

[12P-06]

## Performance Study of High Current Photo-Cathode RF-Gun with New Laser System

T. Kobayashi, Y. Katsumura, Y. Muroya, J. Sugahara, T. Ueda, M. Uesakam, T. Watanabe, K. Yoshii, K. Nakajima\*, X. Zhu\*, M. Kando\*\*

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

\*High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, JAPAN

\*\*Advanced Photo Research Center, Kansai Research Establishment,

Japan Atomic Energy Research Institute, Umemidai, Kizu, Souraku, Kyoto, 619-0215, JAPAN

### Abstract

For sub-picosecond pulse radiolysis project, a new laser system instead of the 10 ps YLF laser was installed to the linac of the University of Tokyo. The new laser system with Ti:Sapphire oscillator (795 nm) generates 300 ps pulses of 0.3 TW at 10 Hz. The laser is splitted into two beams; the one is compressed to 100 fs and used for the probe pulse, the other is used to drive the RF-Gun. The gun is driven by the third harmonics (265 nm, ~200  $\mu$ J). Moreover, a new 15 MW klystron was installed for the linac RF system. The RF power is divided to the gun and the accelerating section. Finally the time jitter between the electron beam (pump) and the probe laser is designed to be 320 fs (rms). By using the new drive laser system, the charge of 7nC per bunch was observed at the exit of the gun. Improvement of the vacuum in the gun ( $<10^{-9}$  Torr) is most effective to obtain the high charge beam. After the two and half years operation of the gun, no degradation has been found for the Cu photo-cathode.

### 新レーザーシステムにおけるフォトカソードRF電子銃の性能評価

#### 1. はじめに

東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学施設では、BNL、住友重工及び高エネルギー加速器研究機構との共同開発により、1997年、国内で初めてフォトカソードRF電子銃をSバンドツインライナックの一方(18L)に組み込んだ[1]。YLFレーザーをRF電子銃の駆動用として用い、基本的な性能評価が行われて、1 mm mrad程の低エミッタンスビームが得られている[4]。またパルス圧縮により240fsの電子ビームパルスの生成に成功した[2,3]。

当施設では、昨年、サブピコ秒パルスラジオリシス計画のため[5]、新たなフェムト秒 $T^3$ レーザーシステムを導入し、完成させた。また、システム全体の同期精度向上のため、新15MWクライストロンを導入した。RF電子銃の真空設備も向上されている。

これら新システムにおいて、フォトカソード電子銃の性能評価を改めて行った。その結果かなり大きな電荷量(量子効率)のビームが得られた。それら詳細について報告する。以前の基本的な性能については、Reference[1-4]を参照。

#### 2. システム

##### 2.1 フォトカソードRF電子銃

図1にフォトカソードRF電子銃のシステムを示す。これらは、銅のフォトカソード、1.6セルRF空洞、エミッタンス補償のためのソレノイドマグネット、そしてビーム診断システム(ファラデーカップ

及びビームプロファイラー)から成る。新たにゲッターポンプを追加したことにより、真空度が向上している( $<10^{-9}$  Torr)。レーザービームは $68^\circ$ の角度でカソードに照射される。

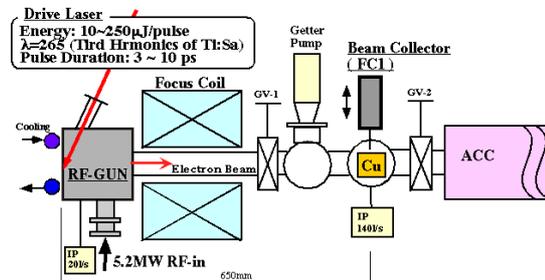


図1: フォトカソードRF電子銃システム

##### 2.2 新フェムト秒 $T^3$ レーザーシステム

図2は、サブピコ秒パルスラジオリシス実験のための新レーザーシステムを含め、18Lライナックシステム全体を示す。このレーザーシステムは、Ti:Saオシレータ(795 nm)、ストレッチャー、再生増幅器、パルスセレクトタ(10Hz)、マルチパス増幅器からなる。ライナックのRFに同期して、10Hzで300psのパルスレーザーを出力する。レーザーパルスはライナックまで伝送され、RF電子銃の手前で2つに分けられ、それぞれ100fs(0.15TW)に圧縮される。一方はパルスラジオリシス実験のプロブ光として使用され、もう一方の3倍高調波(265nm, ~200 $\mu$ J/pulse)がRF電子銃のフォトカソードに照射される。3倍高調

F電子銃のフォトカソードに照射される。3倍高調波のパルス長は、3psから10psの間で可変である。

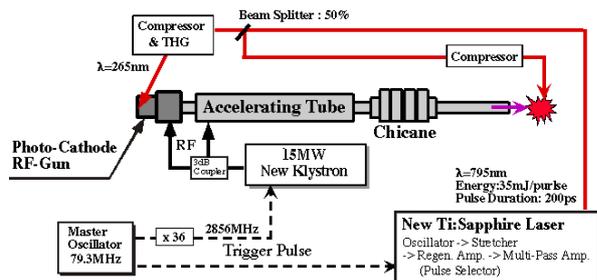


図2: サブピコ秒パルスラジオリシスのための18Lライナックおよび新レーザーシステム

### 2-3 新15MWクライストロン

従来は、2つの7MWクライストロンをそれぞれ、RF電子銃用と加速管用とに使用していた。今回15MWクライストロンを導入し、RF出力を2つに分配することで、システムの同期精度を向上させた。さらに、RFアンプには、位相補償回路を持った半導体増幅器を使い位相安定性も向上させた。

最終的にこれらの新システムの下では、電子とレーザーパルスの同期精度は、設計上 320fs(rms)になると期待される。

## 3. フォトカソードRFガンの性能評価

### 3.1 電荷量測定

RF電子銃の出口 (FC1、図1参照) において、電荷量とバンチ長を、それぞれファラデーカップ、蛍光スクリーンによって測定した。スクリーンの発光をストリークカメラで測定しバンチ長とした。測定条件は以下の通りである。駆動レーザーのパルス長 3~4ps、カソード面でのレーザー径 3mm、入力RFパワー 5.2MW (電界強度: 85MV/m)、ソレノイド磁場 1.3k Gaussである。図3に測定結果を示す。図は、レーザーの入射位相を横軸に、電荷量 (上) とパルス長 (下) をプロットしたものである。最大 6nC 以上の大電荷量が測定されている。ただし、ライナック出口では 2nC 以下で、加速管における電荷量の透過率は低い。図から、大電荷量では、ピーク位相が  $10^\circ$  程ずれている現象が見られる。

バンチ長は 7ps ~ 30ps である。短いバンチの測定は、スクリーン (デマルケスト) の発光特性により 10ps 程度が限度である。電荷量が大きいほうがバンチ長が伸びていることから、明らかに空間電荷効果が現れていると考えられる。

### 3.2 量子効率(QE)

図4は、照射レーザー強度に対する電荷量 (FC1) の変化を測定した結果である。またカソード面でのレーザー径を変えて測定した。レーザー強度 250μJ/pulse において、7nC もの高い電荷量が得られた。量子効率(QE)にして  $1.4 \times 10^{-4}$  である。プロットの傾きから、最大QEが  $1.6 \times 10^{-4}$  である。レーザー強度

、最大QEが  $1.6 \times 10^{-4}$  である。レーザー強度を高くしていくとQEの低下 (サチュレーション) がみられる。入力RFパワー (電界強度) はそれほど大きくないにもかかわらず、銅カソードにしてはかなり高いQEが得られた。ゲッターポンプ追加後、真空度が良くなってからQEの向上が見られたので、真空度がQEに大きく影響していると考えられる。

また図から、カソード面におけるレーザー径が小ささほど得られる電荷量(QE)が高い。

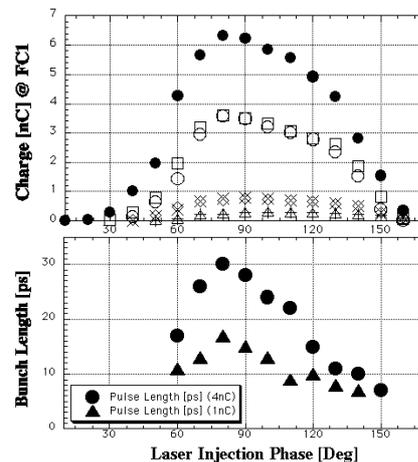


図3: 電荷量とバンチ長vs. 位相

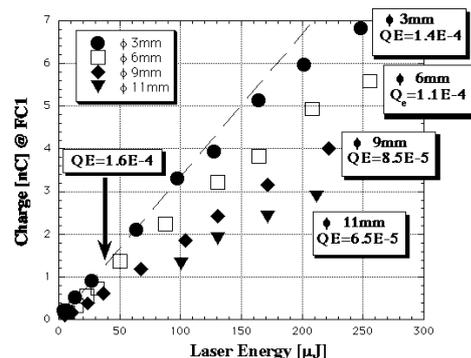


図4: 量子効率 (異なるレーザー径に対するQEの変化)

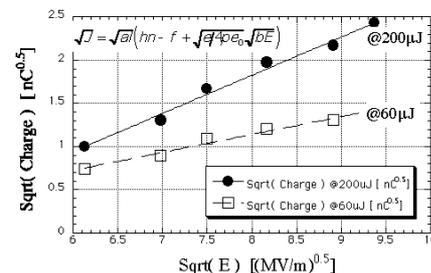


図5: ショットキー効果

### 3.3 ショットキー効果

入力RFパワー (電界強度) を変え、電荷量を測定した。図5に示すように、縦軸・横軸をそれぞれ電荷量・電場の平方根でプロットすると直線になり、ショットキー効果が見られる。

### 3.4 電子・レーザーパルスの同期性能

ライナック出口において、電子・レーザーパルスの同期精度を評価するため、ストリークカメラを用いて、電子ビームとレーザーパルスの時間間隔を測定した。電子ビームはシケインによりサブピコ秒に圧縮されている。図6に、200回ほど測定した結果を示す。上が各データで下がヒストグラムである。この結果、時間ジッター（標準偏差）は1.9psとなる。図6（上）から分かるように、この時間ジッターの値は長時間のゆっくりとした変化によるところが大きい。この変化は、加速管の温度ドリフトによると考えられる。この温度の揺らぎを抑えることによって、時間ジッターは300fs程度になると期待される。現在、加速管の冷却系を改変し温度揺らぎを0.01以下にすることができた。再度時間ジッターを評価する予定である。

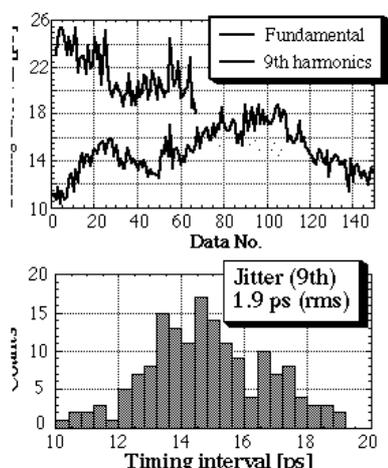


図6：電子・レーザーパルス間の時間ジッター

### 4. フォトカソード表面

図7は、マイクロスコブCCDカメラ\*を用いて、レーザー入射口から覗き見たカソード表面の映像である。表面全体にいくつもの穴があるのが分かる。穴の大きさは、大ざっぱに見積もって0.10~0.25mm程である。この窪みはレーザーによるものではなく放出電子が逆方向に加速されて表面を叩くバックボンバードによるものと考えられる。しかし詳細は、取り出して調べる必要がある。これだけ多くの穴があっても、今のところ特に問題なく性能が出ている。図8に、幾度か測定したF-Nプロットを示す。エンハンスメント係数は80~100でそれほど悪い値ではない。典型的な値の範囲である。

### 5. まとめ

サブピコ秒パルスラジオリシス計画のため、18Lライナックに新たに導入したフェムト秒T<sup>3</sup>レーザーシステム用い、改めてフォトカソードRFガンの性能評価を行った。その結果、銅カソードで7nC (QE

=  $1.4 \times 10^{-4}$ ) もの大電荷量ビームが得られた。真空システムを強化することで量子効率に向上がみられ、高い電荷量を得られることが分かった。2年半以上の運転において、銅カソードに劣化は見られず、その耐久性が実証された。ただし、表面を見たところ数多くの小さな穴がある。しかし今のところ問題は起きていない。現在、今回の測定結果に対してPALMERAを用いたシミュレーションを行っている。

### Photo Cathode RF-Gun

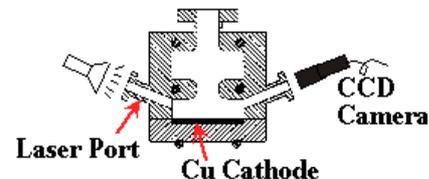


図7：フォトカソード表面

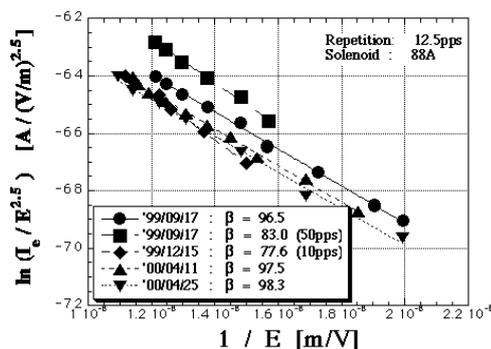


図8：Fowler-Nordheimプロット

### REFERENCES

- [1] F. Sakai, et al., Proc. of 23<sup>rd</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, p.43, 1998
- [2] M. Uesaka, et. al., Proc. of EPAC98, p.776, 1998.
- [3] M. Uesaka, et. al., Proc. of AAC'98, p.908, 1999.
- [4] M. Kand, et atl., Proc. of 24<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, p.128, 1999
- [5] Y. Muroya, et al., Proc. of PAC99, p.2602, 1999
- [6] D, T. Palmer, et al., Proc. of PAC95, p.982, 1995
- [7] W. Schottky, Z. Phys. **14**, p.63, 1923
- [8] J. W. Wang, G. A. Loew, Proc. of the Joint US-CERN-Japan International Acc. School, 1996

\* KEYENCE VH-7000