

フィールドエミッションディスプレイ

別井圭一

映像を利用した情報化社会の進展とともに、さまざまな状況でディスプレイが使用されるようになってきており、性能面での要求も多様化している。現在のところ映像品質の点でCRTがもっともすぐれているが、体積、重量、消費電力等の課題があり、これに代わるフラットパネルディスプレイへの期待が高まっている。フラットパネルディスプレイとしては、liquid crystal display (LCD) がその低消費電力を生かして携帯用パソコンを中心に確実に市場を広げつつある。一方、plasma display panel (PDP) が市場に参入を果たし、大型壁掛けTV用として今後の発展が期待されている。このような新しいディスプレイが市場に投入されているなかで、すでにその先をねらったディスプレイの研究も精力的に進められている。次世代ディスプレイとしては、field emission display (FED), electro-luminescence (EL), digital mirror device (DMD) 等がある。このなかでもFEDはCRTと同じ表示原理であるために、CRTの特長である高い表示品質と、LCDの特長である薄型軽量、低消費電力の特長を兼ね備えるディスプレイとして開発が進められている。1990年にフランスのLETIのグループが6型のモノクロパネルを発表¹⁾したのが反響を呼び、FEDの研究が活発化してきた。最近ではLETIの技術を用いたPixTech Inc.が10.5型フルカラーFEDを発表²⁾、また国内では双葉電子工業³⁾、キャノン⁴⁾、富士通研究所⁵⁾等によるFEDパネルの試作報告が相次いでいる。本稿ではFEDの特長、現状と課題、有力な応用分野と将来展望に関して報告する。

1. FEDの動作原理

FEDの発光原理はCRTと同様、加速された電子線が蛍光体に当たることによる発光を利用して像を表示するものである。CRTと異なり、マトリクスアドレス可能な冷陰極アレイを用いることで、電子ビームの偏向なしで蛍光面に2次元の映像を表示できる。図1にFEDの構造を示す。マトリクス陰極のあるカソード板と蛍光体に覆われた陽極をもつアノード板の2枚の基板を、200 μm から数mmのギャップで対向させて張り合せる。カソード板には直行したゲートライン、カソードラインの2層の配線が形成されており、その交点に冷陰極が形成されている。冷陰極からの電子放出には強い非線形性があるために、陰極マトリクスの駆動はいわゆる単純マトリクス駆動が可能である。通常ゲートラインに正の走査パルスを加えつつ、カソードライン側に負のデータ電圧をあたえ、同時に1ラインを表示させる。走査パルスを順次切り替えることにより2次元の像が表示できる。用いられる冷陰極としては、(1) エミッターティップ、(2) ダイアモンドエミッター、(3) 表面伝導型、(4) MIM型の4種類が開発中である(図2)。もっとも精力的に検討されているのはエミッターティップを用いた電界放出陰極である。この方式のFEDはPix-Tech, Candescent, 双葉電子, 富士通, マイクロンディスプレイ, サムソン等が取り組んでいる。一方、ダイアモンドの(111)面は負の電子親和力をもつ可能性があることから、低電圧駆動可能なエミッター材料として期待が高まっている。実際にSIダイアモンドテクノロジー社は1インチのモノクロディスプレイを試作し、キャラクター表示を成功させている⁶⁾。また、近年キャノンは表面伝導型エミッターという新しい方式のエミッターで10型のカラーディスプレイを試作し注目をあびた。MIM陰極でも最近小型のディスプレイの試作が日立のグループよりなされてお

(株)富士通研究所 ペリフェラルシステム研究所 (〒674-8555 明石市大久保町西脇 64)
E-mail: betsui@flab.fujitsu.co.jp

り、期待がもたれている。

2. FEDの作製方法

2.1 陰極の作製方法

電界放出陰極の作製方法としては、回転蒸着法⁷⁾、シリコンエッチング法⁸⁾の2つが代表的な方法である。回転蒸着法の例を図3に示す。ガラス基板上にエミッター電極、絶縁膜、ゲート電極を成膜する。ゲート電極、絶縁膜にゲート開口部を通常のプロセスで形成する。その後アルミナ等の犠牲層を基板に対して浅い角度で回転蒸着する。この工程によりゲート開口径は縮小するとともにゲート電極膜は犠牲層に覆われる。この後、モリブデン等のエミッターとなる金属を基板に対して垂直に蒸着する。開口部は蒸着とともに小さくなるので、穴の内部に円錐型のエミッターチップが形成できる。このあと犠牲層のエッチング

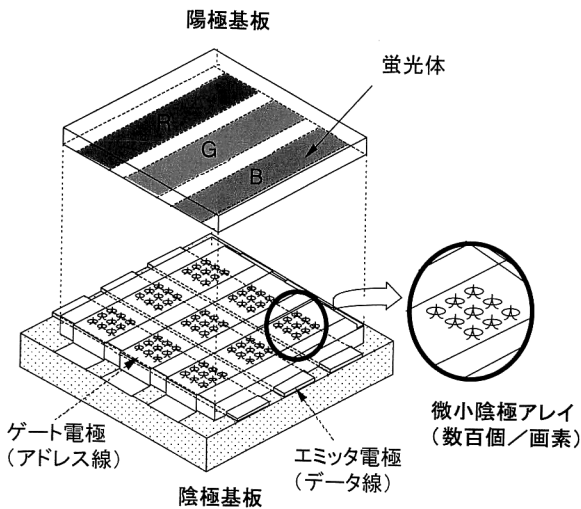


図1 FEDの構造。

により不要のモリブデンを除去して素子は完成する。素子の写真を図4に示す。数十Vの引出し電圧で μA オーダーの放出電流を取り出すことができる。陰極の大きさが数 μm のため、多数の陰極をアレイ状に配置することにより平面状の陰極として動作可能であり、高い放出電流密度を得ることができる。

一方、シリコンのエッチング法によるエミッター形成法を図5に示す。シリコン基板上的熱酸化膜を直径 $1\mu\text{m}$ の円形にパターニングする。この酸化膜をマスクに、シリコンのリアクティブイオンエッチングを行う。熱酸化を行うことにより、熱酸化膜の内部に先鋭なシリコンエミッターが形成される。さらに絶縁膜、ゲート電極膜を形成する。

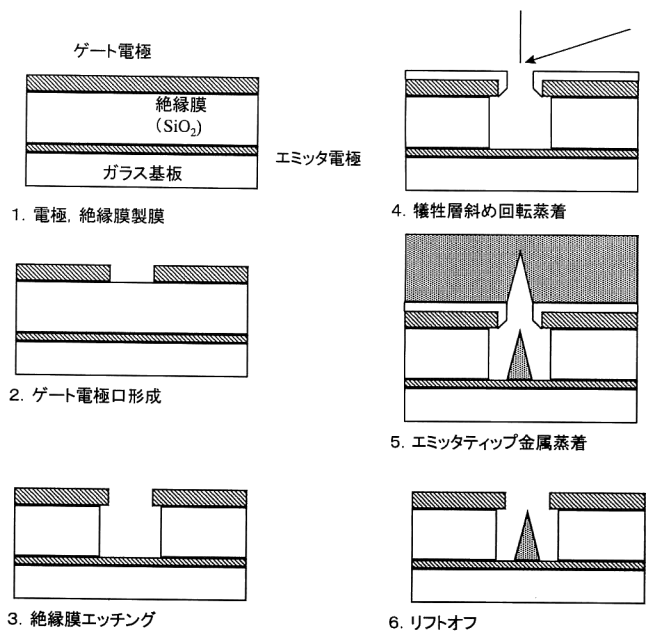
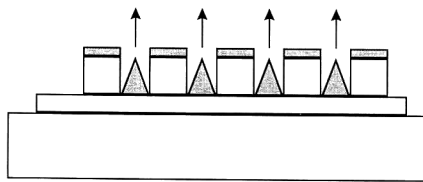
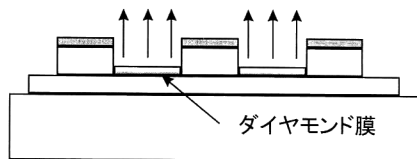


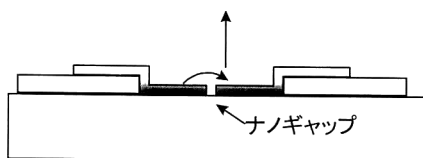
図3 回転蒸着法の例。



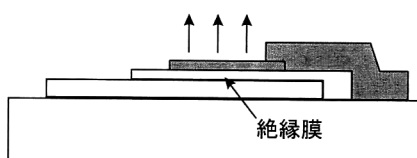
エミッタチップ型



ダイヤモンドエミッタ



表面伝導型



MIM型

図2 FEDに用いられる冷陰極。

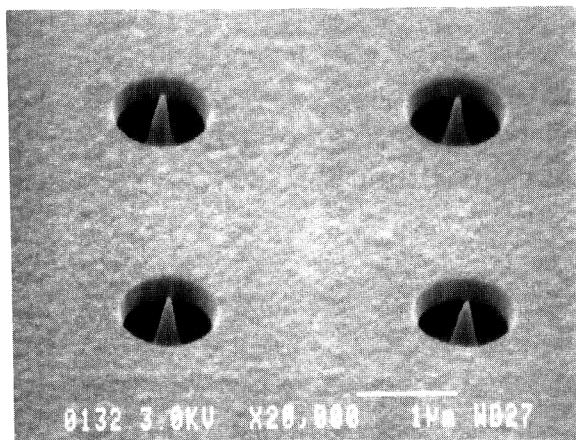


図4 回転蒸着法により作製した素子.

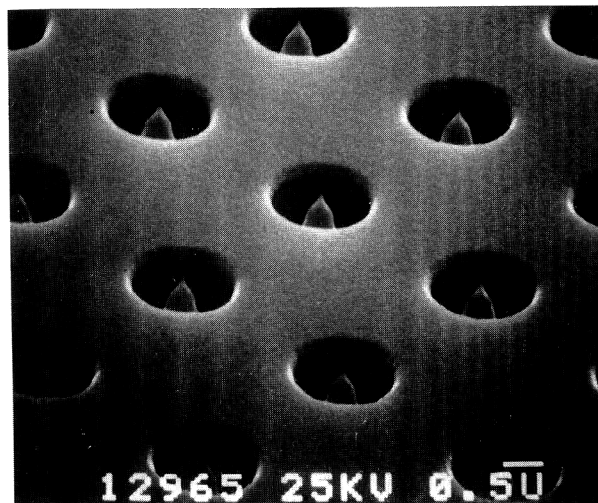


図6 シリコンエッチング法により作製した素子.

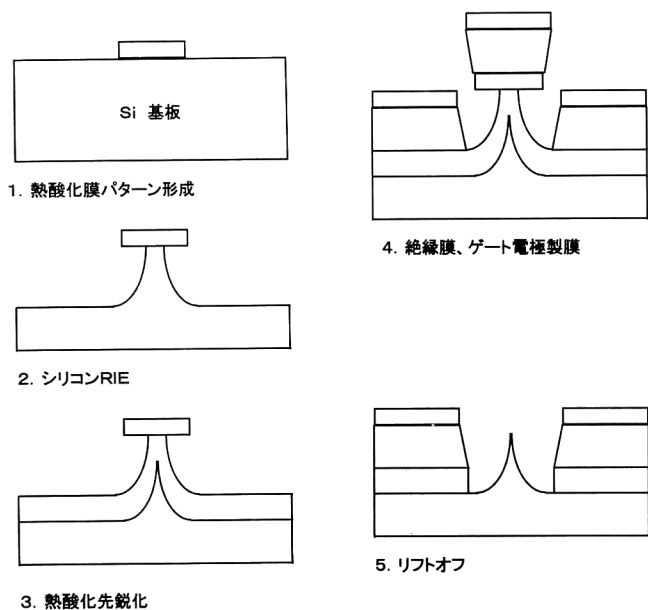


図5 シリコンのエッチング法によるエミッター形成法.

この際ゲート開口部は自己整合的に形成される。フッ酸により熱酸化膜のエッチングを行うことにより、エミッターマスクのリフトオフを行いエミッターは完成する。素子の写真を図6に示す。シリコンエミッターの特長は、作製方法が半導体形成技術として完成された微細加工技術を用いることができ、さらにトランジスター等の能動素子を組み込むことも容易で、電流の安定化、アクティブマトリックスの形成が行える点である。

以上に述べた方法はエミッターの形成にフォトリソグラフィを用いており、ディスプレイの大型化に際しては問題となる。そのためにこのようなエミッタータイプを用いない作製方法の検討もなされている。ダイヤモンドエミッターは電子放出が容易である特長を生かしてティップにすることなく陰極を構成できる。高解像度のパターンニング

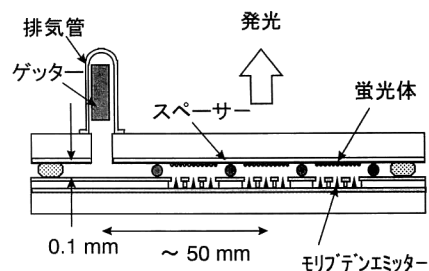


図7 FEDのパッケージの断面構造.

が必要なエミッターティップを形成する必要がないため、大型基板への応用が容易である。また表面伝導型⁴⁾のエミッターも電子放出点を材料のフォーミングにより自発的に発生させており、パターン形成の必要のない方式として注目されている。

2.2 パネル形成技術

図7にFEDのパッケージの断面構造を示す。蛍光体の塗布されたアノード板とカソード板はスペーサーにより200 μ m程度のギャップを維持している。2枚を封着後に加熱脱ガスしつつ排気管より内部を排気し、最終的に排気管を封じ切る。管内の真空維持のためのゲッターを用いる。図8はパッケージの外観である。FEDのパッケージはパネル間隔が小さいために管内の排気コンダクタンスが小さく、管内真空度を高く維持するのは難しい。大型のパネルの場合にはガス放出の多い蛍光面からゲッターまでの距離が長くなるために、さらに排気は困難になる。この欠点を補うために、図9に示すような反射型の構造にして、格子状のアノードの裏にゲッターを設けることによりコンダクタンスを大きくとった構造も検討されている。この構造は単に排気効率がよだけでなく、励起面側から蛍光面を見ることから、単純に輝度が2倍になる等の特長もある。こ

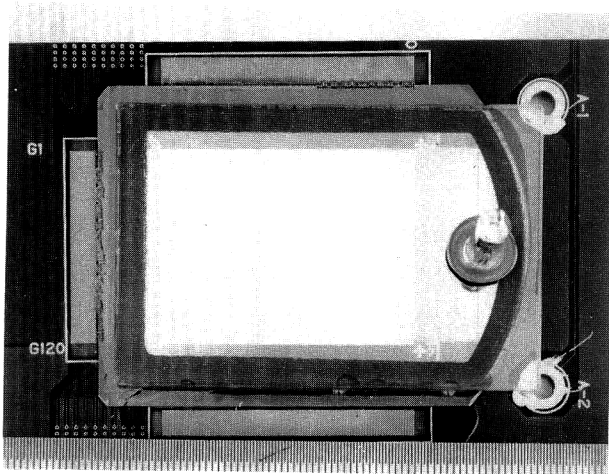


図8 FEDのパッケージ外観.

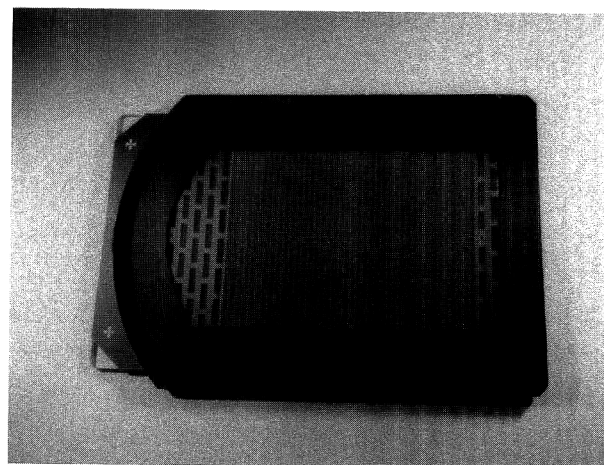


図10 フラットなFEDパネル.

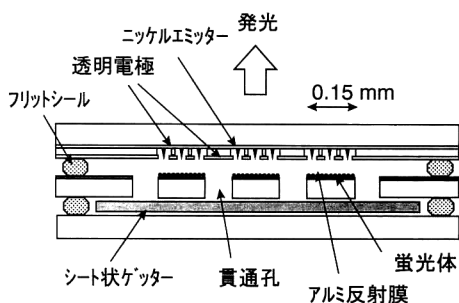


図9 反射型構造.

の場合にはカソード板とアノード板の張り合わせ、排気をすべて真空中で行っており、排気管のない完全にフラットなパネルとなっている(図10)。

3. FEDの特長と課題

3.1 FEDの特長

FEDの特長を他のディスプレイと比較して表1に示す。電子線励起の蛍光体発光を用いているために高効率低消費電力であり、冷陰極の電流密度が大きいことから高輝度が期待できる。また視野角の依存性も全くない。さらに、高速応答性があり、広い温度環境で使うことができる。また階調の表示に関してもアナログ表示でありCRTと同レベルの表現力が期待できる。また、冷陰極のサイズが小さいために、精細度の高いディスプレイが得られるという期待もある。一方、大画面化、低コストに関しては、今のところ見えていない。以上のように、FEDはディスプレイとして多くのよい特性を兼ね備えていると考えられるデバイスであり、次世代のディスプレイとして期待される。FEDの応用分野としては比較的小型のところから応用が図られていくと考えられている。特に耐環境性の高さは他のディスプレイにない特長であり、このあたりの応用が市場を切り開く糸口になると考えられる。

表1 各種ディスプレイの性能比較.

		FED	AM-LCD	PDP	CRT
商品性	消費電力	◎	○	△	△
	重量	◎	◎	◎	△
	画面サイズ	?	○	◎	○
	精細度	◎	◎	○	◎
	動作環境	◎	○	○	◎
画質	輝度	◎	○	○	◎
	階調	◎	○	○	◎
	色純度	◎	◎	○	◎
	応答性	◎	△	◎	◎
	視野角	◎	△	◎	◎
コスト	プロセス	?	△	○	◎
	材料	?	△	○	◎
	駆動回路	○	◎	△	◎

3.2 FEDの課題

以上のように多くの長所をもつと考えられているFEDであるが、現状でのデバイスはこれらをまだ実現できないでいる。

以下にFEDの課題について述べる。

高輝度化⁹⁾: FEDの最大の課題は高輝度の実現にある。FEDとCRTの動作条件を比較すると、CRTは高加速電圧(30 kV)、低電流密度(10 mA/cm²)なのに対し、FEDは低加速電圧(500 V)、高電流密度(100 mA/cm²)である。発光輝度を得るためにはパワーの投入が必要であり、加速電圧が低い場合には電流密度が大きくなる。さらに、加速電圧が1~2 kV以下になると電子線進入深さが小さくなり、それに伴い発光効率 η が低下するため、いっそう高い電流密度が要求される。このような高い電流密度では、蛍光体の輝度飽和、電子線照射劣化等が生じる。前者は蛍光体の励起準位の飽和、後者は高密度の電子線により蛍光体の表面の分解、昇華等が起こるためと考えられている。この劣化は蛍光体に照射された全電荷量により決まり、

FEDの場合にはCRTに比較し1万倍程度となり大変厳しい条件となる。現在CRTで用いられている硫化亜鉛系の蛍光体は輝度飽和、電子線劣化ともに大きくFED用の蛍光体としては適していない。上記の問題点に関しては改良が進んでいるが、現状では満足できる蛍光体は得られていない。

このような蛍光体の欠点を克服するために、アノード電圧を5kV程度に高くしたFEDも検討されている。高加速電圧型のFEDでは蛍光面表面にアルミのメタルバックコートが使えることもあり、上記の蛍光体の劣化の問題は起こりにくい。しかし絶縁のために基板間ギャップは1~3mm程度と大きくなる。その結果、電子線の広がりを防ぐためのフォーカス電極が必要になり、カソード板の構造は複雑になる。またスペーサーについてはディスプレイとして表示面側から見えてはまずいことから、幅50 μ m程度で高さが1~3mmという高アスペクト比のものが必要になる。現状ではガラスの薄板を立てる、グラスファイバーを用いる等の方法が用いられているが、生産性の点で問題が多く解決していく必要がある。

消費電力：FEDの消費電力の内訳は、実際に蛍光体を励起するために必要なアノード消費分と、ゲートエミッター間の浮遊容量を充電放電するためのドライバー消費分がある。8インチVGAカラーパネルでのアノード消費電力は白表示時で0.6W程度、それに対して充放電消費電力は、最悪となるチェッカーボード表示のとき3W程度となる。これはFEDのゲートエミッター間の浮遊容量が大きいためである。実際の平均消費電力は表示内容等で大きく

変化するが、バックライト付きの液晶ディスプレイより低消費電力にはなるが大きな差があるとはいえない。蛍光体の効率の向上、動作電圧の低減、充放電電力の回収回路の改善が必要である。

FEDの現状を紹介した。FEDが次世代のディスプレイとして注目を浴びて久しいが、まだ十分な性能のものではきていない。また先行するLCD、PDPの性能の向上が著しく、FEDが追いついていけないのが現状であろう。しかし本文中に述べたとおり、潜在的にFEDは高いポテンシャルをもっている。課題をひとつひとつ克服していくことで、100年の歴史を誇るCRTを継承するディスプレイとして育つことを期待したい。

文 献

- 1) A. Ghis, *et al.*: *Technical Digest of 3rd International Vacuum Microelectronics Conference* (1990) pp. 2-5.
- 2) F. Courreges: *SID '96 Technical Digest* (1996) p. 45.
- 3) M. Tanaka, *et al.*: *SID '97 Technical Digest* (1997) p. 47.
- 4) E. Yamaguchi, *et al.*: *SID '97 Technical Digest* (1997) p. 52.
- 5) T. Nakatani, *et al.*: *Proceedings of the 3rd International Display Workshop* (1996) p. 127.
- 6) C. Xie, *et al.*: *Technical Digest of 4th International Vacuum Microelectronics Conference* (1994) p. 229.
- 7) C.A. Spindt, *et al.*: *J. Appl. Phys.*, **47** (1976) 5248.
- 8) K. Betsui: *Technical Digest of 4th International Vacuum Microelectronics Conference* (1991) p. 26.
- 9) 山元 明：“FED用蛍光体の課題と技術動向”，月刊ディスプレイ，**3**, No. 8 (1997) 63.

(1997年12月8日受理)