

# フォトカソード RF 電子銃カソードロードロックシステム

照沼信浩<sup>1,A)</sup>、廣瀬友規<sup>B)</sup>、鈴木千尋<sup>B)</sup>、長谷川豪志<sup>C)</sup>、栗木雅夫<sup>A)</sup>、早野仁司<sup>A)</sup>、  
浦川順治<sup>A)</sup>、高富俊和<sup>A)</sup>、中西彊<sup>B)</sup>、奥見正治<sup>B)</sup>、酒井いずみ<sup>D)</sup>、高野幹男<sup>D)</sup>、  
野村昌弘<sup>A)</sup>、平野耕一郎<sup>A)</sup>、山崎良雄<sup>A)</sup>、黒田隆之助<sup>E)</sup>、柏木茂<sup>E)</sup>、鷺尾方一<sup>E)</sup>

<sup>A)</sup> 高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

<sup>B)</sup> 名古屋大学大学院理学研究科 〒464-8602 名古屋市千種区不老町

<sup>C)</sup> 総合研究大学院大学数物科学研究科 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

<sup>D)</sup> 放射線医学総合研究所 〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

<sup>E)</sup> 早稲田大学理工学総合研究センター 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

## 概要

KEK にある試験加速器施設(ATF)では本年度秋をめどに電子源を Cs<sub>2</sub>Te カソードを用いた RF 電子銃に変え、低エミッタンスでのマルチバンチ電子ビーム生成を計画している。ここでは Cs<sub>2</sub>Te カソードの高い量子効率を落とさずにカソードを空洞まで導入できるように、電子銃の設置場所でカソード表面のクリーニング、Cs<sub>2</sub>Te 蒸着さらにカソードの RF 電子銃への装着を一貫して真空中でおこなうロードロックシステムを設計した。

## 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構にある試験加速器施設(ATF)では、将来のリニアコライダーで必要とされる低エミッタンスマルチバンチビームを安定に生成する技術開発を進めている。電子源には 240kV 熱電子銃を使用しており、これに 357MHz 定在波型 SHB (2台) と 2856MHz 進行波型バンチャーとを組み合わせて Injector 部を構成している。シングルバンチおよびマルチバンチの生成は、バンチに対応したパルス電圧を熱電子銃のグリッドに加えることで実現している<sup>[1]</sup>。ATF で生成されるマルチバンチビームは、バンチ間隔 2.8ns、強度  $1.0 \times 10^{10}$  electrons/bunch で 20 個のバンチで構成されている。

しかしながら、ダンピングリングへの入射はビーム強度を  $2 \times 10^9$  に抑えているのが実情である。これは生成されたビームの energy tail や energy jitter が beam loss を引き起こし、放射線レベルを上げているためである。従って、本来のビーム強度を上げた状態で研究をするためにはこれらの問題を解決しなければならない。

近年、様々な研究機関でフォトカソード RF Gun の開発が行われ、熱電子銃に代わる電子源として使用され始めている<sup>[2][3]</sup>。フォトカソード RF Gun の特徴は高輝度、短パルス、低エミッタンスが期待できることである。

ATF では昨年夏にシングルバンチのレーザーと無酸素銅カソードを用いた RF Gun の試験を行った。目的は LINAC における低エミッタンスビームの安定な生成である。実験期間は半月ほどであったが、現在の熱電子銃システムと比べて安定であること、特に生成されたビームが 100%リングへ入射され放射線の問題を起こさなかったことを確認できたことの意義は大きい<sup>[4]</sup>。

本年はマルチバンチレーザーを用いた RF Gun の試験を行う<sup>[5]</sup>。カソードは量子効率の高い Cs<sub>2</sub>Te を Mo プラグの表面に蒸着することで形成する<sup>[6][7][8]</sup>。これによりマルチバンチレーザー系を現実的な強度レベルにとどめることになる。Cs<sub>2</sub>Te は超高真空下で維持されないと急速にその高量子効率の性質が失われてしまう。従って、蒸着から RF Gun への装着までを超高真空下で行うロードロックシステムが必要となる。

## 2. ロードロックシステム

RF Gun の設置は、現 ATF の SHB およびバンチャー部分を解体して確保した場所で行う。現在の熱電子銃そのものは RF Gun 実験後のシステムの復帰を考慮し、真空保持した状態で現場に維持する。横方向は作業通路や放射線シールドで制限されるため、結果として約 2m 四方の範囲にカソードのロードロックシステムを収めなければならない。この条件で配置したロードロックシステムの全体を図 1 に示す。機能別に、RF Gun にカソードプラグを装着する部分、イオンビームで Mo カソード面をクリーニングする部分、Cs<sub>2</sub>Te を蒸着しカソードを形成する部分、それぞれの装置へカソードプラグを移動させる搬送系から構成される。

### 2.1 電子銃へのカソード装着

ATF の RF Gun は BNL で設計されたもので、half cell 空洞の end plate がボルトで付け替えられるタイプのものである。ATF でのマルチバンチビーム生成では、Cs<sub>2</sub>Te カソードを使用するため end plate

<sup>1</sup> E-mail: nobuhiro.terunuma@kek.jp

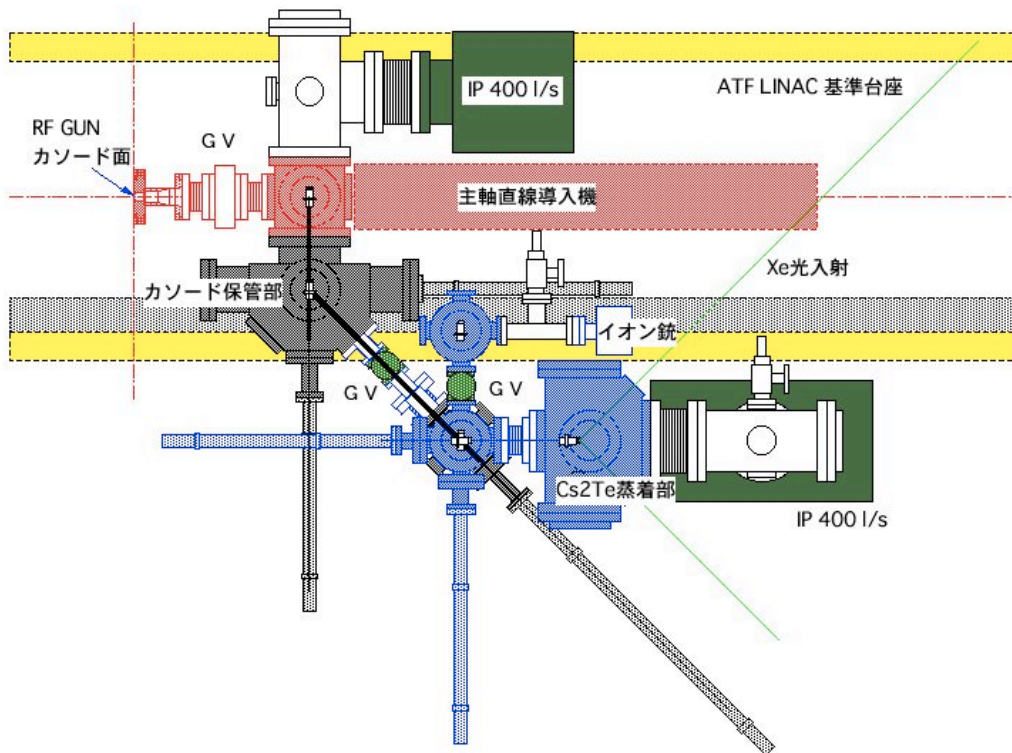


図1：ATF RF Gun Load-lock System 構成

中心にφ16mm の穴を開けカソードプラグを装着できるように変更している（写真1）。

カソード面は図2に示す様に Mo プラグの先端部にあり、φ15mm の大きさである。主軸の先端に取りつけられたカソードプラグは、end plate にロー付けされた SUS ガイドに誘導されながら進行し、規定位置のブロックに接して停止する。

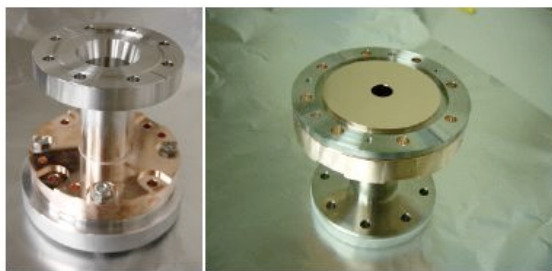


写真1：カソードガイド付き End Plate.

Mo プラグの先端付近にはバネ構造をした BeCu のコンタクト（写真2）が取り付けられる。コンタクトはカソードプラグが規定位置に達する 0.8mm 手前で end plate に接するが、さらにプラグが規定位置まで送られることで end plate との電氣的接触を確保する構造になっている。

規定位置に達した後もカソードプラグを押し続けてしまうと end plate に必要以上の力が加わり half cell 空洞の周波数が許容値を超えてずれてしまう。そのため主軸の駆動装置にはトルクリミッターが設

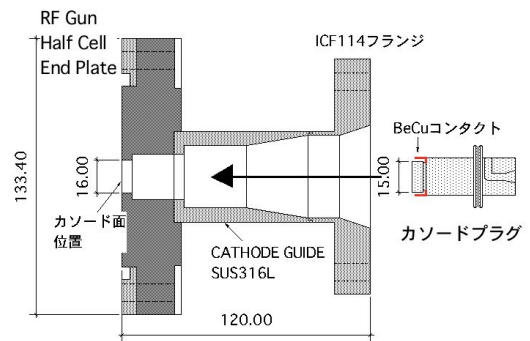


図2：End Plate 部詳細。左側が RF Gun 空洞。



写真2：BeCu コンタクト。

けられており、設定したところで停止する設計になっている。

## 2.2 カソード面のクリーニング

Mo プラグのカソード面はダイヤモンド研磨によって鏡面状態にされる。これは暗電流を減少させるためである。質の良い Cs<sub>2</sub>Te を形成するためには可能な限り不純物を取り除いた清浄な表面であることが望ましいので、本装置では 5 keV の Ar イオン銃でカソード面をスパッターし清浄な表面を作るイオンクリーニングを行うことにした。カソード面のスパッター量は 50nm 程度である。Mo プラグはその後、清浄な表面を維持したまま真空中を蒸着装置へと送られる。イオン銃を稼働しているときは Ar ガスを供給しているため真空度は 10<sup>-3</sup>Pa 程度にとどまる。このため、クリーニング用チェンバーをゲートバルブで他と隔離し、蒸着系への影響を最小限に抑える。また、バルブで区切られたことにより単独での大気開放ができ、外部との Mo プラグの出し入れが可能となる。

## 2.3 カソード形成

クリーニング後、Mo プラグは蒸着用チェンバーに搬送され、カソード面への Cs<sub>2</sub>Te 形成が行われる。Cs<sub>2</sub>Te は始めに Te、その上に Cs の蒸着を行うことで形成される<sup>[7][8]</sup>。蒸着中、カソード面は内径 10mm の穴のあいた板でマスクされ、カソード部の縁や BeCu コンタクトなど暗電流の原因になりそうな部分に不必要に電子放出源を作らないようにしている。

Te の蒸着量は約 15 nm で膜厚計でモニターしながら調整する。Cs の蒸着は量子効率を測定しながら最大 (~10%) で安定するまでおこなう。量子効率の測定は、回折格子で単色化された Xe ランプ光をカソード面に照射し引き出される電流を測定することで行う。Cs<sub>2</sub>Te 形成に要する時間は 90 分ほどであろう。

蒸着中の真空度は 10<sup>-7</sup>Pa 台を維持できるよう 400 l/s のイオンポンプを用いる。蒸着系と主軸系との間にゲートバルブが設けており、蒸着中の雰囲気の主軸側 (RF Gun 空洞側) に流れないように、また、素材の入れ替えや蒸着系の変更などで必要以上にシステムが大気開放されないようにしている。

## 2.4 カソードの搬送および保管

前述した各装置へのカソードの搬送は磁気カップリング式の直線導入機で行う。軸の先端に付けられたプラグ受けを Mo プラグの後ろから差し込み回転させてロックする。この際、プラグ自身は下方から台座で支持されており、軸の抜き差しや回転に対して抑えられている (図 3)。この台座も磁気カップリング式の直線導入機に取り付けられており、上下移動と回転ができる。

カソードプラグは前述したクリーニング部で出し入れする以外に、装置内 (真空中) に 5 個保管できるようにしてある。これにより条件の異なるカソードを短時間で RF Gun に装着し生成されたビームの評価をすることが可能となる。

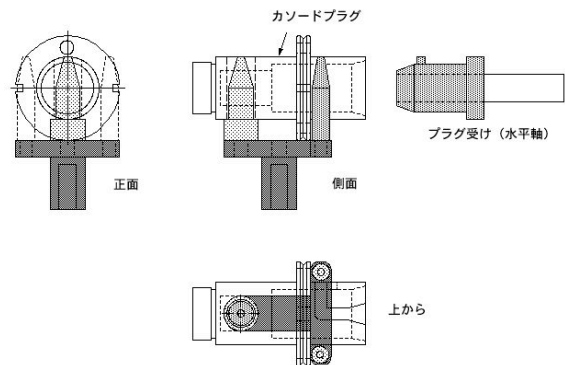


図 3 : カソードプラグ支持機構。

カソードプラグが設置や保管される場所での真空は、形成した Cs<sub>2</sub>Te の高い量子効率を維持するために酸素などの量を低減させることが重要である<sup>[9]</sup>。実際には 10<sup>-8</sup>Pa 台以下の真空を達成し対処する事になるが、できる限り大気開放することなく装置を維持することが効率の良い運転にとって大事である。

## 3. 今後の予定

本装置は 7 月中の組立、その後の Cs<sub>2</sub>Te カソードの形成試験を経て、9 月のビーム運転に備えるべく作業が進められている。Cs<sub>2</sub>Te カソードの寿命は真空中に強く影響を受けることが知られており、十分なベキ期間の確保と清浄なカソード面の維持に特に注意をしたい。ATF では 2 週間単位で運転と準備期間を繰り返しており、様々な条件を変えたカソードの試験を行い、その後にビーム加速運転を通して実践的に評価することができる。加えて、Cs<sub>2</sub>Te を越える量子効率を持つカソードの探索や暗電流低減化のための表面処理などを試験し、リニアコライダーなどで使用できる低エミッタンスマルチバンチ電子銃としての技術を確立させたいと考えている。

## 参考文献

- [1] M. Kuriki, et al., HEACC 2001, Tsukuba, P11c14. <http://conference.kek.jp/heacc2001/>
- [2] S. Schreiber, "Performance status of the rf-gun based injector of the TESLA test facility linac", EPAC 00, p309-311.
- [3] H. H. Braun, et al., "The photoinjector option for CLIC: Past experiments and future developments", PAC 2001, p720.
- [4] 長谷川他, "ATF におけるマルチバンチ RFGun を用いた実験", 本研究会 (7P-14).
- [5] 山崎他, "マルチバンチフォトカソード RF ガン", 本研究会 (7P-51).
- [6] E. Chevally, et al., "Production of a high average current electron beam with Cs-Te photocathodes", CTF3 Note020 (2001).
- [7] A. Di Bona, et al., J. Appl. Phys., 80 (5) (1996), p3024.
- [8] 古田他, "スピン偏極 RF-gun に向けた基礎研究", 第 24 回リニアック研究会, p192-194.
- [9] P. Michelato, et al., "Cs<sub>2</sub>Te photocathode for the TTF Injector II", EPAC 96.