

称号及び氏名 博士（工学） 白石 哲也

学位授与の日付 平成18年2月28日

論文名 「ディスプレイ用電子源に関する研究」

論文審査委員 主査 中山 喜萬

副査 内藤 裕義

副査 平井 義彦

論文要旨

CRT (Cathode Ray Tube; 陰極線管, ブラウン管) は、真空管の中で熱電子のビームを発生して整流、増幅などに利用される素子として発明され、その後、ディスプレイとしてのCRTが発案された。CRT内部で、熱カソードから放出された電子ビームは電子銃によって集束され、偏向ヨークの磁界により偏向されて蛍光体を塗布して蛍光面を走査する。蛍光体は電子衝突によって光を放出し、入射する電子の量を制御することで所望の画像を表示することができる。CRTは自発光デバイスであるため、自然な映像を広視野角で表示することができる。電子放出の応答速度や、蛍光体の発光の応答速度が速いために動画表示に適している。また、LCD (Liquid Crystal Display; 液晶ディスプレイ) やPDP (Plasma Display Panel; プラズマディスプレイ) などの薄型ディスプレイに比較して安価である。このように優れた表示特性を持ち、かつ、安価であるCRTは、今後も主要なディスプレイの一つとして存在し続けると思われる。CRTは高い成熟度を有しているが、更なる高輝度化・高精細化などに対する要望が強く、今後も改良が必要である。

一方、自発光や高速応答などのCRTの優れた表示特性を継承しつつ、LCDやPDPのように薄型で、LCDよりも低消費電力のディスプレイとして期待されているのがFED (Field Emission Display; 電界放出型ディスプレイ) である。基本原理はCRTと同じで、カソードから電子を真空中に放出し、蛍光体へ衝突させることで発光させており、蛍光体の電子励起を利用している。CRTがカソードから放出された電子を偏向し、画面全体を走査することにより画像を表示しているのに対し、FEDにおいては画素ごとに微小なカソードを備えているために電子を偏向するためのスペースが不要になり、薄型化を図ることができる。また、色選別のためのシャドウマスク・アパーチャグリルや電子ビーム偏向のための偏向ヨークが不要であり、低消費電力である。しかし、一般に、電界放出素子のエミッション量の制御は、熱電子放出素子のエミッション量の制御に比較して難しい。FEDは10インチ程度以下の比較的小型のディスプレイとしてはスピント型冷陰極のアレイを用いて実用化されているが、エミッション特性のばらつきに起因する画素間の輝度ばらつきを抑えるために一画素当たりにはスピント型の素子を多数配列し、統計的な効果によって輝度の平均化を行っている。しかし、スピント型冷陰極はプロセスの複雑さや製造コストが高いことなどから、大画面のディスプレイには不向きである。そこで、大画面FE

Dを商業化する上で、安価で均一な電子源の作製が一つの大きな課題になっている。

上記で概説したように、CRTは、真空中に放出された電子を蛍光対に入射させて発光させる原理を用いたディスプレイである。FEDは、発光原理はCRTと同じであるが、画素ごとにエミッタを配置することにより薄型化を実現したディスプレイである。本研究はこれらの電子ディスプレイの電子源に関するものである。

本研究科の第1の目的は、CRTの高輝度化・高精細化である。ディスプレイ用途としても様々あるCRTの中で、本研究で対象にしたのは直視型CRTであり、主にPC (Personal Computer : パーソナルコンピューター、パソコン) のディスプレイに用いられ、文字や図面などの表示が行われるために高精細な表示が求められるDM (Display Monitor : ディスプレイモニター) 用CRTである。DMは文字表示などを行うために基本性能として高精細表示が必要であるが、近年のインターネットやDVD (Digital Versatile Disk : デジタルバーサタイルディスク) などの普及により、動画を生き生きと表示することができる高輝度表示も求められている。CRTの高輝度化の手段としては、例えば、蛍光面電圧の増加、電磁銃駆動電圧の増加などが考えられるが、いずれも不要電磁波やコストの問題で難しいと考えた。そこで、改良に伴って派生する部品変更や工程変更が比較的少なく、コストの増加も少ない、電子銃及びカソードの改良による達成を目的として研究を行った。

本研究の第2の目的は、エミッタにCNT (Carbon Nanotube : カーボンナノチューブ) を用いたTV (Television : テレビ) 用の大画面FEDの作製である。電界放出のエミッタとしては上記のスピント型を始めとして様々提案されているが、CNTはアスペクト比が大きく電界放出の適している上に、強靱な構造を持つために、FED用のエミッタとして期待されている。本論文ではCNTをエミッタとして用いたFED電子源の作製方法に関する研究を行った。

本論文は、6章からなり、第1章の序論では、CRT及びFEDの歴史的な背景、これらの電子源の基本的な特性や課題を概説し、本研究に至った背景と研究目的及び内容の概略を述べた。

第2章と第3章はDM用CRTの電子源の研究に関するものであり、第2章では電子銃の改良によるCRTの高輝度化の方法に関して、3つの方式の電子銃について述べた。

一つ目の電子銃として、カットオフ電圧を下げることにより、ドライブ特性を向上させた「低カットオフ電子銃」について述べた。従来、カットオフ電圧を下げるとドライブ特性は向上するがフォーカスの劣化が発生するためDM用CRTではカットオフ電圧を115V程度以下にすることができないと考えられてきた。しかし、三極部の最適化によりフォーカスの劣化を防いだ上で、17インチDM用CRTにおいて動画を生き生きと表示できる高輝度300cd/cm²を達成した。

二つ目の電子銃として、17インチより大画面の22インチCRTにおいても輝度300cd/m²の高輝度が可能な電子銃として、カソードと共に第1電極も駆動する方式の「ダブルドライブ電子銃」について述べた。電子銃の組み立ての難しさを新しい組み立て方法により解決し、高輝度300cd/m²を十分余裕を持って達成した。ややコスト増が見込まれるものの、高解像度表示や絵作りの多様性などの付加価値も提供することができる。信頼性を評価し、実用化できるレベルに開発することができた。

三つ目の電子銃として、第2電極及びシールド電極にエミッション電流の一部を流入させる従来のDM管用電子銃にはない電子ビームの制御方法を用いてドライブ特性を改善した「電流回収型電子銃」について述べた。電流回収型電子銃においても、22インチCRTにおいて高輝度300cd/m²を達成することができた。色ずれの発生を解消するために、組み立て精度を緩和することが今後の課題である。

第3章ではカソードの改良によるCRTの高輝度化及び高精細化について述べた。カソ

ードの改良により、電子銃や駆動回路のコストアップや変更を極力抑えて、22インチ程度の大画面のPC用CRTにおいて300 cd/m²程度の高輝度表示を可能にするために表面に突起を有するカソードの研究を行った。シュミレーションによりドライブ特性の向上（ドライブ電圧50Vで輝度300 cd/m²に必要なエミッション電流約1300 μA）とエミッタンスの改善を予測し、実験により確認した。酸化物カソードにおいては所定温度での動作が出来なかったが、含浸型カソードにおいては設計通り動作することを確認した。

第4章と第5章は、CNTをエミッタとして用いたFEDの研究に関するものである。CNTをエミッタに用いたFEDの作製方法は、基板にCNT膜を形成する方法として、印刷によるものと、CVD（Chemical Vapor Deposition：化学気相成長法）によりカソード基板上に直接成長させるものに大別される。

第4章は印刷による作製方法の研究について述べた。CNTを密着剤、樹脂、溶剤、分散剤を含んだペースト中に分散し、印刷塗布したCNTカソードのレーザー照射によるCNTカソードのエミッション特性改善とエミッション特性均一化の検討を行なった。その結果、レーザー照射領域境界にCNTの起毛が生じることを発見し、また、レーザー照射の境界の長さを大きくすることにより、エミッション特性とエミッション均一性を向上させ得ることを見出した。

電子源形成の方法については、印刷法で大画面用の電子源を形成する方法について研究し、上記エミッタ上に独自の高分子絶縁材料（PPSQ）を用いた電子通過孔を形成した。その方法として反応性イオンエッチング法とスピンウェットエッチング法を比較検討した。後者の方が、CNTにダメージを与えず、残渣による汚染がなく、アンダーカットの少ない微細孔形成に適していることを見出した。試作した二極および三極構造の電子源は、良好なエミッション特性とエミッション均一化を示した。

第5章においてはCVD法によりFED用カソード基板へCNTを直接成長させる方法について述べた。CNT成長の触媒金属としてFeZrNを採用した。FeZrNは熱処理によりFe微粒子を析出する性質を有しており、これをCNT成長に使うことを意図した。微粒子化を促進し、その結果、安価なソーダライムガラス上にガラスの耐熱温度により低温の500℃～550℃でCNTを成長させることができた。二極構造および微細三極構造において、成長したCNTからの電子エミッションを確認した。また、FeZrNの組成変化によりCNTの粗密や直径の制御の可能性を示した。

第6章では、本研究で得られた主要な成果を総括して結論をまとめた。

審査結果の要旨

本論文は、電子励起により蛍光体を発光させ表示するディスプレイの高精密かつ高輝度化、また薄型大面積化を目指し、電子源について材料および形状、プロセス技術、電子銃の駆動方式について研究したものであり、以下の成果を得ている。

- (1) モニター用陰極線管ディスプレイの高輝度化をはかるため、17インチ型については電子銃の第一電極に対するカソードの基準電圧（カットオフ電圧）を従来の約60%に下げる方法、また画面サイズの大きい22インチ型については、動作時にカソードだけでなく第1電極も駆動するダブルドライブ方式およびエミッション電流の一部を回収し制御する方式を提案した。それぞれ高輝度300 cd/m²を達成し、高精細・高輝度ディスプレイ用電子銃の設計指針を明らかにした。
- (2) 高輝度電子銃に適したカソードとして、表面に突起構造を有するカソードを提案した。これにより高いエミッション電流約1300 μA（ドライブ電圧50Vで輝度

300 cd/m²に必要)と優れたエミッタンスを実現した。カソード材料としては、一般に用いられる酸化物は適さず含浸型が有効であることを明らかにした。

- (3) 薄型大画面ディスプレイ用の電界放出型電子源とし、カーボンナノチューブの印刷塗布膜について検討し、塗布膜の中のナノチューブを起毛させるのにレーザー照射によるアブレーションが有効であることを見いだした。また、ナノチューブから電子を取り出す微細孔に、シロキサン系高分子絶縁材料の採用とスピンウェットエッチング法による加工が良好なエミッション特性を得る上で有効であることを見いだした。
- (4) カーボンナノチューブを用いた電子源として、カソード基板への直接成長を検討した。触媒金属としてFeZrNを採用し、安価なソーダライムガラス上にその耐熱温度より低温の500°C~550°Cでナノチューブを成長させうることを明らかにした。また、FeZrNの組成によりCNTの密度および直径の制御が可能であることを示した。

以上の諸成果は、陰極線管を用いたディスプレイにおいて文字と動画の両方を表示するために要求される高精細かつ高輝度を実現するための重要な知見、また薄型大面積ディスプレイに適する電界放出型方式を実現するための重要な知見を与え、本分野の学術的・産業的な発展に貢献するところ大である。また申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである。