

LバンドフォトカソードRF電子銃の開発 (VIII)

DEVELOPMENT OF THE L-BAND RF GUN (VIII)

磯山 悟朗^{#, A)}, 川瀬 啓悟^{A)}, 加藤 龍好^{A)}, 藤本 将輝^{A)}, 矢口 雅貴^{A)}, 船越 壮亮^{A)}, 堤 亮太^{A)},
宮崎 数磨^{A)}, 渡邊 謙^{B)}, 倉本 綾佳^{B)}, 早野 仁司^{B)}, 浦川 順治^{B)}, 高富 俊和^{B)}, 飯島 北斗^{C)},
栗木 雅夫^{C)}, 柏木 茂^{D)}

Goro Isoyama^{#, A)}, Keigo Kawase^{A)}, Ryukou Kato^{A)}, Masaki Fujimoto^{A)}, Masaki Yaguchi^{A)}, Sousuke Funakoshi^{A)},
Ryouta Tsutsumi^{A)}, Kazuma Miyazaki^{A)}, Watanabe Ken^{B)}, Ayaka Kuramoto^{B)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Junji Urakawa^{B)},
Toshikazu Katatomi^{B)}, Hokuto Iijima^{C)}, Masao Kuriki^{C)}, Shigeru Kashiwagi^{D)}

^{A)} Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

^{C)} Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University

^{D)} Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

Abstract

We report the recent progress of development of the L-band photo-cathode RF gun. When the high-power RF test was conducted, it turned out that water leaks were found at a few points, though a little, along brazing parts between water-cooling ducts and main body of the RF gun and that the resonance frequency of the RF gun was shifted from the previously measured value before brazing of the water-cooling ducts. To fix the water leakage, the outer surfaces of the ducts right above the welding parts were squarely cut and the joint parts were brazed from inside. However, some portions were found still leaking owing to inadequate brazing. To fix the problem, a water ducts, which had the largest leakage, was cut out and a newly made duct was brazed, so that the leakage is completely stopped there. It is, however, not possible to fix all the remaining water ducts with this method because of too-high costs. The water leakage in the other parts was fixed using liquid gasket.

1. はじめに

前回の加速器学会での報告に引き続き、大阪大学、KEK、広島大学で実施している L バンドフォトカソード RF 電子銃の開発の進捗状況について報告する。本研究で開発を進めているフォトカソード RF 電子銃は、国際リニアコライダの試験加速器のために DESY で開発された 1.3 GHz、1.5 セルのフォトカソード RF 電子銃の設計をもとに、より安定な運用のために冷却能力を向上した設計を採用した。これまでに、設計研究からロウ付け最適化のための試験、空洞本体の加工、ロウ付け、周波数特性評価と周波数調整を実施、冷却水配管の本体へのロウ付けを完了し、引き続きハイパワーRF 試験に成功した。しかし、水冷管ロウ付箇所の一部に少量であるが水漏れが発生し、更に水冷管のロウ付け前に調整した RF 空洞の共振周波数が 500 kHz 程度上昇していることが分かった。ビームの加速試験の前にこれらの問題を解決するための作業を開始した。本論文では、水冷管の水漏れ修理の詳細を報告する。

2 再ロウ付け

2.1 経緯

本電子銃用 RF 空洞は、平均 RF 入力パワー 25 kW の時、温度上昇を 5.3°C に抑えるために空洞の水冷

[#] isooyama@sanken.osaka-u.ac.jp

強化した[1]。円筒形の銅製 RF 空洞とソレノイドコイル内面との狭い隙間に SUS 製水冷管を通して、断面が長円形の SUS 製水冷管の接続部を RF 空洞円筒外周に開けた穴に差込みロウ付けする。しかし、高い精度で加工し TIG 溶接により組立てた水冷管を空洞本体に挿し込むことができなかった。原因は TIG 溶接により挿し込み部が変形したと考えられる。応急措置として水冷管の外側を挿し込めるまで削り、ロウ付けをしたが、多くのロウ付け部で漏れが発生した。これにより、水冷管挿し込み部の内部への変形が、ロウ付けに必要な 0.1 mm の間隔以上に達したことが分かった。そこで、水冷管を真空にして外側から粉末銀ロウと無酸素粉の混合物を吸込ませロウ付けをしてもれを止めたが、完全ではなかった。

2.2 水漏れ修理

目視できないロウ付け部も多数あるため外側からの修理には限界がある。そこで、図 1 に示すように全ての水冷管の上部を切り取り、内側からロウ材を入れて再ロウ付けを試みた。加圧試験でのロウ付けの可否判定は難しいため、真空排気してヘリウムリーク試験を行う。銅と SUS の接合部付近にある 1 mm ほどの隙間にロウ材を入れて炉に入れると、溶けたロウが毛細管現象により接合面に吸込まれる。一度のロウ付けで漏れが止まらず同様の作業を数回繰り返した。それでもなお大きな漏れが止まらない場所が RF 電子銃の 2 空洞を分けるアイリス部の水冷管など数か所あった。そこではロウ付け部が変色

しており、酸化などによりロウで濡れない表面状態であると思われる。



Figure 1: L-band RF gun before re-brazing. The outer surfaces of the ducts right above the welding parts are squarely cut to braze from inside

3. 新規ロウ付け

そこで内側からのロウ付けをあきらめ、大きな漏れがあるアイリス部水冷管のロウ付け部を取外し、新しい水冷管を製作してロウ付けをやり直すことにした。従来は、ロウ付けした部分は合金化により硬化し、機械的な切削は困難と聞いていたが、容易に切削できるとの情報を得たため試みると、銅部分をわずかに (0.5 mm 以下) 削取るだけで水冷管の取り外しに成功した。図 2(a)に水冷管の一部を切取った RF 電子銃の写真を示す。図 2(b)は、新たに製作した水冷管の写真で、手前上部がはめ合い部である。水冷管のはめ込み部は、真空排気してロウ付けの完全性を確認するため水路の穴はふさいである。ロウ付けを確実にするために、2 段のロウ溝を設けた。はめ合い部の隙間は 10 μm 程度になるように高い精

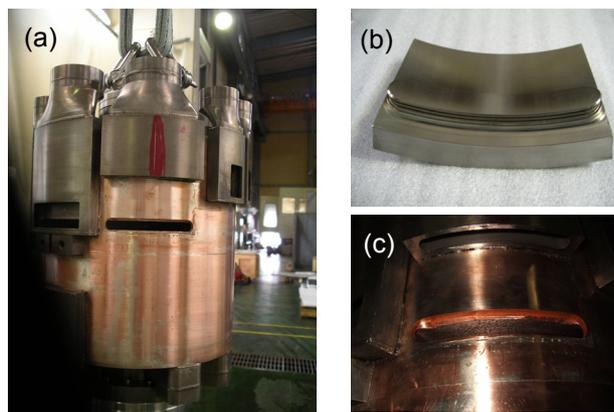


Figure 2: Replacement of a water duct for complete repair. (a) part of the water duct is cut away, (b) newly made component for brazing, (c) test of space between the plug part of the water duct and the socket in the RF gun using red lead primer.

度で機械加工をし、図 2(c)に示すように光明丹で確認した。光明丹は、一方の側 (SUS 側) に塗って挿し込むと隙間により発色の度合いが変わり、10 μm 程度では赤、それ以上では徐々に色が薄くなり更には、光明丹は他方に付かず無色になる。逆に 10 μm より狭くなると色が濃く、更には黒くなる。図 2(c)に見えるように銅のはめ合い部が一様に赤色に染まっており、はめ合い部の隙間が 10 μm 程度で期待どおりに機械加工ができていたことを確認した。銅と SUS をロウ付けするときには緩衝材として SUS にニッケルメッキを施す。ニッケルメッキが正常でない場合には、温度を上げた時に剥がれることが知られている。そこで、良質のニッケルメッキができるように注意した。

この結果、新たに水冷管を作成しロウ付けした部分の漏れは完全に止まった。他方、他の 3 か所で新たな漏れが発生した。原因としては、引き続きロウ付けにより融解温度が接近するロウ材を使用したため、ロウ付け時の温度が部分的に以前の値を超えた可能性や、漏れ試験のため加圧によりロウ付け不良部が破損した可能性がある。

4. 液体ガスケット

完全な修理には全ての水冷管を交換する必要があることが最終的に分かったが、直ぐに実行することは難しい。そこで、当面の実験用に数年持つと考えらる手法として液体ガスケットを用いて漏れを止めることにした。液体ガスケットはシリコン系の化合物で、耐熱性 200°C の物を使用する。この液体ガスケットが水冷管を再組立てする時の TIG 溶接の温度上昇に耐えられるか模擬水冷管を用いて試験をした結果、高圧空気をを用いた強制空冷でガスケット部の温度上昇を 200°C 以下に抑えることができた。そこで漏れ 3 か所の一つに対し試験を兼ねた補修をした。

5. 結果と今後の対応

水冷管の内側を排気して、漏れ量をリークディテクタでモニターしながら、外側から液体ガスケットを吸込ませる。その後、液体ガスケットが固まるまで数日待ち、再真空でのリーク試験の後、加圧試験を行った結果、5 気圧で漏れ発生が発生した。吸込みが不十分で内部の漏れ個所ではなく、外で止めていたと考え、外側の液体ガスケットや銀ろうを取りさりピンホール状の漏れ個所を特定した。そこに液体ガスケットを吸込ませると多量の液体ガスケットが吸い込まれた。ロウ付け後、空になったロウ溝が漏れの通路となりそこに液体ガスケットが流入したものと考えられる。このような状況では、漏れを止めるのが困難であった状況が理解できた。更に、大きな漏れを止めると小さな漏れが検出できるようになった。最初のロウ付けで多数の不良個所が発生したことが判明した。

水冷管の下側にあり、目視や触れることができないロウ付け箇所はこの手法で対処することは難しい。他方、僅かな真空漏れはアルコールをかけると完全に止まるため、通常の液体ガスケットを用いた補修

と、溶剤で薄めた液体ガスケット又はバクシール等と組合わせて漏れを止めるのが現状では最良の方法と考えられる。

水漏れを止めた後に低レベルで RF 電子銃の共振周波数やフィールドバランスを再度測定して再調整した後、ハイパワー試験とビーム試験を行う予定である。

参考文献

- [1] S.Kashiwagi, et al., “Development of L-band RF Gun (III)”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010