

DEVELOPMENT STATUS OF PHOTOCATHODE DC-GUN FOR ERL LIGHT SOURCE

Hokuto Iijima^{1,A)}, Tomohiro Nishitani^{A)}, Ryoji Nagai^{A)}, Ryoichi Hajima^{A)}, Eisuke Minehara^{B)}

^{A)} Energy Recovery Linac Development Group, Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

^{B)} Advanced Photon Source Development Unit, Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

Abstract

We report the development status of an NEA-GaAs photocathode DC-gun for an energy recovery linac (ERL) light source. The ERL light source requires large current, low emittance and ultra-short bunched electron beams to generate high brightness, coherent and ultra-short X-rays. In order to realize the high quality beams, the NEA-GaAs photocathode was chosen as the electron source, and the construction of the DC-gun started at Japan Atomic Energy Agency (JAEA) to evaluate the performance of the quantum efficiency, the lifetime and the thermal emittance. The gun was designed on the basis of JAEA ERL-FEL to provide the beam with the energy of 250 keV and the average current of 50 mA. Until now, a conditioning of high voltage power supply was finished and the target voltage of 250kV was accomplished.

ERL光量子源のためのフォトカソード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。現在この研究は実機 (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^[1]。

本加速器では、それぞれ、大強度、コヒーレント、極短パルスのX線を供給するために表1に示すような3つのモードを切り替えて加速器を運転する。この3つの運転モード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しようとし、現在その研究開発を原子力機構 (東海) で行なっ

ている。

2. NEA-GaAsフォトカソード

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5%程度が実証されている^[3]。しかし、カソードをドライブ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、電流値100mAを達成するには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

モード	大電流	極低エミッタンス	極短パルス ^[2]
応用		コヒーレントX線	超高速科学実験
電流値	100mA (77pC×1.3GHz)	10mA (7.7pC×1.3GHz)	<10mA (<1.3 GHz)
エミッタンス	数mm・mrad	0.1 mm・mrad	数mm・mrad
バンチ幅	数ps	数ps	100 fs

表1: 次世光量子源における3つの加速器運転モードの比較

¹ E-mail: iijima.hokuto@jaea.go.jp

上させることを試みている。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^[4]。

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。例えば、参考文献[3]ではNEA-GaAs寿命が取出し電流に依存することを報告している。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[3]の場合(5mA)よりも20倍も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^[5]。

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。

3. 250keV電子銃開発の現状

3.1 250keV電子銃の設計

実機での電子銃は500kV, 100mAを検討しているが、現状の電子銃はテストベンチという位置付けで、最大電圧250kV、電流値50mAとして開発を開始した。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^[6]を基にしている。図1は開発中の電子銃の概念図である。

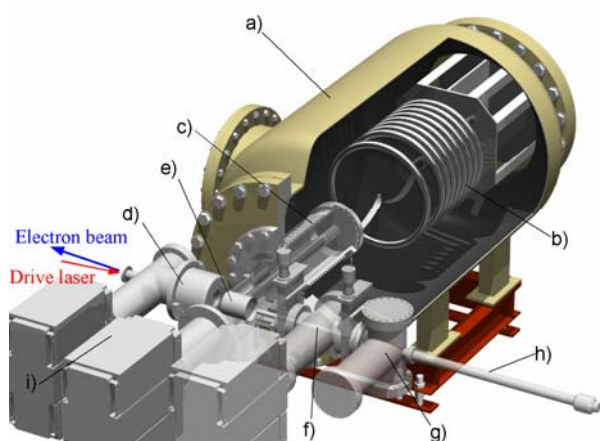


図1：電子銃概念図 a) SF6ガスタンク、b) コッククロフト、c) セラミック管、d) アノード電極、e)カソード電極、f) NEA表面活性化チェンバー、g) ロードロックチェンバー、h) トランスファーロッド、i) イオンポンプ 500I×2, 200I×1

高電圧発生部は対称型6段のコッククロフトを用いており、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/cm²)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。今回このタンクはSUSではなく鉄製とした。このため錆止め塗料を塗布したが、タンク内側に関しては電導性を持つ亜鉛塗料(膜厚80 μ mで210 Ω)を使用している。

タンク内に収納されたセラミック管(セラミック部の長さ36cm、内径19cm)は、SF6ガス雰囲気と真空部分を仕切るとともに、真空チェンバーに対する絶縁を取っている。セラミック管内部にはロッドが通っており、これを通じてカソード電極に高電圧が印加される。

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。当面は両電極ともSUS製のものをを用いるが、TiやMo製のものも検討している^[7]。

GaAsカソードはロードロック方式により、電子銃と一体化した真空槽内でNEA表面に仕上げたGaAsを電極に導く方式とした。このためロードロックの方向に対してカソード電極への高圧印加は直角方向からなされる。

カソードへのレーザー照射はいわゆる正面入射を検討している。当面のカソードの評価はHe-Neレーザー($\lambda=633$ nm, CW)およびTi:Sapp($\lambda\sim 800$ nm, 80MHz)で行なう。

3.2 高圧部試験

図2はコッククロフトの試験を行なったときの印加電圧に対する出力電流値のプロットである。

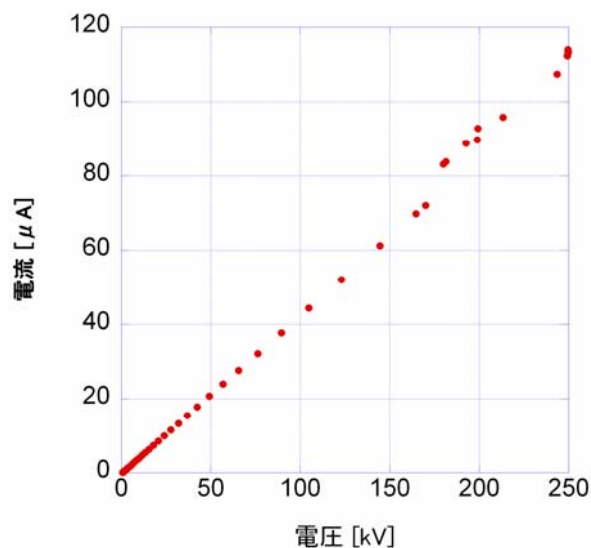


図2：無負荷状態での高圧印加に対する出力電流

この試験はコッククロフトのみをSF6ガスタンク内に収納し、SF6ガスのガス圧を2 kgf/cm²として、

250kV印加の確認を行なった。図2からも見て取れるように、250kV印加時の電流出力は110 μ Aで、そこまでの電圧-電流の特性は線形である。無負荷状態での250kV印加に対する出力電流の設計値は100 μ Aであり、この値はコッククロフトを構成するフィードバック抵抗によって決まっている。したがって、極度な電圧降下を起こすような漏洩電流やコロナ放電はなかったといえる。

また現在までに、セラミック管を導入した状態での印加試験を行なっている。この際、セラミック管内部は真空である必要があるために、タンク外側にカソードチェンバーとしてのTi製のクロス管を接続し、これをTMPとロータリーポンプの組み合わせで真空引きを行なった。試験の際の真空度は 3×10^{-5} Paであった。印加中の放電の有無に関してはクロス管付近の真空度、コッククロフトからの出力電流、およびサーベーターによるタンク付近の放射線をモニタリングすることで行なった。250kV印加までの間にはセラミック管およびTiクロス管でわずかな放電が起こったが、250kV到達後はすぐに放電もおさまり、安定して電圧を印加できた。

4. 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 DC-電子銃の開発研究を行なっている。現在は、カソード、電子銃本体、ロードロック機構の開発を平行して行なっている。

電子銃タンク本体に関しては、高電圧部の試験を行い、無負荷状態で設計値の250kV出力を確認した。また、セラミック管をつないだ状態での高圧印加試験も行い最大電圧の印加を確認した。

今後、カソード・アノード電極の設計を終え、これを挿入した状態での印加試験を行なう。また、フォトカソード、電子銃ロードロックシステム、電子銃高圧発生部を組み合わせた試験を行なう。

参考文献

- [1] [http:// pfwww.kek.jp/ERLoffice/](http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/)
- [2] H.Iijima and R. Hajima, Nucl. Instrum. & Meth. Phys. Res. A, 557(2006)213
- [3] T.Siggins, et al., Nucl. Instrum. & Meth. Phys. Res. A, 475(2001)549
- [4] 西谷智博、他、“高輝度NEA-AlGaAsフォトカソード電子源の開発”、本研究会
- [5] 永井良治、他、“ERL放射光源のためのロードロック型電子銃の設計”、本研究会
- [6] N. Nishimori, et al., Nucl. Instrum. & Meth. Phys. Res. A, 445(2000)432
- [7] F. Furuta, et al., Nucl. Instrum. & Meth. Phys. Res. A, 538(2005)33.