

STUDY OF AN RF-GUN II

K. Hayakawa, J. Hatomi*, I. Satot, T. Kamitani†

Atomic Energy Research Institute, Nihon University, Narashinodai 7-24-1 Funabasi 274

ABSTRACT

A high current and high quality electron gun are the most important devices for the applications of the electron accelerators. Using SUPERFISH and new programs developed here we simulate microwave guns with a thermionic LaB₆ cathode inside the cavity. The qualities of beams obtained are excellent except the back bombardment electrons overheating the cathode and resulting in a ramp and increase of the macropulse current.

マイクロ波電子銃の研究 II

1. 序

マイクロ波電子銃は、マイクロ波空洞に発生する強い電場によって急速に電子を加速するために空間電荷によるエミッタンスの悪化をおさえ、良質の電子ビームを供給できることが期待されるため、各地で開発が行われている。日大で開発を進めている紫外域自由電子レーザーにおいてもマイクロ波電子銃の採用を予定しており、このため様々な解析を行っている。自由電子レーザーでは電子ビームと光が空間的に重なっていなければならない、光ビームはその波長から決まる最小サイズがある。電子ビームはこのサイズより小さくなるのが望ましい。我々の目標とする波長でこのようなビームサイズを実現するためにはビームの規格化エミッタンスが $12\pi\text{mm.mrad}$ 以下でなければならない。日大自由電子レーザーでは最終的にはマクロパルス幅 $20\mu\text{sec}$ での運転を計画している。これを実現するためにはマイクロ波源の問題とは別に、マイクロ波電子銃そのものがこの運転に耐えるものでなければならない。具体的には熱陰極を使用した場合には back bombardment の問題を解決しなければなら

ない。ここではマイクロ波電子銃の空洞の最適化及び back bombardment の解析の最近の成果を報告する。

2. 空洞の最適化

熱陰極、あるいはフォトカソードでも、マイクロ波の周期の数分の一程度の比較的長い光パルスで電子を放出させる場合は図1に示すようにマイクロ波電子銃は進行方向に沿って広い範囲にわたって分布し、またエネルギー幅の広い電子ビームを放出する。通常はこの下流でマグネチックバンチを行い、加速管に導く。この間に当然適切な収束系が挿入されるが、エネルギー幅の広いビームをビーム半径の大きい状態で収束させると色収差によりエミッタンスを悪化させる。これを避けるためには電子銃直後のビームのエミッタンスが小さいばかりでなく同じエミッタンスでも空間的広がりも、傾きも小さくしなければならない。自由電子レーザーから平均ビーム電流 200mA エネルギー幅 250keV 規格化エミッタンス $< 10\pi\text{mm.mrad}$ が要請されている。

* College of Science and Technology, Nihon University

† National Laboratory of High Energy Physics

またマグネティックバンチングの最適化を図るためにビームの最大運動エネルギーは 1.5MeV 以上であることが望ましい。またこの部分の収束系の要請からカソードから 100 mm 程度離れたところでビーム半径 < 2mm、傾き < 10mrad でなければならない¹⁾。これらをまとめると表 1 のようになる。尚運転周波数は 2856 MHz である。表 1 の条件を満たすような電子ビームを得るためにマイクロ波空洞の最適化を行った。

表 1 マイクロ波電子銃の目標値

傾き	< 10	mrad
平均エネルギー	200	mA
エネルギー幅	< 250	keV
ビーム半径	< 2	mm
エミッタンス	< 2.5	π mm.mrad
最大エネルギー	1.5	MeV

空洞の形状には無限の可能性が考えられるのである程度限定して解析を進めなければならない。我々は図 2 のような、円筒空洞のビーム出口側にノーズコーンをつけ、カソード側に収束電場を調整するための突起のついた形状について解析を行った。この形状では加速ギャップの長さはノーズコーンの長さで調整し、共鳴周波数はシリンダー径で調整する。収束電場の強さはすでに述べたようにカソード側につけたリング状の突起で調整する。空洞内の電磁場の分布は SUPERFISH により求め、電子の軌道は日大で開発したコードにより計算した。カソードからの放出電流はショットキー効果を考慮した Richardson-Dushman 方程式に従うものとした。表 1 に従ってエネルギー幅 250 keV 200mA を得ようとするカソードからは平均 1A の電流が放出されなければならない。

図 2 の形状の空洞で作られる軸上電場分布を図 3 に示す。ノーズの先端付近が最も電場が強くカソード側からこの点に向かって収束電場ができていることを表している。この空洞でカソードから平均電流 1A、1 周期あたり 0.35nC の電荷が放出加速されときの横方向の位相空間における電子の分布を示したのが図 4 である。この図から分かるよう

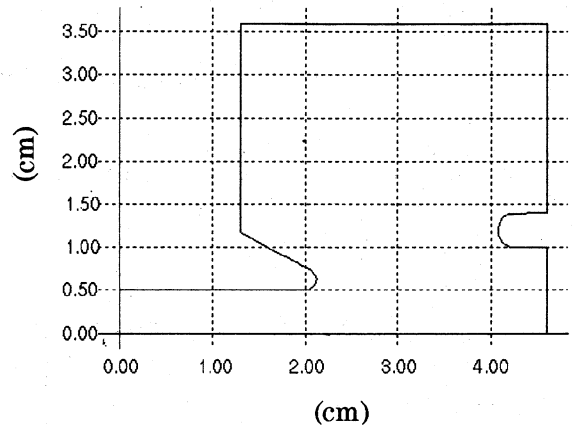


図 1 マイクロ波空洞の縦断面図

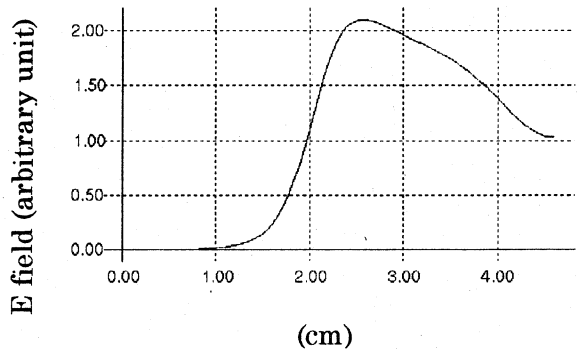


図 2 軸上電場分布

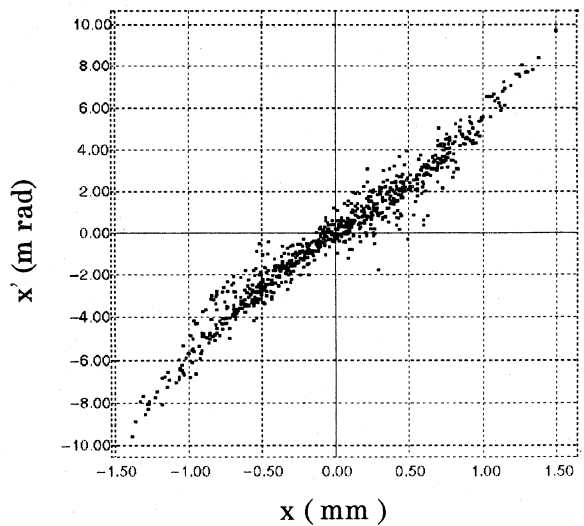


図 3 横方向の位相空間における電子の分布。

にビームは半径約 1mm、傾きは 8 mrad が得られている。この時のエミッタンスは $1.6 \pi \text{mm.mrad}$ となり、表 1 に示された要請を十分満足している。

3. Back Bombardment の解析

前に述べたように、熱陰極マイクロは電子銃では back bombardment のために、マクロパルス幅を十分大きくとれない。これを回避するための有力な手段として次の 2 種類の方法が検討されている。第一は電子の進行方向に垂直な磁場をかけて逆走する電子がカソードに当たらないようにするものである。第二の方法はマイクロ波電子銃を多空洞にし、カソードの装着された空洞の電場を低くして逆走する電子のエネルギーを低く抑えようとするものである。どちらの方法も back bombardment のパワーを数分の一にする事ができる。カソードに衝突する電子の運動量と電子数の関係を第 4 図に示す。この図からカソードに衝突する電子の運動量分布は二つのピークを持つことがわかる。一方はエネルギーがほとんどゼロのところにピークを持ち、エネルギーの増加に従って急速に減少している。もう一方はエネルギーの上端にピークを持つ。電子ビームの持つエネルギーの大部分は高エネルギー端のピークにある電子が担っている。しかし電子数では低エネルギー部の電子の方が多い。次に磁場をかけた場合を見てみると第 5 図のようになり高エネルギー部分のピークが数分の一に低くなっているのがわかる。従って、back bombardment のパワーはこの比で小さくなっている。しかし、このような方法を採用した研究機関の各地の実験結果を見ると、10 μsec 以上のマクロパルス幅を得ることは困難だと考えられる²⁾。これはマクロパルス中の電流の増加が専ら back bombardment のパワーに依存すると考えたからで、放出電流の増加のようにカソード表面近くの状態に依存するような現象については低エネルギー側の電子も大きな寄与をしていると考えられる。この低エネルギーの電子はどちらの方法でも少なくすることはできない。ただ磁場を使う方法は磁場の強さとカソードの形状を工夫することによりある程度軽減することができよう³⁾。

参考文献

- 1) T.Tanaka et al., this proceeding.
- 2) J. N. Weaver et al., IEEE Particle Acc. Conf., 1993, p3018.
- 3) Y.Torizuka et al., this proceeding

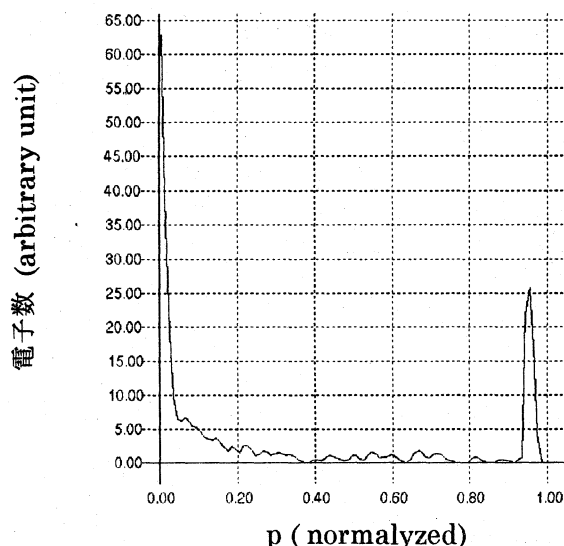


図 4 カソードに衝突する電子数と運動量の関係。

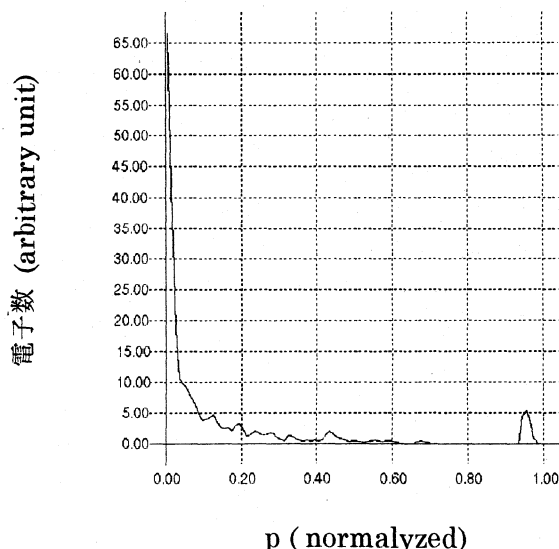


図 5 磁場をかけた場合の分布