

DEVELOPMENT OF MICROWAVE ELECTRON GUN

Hisaharu SAKAE, Yasuyuki MIYAUCHI and Katsuo MASHIKO*

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

*Japan Atomic Energy Research Institute

ABSTRACT

An S-band thermionic microwave electron gun is being developed. It has the $1/2+1$ cell disk-loaded cavity structure and a LaB_6 cathode is mounted in the first $1/2$ cell. The design and result of beam simulation and low power test of the model cavity are presented.

高周波電子銃の開発

1. はじめに

高周波電子銃は従来の静電型電子銃に較べ加速電場が高く設定できるため、低エミッタンスでかつ高輝度ビームの入射装置として注目されている⁽¹⁾。原研ではリニアックの高輝度入射系の実現を目標として、石川島播磨重工と共同で熱陰極型高周波電子銃の開発を行っている。開発にあたっては、まず空洞共鳴解析及びビーム軌道解析を基に空洞形状を決定し、次にモデル空洞を用いて低電力試験を行って空洞の性能確認及び空洞の細部の形状の決定を行い、その後実機を製作した。本報告ではこの高周波電子銃の設計およびモデル空洞を用いた低電力試験について述べる。

2. 空洞

図1に高周波電子銃の概略図を示す。加速空洞は $1/2$ セル+ 1 セルの2空洞からなり、第一空洞の側面には熱陰極型カソードを設置し、高周波は第二空洞のアイリスより入力する。空洞の共振周波数は 2856MHz で、 π モードで運転を行う。また空洞の底板部は取り外しできるようにフランジ構造とし、空洞組立後も空洞の内径を変えることにより共振周波数の調整ができるようにした。

カソードには直径 5mm の LaB_6 を用いる。カソードのビーム軸方向の位置は直線導入機構により移動が可能である。第二空洞にはプランジャーを設置しプランジャーおよびカソードの移動により周波数の微調整を行う。

3. 計算

空洞はビーム軸に垂直な方向の電場および磁場の非線形成分を小さくし、ビームのエミッタンスの増加を抑えるような形状を採用した⁽²⁾。また空洞内部の電界分布はプランジャー及びカソードの移動により調整でき、この特徴を積極的に用いることにより出力ビームの特性の選択を行うことができる。図2に第一空洞と第二空洞のピーク電場の比を $1:0.7$ 、 $0.7:1$ 、 $0.5:1$ にとった時の中心軸上電場分布を示し、その時の入射位相に対する電子銃出口部でのビームエネルギー分布を図3に示す。これを基にビームのエネルギーが位相に対してほぼリニアに変化し、下流のエネルギーセレクターでバンチの選択が可能になるように、第一空洞と第二空洞のピーク電場の比を $0.5:1$ に設定した。図4にこの時のビーム軌道を示す。第一空洞、第二空洞の間のディスク部および第二空洞の出口でビームの収束、発散効果が見られる。また第一空洞の電場を第二空洞より小さく設定することによりビームのバックボンバードメントによるカソードのダメージを少なくすることができる⁽³⁾。

ビームローディング (P_{beam}) は下式で、高周波入力電力 (P_{gen})、結合率 (β) およびビームエネルギー (E_{beam}) をパラメータとして求めることができる。

$$\beta_{\text{opt}} = 1 + \frac{P_{\text{beam}}}{P_{\text{cav}}}$$

$$P_{\text{ref}} = P_{\text{gen}} \times \left| \frac{\beta - \beta_{\text{opt}}}{\beta + \beta_{\text{opt}}} \right|$$

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{beam}} + P_{\text{ref}} + P_{\text{cav}}$$

ここで P_{cav} は空洞での消費電力、 β_{opt} は理想結合率、 P_{ref} は反射電力である。結合率はこの関係式を用いて、高周波入力電力が6MWの時ビーム電流 ($I_{\text{beam}} = P_{\text{beam}} / E_{\text{beam}}$) が1A以上でかつビームエネルギーが2MeV以上となる様に3.5に設定した。この時、ビームエネルギー2MeVでビーム電流は2.1A、空洞の消費電力は1.8MWとなる。

4. 低電力試験

低電力試験ではモデル空洞を用いて、空洞の共振周波数、Q値、電界分布および結合率等の高周波特性を調べ空洞性能の確認及び実機空洞の細部の形状を決定した。

共振周波数は空洞の機械加工によりほぼ目標周波数に合わせた後、プランジャーによって微調整を行った。図5にアイリス幅19mmの時の共鳴曲線を示す。0モードと π モードの周波数差は2.5MHzである。 π モードの負荷Q値 (Q_L) が1800と小さくなっているのは、アイリス部での結合率を3.6とオーバーカップルにしているためであり、空洞の特性Q値 ($Q_0 = (1 + \beta) \times Q_L$) は8200となる。

結合率の試験はアイリスのビーム軸方向の幅を30mmとし円周方向の幅を広げることにより測定を行った。図6にアイリス幅に対する結合率の変化を示す。結合率はlogでプロットするとほぼアイリス幅に対してリニアに変化し、設計結合率(3.5)に達するアイリス幅は約19mmとなる。図7にこの時の負荷Q値、空洞の特性Q値、外部Q値の値 (Q_{ex}) の値を示す。 Q_0 の値は7000~10000と大きな変化はなく、アイリス幅が大きくなるに従って Q_{ex} が下がり、これにより Q_L も小さくなっている。

5. 結論

熱陰極型高周波電子銃の設計、モデル試験および実機の製作を行った。設計計算では高周波電子銃の性能予想を行い、高周波電子銃固有の高輝度ビームが得られることを確認した。またプランジャーおよびカソードの移動により空洞内部の電場分布を調整することによってビーム特性を選択できることが明らかになった。モデル試験では空洞の高周波特性の確認および空洞内径、アイリス寸法等の細部形状を決定し実機の製作に反映した。実機は製作が終了し、今後原研のリニアックにおいて高周波電子銃の高電力入力試験およびビーム試験を行う予定である。

6. 参考文献

- (1) J. S. Fraser, R. L. Sheffield and E. R. Gray, "A New High-Brightness Electron Injector for Free Electron Lasers Driven by RF Linacs", NIM A250(1986), 71-76
- (2) K. T. McDonald, "Beam Dynamics of the RF Electron Gun of the BNL Accelerator Test Facility", AIP No. 177(1988), 204-219
- (3) E. Tanabe et al., "A 2-Mev Microwave Thermionic Gun", Proc. of the 14th Linear Accelerator meeting in Japan, Nara, Japan(Sep. 1989), 106-109

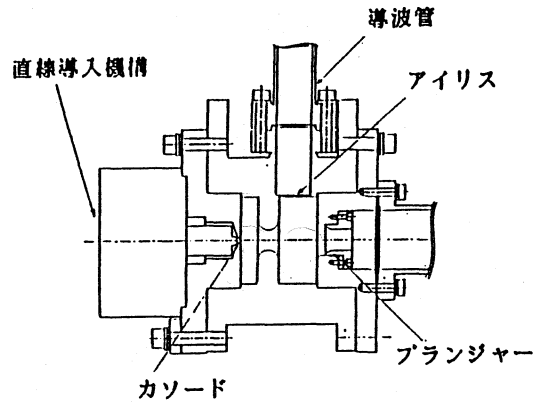


図1: 高周波電子銃概略図

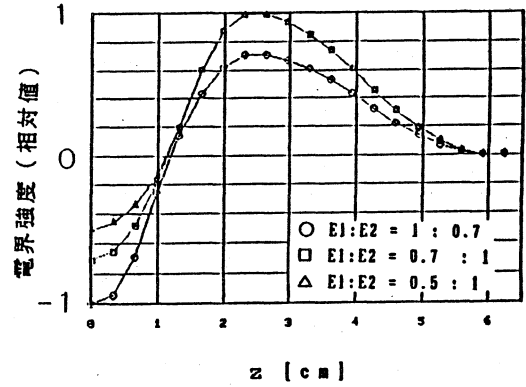


図2: 中心軸上電界分布

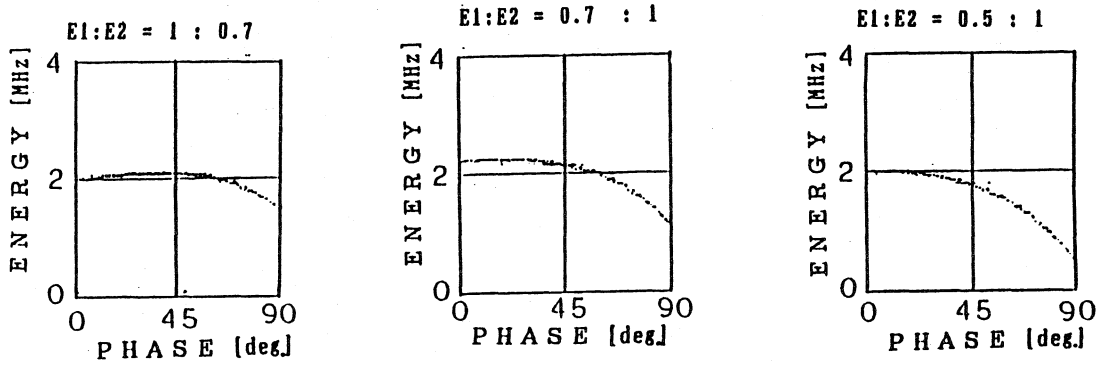


図3: 入射位相に対するビームエネルギーの関係

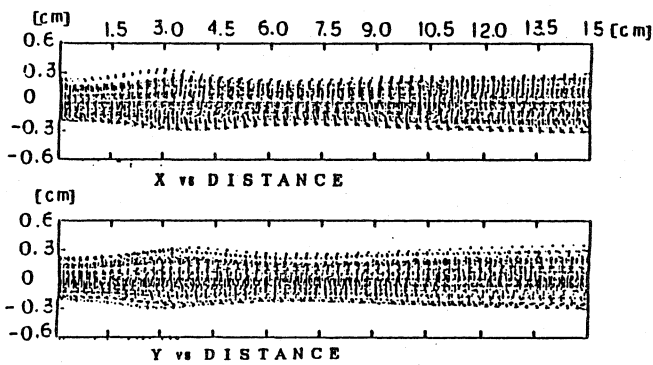


図4: ビーム軌道 (E1:E2 = 0.5 : 1)

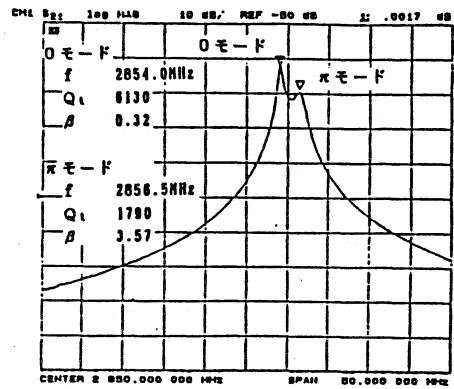


図5: 共鳴曲線

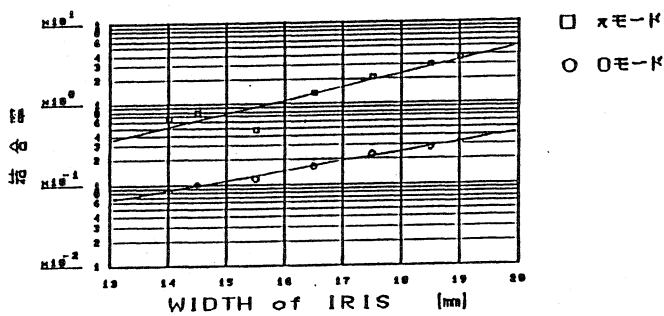


図6: アイリス幅に対する結合率の関係

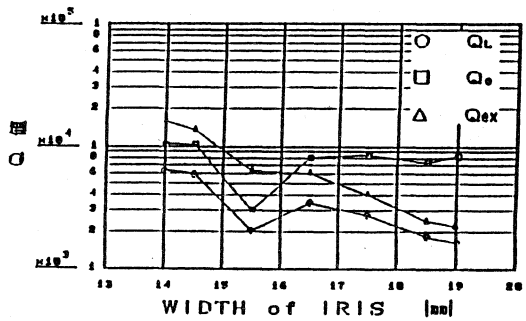


図7: アイリス幅に対するQ値の関係