

Xバンド高周波電子銃の開発

松尾 健一^{A)}、山本 顕義^{A)}、栄 久晴^{A)}、山本 昌志^{B)}、今井 貴志^{C)}
深澤 篤^{C)}、上坂 充^{C)}、土橋 克広^{D)}、山田 聡^{D)}、肥後 寿泰^{E)}、浦川 順治^{E)}

^{A)} 石川島播磨重工業株式会社

〒235-0022 神奈川県横浜市磯子区新中原町1

^{B)} 国立秋田工業高等専門学校

〒011-8511 秋田県秋田市飯島文京町1番1号

^{C)} 東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設

〒319-1188 茨城県那珂郡東海村白方白根2-22

^{D)} 放射線医学総合研究所

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1

^{E)} 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

概要

小型硬X線源の電子線源として、Xバンド高周波電子銃の開発を行っている。この電子銃は、同軸モードコンバータにて高周波を加速空洞に導入するカップラー構造となっている。高周波設計と加工を終了し、現在、低電力の高周波試験を行っている。本書では、カップラーの設計および低電力試験の結果について述べる。

1. はじめに

小型硬X線源の実現には高エネルギー・高品質の電子ビームの生成が不可欠であり、電子を初期加速する高周波電子銃の設計は重要となる。このXバンド高周波電子銃は、熱カソード型で入力RFパワー5.4MWに対し、加速電流20pC/bunch以上のマルチバンチ加速を目標としている^[1]。主なビーム仕様を表1に示す。

図1に電子銃の構造図を示す。同軸モードコンバータ採用の利点は、電磁場の対称性が良く、空洞外周部に集束磁石の設置が容易になることである。

熱カソードの入力フランジと空洞の取り合いは、取外し可能なフランジ接続となっている。そのため、熱カソード先端周囲のメンテナンスが容易であり、フォトカソードへの交換も可能な設計となっている。熱カソードと本体とのRFコンタクトにはバネ構造を採用している。図2に製作したXバンド高周波電子銃の外観図を示す。

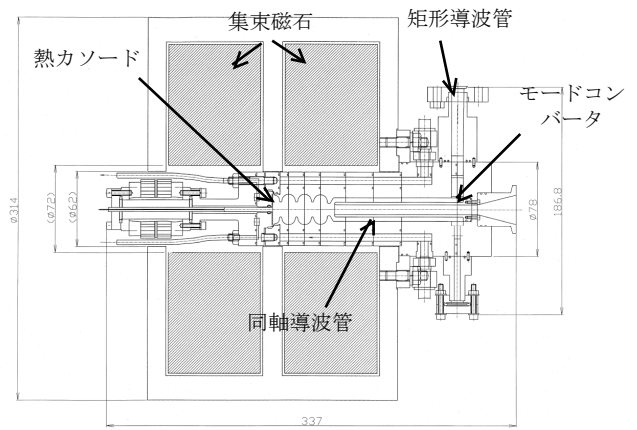


図1. Xバンド高周波電子銃の構造

表1：Xバンド高周波電子銃の目標ビーム仕様

エネルギー	MeV	> 3
規格化エミッタンス(rms)	mm mrad	< 10 \square
電荷量	pC/bunch	> 20
バンチ長 FWHM	psec	1
パルス長	\square sec	1

2. 高周波電子銃の構造

加速空洞は、3.5空洞で構成され、最終セルに同軸導波管が接続されている。空洞は超精密旋盤加工にて製作を行い、拡散接合にて接合を行った。

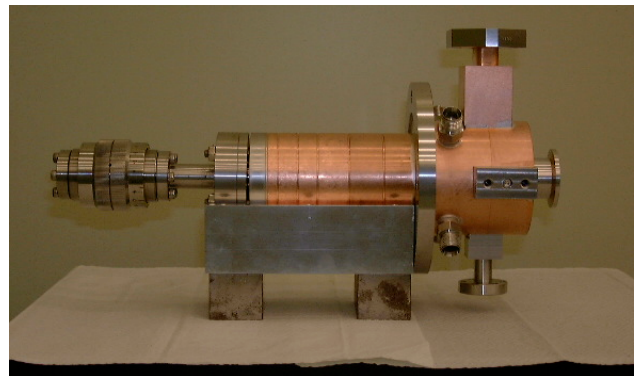


図2. Xバンド高周波電子銃

¹ E-mail: kenichi_matsuo@ihi.co.jp

3. カップラーの設計

3.1 同軸導波管のカップリング

この電子銃の同軸カップラー部は、SUPERFISHのCFISH機能を用いて空洞と同軸導波管のカップリングを計算した。同軸部のカップリングは入力するRFに対する反射損 P_{in} および空洞壁損 P_{dis} から計算できる^[2]。図3に示すように、反射損は同軸部に挿入した誘電体による損失に相当することとした。接続部のカップリング β は、CFISHの結果を用いて(1)式より算出できる。

$$\beta = \frac{P_{in}}{P_{dis}} = \frac{Q_0}{Q_{ext}} \quad (1)$$

3.5セルの空洞の Q_0 値は、解析値の95%の8740程度を目標値とした。ビームローディング(最大電流0.685A)を考慮すると、無負荷のときの最適なカップリング β は1.5~1.6程度である。従って Q_{ext} は5826程度となるため、エンドセル部の目標 Q_{ext} は、蓄積エネルギーが全体の1/3.5であることから、1576となるように空洞の寸法を調整した。

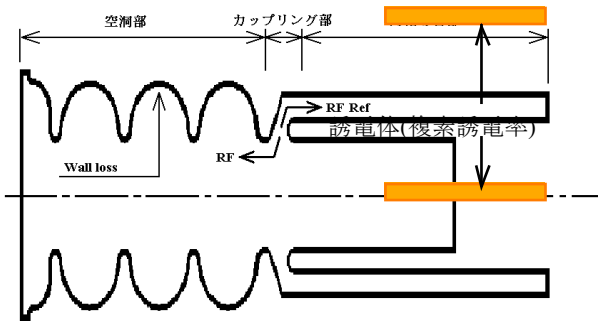


図3. 加速空洞と同軸導波管接続部

3.2 モードコンバータ

WR90の矩形導波管を同軸導波管に変換するモードコンバータの設計は、3次元電磁場解析コード(MW-Studio)を用いて行った。図4にモードコンバータの概形図を示す。同軸部とモードコンバータの接続部を左右対称にすることで、高次のTEモードの透過を-15dB以下に抑制することができた。図5にSパラメータによる各モードの透過および反射特性を示す。

4. 高周波測定

製作した高周波電子銃に対し低電力高周波試験を実施した。カソードを挿入しない状態での空洞の共振周波数と軸上電界分布を測定した結果を、表2および図6に示す。周波数は、真空30°Cに補正した値

である。 Q_0 値は解析値の95%を目標としているが、今

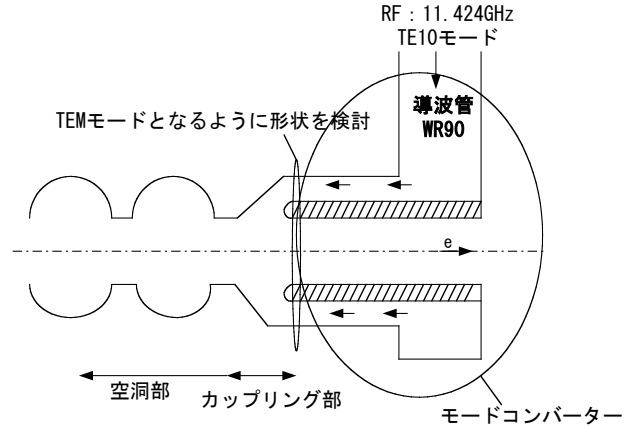


図4. モードコンバータの模式図

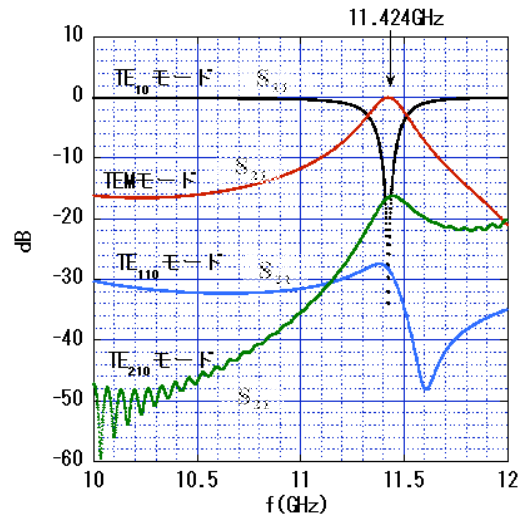


図5. モードコンバータの透過及び反射特性

回の測定結果は89%であった。Q値およびカップリングは、測定ケーブルなどの校正条件による誤差があると考えられる。

軸上電界分布は、ビーズパーティションにより測定した。カソードを取り付けていない状態ではあるが、周波数同様に解析値とほぼ一致した。

今後は、カソードおよびRFコンタクト用のパネを挿入した状態で低電力試験を実施し、最終確認を行う予定である。

表2 高周波電子銃の低電力試験結果 (カソードが無い時)

項目	単位	解析値	測定値
共振周波数 (π モード)	MHz	11430.15	11429.37
Q_0 (95%)	—	8740	8162
Q_{ext}	—	5830	6905
β (VSWR)	—	1.50	1.18

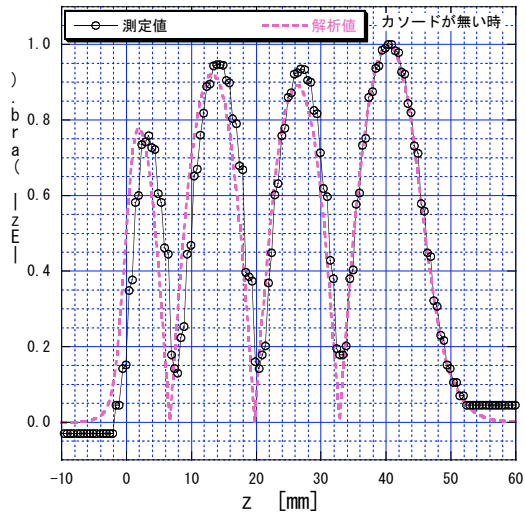


図6 高周波電子銃の軸上電界分布測定結果
(カソードが無い時)

5. まとめ

Xバンド高周波電子銃の加速空洞、同軸導波管および矩形-同軸モードコンバータの設計、製作、低電力高周波試験を行った。周波数および電界分布は解析値とほぼ一致する結果が得られた。

今後は、熱カソードを取り付け最終的な調整を行った後に、高電力高周波によるビーム試験を実施する予定である。

参考文献

- [1] M. Yamamoto et al., “Xバンド熱カソード型RF電子銃の設計検討”, Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 7-9, 2002
- [2] S.B. van der Geer, et al., “The General Particle Tracer Code: Design, implementation and application”, URL: <http://alexandria.tue.nl/extra2/200111445.pdf>

