

高精細電界放射ディスプレイ(FED)用 電界放射陰極アレイに関する研究

Study on Field Emitter Array for High Definition Display

代表研究者 東北大学電気通信研究所助手 嶋 脇 秀 隆

Research Associate, Research Institute of Electrical Communication,
Tohoku University
Hidetaka SHIMAWAKI

The current control and the stabilization in field emission of gated field emitter arrays (FEAs) are the highest demand for applications to a flat panel display and other beam devices. By fabricating FEA monolithically with FET or TFT, the emission current will be controlled and stabilized by applying a few volts on the gate voltage of FET or TFT. We carried out preliminary experiments of the idea and showed that the controllability and the stability of the emission current from Si-FEA were significantly improved by an actively controlled FEA. For the application to a high definition display, additionally, the small cross talk in the emitted electron beam is required. We proposed a new FEA structure with the focusing electrode which surrounds an individual emitter or block of emitter arrays on the same plane on the gate of FEA.

研究目的

微小冷陰極、特に電界放射陰極(FEA)は熱電子放射陰極と比べて、1チップあたりの輝度が高くエネルギー幅も小さいため、高分解能電子顕微鏡、電子線描画装置の電子源や高精細平面ディスプレイ用デバイスとして期待されている。しかし、電界放射陰極からの放射電流量は陰極チップの先端形状に強く依存しており、放射電流の各チップ間の差異、残留ガスの吸着、脱離に伴う時間変動は避け難いため、平面ディスプレイなどの大きな面積のデバイスでは輝度むらを避けることは困難であった。また、放射電子の発散角は $20 \sim 30^\circ$ とかなり大きく、

画素間のクロストークが問題となる。

液晶ディスプレイに使用されている薄膜トランジスタ(TFT)のようにFEAの個々の陰極もしくはその集合体をTFTや電界効果トランジスタ(FET)などの能動素子で制御することは、FEAからの放射電流の安定化と均一化に極めて有効であると共に、FEAの致命的欠点である短絡故障に対しても冗長性を確保できることなどは、平面ディスプレイへの応用上の大きな利点である。発散角は、収束機能を陰極と同一平面上に形成することで低減できる。

本研究の目的は、基板材料のSiの半導体としての特質に着目し、FEAと放射電流を制御する

ための能動素子をSi基板上に一体集積したデバイスを試作し、電流制御効果の有効性を検討すると共に、収束電極を持つビーム収束型FEAを試作し、電流収束の特性評価を行い、放射電流の制御と安定化のための能動デバイス制御技術の確立を目的とする。

研究経過および成果

(1) 放射電流の能動制御

図1に能動素子を組み込んだFEAの概念図と等価回路を示す。個々のエミッタあるいはそのブロックからの放射電流はFETの定電流特性で制御、安定化される。放射電流はFETのゲートソース間に接続されている直列抵抗とゲート電圧とによってのみ決まる。各陰極間の放射電流のばらつきは、それぞれの陰極でFETのゲート電圧を調整することで無視できる。能動制御形FEAの有効性を確認するため、研究の第1段階として、市販のFETを接続してSi-FEAの放射電流の制御と安定化の予備実験を行った。Si-FEAは半導体微細加工技術—フォトリソグラフィ、反応性ドライエッチング、熱酸化処理—を用いて製作される。図2に製作したシングルエミッタのSEM写真を示す。ゲート孔は $1.5\mu\text{m}$ である。図3にシングルエミッタの電圧—電流特性を示す。シングルエミッタにも関わらず、ゲート電圧 80V で $80\mu\text{A}$ と比較的大きな電流が得られることがわかる。このようにして製作したシングルエミッタからの放射電流を、市販のFETにより制御しない場合と制御した場合の経時変化を図4に示す。電流を制御しない場合は、最大で1桁程度電流が変動しているが、FETにより電流を制御した場合は、放射電流は測定の開始から終了までほぼ一定で、電流の変動は10%程度に制御されており、電流安定化の著しい改善が見られる。電流変動の要因として、電子放射部への残留気体の吸着・脱離、もしくはイオン衝撃による仕事関数の変動が考えられるが、この結果は、FETによる放射電流の制御が放射電流の安定化に極めて有効であることを示している。

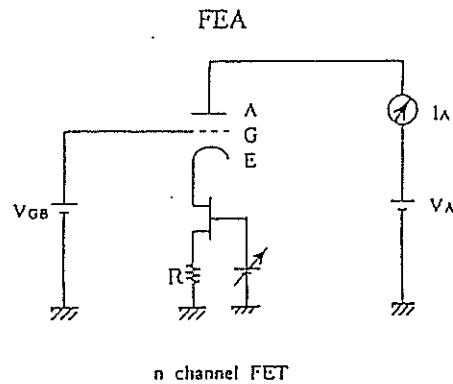
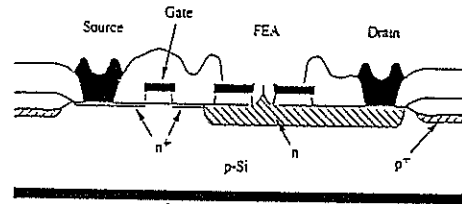


図1 能動制御されたFEAの概念図と等価回路

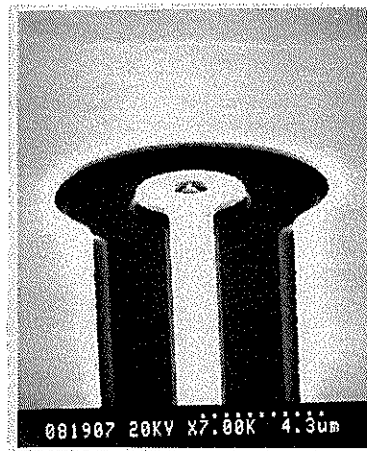


図2 シングルエミッタのSEM写真

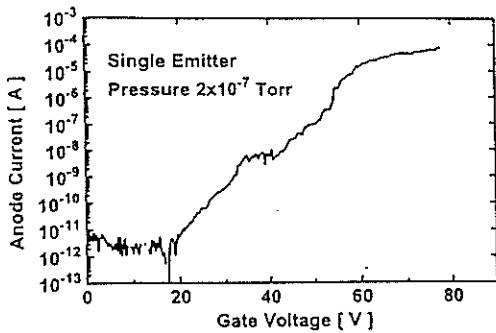


図3 シングルエミッタの電流-電圧特性

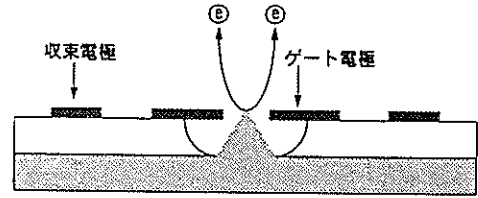
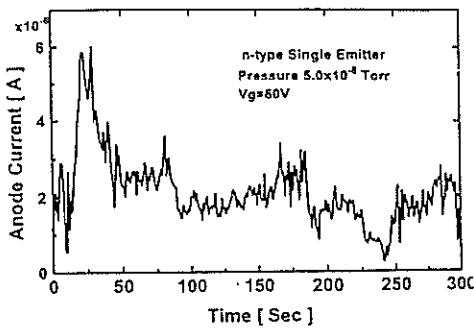
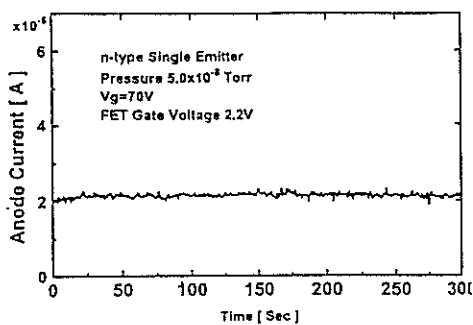


図5 平面収束型FEAの概略図



(a) FET制御なし

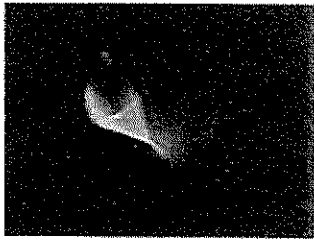


(b) FET制御あり

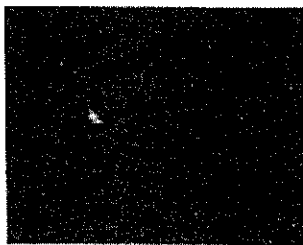
図4 FETによる放射電流安定化特性

(2) 放射電子の放射角の制御

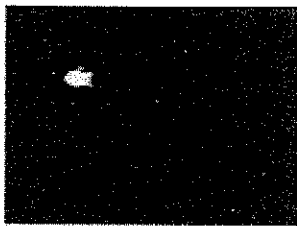
FEAから放射される電子は $20 \sim 30^\circ$ の比較的広い角度にわたって放射される。従って、画素間のクロストークを減らすことが要求される高精細ディスプレイの開発では、電子ビーム収束技術が不可欠である。これまでにゲート電極上部に収束電極を設置した積層型FEAが提案され、発散角を約 1° に低減可能との報告があり、収束効果は非常に良い。この構造の特徴は個々のエミッタに対して収束電極が設けられていることである。しかし、エミッタ先端近傍に収束電極があるため、収束電圧の放射電流に及ぼす影響は極めて大きく、収束電圧の減少に伴い電流は著しく減少することになる。また、電極を積層するため、製作工程が増加する。ディスプレイへ応用する際は、電子ビームは完全に収束させる必要はなく、平行ビームで十分対応できると考えられる。そこで、我々は、図5に示すように、収束電極をゲート電極と同一平面上に形成する構造を提案した。この構造は、ゲート電極と収束電極を同時に形成できることから、製作プロセスを大幅に簡略化することができる。放射電子は、個々のエミッタもしくはエミッタアレイに対して収束電極を設けることで平行電子ビームとなる。放射電流は、積層型同様、収束電圧の減少と共に減少するが、ゲート電圧を増加させることで平行を保ったまま、電流量を回復させることができる。図6は、シングルエミッタからの放射電子の収束効果を蛍



(a) $V_G = 70V$ $V_F = 70V$; $I_{anode} = 1\mu A$



(b) $V_G = 70V$ $V_F = 10V$; $I_{anode} = 100nA$



(c) $V_G = 80V$ $V_F = 10V$; $I_{anode} = 400nA$

図6 発光パターンによる収束効果の観測結果

光体を用いて評価した一例である。ゲート電圧を一定のまま収束電圧を70V(図6(a))、すなわち収束効果のない状態から-30V(図6(b))に減少すると、発光パターンが小

さくなり収束されていく様子が分かる。その際、アノードへ到達する電流量は減少しているが、図6(c)から分かるように、ゲート電圧を増加させることで、収束特性を大幅に変えることなく電流量を回復可能である。このことより、平面収束構造の有効性が確かめられた。

今後の課題と発展

以上述べたように、電界放射陰極をFEDに応用する上で根本的課題である放射電流の制御と安定化、放射電子の発散角の制御に対し、FETによる能動制御、および平面収束電極による放射角の制御の有効性について述べた。電流変動の主因は明らかではなく、さらに高安定な電子ビームを得るためには、これを解明する必要がある。図7は、シングルエミッタからの放射電流を1 μA に制限したときのFETのドレイン電圧、すなわち、ゲート-エミッタ間の電位変動の測定例である。測定時間は短い、その間、傾向的な電位のシフトは現れていない。測定における最大電圧変動は4.5V程度であり、この値は仕事関数に換算すると0.14eVの変動に相当する。このことから、電子放射部への残留気体の吸着、脱離量、もしくは入射イオン量が仕事関数の変化に寄与していると推定される。現状では、いずれかを分離することは困難であるが、今後、さらに超高真空下、各種気体中で測定を行うことで電流変動の要因解明の手がかりが得られるものと思われる。

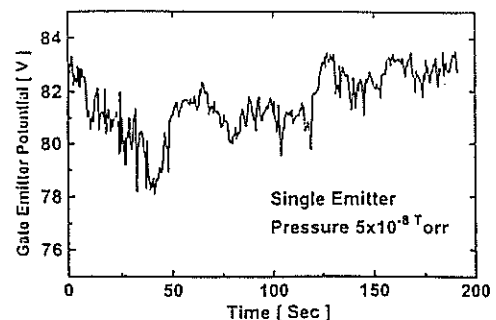


図7 ゲート-エミッタ間の電圧変動

- 1)新井 他, 信学技報, ED95-136, pp1-8, 1995.
- 2)石塚 他, 信学技報, ED95-129, pp1-8, 1995.