

Lバンドフォトカソード RF 電子銃の開発 (VII)

DEVELOPMENT OF L-BAND RF GUN (VII)

川瀬啓悟^{#, A)}, 加藤龍好^{A)}, 入澤明典^{A)}, 藤本将輝^{A)}, 大角寛樹^{A)}, 矢口雅貴^{A)}, 船越壮亮^{A)},
堤亮太^{A)}, 磯山悟朗^{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)}

Keigo Kawase^{#, A)}, Ryukou Kato^{A)}, Akinori Irizawa^{A)}, Masaki Fujimoto^{A)}, Hiroki Osumi^{A)}, Masaki Yaguchi^{A)},
Sousuke Funakoshi^{A)}, Ryota Tsutsumi^{A)}, Goro Isoyama^{A)}, Ken Watanabe^{B)}, Ayaka Kuramoto^{B)}, Hitoshi Hayano^{B)},
Junji Urakawa^{B)}, Toshikazu Takatomi^{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

Continuing from the report at the previous annual meeting, we show the present status about the development of the L-band photocathode RF gun which is conducted by the collaborations with the groups of Osaka University, KEK, and Hiroshima University. At the last summary, we carried out the high power test and RF processing of the RF-gun cavity at KEK's Superconducting radiofrequency Test Facility (STF). Comparing with the predecessor working at STF, we find that the RF process of this cavity make faster progress. In this report, we show the result of this high power RF processing of the cavity and the present problems found out after that. We also show the development of the laser system as the cathode driver.

1. はじめに

前回の加速器学会における報告に引き続き、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 電子銃の開発について、そ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ー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させた設計となっている。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、完了した。

昨年度夏に KEK-STF において、開発中の RF 電子銃へのハイパワーRF の導入試験、および RF プロセスを実施した。ここでは、先行機である現在 STF で稼働中の電子銃と比較して、RF プロセスの進行が格段に早く進んだことが確認された。本発表では、このハイパワーRF 導入試験の結果と、その後に確認された問題点とその対策について報告する。また、平行して進めているカソード駆動用のレーザーシステム開発についても報告する。

2. ハイパワーRF 導入試験

本研究で開発している RF 電子銃空洞のハイパワーRF 導入試験は、現在稼働している KEK-STF の先行機のすぐ横に空洞を設置し、ハイパワーRF 導入用の導波管を途中で切り替えて実施した (図1)。導入するハイパワーRF の目標は、現在稼働中の電子銃空洞の定常的な動作条件である 4.0 MW、1 ms の RF パルスの安定な運転である。ここで設計冷却水流量は合計 400 L/min であるが、利用可能な冷却水循環装置の流量不足のため、ここでは 100 L/min で実施した。そのため、RF 導入繰り返し数を下げて試験を実施した。また、原因については未確認ではあるが、周波数調整を実施した後に空洞の共振周波数が変化していたため、周波数を変化させ、最も RF が導入される周波数を選択して、RF 導入試験を実施した。

導入試験の方法は、まず 10 μ s の RF パルスを数 10 kW の入力パワーから 5 Hz で導入し、放電および真空度の低下が起こらず、反射パワーモニターが低いまま保たれることを確認しながら、徐々に入力パワーを上げていき、4 MW まで導入を進めた。その後、パルス幅を 20 μ s、100 μ s、それ以降 100 μ s ずつ上げていき、同様の操作を繰り返し、RF プロセスを進めた。途中、放電の頻度が低下しない場合には、繰り返し数を下げるなどして、プロセスを進行させた。

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



Figure 1: Photograph of the setup at the high power RF test of the gun cavity.

図2にハイパワー導入試験およびRFプロセスにおいて、試験初日(2012年9月3日)と最終日(2012年9月14日)の導入パワーとその時の空洞内真空度の推移グラフを示す。初日では、低パワーで短い時間パルスにおいても、真空度の悪化が多数回見られているが、徐々に入力パワー強度、パルス幅を増加させることができるようになり、また真空度悪化の間隔も長くなっていく傾向にあった。

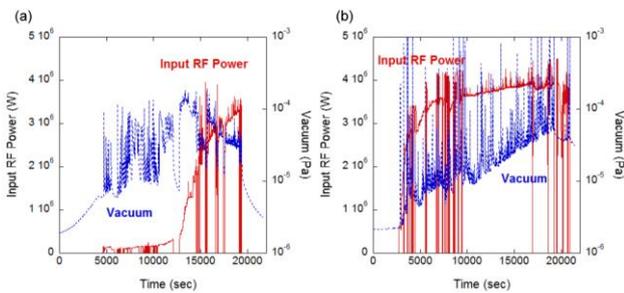


Figure X: Trends of the input RF power and vacuum at during the RF-processing. (a) Data of the first day (Sep-03-2012, 3.4 MW, 10 μ s). (b) The last day (Sep-14-2012, 3.9 MW, 1 ms).

図3に入力可能なパワーとパルス幅の推移を示している。試験が進むにつれて、入力パワーとパルス幅が増加しており、最終的には現在 STF において利用されている空洞と同等の 4 MW、1 ms のパワー導入が達成できている。

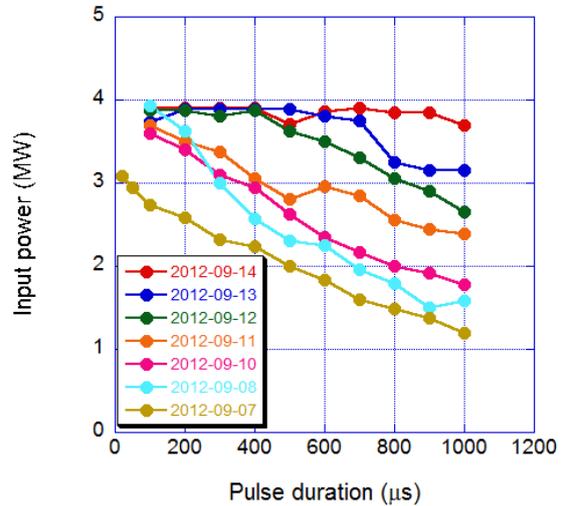


Figure 3: The progress of the RF-processing. This plot shows the maximum input power for each pulse duration without discharge.

図4に、比較として現在利用されている STF 空洞と今回新規に製作した空洞の暗電流の推移を示している。STF 空洞の場合、RF プロセス初期段階において低入力パワーにおいて暗電流が多かったが、空洞内の洗浄後に各段に入力パワーの増大と暗電流の低減がなされている。一方、今回の空洞については、製作の各段階において、洗浄と保管管理を実施しており、RF プロセス初期段階から、低暗電流と高い入力 RF パワーを達成できている。このことから、空洞製作においては、空洞内の洗浄・保管管理の徹底が重要であると結論付けることができる。

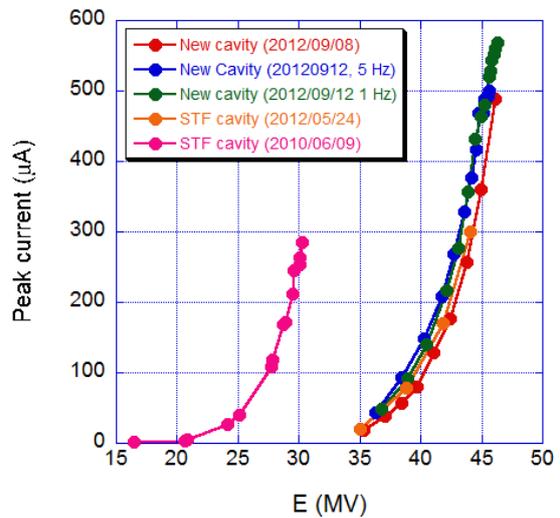


Figure 4: Dark current of the new cavity and STF cavity.

3. 現状と今後の展望

ハイパワーRF 導入試験において、問題なく RF パワーを導入することが確認でき、RF プロセスも進行させることができた。しかしながら、運転周波数から大きく共振周波数がずれてしまっており、現在その対策を実施中である。これまでと同様、空洞の形状を軸方向に変形させることにより共振周波数を合わせる手法を取るが、冷却水管等がロウ付けされているので、新規に治具を作製し、調整中である。

また、空洞回りに取付られている冷却管の一部から外部へ向かって少量のリークが確認されており、その補修も実施している。

今後、この補修が完了後、再度ハイパワーRF の導入と、電子ビーム発生試験を実施する予定である。

4. カソード駆動用レーザーシステム

RF 電子銃空洞の開発と平行して、フォトカソードを駆動するためのレーザーシステムも開発中である。これまでに波長 1030 nm、108 MHz のパルス繰り返しで平均出力 100 mW 程度のファイバーレーザー発振器を製作した。出力パワーの安定性は 3% 程度が得られている。現在、外部周波数と同期させるためのシステムを発振器に組み込み、試験を実施している。この試験を完了後、後段のプリアンプ以降を構築する予定である。

5. まとめ

大阪大学、KEK、広島大学と共同で開発している L バンド RF 電子銃の空洞について、これまでにハイパワーRF 導入試験を実施し、目標であった 4 MW、1 ms の RF パルス入力を達成した。今後、共振周波数の再調整と冷却水管補修、および循環冷却水装置の増強を図った後に電子ビーム発生試験を実施する予定である。カソード駆動用レーザーシステムに関しては、外部 RF 周波数と同期した光パルス発生を実現するためにシステムを構築している。

6. 謝辞

RF 電子銃空洞の製作および補修に関しては、コミヤマエレクトロン株式会社が実施しており、ここに謝辞を申し上げる。また、ハイパワーRF 導入試験に際しては、KEK-STF 関係者の皆様に多くのご助力を頂いており、ここに謝辞を申し上げる。

参考文献

[1] K. Kawase, et al., “Development of L-Band RF Gun (VI)”, Proceedings of the 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Toyonaka, Aug. 8 – 11, 2012,

and references therein.

[2] R. Kato, et al., “High power terahertz FEL at ISIR, Osaka University”, Proceedings of the 1st International Particle Accelerator Conference, Kyoto, Japan, May 23-28, 2010.
[3] K. Kawase, et al., “The high-power operation of a terahertz free-electron laser based on a normal conducting RF linac using beam conditioning”, Nucl. Instrum. And Meth. Phys. Res. A 726 (2013) 96.