

## DEVELOPMENT STATUS OF A 250KV-50MA PHOTOCATHODE DC-GUN AT JAEA

Hokuto Iijima<sup>1,A)</sup>, Ryoji Nagai<sup>A)</sup>, Nobuyuki Nishimori<sup>A)</sup>, Ryoichi Hajima<sup>A)</sup>, Eisuke Minehara<sup>B)</sup>, Tomohiro Nishitani<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> Energy Recovery Linac Development Group, Japan Atomic Energy Agency

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

<sup>B)</sup> Advanced Photon Source Development Unit, Japan Atomic Energy Agency

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

<sup>C)</sup>RIKEN 2-1, Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198

### Abstract

We report the development status of an NEA-GaAs photocathode DC-gun for an energy recovery linac (ERL) light source. The next generation ERL light source requires large current, low emittance and ultra-short bunched electron beams to generate high brightness, coherent and ultra-short X-rays. We have developed a 250kV-50mA DC photocathode gun employed a GaAs-based semiconductor for the ERL light source. The GaAs cathode is activated the surface to negative electron affinity using cesium and oxidation..

## 原子力機構における250KV-50MAフォトカソードDC電子銃開発の現状

### 1. はじめに

我々のグループは、次世代放射光源としてエネルギー回収型の加速器 (ERL) を利用した光量子源の研究開発を行なっている。現在は実機 (5~6 GeV) 建設に向けて、そのための実証器 (数百MeV) 開発を、高エネルギー加速器研究機構に推進室を設置して進めている<sup>[1,2]</sup>。このERL放射光源を実現するための重要な開発要素の1つに電子銃がある。我々はNEA-GaAsフォトカソードを用いたDC電子銃を採用することで大電流、および極低エミッタンスのビームを実現するべく、その開発を開始した<sup>[3]</sup>。大電流と低エミッタンスの電子ビームを実現するためには、カソードの量子効率が高く、熱エミッタンスの低いものを用いる必要がある。こうした条件を満たすカソードとしては負電子親和力 (Negative Electron Affinity, NEA) 表面のGaAsカソードが知られており、これまでにその量子効率は6%程度が実証されている<sup>[4]</sup>。しかし、電流値100mAを達成するために、使用するレーザーの波長として795nmを仮定すると必要なレーザーパワーは約3.1Wとなるため、もう少し高い量子効率が望ましい。そこで従来のNEA-GaAsよりもバンドギャップの大きいAl混晶のものを使うことで量子効率を向上させることを提案してきた<sup>[5]</sup>。また、量子効率を上げ、大電流を引き出すことで熱エミッタンスが大きくなることが予想されるが、これを回避するためにカソードを超格子構造にすることも検討している<sup>[5]</sup>。

一方、カソードの寿命に関しては、カソード付近の真空度に強く依存することが知られている<sup>[6]</sup>。こ

れはカソードからの電子ビームがカソード電極付近の残留ガスをイオン化し、これがカソード表面を叩き、結果NEA表面を壊すことで寿命が短くなると考えている。我々が目標とする100mAは参考文献[4]の場合 (9mA) よりも10倍程度高い電流値であるためカソード付近の真空度はより高いものが求められ、ある程度寿命を保持するためには真空度を $10^{-10}$  Pa程度にする必要があると評価した<sup>[7,8]</sup>。

以上のような観点から、NEA-GaAsが電子銃のカソードとしてERLに必要な性能を出せることを実証するために、250keV DC-電子銃の開発を開始した。なお、実機での電子銃は500kV, 100mAを検討している<sup>[9]</sup>。

### 2. 250keV電子銃開発の現状

#### 2.1 電子銃本体

電子銃本体の基本設計は、これまで我々が開発してきたJAEA ERL-FEL加速器の電子銃<sup>[10]</sup>を基にしている。図1は開発中の電子銃の概念図である。高電圧発生部は対称型6段のCockcroft-Walton型電源を用いており、この出力 (250kV, 50mA) が電子銃の性能を決めている。高電圧の絶縁は、SF6ガス (ガス圧~2.0 kgf/cm<sup>2</sup>) を充填したタンク内に高電圧発生部を収納する形式を取っている<sup>[3]</sup>。

<sup>1</sup> E-mail: iijima.hokuto@jaea.go.jp

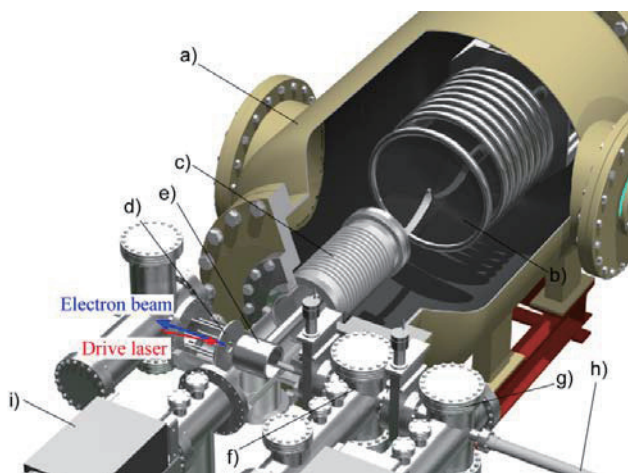


図1：電子銃概念図 a) SF6 ガスタンク、b) Cockcroft-Walton型電源、c) セラミック管、d) アノード電極、e) カソード電極、f) ロードロックチェンバー、g) プレパレーションチェンバー、h) トランスファーロッド、i) イオンポンプ

図2は組立てを完了した電子銃本体の写真である。ここではCockcroft-Walton電源を収納したタンクをはずしている。

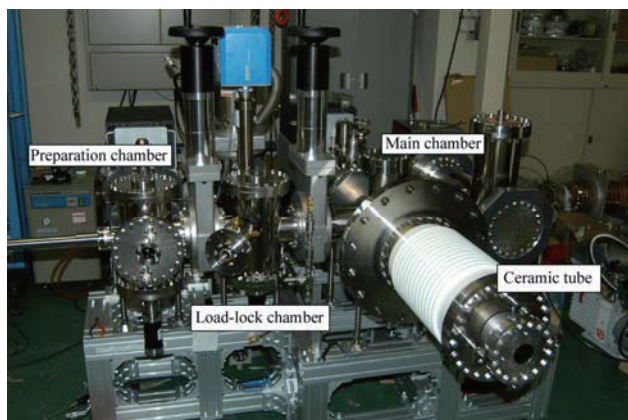


図2：組立てを完了した電子銃本体。

電子銃本体は電極が設置されるメインチェンバー、GaAsカソードをインストールするロードロックチェンバー、NEA表面を作るプレパレーションチェンバーから構成される。これらのチェンバーは真空を考慮してチタン製のものにした。各チェンバーにはそれぞれ、メインチェンバーに2台の200 l/sイオンポンプと2000 l/sのNEGポンプ、ロードロックチェンバーに300 l/sターボポンプと1700 l/sクライオポンプ、プレパレーションチェンバーに500 l/sイオンポンプと2000 l/s NEGポンプを設置した。

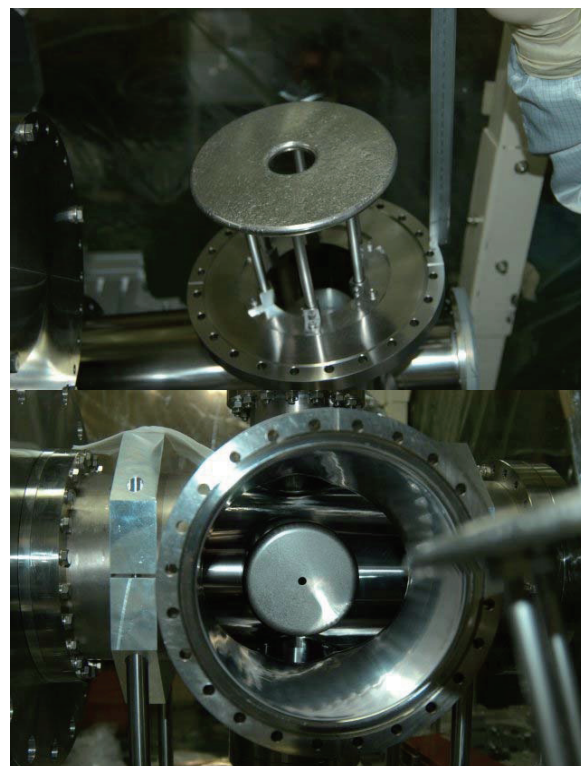


図3：アノード電極（上）とメインチェンバー内に設置されたカソード電極（下）

## 2.2 ロードロックシステム

カソードとアノード電極の形状に関しては、それが電子ビームのエミッタンスに寄与することからいくつかの形状と材質の組合せを試す予定である。現在は両電極ともチタン製のものを用いている。今回アノード電極のサイズは $\phi 180\text{mm}$ 、開口部 $\phi 40\text{mm}$ 、カソード電極は $\phi 120\text{mm}$ とし、ギャップサイズは $40\text{mm}$ で設置した（図3参照）。

図4の写真はGaAsカソードを各チェンバーに輸送する際に使用するカソードホルダー一式である。

タンタルキャップを除く全ての部品はチタンで作成した。GaAsは最初、カソードホルダーにマウントされ、タンタルキャップ（開口径 $\phi 8\text{mm}$ ）により固定される。このホルダーはトランスファーロッドの先端にはジョイントおよびカソード電極に取り付けたホルダー受けに対して、トランスファーロッドの回転により脱着可能で、真空状態での各チェンバー間の搬送にはこれを用いている。

GaAsカソードの電極へのインストールまでの手順は、おおよそ、次の通りである。ホルダーにマウントしたGaAsを、1) 大気開放したロードロックチェンバー内に設置。2) 真空にひいた後、加熱洗浄によりGaAs表面を保護している砒素を除去。3) ゲートバルブを開放して、トランスファーロッドによりプレパレーションチェンバーに搬送。4) セシ

ウムと酸素によりNEA表面の作成。5) カソード電極へ搬送。この搬送に関しては、大気中ではあるが、スムーズにできることを確認した。

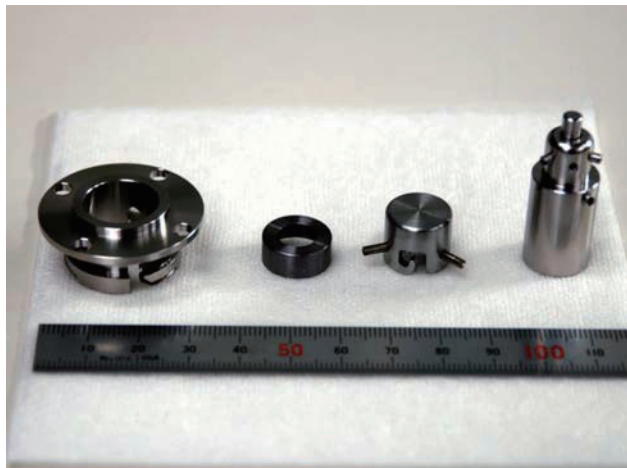


図4：カソード運搬のためのホルダー一式の写真。左から、ホルダー受け、タンタルキャップ、カソードホルダー、ジョイント。

### 2.3 高電圧印加試験

昨年度までに無負荷状態で試験を行い、設計値の250kV印加を確認している<sup>[3]</sup>。本年度は実際にカソード電極への印加試験を行なった。

我々が使用しているCockcroft-Walton型の高圧電源は出力電圧のリップルをコンパクトな形状を保ったまま出力電圧のリップルを低減させるために、出力部にLCフィルターを採用している。実際、このフィルターは100kV印加に対して電圧変動を48Vp-pに抑えおり、この値はほぼ設計通りのもであった<sup>[11]</sup>。このフィルターを構成するコイルおよび出力抵抗も小型のもの採用したため、各素子単体では放電による過電流・電圧に対する十分な耐性を得られないため、それぞれの素子には並列にサージアブゾーバを取り付けてある。そのためCockcroft-Waltonを構成するダイオードに負担がかかり、結果、これが破損するという現象が確認された。

幸い、SF<sub>6</sub>タンク内にはまだ十分な空間があるため、出力抵抗の許容電力量を十分に大きなもの（定格電力30W、耐インパルス電圧35kV × 10本）と交換し、高電圧試験を再開する。

### 2.4 レーザーとソレノイドコイル

電子ビーム引出しのためのレーザーは最初、He-Neレーザーを使用することとした。エミッタンスの増大を抑えるためにカソードへのレーザー照射はいわゆる正面入射とし、現在、その設計・製作を行なっている。また、電子ビーム引出しの際のエミッタンス補償を行なうソレノイドコイルの設計および製作を行なった<sup>[12]</sup>。

## 3. まとめと今後

我々のグループは次世代光量子源のための電子銃としてNEA-GaAsカソードを用いた250keV-50mA DC-電子銃の開発研究を行なっている。これまでに電子銃主要部の組立を終え、現在その性能試験を開始している。

高圧発生部に関してはCockcroft-Waltonを構成するダイオードを保護する目的で出力部の回路変更を行っており、ごく近い将来に完了する予定である。また、現在は真空試験を行なっている。

電子ビーム引出しのためのレーザー導入ポート設計と製作、また、エミッタンス補償のためのソレノイドコイルの製作を行い、年内には最初のビーム引出し試験を予定している。

## 参考文献

- [1] <http://pfwww.kek.jp/ERLOffice/>
- [2] 河田洋、他、“ERL計画の現状”、本論文集。
- [3] H. Iijima, et al., Proc of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 529(2006)
- [4] C. Hernandez-Garcia, et al., Proc. of PAC '05 p.3117
- [5] T. Nishitani, et al., Proc of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 45(2006).
- [6] T. Siggins, et al., Nucl. Instrum. & Meth. Phys. Res. A, 475(2001)549
- [7] R. Nagai, et al., Proc of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 559(2006).
- [8] F. Furuta, et al., Nucl. Instrum. & Meth. Phys. Res. A, 538(2005)33.
- [9] R. Hajima, et al., Proc of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 753(2006).
- [10] N. Nishimori, et al., Nucl. Instrum. & Meth. Phys. Res. A, 445(2000)432.
- [11] 永井良治、他、“ERL放射光源用DC電子銃に必要なされる高電圧安定度”、本論文集。
- [12] 永井良治、他、“DC光陰極電子銃のためのエミッタンス補償用ソレノイド”、本論文集。