

[F16p10]

## Design and performance of a laser driven photocathode RF gun

Y.Aoki, J.Yang, M.Washio\*, T.Hori and A.Endo

Sumitomo Heavy Industries, co. Ltd., Yato-cho, Tanashi, Tokyo 188-8585

A laser driven photocathode RF gun was manufactured by Sumitomo Heavy Industries, co. Ltd.(SHI) for development of high brightness and ultra-short X-ray pulse generation based on the inverse Compton scattering. The design of this gun was done under the cooperation between Brookhaven National Laboratory(NBL) and SHI. It is composed mainly of 1.5 cell-RF cavity and pure Cu photocathode, bearing 3 systems of water cooling which are proven by a computational thermal analysis to keep the whole body at adequate temperature even in the high-duty operation (50Hz). The results of the performance tests are shown here, concerning to the RF resonance property and the electric field profile of the cavity. Using a ps Nd:YAG laser system, s-band RF with peak power of 6 MW and a emittance compensation magnet, it promises to provide less than 3ps electron pulses with the energy of 3.5MeV under a very low emittance less than  $4 \pi$  mm-mrad.

### レーザー光フォトカソード RF 電子銃の製作

#### 1. はじめに<sup>1)</sup>

近年の急速な高出力レーザー開発の進歩に伴い、レーザー光と電子ビームとの間で起こる逆コンプトン散乱を利用して単色 X 線を得ることが可能になってきた<sup>1)</sup>。この事を利用して、単色性・指向性・エネルギー選択性に優れ、超短パルスといった特徴を持つ新しいタイプの X 線源の開発が始められてきている<sup>2,3)</sup>。住友重機械工業では、この機構に基づく高性能 X 線源の実現を目指して、その要素技術の 1 つであるレーザー光カソード RF 電子銃を米国 BNL との共同開発のもとに作製したので、その構造と特性試験結果について紹介する。

#### 2. 光カソード RF 電子銃の構造

図 1 に本 RF 電子銃本体の写真を示した。銃本体の主構造である s-バンド RF 空洞は、クラス

1 の無酸素銅製 1.5 セル構造となっている。このうちハーフセル (0.5 セル) 部の片側の壁は空洞と同じ高純度 Cu 材の光カソードとなっており、ハーフセルに組み付けられた石英窓からのピコ秒 Nd:YAG レーザー第 4 高調波 (266 nm) パルスの入射によって光電子を発生し、発生された電子はハーフセル内で RF 加速される。また、隣合うフルセル (1 セル) には、マイクロ波導入用の導波管、RF 共振調整用のチューナーおよび真空排気ポートが取り付けられており、ハーフセルからの電子パルスをさらに RF 加速する構造となっている。

なお、RF ガン本体には光電子発生用レーザー光パルスと同期して高いパワーのマイクロ波パルスが供給されるが、高繰返し (50Hz) 運転時に予想される、数値計算に基づいた RF 空洞の温度上昇の解析の結果から、構造体の変形・溶解を抑えるために、光カソード、ハーフセル、フルセル部にはそれぞれ水冷却機構が設備されて

\* 現 早稲田大学 理工学総合研究センター

いる。

### 3. 特性試験結果

#### 3-1 RF 共振周波数の測定

本装置では、入力した s-バンド RF と正確に共振がとれていることが重要である。また、フルセルから RF 入力するために、フルセルとハーフセルとの間に電磁気学的なマッチングがとれている必要がある。図2は、HP社製ネットワークアナライザシステム (HP8510C、HP8514B、HP83621B で構成) を用いて測定した RF 共振周波数測定の結果である。図から  $\pi$  モード及び 0 モードの共振が分離してとれることがわかる。また同時に、これら 2 つの共振モード間の周波数の差を 2.938MHz から 3.138MHz までの範囲で任意に設定して共振をとれる事も確認できた。この時、周波数の変調にはフルセルに組み付けた 2 本の RF チューナーを用いている。

#### 3-2 RF 空洞内の電界分布測定

図3に、入力 RF による空洞内の電界の、中心軸上での分布をビード法を用いて測定した結果を示した。フルセルの中央部及びハーフセルのカソード表面上で最大の電界が実測されている。この時、 $\pi$  モードと 0 モード間の共振周波数の差は 3.0975MHz であった。以上の結果から、本 RF 空洞内で理想的に電子の加速電界をかけることができることを確認した。

### 4. 電子ビーム出力

上で示した RF 銃本体の開発と平行して、本 RF 電子銃用の高輝度高安定コンパクト全固体レーザーの開発を行っている。このレーザーの特性は表-1に示すとおりである。また、高輝度高エネルギーの X 線を得るためには、本 RF 光電子銃で発生された電子線パルスの後段に置かれ RF 加速器でさらに加速する必要がある。この時、後段加速器の加速位相に高効率で電子線パルスを入射することが必要で、それは RF 電子銃に対

する低エミッタンスで安定した電子線出力の要求を意味し、このために RF 電子銃出口直後でのソレノイドコイルによるエミッタンス補正が必要となる。

以上、検討の結果、全固体レーザーの 4 倍波を用い、RF 空洞にピークパワー 6 MW の s-バンド RF を入力し、さらにソレノイドコイルのエミッタンス補正を行うことにより、表2に示すとおり電子ビーム出力が期待できる。これらの特性値は、高性能 X 線源実現のために十分な高品質電子線パルスが得られることを意味している。

### 5. 謝辞

本研究の 1 部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から研究を委託された技術研究組合・フェムト秒テクノロジー研究機構(FESTA)の研究の一環として行ったものである。

表-1 光カソード RF 電子銃用レーザーの特性

レーザー媒質	*Nd:YAG
パルス幅	*23ps@1064nm; 10ps@266nm
パルスエネルギー	*2mJ@1064nm; 0.1mJ@266nm
タイムジッター	*< 0.5ps RMS
繰返し	*100Hz
サイズ	*600 x 900 x 220 mm <sup>3</sup>

表-2 RF 電子銃から得られる電子線の特性

電荷/パルス	*500pC@0.1mJ laser pulse
パルス幅	*< 3ps@10ps laser pulse
規格化エミッタンス	*< 4 $\pi$ mm $\cdot$ mrad
エネルギー	*> 3.5 MeV

### 参考文献

- 1) K.J. Kim, S. Chattopadhyay and C.V. Shank: Nucl. Instr. Meth., A341, 351 (1994).
- 2) 鷲尾方一、楊 金峰、遠藤 彰: 表面科学、第

19 卷、第 2 号、p23 (1998).

- 3) J. Yang, M. Washio, A. Endo and T. Hori:  
Proc. of 6th European Particle Accelerator  
Conference, June 22-26, 1998, Stockholm,  
Sweden.

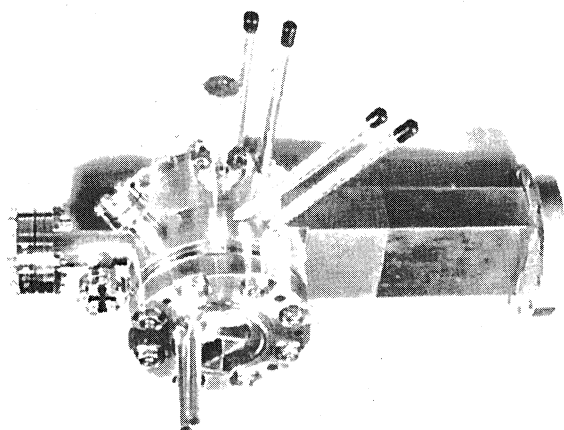


図 1 RF 電子銃本体の写真

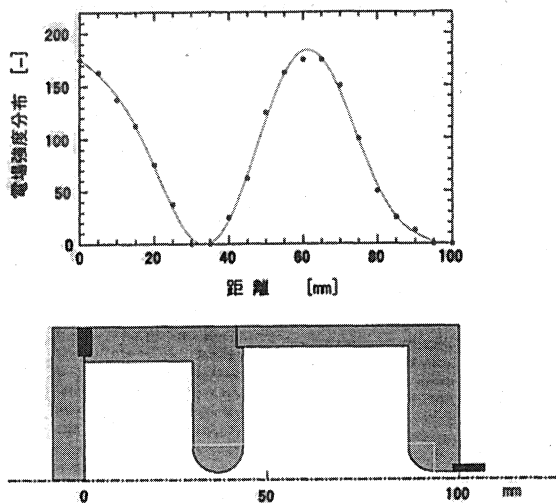


図 3 RF 空洞内の電界分布

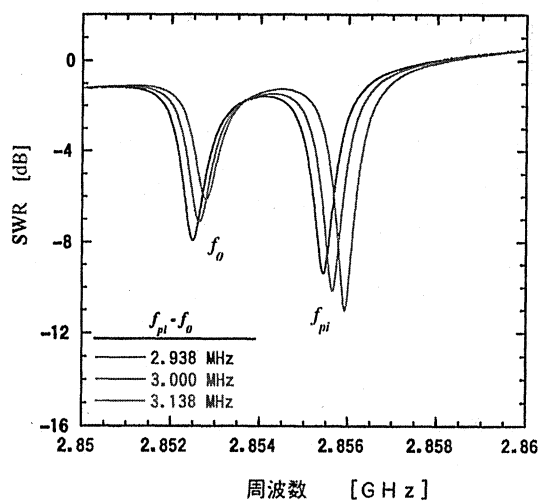


図 2  $\pi$  モード及び 0 モードの共振周波数