

# Development of a 200keV polarized electron source: Status of a 50 $\mu$ A beam operation

Masahiro Yamamoto<sup>1,A)</sup>, Taro Konomi<sup>A)</sup>, Shoji Okumi<sup>A)</sup>,  
Yasuhide Nakagawa<sup>A)</sup>, Hikaru Saito<sup>A)</sup>, Tsutomu Nakanishi<sup>A)</sup>, Naoto Yamamoto<sup>B)</sup>, Masatoshi Tanioku<sup>B)</sup>,  
Xiuguang Jin<sup>B)</sup>, Toru Ujihara<sup>B)</sup>, Yoshikazu Takeda<sup>B)</sup>, Fumio Furuta<sup>C)</sup>, Hiroshi Matsumoto<sup>C)</sup>, Masakazu Yoshioka<sup>C)</sup>,  
Masao Kuriki<sup>D)</sup>, Chie Shonaka<sup>D)</sup>, Daisuke Kubo<sup>D)</sup>, Hiroyuki Okamoto<sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> Graduate School of Science, Nagoya University,  
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8602

<sup>B)</sup> Graduated School of Engineering, Nagoya University,  
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8603

<sup>C)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK),  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>D)</sup> Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University,  
1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-8530

## Abstract

Operating a longer photocathode lifetime is one of the most important tasks in developing polarized electron source that uses a NEA-GaAs type photocathode. We built up an ultrahigh vacuum environment of  $10^{-9}$ Pa in the 200keV gun and beam transport system, then a long dark-lifetime of several hundreds hours was established. In this condition, the operational lifetime was measured by a continuous output of 50  $\mu$ A almost equal to the average current ILC demanded, and the lifetime of about 120 hours was obtained.

## 200keV偏極電子源50 $\mu$ A試験運転報告

### 1. はじめに

リニアコライダー (ILC) 加速器では電子源において、スピン偏極度80%以上、バンチ幅2ns以下でかつ3.2nC/bunch以上の偏極電子ビーム生成が要求されている。この要求を満たすため、我々はGaAs-GaAsP歪み超格子フォトカソードおよび200keVロードロック型電子銃を開発し、これまでに偏極度~90%、量子効率~0.5%、バンチ幅1.6nsにて8nC以上の電子ビーム引出しを実現した<sup>[1-3]</sup>。残されているILC電子銃実用化への課題は、平均電流50  $\mu$ A以上の運転におけるNEA表面寿命問題の解決である。

高電界電子銃内におけるNEA表面の長寿命化のためには、 $10^{-9}$ Pa台以下の極高真空環境および電極間暗電流が10nA以下まで抑制された環境の両方が不可欠であることは過去の当研究会の場で報告してきた通りである<sup>[3]</sup>。NEA表面劣化の主要な要因として、

H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>等の酸化性残留ガスの吸着、フォトカソード近傍で発生する電界放出暗電流によるイオンやアウトガスの影響、電子ビームと残留ガス分子の衝突により発生するイオンのボンバード、の3つが挙げられるが、これまで我々は主としてこの解決のための対策と試験に追われてきた。現在でもなおこれらの対策がまだ十分とは言えない状況ではあるが、およびの影響による寿命が100時間以上得られるまで改善されたため、今回は、実際の運転状況に近いビーム引出し条件下で、の全ての要

素を含んだフォトカソード寿命試験を行った。

### 2. 装置

#### 2.1 フォトカソードおよび200keV電子銃

今回の寿命測定には標準的なBulk-GaAsフォトカソードを使用した。フォトカソード(有効直径20mm)は電子銃後部の準備Chamberにおいて加熱洗浄後にCsと酸素付加によるNEA表面の形成を行った後にロードロックにより電子銃へ装着を行った。電子銃は、NEA表面を保持するため排気系には360L/sのイオンポンプおよび850L/sのNEGポンプを使用し、約200にて100時間のベーキング後、 $2.3 \times 10^{-9}$ Paの超高真空が得られている。200kV印加時の暗電流に関しては、昨年交換したチタン陽極、モリブデン陰極によって1nA程度に抑えられている。

#### 2.2 ビーム移送系

本試験を行ったビーム移送系は差動排気部、偏向部、ビームダンプ部の3つの部分より構成されている(図1)。それぞれの系には超高真空環境が得られるよう排気装置が配置されているが、特に電子銃下流直後の差動排気部には、ビームdump部等の下流部で放出されたガスによる電子銃側への影響を抑えるため、600L/sのNEGポンプ2台および100L/sのイオ

<sup>1</sup> E-mail: yamamoto@spin.phys.nagoya-u.ac.jp

ンポンプ1台より構成され、ベーキング後 $1.5 \times 10^{-9}$ Paが得られており、電子銃と同レベルの超高真空を実現している。ビームダンプには、無酸素銅丸材の内部を円錐状に中ぐりし、外側のフランジ接続部分をガスケット構造としたものを作製し、ICF114フランジ部で固定している。また、このビームダンプ部分を碍子管により絶縁することでFarady Cupとして機能させている。50  $\mu$ A運転時のビームダンプ部の発熱量は10W程度になるが、今回は水冷を行うなどの対策は特に行っていない。

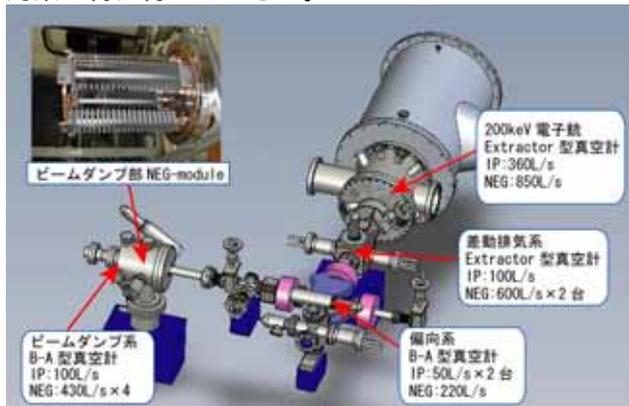


図1：電子銃部・ビーム移送系の全体概略図

### 2.3 光学系および測定系

本実験では励起光源として固体レーザー励起のTi:Sapphire(CW)レーザーを使用し、波長780nmを使用した。Ti:Sapphireレーザー発振部より15m長のシングルモードファイバにて電子銃手前の光学台へレーザー移送した後、可変フィルター、ビームスプリッターを経て電子銃正面のビューイングポートよりフォトカソードへレーザーを照射している。フォトカソード上のレーザー径は、電子銃で引出されたビームのほぼ全てがビームダンプへ容易に移送できるよう直径約0.8mmとした。後述の50  $\mu$ Aにおける寿命測定では、照射するレーザーパワーはビーム電流が一定になるように、電流値 $\pm 1\%$ に収まる範囲で可変フィルターにフィードバックをかけて制御し、ビームスプリッターで分けられたレーザーパワーを常時測定することで、リアルタイムで量子効率が記録されるシステムを追加している。

## 3. フォトカソード寿命測定

今回行ったビーム寿命測定により新たに発生した問題およびその対策について、その経過を含めて以下にまとめる。以下、QE初期値の $1/e$ を寿命とする。

### 3.1 寿命測定その1

昨年まではビーム移送系の真空度が電子銃より1桁悪く、ビーム移送系と接続した状態でのDark-Lifetimeは20時間程度であったが、今回行った移送系の再構築と排気系の強化により、接続状態のDark-Lifetimeは100時間以上に改善した(図2)。

この状況下で最初に行った寿命測定では、ビーム

電流3  $\mu$ A時で約125時間、20  $\mu$ A時で約25時間となり、ビーム電流の増加により寿命が著しく悪化した(図3)。後述より明らかになるが、この原因はビームダンプで発生するアウトガスがビーム移送ライン全体の真空を悪化させ、NEA表面への吸着やイオンボンバードの影響が増大したことによるものであった。

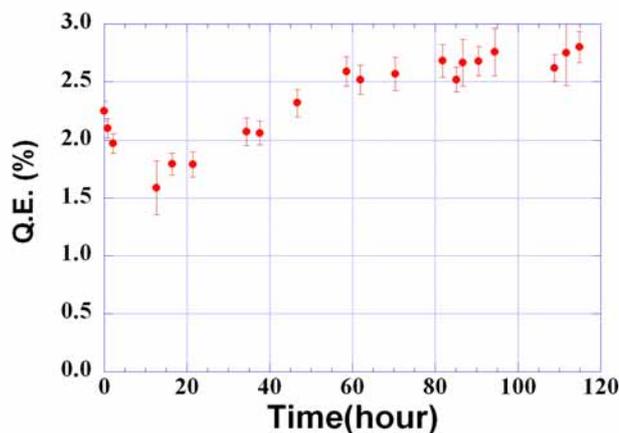


図2：ビーム移送系接続状態でのDark-Lifetime測定の結果

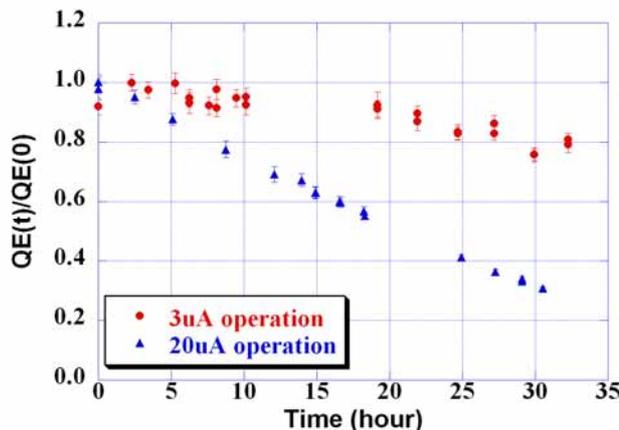


図3：寿命測定初期時の3uAおよび20uA運転時の寿命測定結果の比較

### 3.2 pre-breakdown問題と対策

チタン陽極およびモリブデン陰極を採用することにより200kV印加状態にて放電の発生無く300時間以上保持することが可能となった。しかし、放電に至らないpre-breakdownが数日に1度程度の割合で発生し、その度に程度に差はあるものの量子効率が急激に低下する問題が発生した。さらにこの問題の深刻な点は、フォトカソード表面のリフレッシュ(準備chamberにて加熱洗浄しNEA表面を作成し直す)を行っても量子効率が回復しない点にある。そのため、pre-breakdownが発生して著しく量子効率が悪化するたびに新しいフォトカソードへの交換が必要となり、実際の運転の際は貴重な超格子フォトカソードを無駄に浪費してしまい問題である。

この問題を解決するため、それまでの放電開始電圧215kVからさらにコンディショニングを225kVまで進め、pre-breakdownの発生無く200kVの状態を500時間以上維持することが可能となった。

### 3.3 ビームダンプ排気系の設置

ビームダンプで発生するアウトガスの影響を抑えるため、排気速度100 L/sのイオンポンプおよび1720 L/sのNEG-module (SAES getters:WP950x4)を用いた排気系を作製しダンプ部に新たに配置した。設置前までは20  $\mu$ A時に差動排気部および偏向部の真空度が約1桁悪化した一方、設置後は50  $\mu$ A時においても真空度の悪化は無負荷時の1.5倍程度に抑えられた(図4)。

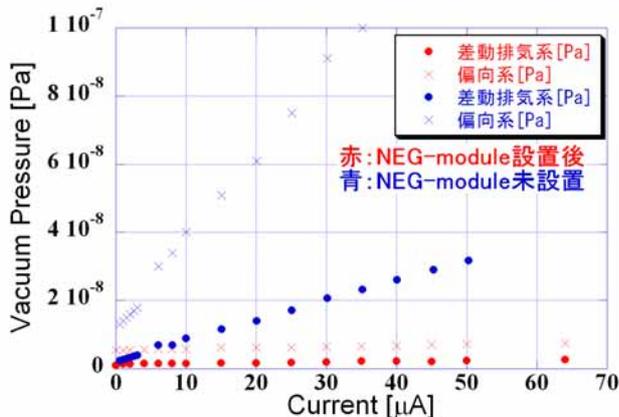


図4：ビームダンプ部NEG-module設置前後でのビーム電流と移送系真空度の比較

### 3.4 寿命測定その2

ビームダンプ部で発生するアウトガスの影響がほぼ無視できる領域まで抑えられた事から、ILCに必要な電子ビームの平均電流値約50 $\mu$ Aの運転条件での寿命測定を行った。ビームダンプ部までのビーム移送効率は96%である。

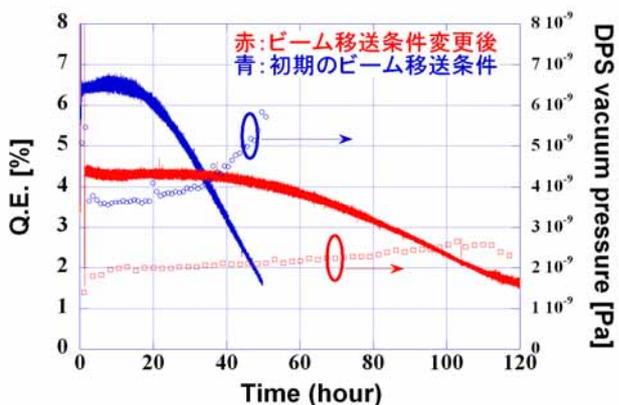


図5：異なるビーム移送条件における50  $\mu$ A運転時の差動排気系(DPS)真空度とフォトカソード寿命の比較

初期の50 $\mu$ A運転ではビームダンプ部の真空度が測定中に殆ど変化しない一方、差動排気部の真空度

は開始直後十分程度で2倍程度まで悪化し、さらに時間が経過するに従い徐々に悪化した。この時の寿命は50時間未満であった(図5)。

この真空度の悪化は、フォトカソード上のレーザー照射部分以外の場所から迷光等により放出されたビームが移送中に損失し、前述したビームダンプ部で発生した問題と同様、移送系のアウトガスによりNEA表面がダメージを受けていると推測した。

そこで差動排気部の真空度の悪化が抑えられるように移送系の特に内径が小さい箇所では絞られるようにソレノイド磁石の配置を変更し、再度50 $\mu$ A運転条件での寿命を測定したところ、差動排気部の真空度の悪化が変更前の半分以下に抑えられ、約120時間まで寿命が改善した。

ビームの損失量を直接測定することは困難であるが、損失時の真空度悪化の程度から、電子銃近傍の移送系においてフォトカソード寿命に明らかに影響を与えるビーム損失量は、電子銃における電極間暗電流の許容量 $\sim$ 10nAオーダーとほぼ同程度であると推測される。

120時間という寿命については、現在最も長いフォトカソード寿命を実現しているJefferson Lab.の電子銃と比較はまだ1桁程度低い状況ではあるが<sup>[4]</sup>、ロードロックによりリフレッシュ済みのフォトカソードを即交換できる事から、1週間に1度程度の頻度で数十分間の電子銃の停止が許容の範囲であれば、ほぼ実用化の範囲であると考えられる。

量子効率の面分布測定の結果<sup>[5]</sup>から、現時点で寿命を決めている主な要因は、電子銃近傍のビーム移送系にて電子ビームのハローなどの衝突により発生したイオンの逆流によるものと推測している。

## 4. まとめと今後

ILC電子銃に要求されている平均電流50 $\mu$ Aの条件にて寿命試験を行った。ビームダンプで発生するアウトガスの影響の除去、移送系におけるビーム損失を減らし真空度の悪化を抑えることにより約120時間の寿命を達成した。

ERLではILCと比べ3桁も高い平均電流10mA以上での運転が要求されている。これに耐えうるNEA-GaAsフォトカソードを用いる電子銃の実現には、 $10^{-10}$ Pa以下の移送系を含めた極高真空環境の生成が第一の条件であり、従来のステンレスに比べ1桁以上低いガス放出速度が実現できる真空容器の材料とそれらの適切な加工法や表面処理の選択、極高真空下で高い排気速度を維持できる排気系の開発、が不可欠である。さらに今回の結果からビーム損失も $10^{-6}$ オーダーに抑える必要があると推測される。

## 参考文献

- [1] T.Nakanishi., KEK-Report 97-01 (1997) p.36-48
- [2] T.Nishitani et al., J.Appl.Phys. 97, 094907 (2005)
- [3] M.Yamamoto et al., Proceedings of the 4<sup>th</sup> Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (2007) p.179-181
- [4] C.K.Sinclair, Phys.Rev.ST 10, 023501 (2007)
- [5] T.Konomi et al., in these proceedings.