

[1 a - 8]

PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF A 4+1/2 RF GUN

Takashi Inamasu, Kiyoshi Yoshikawa, Masami Ohnishi, Yasushi Yamamoto,
Kai Masuda, Masaaki Sobajima, and Eiji Tanabe*

Institute of Advanced Energy, Kyoto University
Gokasho, Uji, Kyoto 611, Japan

*AET Associates Inc., Cupertino, CA 95014, USA

Abstract

Electron trajectories in a 4+1/2 RF gun were calculated by a 2-D simulation code newly developed with full Maxwellian equations with space charge-effects taken into account self-consistently to evaluate RF gun performance characteristics.

4+1/2 RFgun における電子ビーム特性

1. はじめに

高周波電子銃 (RFgun) は、静電場電子銃に比べて、はるかに高い電界 (100MV/m) を印加できるため、空間電荷力の働く低エネルギー状態にある時間を短くでき、低エミッタンスの大電流ビームを得るのに有利であり、また非常に小型化できる。しかし、RFgun の問題点として、RF 電界による陰極への電子ビームの逆加速により陰極が加熱され、長パルス運転ができない、あるいは陰極の寿命が短くなるという点が挙げられる。

この問題点を克服するため、様々な種類の光陰極型 RFgun が開発されているが陰極の寿命が短い、あるいは高出力のレーザー照射システムが複雑であるという問題が残されている。本研究では、AET 社により開発された 4-1/2 の空胴をもつ RFgun の電子ビーム特性を計算機シミュレーションにより詳細に解析した。

2. 4+1/2 RFgun におけるパラメーター

AET 社により開発された 4+1/2 空胴をもつ S バンド熱陰極型 RFgun をもとに解析を行った。

この RFgun の電子軌道を解析するために、研究室で新しく開発した二次元のクライストロンコードを移植して用いた^{1),2)}。このコードでは空間電荷効果を含めて、Maxwell 方程式を用いて解いている。

半径 3mm の陰極面上で電流密度は等しく 30A/cm² とし、各々の空胴の電界値はビーズドロップ法で測定した電界値を用いた。

3. 電子ビーム特性

図 1 に空胴内の電子のスナップショットを示す。図 1 上図では、空胴の軸上の軸方向電界のピーク値を破線で示し、中図では位相が π (位相 0 から電子は飛び出しはじめる) のときの電子の位置をプロットしている。また、下図は電子のエネルギーを表し、負のエネルギーは逆加速されている電子のエネルギーを示す。図 1 より、直前まで加速電界がかかっていた第 1、第 3、第 5 空胴で電子が加速され、第 2、第 4 空胴では逆加速された電子が散在するのが分かる。

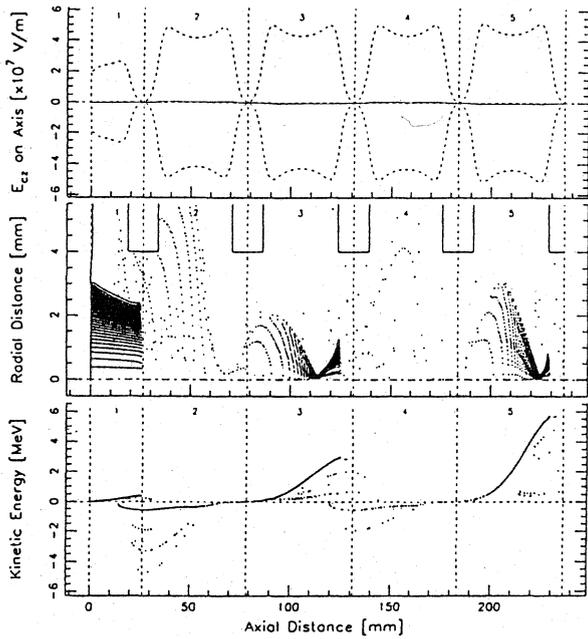


図1 位相 π でのスナップショット

gun の出口でのエネルギースペクトルは図 2 のようになり 5.5MeV にピークを持つビームが得られた。

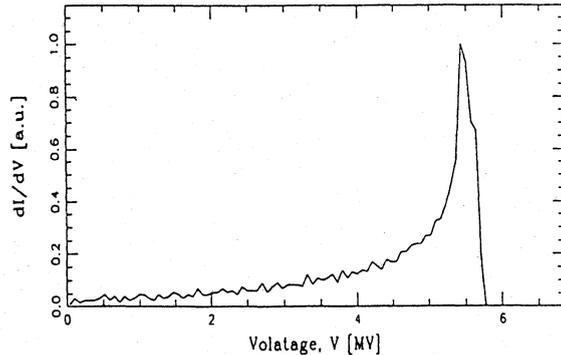


図2 出力ビームのエネルギースペクトル

また gun の出口において電流量および電子の運動量 $\beta\gamma$ を 1 周期分位相に対して取ったものを図 3 に示す。運動量のピーク値に対して 80% 以上の運動量を持つ電子だけを取るとそのエミッタンス図は図 4 のようになった。このとき、電流値は全出力ビーム 1.67A 中 1.0A であり、また規格化エミッタンスは $3.55 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$ であった。

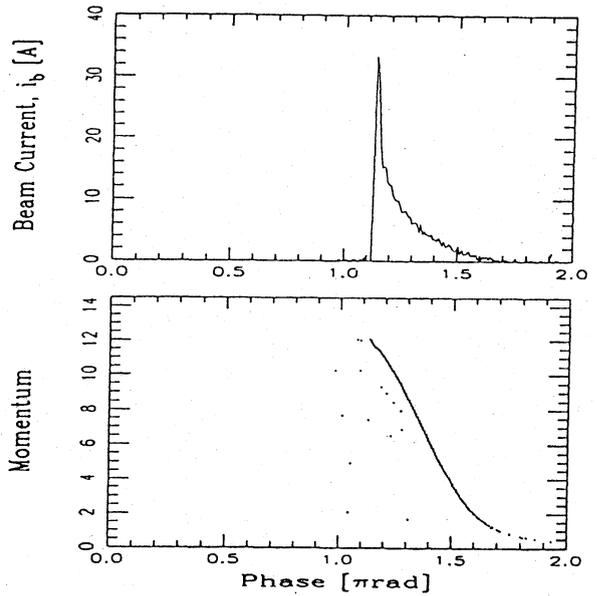


図3 出口での電流及び運動量の時間変化

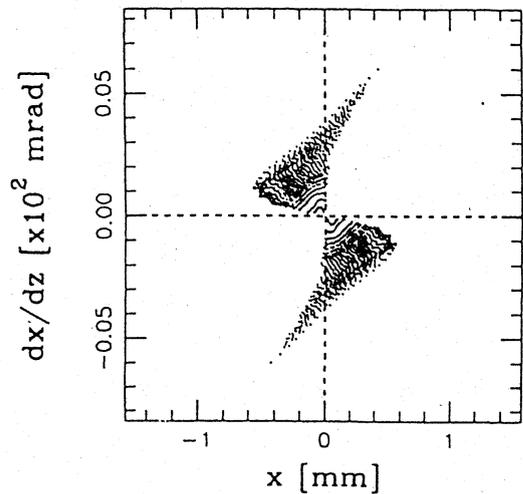


図4 エミッタンス図 ($\beta\gamma > 0.8 \beta\gamma_{\text{max}}$)

1 周期トータルでの電子が得るパワーおよび陰極や空洞壁に衝突して失うパワーの総計は 7.83MW であり、その内訳は、ビームとして得られるパワー (7.34MW, 1.67A)、陰極にぶつかるパワー (0.21MW, 1.66A)、壁にぶつかるパワー (0.28MW, 1.14A) となり、ビームの効率は 0.94 となる。

陰極に衝突する電子の半径に対するエネルギーをプロットしたものを図 5 上に、半径に対するパワーの分布図を図 5 下に示す。

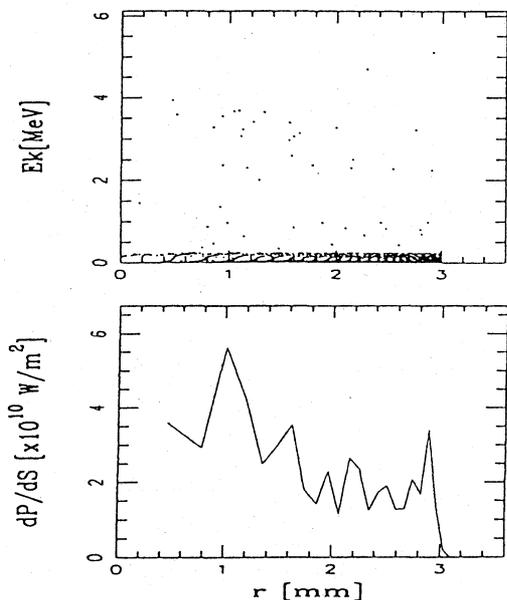


図5 陰極に衝突する電子の分布

図5より3-4MeVほどの高エネルギーの電子が半径1mm付近に集中して衝突するためにこの領域が他の領域に比べてよりパワーを受けていることが分かる。またスナップショット図より、これらの電子は4番目の空胴より逆加速されているのが分かった。このような高エネルギーの電子が陰極の加熱に大きく影響し、さらにある領域に集中して衝突するために、その影響はさらに大きくなるものと思われる。

4. まとめ

4+1/2 RFgunでは20cmほどの小型の装置で、エネルギーが5.5MeV、電流1.67A、パワー7.34MW規格化エミッタンス $3.55 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$ の高エネルギーのビームを得ることができる。

また、問題となっている電子の逆加速による陰極加熱は、高いエネルギーを持つ電子、この場合特に第4空胴から戻ってくる電子が大きく影響を与えていることが分かり、そのパワーは0.21MWであり、半径1mm付近に集中することが分かった。このことから、空胴の形状を改良し、あるいは空胴の電界を調整することで、第4空胴などからの高エネルギーの電子を陰極に衝突させないようにすることが必要となるであろう。

これらの解析とともに、現在実験の準備を進めている。

参考文献

- 1) 増田開、京都大学修士論文(1995)
- 2) 稲増崇、京都大学卒業論文(1996)