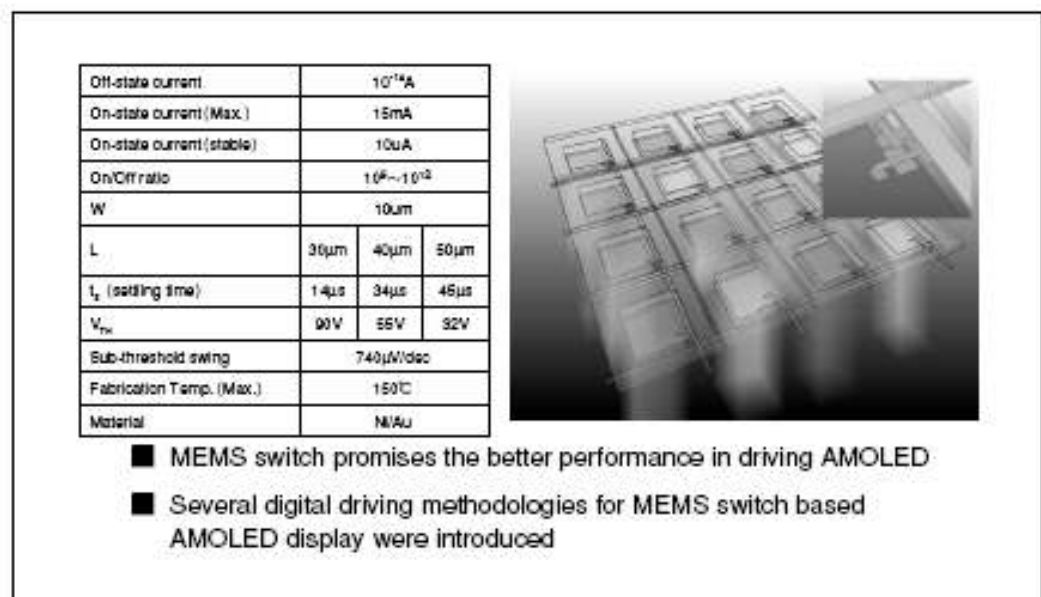


図22：試作したMEMSスイッチによる有機ELディスプレイの仕様

### 透明MEMSスイッチ

もう一つのおもしろいテーマを紹介する。もしMEMSスイッチが透明だったらディスプレイはどうか（図21）。透明なメタル、つまりITOは、液晶パネルなどさまざまなディスプレイで使われている。従って、MEMSスイッチをこのような透明なメタルで作成すれば、最終的に見えないMEMSスイッチができる。そして見えないスイッチを使って有機ELディスプレイの電流を制御できる。これは透明な有機ELディスプレイを実現できる可能性を示している。われわれは、MEMS関連学会でこれを発表する予定である。

図22は、MEMSスイッチという新しい手法でアクティブ・マトリクス型有機ELディスプレイを駆動した結果を示している。従来のTFTを使うのではなくて、全く原理の異なった技術であるMEMSスイッチを使うことを提唱した。

今後の研究予定としては、MEMSスイッチと有機ELディスプレイのプロセスの統合が必要である。また、動作電圧をさらに下げる必要がある。さらにスイッチング速度を向上させることが必要である。