

Present status of a Cs-Te Photo Cathode RF-Gun at Waseda University

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

A) Research Institute for Science and Engineering, Waseda University (RISE)
3-4-1, Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0072

B) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

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

D) International Center for Elementary Particle Physics, The University of Tokyo (ICEPP)
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033

E) The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University (ISIR)
8-1, Mihogaoka, Ibaraki-shi, Osaka, 567-0047

F) Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University
3-1, Kagamiyama, Higashihiroshima-shi, Hiroshima, 739-8530

Work supported by MEXT High Tech Research Project HRC707, JSPS Grant-in-Aid for Scientific Research (B)(2)
16340079

Abstract

At Waseda University, we have developing an improved type photo cathode RF-Gun which has a Cs-Te cathode with high quantum efficiency. With a new RF-Gun, we can achieve a high current and high energy electron beam, moreover a multi-bunch electron beam can be produced because of its high quantum efficiency. That enables us to extend the range of electron beam parameters for our application experiments. In this conference, we will report the present status and future plans of a Cs-Te photo cathode RF-Gun at Waseda University.

早稲田大学におけるCs-TeフォトカソードRF電子銃の現状

1. はじめに

フォトカソードRF電子銃は近年低エミッタンスかつ短パルスな電子ビームの生成が可能な高輝度電子源として注目されている。早稲田大学では、これまで使用されていたCuカソードに代えて高量子効率を持つCs-Teカソードを導入するため、カソード交換システムを備えた改良型フォトカソードRF電子銃空洞をKEKと共同で開発した。改良型RF電子銃では、高量子効率であるCs-Teカソードを用いることにより、これまでよりも高電荷量の電子ビームの生成が可能になると共に、マルチバンチ電子ビームの生成が可能となると期待される。

早稲田大学ではフォトカソードRF電子銃によって生成した電子ビームを用いて、逆コンプトン散乱を用いた軟X線生成実験[1]、放射線化学初期過程解明のためのパルスラジオリシス実験[2]等の応用実験を行っている。改良型RF電子銃の導入により、高電荷量の電子ビーム生成が可能になることで、パルスラジオリシス実験のS/Nの向上が見込まれ、より小さな変化を伴う放射線化学反応の解析が可能となる。

また、マルチバンチビームを生成することで、逆コンプトン散乱における単位時間当たりの衝突回数の向上によって、約2桁程度のX線生成光子数の増大が見込まれる。

本講演では、早稲田大学における改良型Cs-TeフォトカソードRF電子銃の現状と今後の展望について報告する。

2. 改良型RF電子銃

2.1 新RF電子銃における改善点

新しいRF電子銃の製作を行うにあたり主に以下の4つの点について改善を行った。

- ①Cs-Teカソードの導入
- ②カソード交換システムの導入
- ③ヘリコフレックスシールの除去
- ④チューナー構造の改善

2.2 Cs-Teカソード

新たに導入したCs-Teカソードの特徴としてまず高量子効率を持つということがあげられる。量子効

率はカソードの質を評価する値で以下のような式で定義される。

$$Q.E.(\text{量子効率}) = \frac{\text{放出電子数}}{\text{入射光子数}} \quad (1)$$

この量子効率の値が以前のCuカソードに比べて2桁程度高い値(Cu: $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、Cs-Te: 10^{-2} 程度)をとる。そのため、低出力のレーザーで高電荷量を持ったビームの生成が可能となる。しかし、寿命が短く、比較的短期間でカソードの交換が必要となることや、酸素に触れることで量子効率が大幅に低下してしまうなどの欠点のため、全ての操作を超高真空下(10^{-7} Pa程度)で行えるカソード交換システムを付属した。

2.3 改良型RF電子銃空洞

旧RF電子銃では図2.1左上に示すようにエンドプレートとハーフセルをヘリコフレックスシールとSUSプレートを紹介した締め付けによって接続し、この締め付けトルクによってハーフセルの周波数を調整していた。しかし、この構造によって生じる隙間が放電の大きな要因の一つであると考えられていた。そこで、図2.1右上に示す新しい空洞ではヘリコフレックスシールを除去し、ロウ付け処理を施すこととなるべく穴の少ない構造とし、放電を抑制した。また、新空洞ではヘリコフレックスシールで行っていたハーフセルの周波数調整ができなくなったため、ハーフセル、フルセルにそれぞれ4つずつチューナーを備え付けた。新しいチューナーは図2.1右下に示すように空洞壁に穴を開けずに外部のロッドを上下させ空洞壁を変形させることで周波数調整を行う構造とし放電の抑制を行った。

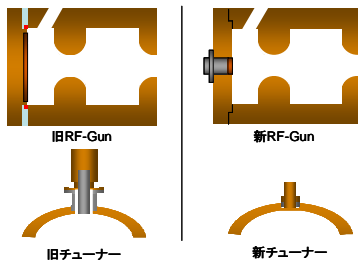


図2.1 新RF電子銃空洞概念図

3. 新空洞性能評価試験

空洞の評価として加速空洞の質を表すQ値とR/Qの測定を行った。Q値とR(シャントインピーダンス)は以下のような式で定義される。ここで ω_0 は空洞の共振角周波数である。

$$Q = \omega_0 \frac{\text{空洞内の蓄積エネルギー}}{\text{1周期あたりのエネルギー損失}} \quad (2)$$

$$R = \frac{(\text{空洞内の有効加速電圧})^2}{\text{消費電力}} \quad (3)$$

この式からわかるようにQ値、Rが高いほど同程度のRFを印加した際にもより強い電場で電子ビームを加速することができる。また、R/Qは空洞の形状にのみ依存する値となっている。

3.1 Q値測定

Q値の測定はネットワークアナライザを用いた反射法及び透過法によって行った。以下にその結果を示す。

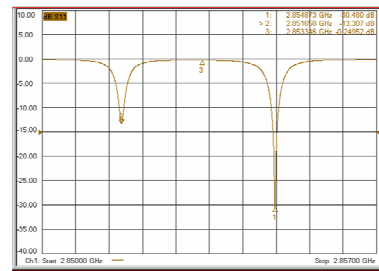


図3.1 共振周波数測定結果

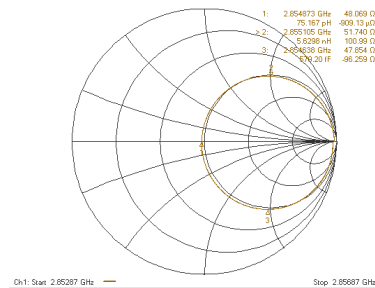


図3.2 スミスチャート

この結果から得られた π モードの共振周波数及びQ値の値は以下の通りである。

表1. Q値測定結果

共振周波数	2854.87 [MHz]
Q値	12228.1

この結果より空洞構造の改良によってQ値が以前のRF電子銃の約8000に比べ、大幅に増加したことが確認できた。

3.2 R/Q測定

R/Qの測定は図3.3に示すようなセットアップを用いてビーズ摂動法によって行った。

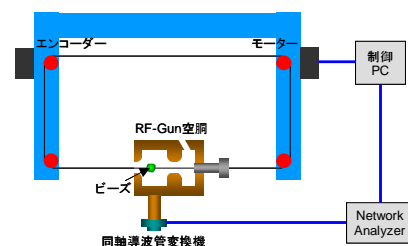


図3.3 ビーズ摂動法セットアップ図
微小な摂動として空洞中心を体積 ΔV 、半径 r の導

体球のビーズを移動させ、摂動のない場合の周波数からの共振周波数変化をネットワークアナライザーで計測した。周波数変化を求めることによりR/Qを求めることができ、次式で与えられる。

$$\frac{R}{Q} = \frac{\left| \int \sqrt{|\Delta f|} |dz|^2 \right|}{\pi f_0^2 \epsilon \Delta V} \quad (4)$$

ここで ϵ はビーズの誘電率である。図3.4に空洞内電場分布の結果を示す。

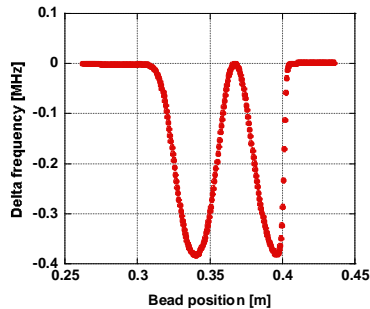


図3.4 空洞内電場分布測定結果

この結果から求めたR/Q及び、Q値とR/Qの値から算出したシャントインピーダンスRを以下に示す。

表3.2 R/Q及びR測定結果

R/Q	356 [Ω]
R	4.4 [M Ω]

以前のRF電子銃に比べシャントインピーダンスRが大幅に増加(3.7→4.4 M Ω)したことが確認できた。

3.3 暗電流測定

RF電子銃空洞へ大電力のRFを印可した際には電界電子放出に依る暗電流が発生する。暗電流が多くなることで放電などの問題から印可するRFの限界が低く抑えられることや、応用実験におけるノイズの増加につながってしまうなどの問題が生じる。図3.5に新RF電子銃における暗電流の測定結果と旧RF電子銃での測定結果の比較を示す。

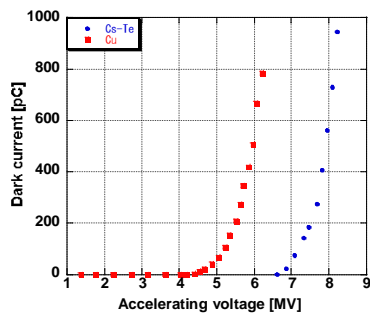


図3.5 暗電流測定結果

以前のRF電子銃に比べ高い加速電場における暗電流が低い値となり、新空洞で暗電流の削減に成功したといえる。

4. 電子ビームパラメータ測定

次に、新RF電子銃を用いて生成した電子ビームのパラメータ測定として電荷量及びエネルギーの測定を行った。測定結果を図4.1、新RF電子銃での測定結果と旧RF電子銃での測定結果の比較を表4.1に示す。

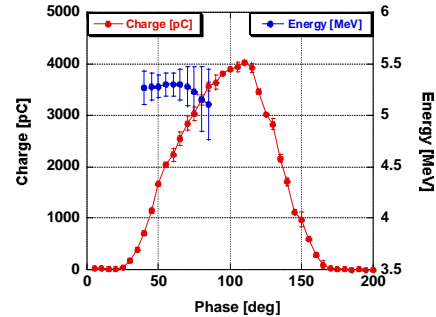


図4.1 電荷量・エネルギー測定結果

表4.1 ビームパラメータ比較

	旧RF電子銃	新RF電子銃
電荷量	370pC	4000pC
エネルギー	4.6MeV	5.3MeV

表4.1に示すように、Cs-Teカソードの導入により電荷量が旧RF電子銃の370pC/bunchに比べ、約4000pC/bunchと大幅に増加した事が確認できた。また、空洞のQ値が増加したことによりエネルギーに関しても4.6MeVから5.3MeVと大幅な増加が確認できた。

5. まとめと今後の予定

新しいRF電子銃の導入に際し、空洞の改善を行ったことによってQ値及びシャントインピーダンスRの増加、暗電流の削減に成功した。また、量子効率の高いCs-Teカソードの導入によって、高電荷量・高エネルギーのビームの生成に成功した。

今後の予定としてはビームパラメータの測定としてエミッタンスの測定を行いより高品質なビームの生成を目指す。その後、マルチバンチビーム化に向けて研究を進めていく予定である。

参考文献

- [1] C.Igarashi et al, Proceedings of this meeting TP059
- [2] A.Fujita et al, Proceedings of this meeting TP060
- [3] P.Michelato et al, "Characterization of Cs₂Te photoemissive film: formation, spectral responses and pollution" Nucl. Instr. and Meth. in Ph_vs. Res. A 3Y3 (IYY7) 4646468