

[P7-15]

FEASIBILITY STUDY ON POLARIZED RF-GUN —TEST OF CESIUM TELLURIDE PHOTOCATHODE

F. Furuta, T. Nakanishi, S. Okumi, K. Togawa, C. Suzuki, S. Nakamura, K. Wada, M. Yamamoto,
T. Nishitani, K. Kimura¹, H. Sugiyama¹, H. Kobayakawa¹, Y. Takashima¹,
M. Yoshioka², and H. Matsumoto²

Department of Physics, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8602, Japan

(1) Faculty of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan

(2) High Energy Accelerator Research Organization(KEK), Tsukuba, 305-0801, Japan

Abstract

Our collaboration group have continued the development of the polarized DC-guns for a future 1 TeV electron-positron linear collider (JLC). In parallel, the feasibility study on spin polarized RF-gun is continued, because the RF-gun would produce high intensity and low emittance electron beam. We have started the study by testing Cs₂Te photocathode as it is expected to produce high quantum efficiency (QE) and long life time. The results are described in this report.

スピンの偏極 RF-gun に向けた基礎研究 —Cs₂Te フォトカソードの開発—

1.はじめに

我々は高エネルギー物理実験の次期将来計画として開発研究が進められている電子-陽電子リニアコライダーにおける、スピン偏極電子源の実用化を主目標とした開発研究を続けている[1]。スピン偏極電子ビームは超対称性粒子の探索などでの活躍が期待されており、これまで我々は GaAs 型半導体フォトカソードを用いた直流高電界型偏極電子源の開発を進めてきた[2]。一方、無偏極の電子源では同じフォトカソード型ではあるが電子ビームの引き出しに直流ではなく、高周波を用いる高周波型電子銃が研究され実用化直前に達している。RF-gun は DC-gun よりも高い電界(100MV/m)をカソードに印加でき、そしてそれに伴う三つの大きな利点がある。まず①電子銃部においてバンチ幅 10ps の電子ビームが直接生成可能である。また、②空間電荷制限の緩和により高密度ビームの生成が可能となる。さらに、③空間電荷効果によるビームの拡がりや抑えら

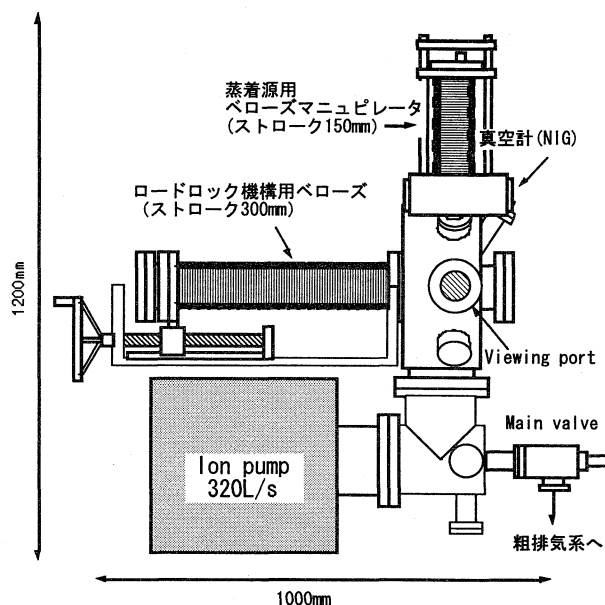


図 1: Cs₂Te 形成チェンバー

れるために低エミッタンスビームの生成が可能となる。これらの点から RF-gun はリニアコライダーには理想的な gun とみなすことができる。この RF-gun によりスピン偏極電子ビームを生成することが我々の開発目標である。ただしこの

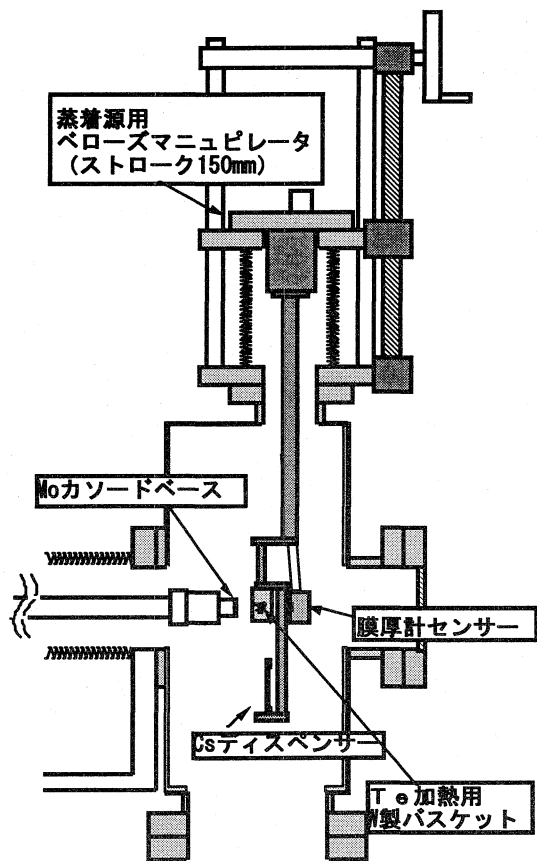


図 2: 蒸着源システム

目標達成は容易ではない。GaAs 型偏極電子フォトカソードは半導体から電子を引き出すのに NEA(Negative Electron Affinity)表面を用いているが、この NEA 状態が RF 高電界印加による暗電流の増加で破壊されるといふ深刻な寿命問題が予測されるからである。そこで、我々は RF-gun 開発の第一歩として、無偏極の RF-gun 用 Cs_2Te フォトカソード開発から始めることにした。 Cs_2Te を選択した理由は、高い量子効率からリニアコライダーで要求される数 nC/bunch の高密度電子ビームが実現できるからであり、CERN と Los Alamos の RF-gun においては数週間にわたり数%の量子効率を安定に維持できたことが報告されている[3]。

2. 実験装置

本研究では超高真空中($\sim 10^{-10}$ Torr)で蒸着法により Cs_2Te 半導体薄膜を形成し、紫外線を照射して量子効率を測定することのできるチェンバーとして、以前に KEK の RF-gun 開発に使用

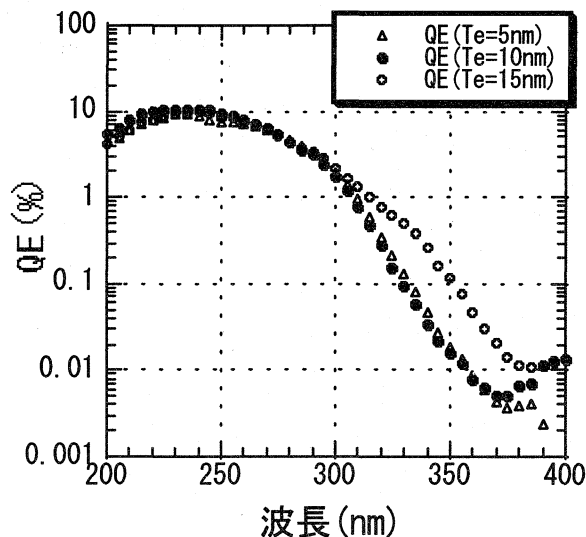


図 3: Cs_2Te の QE スペクトル

Te 膜厚(nm)	QE _{MAX} (%)@波長(nm)
5	9.1 @ 230
10	10.6 @ 245
15	9.9 @ 245

表 1: QE の Te 膜厚依存性

されたものを用いた[4]。 Cs_2Te の具体的な形成方法は超高真空チェンバー内で Mo ベース上にまず Te を蒸着し、さらに Cs を蒸着して形成する。Te 蒸着には膜厚のコントロールが必要であり約 5~15nm の厚みにして実験した。 Cs_2Te からのフォトカレント引き出しは紫外領域の波長(約 260nm)によりなされるが、その光源には Xe ランプ光を回折格子により単色化して用いた。本装置はロードロック機構を備え、RF 空洞を取り付けることにより RF-gun として動作可能である。図 1 に装置全体図を、図 2 に内部の蒸着システムを示した。

3. 実験結果

本実験では Te、Cs 蒸着中のカソード温度は室温とし、Te の膜厚を 5,10,15nm と変えた 3 種の Cs_2Te を形成した。それぞれの QE スペクトルを図 3 に示し QE 最大値を表 1 にまとめた。また図 4 に Cs_2Te から光電流の連続引き出しによる寿命測定結果を示す。これらの結果から RF-gun にお

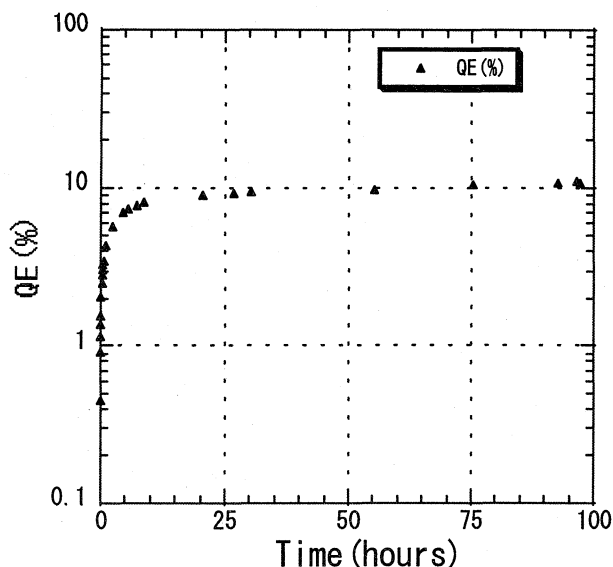


図 4: Cs₂Te の寿命測定(Te 膜厚 10nm)

ける Cs₂Te の有効性を二つ確認できた。①量子効率がよく(～10%)、かつ、②寿命が長い(～100時間以上)事である。これまでに RF-gun に用いられてきた Cu などの金属類の QE に比べて Cs₂Te は三桁以上高い値をもち、高密度電子ビームの生成に対し利点となる。また今回の実験は約 100nA の直流を引き出す試験ではあるが、QE の劣化は全く認められなかった。これから RF 場にさらされる空洞内においても Cs₂Te は高 QE を維持することが期待される。Cs₂Te からの光電流放出は R.A.Powell らによって実験的に調べられた[5]。光電流放出過程は次の三つに分けられる。①電子の価電子帯から伝導帯への光励起、②表面への移動、③表面障壁を超えて真空中への脱出、である。彼らの data を再認する為に考察された Cs₂Te のバンドギャップと状態密度の模式図を図 5 に示す。QE 最大を与える波長(約 250nm) は状態密度の高い価電子サブバンドから伝導帯サブバンドの励起に対応していると解釈される。また QE が大きいのは表面障壁である真空準位と伝導帯最下端のエネルギー差が 0.2eV と小さく、励起された電子の真空中への脱出が容易なためと考えられる。

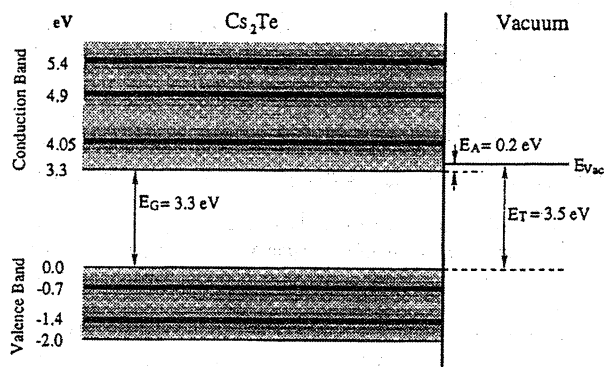


図 5: Cs₂Te のバンド構造(文献 6 より転載)

4.まとめ

小電流試験ながら 10%以上の量子効率を 100 時間以上にわたり安定に維持できる Cs₂Te 薄膜 フォトカソードを試作することができた。さらに Cs₂Te 膜の形成パラメータ(膜厚、蒸着温度等)を変えてデータを採取中である。この Cs₂Te はすでに CERN, Los Alamos の RF-gun で良い性能を示しており、TESLA においてもその使用が検討されている[6]。我々もこの研究を進展させ、RF-gun での実用化へ結びつける予定である。

本研究の一部は文部省化学研究費補助金 (No.10138101, No10354003, No11354002) 及び KEK 共同開発研究費 (No.98-010, No.99-019)を用いて実施された

参考文献

- [1] 平成 9 年度科研費研究報告書(代表者 名大 中西 西疆)「新世代のスピン偏極電子源の実用化」
- [2] K.Togawa et al., "Surface charge limit in NEA superlattice photocathodes of polarized electron source" Nucl. Instr. And Meth. A 414 (1988) 431-445
- [3] Guy Suberlucq "PHOTOCATHODE WORK" CTF-Note98/10 16 march 1998
- [4] 秋山浩 (総研大) 1992 年度博士論文「フォトカソードを用いた RF 電子銃による高輝度短バンチビームの研究」
- [5] R.A.Powell et al., "Photoemission studies of Cesium Telluride", Physycal Review B8, No8, 3987-3955(1973)
- [6] Klaus Flottmann "Note on the thermal emittance of electrons emitted by Cesium Telluride photocathode" TESLA グループ Internal.Report