

LIFETIME MEASUREMENT OF NEA-GaAs PHOTOCATHODE WITH A NEW TEST BENCH AT HIROSHIMA UNIVERSITY

Hokuto Iijima¹, Masao Kuriki, Daisuke Kubo

Graduate School of Advanced Science of Matter, Hiroshima University,
1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-8530

Abstract

We report the construction of a new test bench for study of a negative electron affinity (NEA) GaAs photocathode and the lifetime measurement. Although the NEA-GaAs has a higher quantum efficiency, the lifetime is shorter than that of another cathode. The lifetime depends on residual gas pressure in the vacuum chamber. Therefore, the extreme high vacuum is necessary for the longer lifetime of the cathode. In order to demonstrate the longer lifetime, we have constructed a new photo-cathode test bench with the extreme high vacuum based on a cryo-pump and a NEG pump. The vacuum chamber was made of titanium for low outgassing rate.

広島大学新光陰極試験装置でのNEA-GaAsフォトカソード寿命測定

1. はじめに

現在、研究開発が進められているエネルギー回収型線形加速器 (ERL) を用いた次世代放射光源では電流値100mA、エミッタンス0.1mm-mradという電子ビームが要求されている^[1]。これを実現するために負電子親和力 (Negative Electron Affinity; NEA) をもつGaAsをカソードとしたDC電子銃の開発が進められている^[2]。

NEA活性化は極めて清浄な表面にセシウム (Cs) と酸素 (O₂) を交互に蒸着する、いわゆるYo-Yo法によって行われる。NEA-GaAsの量子効率10%程度と非常に高いものであるが、現状他のカソードと比べて寿命が短いという問題がある。このため、いかに長寿命化を実現するかはカソード開発において重要な項目となっている。

NEA-GaAsカソードの量子効率は、残留ガスの吸着、イオン衝撃、NEAを形成するCs/Oの熱脱離^[3,4]によって劣化していく。残留ガス吸着やイオン衝撃による劣化は電子銃内の真空度に依存するため、超高真空によって長寿命化を実現することが可能であると考えられている。そのため開発中のDC電子銃は主要部にガス放出係数の小さいチタン^[5,6]を使用し、大排気量のNEGポンプをカソード近傍に設置するなどの工夫がなされている。

これまでに我々はカソード寿命の真空度依存性を測定しており、 5×10^{-9} Paの真空度で100~200時間の暗寿命を実現している。また、こうした測定から 1×10^{-9} Paの真空度を達成できれば1000時間以上の暗寿命が得られることが解った。一方で、測定される寿命曲線は単純にその量子効率が劣化するのではなく、活性化直後はわりと急激に劣化するものの、その後量子効率が一定、またはやや回復する傾向が再現性をもって測定されてきた。この測定装置はGaAsの加熱洗浄、NEA活性化、寿命測定を同一真空容器内で行っており^[7,8]、活性化直後はCsやO₂が

チェンバー内に残留していた。このため寿命測定開始時は、この残留成分が量子効率に影響を与えているのではないかと考えられた。

こうしたことから我々は、 1×10^{-9} Pa以下の真空度での長寿命の実証と、Cs/Oの残留による効果のない状態での寿命測定を主な目的として新しい光陰極試験装置の開発を行った。

2. 新光陰極試験装置

開発した新しい光陰極試験装置は加熱洗浄やNEA活性化を行うプリパレーションチェンバーと寿命測定を行うガンチェンバーから構成され、両者はICF114のオールメタルゲートバルブで仕切られている。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チェンバー間を輸送する。

2.1 プリパレーションチェンバー

図1にプリパレーションチェンバーの概略図を示す。ICF253のフランジをもつ高さ220mmの容器は表面にバフ研磨と電解研磨を施したSUS304で作成し、側面にはポンプポート、トランスファーロード等が取り付けられている。真空排気にはイオンポンプ(160 l/s)とNEGポンプ(400 l/s)を使用しており、ベースの真空度は $1 \sim 2 \times 10^{-8}$ Paである。真空度はチェンバー側面のポートに取り付けたヌードイオンゲージによって測定している。

チェンバー下部には回転導入機が取り付けられていて、その先端にはテーブルとホルダーを取り付けている。テーブルとホルダーはセラミックの磚子によってチェンバーから絶縁されており、NEA活性化時などビーム引出しの際にはこのテーブルに電圧を印加する。

¹ E-mail: hokuto@hiroshima-u.ac.jp

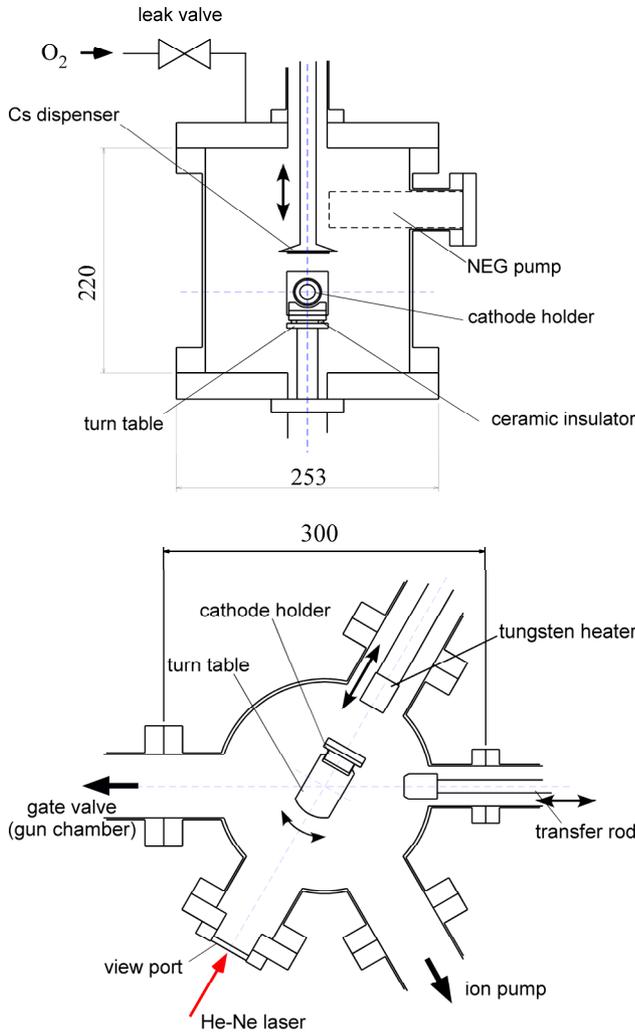


図1：新光陰極試験装置、プリパレーションチャンバーの概略図。(上)：ビューポートから見た断面図。(下)：上部から見た断面図。

GaAs基板はまずパックに固定し、これを回転テーブル上のホルダーに配置するように作成した。ガンチャンバーへの輸送はパックごとに行うようになっている。パックの側面はSUS製であるが、GaAs基板を固定する部分は加熱洗浄の際の熱伝導を考慮してモリブデンで作成した。基板(16×16mm²)の固定はモリブデンとの間にインジウムを少量挟み、基板の上からタンタルキャップを被せることで行っている。

加熱洗浄のためのタングステンヒーターは直線導入機によって。パックの後ろに差し込む形で使用する。加熱洗浄時の温度モニタは主に、レーザーを照射する合成石英ビューポートから放射温度計で計測している。NEA活性化時に用いるCs dispenserはチャンバー上部に設置された直線導入機によってカソードの前面に配置される。また、酸素はチャンバー上部に設置したリークバルブを介して導入する。

2.2 ガンチャンバー

図2にガンチャンバーの概略図を示す。ガンチェ

ンバーはICF253のフランジを持つ奥行き250mmの容器で構成される。この容器は超高真空を達成するために、ステンレスよりガス放出が2~3桁小さいチタンで作成した。真空排気装置として、NEGポンプ(1200 l/s)とクライオポンプ(2700 l/s)を使用しており、これはチャンバー背面のポンプポートを介して配置されている。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しているが、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した。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ため、容器のベーキングはクライオポンプ運転しながら200°Cでおこなった^[9]。真空度はエクストラクターゲージで測定し、現在1~2×10⁻⁹Paの真空度を達成している。

プリパレーションチャンバーと同様に、チャンバー下部には回転導入機が配置されており、これを介して内部には回転テーブルとホルダーが設置されている。これらもセラミック碍子により本体からは絶縁されておりビーム引出しに必要な電圧はテーブルに印加している。量子効率の測定は合成石英ビューポートからHe-Neレーザーを照射して測定する。

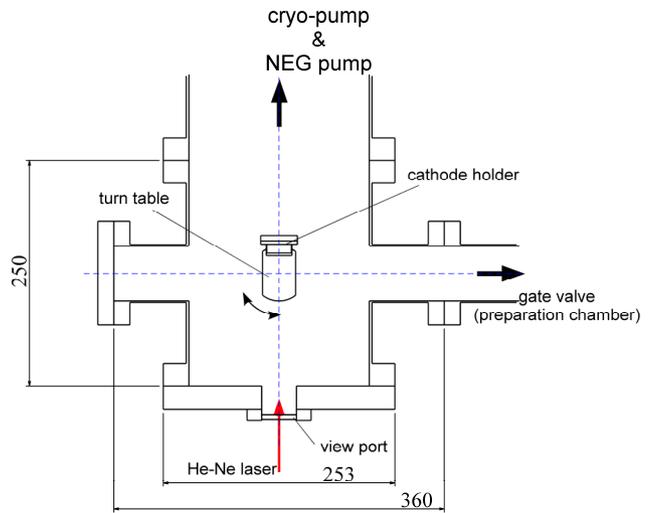


図2：新光陰極試験装置、ガンチャンバーの概略図(上断面)。

3. 寿命測定

昨年度までに新光陰極試験装置の構築はほぼ終了し、本年度から寿命試験を開始した。以下に最近行った試験の結果を述べる。

カソードの試験には、住友電工社製のZnドープされたp型バルクGaAs(100)を使用した。GaAsをカソードとして使用する場合、一般に表面清浄化のため化学洗浄^[10]を行うが、本試験では行わず、そのまま装置にインストールした。また、加熱洗浄、NEA活性化、寿命測定の試験は同一のGaAs基板に対して複数回行っている。

タングステンヒーターによる加熱洗浄は昇温に60分、その後550度以上（放射温度計の値）を30~60分保つことで行った。加熱洗浄後、カソードが冷えるまで1日間放置したのちYo-Yo法によるNEA活性化を行った。このときの量子効率の測定にはHe-Neレーザー（波長633nm）を用いている。図3は典型的な活性化時の量子効率の変化を示している。我々の旧試験装置ではおおよそ5回目のO₂導入で最大の量子効率を得ており、これは新試験装置でも同じであった。図に示した試験では8%弱の量子効率を得ており、このほかの試験でも4~8%の量子効率を得ている。

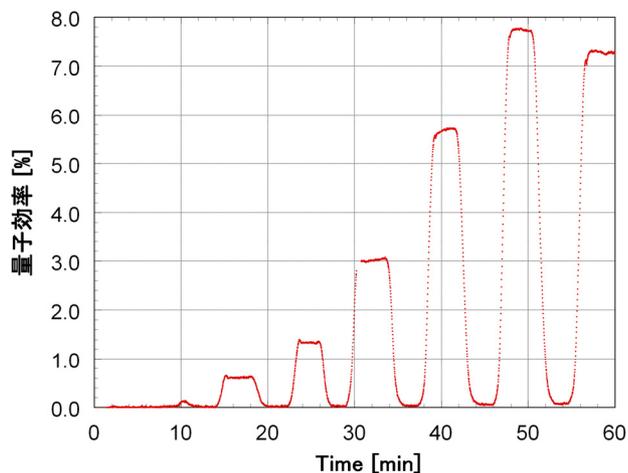


図3：Yo-Yo法によるNEA活性化時の量子効率の変化。

寿命測定は活性化終了後、ただちにカソードをガンチェンバーに移送して行った。図4（上）は測定した寿命曲線の一例である。ここでは比較のために旧来の装置で測定した寿命曲線（図4下）も載せている。縦軸はどちらも引出し電流値を示す。測定開始時の量子効率は約4%で、電子ビームを常時引き出す、いわゆるビーム寿命を測定している。ガンチェンバーの真空度はカソード輸送時に若干悪化した。測定開始時には 4×10^{-9} Paまで回復した。この真空度は旧試験装置のベース真空度（ 5×10^{-9} Pa）よりも良い真空度で、CsやO₂のガンチェンバー側への流入による影響はほとんどないと考えられる。

しかしながら、測定された量子効率は最初の10時間で低下した後、ほぼ一定の量子効率を10時間程度保っている。これは旧試験装置で測定した量子効率の変化と同様の傾向であった。新試験装置では活性化と寿命測定を別々のチェンバーで行っているため、この量子効率の回復は何らかの緩和を測定している可能性がある。

4. まとめ

1×10^{-9} Pa以下での長寿命実証を目的に新しい光陰極試験装置を開発した。寿命測定を行うガンチェンバーは超高真空を保つためにチタンで作成し、真空

排気にはNEGとベーキングが可能なクライオポンプを使用している。現在ガンチェンバーのベース真空度は 1.2×10^{-9} Paを達成している。この装置を用いて寿命試験を行った。Yo-Yo法によるNEA活性化では波長633nmの光に対し、約8%の量子効率を得た。ビーム寿命の測定では旧来の装置と同様に量子効率が回復する傾向が見られた。

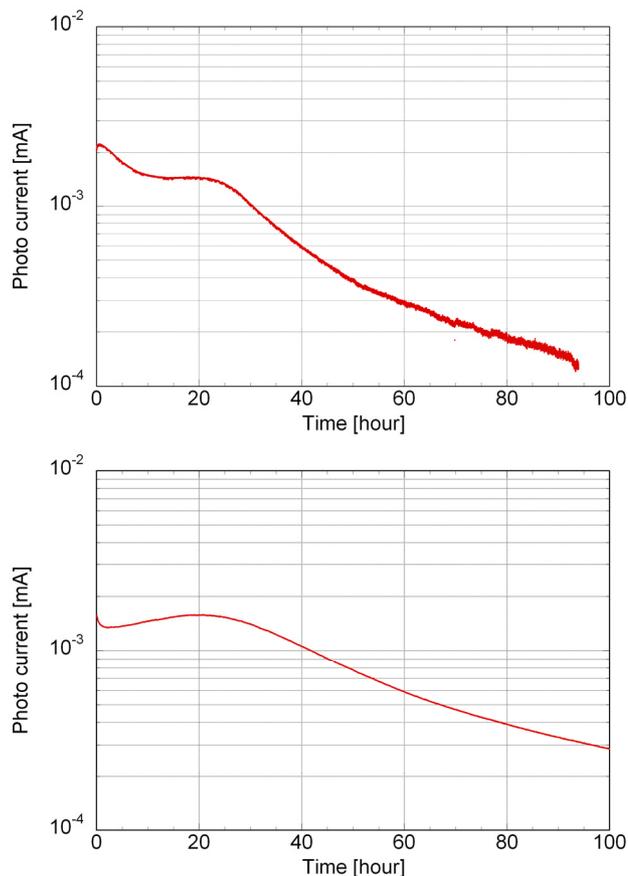


図4：新光陰極装置で測定した寿命曲線（上）と旧装置で測定した寿命曲線（下）。

参考文献

- [1] KEK Report No. 2007-7/JAEA Research 2008-032 (2008), edited by R. Hajima, N. Nakamura, S. Sakanaka, and Y. Kobayashi.
- [2] R. Nagai, et al., Rev. Sci. Instrum., 81, 033304 (2010).
- [3] H. Iijima, et al., Proc. of International Particle Accelerator Conf. (IPAC 2010), TUPE086, 2010.
- [4] S. Zhang, et al., Nucl. Instrum. Meth. A. 631 (2011) 22.
- [5] M. Kurisu, et al., Shinku (In Japanese), 49 (2006) 254.
- [6] S. Hosoda, et al., Proc. of the 8th Annual Meeting of PASJ, TUPS063 (2011).
- [7] C. Shonaka, et al., Proc. of Particle Accelerator Conf. (PAC'09), MO6RFP069, 2009.
- [8] M. Kuriki, et al., Nucl. Instrum. Meth. A, 637 (2011) S87.
- [9] D. Kubo, et al., Proc. of the 7th Annual Meeting of PASJ, THPS016 (2010).
- [10] O.E. Tereshchenko, et al., Appl. Surf. Sci., 142 (1999) 75.