

JAERI 200kV ELECTRON GUN WITH AN NEA-GaAs PHOTOCATHODE

T.Nishitani¹, E.J.Minehara, R.Hajima, R.Nagai, M.Sawamura, N.Nishimori, N.Kikuzawa, T.Yamauchi
FEL Lab., Advanced Photon Research Center, Kansai Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute
2-4 Shirakata shirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1195 JAPAN

Abstract

The photocathode DC-gun with high average current, low beam emittance and long operational lifetime is considered to be indispensable for ERL-FEL. We have started the developmental program of a 200keV electron gun with the NEA-GaAs photocathode for the first time in JAERI. In order to long an NEA surface lifetime, the JAERI 200kV electron gun system consists of a 200kV DC-gun chamber on extreme high vacuum condition and an NEA activation chamber with load-lock system. We report the goal of photocathode DC-gun R&D and the schedule of a developmental program.

NEA-GaAsフォトカソードを用いた原研200kV電子銃の開発

1. はじめに

既存技術より数桁高い高出力高輝度を実現する ERL-FELや第4世代 ERL-LSは、入射器特に電子源の桁違いに高い電流、微小エミッタンス性能によってその桁違いの高性能を実現する。このキーテクノロジーとなる電子源は大きいビームカレント、小さい初期エミッタンスが必要である。このような電子源として、Negative Electron Affinity表面 (NEA表面) を形成した GaAs型半導体フォトカソードは有力な候補である。10%以上の高い量子効率を得られ、励起レーザーをバンドギャップに近い波長を選択することで初期エミッタンスを小さくできるといった利点を持つからである。^[1]

我々は、このようなフォトカソード電子銃として、繰り返し1.3GHz、77pC/bunch (平均電流100mA) の構造を持つ超低エミッタンス (<0.5mm・mrad) の200keV電子ビーム生成を目指したNEA-GaAsフォトカソードを用いた200keV電子銃の開発を開始した。

1. NEA表面寿命

NEA表面の長寿命化には、NEA表面層厚が数μmで形成するため、安定したNEA表面形成をするように活性化前のフォトカソード表面が清浄状態であること、NEA表面の劣化を抑制することが要求される。

フォトカソード表面は、真空チャンバー導入前に大気中に曝されているため、表面は酸化物や炭化物などの不純物で覆われている。このため結晶表面を清浄化する方法として、真空チャンバーへ導入後に加熱洗浄や水素洗浄^[2]などの表面洗浄処理が主流となっている。

NEA表面劣化には、真空チャンバー内の水や二酸化炭素などのフォトカソード表面への残留ガスの吸着による劣化やアノード・カソード電極間の電界放出暗電流によるイオンバックボンバードメントによる劣化がある。電界放出暗電流には、電極の表面処

理と材質の特性によるものとNEA表面活性化時に生成したセシウム原子吸着によるカソード電極の仕事関数の低下によるものがある。

これらNEA表面劣化は、電極周辺を極高真空にし (残留ガス吸着の抑制)、電界放出暗電流特性の良い電極を選び、更にNEA表面活性化チャンバーと電極チャンバーとに分け、ロードロック方式を採用する (電界放出暗電流の抑制) ことで抑制できると考えられる。

2. 原研200kV電子銃

NEA表面長寿命化の条件をまとめると、

- (1) NEA表面活性化前のフォトカソード表面が清浄であること。
 - (2) チャンバー内の残留ガスを抑制すること。
 - (3) 電界放出暗電流を抑制すること。
- が要求される。

この条件を満たす電子銃として、NEA表面を作成できるように改良を加えたMBE装置 (分子線エピタキシー装置; Molecular Beam Epitaxy) と極高真空の200kV電子銃をロードロック方式で組み合わせた原研200kV電子銃の開発を開始した。

この電子銃はNEA表面活性化チャンバーとしてMBE装置を用いることで、真空中でGaAs基板上にフォトカソードを作成できるため、フォトカソード表面の洗浄処理そのものが不必要となる。

原研200kV電子銃の構成は、図1に示すようMBE装置、200kV電子銃チャンバー及びモードロックレーザーシステムからなる。GaAs基板をバルブAより大気側からインストールし、バルブA,B間で予備排気した後、トランスファーロードでMBEチャンバーへ搬送し、その後結晶成長しNEA表面活性化を行い、バルブCを介し200kV電子銃チャンバーへ搬送する。

¹ E-mail: nisitani@popx.tokai.jaeri.go.jp

2.1 NEA表面活性化システム装備のMBE装置

MBE装置は、エイコーエンジニアリング製MBE装置EV-10Sを用いる。このメインチャンバーは、ロータリーポンプ、ターボポンプを用い100時間の200 ベーキングの後、イオンポンプ及びチタンサブリーメーションポンプにより 10^{-8} Paオーダーの超高真空を作成でき、NEA表面形成のための必要条件を満たしている。

メインチャンバー内には基板加熱機構（抵抗加熱）の付いたマニピレータを備えており、トランスファーロッドでフォトカソードホルダーをマニピレータに装着し、フォトカソード結晶の成長、NEA表面活性化（セシウム、酸素の蒸着）を行う。

NEA表面活性化したフォトカソードはトランスファーロッドにより200kV電子銃チャンバーへと搬送し、カソード電極に背後から装着する。

2.1 200kV電子銃チャンバー

極高真空を作成するには、電子銃チャンバー容積を小さくする必要がある。このためカソード・アノード電極を小さく設計し、フォトカソードを励起レーザー直径2mmより十分大きい直径5mmとし、カソード・アノード電極間距離30～50mm、アノード穴～20mmとする。電極形状についてはEGUN等のビームシミュレーションコードを用いて設計中である。電極材質には、近年電界放出暗電流抑制に有望であると考えられる表面清浄化を施したTiやMo^[2]を考えている。

真空作成には100時間、200 ベーキングを行い、その後イオンポンプ500l/s(912-7050：ANELVA)に加え、非蒸発型ゲッターポンプ（GP2000またはSNEG：SAES GETTERS）を使用し、極高真空（ $\sim 10^{-10}$ Pa）の実現を目指す。真空度測定には、 10^{-10} Pa

オーダーの極高真空まで測定可能なエクストラクタ真空計（IONIVAC IM540：LEYBOLD VACUUM）を使用し、残留ガス分析には、Q-Mass分析器（AQA-100 MPX：ANELVA）を使用する。

高電圧電源は、最大電圧200kV、最大電流18mAの性能を持つ200kV電源（PK200N18：グラスマンハイポルテージジャパン）を使用する。絶縁用セラミックは長さ360mmのものを使用する。

2.1 モードロックレーザー

フォトカソード用励起レーザーは、5WのArレーザー（BeamLok 2060-7s：Spectra Physics）をポンプレーザーとした繰り返し83MHzのモードロックTi:Sapphireレーザー（TSUNAMI：Spectra Physics）を用いる。フォトカソードへのレーザー照射は、アノード後方からアノード穴から行う。

TSUNAMIは波長790nmで最大500mWの出力があり、GaAsフォトカソードをレーザー照射したとき量子効率10%とすると最大16mAのビームカレントを得ることになる。

3．今後の予定と課題

当面の目標を繰り返し83MHz、77pC/bunch（平均電流6.2mA）の200keV電子ビーム生成とし、表1には今後の作業予定を示す。現在はカソードホルダー、アノード・カソード電極形状と200kV電子銃チャンバーの設計、MBE装置の真空試験を行っている。

今後の課題として、引き出した電子ビーム評価として、パンチ幅やエミッタンスの測定系作製の検討を行う。

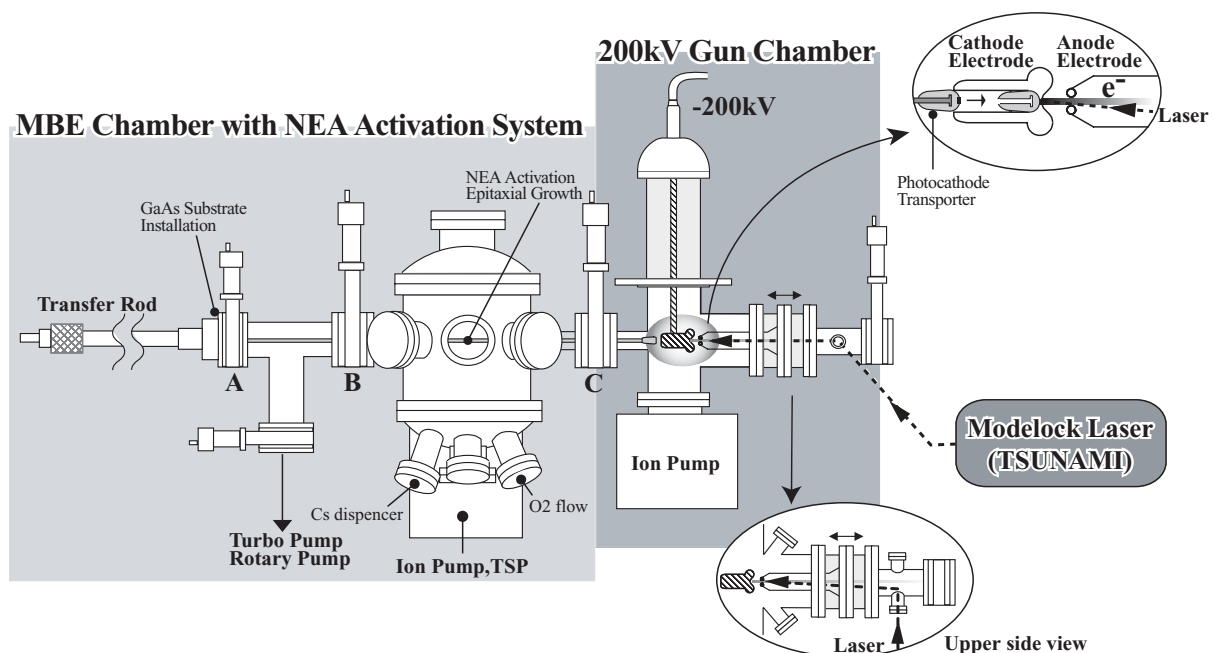


図1：原研200kV電子銃

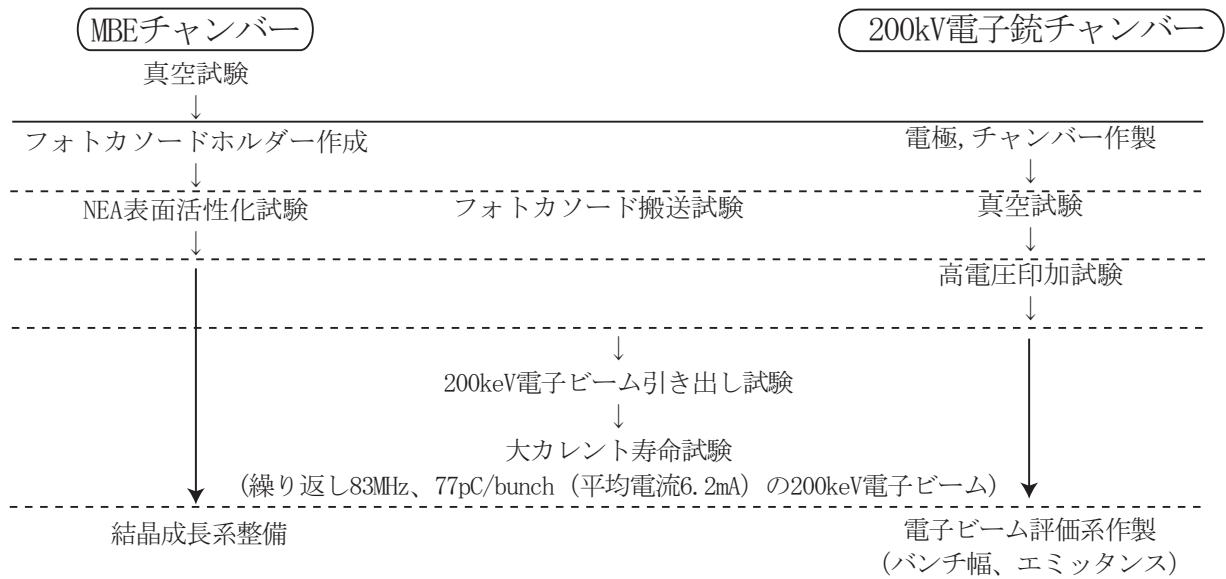


表1：200keV電子ビーム生成までの作業予定

参考文献

- [1] S.M.Gruner and M.Tigner, eds., "Study for a proposed Phase I Energy Recovery Linac Synchrotron Light Source at Cornell University, CHES Technical Memo 02-003, JLAB-ACT-01-04, 2001
- [2] M.Yamamoto, et al., "Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, July. 30-Aug. 3, 2003, P99-101
- [2] F.Furuta, et al., "Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, July. 30-Aug. 3, 2003, P111-113