

## カーボンナノチューブ電界放出カソードの低電圧動作に向けた初期検討

湯浅直樹(静大・学), 島田温子, 井本伸(静大・院), 大川恭志(JAXA), 山極芳樹(静大)

## 1. 序論

現在, 宇宙航空研究開発機構(JAXA)では, スペースデブリ除去技術として導電性テザー(EDT)システムが検討されている. EDT システムとは, ベアテザーと呼ばれる導電性の紐が地球磁場を横切ることにより発生する誘導起電力によって電流が生じ, 地球磁場と干渉することによりローレンツ力が発生し, その力によって推進するシステムである. EDT システムの電子放出源としては, 低電力動作が可能である点や作動ガスが不要であるという点から電界放出カソード(FEC)が有効だと考えられており, エミッタ材料には, 機械強度に優れる点や高アスペクト比, 化学的安定性などの優れた特性からカーボンナノチューブ(CNT)を採用している.<sup>[1]</sup>現在用いている FEC の駆動電圧の初期性能は, 電界電子放出が開始する閾値電圧(ここではエミッション電流が 0.01mA の時の電圧として定義)としては 200~350V, エミッション電流 3mA 到達時には 500~600V であり (Fig. 1), 今後のシステムの簡素化・ロバスト化などのためには, この駆動電圧を下げる必要がある.

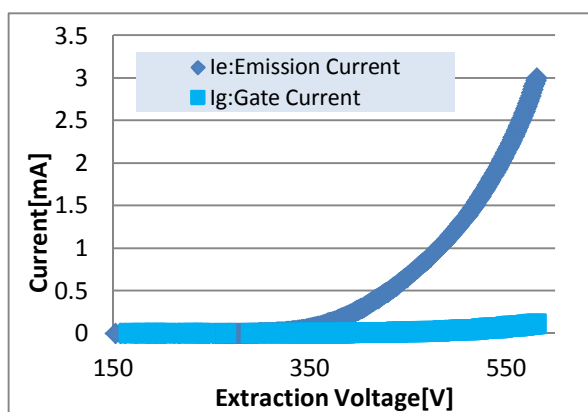


Fig.1 Typical current-voltage characteristics of FEC

本研究では, この駆動電圧低減の試みとしてエミッタ - ゲート電極間の短ギャップ化とエミッタ基板幾何形状のエッジ化を実施し, それぞれの動作特性

を評価した.

## 2. エミッタ - ゲート電極間の短ギャップ化

従来の FEC (Fig.2)の代表的なエミッタ - ゲート電極間距離は約 125  $\mu\text{m}$  であり, その間隔は電極間に挿入された絶縁スペーサにより保持されていた. これに対し, ゲート電極の片面を PFA(テトラフルオロエチレン)でコーティングし, その PFA 層の厚み(約 33 $\mu\text{m}$ )まで短ギャップ化することを試みた. ゲート電極を PFA でコーティングした FEC を Fig.3 に示す.

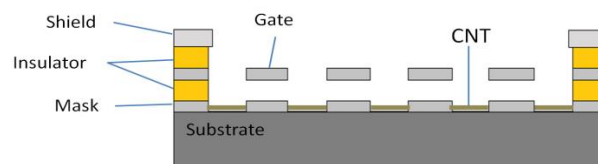


Fig2. Schematic drawing of FEC

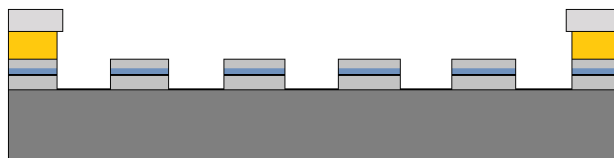


Fig.3 FEC having gate electrode coated with PFA

## 2.1 実験結果

本実験では閾値電圧とエミッション電流 3mA 到達時の引出電圧値に注目した. 得られた電流電圧特性を従来の FEC の性能と比較した結果を Fig4 に示す.

Fig.4 からわかるように PFA 電極を使用した場合の閾値電圧は約 300V で 3mA 到達時の電圧は約 580V となり, 従来の FEC に対する性能向上は確認できなかった. また, ゲート電流(エミッタから放出された電子がゲート電極に流れ込む損失電流)に関しては PFA の方が多く, 引出効率(FEC 外部に放出された電子の割合)は従来の FEC が 96%であるのに

対し PFA は 74% という低い結果となった。引出効率が低下した理由としては Fig.5 に示したようにゲート電極のスリット側面部に付着したコーティング剤が電子軌道を遮った可能性がある。

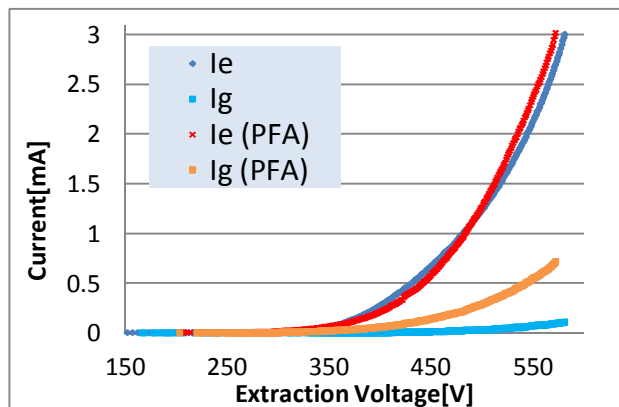


Fig.4 Performance Comparison between original FEC and FEC having gate electrode coated with PFA



Fig.5. Close-up view of gate electrode coated with PFA.

### 3. エミッタ形状の改良

従来は平面基板上に CNT を印刷したエミッタを用いていたのに対し、本実験では凹凸形状を付けた基板を適用した。これにより、凸部でのエッジ効果により電界を強め、低電圧駆動化を試みた。平面基板を用いた CNT エミッタの概念図をそれぞれ Fig.6 と Fig.7 に示す。



Fig.6 The plane substrate



Fig.7 The channeled substrate

### 3.1 実験結果

本実験では凹凸エミッタを用いた FEC3 台を組立て電流電圧特性を取得した。その結果を Fig.8 に示す。

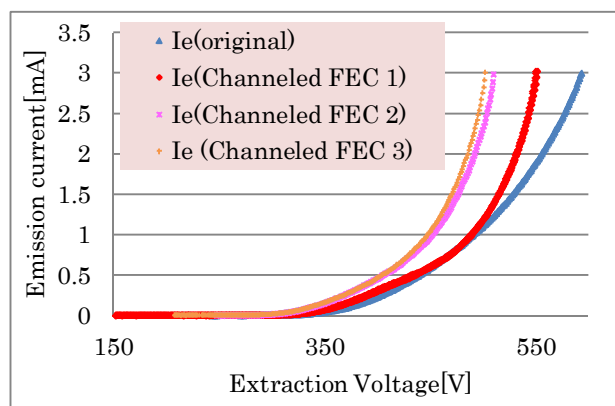


Fig.8 Performance comparison between original FEC and channeled FECs

Fig.8 より凹凸基板 FEC については(個体差はあるものの)その値を平均すると平面基板 FEC に比べて 3mA エミッション時の引出電圧として 10%程度の低電圧駆動を確認した。

### 4. 結論

本研究では FEC の低電圧化に向けて、エミッタ - ゲート電極間の短ギャップ化やエミッタ形状改良により低電圧駆動化の初期検討を行った。短ギャップ化による低電圧化実験に関しては、電極表面への絶縁コーティングによる短ギャップ化を試みたが、初期試験の結果としては顕著な性能向上は得られていない。また、エミッタ基板の凹凸可能によるエッジ効果の活用の実験に関しては、従来の平面エミッタと比較して約 10%程度の低電圧化を確認した。

### 参考文献

(1)田中善信「電界放出電子源の電極設計と動作特性評価」,2011 年度 静岡大学卒業論文