

学 位 論 文 題 名

フィールドエミッタアレイの高性能化と
ディスプレイデバイスへの応用に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、高度情報化社会の急激な進展により、視覚情報の受け渡し機能の役割を担うディスプレイデバイスの重要性が年々高まりつつある。マルチメディア分野からインターネット等の通信分野において要求される理想的なディスプレイの仕様は、高表示品位(高輝度、高精細)を維持しつつ、薄型で大画面かつ低消費電力であるという特性を有することである。

代表的なディスプレイデバイスである CRT(Cathode Ray Tube)は優れた画像表示性能を有するためディスプレイデバイスの主流である。CRT の電子源(エミッタ)には熱陰極が用いられ、電子励起に必要なヒータ部での電力消費が大きく、大電流密度の実現は困難である。また、始動に時間を費やすという欠点を持つ。高い放出電流密度を高効率で発生可能なエミッタとして、フィールドエミッタの研究開発が活発化している。フィールドエミッタは、エミッタ先端部に電界を集中させ、トンネル現象によって固体内部から外部に電子を放出させる。そのため、ヒーターレス、瞬時駆動、微細化・集積化が可能な利点を有する。しかし、CRT の内部真空度が低いのため、残留ガスとの相互作用で特性劣化、局所的放電による素子破壊等の問題が顕在化している。

フィールドエミッタの高性能化は、CRT のみならず FED(Field Emission Display)エミッタへの応用にも大きな期待が寄せられている。FED は優れた画像を維持し、かつ薄型化、大画面化、軽量化の実現可能な次世代ディスプレイとして注目されている。FED の発光原理は、CRT と同様に蛍光体の電子線励起であるが、その構造と駆動方法は異なる。FED では画素ごとに画素数分の微細エミッタが 2 次的に配置され、マトリクス的に駆動する。従って、FED では CRT 並みの画像品質と薄型の平面ディスプレイを構成することができる。このような FED の実現には、高効率で大面積化に適した高性能なフィールドエミッタの開発が必要不可欠である。

上記課題を解決するために、本研究では鋭利なエミッタを集積化したフィールドエミッタアレイの高性能化とその機構解明を行ない、実用デバイスへの搭載を試みた。特に、CRT の高輝度・高精細化および低消費電力化に関しては、モリブデン(Mo)をエミッタ材料とした Spindt 型フィールドエミッタアレイを検討した。また、薄型で大画面化が期待される FED のエミッタとして、カーボンナノチューブ(CNT)を用いたフィールドエミッタアレイを検討した。本論文は全 4 章からなり、その主要な成果は以下のように要約される。

第 1 章では、本研究の背景となっているディスプレイデバイスにおける重要性について述

べ、その中でフィールドエミッタアレイが果たす役割と研究の目的について述べた。

第2章では、Spindt 型フィールドエミッタアレイの高性能化とその CRT の応用に関して概説した。上記エミッタアレイの高性能化を実現するために、エミッタの集積化、表面処理、残留ガスの影響を検討した。エミッタの集積化は、放出電流の増大に寄与し、さらに個々のエミッタからの電流揺らぎを平均化するために、放出電流の安定化にも有効である。エミッタの表面処理として、真空アニールを検討した結果、アニールは放出電流を増加させるための有効な前処理であることを示した。XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)および TPD(Temperature Programmed Desorption)の表面分析から、アニールによる放射電流の増大は Mo エミッタ表面上の酸化層 (MoO_3) の熱脱離による低仕事関数化が主要因であることを明らかにした。電子放出に及ぼす種々の残留ガスの影響を調べた結果からは、電子放出特性はガス圧と同時にガスの種類にも強く依存することがわかった。特に、アルゴン等の希ガスはエミッタ先端部をスパッタリングし、特性を劣化させる要因になるため、十分な脱ガスが必要である。上記の知見を基に、エミッタ表面酸化物の除去、CRT 内の残留ガス制御、および放電破壊防止用の機構等を備えることにより、Spindt 型フィールドエミッタアレイを CRT の電子銃として始めて搭載し、安定な画像表示を実現することに成功した。

第3章では、カーボンナノチューブを用いたフィールドエミッタアレイの高性能化と FED の応用に関して概説した。Spindt 型フィールドエミッタは微小領域にエミッタを集積化することは可能であるが、大面積にわたって均一にエミッタを形成することはプロセス的に困難である。近年、ナノテクノロジーの中心的な材料として注目されている CNT はナノスケールの微小突起を複雑な微細加工技術を用いることなく大量合成可能であるため、それらをペースト化し、塗布することにより、大画面の FED のエミッタとして適用可能である。CNT エミッタアレイの高性能化を実現するために、グラインド効果、表面処理、積層3極管構造の導入を検討した。CNT のグラインドは、放出電流を飛躍的に増大させ、さらに CNT 膜の平坦化にも有効な前処理であることが明らかになった。グラインド後の CNT 形状を詳細に観察したところ、CNT は局所的に分断され、その端部は先鋭化していることがわかった。グラインドによる高性能化は CNT 端部での電界集中度が増加したためと考えられる。また、表面処理として真空アニールを検討した結果、アニールも放出電流を増加させるための有効な前処理であることを確認した。TPD 等のガス分析から、アニールによる放射電流の増大は CNT ペースト形成時の溶媒成分が熱脱離することによって、表面仕事関数が低下したためと考えられる。さらに、我々は CNT-FED としては始めて積層3極管構造を採用し、従来の駆動電圧に対して 1/10 以下の低電圧動作化を実証した。積層3極管構造は CNT 膜上に薄い絶縁層を介して引き出し電極を近接させるため、低電圧にて高い実効電界をエミッタ先端部に均一に印加することが可能である。このような低電圧駆動可能な積層3極管構造の形成が可能になった要因は、先述したグラインドによる CNT 膜の平坦化とプロセスダメージから CNT を保護する保護膜の導入による。

第4章では、本研究から得られた知見を概観し、本研究のもつ意味と役割について総括し、今後の課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 谷 和 彦

副 査 教 授 武 藤 俊 一

副 査 教 授 馬 場 直 志

副 査 教 授 山 本 眞 史

学 位 論 文 題 名

フィールドエミッタアレイの高性能化と ディスプレイデバイスへの応用に関する研究

近年、高度情報化社会の進展により、視覚情報の受け渡し機能を担うディスプレイデバイスの重要性が高まっている。マルチメディア分野から通信分野において要求される理想的なディスプレイの仕様は、高表示品位（高輝度、高精細）を維持し、薄型で大画面、低消費電力の特性を有することである。

代表的なディスプレイデバイスである CRT (Cathode Ray Tube) は優れた画像表示性能を有するためディスプレイデバイスの主流である。CRT の電子源（エミッタ）には熱陰極が用いられ、電子励起に必要なヒータ部での電力消費が大きく、大電流密度の実現は困難である。また、始動に時間を費やすという欠点を持つ。高い放出電流密度を高効率で発生可能なエミッタとして、フィールドエミッタの研究開発が活発化している。フィールドエミッタは、エミッタ先端部に電界を集中させ、トンネル現象によって固体内部から外部に電子を放出させる。そのため、ヒーターレス、瞬時駆動、微細化・集積化が可能な利点を有する。しかし、CRT の内部真空度が低いのため、残留ガスとの相互作用で特性劣化、局所的放電による素子破壊等の問題が顕在化している。

フィールドエミッタの高性能化は、CRT のみならず FED (Field Emission Display) エミッタへの応用にも大きな期待が寄せられている。FED は優れた画像を維持し、かつ薄型化、大画面化、軽量化の実現可能な次世代ディスプレイとして注目されている。FED の発光原理は、CRT と同様に蛍光体の電子線励起であるが、その構造と駆動方法は異なる。FED では画素ごとに画素数分の微細エミッタが 2 次的に配置され、マトリクス的に駆動する。従って、FED では CRT 並みの画像品質と薄型の平面ディスプレイを構成することができる。このような FED の実現には、高効率で大面積化に適した高性能なフィールドエミッタの開発が必要不可欠である。

上記課題を解決するために、本研究では鋭利なエミッタを集積化したフィールドエミッタアレイの高性能化とその機構解明を行ない、実用デバイスへの搭載を試みた。特に、CRT の高輝度・高精細化および低消費電力化に関しては、モリブテン (Mo) をエミッタ材料と

した Spindt 型フィールドエミッタアレイを検討した。また、薄型で大画面化が期待される FED のエミッタとして、カーボンナノチューブ (CNT) を用いたフィールドエミッタアレイを検討した。本論文は全 4 章からなり、その主要な成果は以下のように要約される。

第 1 章では、本研究の背景となっているディスプレイデバイスにおける重要性について述べ、その中でフィールドエミッタアレイが果たす役割と研究の目的について述べた。

第 2 章では、Spindt 型フィールドエミッタアレイの高性能化とその CRT の応用に関して述べた。エミッタアレイの高性能化を実現するために、エミッタの集積化、表面処理、残留ガスの影響の 3 点から検討した。エミッタを集積化することにより、放出電流が安定化することが分かった。エミッタの表面処理として真空アニールを検討した結果、アニールは放出電流増加の有効な前処理であることを見出した。その主要因は Mo エミッタ表面上の酸化層 (MoO_3) の熱脱離による仕事関数の低下であることを明らかにした。残留ガスの影響を調べた結果、電子放出特性はガス圧とガスの種類に強く依存することが分かった。特に、アルゴン等の希ガスはエミッタ先端部をスパッタリングし、特性を劣化させる要因になることが分かった。上記の知見を基に、エミッタ表面酸化物の除去、CRT 内の残留ガス制御、および放電破壊防止用の機構等を備える Spindt 型フィールドエミッタアレイを CRT の電子銃として初めて搭載した結果、安定な画像表示を実現することに成功した。

第 3 章では、カーボンナノチューブを用いたフィールドエミッタアレイの高性能化と FED の応用に関して述べた。Spindt 型フィールドエミッタは微小領域に集積化することは可能であるが、大面積にわたって均一に形成することが困難である。近年、注目されている CNT では、ナノスケールの微小突起を微細加工技術を用いることなく大量合成することができる。それらをペースト化し、塗布することで、大画面の FED のエミッタとしての可能性が大である。CNT エミッタアレイの高性能化を目指して、グラインド効果、表面処理、積層 3 極管構造の導入を検討した。CNT のグラインドは、放出電流の飛躍的増加に、さらに CNT 膜の平坦化に有効な前処理であることを明らかにした。グラインド後の CNT 形状の電子顕微鏡観察から、CNT は局所的に分断され、その端部は先鋭化していることを発見した。グラインドによる高性能化は CNT 端部での電界集中の増加によると結論された。また、表面処理として真空アニールをした結果、放出電流の増加を見出した。さらに、CNT の FED として初めて積層 3 極管構造を採用した結果、従来の駆動電圧に対して 1/10 以下の低電圧動作化を実現することができた。その要因は、グラインドによる CNT 膜の平坦化と CNT を保護する薄い絶縁層の導入によると結論された。

第 4 章では、本研究から得られた知見を概観し、本研究のもつ意味と役割について総括し、今後の課題について述べた。

これを要するに、著者は、フィールドエミッタアレイの高性能化とその機構を解明してディスプレイデバイスの実用化に対して新知見を得たものであり、応用物理学及び電子デバイス工学の進展に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。