

Development of a Cs-Te photocathode RF-Gun system at Waseda University*

Aki Murata^{1,A)}, Chiaki Igarashi^{A)}, Takashi Kashino^{A)}, Yuta Kato^{A)}, Keita Komiyama^{A)}, Tomoko Gowa^{A)},
Kazuyuki Sakaue^{A)}, Tatyua Suzuki^{A)}, Tomoaki Nomoto^{A)}, Yoshimasa Hama^{A)}, Tachishige Hirose^{A)},
Akihiro Fujita^{A)}, Akihiko Masuda^{A)}, Masakazu Washio^{A)}, Junji Urakawa^{B)}, Masao Kuriki^{B)}, Toshikazu Takatomi^{B)},
Nobuhiro Terunuma^{B)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Shigeru Kashiwagi^{C)}, Yoshio Kamiya^{D)}, Ryunosuke Kuroda^{E)}

^{A)} RISE, Waseda University

17 Kikui-cho, Shinjyuku-ku, Tokyo, 169-0072

^{B)} KEK

1-1-1 Oho, Tukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

^{C)} ISIR, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki-shi, Osaka, 305-0801

^{D)} ICEPP, Tokyo University

7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033

^{E)} AIST

1-1-1 Umezono, Tukuba-shi, Ibaraki, 305-8568

Abstract

An S-band photocathode RF-Gun has been operated at Waseda University for a soft x-ray generation using inverse Compton scattering and pulse radiolysis experiment for a radiation chemistry. For an improvement of electron beam current and quality, we decided to use Cs-Te as a photocathode and make new RF-Gun cavity. Cs-Te has higher quantum efficiency by order 2 than that of the existing photo cathode of oxygen free copper. Therefore, we expect to get more charge and make much compact laser system.

In this paper, we present a modified RF-gun with new compact tuners and show results of a processing study using high power RF field and a beam parameter measurement.

早稲田大学におけるCs-TeフォトカソードRF-Gunシステムの開発

1. はじめに

フォトカソードRF-Gunはピコ秒短パルスかつ低エミッタンスの電子ビーム生成が可能な電子源として近年世界中で普及しつつある。現在早稲田大学では銅カソードを用いて最大1nCの電荷量をもつ電子ビームの生成に成功しているが、より大強度の電子ビームを得るために高量子効率期待できるCs-Teをカソードとして新たに用いることにした。

Cs-Teは銅に比べ2桁以上高い量子効率を持つため、低出力のレーザーで更なる電荷量の確保とレーザーシステムのコンパクト化及び実験結果の安定化が可能になることが期待され、現在応用実験として行なっている逆コンプトン散乱X線生成^[2]やパルスラジオリシス実験^[3]の幅が広がることを期待される。

しかしこのCs-Teカソードは銅に比べて寿命の点で不安があるため、真空中でカソード交換が可能な

カソード導入システムを付属した改良型フォトカソードRF-Gun空胴を開発した。

2. 新RF-gun空胴設計

2.1 空胴構造

新空胴は暗電流の削減や高電界の運転を目的とし、既存の空胴構造を以下のように改良して設計した。既存の空胴概念図を図2(a)、改良した空胴概念図を図2(b)に示す。

既存の空胴は主に端盤、ハーフセルとフルセルからなる1.6セル構造となっていて、端盤はSUSプレートとヘリコフレックスシールを介してハーフセルに取り付けてあり、このヘリコフレックスシールの締付トルクで周波数調整を行っている。またハーフセルとフルセル間はロウ付け処理を施しており、共振

¹ E-mail: aki-murata@suou.waseda.jp

* Work supported by MEXT High Tech Research Project HRC707, JSPS Grant-in-Aid for Scientific Research (B) (2) 16340079, and JSPS Fellows (19-5789).

周波数調整用チューナーの穴(直径約10mm) 2つが約20mmのフルセル壁にあいている。

これらヘリコフレックスシールのシール部、チューナー穴などの空洞内部の複雑な構造で電界が強まるために暗電流や放電が増加する原因と考えられていた。そのため新空洞は端盤とハーフセル間にもロウ付け処理を施して一体化させてヘリコフレックスシールを除いている。また空洞壁に穴を開けずに空洞壁を変形させることによって周波数を調整するチューナーをハーフセルとフルセルの各セルに4つずつ配置し、なるべく穴のない構造を可能にした。

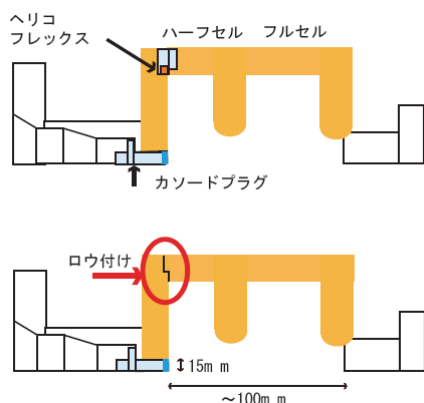


図2.1(a):既存の空洞概念図、
図2.1(b):改良した空洞概念図

(レーザーポート、RFカップラー、チューナー省略)

2.2 新チューナー構造

既存のチューナーと新チューナーの模式図を図2.2に示す。既存のチューナーはフルセルに穴を開けてロッドを上下させて周波数調整を行っている。一方、新チューナーは穴を開けずにチューナー外部に取り付けたネジによってロッドを上下させて空洞壁に押し当て、変形させて調整をする仕組みになっている。

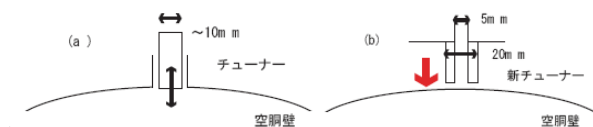


図2.2(a):既存のチューナー概念図、
図2.2(b):今回新規作成したチューナー概念図

新チューナーの周波数調整代はチューナー1本1回転あたり約220kHzである。この形式のチューナーはXバンドの加速管や空洞BPM等で採用されているがSバンドの空洞での採用は初の試みである。

2.3 空洞パラメータ

空洞の共振周波数は2856.025MHz、Q値 約12000、シャントインピーダンス 約6.4[MΩ]で、ハーフセルとフルセルの電場強度比を1:1で調整している。

3. プロセッシング

3.1 プロセッシング時間

作製した空洞のプロセッシングをKEK-ATFの入射器にて行った。プロセッシングの過程において、新空洞の性能評価をATFにて稼動中の空洞と比較した。

カソードを蒸着させていないカソードプラグを挿し込んだ状態で、最終的に12MW/pulse、パルス幅2μsecの運転で放電の頻度が低くなって安定するまで約100時間費やした(図3.1参照)。この値は既存のRF-Gunで費やしたプロセッシング時間よりも格段に短く、プロセッシング時間の観点から格段に改善されていることが確認できた。その後Cs-Teカソードを2回蒸着し、ビームスタディーを行った。このとき冷却水の温度は28度で運転した。

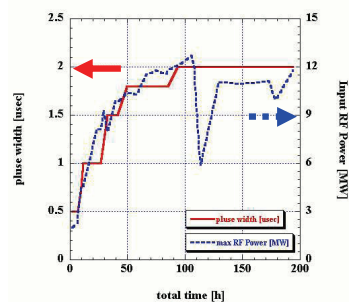


図3.1:プロセッシング時間に対するパルス幅と入力RFパワーの関係

3.2 暗電流測定

空洞から発生する暗電流はGunから70cm下流にあるファラデーカップからの信号をADCで読み取ることによって測定を行った。下図3.2にセットアップを示す。

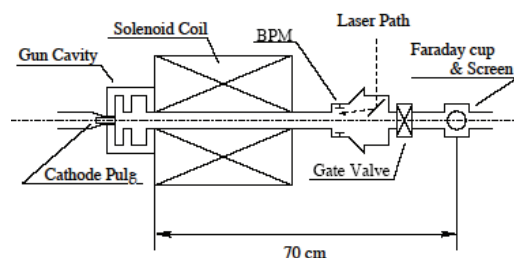
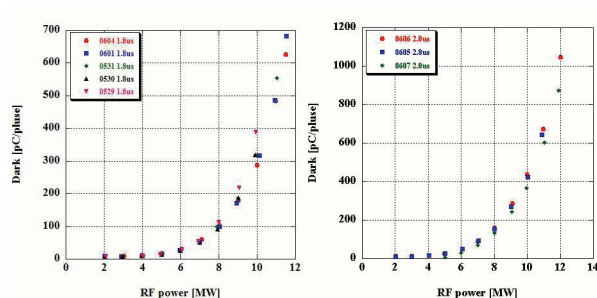


図3.2:プロセッシングのセットアップ

Gun直下にはソレノイド電磁石、その下流にBPMとスレーザーのレーザー入射ミラーが設置されている。(ソレノイド電流値はATFの通常運転で用いられる110[A]に固定している。)

以下図3.3はプロセッシングを始めて約50時間~80時間のパルス幅1.8μsecでの時の暗電流値である。

図3.4はプロセッシングを始めて約80時間~100時間のパルス幅2.0μsecでのカソード蒸着前の暗電流計測データである。



左) 図3.3: 暗電流測定経過 (パルス幅1.8 μ sec)
右) 図3.4: 暗電流測定経過 (パルス幅2.0 μ sec)

図3.3より、5/29の時点(逆三角形のプロット)で最大RFパワー10MWの運転で約0.4nCの暗電流が得られており、図3.4の6/7(ダイヤモンド型のプロット)の時点でパルス幅2.0 μ secに伸びたもののRFパワー10MWで約0.4nCより少ない暗電流が得られており、プロセッシングが進んでいることがわかる。最終的にRFパワー12MWで約0.9nCの暗電流が得られた。

3.3 Cs-Teカソード蒸着

プロセッシング100時間程でパルス幅2 μ sec、RFパワー11MW入った後、Cs-TeをMo製のカソードプラグにTe、Csの順で蒸着し暗電流を計測した。蒸着直後量子効率率は約6%であった。

カソード蒸着後は今まで起きなかった低RFパワーでの放電が頻発し、蒸着前に比べて約2倍以上の暗電流が測定された。これは量子効率の高いカソードを入れたことが放電増加の原因になったと考えられる。そして蒸着後約30時間の運転で量子効率率は約0.5%に低下した。

図3.6にカソード蒸着前後の電流計測結果の比較結果を示す。その後30時間程後にカソードをさらに再蒸着してビーム計測を行った(量子効率約5%)。最終的に再蒸着後約50時間でRFパワー11MW、パルス幅2 μ secで2nCの暗電流という結果が得られた。

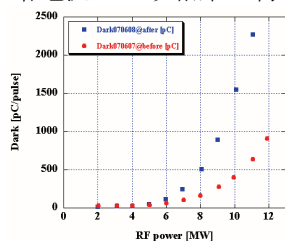


図3.6: カソード蒸着前後の暗電流測定

4. エミッタンス測定

Cs-Teカソード蒸着後、パルス幅2 μ sec、RFパワー10.5MWの運転で、レーザー強度 $N_e=0.9 \times 10^{10} e^-/\text{bunch}$ 、エネルギー約80MeV、RMSエネルギーズプレッド 0.15%とATFの通常運転とほぼ同等の電子ビームが得られた。

RFパワー9MW、電荷量1.6nCで運転した際のエミッタンスをQ-scan法で計測した結果を図4.2に示す。この新空洞で計測したエミッタンスはATFにて稼働中の空洞で取得された値より低い値が得られた。この結果に新空洞の構造の効果がどれだけ寄与するのか今後早稲田での試験を含め検討する予定である。

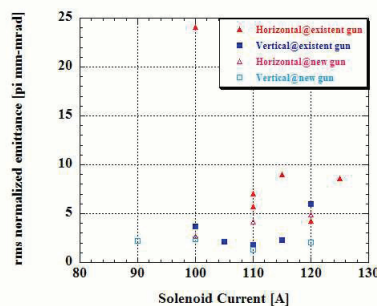


図4.2: エミッタンス測定結果
(ATF既存のgunデータ パルス幅1.6 μ sec・
新空洞のデータ パルス幅2.0 μ secで取得)

5. まとめ

既存の空洞構造を改良し、暗電流の少ない新空洞を開発した。プロセッシングの結果約100時間でパルス幅2 μ sec、RFパワー12MWの運転を達成。早稲田大学においてRF-Gunシステムのインストールとプロセッシングが完了し、電子ビーム生成に成功した。今後RF-Gun単体での詳細なパラメータ測定を予定している。

参考文献

- [1] Y.Kamiya, et al., "Development on an S-band Cs₂Te cathode RF gun with new RF tuners" Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico, USA, 2007
- [2] A.Masuda, et al., "Development of a Soft X-ray Source based on Inverse Compton Scattering at Waseda University" Proc. Of this conference
- [3] K.Komiya, et al., "Present state of Pulse radiolysis system at WASEDA university" Proc. Of this conference