

DEVELOPMENT OF RF ELECTRON GUN

Susumu NISHIHARA and Masakazu KIMURA

Mitsubishi Electric Corporation

ABSTRACT

RF electron gun has been developed in Mitsubishi Electric Corporation. The gun will accelerate and pre-bunch electrons emitted from a LaB_6 cathode using high electric field in a resonant microwave cavity. A thermionic RF electron gun was fabricated and tested. Beam characteristic of the RF electron gun has been investigated. Electrons accelerated in the RF electron gun have low emittance characteristics because of high electric field. The results of beam dynamics calculation and experiments are discussed.

RF電子銃の開発

1. はじめに

最近自由電子レーザー等の実験には高品質のビームが要求され、エミッタンスが小さく、ブライトネスの大きい電子銃の開発が急がれている。ライナックの電子ビームのエミッタンスは基本的に入射系の電子が受ける空間電荷と位相に依存する集束力により決定される。これらの効果は、低エネルギーにおいて最も支配的であるので、電子銃の加速電圧をできる限り高くするのが一般的である。良く知られている通り、従来電子銃の電界に比べて高い電界がRF空胴内で得ることができる。このように、RF空胴内で発生した高電界を使って加速された電子は実質上、空間電荷力が減り、マイクロ波の時間変化が、位相に依存した集束力を除いて、プリバンチしたビームを出力する。このように最初からバンチしたビームを出力するRF電子銃やホットカソードと短パルスレーザーを組み合わせる方法が今後の低エミッタンス・高ブライトネス電子銃として有力である。RF電子銃の基本的なアイデアは、美濃和ら¹⁾により提案されている。また、G.A.WESTENSKOWら²⁾は、スタンフォード大学において自由電子レーザーの実験用の電子線入射器として採用した。最近では、レーザー制御のRF電子銃により、数ピコ秒の極短パルス電子線を発生させる方法が提案されている。³⁾また、RF源としてのレーザーロンも開発されている。⁴⁾

今回、自由電子レーザーなどの入射系としてRF電子銃を用いる為の手がかりとして、熱陰極カソード (LaB_6) を用いたRF電子銃の開発を行った。このRF電子銃は4空胴からなる加速管の第1空胴に配置されていて、第2空胴はバンチャー、第3、4空胴はレギュラー空胴である。SUPERFISHコードとビームダイナミックスの計算により空胴構造を最適化してRF電子銃空胴を設計した。これにより試作したRF電子銃でビーム加速に成功した。本報告においては、このRF電子銃の計算結果と実験結果について述べる。

2. 計算

RF電子銃を設計するために、空洞内の電界強度分布計算とビームダイナミックスの計算を行った。RF空洞内の電界強度分布はSUPERFISHコードにより計算された。この電界強度分布を用いて、運動方程式を解きビームダイナミックスの計算をおこなった。尚、この計算には、空間電荷の効果が含まれている。第1図はSUPERFISHによる計算とビームダイナミックスの計算により最適化された空洞構造を示す。第1空洞がRF電子銃空洞で第2空洞以下がパンチャー（カップラー）、レギュラー空洞である。第2図はそれぞれの入射位相に対する軌道計算結果を示す。RF電子銃空洞は、空間電荷力によるビームの発散を防ぐために、集束力が働くように設計されている。

3. 実験装置

加速管の断面は第1図に示した通り、第1空洞がRF電子銃空洞で第2空洞がパンチャー空洞、第3、4空洞がレギュラー空洞である。カソードは $\phi 4$ のLaB₆を使った直熱形である。RF電子銃空洞中のカソードの位置は直線導入端子により連続的に変えられる。また、RF電子銃空洞からカソード支持電極側へのマイクロ波の漏れはチョークフランジを設けることで防いでいる。RF源はマグネトロン（EEV 5125形、2998MHz、2MW）を使用した。

ビーム電流はビームキャッチャーとカレントモニターで測定された。エミッタンスはスリットとプロフィールモニターを組み合わせて測定された。ビームエネルギーはスリットと分析電磁石による方法とアルミ飛程による方法で測定された。その他、ビーム取り出し窓を通過したビームのプロフィールを感光紙に焼いて測定した。

4. 結果および考察

第3図はカソード位置を変化させた時のビーム電流値とエミッション電流値を示す。ビーム電流値は特定の位置で最大となり、前後で減少している。エミッション電流値はRF電子銃空洞内に入り込むほど大きくなる。また、第4図はカソード位置を変化させた時のビームエネルギーとエミッタンスを表している。この時のヒータ電流は10A、入力電力は1.6MWで測定した。ビーム電流と同様にビームエネルギー、エミッタンスは特定の位置で最適となっている。図中にカソード位置の設計値（CAL.）を示してあるが、設計値は最適値に良く一致している。この位置での空洞の共振周波数は約2998MHzであり、RF電子銃空洞中におけるカソード位置は、空洞の共振周波数と加速周波数が同調する時に、ビーム電流、ビームエネルギー、エミッタンス、ビームスポットなどのビーム特性が最適であることが分った。

第5図は入力電力に対するビーム電流値を示す。それぞれ、カソード・ヒータ電流値をかえて測定した。図において、8、9、10Aの時、ビーム電流が飽和しているが、11、12Aの時は、まだ飽和領域にはなっていない。飽和電流領域においては、入力電力を上げて、ビーム電流は増加しない。

第6図はヒータ電流に対するビーム電流を示す。図から明らかのように、ヒータ電流を大きくしてもビーム電流が飽和する領域がある。RF電子銃においても、一般の電子銃と同様に空

間電荷領域が存在している。

第7図はビームローディング特性を示す。図において、破線 (CAL.) はビームダイナミックスの計算値である。

第8図は分析電磁石で測定したビームのエネルギースペクトルを表している。この時の半値幅は±8%である。

5. まとめ

RF電子銃を設計、試作して、ビーム特性を測定した。本実験で次のことが明らかになった。

1) RF電子銃空洞中におけるカソード位置は、空洞周波数と加速周波数が同調する時に、ビーム電流、ビームエネルギー、エミッタンス、ビームスポットなどのビーム特性が最適であることがわかった。

2) 入力電力に対するビーム電流の測定により、飽和電流特性があることがわかった。

3) ヒータ電流に対するビーム電流の測定により、一般の電子銃と同様に空間電荷領域があることがわかった。

4) RF電子銃空洞の後に3個の加速空洞を直接つないだ加速管においても空洞構成を最適化することにより性質の良いビームを得ることが出来た。

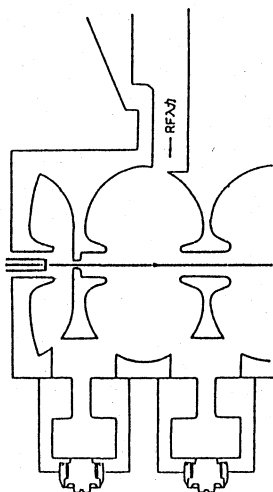
6. 参考文献

1)美濃和、沢田、特許公報 昭58-20120.

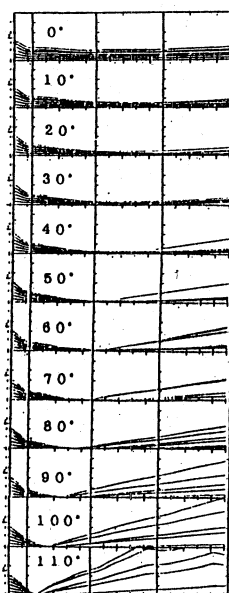
2)G.A.WESTENSKOW and J.M.J.MADEY. Laser and Particle Beam(1984), vol.2, parts 2, p223-225.

3)KIRK T. McDONALD, IEEE Transaction and Electron Devices vol.35, No.11, Nov. 1988.

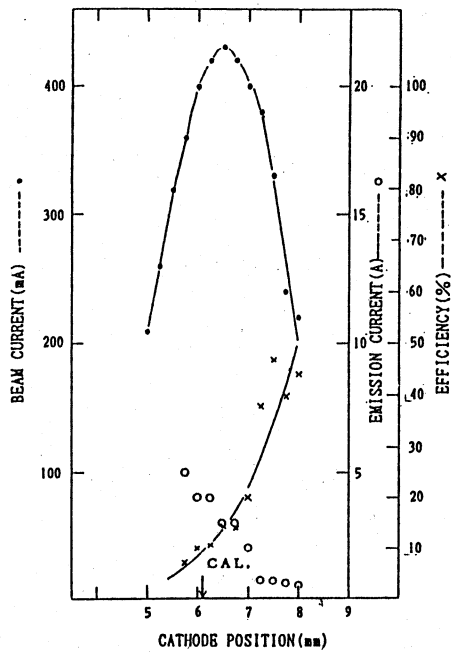
4)Masakazu YOSHIOKA, J. J. Appl. Phys. 28(1989)1079.



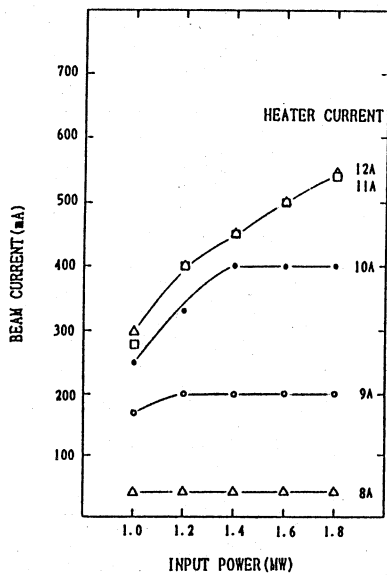
第1図 空洞構造



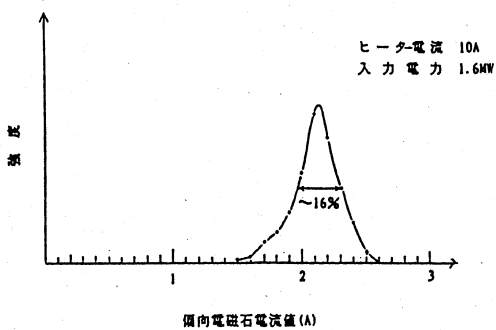
第2図
ビーム軌道計算結果



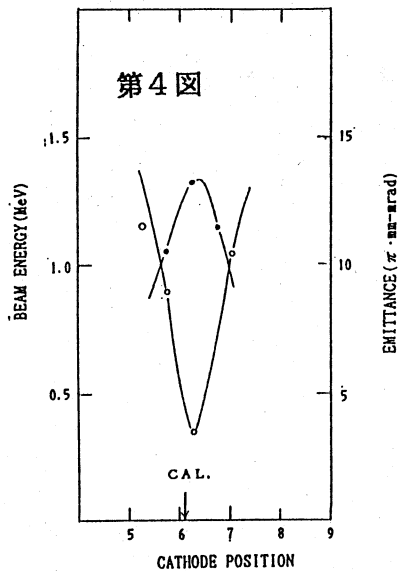
第3図



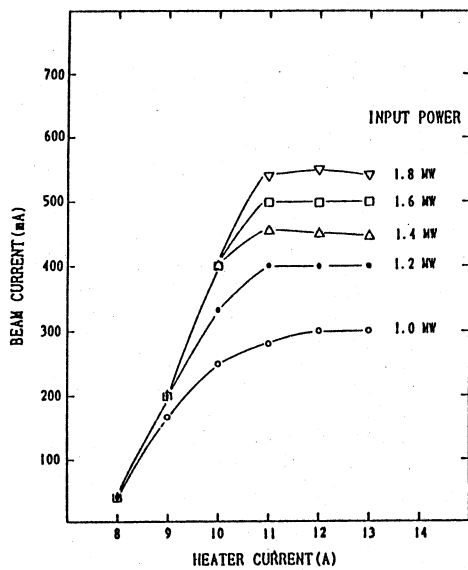
第5図 入力電力とビーム電流の関係



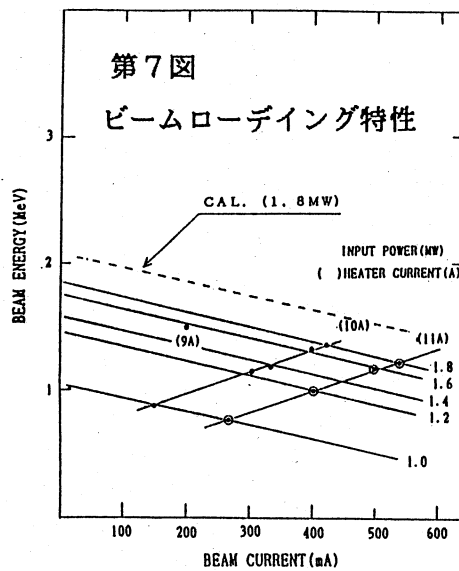
第8図 エネルギースペクトル



第4図



第6図 ヒータ電流とビーム電流の関係



第7図

ビームローディング特性