

## Development of a photocathode test bench using a cryo-pump and a NEG pump

Daisuke Kubo<sup>#,A)</sup>, Masao Kuriki<sup>A)</sup>, Hokuto Iijima<sup>A)</sup>, Yuki Masumoto<sup>A)</sup>, Nobuyuki Nishimori<sup>B)</sup>, Masahiro Yamamoto<sup>C)</sup>,

<sup>A)</sup> Grad. Advanced Science of Matter, Hiroshima Univ., Higashi-Hiroshima, Hiroshima, Japan

<sup>B)</sup> JAEA, 2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki

<sup>C)</sup> KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki

### Abstract

The Beam Physics Laboratory of Hiroshima University studies photo-cathode for future accelerators by using a photo-cathode test bench. It aims to develop a cathode with the higher quantum efficiency and longer-lifetime. GaAs with Negative Electron Affinity (NEA) surface is one of the best cathode among the advanced cathode materials. The NEA surface is essential to activate it as an electron source. It is well known that the NEA GaAs photo-cathode needs extremely high vacuum, because it is easily damaged. To study the detail process of the cathode property degradation by the damage, we construct a photo-cathode test bench with an extremely high vacuum quality based on a cryo-pump (2700l/s) and a NEG pump (1200l/s). The vacuum chamber is made of titanium (TP340) for low outgassing rate. We already obtain  $1.6E-9Pa$  only with the cryo-pump. In this article, the test bench is briefly explained and the results of the vacuum test is presented.

## クライオポンプと NEG ポンプを使用した光陰極試験装置開発

### 1. はじめに

エネルギー回収型リニアック(ERL)<sup>[1]</sup>を利用した、次世代放射光源の電子源は、放射光源全体の性能を決める重要なコンポーネントであり、大電流 100mA、低エミッタンス 0.1mm-mrad という厳しい性能を要求されている。上記の要求性能を満たす電子源として、現在までに提案されている唯一の方式が DC 電子銃と NEA 半導体陰極を組み合わせた方式である。しかし NEA 表面は、光陰極から引き出された電子ビームと、残留ガスの衝突によって生成される陽イオンが光陰極表面に逆流することで簡単に破壊されてしまう。そのために NEA 光陰極は大電流でビームを引き出した場合に寿命が制限されてしまう。実際に広島大学が過去に行った実験からも、NEA-GaAs 光陰極の寿命は真空度に強く依存していることが分かっている<sup>[2]</sup>。この実験は広島大学に既存の光陰極試験装置で行われており、典型的な測定中の真空度は  $5.0 \times 10^{-9}Pa$  である。我々は、NEA 光陰極の寿命劣化の詳細を解明し、寿命を延ばすために新しい光陰極試験装置を開発している。寿命劣化の詳細を解明するための装置に必要な条件として、実験を様々な条件で幅広い値で行えることが必要である。その中でも真空度は特に重要なパラメーターである。例えば、様々な成分のガスを導入して NEA 光陰極の劣化を観測する場合、導入されたガス圧に比べて、残留ガスによる基本的な真空度は十分小さい値をとっていることが必要である。それとともに、既存の装置よりも低い真空度で光陰極の試験を行い、現在観測されている光陰極の寿命よりも長いことを確認することも主要な目標である。この

ような目的から我々は極高真空中( $<1 \times 10^{-9}Pa$ )で光陰極の性能試験を行うことができる、新しい光陰極試験装置を開発している。

### 2. 光陰極試験装置の開発

図 1 に我々が開発中の新しい光陰極試験装置(Hiroshima University Electron Source No.1 : HUES1)の概要図を示す。

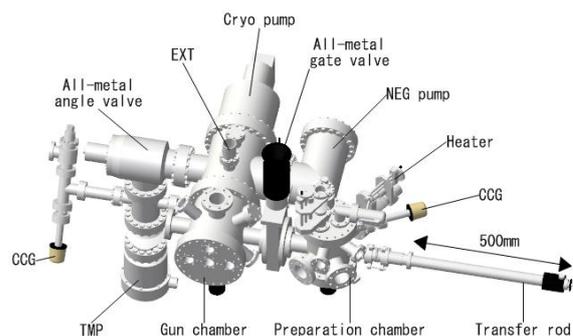


図 1 : HUES1 の概要図

HUES1 は主にガンチェンバーとプリパレーションチェンバーで構成される。ガンチェンバーの持つ役割として最も重要な事は、極高真空中で光陰極の寿命測定を行うことである。そのために、ガンチェンバーを化学研磨されたチタンで製作した。チタンは一般的に真空容器製作の際に用いられるステンレスよりガス放出が 2~3 桁小さいとされている<sup>[3]</sup>。それと共に真空排気装置として、NEG ポンプ (1200l/s) とクライオポンプ(2700l/s)を使用する。

広島大学に既存の光陰極試験装置は、一つの真空容器の中で NEA 活性化と光陰極試験を行っている。

<sup>#</sup> daisuke-kubo@hiroshima-u.ac.jp

真空排気は NEG ポンプ(310l/s)とイオンポンプ(160l/s)を用いて行い、到達真空度は  $5.0 \times 10^{-9}$  Pa である。超高真空を得るために NEG ポンプとイオンポンプを組み合わせ真空排気を行うことは広く知られている。NEG ポンプは特に残留ガスの主成分である水素に対して高い排気速度を持つが、一方で希ガスやメタンなどは排気できない。従来はイオンポンプによりこれらを排気していたが、イオンポンプはその動作原理からこの様な超高真空領域では排気速度を持たないと考えられている。そこで我々はイオンポンプの代わりに、極高真空下においても適度な排気速度が期待できるクライオポンプを使用する<sup>[4]</sup>。クライオポンプは 80K 以下まで冷却可能な 1 段ステージと 10~12K まで冷却可能な 2 段ステージを持つ。18K で H<sub>2</sub>、He、Ne の除く分子の飽和蒸気圧は  $1 \times 10^{-11}$  Pa 以下であり、H<sub>2</sub>、He、Ne についても 20K 以下に冷やされた多孔質の吸着剤で排気する事が可能である。一般的なクライオポンプは、ポンプケースをステンレスで製作されているが、我々はポンプケース自身からのガス放出も抑えるために特別にチタンで製作されたものを用いる。

ガンチェンバーには粗排気を行うために、TMP(300l/s)とスクロールポンプを取り付けている。粗排気系とガンチェンバーは ICF152 のオールメタルアングルバルブで仕切り、ベーキング中はアングルバルブを通して TMP で排気を行う。真空計測には  $1 \times 10^{-10}$  Pa まで計測可能なエクストラクターゲージ(EXT)と  $2 \times 10^{-7}$  Pa まで計測可能なコールドカソードゲージ(CCG)を用いる。その他にも、電子ビーム引き出しに必要なレーザー光を照射するための ICF70 のビューポートなども取り付けることが可能である。

プリパレーションチェンバーの役割は、主に光陰極の加熱洗浄と NEA 表面活性化である。そのために、加熱洗浄用のタングステンヒーター、Cs 蒸着用ディスペンサー、O<sub>2</sub> 蒸着用リークバルブを取り付けている。真空排気は主にイオンポンプを用いて行い、粗排気は TMP とロータリーポンプを用いて行う。粗排気系とプリパレーションチェンバーは ICF70 のオールメタルアングルバルブで仕切る。真空計測は CCG を用いて行う。ガンチェンバーとプリパレーションチェンバーは ICF114 のオールメタルゲートバルブで繋がれており、カソードはプリパレーションチェンバーに取り付けられたトランスファーロードで両者間を移動できる。

### 3. 真空試験

現在、HUES1 は写真 1 の状態に組み上げられている。TMP、オールメタルアングルバルブ、クライオポンプ、NEG ポンプ、EXT は取り付けが完了しており、この状態で真空試験を行った。体積は  $0.025\text{m}^3$  であり表面積は  $0.7\text{m}^2$  である。クライオポンプは内部にベーキング時の温度が 70°C に制限されている部品が使用されている。そのためベーキングの方法として、クライオポンプの運転をせずに行うことのできる 70°C ベーキングと、運転をしながら

ら行う 200°C ベーキングという 2 つの方式が考えられる。どちらの方式でベーキングを行った方が全ガス放出速度を抑えられるのかを検証するために、ベーキング前後の TMP で排気を行っている時点での真空度、ガンチェンバー内の全ガス放出速度を比較する。それと共にクライオポンプを運転して排気を行った場合に  $10^{-10}$  Pa に到達する事が可能なのかも検証した。

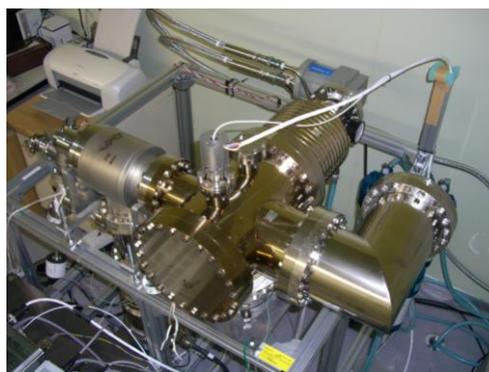


写真 1：現在の HUES1 の状態

装置を組み上げた後、TMP を用いて粗排気を行った。ベーキングを行っていないこの状態で、ガンチェンバー内の全ガス放出速度を測定するためにオールメタルアングルバルブを閉めた。今回の測定ではガンチェンバー内にクライオポンプと NEG ポンプが設置されている。しかし運転及び活性化を行っていないために排気作用を持っていないと仮定した。全ガス放出測定を終え、オールメタルアングルバルブを開けた後クライオポンプを運転した。クライオポンプを運転して約 1 時間半後に、クライオポンプが定常運転に入ったのでオールメタルアングルバルブを締めた。約 50 時間クライオポンプでガンチェンバーを排気した結果  $3.2 \times 10^{-8}$  Pa という真空度が得られた。

次にガンチェンバーに 70°C × 70 時間のベーキングを行った。ベーキング中はクライオポンプを運転せず TMP で真空排気を行った。ベーキング中に NEG ポンプは 70°C まで温められていた。先程と同じようにガンチェンバー内の全ガス放出速度を測定した後、クライオポンプでガンチェンバーを排気した場合の真空度を計測した。その結果、クライオポンプを運転してから約 70 時間で  $3.5 \times 10^{-9}$  Pa という真空度を得た。

最後に 200°C でのベーキングに臨んだ。我々が使用するクライオポンプはクライオパネルを冷却しながらベーキングすることで従来 70°C までしかベーキングすることのできなかった真空容器を 200°C でベーキングすることが可能である。70°C ベーキングとの効果を比較するために 200°C × 70 時間のベーキングを行った。ベーキング中はクライオポンプを運転することでクライオポンプ内部を冷やしながらチェンバーの温度を 200°C で保った。TMP を用いて真空排気を行った。ベーキングを終え温度を室温に戻していく段階で、クライオポンプ内部の温度が

70°Cを超えることがないことを確認してからクライオポンプを停止した。こうすることでクライオポンプを運転して内部の温度を冷やしたことで、クライオポンプが吸着してしまったガスを脱離させた。ベーキング中に NEG ポンプは 120°Cまで温められていた。先程と同じようにガンチェンバー内の全ガス放出速度を測定した後、クライオポンプのみでガンチェンバーを排気した場合の真空度を計測した。その結果、クライオポンプを運転してから約 70 時間で  $1.9 \times 10^{-9}$  Pa という真空度を得た。

#### 4. 結果・考察

70°Cベーキングと 200°Cベーキングの効果を比較するために、ベーキング前後の TMP での真空度をまとめたものを表 1 に示す。全ガス放出速度測定の結果は図 2、表 2 に示す。

ベーキング温度 (°C)	ベーキング前真空度 (Pa)	ベーキング後真空度 (Pa)
70°C	$1.2 \times 10^{-5}$	$4.5 \times 10^{-7}$
200°C	$5.1 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-7}$

表 1：ベーキング前後での真空度の比較

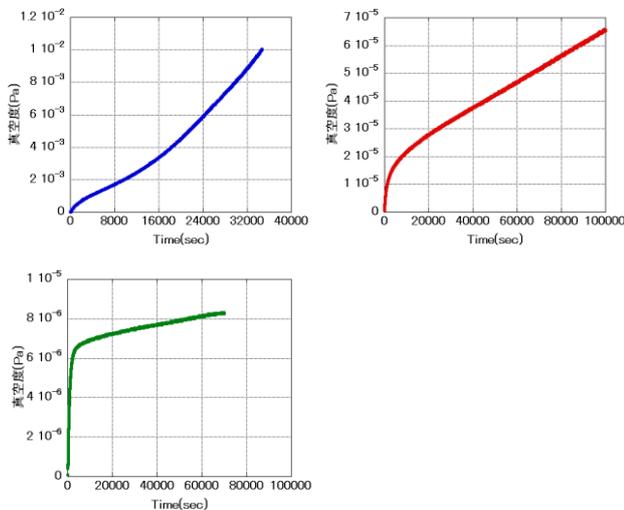


図 2：全ガス放出速度測定中ガンチェンバー内の真空度の変化(青：未バーク、赤：70°Cバーク後、青：200°Cバーク後)

ベーキング温度 (°C)	A 速度 (Pa・m <sup>3</sup> /s)	B 速度 (Pa・m <sup>3</sup> /s)
未バーク	$1.2 \times 10^{-8}$	$9.1 \times 10^{-9}$
70°C	$1.1 \times 10^{-9}$	$1.1 \times 10^{-11}$
200°C	$1.7 \times 10^{-10}$	$1.3 \times 10^{-12}$

表 2：全ガス放出速度測定結果

70°Cベーキング後、200°Cベーキング後の測定では、測定開始直後に急激に真空度が上昇し、その後緩やかな傾きになる様子が測定できた。傾きが急激なものを A 速度、傾きが緩やかなものを B 速度とした。70°Cベーキング後、200°Cベーキング後の真空度、全ガス放出速度を比較した結果、どちらも 200°Cベーキング後の方が小さくなっている。次にクライオポンプによる真空排気試験の結果を重ねたグラフを図 3 に示す。真空度が時間の経過につれて良くなっていくと仮定し、緑のラインを外挿すると、200°Cベーキング後にクライオポンプを運転して約 20 日で  $10^{-10}$  Pa 台に到達可能であると考えられる。200°Cベーキング後に行った真空排気試験中  $10^5$  秒付近で立っているピークは EXT をデガスしたことによるピークである。

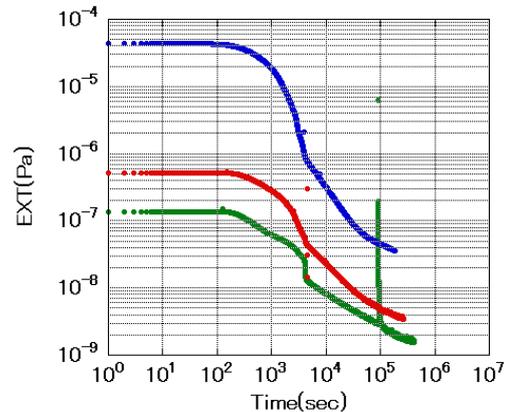


図 3：クライオポンプ真空試験結果(青：未バーク、赤：70°Cバーク後、青：200°Cバーク後)

#### 4. まとめ

今回行ったベーキング前後での真空度の比較と全ガス放出速度測定の結果から、200°Cベーキングを行った方が 70°Cバークを行うよりも全ガス放出速度が小さいという結果が得られた。また、クライオポンプによる真空排気試験の結果から我々の目標とする  $10^{-10}$  Pa 台に近い  $1.6 \times 10^{-9}$  Pa という真空度が得られた。 $10^{-10}$  Pa に到達するまでにクライオポンプを運転してから約 20 日を要すると思われる。HUES1 ではガンチェンバー内に極高真空を確立した後は、ロードロック機構を採用しているため、加熱洗浄やカソード導入などでガンチェンバー内の真空度を悪化させずに極高真空を保持できる設計にしている。今後、NEG ポンプと併用して、長時間真空引きを行い真空度  $10^{-10}$  Pa 台到達を目指す。

#### 参考文献

- [1] “Design Study of Compact ERL”, KEK Report 2007-7, 2007
- [2] M. Kuriki et al., Nucl. Instrum. And Methode Phys. A, (inpress)
- [3] M. Kurisu et al., *Shinku* (In Japanese), 49 (2006) 254
- [4] Y. Matui et al., J Vac Sci Technol, A9, 2010(1991) H.