

DESIGN OF A LOAD-LOCKED GUN FOR AN ERL LIGHT SOURCE

R. Nagai^{1,A)}, H. Iijima^{A)}, T. Nishitani^{A)}, R. Hajima^{A)}, N. Nishimori^{A)}, M. Sawamura^{A)}, N. Kikuzawa^{A)}, E. Minehara^{B)}^{A)}Energy Recovery Linac Development Group, Japan Atomic Energy Agency

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

^{B)}Advanced Photon Source Development Unit, Japan Atomic Energy Agency

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

Abstract

An NEA-GaAs photocathode electron gun R&D program for a next generation light source based on an energy-recovery linac is in progress at Japan Atomic Energy Agency (JAEA). For the preparation and operation of the NEA-GaAs photocathode, extremely high vacuum (XHV) system is required. To maintain easily the XHV system, a load-locked gun system is employed and designed. The load-locked gun consists of a load-lock and heat-cleaning chamber, a NEA preparation chamber and a main gun chamber. The estimated ultimate vacuum of the load-lock chamber, the preparation chamber, and the main gun chamber are 3.0×10^{-10} Pa, 2.0×10^{-10} Pa, and 2.9×10^{-10} Pa, respectively.

ERL放射光源のためのロードロック型電子銃の設計

1. はじめに

原子力機構ではエネルギー回収型リニアック (ERL) をベースとした次世代放射光源のための低エミッタンス大電流の電子ビームを供給できる電子銃の開発を行っている^[1]。NEA-GaAsを光陰極としたDC電子銃をその最有力候補と考え、この電子銃の実証試験を進めている。NEA-GaAsは非常にデリケートであり、これを長時間にわたり安定に動作させるためには非常に高い真空度が要求されている^[2]。

試験機においてはNEA-GaAsの交換や再活性化を頻繁に行うことが考えられることから、目的の真空度を得るためのベーキングの時間を出来るだけ短くし、高電圧端子へのセシウムの付着による高電圧の不安定性を回避するためにロードロック方式を採用することとした。NEA-GaAsの調整・運用に必要な真空度の見積もりとその真空度を得るためのチャンバおよびポンプについての設計・検討を行った。

2. 必要な真空度についての検討

NEA-GaAs光陰極の調整は、通常、GaAsの表面を真空チャンバ中で過熱洗浄し表面を清浄にした後にセシウムと酸素の蒸着によりNEA化を行う。この過熱洗浄後からNEA化する間は真空中の残留ガス等による汚染がないことが望ましいが、どの程度の真空度であれば残留ガスによる汚染が無視できるかを検討してみる。

気体分子の衝突回数 (入射頻度) Z_n は

$$Z_n = \frac{2.6 \times 10^{24} \times P}{(M \times T)^{1/2}} \quad [\text{個}/\text{m}^2 \cdot \text{s}]$$

で表され、 P は圧力[Pa]、 M は分子量、 T は温度[K]である。厳密には各気体の分圧から各気体の衝突回数

を考えなければならないが、大雑把に窒素の分子量で考え $M=28$ 、圧力 $P=1 \times 10^{-7}$ Pa、温度 $T=300$ Kとすると気体分子の衝突回数は $Z_n=2.84 \times 10^{15}$ 個/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}$ となる。

一方、固体表面の原子数はおよそ 1×10^{19} 個/ m^2 なので一回の衝突で表面に吸着するとすれば表面を気体分子が覆うのに要する時間は $1 \times 10^{19} / 2.84 \times 10^{15} = 3521$ sとなり、清浄表面は1時間程度しか保たれないことになるので、過熱洗浄およびNEA化を行う部分の真空度は少なくとも 1×10^{-8} Pa程度は必要ではないかと考えられる。JLabでも 1×10^{-10} torr以下の真空度を得た後に過熱洗浄を行っている^[3]。

NEA-GaAs光陰極の運用の際にも真空度が問題となる。即ち、イオンの衝突によりセシウムがGaAsから剥がされNEAが壊れるために陰極の量子効率が劣化していくという問題である。ビームを出さない (高電圧を印加しない) 場合は先に述べた真空中の残留ガスの衝突のみであり、物理吸着のエネルギーは通常100 meV程度であるので、室温程度(27 meV)の気体分子が衝突しても物理的にセシウムが剥がされることはない。化学的反応により剥がされる可能性もあるが非常に高い真空中ではこの可能性は低い。JLabでもビームを出さない状態での寿命は20000時間以上あることが確認されている^[4]。従って、NEA化した光陰極をストックチャンバなどで保管しておくことが可能である。高電圧を印加した状態では、真空中の残留ガスがイオン化され高電圧で加速され光陰極に衝突し、光陰極の寿命を短くする。従って、高電圧を印加した状態での真空度は可能な限り高くすることが望まれる。また、残留ガスのイオン化を出来るだけ少なくするために、電極および光陰極の未使用部分からの電子放出を出来るだけ少なくする必要がある。このために、電極材料の検討^[5]や化学処理による光陰極の活性部分の制限^[6]が名古屋大と

¹ E-mail: nagai.ryoji@jaea.go.jp

JLabでそれぞれ行われている。電子を引き出す部分の真空度についてはJLabのロードロック型電子銃では 1×10^{-12} torr(真空ゲージの測定限界)以下が得られている^[7]。

3. ロードロック電子銃の構成

ロードロック電子銃はロードロックチャンバ、プレパレーションチャンバ、メインチャンバから構成される。図1に平面図を、図2に各チャンバとポンプの詳しい配置図を示す。各チャンバは直線状に配置されゲート弁で仕切られている。ロードロックチャンバに取り付けられたトランファロッドにより光陰極の載ったパックを移動する構造になっている。

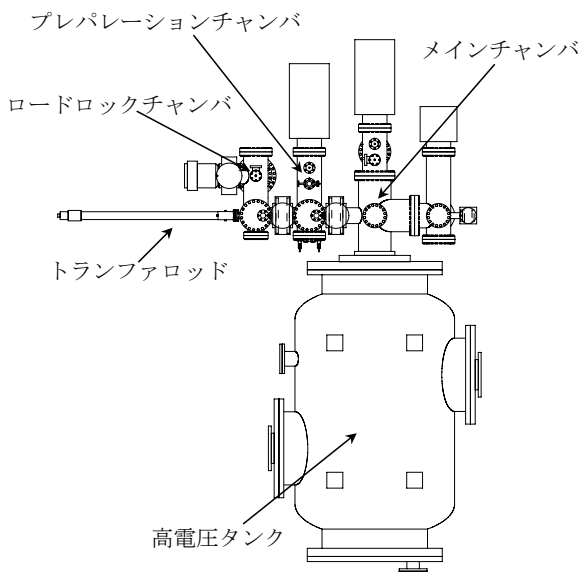


図1：ロードロック電子銃平面図

ロードロックチャンバでは陰極試料の交換のためのロードロックおよび過熱洗浄を行う。このために短時間(短いベーク時間)で大気圧から極高真空まで到達出来ることが望ましい。これを実現するために粗排気用のターボ分子ポンプ(300ℓ/s)に加えてベーク用クライオポンプ(2000ℓ/s)を採用することとした。クライオポンプは数Paから排気を開始でき、非常に大きな排気速度のポンプである。クライオポンプの欠点としては振動が大きい点が上げられるが、電子ビームを取り出す際はロードロックチャンバのポンプは停止していても良いので問題にならない。

プレパレーションチャンバではNEAの活性化を行う。従って、常に非常に高い真空度に保持されている必要があるのでイオンポンプ(500ℓ/s)とNEGポンプ(200ℓ/s)で定常的排気を行うこととした。

メインチャンバには加速管、カソード電極およびアノード電極が取り付けられる。NEA-GaAsは電子を発生している際に逆流するイオンによって破壊されてしまうので、寿命を少しでも長くするには真空度は可能な限り高くする必要がある。また、アノードの開口が小さくアノード背面へのコンダクタンスが小さくなるのでイオンポンプ(500ℓ/s+200ℓ/s)とNEGポンプ(2000ℓ/s×2)をアノードの両側に配置することとした。

4. 到達真空についての検討および試験

チャンバの到達真空度 P_u は

$$P_u = \frac{q \times A}{S} \quad [Pa]$$

で表され、 q はガス放出速度[Pa・m/s]、 A は表面積[m²]、 S は排気速度[m³/s]である。従って、到達真空度を高くするにはチャンバ内のガス放出を低くするかポンプの排気速度を上げるかである。ポンプの排気速度については上限もあり、コストも非常に大き

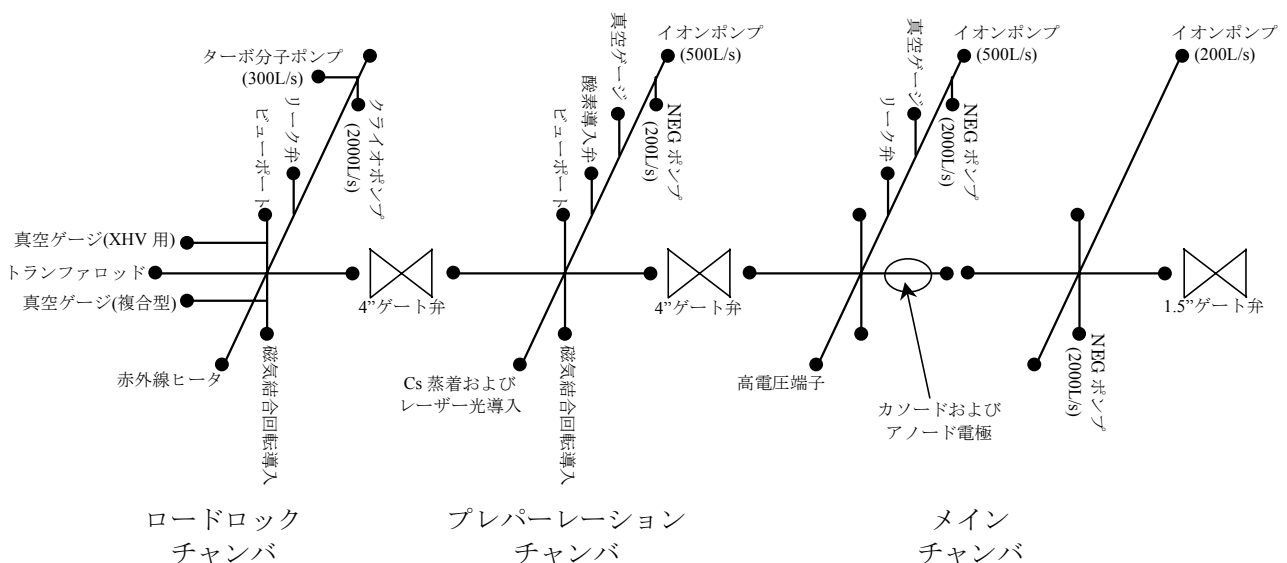


図2：ポンプ等の配置図

いのでチャンバ内表面からのガス放出を出来るだけ低く抑えることが肝要である。チャンバを構成する材料や表面処理によるガス放出速度の低減については様々な報告がなされている^[8]。最もガス放出速度が少ない値が報告されているのはSUS316LにTiN膜を形成したものであった^[9]。しかし、チャンバの製作コストはSUS304Lのチャンバに複合電界研磨を施したものを1とすると、Ti製チャンバが1.3、TiN膜を形成するものが2.4であった。このためにチャンバの材質として通常のSUSに比べて3桁以上低いガス放出速度をもつTi^[10]を採用した。また、直線導入機構などのためにベロー部分を多く有すると、その部分でのガス放出が多くなるのでベロー部分を持たない磁気結合型の導入機構のみを使用することにした。チャンバを構成する各材料のガス放出速度^[8,9]と排気速度からそれぞれのチャンバでの到達真空度を見積もると、ロードロックチャンバ： 3.0×10^{-10} Pa、プレパレーションチャンバ： 2.0×10^{-10} Paメインチャンバ： 2.9×10^{-10} Paとなった。

SUS304に複合電界研磨を施したチャンバを用いてクライオポンプの排気試験を行った。超高真空領域までは期待通り短時間で排気できたがベーキングを繰り返しても極高真空領域へは至らなかった。極高真空領域での残留ガスはおもに水素であり、クライオポンプではクライオパネルの吸着剤により排気する。このクライオポンプは10年以上大気圧の状態で見積もると、ロードロックチャンバ： 3.0×10^{-10} Pa、プレパレーションチャンバ： 2.0×10^{-10} Paメインチャンバ： 2.9×10^{-10} Paとなった。

加速管セラミックのガス放出速度については参考文献^[11]の値(5×10^{-9} Pa·m/s)より二桁以上大きい可能性があるため、ビルドアップ法によりガス放出速度の計測を行った。チャンバ表面から放出されたガスが均一に拡散するとすると真空度の時間変化 dp/dt は

$$\frac{dp}{dt} = \frac{q \times A}{V} \quad [Pa/s]$$

と表される。ただし、 V はチャンバの容積[m³]である。この計測の際のガス放出全てをセラミックから

のものとする、セラミックのガス放出速度は 1×10^{-5} Pa·m/sであった。この値は参考文献^[11]の値よりも三桁以上悪い値であるが、セラミックの表面は見た目にも汚れており、ベーキングも全くしてないので妥当といえる。今後、セラミック表面の洗浄（酸洗い）およびベーキングを行い改善の様子を確認していく予定である。

4. まとめ

NEA-GaAs光陰極のためのロードロック電子銃の真空についての検討を行い、試算ではそれぞれのチャンバで 10^{-10} Pa台の真空度が得られることが確認できた。

クライオポンプおよび加速管の試験において不具合が見つけられ今後改善していく予定である。

参考文献

- [1] T. Nishitani, et al., Proc. of the FEL2004 (2004) 304-306.
- [2] T. Rao, et al., Nucl. Instr. and Meth. **A557** (2006) 124-130.
- [3] M. Baylac, et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams **8** (2005) 123501.
- [4] C. K. Sinclair, et al., Proc. of the PAC2003 (2003) 76-80.
- [5] P. M. Rutt and A. R. Day, JLAB-TN-01-030, J. Grames, et al., Proc of the PAC2005 (2005) 2875-2877.
- [6] F. Furuta, et al., Proc. of the 28th Linear Accel. Meeting in Japan (2003) 111-113.
- [7] W. J. Schneider, et al., Proc of the PAC1995 (1995) 1991-1993.
- [8] S. Tukahara, OUYOUBUTSURI **69** (2000) 22-28.
- [9] S. Ichimura, et al., Vacuum **53** (1999) 291-294.
- [10] H. Kurisu, et al., J. Vac. Sci Technol. **A21** (2003) L10.
- [11] Viet Nguyen-Tuong, J. Vac. Sic. Tecnol. **A12** (1994) 1719.