

Improvement of an S-band RF-Gun cavity with a Cs-Te photo-cathode

Aki Murata^{1,A)}, Yuta Kato^{A)}, Kazuyuki Sakaue^{A)}, Tatuya Suzuki^{A)}, Masakazu Washio^{A)},
Hitoshi Hayano^{B)}, Noboru Kudo^{B)}, Toshikazu Takatomi^{B)}, Nobuhiro Terunuma^{B)}, Junji Urakawa^{B)},
Yoshio Kamiya^{C)}, Ryunosuke Kuroda^{D)}, Toshiteru Kii^{E)}, Jinfeng Yang^{F)}, Masao Kuriki^{G)}

A) RISE, Waseda University; 17 kikui-cho, Shinjyuku-ku, Tokyo, Japan, 169-0072

B) KEK; 1-1-1 Oho, Tukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

C) ICEPP, Tokyo University; 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, 113-0033

D) AIST; 1-1-1 Umezono, Tukuba-shi, Ibaraki, 305-8568

E) Institute of Advanced Energy, Kyoto University; Gokasho, Uji-shi, Kyoto, Japan, 611-0011

F) ISIR, Osaka University; 8-1 Mihogaoka, Ibaraki-shi, Osaka, 305-0801

G) Hiroshima University; 1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima City, Hiroshima, Japan, 739-8530

Abstract

A 1.6cell S-band photo-cathode RF-Gun is one of the good alternatives of the short pulse electron source. At KEK-ATF, we use the RF-Gun with a Cs-Te cathode as an injector. However, increased dark current, electric discharge and decrease Q-value are troubles. To improve an electron beam quality and to reduce dark current, our group made a modified RF-Gun cavity (BNL-type 4) equipped with new tuners. As a result, the Q-value and shunt impedance of the cavity is successfully larger than that of existing guns. In this paper, we will report about the improvement and fabrication of new RF-Guns.

Cs-Teフォトカソード S バンドRF-Gunの開発

1. はじめに

SバンドフォトカソードRF-Gunは高周波による高加速電場の実現及びバンチング効果とレーザーパルスの制御によりピコ秒短パルスかつ低エミッタンスな高品質な電子ビーム生成が可能な電子源である。そのためRF-GunはX線FEL実験やリニアコライダーの入射器等で電子源として、世界中で利用、研究されている。

KEK-Accelerator Test Facility (KEK-ATF) [1]では銅に比べ2桁以上高い高量子効率(Q.E.)が期待できるCs-Teカソードを用いた1.6セルSバンドRF-Gun(BNL-type4)を用いて、ダンピングリングへの入射器用の電子源として利用している。しかし従来のRF-Gun空胴は暗電流や放電が多いことから、改良点が挙げられてきた。そこでさらなる電子ビームの大強度かつ高品質化と暗電流削減を狙い、従来のRF-Gun(BNL type-4)の構造を改良した新空胴をKEK-ATFと共同開発した。これらの問題解決のため二点改良を施した結果、暗電流やの放電の削減、真空度の向上、Q値の向上に成功した[2]。これまで新空胴はハーフセルにレーザーポートが接続した型を1台、レーザーポートのない型を4台作製し、量産や2台同時に短期間で作製する手法を確立した。これまでの空胴調整・加工を通して得られた新しい知見及び

ローレベルRF試験の結果について述べる。

2. 新RF-Gun空胴

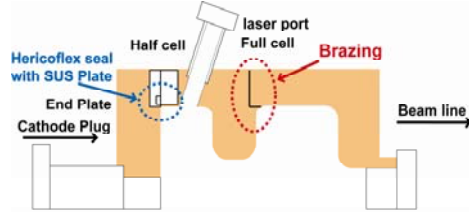
2.1 新RF-Gun空胴設計

RF-Gun空胴は主に端盤、ハーフセルとフルセルからなり、旧空胴概念図を図1(a)、新空胴概念図を図1(b)に示す。旧空胴のフルセルとハーフセル間にはロウ付け処理を施しており、ハーフセルと端盤間はSUSプレートとヘリコフレックスシールを介して接続している。このヘリコフレックスの締付トルクでハーフセルは周波数調整を行い、一方フルセルの周波数調整は2つ対称に空胴壁に開けた10mmのチューナー穴の中でロッドが上下する形状のチューナーで行う。これらヘリコフレックスシールのシール部、フルセルに空けたチューナー穴(図2.3a参照)などの空胴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し、空胴の質を表す指標であるQ値が減少する主な原因と考えられるため、新RF-Gunではハーフセルと端盤間をロウ付けしてヘリコフレックスシール周辺の構造を単純にし、作製も簡素化する改良を行った。

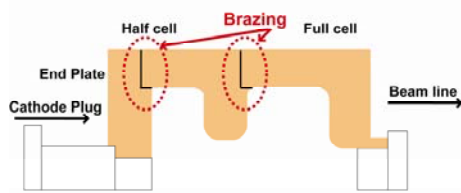
新空胴は主に2次元高周波電場計算コード

¹ E-mail: aki-murata@suou.waseda.jp

SUPERFISHを使用し、 π モード共振周波数が2856MHz、各セルの電場比がビーム加速に最適な1:1の分布になるよう設計した。この時、図2より0モードと π モードの共振周波数差は約3.2MHzとなる。



(a) RF-Gun空洞 (BNL-type 4) 概念図



(b) 新空洞概念図

図1. RF-Gun空洞概念図

(導波管、チューナー、T字管は省略)

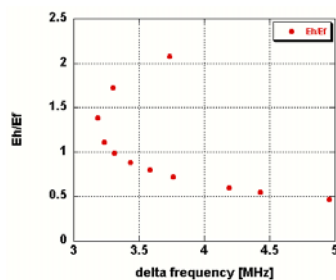
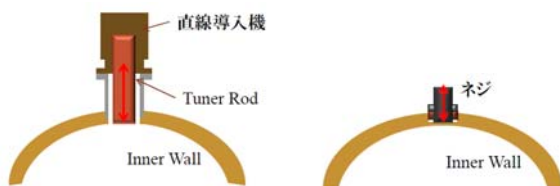


図2. 0モード、 π モードの共振周波数差と電場比の関係 (by SUPERFISH)

2.2 新周波数調整機構

新空洞には従来の周波数調整機構に代わり、空洞壁に穴を開けずに外部から直接空洞壁を押し引きして変形させて周波数調整をする形式の新チューナーを各セルに4つずつ採用した。チューナー一つあたりの有効周波数調整代は約1.6MHzで、共振周波数を2856MHzに調整するのに十分な調整代である。またこのチューナーはハンマー方式による共振周波数調整にも使用する。



(a) 従来のフルセルのチューナー
(b) 新チューナー

図3. 新旧チューナー模式図

3. 新空洞作製

3.1 空洞作製過程

空洞の品質を一定に保ちつつ、短時間で作製するため、測定の精度、再現性を重視し、作製手法を確立した。空洞の材質はHIP処理済の無酸素銅を使用し、KEK工作センターで5台作製した。これらはハーフセルにレーザーポートが接続したものが1台 (No. 1)、レーザーポートのないものが4台 (No. 2-5) である。空洞の作製過程は以下の流れで行い、特に空洞切削とロウ付けについて述べる。

- 1) 空洞の各セルを粗加工後、超精密加工
- 2) 共振周波数測定とセル内面の切削 (3~6回)
- 3) 水素炉にて空洞ロウ付けと周波数測定 (1日)
- 4) 導波管ロウ付け (1日)
- 5) ラフチューニング&調整ピンにより周波数調整 (1日)
- 6) 導波管調整ピンロウ付け (1日)
- 7) リークテスト (1日)
- 8) フランジ・チューナーを溶接、リークテスト (1日)
- 9) チューナーにより電場・周波数調整 (1日)

3.2 共振周波数測定と空洞切削

共振周波数は銅製のダミーカソードプラグを空洞に挿入し、導波管に同軸変換器を接続して、反射法でネットワークアナライザーを用いて計測した。

正確かつ再現性のある周波数測定のために、測定ジグでセルを固定する際のトルクを50kgf-cmに固定した。測定の際セル間の締め付けが弱いと、微小な隙間によって共振周波数とゲインが低くなり測定誤差要因となる。その他セルのあたり面のバリやジグに付着した微小なごみも誤差要因となるため注意が必要である。

そして測定は大気下で行っているため湿度 $\pm 10\%$ で約40kHz、温度 ± 1 度で約50kHzの周波数誤差となる。そこで測定室内の気温、空洞温度、湿度を測定し、基準環境 (25°C 真空中) に換算後SUPERFISHによるシミュレーションと合わせて切削量を決定した。新RF-Gun空洞はほとんど余計な穴のない構造をしているため、シミュレーションの結果とよく一致した。

また切削量の目安として空洞半径と各セル単体の共振周波数と空洞半径の積が一定値になることから、この値も参考にした。これらの工夫で正確な切削量を見積もる事ができるようになった。切削は単結晶ダイヤモンドバイトを使用した。

3.3 空洞ロウ付け

ロウ付けには金ロウを使用し、水素雰囲気中でロウ付け処理を施した。空洞5台分のロウ付け過程の前後において、共振周波数の変動が見られた (表1)。No. 1~No. 3の製作においてロウ付けの考慮が不十分だったが、空洞No. 4、5の製作においてロウ付けの影響を考慮した。表1より各セルに注目するとフル

セルの共振周波数が約2.0~1.5MHz上昇する現象が見られた。これインロウ部分のロウ溝から金ロウが流れたためにビーム軸に対して径方向に影響を及ぼし、周波数が大きく計測されたか、もしくは空胴の材質である銅とフランジ等の材質であるSUSの熱膨張率の違いのために、空胴体積に影響を及ぼしたと考えられる。この変動量はSUPERFISHによる計算だとセルが半径約20~18 μ m縮んだ事に相当し、予めフルセルの周波数変動分をみこんで切削した。

表1 ロウ付け前後の共振周波数変動量
(測定値を25°C、真空中に換算。空胴No. 1、2の各セルの周波数は計測していない。)

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
0 mode [MHz]	0.360	0.320	0.765	0.744	0.503
π mode [MHz]	1.300	1.132	1.266	0.868	0.676
Full cell [MHz]	—	—	1.97	1.47	1.448
Half cell [MHz]	—	—	0.016	0.068	0.172

4. 空胴評価試験

完成した新空胴(図4)はビード摂動法を用いて電場分布(図5)を計測し、各セルの電場比を1:1に調整した。例として図5に新空胴(No. 5)の共振周波数分布を示す。図4、5からQ値、R/Qを算出した結果、Q値は約11000~13000であった(表3)。SUPERFISHシミュレーションによるQ値は約15000、R/Qは約459 Ω であることから、従来の空胴(BNL-type 4)例の比較対象としたKEK-LUCX空胴[3]と比べると、Q値を大幅に向上させることができた。

新空胴(No. 1)は現在早稲田大学にて運転実績があり、暗電流の削減効果が実証されている[2]。ビーム生成試験の結果、実効シャントインピーダンスは約2.5M Ω であった。KEK-LUCX空胴の実効シャントインピーダンスは1.67M Ω であることから、シャントインピーダンスも約2割増やすことに成功した。またビームエネルギーは4.6から最大5.5MeV(RFパワー10.6MW)まで2割増加した。これらの効果はビームの加速電場が強いカソード近辺で、ハーフセルと端盤間をロウ付けした結果と考えられる。



図4. RF-Gun新空胴

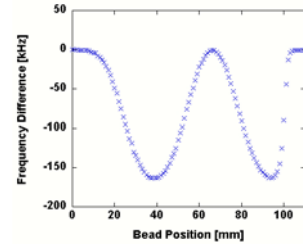


図5. 新空胴(No. 5)の周波数分布(ビード法)

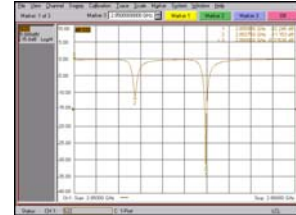


図6. 新空胴(No. 5)の共振周波数分布
0モード 2852.75MHz (-11.15dB)、 π モード
2855.956MHz (-32.3dB) (測定値)

表3. 新RF-Gun空胴パラメータ
(KEK-ATFの既存の空胴はパラメータ未計測のため、同型のLUCX計画用の空胴を比較対象とした。)

	KEK-LUCX	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Q value	7900	12200	11100	11800	13500	12160
R/Q [Ω]	464	356.7	505.2	432.9	474.0	470.1
実効 Shunt imp.	1.87	2.46				

5. まとめ

既存のRF-Gun空胴(BNL-type 4)を改良した新空胴を開発し5台作製した。その過程において測定の精度や再現性を重視した事で、作製期間の短期化、量産や2台同時作製が可能になった。新RF-Gun空胴は従来の空胴(BNL-type 4)に比べQ値、実効シャントインピーダンスを大幅に向上させる事に成功した。また早稲田大学では暗電流の削減やビームエネルギー向上等を実証したことから、高品質な新空胴を作製できたといえる。

今後KEK-ATFにて新空胴のシステムの立ち上げと、ビームパラメータ計測を予定している。

参考文献

- [1] N.Terunuma, et al., “先端加速器試験装置(ATF)の現状” W005, Proc. of this conference
- [2] A.Murata, et al., “Improvement of an S-band RF-Gun cavity with a Cs-Te photo-cathode” Proceedings of EPAC08, Genova, Italia, 2008
- [3] S.Liu, et al., “Beam loading compensation for acceleration of multi-bunch electron beam train” Nucl. Instr. and Meth. A584(2008), p. 1