

[P7-13]

## The properties of the on-axis coupled structure type RF gun

Fumihiko Oda<sup>a</sup>, Minoru Yokoyama<sup>a</sup>, Akihiro Nakayama<sup>a</sup>, Hidehito Koike<sup>a</sup> and Eiji Tanabe<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Kawasaki Heavy Industries Ltd.

118 Futatsuzuka, Noda, Chiba, 278 Japan

<sup>b</sup>AET Associates, Inc.

1-3-4 Kamiasao, Asaoku, Kawasaki, Kanagawa, 215 Japan

Kawasaki Heavy Industries Ltd. (KHI) has developed a compact IR FEL apparatus, which employs a combination of a newly designed RF gun with a thermionic cathode and an  $\alpha$ -magnet as an injector. The fundamental design of this S-band RF gun is the  $\pi/2$  mode standing wave structure. It has two accelerating cells and a coupling cell located on the beam axis, so called on axis coupled structure (OCS). This structure offers broad tuning tolerance and a stable operation for high beam current, owing to high group velocity and wide bandwidth. For the long macropulse operation, the cavity was designed so as to minimize the back bombarding power without sacrificing the beam emittance of the output beam by using electromagnetic field analytical codes. The RF gun was manufactured and the electromagnetic properties were measured. The results have a good agreement with the simulations. The RF gun has been installed to the FEL apparatus.

### On-axis Coupled Structure タイプ RFGUN の特性

#### 1. はじめに

川崎重工業(株)は熱電子型高周波電子銃(RFGUN)を電子源とするコンパクトな中赤外FEL装置を開発し、東京理科大学(野田キャンパス)内の赤外自由電子レーザー研究センターに設置を完了した[1]。

熱電子型 RFGUN は、カソードからの放出電子を静電型電子銃に比べはるかに大きな電界により加速するため、エミッタンスの増加を最小限に抑えることができ、良質なビームを得ることができる。また静電型電子銃+バンチャーのシステム、あるいはドライブレザーが必要な光陰極型 RFGUN と比較して小型・安価であるという特徴を持つ。一方でRFの逆位相によりカソード方向に逆加速された電子(バックボンバードメント)により、放出電流が異常に増加するためマクロパルス幅が制限されることが最大の欠点である。従ってFELの入射部として用いるためには、バックボンバードメントを低減することが最大のポイントである。

中赤外FEL装置の電子入射部として設計した熱電子型RFGUNについて、製作・RFコールド試験及びFEL装置への設置を行った。

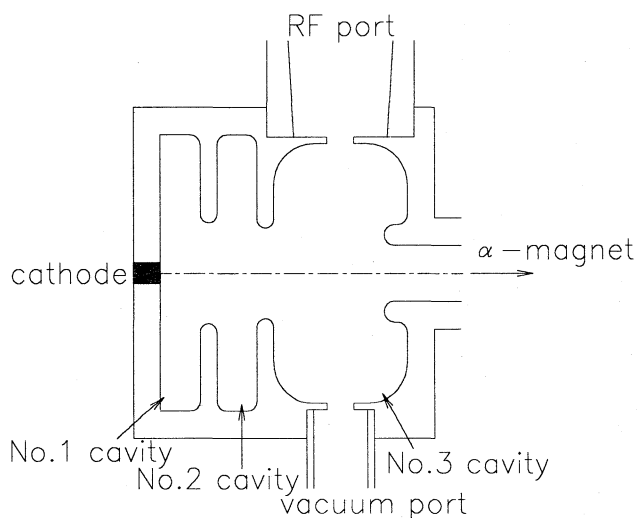


図1 On-axis coupled structure タイプ RFGUN の空洞形状の概略図

## 2. 設計

本 RFGUN は中赤外 FEL 装置への適用を目的として、必要な電子ビームスペックを満たし、かつバックボンバードメントを低減するよう設計を行った[2,3]。設計には電磁場解析・粒子軌道計算コード EMSYS (2D)及び MAFIA (3D)を用い、入力 RF 電力、カソードのパラメータ及び空洞形状を最適化した。空洞の基本構造として、2つの加速空洞の間に結合空洞を持つ On-axis coupled structure (OCS) [4]を採用することとした。図 1 に空洞の概略図を示す。この構造は励振モードが $\pi/2$  定在波モードであるためビームローディングに対して非常に安定であり[5,6]、大電流を必要とする FEL の電子源としては最適である。また各空洞間の結合定数比を変えることで加速電界分布を変えることができる。これを利用して空洞形状は出力ビーム特性を損なうことなくバックボンバードメントが最小となるように最適化設計した。表 1 に最適化された空洞パラメータを、表 2 に出力ビームパラメータを示す。また図 2 に完成した RFGUN の写真を示す。

最大軸上電界強度	65	MV/m
カソード上電界強度	25	MV/m
最大表面電界強度	140	MV/m
RF 入力部結合定数	4	
空洞間結合定数		
(第 1 空洞 - 第 2 空洞)	3.5	%
(第 2 空洞 - 第 3 空洞)	1.4	%

表 1 RFGUN 空洞パラメータ (設計値)

ピークエネルギー	1.9	MeV
エネルギー幅 (FWHM)	0.02	MeV
バンチあたり電荷量	0.15	nC
バンチ幅	5	ps
ピーク電流値	30	A
カソード直径	6	mm
カソード電流密度	16	A/cm <sup>2</sup>
エミッタンス(規格化,RMS)	10	$\mu\text{mm}\cdot\text{mr}$
バックボンバードメントパワー	1.1	W

表 2 出力ビーム特性 (計算値)

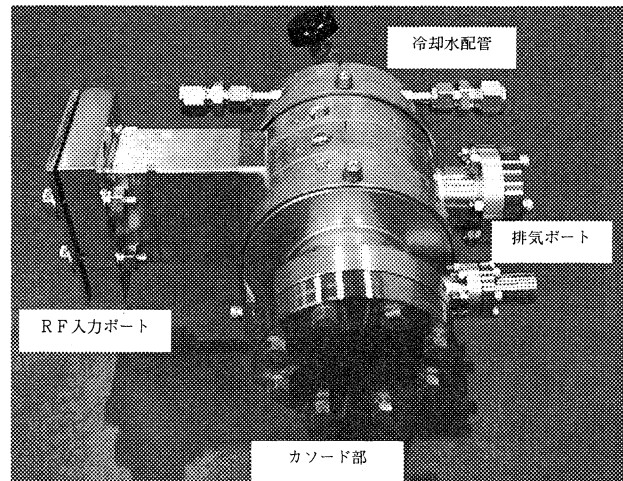


図 2 RFGUN 空洞

## 3. RF 特性試験

製作した RFGUN 空洞について、共振周波数・Q 値・結合定数の測定を行い、ほぼ設計通りの性能が得られていることを確認した。表 3 に RF 特性の測定値を、図 3 に反射法で測定したこの空洞の共振周波数特性を示す。またビーム軸上の電界強度分布を bead drop 法で測定した結果、計算通りの分布が得られた。図 4 に測定結果を示す。

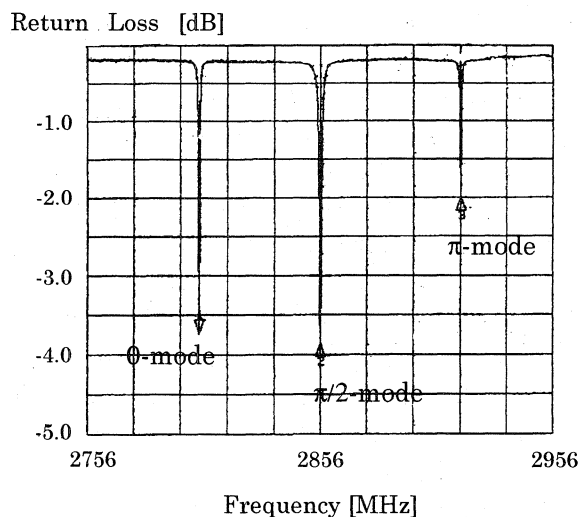


図 3 反射法で測定した共振周波数特性

共振周波数 ( $\pi/2$ mode)	2856.0	MHz
共振周波数 (0 mode)	2804.2	MHz
共振周波数 ( $\pi$ mode)	2916.2	MHz
無負荷 Q 値	11453	
RF 入力部結合定数	4.37	

表 3 RF 特性の測定結果

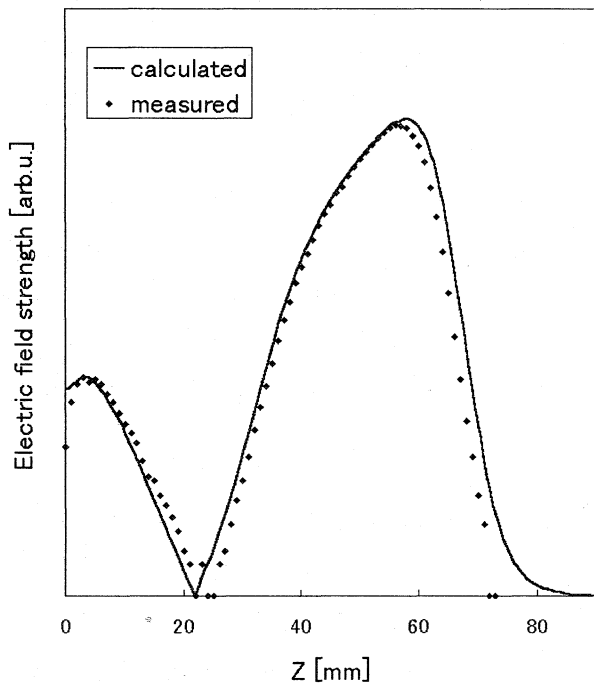


図 4 ビーズドロップ測定結果

#### 4. FEL 装置への設置

1999年3月までに RFGUN の FEL 装置への設置及び導波管・真空系・冷却水系の接続を完了した。図 5 に設置された RFGUN 及び後段の  $\alpha$ -magnet 部の写真を示す。RFGUN からの出力ビーム ( $E \sim 1.9$  [MeV]) は  $\alpha$ -magnet でさらにバンチングされ、スリットによって低エネルギーのビームはカットされ、さらに後段の加速管 (3m, CG-structure) により 33 [MeV] まで加速される [7]。

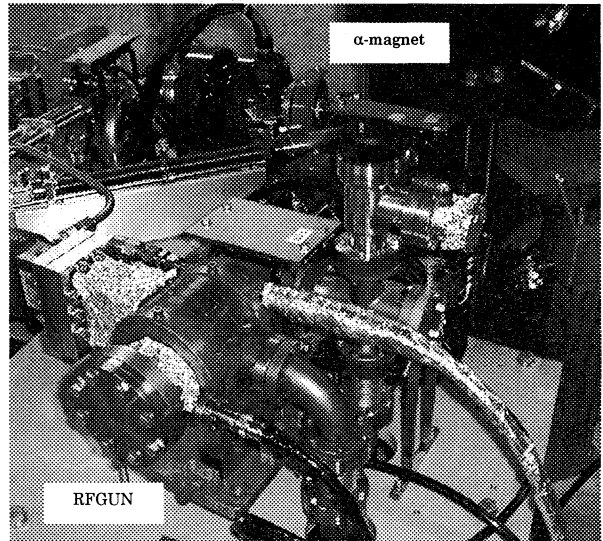


図 5 FEL 装置に設置された RFGUN

#### 5. まとめ

中赤外 FEL 装置の電子源として最適化設計した熱電子型 OCS タイプ RFGUN の製作が完了し、RF 特性の測定を行った。その結果ほぼ計算通りの性能が得られていることが確認された。また FEL 装置への設置が完了した。今後 RF による aging を経て、運転を開始する予定である。

#### 参考文献

- [1] H.Kuroda et al., Proc. of the 12th Russian Synchrotron Radiation Conference (1998)
- [2] F.Oda et al., Proc. 1998 Linear Accelerator Meeting in Japan (1998), p.136
- [3] F.Oda et al., to be published in Nucl. Inst. and Meth. A
- [4] T.Nishikawa et al., Rev. Sci. Inst. **37** (1966), p.652
- [5] Y.Yamazaki et al., Proc. 1992 Linear Accelerator Conference (1992), p.580
- [6] E.A.Knapp et al., Rev. Sci. Inst. **39** (1968), p.979
- [7] M.Yokoyama et al., to be published in Nucl. Inst. and Meth. A