

Design of a 200 keV Polarized Electron Gun for a Linear Collider

S.Okumi, T.Nakanishi, K.Nakahara, K.Togawa, C.Suzuki, C.Takahashi, F.Furuta, T.Iida, K.Wada
Department of Physics, Nagoya University, Furo-cho Chikusa-ku Nagoya-shi, 464-01, Japan

H.Matamoto, Y.Takeuchi, M.Yoshioka
High Energy Accelerator Research Organization, Oho Tsukuba-shi Ibaraki-ken, 305, Japan

K.Nishitani
ATC Co. Ltd. 36-7 Namiki-cho Hachioji-shi Tokyo-to, 193, Japan

Abstract

Spin polarized electron beam is considered to have an essential role in e⁺e⁻ linear colliders and a 200 keV polarized electron gun has been designed at Nagoya University in collaboration with KEK. High intensity pulsed beam with a multi bunch structure must be produced from an NEA photocathode with high polarization and high quantum efficiency.

The apparatus is composed of three chambers, a high voltage gun chamber, a preparation chamber for activating photocathode and a storage chamber for photocathodes. They are connected by two load-lock systems which enable to exchange photocathodes between a gun chamber and a preparation chamber, a preparation chamber and a storage chamber respectively.

The maximum acceleration voltage is set at 200 KV to overcome the effects of space charge limit and surface charge limit of an NEA photocathode.

リニアコライダーのための 200 keV 偏極電子銃のデザイン

1. はじめに

我々は高エネルギー物理の次期将来計画として進められているe⁺e⁻リニアコライダーに必要な研究の一環としてスピン偏極電子源の開発を続けている。すでに試作 I 号機 (NPES I) ・試作 II 号機 (NPES II) を完成させた。

NPES I は高い偏極度及び高い量子効率の半導体フォトカソードの開発研究に利用し、NPES II は印加電圧 -70 KV でフォトカソードから高いピーク電流のパルスビームを取り出し、空間電荷制限及び Negative Electron Affinity (NEA) 表面電荷制限の研究に用いている。 [1]

NPES II の発展として、e⁺e⁻リニアコライダーに用いるために試作 III 号機 (NPES III) をデザインした。 [2]

2. 電子銃の概略

NPES III は図 1 に示す 3 つのチェンバーで構成されている。すなわち、電子銃本体とフォトカソード表面活性化チェンバー及びフォトカソード貯蔵チェンバーである。これらの真空チェンバーはゲートバルブにより互いに独立している。さらに貯蔵チェンバーと活性化チェンバー及び活性化チェンバーと電子銃本体を超高真空を維持しながらそれぞれトランスポーターでフォトカソードをやり取りできるロードロック機構を採用している。

このNPES III の特徴として空間電荷又は NEA 表面電荷制限電流値を大きくし、電子銃からのピーク電流を引き上げるために、加速電圧を 200KV にした。この加速電圧を倍加することにともない、電極間電界放出暗電流を削減するための工夫を取り入れ、また絶縁破壊を防止するために絶縁セラミックスを 5 段に分電圧した。

もう一つの特徴はロードロック機構を持たせたことである。このロードロック機構は電子銃に印加する -200 KV の高電圧部とはセラミックスで絶縁され、グランド電位で操作できるようになっている。このロードロック機構により、電子銃本体と半導体フォトカソードに負電子親和性 (NEA) 表面をつくるためのフォトカソード表面活性化を行う場所が隔離され、フォトカソードに O₂, Cs を添加して NEA 表面をつくる時に Cs が陰 (陽) 電極に付着することによって発生する電界放出暗電流を大幅に減少できる。この暗電流の削減によって、フォトカソードの寿命を大きく伸ばすことができるはずである。

フォトカソード表面清浄活性化チェンバーには高周波誘導加熱装置を備えてあり、フォトカソードのみを加熱清浄化することができる。これにより加熱時にチェンバー等から発生するアウトガスを減らし、フォトカソード表面のみを清浄にすることができた。

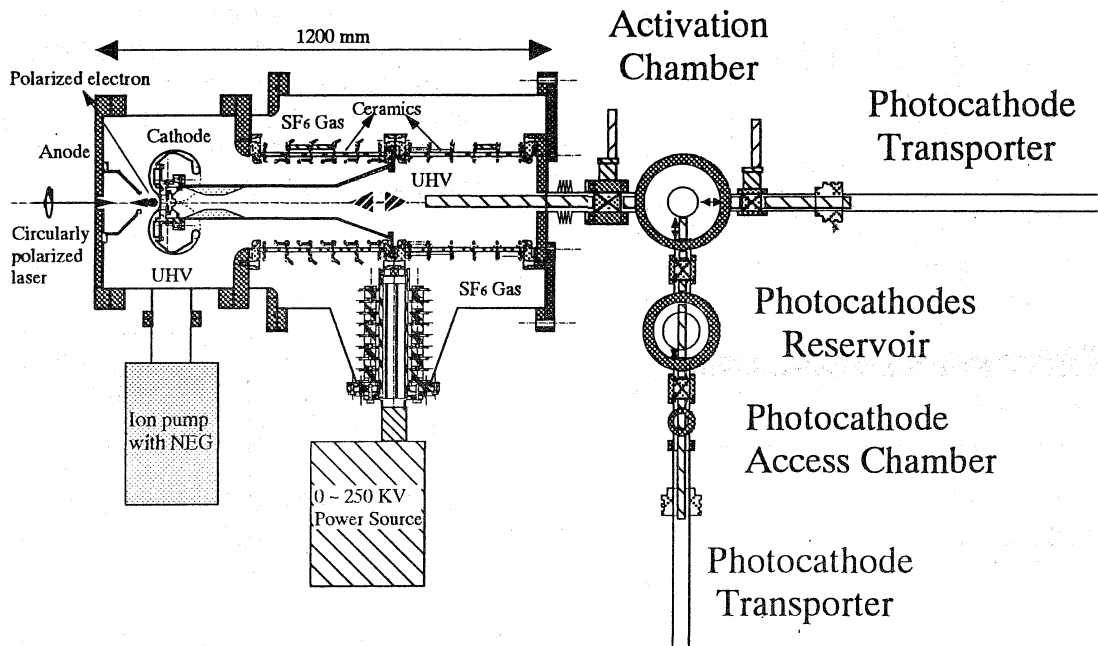


図1. 200 KV スピン偏極電子銃概略図

3. 電子銃電極

(1) 電界強度及び電界放出暗電流

NPES-IIIの電極設計をし、陰極に DC で -200 KV を印加し、陽極をグランド電位にして、これらの電極間距離を 35 mm にとって、電界解析シミュレーション (POISSON) を行った。図2に示すように、フォトカソード表面の電界強度は 3.1 MV/m で、陰電極の最大電界強度は 7.8 MV/m の計算結果を得た。SLAC の SLC 偏極電子銃は 120 KV 印加時で陰電極の最大電界強度は 7 MV/m で実用機として使用されている。

また、我々は既に「超高真空・直流電界試験装置」によって、 3.6×10^{-11} Torr の真空チェンバーで、電界複合研磨した超清浄ステンレス鋼で製作した試験用電極のテストを実施し、電界強度 34 MV/m の時、電界放出暗電流 88 pA の実験結果を得ている。[3]

これらのことから 200 KV の印加電圧での電界強度として十分に小さく設計され、電極間電界放出暗電流を十分に小さく出来ると考えられる。

(2) 大電流・マルチバンチビームの引き出し

NPES-IIIの 200 KV 印加運転によるEGUN シミュレーションを行い、電子引き出しのフォトカソード領域を 3 cm^2 として、空間電荷制限値 32 A を得た。また、レーザースポットを 2 cm^2 とし、電流密度を 3.5 A/cm^2 とすると、規格化エミッタンスは $24\pi \text{ mm-mrad}$ と計算された。これを図3に示す。

リニアコライダの要求する電子ビームは衝突点で 1×10^{10} e/bunch の電子数をもつ、バンチ間隔

2 ns のマルチバンチ (80 bunches/pulse) ビームである。我々はこの要求に応えられるように NPES-II を用いた基礎研究を行っており、NPES-III を実践機と位置付けている。[1]

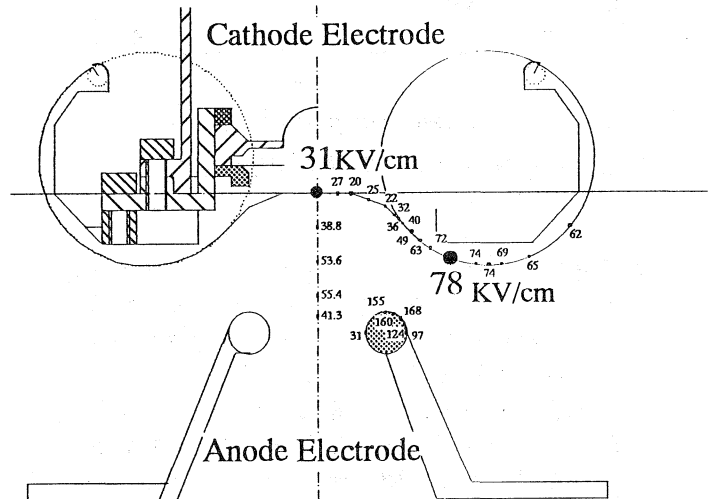


図2. POISSON による陰電極の電界強度

4. ロードロック機構

NPES-II はロードロック機構を備えていない。そのため、電子銃電極部でフォトカソードに NEA 表面処理をしなければならず、その度に添加するセシウムが電極等に付着蓄積される。その結果、印加電圧時の電界放出暗電流が増加し、高電圧を 70 KV に制限せざるを得なくなっている。

200 KV の印加電圧では電界放出暗電流問題はもっと厳しくなってくるので、NEA 表面処理は電子

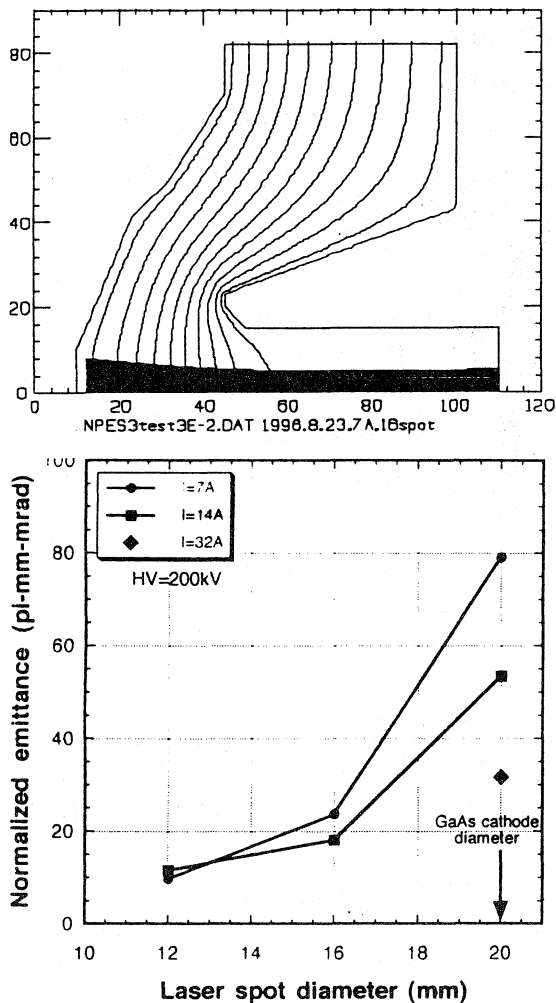


図3. EGUNによる空間電荷制限値とビームエミッタンス

銃電極部で一切行わず、フォトカソード表面清浄活性化チェンバーでのみセシウム添加を実施する。

そのために、フォトカソードの受け渡しをするロードロック機構が必要になる。

その他、ロードロック機構の導入によって、電子銃のエージングの後、高真空を維持した状態でフォトカソードを陰極に取り付けられることや、ベーキング時のアウトガスによるフォトカソードに与える影響を回避できる利点がある。

200 KV 偏極電子銃は絶縁セラミックの中央で高電圧部を挟むことによって、ロードロックをグランド電位に落としてある。これによって、ロードロック機構はコンパクトになるとともに、フォトカソードの受け渡しが簡便になった。

ノボシビルスク研究所のテレコフ氏の協力で、フォトカソードの受け渡しパック、カップリング、及びホルダーを製作し、円滑にその脱着ができることを確認した。

5. フォトカソード表面活性化チェンバー

図4に示すフォトカソード表面活性化チェンバーの目的は、搬送されてきたフォトカソードを加熱洗浄し、NEA表面処理を施した後、フォトカソードの量子効率の性能評価をするものである。以下に実験結果を報告する。

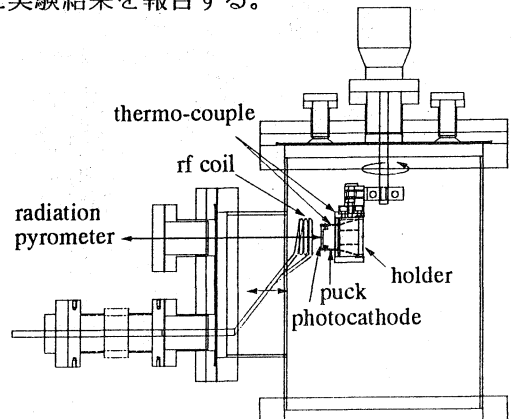


図4. フォトカソード表面活性化チェンバー

(1) 超高真空の生成と結晶の加熱洗浄

フォトカソード表面活性化チェンバーを200℃で40時間ベーキングを行い、その18時間後に 7×10^{-11} Torrの真空度を得た。具体的には発振周波数100 kHz、出力1 kWの高周波誘導加熱装置で加熱洗浄し、フォトカソードの温度モニターはパイロメーターを用い、ホルダー部の温度測定には熱電対を使用した。

フォトカソードを600℃で1時間保持して加熱洗浄したところ、フォトカソード搬送バック近傍のホルダー部の温度は120℃で、ホルダー前部では40℃であった。

(2) NEA表面処理と量子効率の性能評価

GaAs結晶にNEA表面処理後、レーザーパワー5 mW、波長633 nmのHe-Neレーザーを照射し、量子効率2.4%のフォトルレントを取り出した。その寿命は50時間を越えるものであり、充分に安定である。(図4)

6. まとめ

200 KV 偏極電子銃の基本デザインが終わり、多段セラミック絶縁管、電極をはじめとして、電子銃本体の製作を進めている。フォトカソード表面活性化チェンバーは既に完成し性能テストをおこなっている。

参考文献

- [1] K. Togawa et al. This Proceedings, 1997
- [2] JLC Design Study, April, 1997
- [3] C. Suzuki et al. Proceedings of the 21th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1996