

Development of a Cs₂Te Cathode RF Gun at Waseda University

Yoshio Kamiya^{1,A)}, Masakazu Washio^{A)}, Yoshimasa Hama^{A)}, Tachishige Hirose^{A)}, Kazuyuki Sakaue^{A)}, Hiroyuki Nagai^{A)}, Ryo Moriyama^{A)}, Keita Komiya^{A)}, Yuta Kato^{A)}, Tomoko Gowa^{A)}, Tomoaki Nomoto^{A)}, Akihiko Masuda^{A)}, Aki Murata^{A)}, Junji Urakawa^{B)}, Toshikazu Takatomi^{B)}, Nobuhiro Terunuma^{B)}, Masao Kuriki^{B)}, Ryunosuke Kuroda^{C)}, Shigeru Kashiwagi^{D)}

^{A)} Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University (RISE)
 17 Kikui-cho, Shinjyuku-ku, Tokyo 162-0044, Japan

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

^{C)} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan

^{D)} The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University (ISIR)
 8-1 Mohogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

Abstract

An S-band photocathode RF Gun with 1.6 cells, called BNL-type 4, have been operated at Washio Lab. in Waseda University for applications such as a picosecond pulse radiolysis experiment and a soft X-ray microscope based on a laser-Compton source. For an improvement of electron beam current and quality, we are planning to use a cesium telluride (Cs₂Te) as a photocathode, which have higher quantum efficiency by order 2 than that for the existing photocathode of oxygen free copper (OFC). An attachment method of the cathode will also be changed from a single panel construction with the Helicoflex seal to a plug attachment with a beryllium copper (BeCu) contact by a load lock system. In addition, we are planning to use compact cavity tuners that adjust a resonant frequency by plastic deformation of the cavity wall. In this paper, we report status of the development of the Cs₂Te cathode RF gun.

早稲田大学におけるCs₂Teカソード電子銃の開発

1. はじめに

フォトカソードRF電子銃は、短パルス、低エミッタンスが期待される電子ビーム源として、FEL、リニアコライダー実験など、高品質な電子ビームを必要とする実験応用において注目されてきている。一方、コンパクトであることにより、大学研究室や病院など、比較的小規模な研究施設における電子ビーム源としても期待されている。

本研究室においては、1.6セルBNL型SバンドのフォトカソードRF電子銃を用いた、ピコ秒パルスラジオシスシステムの開発^{[1][2]}、及び、生体資料観測が可能な、水の窓と呼ばれるエネルギー領域の軟X線顕微鏡への応用を目的としたレーザー・コンプトン光源の開発^{[3][4]}を行ってきた。現状では、銅カソード電子銃を用い、最大 1 nC の電荷量を持つ電子ビーム生成に成功している。その他、主要なパラメーターを表 1 に挙げる。

現在、現状の銅カソードを、Cs₂Teカソード^[5]に変える事を計画している。Cs₂Teカソードに期待される量子効率^[6]は現状の約100倍高いため、さらなる電荷量の確保、電子ビームのマルチバンチ化による応用実験の質の向上が可能となる。一方、レーザーに

必要されるパラメーターが緩和され、それによりシステムの安定化につながる。

表 1 : 電子ビームのパラメーター(現状)

Bunch Charge	100 pC – 1 nC
Pulse Dulation	6 psec (FWHM)
Norm. Emittance	3 – 10 π mm mrad
Beam Energy	4 – 5 MeV

2. ロードロックシステムのコンパクト化

Cs₂Teの光電面は、モリブデンで作られたプラグの表面に蒸着することで作られる。作られたカソードプラグを電子銃空洞に装着するために、ロードロック形式を採用する。本研究では、高エネルギー加速器研究機構(KEK)のATFや、放射線医学総合研究所で使用されているロードロックシステム^{[6][7]}を元に、本研究室に設置できるよう、よりコンパクトなシステムの開発を行った。

¹ E-mail: kamiya-yoshio@kurenai.waseda.jp

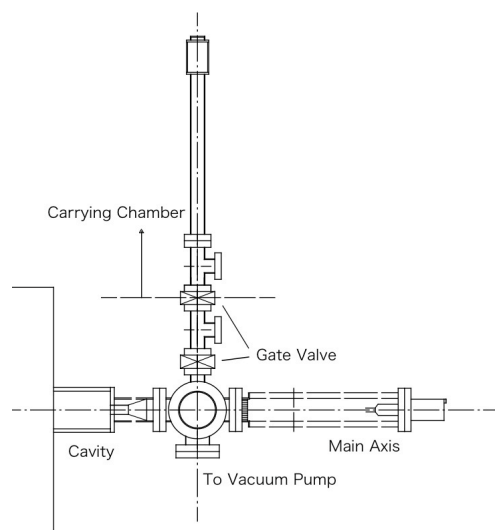


図1 ロードロックシステムの概念図

図1に、ロードロックシステムの概念図を示す。いくつかの改良点のうち主なものは、カソード導入の主軸上に乗るコンポーネントを必要最小限に抑えた点で、それによりシステムのコンパクト化を実現している。

Cs₂Teカソードは、酸素などにより劣化することが知られているため、電子銃空洞内、導入機内、輸送用チャンバー内での真空の質を良く保つことが大切である。KEK-ATFにおいては、10⁻⁷ Pa 台の真空で電子銃の運用ができていた。万一の真空トラブルなどで劣化した場合に再蒸着を必要とするが、本研究室には蒸着機を置かず高エネルギー加速器研究機構などの共同利用研究所においてプラグ蒸着を行ない、配送・輸送することを考える。これにより、コスト軽減が期待される。本研究における配送・輸送システムの構築は、他の大学研究室や比較的小規模な応用へむけ、高品質電子銃の可能性を広げることとなる。

3. 電子銃空洞の見直し

3.1 光電面の接続

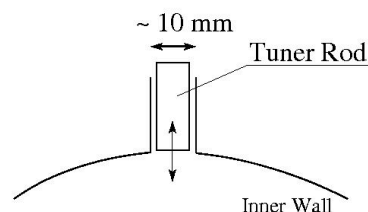
従来の端板型光電面は、Helicoflexを用い電子銃空洞と接続される。これにより光電面の交換が可能となる。光電面がハーフセルの一つの壁でもあり、そのためHelicoflexの押し込み具合によりハーフセル側の空洞特性を調整することができた。この点が端板型光電面の利点であると言える。一方、Helicoflex使用のためには、端板の接触部にSUSを使用し、またHelicoflexの収まる溝を作る必要があった。端板と空洞の接続部のそれら構造が、暗電流の増加、放電によるRFパワーの制限につながるということが知られている。この点において、端板型光電面の弱点がある。

本研究におけるプラグ型光電面は、光電面側空洞

壁を取り替えることなくプラグのみの交換で光電面を交換することができる。そのため、光電面側空洞壁のロウ付けを行ない、端板型で問題となったHelicoflexの使用を避けることができる。これにより、暗電流・放電の削減が期待される。

一方、Helicoflexの押し込み具合によるハーフセル側空洞特性の調整はできなくなる。それを補うため、従来フルセル側だけに付いていたチューナーをハーフセル側にも増設する。

(a) Existing Tuner



(b) New Tuner

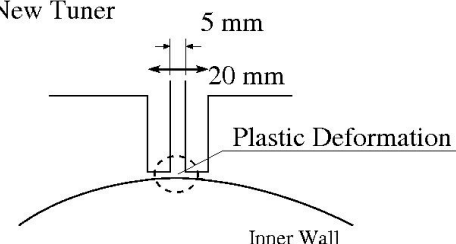


図2 新旧チューナーの構造

3.2 コンパクトチューナーの開発

BNL型RF電子銃では、空洞壁に10 mm程度の穴を開け、その中にチューニングロッドを動かすことで空洞特性の調整を行なっている(図2a)。同様の構造をハーフセル側に付けるとすると、長さ20 mm程度のセル側壁に10 mmの穴があることになり、空洞のクオリティを考えるとあまり好ましいとは言えない。このような複雑な構造は、真空度の観点においても避けるべきである。

今回、空洞内壁を塑性変形させることで空洞特性の調整する方法を採用する(図2b)。この方法は、キャビティBPM^[8]や、Xバンド加速管など、他の周波数帯で実績があり、よりコンパクトな構造が実現できる。SバンドRF電子銃に適応するのは、本研究では初めての試みである。

3.3 テスト空洞によるチューニング代測定

新チューナーによって、どの程度チューニング代を取ることができるか、また構造上の強度は十分であるかなどを確認するため、フルセル形状をした空洞を作成しテストを行なった。空洞作成は、通常の工作過程で行ない、実機で行なうような表面の鏡面加工はしていない。

チューナーは、外部のネジを回すことで軸が上下

し、空洞壁を変形させる構造となっている。外ネジ一周が、0.25 mm の軸の上下に対応する。測定はネットワークアナライザを用い、空洞共鳴周波数の変化を見た。図3に、横軸を外ネジの回転数、縦軸を共鳴周波数の変化とした測定結果を示す。その傾きより、一つのチューナーの一周あたりの周波数変化は 220 kHz と得られた。また、チューナーは±二周まで回転まで可能であることも確認された。空洞作成の最終段階であるロウ付けにおいて変化する共鳴周波数は、100 ~ 200 kHz 程度と言われているため、上記の結果より、新チューナーは十分なチューニング代を確保していると言える。

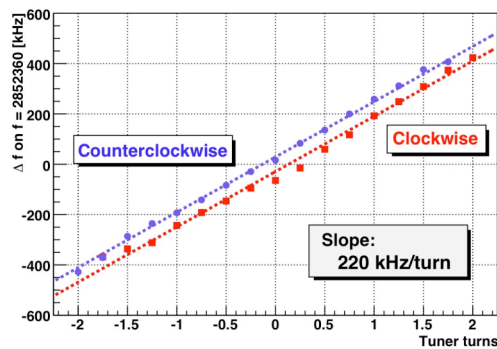


図3 チューナーの回転に対する空洞周波数の変化

3.4 SuperFish によるチューニング代の評価

二次元の空洞シミュレーション SuperFish を用い、チューニング代の評価を行なった。空洞は円筒対称として、計算に円筒座標を用いている。図4は空洞形状、空洞内の電気力線(TM₀₁₀モード)を示す。

まず、SuperFishにおいて空洞半径Rを変化させたときの周波数変化を計算した。その結果を図5に示す。チューナーの軸は、直径 5 mm であり、その接続部には半径 1 mm の曲面が作られているため、チューナーの実効面積は、直径 5 mm ~ 7 mm の円であると考えられる。図5の結果から実効面積で規格化したものを算出すると、チューナー一周あたりのチューニング代は、170 (φ 5mm) ~ 330 (φ 7mm) kHz と求められた。結果、実測値と十分に一致しているといえ、二次元シミュレーションで十分にチューナーの評価が可能であると言える。

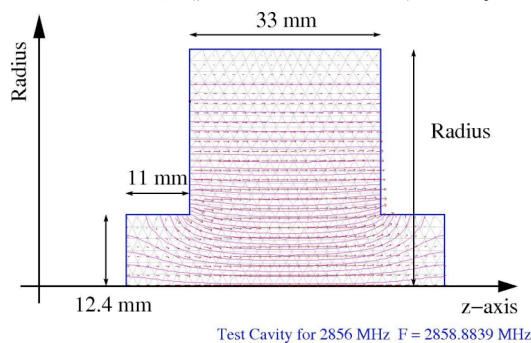


図4 空洞形状および空洞内の電場分布(TM₀₁₀)

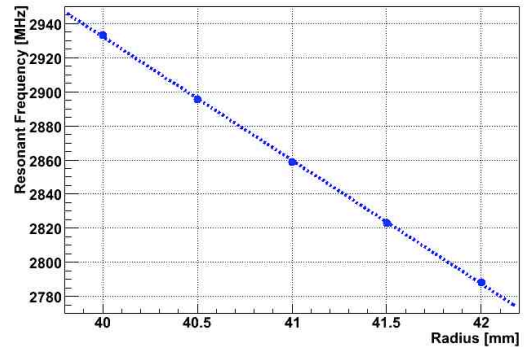


図5 空洞半径を変化させた時の共鳴周波数。1 mm の変化に対して 72 MHz の周波数変化が期待される。

6. まとめと今後

今年度を目処に、本研究室において、Cs₂Teカソード電子銃の導入を考えている。それに共ない、コンパクトなロードロックシステムの開発、塑性変形を利用した新チューナーの開発を行なってきた。新チューナーのチューニング代は、220 kHz/turn と測定され、実用へむけ十分であると言える。また、構造上の強度も十分であった。現在、実機製作にむけての作業が進められている。

7. 謝辞

チューナーの設計において、高エネルギー加速器研究機構の本田洋介氏には多くのアドバイスを頂きました。ここに感謝いたします。

参考文献

- [1] M. Kawaguchi *et al.*, “Development of compact picosecond pulse radiolysis system”, Nucl. Instr. Meth. B, 236, 425 (2005)
- [2] H. Nagai *et al.*, “早稲田大学におけるピコ秒パルスラジオリシスシステムの構築と現状”, 本研究会, TP73 (2006)
- [3] S. Kashiwagi *et al.*, “Compact soft x-ray source using Thomson scattering”, J. Appl. Phys., 98, 123302 (2005)
- [4] R. Moriyama *et al.*, “レーザーコンプトン散乱を用いた軟X線の生成”, 本研究会, TP69 (2006)
- [5] R. A. Powell *et al.*, “Photoemission Studies of Cesium Telluride”, Phys. Rev. B, 8, 3987 (1973)
- [6] N. Terunuma *et al.*, “フォトカソードRF電子銃カソードロードロックシステム”, Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, 7P-10 (2002), URL: <http://lam27.iae.kyoto-u.ac.jp/>
- [7] K. Hirano *et al.*, “High-intensity multi-bunch beam generation by a photo-cathode RF gun”, Nucl. Instr. Meth A, 560, 233 (2006)
- [8] Y. Honda, (private communication, 2006)