

大電流電子源のための光陰極準備システムの開発

DEVELOPMENT OF A PHOTOCATHODE PREPARATION SYSTEM FOR A HIGH CURRENT ELECTRON GUN

西森信行[#], 永井良治, 松葉俊哉, 沢村勝, 羽島良一

Nobuyuki Nishimori[#], Ryoji Nagai, Shunya Matsuba, Masaru Sawamura, Ryoichi Hajima

JAEA, 2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka, Ibaraki, 319-1195

Abstract

We have developed a preparation system of alkali antimonides photocathode for a high current photo-electron gun. Design and fabrication of the cathode preparation system, and future plan of beam generation test with existing 250kV-50mA photocathode electron gun at JAEA are described.

1. はじめに

高輝度大電流光陰極電子源が注目を集めている。メガヘルツ繰り返しの X 線自由電子レーザー (LCLS-II) [1]、リソグラフィ用自由電子レーザー、核種分析用のコンプトン散乱線源[2]等、応用範囲が急速に広がりつつある。我々は光陰極直流電子源から世界初の 500keV 電子ビーム生成を達成することで高輝度化の目処を立てた[3]。ガリウムヒ素 (GaAs) 光陰極を用いて 1.8mA の電流生成を達成しているが、さらなる大電流化や長寿命化の観点からは光陰極表面の繊細さが不安視されている。そこで、大電流化を目指しマルチアルカリ光陰極の開発に着手した。近年コーネル大学で光陰極電子源として世界最大の 65mA ビーム生成[4]が達成され、大電流化の切り札として期待されている光陰極である。本発表では、原子力機構における光陰極準備システムの開発状況、既存の 50mA-250kV 電子源[5]と組み合わせた大電流試験計画について報告する。

2. マルチアルカリ光陰極準備システム

マルチアルカリ光陰極は常伝導 RF 電子銃で 32mA 生成[6]の実績を持ち、有用であることが知られていたが、RF 電子銃では CsTe (セシウムテルライド)、直流電子銃では GaAs が使われることが多く、使用実績は乏しかった。ところが、近年次世代放射光源のために大電流光陰極の要求が高まると、500nm 波長領域で高い量子効率を持ち、かつ NEA (負電子親和性) 表面の必要な GaAs よりも長寿命性能を持つ光陰極としてマルチアルカリ光陰極が注目を集めている。特にコーネル大学を中心とした研究開発により 65mA 電子ビーム生成[4]が報告され、20 年ぶりに光陰極電子銃の最大引き出し電流の記録が更新された。光陰極表面での初期エミッタンスに相当する熱エミッタンスも測定され、波長 530nm において 160meV が得られている[7]。GaAs の熱エミッタンス 120meV[8,9]と較べると 3 割増である。このことから、加速後の電子ビームエミッタンスも GaAs の 3 割増に過ぎないと期待されている。

このような状況下において、我々もマルチアルカリ光陰極の開発に乗り出した。250kV で最大 50mA まで電流引き出しの可能な光陰極電子銃を所有していることを最大限利用し、光陰極の長寿命化のための研究、高出力スミスパーセル放射光の生成などの研究に繋げて行きたいと考えている。

図 1 に設計したマルチアルカリ光陰極準備システムの外観図、図 2 に内部設計図を示す。短期間に装置立ち上げを実現するため、既存装置を利用し、500kV 電子銃で実績のある装置群のコピーを用いる。真空容器は我々の所有する MBE 真空装置を流用し改造した。光陰極パックは 500kV 電子銃用の GaAs 光陰極と同じものを用いた。パックホルダー、パック移送機構、回転テーブルも同様である。広島大でもマルチアルカリ光陰極準備装置の開発を進めている[10]が、お互いの互換性は保たれている。アンチモンとアルカリを成膜する基板として、GaAs を用いることを検討している。マルチアルカリ光陰極の成膜は、基板を加熱しながらアルカリ金属とアンチモンを蒸着することで行う。加熱用のヒーターは

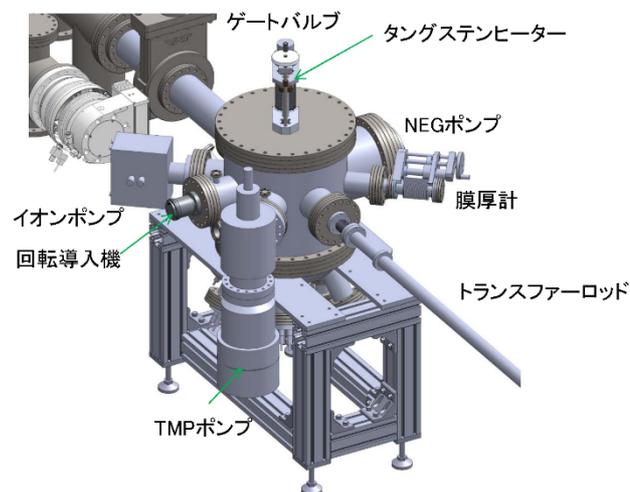


図 1 : 設計したマルチアルカリ光陰極準備システム外観。

[#] nishimori.nobuyuki@jaea.go.jp

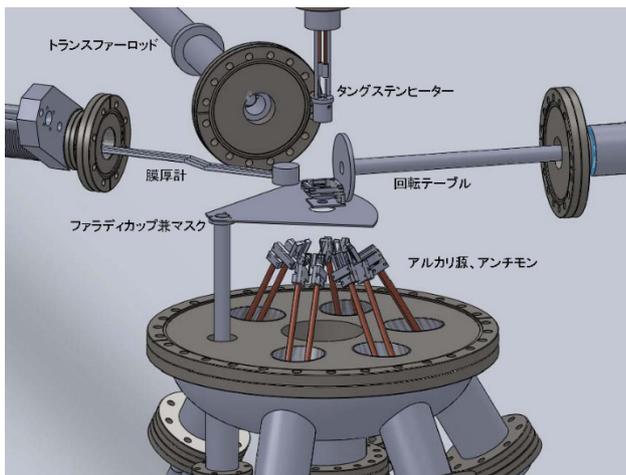


図2：マルチアルカリ光陰極準備システム内部の設計。回転テーブルの光陰極パックをタングステンヒーターで加熱しながらアルカリ源を用いて成膜する。

500kV 電子銃と同じものを製作した。成膜用のアルカリ源はコーネル大学で実績[11]のある Alvacet 社のものを購入した。図2に示すように蒸着源用にポートが5つ備わっている。将来的には様々なアルカリ源の組み合わせで成膜したいと考えているが、最初は広く用いられているセシウムとカリウムで試験を開始する予定である。

真空系はタンデムターボとスクロールポンプの組み合わせで粗排気を行い、ベーキング後に 800 l/s の NEG ポンプの活性化と 50 l/s のイオンポンプを起動する。ターボポンプヘッドのバルブを閉めて、粗排気系と分離する。

図3右に現状のマルチアルカリ光陰極準備装置の写真を示す。ヒーター、回転テーブル、パック、

パックホルダーアルカリ源ホルダー、トランスファーロッドなど主要な構成部品の発注は終わっており、一部納入済である。既存の MBE 装置は大型のイオンポンプ用の真空容器にぶら下がる形で使用されていた。これを単独で使用するため、専用の架台を設計し、真空容器の載せ替えを行った。今後は 250kV 電子銃への接続、真空排気、マルチアルカリ光陰極の試作を計画している。

3. 250kV-50mA 電子銃への接続

我々の目標は、大電流低エミッタンスビーム生成に適した光陰極を開発することである。そのために、実際に光陰極から大電流ビームを取り出し、成膜した光陰極寿命の測定、熱エミッタンスなどの基本的なビーム性能の測定を行う。そこで、マルチアルカリ光陰極準備システムを図3に示す既存の 250kV-50mA 電子銃に接続し、ビーム生成試験を早期に実現することを計画している。電子銃ビームラインでは、ファラディカップによる電流計測、スリットスキャン装置によるエミッタンス計測[5]、偏向空洞による電子バンチ幅測定が可能である[12]。また、回折格子をインストールして高出カスミスパーセル放射光源として利用することも検討している[13]。電子銃、及び GaAs 光陰極準備システムについては、ベーキングと NEG ポンプの活性化が実施され、真空度 2×10^{-9} Pa の極高真空状態に保たれている。

4. まとめ

次世代放射光源用電子銃の光陰極の長寿命化を目的として、マルチアルカリ光陰極の開発に着手した。既存の MBE 用真空容器をベースとして設計、製作を開始している。既存の 250kV-50mA 電子銃に接続し、早期のビーム生成試験を目指している。

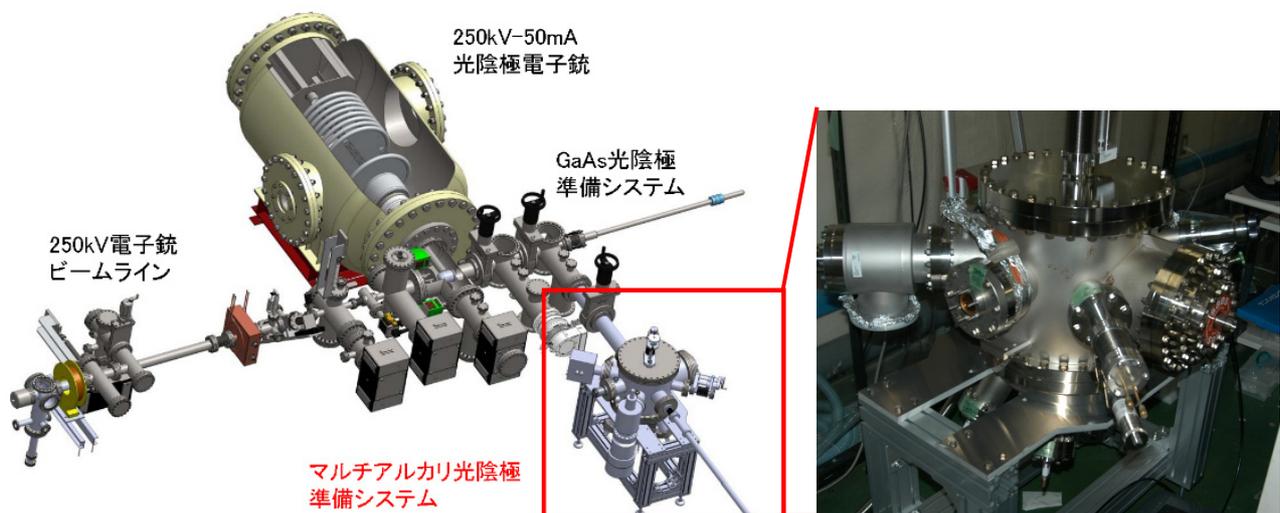


図3：既存の 250kV-50mA 光陰極電子銃の GaAs 光陰極準備システムに、新たにマルチアルカリ光陰極準備システムを接続する。トランスファーロッドで光陰極を電子銃に移送しビーム試験を行う。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省受託研究：光・量子融合連携研究開発プログラムの成果である。

参考文献

- [1] LCLS-II
https://portal.slac.stanford.edu/sites/lcls_public/lcls_ii/Pages/default.aspx
- [2] R. Hajima et al., Eur. Phys. J. Special Topics 223, 1229 (2014).
- [3] 永井良治、西森信行、山本将博、「500kV 直流光陰極電子銃の開発」、本プロシーディングス (2014).
- [4] B. Dunham et al., Appl. Phys. Lett. 102, 034105 (2013).
- [5] R. Nagai et al., RSI 83, 123303 (2012).
- [6] D. H. Dowell et al., Appl. Phys. Lett. 63, 2035 (1993).
- [7] L. Cultrera et al., Appl. Phys. Lett. 99, 152110 (2011); I. Bazarov et al., Appl. Phys. Lett. 98, 224101 (2011).
- [8] S. Matsuba et al., JJAP 51, 046402 (2012).
- [9] I. Bazarov et al., J. Appl. Phys. 103, 054901 (2008).
- [10] 清宮裕史 他、「マルチアルカリ高量子効率・高耐久フォトカソードの研究」、本プロシーディングス (2014).
- [11] L. Cultrera, "Fabrication, characterization and use of alkali antimonides in a dc gun", P3 Workshop, Oct. 2012.
<http://www.lepp.cornell.edu/Events/Photocathode2012/WebHome.html>
- [12] 永井良治 他、「光陰極時間応答性測定のための偏向空洞」、第 9 回加速器学会プロシーディングス, 656 (2012).
- [13] 西森信行 他、「光陰極電子銃を用いたスミスパーセル放射光実験」、日本物理学会 第 69 回年次大会, 東海大学 2014 年 3 月.