

Status of Photo-cathode Test Bench

Masao Kuriki^{1,A)}, Chie Shonaka^{A)}, Daisuke Kubo^{A)}, Kenichi Kaneda^{A)}, Hiromi Okamoto^{A)}, Hiroyuki Higaki^{A)},
Kiyokazu Ito^{A)}, Masahiro Yamamoto^{B)}, Taro Konomi^{B)}, Shoji Okumi^{B)}, Tsutomu Nakanishi^{B)}

^{A)} Faculty of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University

1-3-1, Kagamiyama, Higashi-hiroshima, Hiroshima, 739-8530

^{B)} Faculty of science, Nagoya University

Furo-cho, Chigusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8602

Abstract

Under consultation of Nagoya university, Hiroshima university Beam physics laboratory is developing Photo-cathode test bench, which is capable to activate GaAs family photo-cathode and to examine its performance. This system was being used for R&D for polarized electron source of Linear colliders. The system consists from a vacuum chamber, 160 l/s Ion pump, 310 l/s NEG pump, and other equipments. The vacuum chamber is made by SUS, finished with Electro-Polishing and it has an enough performance to realize Ultra high vacuum, which is necessary for cathode activation. After 3 days baking in 200deg.C, the vacuum level was in a range of 1E-8 Pa. NEA surface was activated with a heat cleaning in 550 deg. C, followed by cyclic introductions of Cs and Oxygen to the surface. As a result, more than 10 % quantum efficiency was observed with He-Ne laser (633nm, 20-40μW). Extraction of those electrons as a beam, the beam diagnostics, and improving vacuum level for longer life time, are future perspectives.

フォトカソードテストベンチの現状

1. はじめに

高輝度電子源はリニアコライダー^[1]をはじめとする基礎物理研究、ERL^[2]やFEL^[3]などの次世代放射光源、コンプトン散乱による小型X線源など、線形加速器をベースとした先進的な加速器システムの中で、システム全体の性能を決定する重要なコンポーネントである。また、レーザーと光カソードによるビーム発生は、直接短パルスの電子ビーム発生が可能であるなど高い操作性がその利点として挙げられる。また、NEA-GaAsカソードではレーザーとバンドギャップの合わせ込みと電子の伝導帯における熱化により、極めて小さいビームエミッタンスが得られる^[4]のも特長である。

以上のように高性能カソードへの期待は大きい反面、寿命問題など克服すべき課題もある^[5]。広島大学では名古屋大学の協力のもと、現状のカソードの欠点を克服し、高性能かつ堅牢なカソードの開発をめざして、GaAsを中心とする半導体カソードの生成・活性化とその性能試験が可能なテストベンチ構築をおこなっている。その現状について報告する。

2. フォトカソードテストベンチの概要

GaAs系カソードの活性化およびビーム発生には1E-8Pa以下の極高真空と、カソードの加熱洗浄やNEA活性化などのプロセスをin-situで行う必要がある。本フォトカソードテストベンチはもともと名古屋

屋大学において、リニアコライダーのための偏極電子源開発のために利用されてきたものであり、以上の要求を満たすものである。図1.に本装置の概略図を示す。チェンバー全体はSUS製であり、内部には電解研磨処理を施してある。排気装置としては、160l/sのイオンポンプおよび310l/s(水素換算)のNEGポンプが設置されている。立ち上げ時にはロータリーポンプおよびターボ分子ポンプを使用し、1E-5Pa程度まで真空度を上げてから、バルブを締め切り真空を確立する。

カソードは直径50mmのMo製円筒形マウント部に置かれ、Ta箔を介してSUSのキャップで固定されている。内部にタングステンヒーターが内蔵されており、全体を加熱してカソードの加熱洗浄をおこなう。カソードとの熱伝導を確保するため、In線をあらかじめ加熱して熔融させ、表面を滑らかにしたうえでカソードを置いている。

NEAの活性化には清浄表面をつくったうえで、CsおよびO₂の導入が必要である。直線導入器に市販のCsディスペンサーを装着し、NEA活性化時にはCsディスペンサーをカソード正面まで移動させ、電流導入端子を介して電流を流すことでCs蒸気を発生させている。また、酸素はボンベからANELVA製リークバルブを介して直接チェンバー内に導入している。

NEA活性化や量子効率(QE)の評価のため、光電流を測定する必要がある。カソードマウントはICF202フランジで支持される構造となっているが、このフ

¹ E-mail: mkuriki@hiroshima-u.ac.jp

レンジは筐体との間にセラミック管を介して絶縁されている。カソードからの光電流測定時にはフランジを含むカソードマウント部に負のバイアス電圧をかけ、流れる電流量から光電流を評価している。

3. 装置の立ち上げ

本装置の広島大学への移送・組み上げ、ロータリーポンプおよびターボ分子ポンプにより粗引きをした後、Canon-Anelva製HeリークディテクターHelen212を用いて洩れが無いことを確認した。リーク量の測定限界は $3.0E-11 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ である。

その後、 $1E-4\text{Pa}$ 程度まで真空度が達したところで装置全体のベーキングを開始した。ベーキング中は装置全体の温度を8個所の熱電対でモニターしながら、 $200-250\text{度C}$ に保つことを目標に行った。熱電対のデータはPico-technology社製のデータロガーTC-08により記録され、それをモニターしながら温度上昇が1時間あたり 20度C を超えないようにヒーター電圧を調整した。また、温度を下げる際も温度勾配が1時間あたり 20度C を超えないようにヒーター電圧を徐々に下げた。これは急激な温度上昇により装置内部にストレスがかかり、歪みや亀裂などによる真空洩れ事故を防止するためである。また、急激な温度上昇は真空度の悪化をもたらすが、内部に温度勾配があると低音部へのガス吸着がおこり、最終的な到達真空度も悪化をもたらす恐れがある。そのため時間あたりの温度勾配に加えて、真空度が $1E-3 \text{ Pa}$ に入らないように、温度の上昇速度を調整した。今回の立ち上げ作業においては温度を目標まであげるのにおよそ1.5日かけた。真空度は $1E-5\text{Pa}$ 程度まではCCG Cold Cathode Gauge)により、またそれ以上の真空度はNIG(Nude Ion Gauge)により測定した。

温度が目標である 200度C 以上に達した後、イオンポンプ、Csディスプレイ、NIG、カソードベッド、NEGポンプのガスだしを順次おこなった。

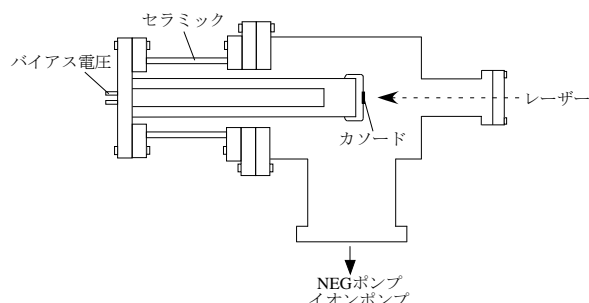


図1 カソードテストベンチの概略図(断面図)

ベーキングの開始からおおよそ三日後の時点で、真空度が $5.7E-6\text{Pa}$ に達したので、NEG活性化を開始した。NEGの活性化には温度 400度C で3時間程度、 450度C で1時間程度が目安だが、今回は $400-430\text{度C}$

の状態で3時間程度のガス出しをおこなった。

その後、半日程かけて徐々にNEGおよびボディの

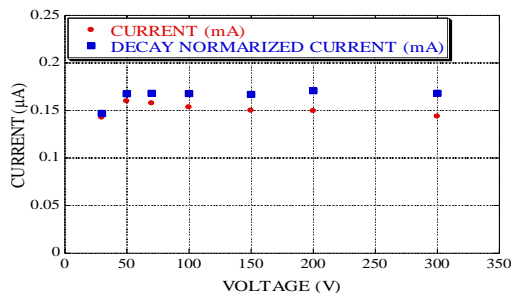


図2 引き出し電流量のバイアス依存性

温度を下げていった。ガス放出が減少し徐々に真空度が改善されていくが、 $1E-5\text{Pa}$ 程度になった時点でイオンポンプを立ち上げ、粗引き系の引き口であるアングルバルブをトルクをかけない状態でゆるく締めた。これはポンプ側からの逆流を防ぐためである。最終的に本体の温度が室温近くまで下がった後、アングルバルブを $7.0\text{N} \cdot \text{m}$ のトルクで締め切り、 $1.6E-8\text{Pa}$ の真空度を得た。

4. NEA活性化

今回使用したカソードは住友電気社製のGaAs結晶(100)であり、Znをドーピングすることにより結晶表面でバンドベンディングにより実効的に仕事関数を低減させている。納品された状態(as received)に対するNEA活性化の前処理として、GaAs結晶の表面の酸化膜除去のため、 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=4:1:1$ 溶液によりエッチングを行った。蒸留水によるすすぎの後、イソプロパノール溶液に浸して表面の水をプロパノールで置換し、窒素雰囲気中で乾燥した。この後、塩酸イソプロパノール溶液により表面処理を行った。最後にプロパノールによるすすぎ、窒素雰囲気中で乾燥を行い、デシケーターで保管した。

このように処理したGaAsを立ち上げ時に装着した。加熱洗浄は真空装置立ち上げの後、Wヒーターに通電することによりおこない、カソード温度は熱電対に加えて、ビューポートから放射温度計を用いて計測した。 550度C での加熱洗浄によりGa表面となり、かつ仕事関数が極小となることが知られている^[6]。今回は 550度C の過熱洗浄を1時間行った。

加熱洗浄の後、カソードの温度が室温(25度C 程度)まで十分に温度が低下してから、Yo-Yo法によるNEA活性化をおこなった。光源としてHeNeレーザー(波長 633nm)を使用し、レーザーを照射しながらCsと酸素を交互に導入しながら光電効果による放出電流を測定した。Cs蒸着時の蒸気圧は $1E-7\text{Pa}$ から $1E-6\text{Pa}$ であった。また、酸素はAnelva製超高真空リークバルブにより $1E-7\text{Pa}$ 程度の蒸気圧となるようチェンバー中に導入した。測定時は -100 から -200V のバイアス電圧をかけて電子を引き出している。図2は

NEA活性化の後、引き出し電流量をバイアス電圧の関数として示したものである。レーザーパワーは本研究を通じて20-40 μ W程度、引き出し電流量は数 μ A以下であったが、この領域では -50Vの電圧で引き

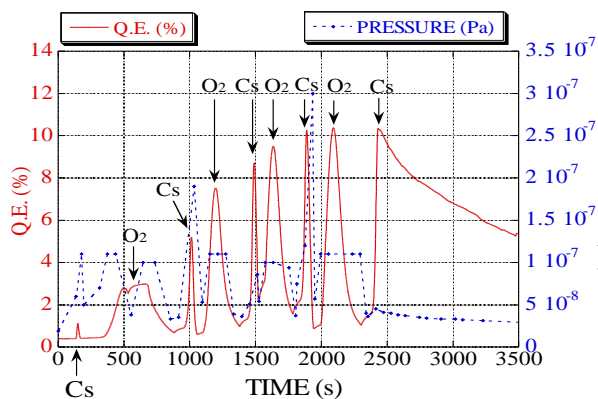


図3 NEA活性化の例

Date	初期真空度 [Pa]	Max QE[%]	寿命[min]
1/28*	1.6E-8	3.3	-
1/29**	2.6E-8	4.0	-
1/30	2.4E-8	4.2	-
2/7	1.4E-8	10.3	46.6
2/8**	1.8E-8	6.7	406
3/27	8.3E-9	9.6	179
3/31**	1.0E-8	3.5 / 2.2	218 / 174
4/1**	8.9E-9	2.2	-
4/3	1.0E-8	2.2	-
4/11	1.1E-8	4.2	108
5/13	9.0E-9	2.2	115
5/15	1.0E-8	1.9	196

表1： NEA活性化のまとめ。*はCsのみ、**は加熱洗浄を行わずに追加的にCsと酸素を導入した。

出し電流量は飽和しており、カソード表面における空間電荷制限効果はこれ以上の電圧をかければ無視できることがわかる。

図3. はNEA活性化の一例である。縦軸に量子効率と真空度を取り、横軸は時間を表している。Csと酸素を交互に導入することで量子効率が増加と減少を繰り返し、量子効率が最大化できることが知られており^[7]、この場合もピーク値が徐々に上昇している。この例では最高で10.3%の量子効率を記録している。表1にNEA活性化の結果をまとめてある。4月以降のデータは加熱洗浄の温度などの条件を変更しているので単純には比較出来ないが、3月までの550度Cで加熱洗浄を行っているデータに限ってみると、洗浄後のNEA活性化においては5%以上の量子効率がほぼ得られており、数時間から数十時間の寿命であった。

5. まとめと今後の計画

今回は広島大学におけるカソードテストベンチの移設と立ち上げ、および得られているカソードの性能の現状を報告した。移設後の真空立ち上げ作業の結果、1E-8Pa程度の真空度を達成し、NEA活性化により10%を超える量子効率を実現できた。しかしカソードの寿命はまだ数時間程度にとどまっており、真空度を改善することにより寿命を延ばすことがテスト装置の基本性能として必要である。そのためには性能劣化が危惧される真空ポンプの更新や追加、TiN-Platingによるチェンバーからのガス放出の減少^[8]などに取り組む必要がある。また、それに加えて、アノードを設置することによりビーム引き出し、Mott散乱を利用した偏極度測定装置^[9]、障壁型エネルギー広がり分析装置^[10]などによりビームの性能測定に取り組む予定である。

6. 謝辞

本研究は高エネルギー加速器研究機構の大学等加速器総合支援事業の支援により行われました。加速器研究施設の神谷所長、浦川教授、河田教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] ILC Reference Design Report, ILC-Report-2007-1,2007
- [2] "コンパクト ERLの設計研究", KEK Report 2007-7, 2007
- [3] "The European X-ray Free Electron Laser Technical Design Report", DESY 2006-97, 2006
- [4] N. Yamamoto et al., "Thermal emittance measurements for electron beams produced from bulk and superlattice negative electron affinity photocathodes", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 102, 024904, 2007
- [5] T. Rao et al., "Photocathode for the energy recovery linacs", Nucl. Instr. and Method A, 557, 124-130, 2006
- [6] O.E. Tereschenko, S.I. Chikichev, A.S. Terekhov, "Atomic structure and electronic properties of Hcl-isopropanol treated and vacuum annealed GaAs(100) surface, Appl. Surface Science 142, 75-80, 1999
- [7] K. Togawa et al., "Surface charge limit in NEA superlattice photocathodes of polarized electron source", Nucl. Instr. and Method A414, 431, 1998
- [8] 塚原園子, "超高真空材料として眺めた金属材料と水素", 応用物理69, 22-28, 2000
- [9] S. Qiao et al., "New compact electron spin polarimeter with a high efficiency", Rev. Sci. Instrum. 68(12), 4390-4395, 1997
- [10] Y. Zhou, et al., "Compact high-resolution retarding field energy analyzer for space-charge-dominated electron beams", PRSTAB.5, 072801, 2002