

Ultra High Vacuum - High Voltage D.C. GUN

C. SUZUKI, T. NAKANISHI, S. OKUMI, C. TAKAHASHI, K. TOGAWA, M. TAWADA,
H. MATSUMOTO^a, K. NISHITANI^b, and Y. TANIMOTO^c

Nagoya University, Department of Physics Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 406

^a National Laboratory for High Energy Physics 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

^b ATC Co., Ltd. 36-7 Namiki-cho, Hachioji-shi, Tokyo-to, 193

^c Present address PNC, O-arai Engineering center, O-arai-cho, Kitaibaraki-gun, Ibaraki-ken, 311-13

ABSTRACT

A polarized electron gun using a photocathode is very important in e^+e^- linear colliders. Photocathodes with high polarization are already available, and the polarized electron gun that accelerates electrons by D.C. 100kV is being developed. In order to obtain the high quantum efficiency for a long time practical use, it is necessary to keep ultra high vacuum and low dark current during a high voltage operation. For the purpose of studying this problem, Ultra High Vacuum-High Voltage D.C. Gun (UHV-DC GUN) was constructed. The gun chamber was introduced various improvements, such as a new stainless steel 'NK Clean Z', electro-chemical buffing, Cr rich passivation treatment, and hot ultra pure water rinsing. This apparatus achieved a total pressure of 10^{-12} Torr, and an experiment to suppress lower dark current to a low level of several nA is in progress.

超高真空・直流高電界試験装置

1 はじめに

我々のグループは、次世代の高エネルギー線形加速器(LC-1)において、高い偏極度を有する電子ビームを生成し、加速する「偏極電子銃」を実用化すべく開発研究を行っている。

これまでは偏極度の向上と量子効率の改善に主眼をおき、GaAs型フォトカソードについて研究を行い、以下のような成果をあげている。

- ・ Strained GaAs¹⁾
偏極度 86% 量子効率 0.1%
- ・ GaAs-AlGaAs 超格子²⁾
偏極度 72% 量子効率 1.3%
- ・ 反射膜付 Strained GaAs³⁾
偏極度 85% 量子効率 1.3%

これらのフォトカソードを用い、実際に偏極電子をDCで加速する電子銃として、NPES-2(名古屋大学)、およびKEK-PES(高エネルギー研究所)が開発されている。

LC-1計画に向け、実用的な偏極電子銃の必要とされる性能として、大電流の引き出し、マルチバンチビーム、低エミッタンスビームの生成、そして高い量子効率の維持があげられる。

この課題を達成するために、前述の電子銃において偏極電子ビームのダイナミクスや、その移送系に関して積極的な試験がおこなわれている。

カソードから大電流を引き出す際、空間制限効果 ($I_{MAX} = kV^{3/2}$ k : パーピアンズ) により電

流の上限値が決められてしまうため、より大きな電流値を得るためには、高い電圧の印加が必要となり、放電暗電流の低減が重要な問題となる。

また、偏極電子ビームの引き出しに耐え、数日間高い量子効率を維持するためには、GaAs表面のNEA状態(負の電子親和力状態)を安定に保たなければならない。

このためには、カソードの寿命に悪影響を与える真空チャンバー内の残留ガスの低減、放電暗電流によるアノードのスパッタリングや真空度の悪化を極力抑えることが必要である。

そこで我々は、超高真空の生成と放電暗電流の低減を追求し、得られた結果を電子銃に還元するための装置を製作した。

この装置では、材質、表面処理、洗浄方法に対して、現在求めうる限りの技術を応用し、その有効性をあきらかにするのが目的である。

この装置での試験は進行中であり、ここでは途中経過の報告をおこなう。

2 実験装置の概要

超高真空・直流高電界試験装置の全体を図1に示す。この装置では、 10^{-12} Torr台の真空度を達成するために以下のような改善を施した。

- ・ 材質としてNK Clean Zの採用⁴⁾
- ・ 電解複合研磨によるSUS表面の鏡面化⁵⁾
- ・ 温超純水洗浄によるチャンバーの清浄化

・CRP処理によるSUS表面の不動態化⁶⁾

具体的には、メインチェンバーおよび電極の材質として、従来のSUSに比べ非金属介在物を減らし H_2 放出量を抑えたNK Clean Zを用いた。

各コンポーネントは、バフ研磨と電解溶出作用を同時に行う電解複合研磨により、表面粗度を $0.1\mu\text{m}$ 程度とし、チェンバー内の実効表面積を小さくしている。

この後、表面に付着した不純物を取り除くため温超純水($18.2\text{M}\Omega\text{cm}$ 以上 70°C)のオーバーフローによる清浄化がおこなわれた。

さらに、チェンバーへの吸着分子の活性化エネルギーを低下させるため、SUS表面を Cr_2O_3 不動態膜で $40\sim 50\text{nm}$ 覆うCRP処理(Cr Rich Passivation)を施した。

サブチェンバーには通常のSUS 316 Lを使用し、残留ガス分析計と N_2 用リークバルブが取り付けられている。これは、オールメタルバルブによりメインチェンバーから切り離される。

電極に対しては、電解研磨の後、温超純水洗浄をおこなった。メインチェンバーとは異なり、複合電解研磨、CRP処理はなされていない。

装置の組立は、ほこりなどの混入を最小限に抑えるため、クラス1のクリーンルーム内でおこなった。

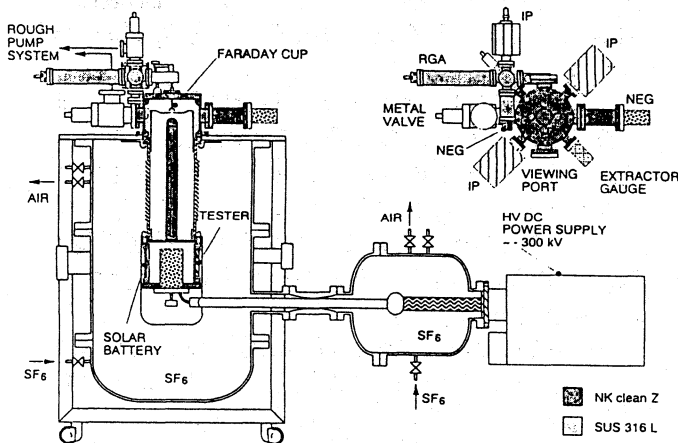


図1 UHV-DC GUN 実験装置

3 超高真空生成試験

装置全体を 250°C 、10日間のベーキングの後、NEGポンプとイオンポンプにより本排気を行った。ベーキング終了後の真空度の変化を図2に示す。比較のため、偏極電子銃NPES-2のデータも併せて示す。

この真空度の変化からUHV-DC GUNでは、 10^{-10} Torr台の領域でも排気速度が衰えず、ベーキング後9時間で 10^{-11} Torr台に突入するという高速排気を実現している。高圧印加試験を行った後、最終的には 8×10^{-12} Torrの真空度を達成した。

なお、真空度は、測定限界が 2×10^{-12} Torrのエクストラクターゲージにより測定された。

図3は、残留ガス分析の結果であり、大部分を水素が占めている。これを、NPES-2の分析結果と比較する。

UHV-DC GUN	全圧:	1.5×10^{-11} Torr
	分圧 H_2 :	1.3×10^{-11} Torr
	CO :	1.8×10^{-12} Torr
NPES-2	全圧:	4.0×10^{-11} Torr
	分圧 H_2 :	3.7×10^{-11} Torr
	CO :	1.8×10^{-12} Torr

これより従来の実験装置に比べ、 H_2 の分圧が少ないことが、到達真空度の向上に貢献していることがわかる。これは、 H_2 放出を抑えたNK Clean Zによる効果が大いと思われる。

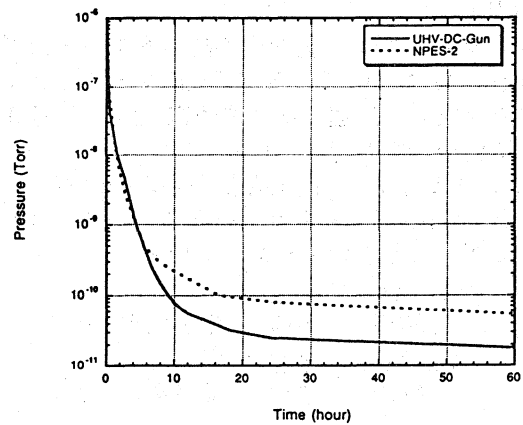


図2 ベーキング後の真空度の変化

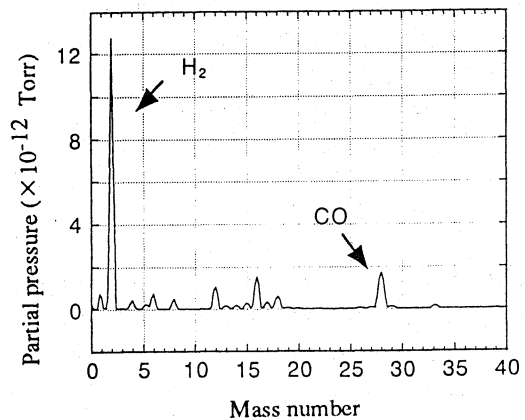


図3 残留ガス分析の結果

4 直流高電圧印加試験

高電界試験は、カソードに最大-100kVの直流電圧を印加し、このときの暗電流を以下のような2種類の方法で測定した。

全暗電流：高圧電源から供給される電流を高圧ケーブルに直列に挿入した抵抗1MΩの両端の電位差により測定する。1nA程度の測定まで可能。

F.C.電流：カソードから放出した電子をファラデーカップで受け、これをピコアンメーターにより測定する。

電極間距離は20mmであり、電界計算プログラム「EMSYS」により求めた-100kV印加時の最大電界強度は、78.8kV/cmである。

図4は、窒素エージングによる暗電流の低減を示したグラフである。窒素エージングとは、真空内に窒素を導入し、電圧を印加することによりミクロな電界増倍の元になる微小突起や、不純物を除去する方法である⁷⁾。この装置では、窒素を 10^{-6} Torrまで導入することにより $16\mu\text{A}$ から $1\mu\text{A}$ に暗電流を減らすことができた。

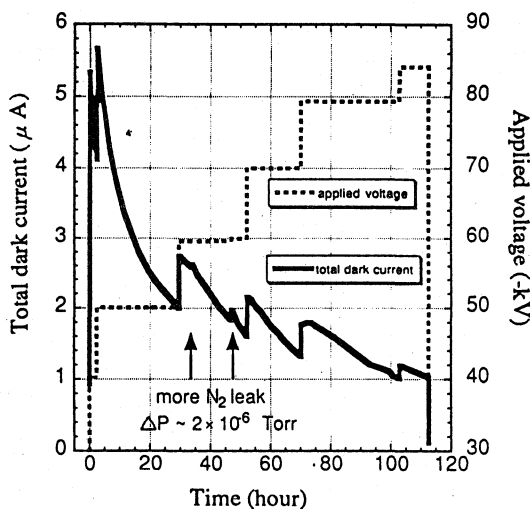


図4 エージングによる放電暗電流の変化

当初の目標であるnAオーダーの全暗電流を得ることは出来なかったが、全暗電流のほとんどがセラミック絶縁管漏洩電流であることを、ファラデーカップ電流との比較から確認した。このセラミック絶縁管には、沿面放電過程での2次電子放出係数の低減と帯電防止のためにTiNコーティングが50~100Å施してあった。

NPES-2でも同様の絶縁管を使用しているが、-100kV印加時の全暗電流は200nA程度であることから、我々の装置では特殊な表面処理を行った結果、暗電流が増大したという推論に達した。

これについて、小型絶縁管サンプルを用いて検証した結果が図5である。これにより、TiNコ

ーティングした絶縁管に対して、CRP処理を行うと暗電流が増大することが明らかとなった。

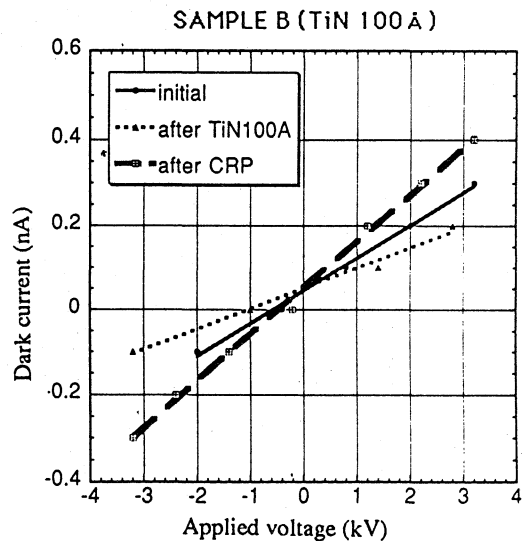


図5 表面処理による暗電流の変化

5 まとめ

超高真空生成の試験では、高速排気、そして 10^{-12} Torr台の達成と一応の成果が得られたが、放電暗電流に関しては、セラミック絶縁管漏洩電流が予想外に大きく、まだ満足な試験が行われていない。

現在我々は、UHV-DC GUNに改良を加え、十分な性能を発揮すべく準備を進めており、すでに絶縁管のTiNコーティングは除去を終えている。

また、電極間の距離を可変にし高い電界強度を得ることにより、様々な材質や表面処理の違いによる放電暗電流の評価を行う。

電極形状のシミュレーションスタディーや、改良のための設計を完了し、1995年9月から再び高電圧印加試験を開始する予定である。

Reference

- 1) T. Nakanishi et al., Phys. Lett. A 158 (1991) 345
- 2) T. Omori et al., Phys. Rev. Lett 67 (1991) 3294
- 3) T. Saka et al., Jpn.J. Appl. Phys. 32 (1993) 1837
- 4) NKK技報 No.127 (1989)
- 5) 馬場吉康、佐藤憲二 表面科学 11 368 (平2)
- 6) 宮内 昌明 他 第31回真空に関する連合講演会 プロシーディングス
- 7) T. Shintake et al., KEK Report 88-17 March 1989