

[09-P07]

Performance Tests of BNL/KEK/SHI Photocathode RF Gun

M. Kando¹, H. Kotaki¹, H. Dewa¹, S. Kondo¹, T. Ueda², K. Yoshii², T. Watanabe²
M. Uesaka², F. Sakai³, A. Ogata⁴, H. Nakanishi⁵, and K. Nakajima^{1,5}

¹ Advanced Photon Research Center, Kansai Research Establishment

Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), Umemidai, Kizu, Souraku, Kyoto 619-0215, Japan

² Nuclear Engineering Research Laboratory, Graduate School of Engineering, University of Tokyo
2-22 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1106, Japan

³ Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI), Tanashi, Tokyo 188-8585, Japan

⁴ Graduate School of Advanced Sciences and Material, Hiroshima University
Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8526, Japan

⁵ High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

BNL/KEK/SHI フォトカソード高周波電子銃の性能試験

Abstract

A photocathode RF gun has been tested for three years. The gun is installed in the S-band linear accelerator at Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo. Recently, a drive laser system has been upgraded and the laser beam stability has been greatly improved. Here, we present the summary of the performance tests of the gun with the new laser system.

1 はじめに

フォトカソード高周波電子銃（以下、RFガン）は熱電子銃に比べて、低エミッタンス、短パルスを得られることから、X線FEL、高品質ビーム源などの応用に期待されている。

我々が用いている高周波空洞は、BNLで開発されたものを50 Hzの高繰返しに堪え得るように改良したものである。この電子銃の特性については、昨年のリニアック研究会で報告した[1, 2]。最近、フォトカソード照射用レーザーシステムを更新することで、ビームの安定度が格段に向上し、レーザーのパルス幅も5 ps程度に短くなった。今回は、このレーザーの性能向上によって明らかになったRFガンの特性について報告する。

2 システム

東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設のSバンドの線形加速器の入射部を熱電子銃からフォトカソード高周波電子銃に置き換えた。このシステムの体系図を図1に示す。このシステムは2つのクライスト

ロンで駆動され、高周波電子銃とSバンド加速管にそれぞれ7 MWが与えられる。

2.1 1.6セル高周波空洞

電子銃の高周波空洞は、BNL/UCLA/SLACで開発された空洞[3]を基に、BNL/KEK/SHIの共同研究により50 Hzの高繰返しに堪え得るよう冷却水を循環させるなどの改良を施したものである。空洞の主な仕様を表1に載せる。また、この電子銃の最大の特長として、ソレノイド磁石を用いて、空間電荷の線形な効果により増大するエミッタンスの補償を行う点が挙げられる。これはCarstenの提唱した方法[4]を実現したものであり、規格化エミッタンス 1π mm-mrad程度の電子ビームを生成できる。

2.2 フォトカソード照射用レーザー

フォトカソード照射用レーザーは、住友重機械工業製の全固体Nd:YLFレーザーシステム(PULRISE II)を用いている[5]。このシステムは、79.3 MHzのNd:YLF基本波発振器とタイミングスタビライザー、再生増幅

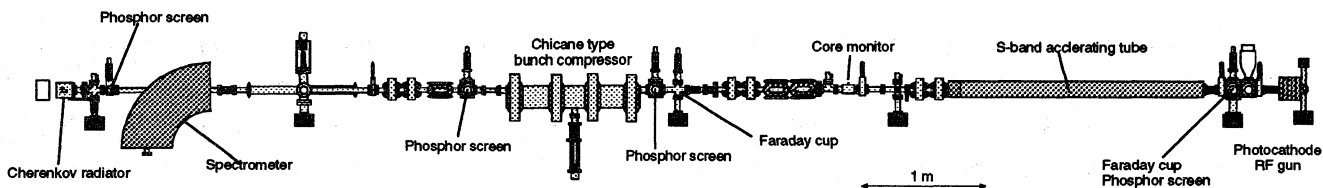


図 1: RFガンと S-band 線形加速器

表 1: 1.6 セル高周波空洞の仕様

カソードの材質	無酸素銅
周波数	2856 MHz
高周波のパルス幅	4 μ s (FWHM)
繰返し	50 Hz
シャントインピーダンス	57 M Ω /m

器、波長変換部から成る。発振器からは 1054 nm で 12 ps のパルス幅のレーザーが生成される。レーザーの繰返しは、高周波空洞に用いられる 2856 MHz の 1/36 の周波数となっていて、レーザーの繰返しはこれに同期するようにタイミングスタビライザーによって制御されている。再生増幅器ではレーザーのパルスエネルギーを増幅し、非線形結晶によって 4 次高調波（波長 264 nm）の UV 光に変換している。最終的な UV 光のパルスエネルギーは 100 μ J である。また、非線形結晶での変換効率から UV 光のパルス幅は基本波の約 1/2 の、5 ps となっている。

UV 光はサファイア窓を通して 68° の角度でカソードに照射される。カソード面での UV 光のプロファイルを対称にするため、円筒レンズ系によって UV 光の形を縦・横方向のサイズを約 3:1 となるようにしている。カソード面でのビーム径は 2mm ϕ である。

今回、このレーザーシステムが導入されて、UV 光のエネルギーの安定度が 0.29 % (rms) と従来の 7~20 % から格段に向上した。また、UV 光のパルス長も従来の 20 ps から 5 ps に短縮された。

高周波とレーザー光のジッターは今回は測定していないが、同期回路系は以前と同様であり、3.7 ps (rms) 程度であると思われる。

3 RFガンの性能（測定結果）

更新前のレーザーを用いた RFガンの諸特性を図 2 にまとめた。高品質なビームが得られるのは、レーザーの入射位相が 20~50° の間であり、小さいほどエミッタンス、パルス長もよくなるが、電荷量は減少していく。

以下では、レーザーシステムの更新およびその後の実験によって明らかとなった性能に絞って記述する。ここでは、RFガンとレーザーは繰返し 50 Hz で運転されている。

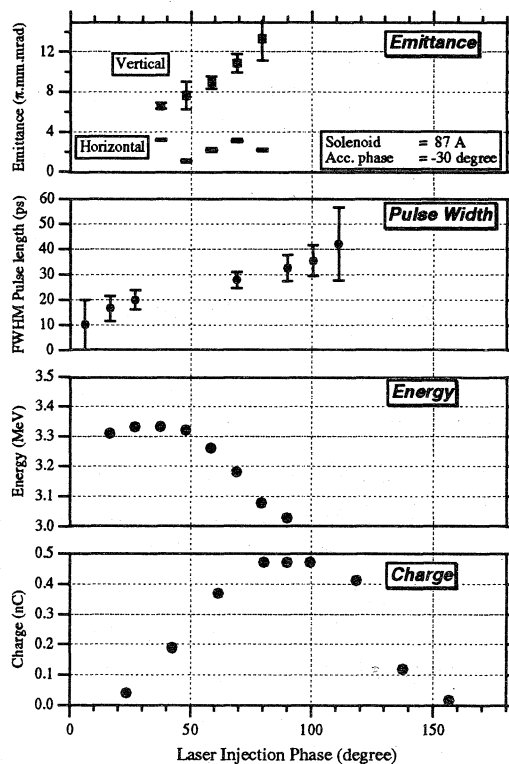


図 2: レーザー更新前の RFガンの諸特性

3.1 電荷量

RFガンのカソードから引き出される電流には、光電効果によって発生する (photo emission) 電流と高電場 (~100 MV/m) によって引き出される (field emission) 暗電流の 2 つがある。図 3 に UV 光の入射位相と photo emission の関係の測定結果を表す。入射位相は、電荷が最大に得られる位相を 90° としている。グラフ上の点は平均値、棒は標準偏差の 2 倍の長さを表している。UV 光のエネルギーは一定であるのに電荷量が変化しているのは、Schottky 効果 (カソード表面で電場が高くなるほど量子効率があがること) によるものである。UV 光

のエネルギー安定度 0.29% に比べて電子ビームの電荷量の安定度は、最高で 1% であった。これは、UV 光と高周波のジッターにより、カソード面での電場がパルス毎に違い、Schottky 効果で量子効率が変わるためであると考えられる。また、90° に関して対称でないのは、加速の位相安定性によると考えられる。

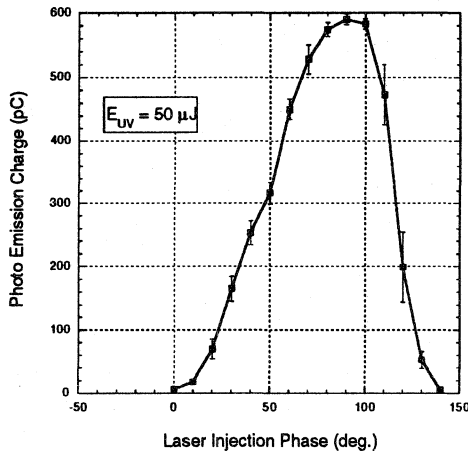


図 3: UV 光の入射位相と電荷

3.2 量子効率

銅カソードの量子効率は実験期間中、100 MV/m の電場の場合 5×10^{-5} であった。ところが、高周波のパルス幅を $4 \mu\text{s}$ から $8 \mu\text{s}$ に延ばして高周波エージングを一カ月続けたところ、量子効率が 1 桁悪くなった。この回復状況は、上田氏の発表 [6] に詳しい記述があるが、エージング時の真空度が悪かったことで、カソードの表面状態が変わったと思われる。その後、真空系の強化などにより、量子効率は 1.4×10^{-4} まで上昇した。これは、我々が実験をはじめて最高の値で、UV 光のエネルギー $91 \mu\text{J}$ で 2.7 nC のビームを確認した。

3.3 パルス長

電子銃直後での電子ビームのパルス幅の測定を行った。デマルケスト社の蛍光板 (AF995R) に電子ビームを照射したときに発生する「高速な」発光 [7] をストリークカメラ (浜松ホトニクス、FESCA-200) で測定した。この方法による時間分解能は $5 \sim 10 \text{ ps}$ 程度であり、短いパルスの測定には十分でない。図 4 は UV 光の入射位相を変えたときの電子ビームのパルス幅の測定結果である。入射位相は、カソード面での電場が最大になるときを 90° としている。この測定時のストリークカメラの分解能は 1 ps 、また測定時に 20 回の積算を行っているのでジッターもこのパルス長には含まれてい

る。電子ビームのパルス長は、UV 光の入射位相が小さくなるにつれ短くなっているが、一見入射 UV 光のパルス長の 5 ps よりも長くみえる。しかし、上述の通り、この図のパルス長には UV 光とストリークトリガのジッターも含まれていることや、デマルケストの発光による分解能の限界を考慮すれば、 10° で入射 UV 光よりも短いパルス長が達成されていると期待できる。この点は測定方法を改善する予定である。

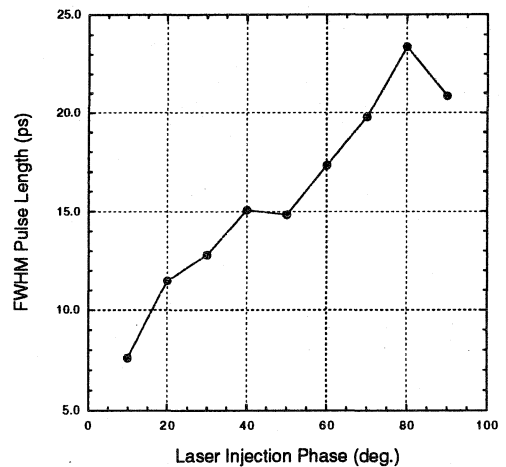


図 4: RF ガンの電子ビームのパルス長測定結果

4 まとめ

BNL/KEK/SHI 型 1.6 セルフोटカソード高周波電子銃の試験を行った。レーザーシステムの更新により、エミッタンス $< 10 \pi \text{ mm-mrad}$ 、パルス長 $\geq 5 \text{ ps}$ 、エネルギー $\sim 3 \text{ MeV}$ 、電荷量 $\leq 1 \text{ nC}$ 、電荷量の安定度 1% (rms) の電子ビームを発生することができるようになった。銅カソードの量子効率の低下 (5×10^{-5}) が認められたが、 10^{-10} Torr の真空度にするすることで、 1.4×10^{-4} の量子効率まで回復した。

5 参考文献

- [1] F. Sakai *et al.*, Proc. of the 23rd Linear Accel. Meeting in Japan, p.43 (1998).
- [2] T. Ueda *et al.*, *ibid.*, p.139 (1998).
- [3] X. J. Wang *et al.*, NIM A 375, p. 82 (1996).
- [4] B. E. Carlsten, NIM A 285, p.313 (1989).
- [5] F. Sakai *et al.*, Proc. of PAC'99 (in print).
- [6] T. Ueda *et al.*, in these proceedings.
- [7] H. Shibata *et al.*, Proc. of the 16th Linear Accel. Meeting in Japan, p.260 (1991).