

[1 a -11]

## Development of Polarized Electron Gun for Linear Collider

K.Togawa, K.Nakahara, T.Nakanishi, S.Okumi, K.Sugo, C.Suzuki, C.Takahashi, M.Tawada  
Department of Physics, Nagoya University, Nagoya, 464-01, Japan

Y.Kurihara, H.Matsumoto, T.Omori, Y.Takeuchi, M.Yoshioka  
KEK, National Laboratory for High Energy Physics  
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan

K.Nishitani

ATC Co. Ltd., Namiki 36-7, Hachioji, Tokyo, 193, Japan

### Abstract

A polarized electron gun with a GaAs photocathode is being developed for Linear Collider at Nagoya University. The field emission dark current was suppressed by optimizing the electrode geometry, and by careful manufacturing of the apparatus. The nano-second Ti:Sapphire laser was used to illuminate the GaAs photocathode. The high density pulsed beam ( $>5\text{nC/pulse}$ , 70keV) was produced with a lifetime longer than 100hours.

### リニアコライダーのためのスピン偏極電子銃の開発

#### 1. はじめに

名古屋大学のグループは高エネルギー物理学研究所との共同研究によりリニアコライダーに用いるスピン偏極電子銃の開発を行っている。スピン偏極電子ビームは表面に負の電子親和性 (Negative Electron Affinity、以下NEA) を持たせた GaAs フォトカソードにレーザー光を照射して真空中に引き出す。NEA表面はp型不純物のドーピングによりバンドベンディングを引き起こしたGaAs結晶表面にセシウムと酸素を数原子層だけ蒸着するといった特殊処理を施すことで得ることができる。

リニアコライダー用偏極電子銃を完成する為には、このNEA表面に関して克服しなければならない2つの重要な課題がある。第一の課題はNEA表面の長寿命化である。NEA表面は電子銃内部の環境、特に加速電極間の暗電流に対して非常に敏感であり、量子効率の劣下を引き起こすことが最近の研究で明らかになっている[1,2]。高い量子効率のNEA表面を安定に維持する為には暗電流の少

ない加速電極の開発が不可欠となる。第二の課題はGaAsフォトカソードから大電流短パルスビームを引き出す時に現れる全電荷制限を克服することである。全電荷制限効果とはGaAsフォトカソード自身の表面バンド構造とNEA表面状態に起因した内部電荷制限効果で、引き出しうる全電荷が空間電荷制限電流値で決まる電荷量より低い値で飽和してしまう現象である[1]。大電流マルチバンチビームを生成する際にこの効果はより顕著に現れることが予想されるため、全電荷制限効果の影響が少ないフォトカソードの開発がリニアコライダー用偏極電子源開発の当面の課題となっている。我々のグループはまず、第一の課題である暗電流の少ない加速電極の開発を行い、フォトカソードの長寿命化に成功した。さらに、全電荷制限効果を研究するための準備実験を行い、グループとして初めて高密度 ( $>5\text{nC/pulse}$ ) 電子ビームの引き出しに成功した。本論文では試験装置の説明、高電圧印加寿命試験及びパルスビーム引き出し試験の結果について述べる。

## 2. 試験装置

図1に名古屋大学で開発中の直流型偏極電子銃の全体図を示す。以下、偏極電子銃の各性能について説明する。

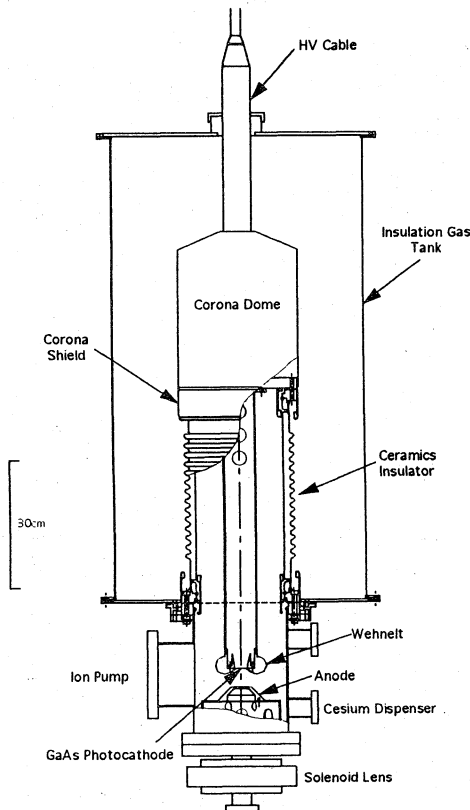


図1 偏極電子銃の全体図

### 2-1. 超高真空

高い量子効率と長い寿命をもつNEA表面を生成するためには超高真空は最低限必要な条件である。電子銃全体を約250°Cで100時間、加熱脱ガス処理した後、110l/sイオンポンプと500l/sNEGポンプで排気することにより $2 \times 10^{-11}$  torrの超高真空を生成している。

### 2-2. NEA表面活性化

NEA表面を生成するにはまず、GaAs結晶の加熱洗浄を行う。ヒーターが取り付けられたモリブデン製のフォトカソードホルダーを750°Cで1時間、加熱することで間接的にGaAs結晶を加熱している。

NEA表面活性化は、セシウムと酸素を交互に蒸着するYo-Yo Cesiumationと呼ばれる方式を採用している。セシウムは市販のアルカリディスペンスーに4.5Aの電流を通電して蒸着する。酸素は高純度

酸素ガスをリークバルブを用いて $1 \times 10^9$  torrを超えない程度に電子銃内部に導入する。以上の方法により量子効率8.5% (HeNeレーザーで測定) のNEA表面を生成している。

### 2-3. 加速電極の設計、製作

NEA表面の長寿命化を目的として、偏極電子銃用加速電極の設計には以下の点に注意を払った。

1. 暗電流を抑えるために最大表面電界を可能な限り小さくする。
2. 適当な電流値が得られるようGaAs結晶の表面電界を大きくする。
3. ビームハローがアノードに衝突する時に発生するイオンはGaAs結晶に悪影響を与える。アノード口径をビームサイズに対して十分大きな値とする。

解析にはシミュレーションコードPOISSONとEGUNを用いた。最終的に決定した加速電極のパラメーターを表1に示す。

暗電流を削減する為には加速電極の表面処理は重要な作業である。加速電極の材料にはSUS316Lを選択した。電極表面の研磨方法として電界複合研磨を採用した。また、表面処理の最終過程には抵抗値 $18M \Omega \text{ cm}$ の温超純粋洗浄を行った[3]。

最大表面電界	5.1MV/m@100kV
フォトカソード表面電界	1.1MV/m@100kV
フォトカソード直径	$\phi$ 14mm
アノード口径	$\phi$ 30mm
電極間距離	40mm
パービアンス	0.14 $\mu$ pervs
アノード通過時のビーム直径	$\phi$ 8mm@3A

表1 加速電極のパラメーター

### 2-4. レーザーシステム

試験用パルスレーザーとしてSpectra-Physics社製波長可変Ti:Sapphireレーザーを使用している。レーザー特性は、可変波長帯域710nm~910nm、半値幅5ns、エネルギー10mJ/pulse以上、繰り返し10Hzである。レーザーは30m程離れた電子銃実験

室まで光ファイバーを用いて移送している。光ファイバーはコア径 $200\mu\text{m}$ 、NA値0.35のマルチモードファイバーを使用している。レンズ集光によるファイバー端面の素子破壊を防ぐため移送エネルギーは $100\mu\text{J/pulse}$ 以下に抑えている。エネルギーの移送効率は70%以上である。

### 3. 高電圧印加寿命試験

加速電極の高電圧印加試験を行い、 $100\text{kV}$ 印加時の全暗電流を $10\text{nA}$ 以下まで削減できたことを確認した。さらに、高電圧印加時のNEA表面の安定性を確かめるために、HeNeレーザーによる $1\mu\text{A}$ の連続電子ビーム引き出し試験を行い、 $80\text{kV}$ 印加時(暗電流 $1\text{nA}$ )の寿命が100時間以上の安定したNEA表面を維持できることを確認した。NEA活性化時に拡散したセシウムが暗電流を増加させる傾向にあるが、これはNEA活性化を電子銃とは別のチャンバーで行うロードロック機構を導入することで回避できる。現在、名古屋大学で設計中の $200\text{keV}$ 偏極電子銃に導入する予定である。

### 4. パルスビーム生成試験

全電荷制限効果の研究を行うための準備実験として $5\text{ns}$ パルスビーム生成試験を行った。ビーム移送系下流のファラデーカップで測定した電子ビームパルス波型を図2に示す。レーザー波長は $800\text{nm}$ 、印加電圧は $70\text{kV}$ (暗電流 $8\text{nA}$ )である。レーザーパルスエネルギーの増加に伴うパルス電荷の増大と飽和の様子を見ることができる。

次に、パルスビーム生成時の寿命測定を行った。結果を図3に示す。電荷量は電子銃より引き出される平均電流値から求めた。最初、量子効率が低いのは過剰なセシウムを蒸着するYo-Yo Cesiumの特徴で、NEA表面を劣下させる要因が無ければ自然に回復する傾向にある。量子効率の回復に伴い電荷量が増加しているのはTi:Sapphireレーザーパルスの立ち下がり部分に残留しているパルス成分による影響である。まだ、完全な測定には至っていないが $5\text{nC/pulse}$ 以上のパルスビームを量子効率を劣下させずに100時間以上引き出せることを確認した。

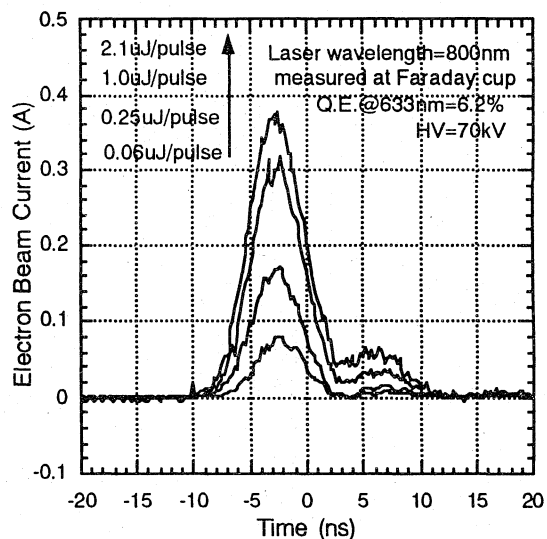


図2 GaAsから引き出した電子パルスビーム

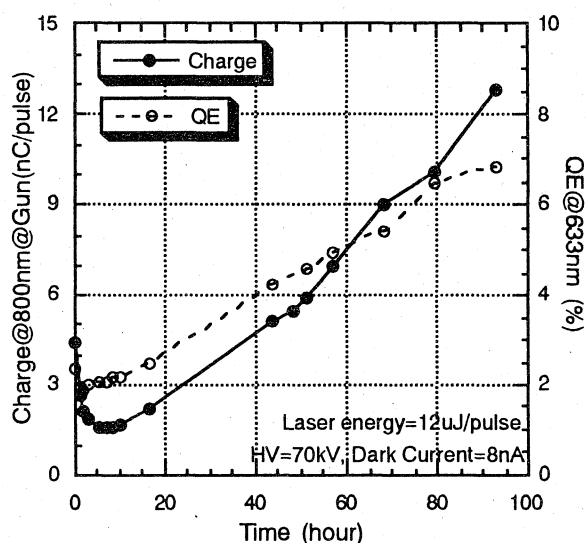


図3 パルスビーム生成時の寿命測定

### 5. まとめ

パルスビームを生成する際のフォトカソードの長寿命化に焦点を置いて直流型偏極電子銃の設計、製作を行い、 $70\text{keV}$ ではあるが100時間以上のパルスビーム引き出しに成功した。今後、ビーム移送系及びレーザー系を整備し、全電荷制限効果の影響の無いフォトカソードの開発を行う予定である。

### 参考文献

- [1] R. Alley et al., SLAC-PUB-95-6489
- [2] K. Aulenbacher, Doctor Thesis of Mainz University
- [3] 鈴木千尋他, 当研究会プロシーディングス