

あら い まなぶ

氏 名 新 井 学

授 与 学 位 博士 (工学)

学 位 授 与 年 月 日 平成 9 年 3 月 2 5 日

学 位 授 与 の 根 拠 法 規 学位規則第 4 条第 1 項

研 究 科、専 攻 の 名 称 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気・通信工学専攻

学 位 論 文 題 目 電界放射ディスプレイに関する基礎的研究

指 導 教 官 東北大学教授 横尾 邦義

論 文 審 査 委 員 主査 東北大学教授 横尾 邦義 東北大学教授 内田 龍男

東北大学教授 室田 淳一

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

電子メールの普及、インターネットの関心から通信ネットワークの環境が整備され、映像とコンピュータ、情報、通信などが融合するマルチメディア時代を迎えた現在、ディスプレイへの要求はますます多様化し、大きさ、表示容量、表示色など、用途に応じた性能が求められている。特に、電界放射ディスプレイ (以下 FED と略す) は、CRT と同様な自発光型のディスプレイでありながら、液晶ディスプレイと同じマトリクス駆動ができるため、薄く、高輝度、高精細なディスプレイになると期待されている。しかし、これらを実現するためには、電界放射冷陰極 (FEA) の放射電流の安定化と、ビームの収束技術の確立が重要な研究課題となっている。本研究では高精細 FED 実現のため、微小電子源の電流安定化と微細電子ビームの形成を目指し研究を行った。すなわち、放射電子電流変動の原因究明、電流安定化法、及び放射電子ビーム収束の提案と、これら提案の素子製作と動作の検証等の研究を行った。

第 2 章 電界放射ディスプレイ用微小電子源

図 1 に、電界放射ディスプレイの構造を示す。走査線と信号線の交差した所にエミッタが形成されており、ここから放射される電子が蛍光体を発光し表示する。エミッタ基板と蛍光体基板間の距離は通常 $200 \mu\text{m}$ 位であり、内部は高真空

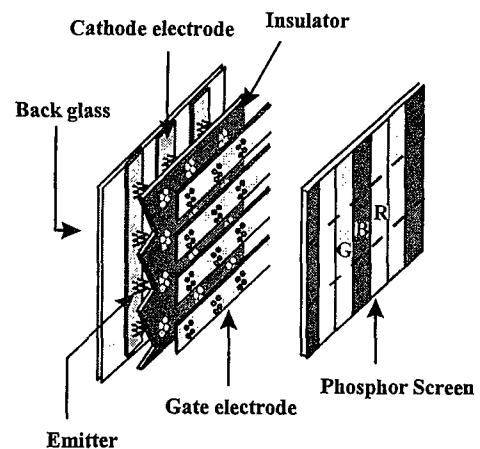


図 1 電界放射ディスプレイの構造図

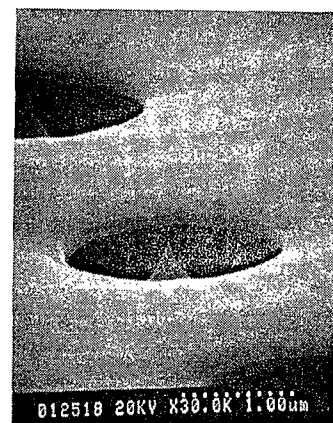


図 2 Si-FEA の SEM 写真

に維持されている。

この様な CRT と類似なディスプレイを室内で使用するためには、約 300cd/m^2 の輝度が必要であり、一画素 ($100\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m}$) 当たり、約 $5\ \mu\text{A}$ の電流が要求される。

これまでも様々な微小冷陰極が提案されているが、本研究ではプロセスの信頼性、再現性から半導体微細加工技術をもちいた Si 電界放射冷陰極の作製を行った。図 2 に、作製した Si 電界放射冷陰極の走査電子顕微鏡写真を示す。この図から、先端の非常に鋭いエミッタがゲート孔の中心に形成されていることが確認された。

第 3 章 Si 電界放射冷陰極の電子放射特性

図 3 に、単一 Si 電界放射冷陰極の電圧—電流特性を示す。ゲート電圧を印加していくと、 25V 付近から電子の放射が始まり、 65V では約 $25\ \mu\text{A}$ の放射電流が得られることがわかる。しかし、単一エミッタの放射電流の経時変化では、放射電流が $0.5\ \mu\text{A}$ から $6\ \mu\text{A}$ 付近まで大きく変動することが確認された。また、放射電子像の測定から、電界放射冷陰極から放射される電子ビームの発散角が約 20° と大きいことが確認された。

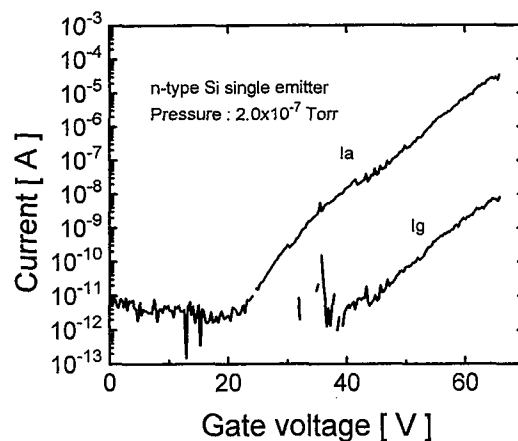


図 3 単一 Si-FEA の電流—電圧特性

このような特性を持つ、FEA を FED に応用した場合、電流変動は画面のちらつきを、大きな放射角はクロストークの問題を生じさせる。このため、FEA の放射電流の安定化、放射電子ビームの収束が高輝度・高精細 FED 開発において急務である。

第 4 章 Si 電界放射冷陰極の放射電流の安定化に関する検討

FED 開発でこれまでに採用された直列抵抗や、多数のエミッタによる電流平均化による放射電流の安定化の評価を行った。また、Si-FEA からの電子の放射機構を解明するために、放射電流の温度依存性、p 型 Si-FEA の放射電流の測定、及び検討を行った。

1. Si 電界放射冷陰極の抵抗による放射電流安定化

抵抗層を用いた放射電流の安定化では、 $1\ \mu\text{A}$ の放射電流で変動を 20% 以下に抑えるためには $50\text{M}\ \Omega$ 以上の抵抗が必要なことがわかった。しかし、この安定化では動作電圧が高くなり、FED の低電圧駆動、低消費電力、高速応答が困難となる。

2. 多数のエミッタの平均化による放射電流安定化

多数のエミッタによる放射電流の安定化では、エミッタ数が増すにつれて放射電流の変動が小さくなるが、電流のドリフトは除去できず、FED への応用としては不十分である。

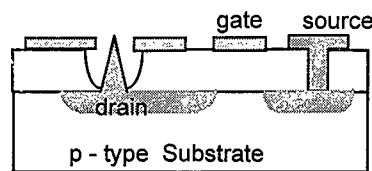
3. Si 電界放射冷陰極の放射電流の温度依存性

放射電流の温度依存性の測定を行い、 87K の低温では、高電界側で放射電流が飽和する。この放射電流の飽和は、温度の低下により半導体の伝導帯の電子が減少し、放射電流量が半導体基板で熱的に

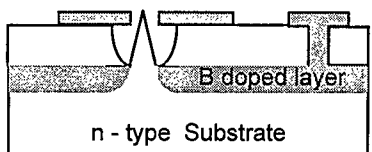
励起される電子によって律則されるためである。また、87K ではフリッカー雑音が抑えられ、ステップ状の電流変動が支配的になることが分かる。このような変化は、温度の低下により、エミッタの表面に吸着した残留気体分子の局所的な移動の頻度が減少したためと考えられる。

4. p 型 Si 電界放射冷陰極の電子放射特性

p 型 Si 基板(抵抗率 $18 \Omega \cdot \text{cm}$)を用い、n 型と同じ三極管構造の電界放射冷陰極を作製し、放射電流の測定を行った。この結果、p 型 Si-FEA では、放射電流が空乏層で生成される電子によって律則されることを明らかにした。



(a) MOS-FET 一体型 FEA



(b) J-FET 一体型 FEA

第 5 章 能動素子一体型電界放射冷陰極の作製と電子放射特性

第 4 章で述べた、放射電流の安定化に関する知見をもとに、能動素子による電子の供給律則を用いた電界放射冷陰極を提案した。図 4 に、能動素子一体型電界放射冷陰極の概念図を示す。図 4(a) は MOS-FET を用いた電界放射冷陰極、(b) は J-FET を用いた電界放射冷陰極の構造図である。これらの電界放射冷陰極の放射電流は、能動素子のチャネルからエミッタへ供給される電流量で決まるため、能動素子のゲート電圧によって制御される。

本研究では、まず、作製の容易な J-FET を同一基板上に作り込んだ電界放射冷陰極の作製を行った。図 5 に、放射電流のゲート電圧依存性を p-n 接合に印加するコントロール電圧をパラメータにして示す。放射電流は、p-n 接合の逆方向電位が深くなるにつれて減少することがわかる。これは、p-n 接合に印加する逆方向バイアス電圧により空乏層が広がり、エミッタ直下に形成されるチャネルを狭くするためである。次に、ゲート電圧を 110V に保ち、コントロール電極にパルス幅 1 秒、周期 2 秒、電圧 -0.5V から 0.5V のパルス電圧を印加し、その時の放射電流の変化を測定した。図 6 にその結果を示す。印加パルス電圧により、放射電流は数 nA から $1 \mu \text{A}$ まで 3 桁にわたり変化し、パルス幅中では放射電流が安定に維持されることがわかる。

このように、同一基板上に作り込んだ J-FET によって、放射電流を制御できることを示した。

図 4 能動素子一体型 FEA の概念図

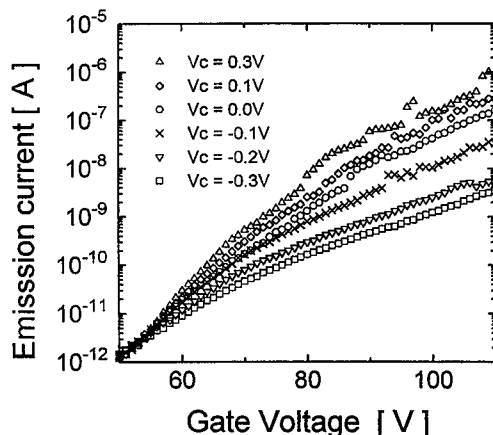


図 5 J-FET 一体型 FEA の放射電流特性

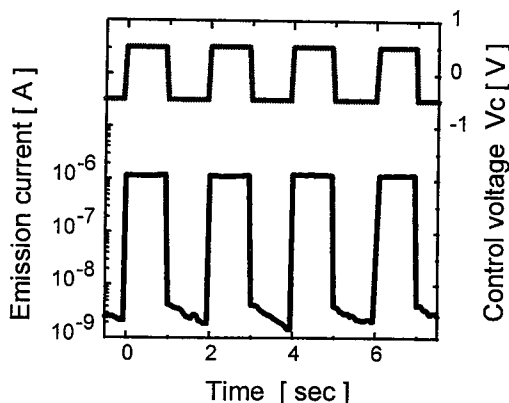


図 6 放射電流のパルス駆動

第6章 電界放射冷陰極の放射電子ビーム収束

平面構造の収束電極を用いた放射電子ビーム収束の提案を行った。平面構造収束電子源は、収束電極がゲート電極と同一平面上に同時に製作されるため、製作が容易で、信頼性と再現性に優れている。図7に、製作した単一エミッタ平面構造収束電子源の電子顕微鏡写真を示す。平面構造収束電極、およびゲート電極の寸法はシミュレーションにより決定した。収束電極はゲート電極から $3\ \mu\text{m}$ 離れて、ゲート電極を取り囲むように形成されている。図8に、ビーム収束を行ったときの放射電子像を示す。収束電圧を徐々に深く印加するとビームが収束することがわかる。一方、収束を行うとアノード電流（蛍光体に到達する電流）が減少することがわかる。これは、収束電位を印加すると、エミッタ先端近傍の電界が弱められること、さらに収束電位がエミッタ電位と同程度になると、放射電流がゲート電極へ流れ込み、アノードに電子が到達しなくなるためである。

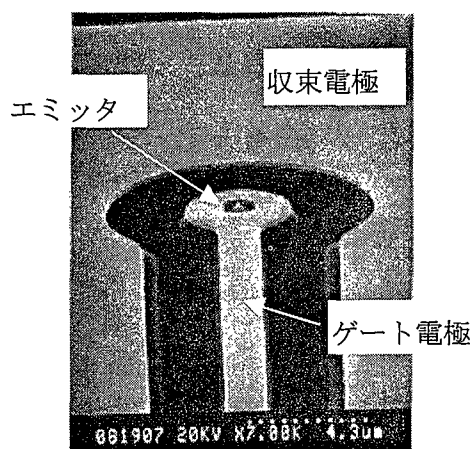


図7 平面構造収束電子源のSEM写真

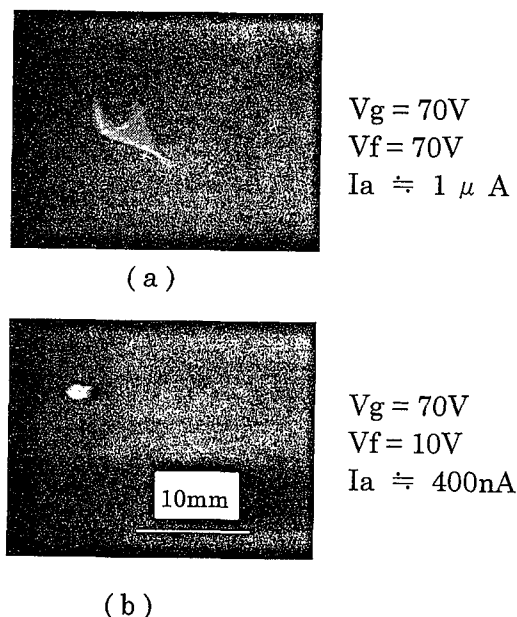


図8 平面構造収束電極による放射電子ビームの収束

第7章 結論

高輝度・高精細 FED 実現に向け、放射電流の安定化、放射電子ビームの収束について、能動素子による電流制御、平面構造の収束電極をそれぞれ提案した。また、これら提案した放射電流の能動制御と平面構造によるビーム収束が、FED の基幹技術となることを動作実験により示した。

審査結果の要旨

情報化時代を迎え、表示装置の用途は拡大の一途をたどると共に、多様性も増している。このため、高輝度、高精細などの表示性能はもとより、薄型、軽量、低消費電力などの利便性の観点から電界放射ディスプレイ（FED）開発への期待が高まっている。著者は、このディスプレイの基幹素子である電界放射陰極アレイ（FEA）からの放射電流の制御方式についての基本的な提案と、これを可能とする素子製作とにより、その有効性を実証し、FEDの高信頼化に道を開いた。本論文は、これらの研究の成果を纏めたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、高精細FED用の電子源として、FEAに要求される性能について述べている。

第3章では、試作したSi-FEAの電子放射特性について述べている。FEAからの電子放射は電流変動と放射電子の発散角が大きいことから、FEAの放射電流の安定化と放射電子ビームの収束が高精細FED開発のための最も重要な研究課題であることを指摘している。

第4章では、これまでに提案された放射電流の安定化のためのいくつかの方法について検討を行い、これらの方法では高精細ディスプレイ用に対応できないことを指摘している。また、放射電流変動の原因解明のために行ったp型Si-FEAの実験などから、エミッタ部への電流供給を律則することが放射電流の安定化に極めて有効であることを明らかにしている。

第5章では、電流の供給律則で動作する能動素子一体型のFEAの提案を行い、予備実験によりこの提案の有効性を実証すると共に、MOSFETや接合型FETを用いた具体的な素子構造の設計を行っている。更に、接合型FET一体型のFEAを試作し、制御電圧1Vで放射電流を3桁制御できることを明らかにしている。これらは、FEAの放射電流の安定化ばかりでなく、FEDの画素アドレスの低電圧化と信頼性の確保を可能としたもので、実用上の重要な成果である。

第6章では、放射電子ビームの収束が可能な平面電極構造のFEAの提案を行い、素子製作とビーム特性試験とにより、この提案素子の有効性を実証した経緯について述べている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、FEDに使用される電子源の放射電流の安定化と放射電子の収束法の提案を行い、動作実験によりその有効性を実証し、高精細FED開発に展望を与えたもので、電気・通信工学ならびに画像工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。