

UPGRADE OF EXPERIMENTAL APPARATUS FOR POLARIZED PHOTOCATHODE

Kazuharu NISHITANI

ATC Co., Ltd.

36-7 Namiki-cho, Hachioji-shi, Tokyo, 193 Japan

ABSTRACT

Ultra-high vacuum is required for an experimental apparatus of polarized photocathode. A gun is baked at 150°C for 50 hours and evacuated with the combination of the sputter ion pumps and the NEG pumps. The vacuum pressure of 6×10^{-11} torr was achieved for the base pressure. The gun is processed by the conditioning of the DC high voltage up to 110kV with N₂ gas ranging of $10^{-8} \sim 10^{-7}$ torr. The amount of the dark current is less than 1nA at 70kV of applied voltage. Two ion pumps mounted near the beam line are surrounded by the permalloy plates to magnetic shield. The magnitude of the leakage magnetic field of the ion pumps is smaller than the earth magnetism across the beam line.

偏極電子フォトカソード試験装置の改良

1. はじめに

次世代リニアコライダーでは、電子ビームはスピン偏極ビームを使用することが考えられている。現在、KEKのAccelerator Test Facility (ATF)ではリニアコライダー計画の偏極電子銃の開発に向けた数々の研究が行われている。そのなかにガリウム砒素系の結晶をフォトカソードとして用いる研究開発があり、それら試験のための装置も製作された。この試験装置は図1に示すように、直流電子銃、ビームトランスポート、偏極度測定器で構成されている。

フォトカソードの寿命は真空度に大きく左右されるため^[1]電子銃は少なくとも真空圧力が 10^{-10} Torr以下の超高真空であることが要求される。さらにこの装置のビーム引き出しの最高電圧100kVを安定に印可でき、かつ暗電流が少ないことも要求される。また100kVで引き出された偏極電子ビームを取り扱うため、ビーム移送に関係ない磁場は極力抑えることも必要となる。我々はこれらの要求を満たすべく、試験装置の改良を行ったので、その内容および結果について報告する。

2. 電子銃

1) 超高真空

電子銃の真空排気は到達真空度 10^{-11} Torr台を目標に排気速度200 l/sのイオンポンプとNEGポンプで行う。ベーキングは磁気浮上ターボポンプとドライ式真空ポンプであるドライバックを使った完全オイルフリーの粗排気システムで排気しながら、電子銃全体を断熱パネルで囲み、150°Cで50時間行う。NEGはベーキング終了直前に活性化する。

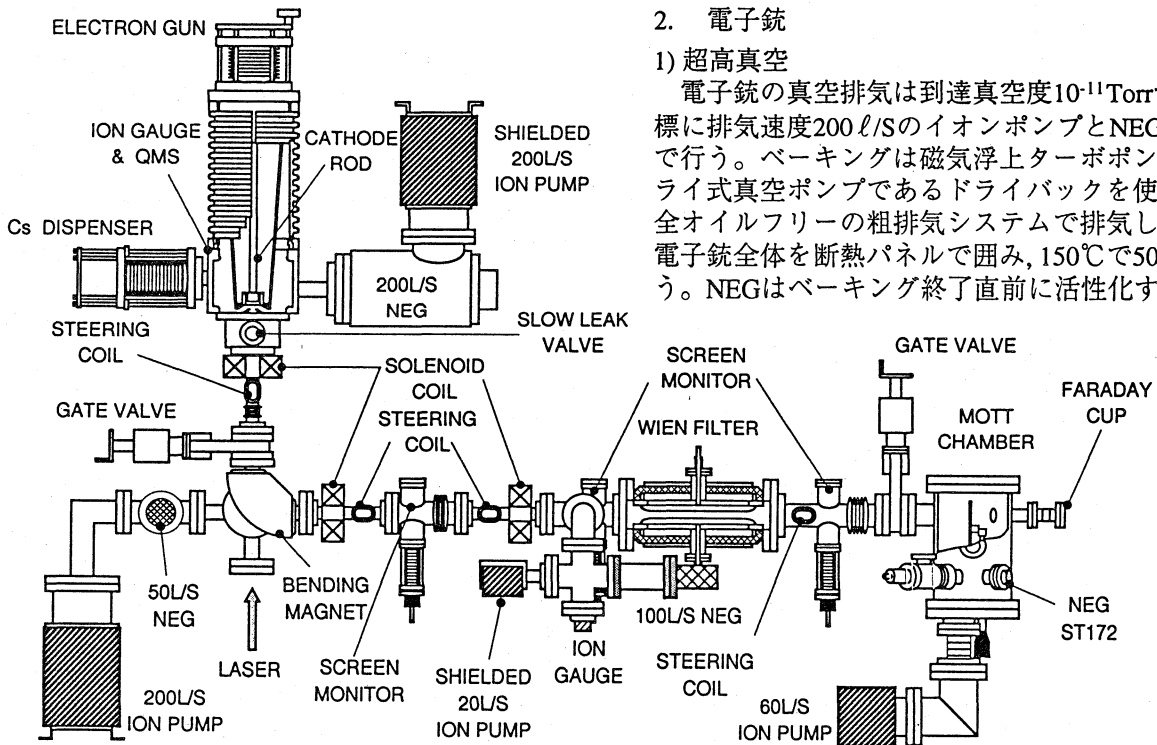


図1 偏極電子銃フォトカソード試験装置構成図

ベーキング後の到達真空度は 6×10^{-11} Torrである。図2に残留ガスの分圧を示す。真空度が 1.4×10^{-10} Torrなのは質量分析器の放出ガスによるものである。

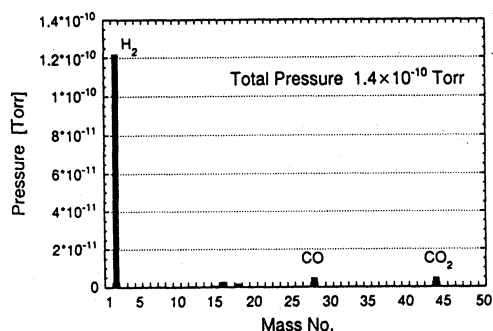


図2 残留ガスの分圧

2) 高電圧プロセッシング

この電子銃はフォトカソードを装着するため高電圧印加によりウエーネルトから電界放出される暗電流を極力抑える必要がある。また試験で引き出すカソード電流が数nAと微小なこともあり、より正確な電流計測を行うためには絶縁管の縁面電流も少ないことが要求される。そこでベーキング後の高電圧プロセッシングではチッソガスを導入させながら、いわゆるチッソエージングを行っている[2]。チッソガスはスローリークバルブで真空度が $10^{-8} \sim 10^{-7}$ Torrを維持するよう調整する。カソードは加速されたイオン分子の衝撃を受けないようカソードを取り付けてあるロッドを上へ引き上げウエーネルトから遠避ける。電圧は110kVまで高圧電源電流を監視しながら上げてゆく。通常、エージングを数時間行くと電流は110kV印加で100nA以下になる。通常運転電圧である70kV印加では10nA以下、さらにエージングを続けると1nA以下まで低下する。

3. ビームトランスポート

1) 超高真空

電子銃の超高真空を維持するためにはビームトランスポートも超高真空であることが要求される。そこで、ビームトランスポートの真空排気もイオンポンプとNEGポンプで行うことにした。偏向マグネットの下流側とトランスポート最下流に、 $\phi 5$ mmのコリメーターがあるので、マグネットより上流側は200 l/Sのイオンポンプと50 l/SのNEGポンプ、下流側は20 l/Sのイオンポンプと100 l/SのNEGポンプを取付け、差動排気とした。ベーキングは電子銃と同じ工程を行うが、加熱はテープヒーターを巻きつけて行う。到達真空度は 1.2×10^{-10} Torrである。

2) 収束レンズ

収束レンズは、イリノイ大学のCEBAF偏極電子源

で使われているものを参考に設計した[3]。図3に示すよう漏れ磁場を低減するためにコイルはリターンヨークで囲み、ビームパイプをはめ込む一体構造にした。しかし、ビームパイプはベーキングするため収束レンズも150℃以上の耐熱を必要とする。そこで、巻き線はポリアミドイミドエナメル線、接着剤はサーミッドポリイミド、絶縁シートはキャプトンを使用して、耐熱温度180℃とした。図4にZ方向の磁束分布を示す。

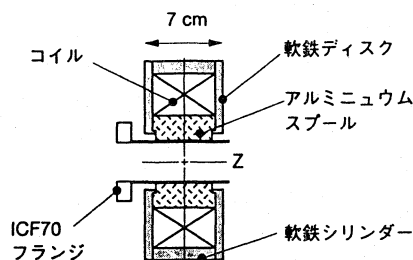


図3 収束レンズの構造

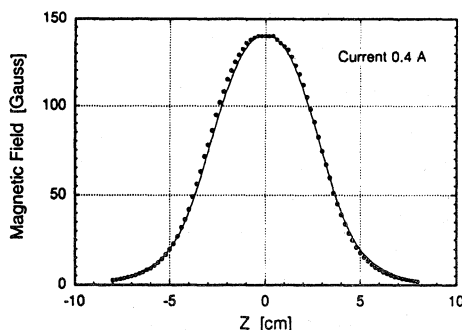


図4 収束レンズの磁場分布

3) 磁気シールド

通常運転電圧の70kVで加速されたビームの移送では地磁気たりとも無視は出来ない。ただし地磁気は一様に分布しているので、ステアリングコイルでの補正で十分であるが、イオンポンプなどの漏れ磁場は局所的な分布を示すので厄介である。そこでビームトランスポートに取付けてある2つのイオンポンプのうち200 l/Sのものはスペースの余裕もあるので遠避けることにし、20 l/Sのものは排気速度を低下させたくないで磁気シールドをすることにした。シールド材は厚さ2mmのパーマロイ(Ni45%)の板を使い立方体の箱を作り、その中にイオンポンプを入れる。ただしフランジとフィードスルーは箱の外に出ている。図5に漏れ磁束が最大であったフランジ方向の磁束分布を示す。フランジ面で2 Gauss程度だが、3cm離れたところでは地磁気程度になっている。また、箱の角表面に2 Gauss程度の漏れ磁束があるが、これも3cm離れば0.3 Gauss以下になっていた。また、電子銃のイオンポンプも同様にシールドし、ビームラインでの漏れ磁束は地磁気以下になった。

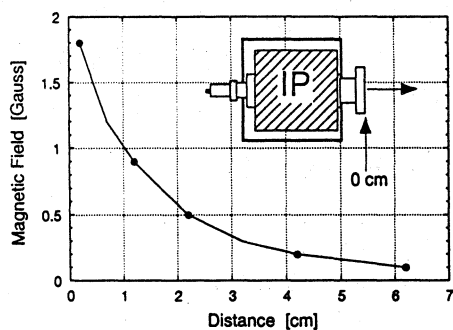


図5 シールドしたイオンポンプの漏れ磁束分布

3. モットチェンバーの真空度改善

モットチェンバーの内部にはモット散乱を検出する半導体があり、ベークが行えないこともあって、60 l/Sのイオンポンプだけでは到達真空度が 1.4×10^{-8} Torrと、ビームトランスポートの2桁高い圧力になっていた。ゲートバルブを開いた時の電子銃の真空度悪化を抑えるためにも真空度の改善が必要であった。ここでは真空管などのゲッターポンプとして使われている非蒸発型ポラスゲッター(ST172, サエスゲッター社)を取付け、排気速度の増強を図った。ST172はポラス状の非蒸発型ゲッター材を任意の形状にしたもので、その内部には活性用のヒーターが埋め込まれている。図6に示すようにST172を真空ポンプとして使用するためICF-70 フランジのフィードスルーにヒーターのリード線を接続、固定したものを4台作り、モットチェンバーのポートに取付けた。

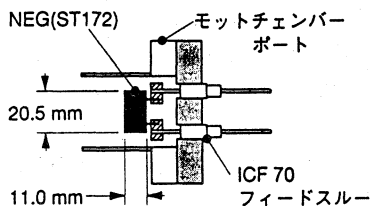


図6 ST172 真空ポンプ

活性化中の放出ガスは外部排気を使わず、60 l/Sのイオンポンプで排気しながら行った。活性時間はヒーター電流7Aで10分間、ただし7Aになるまではイオンポンプの加熱をさけるため 10^{-6} Torr以下の圧力を保つよう約20分かけて電流を上げていった。図7に真空度とST172推定排気速度の変化を示す。1台を活性化して1日後に 7.2×10^{-9} Torrの真空度となった。活性前 1.4×10^{-8} Torrでのイオンポンプの排気速度が30 l/Sであると仮定するとモットチェンバーでの実効排気速度は20 l/S程度と見積られる。真空度と実効排気速度から放出ガス量は 5.6×10^{-7} Torr·l/Sとなり、到達した真空度 7.2×10^{-9} Torr になるには39 l/Sの排気速度を要する。した

がって、ST172の排気速度は19 l/Sと推定される。21日後に真空度は 8.9×10^{-9} Torrで落ち着いた。この時点でのST172の排気速度は11 l/Sとなる。次に2台目を活性化すると1日後にST172の排気速度は2台合わせて34 l/Sとなり、2台目が23 l/Sを有していたことになる。21日後の排気速度は2台合わせて25 l/Sに落ち着いた。さらに1台目を再活性化したが排気速度の変化は2台目の活性化後と同様で、約100日後の真空度は 7×10^{-9} Torrで落ち着いている。排気速度の低下は、ST172吸着面の飽和によるものと考えられるが、活性化時の放出ガスを外部排気しながら残り2台を含めた4台を活性化することで、さらに低い圧力を長期間、維持することが期待できる。

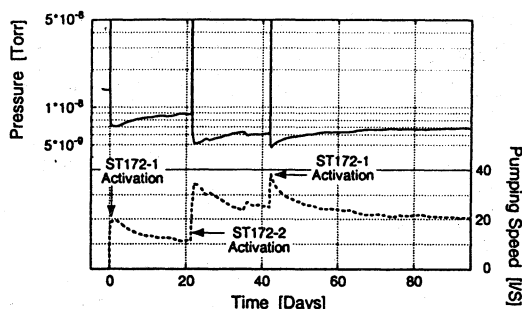


図7 ST172活性化による真空度および排気速度の変化

4. まとめ

今回の改良によって電子銃の真空度は下流のゲートバルブを開いた状態でも 10^{-11} Torrを十分維持できるようになりカソードの寿命が延びた。また、漏れ磁場の排除によりビームの移送効率が改善され、試験装置として使用できるようになった。今後は、フォトカソードに係わる取り扱い方法の改善を行う予定である。

謝辞

試験装置の改良にあたっては、KEKおよび名古屋大学のLC開発グループ、特にフォトカソード電子銃グループの皆様の御協力に感謝致します。また東北金属(株)の松本教之、中村崇憲両氏にはそれぞれ収束レンズ、磁気シールド製作に御協力頂き、SLACのDavid Schultz氏にはSLACにおける経験を快く教えて頂きました。

参考文献

- [1] Proceedings of the Workshop on Photocathodes for polarized Electron Sources for Accelerators, SLAC-432 Rev. April 1994に残留ガスとフォトカソードの寿命に関する論文が多く出ている。
- [2] David Schultz, Private communications.
- [3] B.M. Dunham, Investigations of the Physical Properties of Photoemission Polarized Electron Sources for Accelerator Applications, Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign Press, P40-43, 1993.