

20-P2

STUDY OF AN RF-GUN

K.Hayakawa, Y.Torizuka, K.Sato, T.Tanaka, S.Igari*, M. Ohkubo*, R.Kabasawa*, I.Sato**, S.Fukuda**, H.Kobayasi**,
A.Enomoto**, S.Osawa**, T.Urano**, S.Kurihara** and T.Kamitani**

Atomic Energy Reserch Institute, Nihon University Narasinodai 7-24-1 Funabasi 274

ABSTRACT

The amount of cathode heating is depending mainly on the power fed from relatively high energy back-bombarding electrons. From the simulations, these electrons can be eliminated with a double cavity structure. For increase of peak current, a subharmonic RF-gun is proposed.

マイクロ波電子銃の研究

1. 序

近年電子リニアックの応用として、自由電子レーザ、リニアコライダ等が建設あるいは計画され、これに伴って低エミッタンス高輝度の電子ビームが要求されるようになってきている。この要求を満足させるためには電子銃の性能が本質的に重要である。マイクロ波電子銃は現在のところ最良の解だと思われる。しかしよく知られているように熱陰極 RF-gun では back-bombarding による熱暴走が、光陰極 RF-gun では陰極の寿命の短さが最大の問題点として存在する。我々は、熱陰極電子銃について、熱暴走を緩和するための方法を検討した。

2. Back-bombarding の回避

Back-bombarding によるカソードへの熱的影響としては次の課程が考えられる。まず衝突する電子によって局所的に格子振動が励起され、このエネルギーによってその近傍の電子が加熱され放出電流が増加する。この現象は nsec 以下の時定数を持つと考えられ、マクロパルス内で発現し、正帰還がかかるため、電流値は指数関数的に増大する。局所的な格子振動はやがて拡散し、ヒータから供

給される熱エネルギーとともに、カソードから逃げる熱エネルギーとの間に熱平行が実現する。この現象によりカソードからの放出電流は熱平行に至るまでの間ゆっくり増加する。熱暴走として問題になるのは前半のマクロパルス内で起こる現象である。

熱陰極 RF-gun の back-bombarding を減少させる試みとしては Stanford で行われた方法が知られている。これはビームの進行方向に対して垂直に弱い磁場 (50 ~ 75 G) をかけることにより逆走してカソードに衝突する電子の数を減らそうとするものである。報告によれば、この方法は有効であり、それまで熱暴走のために 1.4 μ sec しかとれなかったマクロパルス幅を 8 μ sec まで広げることができた。しかしこの磁場の強さではカソードに戻ってくる電子の総エネルギーはおよそ 25% しか減少しない。この程度のエネルギーの変化で上記のような際だった効果が現れるとは考えにくい。一般にエネルギーの高い電子ほど磁場によってカソードから遠くそらされるので、磁場の効果はこのエネルギーの高い成分を取り除くことにあると考えられる。従って、問題とすべきは back-bombarding の総エネルギーではなくそのスペクトルであろう。

*College of Science and Technology, Nihon University

**National Laboratory for High Energy Physics

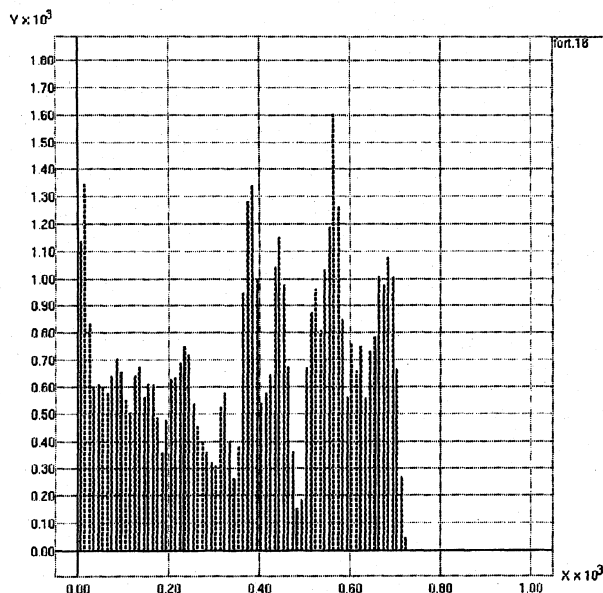


図 1 磁場をかけない場合の衝突電子スペクトル

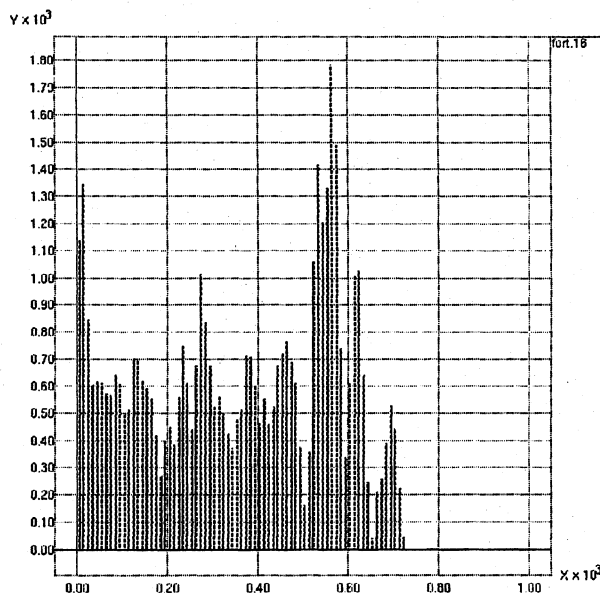


図 2 磁場をかけた場合の衝突電子スペクトル

これを確認するために標準的な半空洞タイプの RF 電子銃についてシミュレーションを行った。最大の加速エネルギーが 1 MeV になるような電場の強さを与え平均で 1 A の電流がカソード面から放出される場合の back-bombarding のスペクトルを図 1,2 に示す。図 1 は磁場のない場合、図 2 は 70 G の磁場をかけた場合を示す。これらの図を比べてわかるように低エネルギー部では両者にあまり変化はみられないが、600 keV 以上の所は磁場をかけた方が十分の程度まで小さくなっている。

このように電子の進行方向に垂直に磁場をかける方法は back-bombarding を回避する方法として有効ではあるが、軌道が曲線状になるために、例えば収束用にソレノイド磁場が使いにくくなる等不都合な面も持っている。そこで我々は、他の方法を検討した。

表 1 加速空洞の概略パラメータ。

カソード半径	1 mm
加速ギャップ	
第 1 空洞	5 mm
第 2 空洞	25 mm
ドリフトスペース	5 mm
加速勾配	
第 1 空洞	10 MV/m
第 2 空洞	40 MV/m

2.1.2 空洞マイクロ波電子銃

電子を放出する部分と加速する部分を別の空洞で行おうとする考えである。電子を放出する部分は DC 電子銃における Cathode grid assembly と同じような役割をさせ、空洞のギャップはなるべく短くし、かつ必要ならば逆バイアスをかけて電子の放出する位相を制限する。加速する部分と独立に位相を制御できるようにすれば最適な加速条件が実現できる。しかし比較的低いエネルギー（数 10 keV）で長い距離（10 mm 程度）飛ばなくてはならないので、この間にどの程度エミッタンスが悪化するかが問題である。

2 空洞電子銃についてシミュレーションを行った例を図 2 に示す。ここで第 1 空洞はピルボックス型空洞の電磁場分布を用い第 2 空洞は半セルのノーズコーン付き空洞を SUPERFISH で計算して求めたものを使用した。空洞の加速ギャップ、加速勾配などは表 1 の条件で計算を行った。結果を図 2 に示す。電流値および最大エネルギーは図 1 の場合と同じにした。図からわかるように 50 keV 以下の部分では単空洞型に比べて 2 倍程度大きくなっているがそれよりエネルギーの高い部分は 1/4 以下になっている。さらに、600 keV 以上の所には全く存在しない。また、全エネルギーも 1/10 程度になっている。

このように空洞を二連構造にすると同じ加速エ

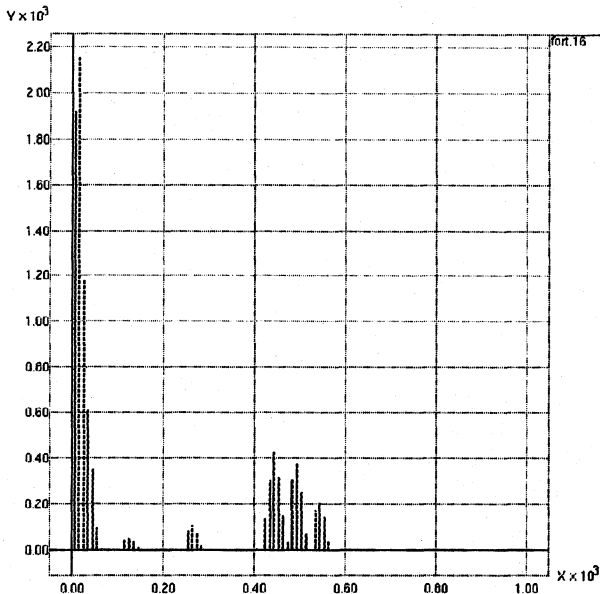


図 3 2 空洞電子銃の衝突電子スペクトル

エネルギーであっても back-bombarding のスペクトルを大きく変化させることができ、高エネルギー部分を取り除くことができる。前に述べたように、熱暴走の原因が 600 keV 以上の高エネルギー電子であるとすれば、このタイプの電子銃を採用することにより、問題を解決することができる。

2.2 エミッタンス

熱暴走の問題が解決できても、エミッタンスが悪化したのではなにもならない。最大エネルギーを持つ電子の半分の運動量を持つ電子まで含むようなエミッタンスを計算すると、単空洞の場合 $10.5 \pi \text{mm} \cdot \text{mrad}$ 、2 空洞の場合 $10.7 \pi \text{mm} \cdot \text{mrad}$ となり、両者の間にはほとんど差はみられなかった。

3. サブハーモニック RF 電子銃

第 1 空洞の周波数を第 2 空洞のサブハーモニックになるようにしておけばバンチを間引いてピーク電流を大きくすることができる。まだ解析中であるが次のような結果が得られている。

第 1 空洞の周波数を基本周波数の 1/3 とし、縦方向の位相空間の形が最適になるように両空洞の位相を調整すると、図 3

のような結果が得られる。主となるバンチからほぼ 1 周期遅れてサテライトが生じている。この部分の電荷量は主バンチの約 60% 程度となり、後

段の加速部において無視できない影響を与えるものと考えられる。この問題は適当な逆バイアスをつけることによって、軽減あるいは解消することができる。

サブハーモニック電子銃の場合問題となるのは電場の立ち上がりが基本波に比べてゆっくりしているために生ずるエミッタンスの増加である。サブハーモニックの振幅を大きくすれば解決できそうではあるが、その場合再び back-bombarding が問題となる可能性がある。

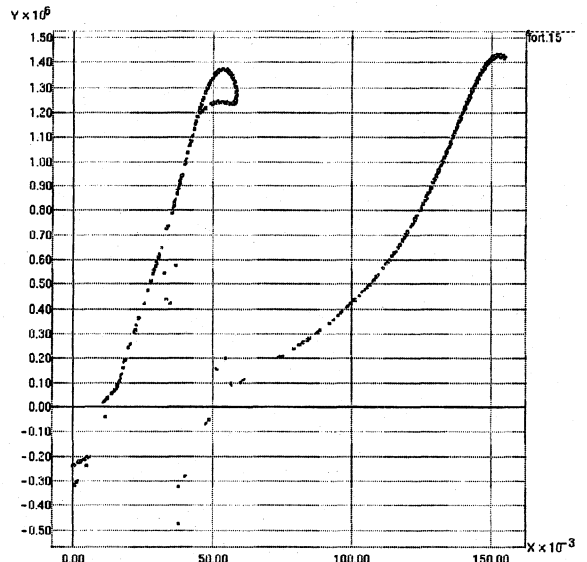


図 4 サブハーモニック電子銃の縦方向の位相空間

4. まとめ

熱陰極電子銃における熱暴走の原因は、カソードに戻る電子の総エネルギーそのものではなく、高エネルギー電子の割合が大きいことであると考えられる。マイクロ波電子銃の空洞を 2 連にすることによって、この高エネルギー電子を除去することができ、熱暴走を回避することができると考えられる。またこの構造を利用して、第 1 空洞の周波数をサブハーモニックとすれば、バンチを間引くことも可能になると考えられる。

ここで述べた方法の有効性は実験による検証が必要であり、現在その準備を進めている。

参考文献

1) C.B.MaKee, J.M.J.Madey, NIM A296(1990)716