

[P7-14]

Experimental Results of a Laser Photocathode RF Gun

Jinfeng Yang, Fumio Sakai, Yasushi Aoki, Masafumi Yorozu, Yasuhiro Okada, Akira Endo, Takahiro Kozawa^A, Tamotsu Yamamoto^A, Yoichi Yoshida^A and Seiichi Tagawa^A

Sumitomo Heavy Industries, co. Ltd., 2-1-1 Yato-cho, Tanashi, Tokyo 188-8585

^A Institute of Scientific and Industries Research, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka

The measurement of electron beam from a laser photocathode RF gun, manufactured by Sumitomo Heavy Industries, co. Ltd. (SHI), was performed at the Radiation Laboratories S-band Linear Accelerator Facility in the Institute of Scientific and Industries Research, Osaka University. The RF gun was driven by a picosecond Nd:YAG laser. It has produced 115 pC electron bunches with the energy of 1.6 MeV under the RF peak power of 1.5 MW and the laser pulse energy of 65 μ J. The quantum efficiency and dark current were obtained to be 10⁻⁵ and 0.6 nA, respectively. The energy and charge of the electron bunch depending on the injection phase were measured. The electron bunches were accelerated up to 117 MeV with the energy spread of 1.2% by three s-band traveling wave linacs. The transverse emittance was also experimentally investigated at the exit of the linacs.

レーザーフォトカソード RF 電子銃の性能試験

1. はじめに

近年、低エミッタンス短パルス電子線源が、リニアコライダー、レーザー加速、自由電子レーザー、ピコ秒及びサブピコ秒パルスラジオリシス、逆コンプトン散乱による超短パルスX線発生などの科学分野で要求されている^{1,2)}。このような状況の中、住友重機械工業ではレーザーフォトカソードRFピコ秒パルス電子銃を米国BNLと日本KEKとの共同開発のもとに製作した³⁾。今回、このRF電子銃を大阪大学産業科学研究所のSバンドライナックの入射部に設置し、電子パルスの発生及び加速実験を実施した¹⁾。本報告では、このRF電子銃の性能試験及びその結果について述べる。

2. フォトカソード RF 電子銃

図1に本RF電子銃システムの基本構成図を示す。電子銃本体の主構造であるsバンドRF

空洞は、クラス1の無酸素銅製1.6セル構造となっており、光カソードも同じ高純度無酸素銅を用いている。電子発生には、Nd:YAGレーザーの第4高調波(266nm)を用い、発生した電子パルスに対してはソレノイド電磁石によるエミッタンス補正とダイポール電磁石による軌道補正が可能である。。さらに、本RF電子銃は高パワー・高繰返しのRFパルスで運転されるため、光カソードとRF空洞にはそれぞれ水冷却機構が設備され、循環式チラーにより $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の高精度で温度制御されている。

本RF電子銃の性能試験では、RF電子銃から発生した電子パルスは下流に設置された3本のSバンドライナック(図2)で加速される¹⁾。これら3本のライナックには、それぞれ独立した3つのクライストロンからRF出力が供給され、クライストロン1の出力は2分配され、1部がRF電子銃に供給されるようにした。この

RF電子銃に供給されるRFのピークパワーは1.5MWで、パルス幅は3 μ sであった。また、パルスの繰り返し周波数を10Hzに設定した。RF電子銃出口には、ビーム形状計測用にデマルケストスクリーンモニター及び電荷量測定用にモニターを設置し、最終段のライナックの出口(ビームの下流)にはエネルギー測定用の偏向磁石を取り付けた。さらに、エミッタンスをビームの下流に設置されたQ磁石とスクリーンモニターを用いて測定した。

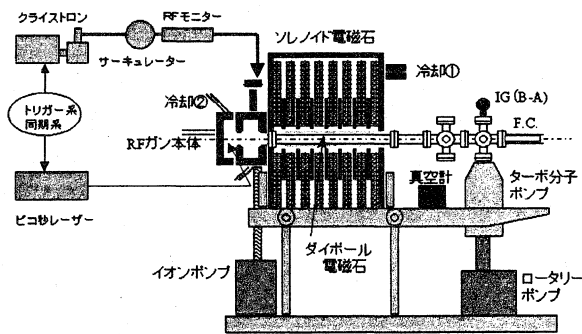


図1 レーザーフォトカソードRF電子銃

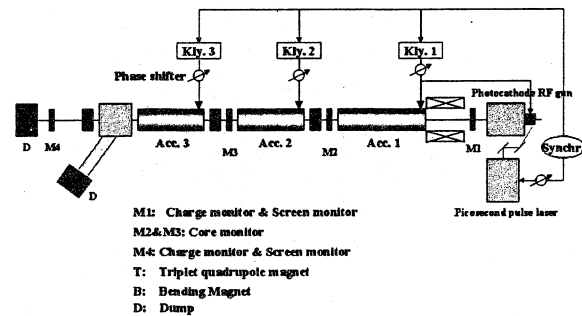


図2 阪大産研のS-バンドライナックシステム

RF電子銃用に住友重機械工業で開発された高輝度全固体ピコ秒レーザーの特徴は短パルス性、高安定性、コンパクト性などであり、仕様は表1に示すとおりである。

表-1 RF電子銃用ピコ秒レーザーの特性

レーザー媒質	Nd:YAG
パルス幅	23ps@1064nm, 10ps@266nm
パルスエネルギー	2mJ@1064nm, 0.1mJ@266nm
タイムジッター	< 0.5ps RMS
サイズ	600 x 900 x 220 mm ³

3. 性能試験結果

3-1 ビームの電荷量

RF電子銃出口に設置された電荷量モニターを用いて、入射レーザー光の偏光角度と入射RF位相を変化させた場合のビーム電荷量の変化を測定した。図3に入射レーザーエネルギーが60 μ J、入射RF位相が45°の時の測定結果を示す。入射レーザー光の偏光角度が90°の時(カソード面に対してP偏光の時)、ビームの電荷量が最大になることがわかる。

また、図4にレーザー光の入射RF位相を変化させた時のビーム電荷量の測定結果を示す。図に示すようにレーザーの入射RF位相が45°の時、ビームの電荷量が最大になり、パルス当たり115 pCが得られた。以降の測定では、入射レーザー光の偏光角度は90°に固定して行った。また、入射レーザーパルスのエネルギーは65 μ Jである。

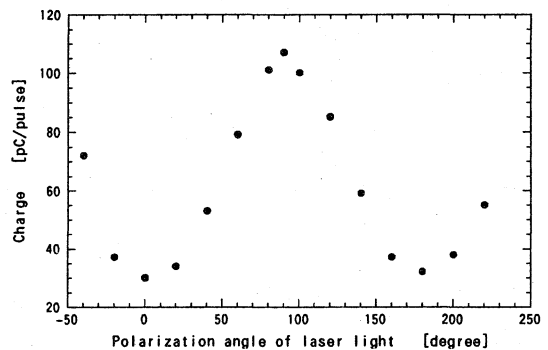


図3 電荷量 vs レーザー光の偏光角度

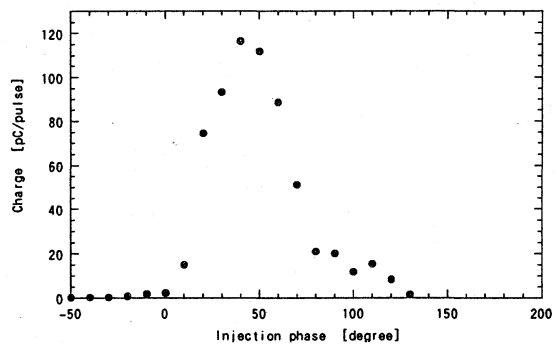


図4 電荷量 vs レーザーの入射位相

3-2 フォトカソードの量子効率と暗電流

ビーム電荷量の測定結果より、RFピークパ

ワーが 1.5MW、レーザーの入射 R F 位相が 45°、偏光角度が 90°の時、銅カソードの電子発生の量子効率として、 $QE=10^{-5}$ が得られた。また、ピークパワー 1.5MW、パルス幅 3 μ s の R F 入力で、10Hz 運転した時の暗電流は 0.6nA であった。この時、ソレノイドの磁場強度は 1kG であった。

3-3 エネルギーとビームサイズ

本 R F 電子銃では、銃本体の出口 (ソレノイド磁石の中心) に X と Y 方向の磁場を発生する 2 組のダイポール磁石が取り付けられている。このダイポール磁石とスクリーンモニターにより、R F 電子銃出口直後のビームエネルギーを測定した。図 5 に、レーザー光の入射 R F 位相を変化させた時のビームエネルギーの測定結果を示す。R F 電子銃に供給される R F ピークパワーが 1.5MW の時、1.6 MeV の最大エネルギーが得られた。この電子ビームは更に 3 本の S-バンドライナックで加速され、加速されたビームのエネルギーとエネルギー分散は、それぞれ 117 MeV、1.2% であった。

ソレノイド磁石によって、スクリーン上に収束した時の R F 電子銃出口直後のビーム形状を図 6 に示す。ビームサイズの大きさは X と Y 方向で、それぞれ $\sigma_x=0.74\pm 0.03$ mm(1σ) と $\sigma_y=0.77\pm 0.04$ mm(1σ) となった。

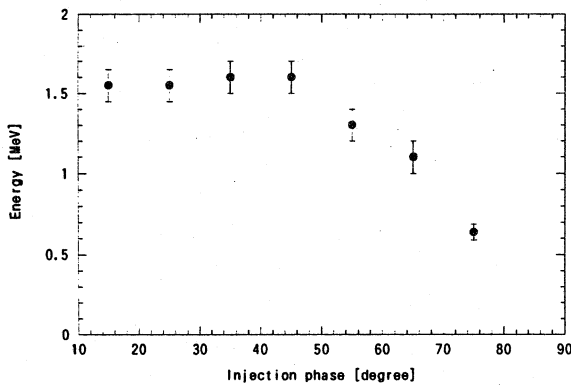


図 5 ビームエネルギー vs レーザーの入射位相

4. まとめ

阪大産研の S-バンド R F 源を用いて R F

電子銃の性能試験を行った。その結果は、R F ピークパワーが 1.5MW の時、R F 電子銃出口の電子ビームのエネルギーと電荷量の最大値として、それぞれ 1.6MeV、115pC/pulse が得られた。また、銅カソードの量子効率は 10^{-5} が得られ、10Hz 運転した時の暗電流は 0.6nA であった。

今後は、量子効率を向上し、低エミッタンスの電子ビームを得るために高パワー R F と高繰り返し (6MW、50Hz) で性能試験を行う予定である。

尚、本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から研究を委託された技術研究組合・フェムト秒テクノロジー研究機構 (FESTA) の研究の一環として行ったものである。

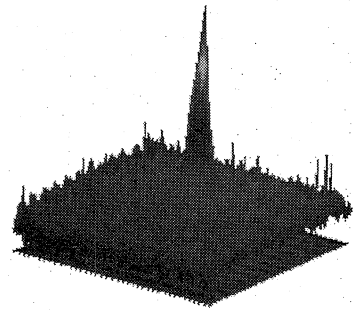


図 6 ビームの形状

参考文献

- 1) J. Yang, et al.: Proc. of 6th European Particle Accelerator Conference, June 22-26, 1998, Stockholm, Sweden.
- 2) Y. Yoshida, et al.: presented in this meeting.
- 3) Y. Aoki, et al.: Proc. of 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Sep. 16-18, 1998, Tsukuba, Japan.