

[12P-07]

## CONDITIONING OF PHOTOCATHODE RF-GUN AT JAERI-KANSAI

H. Kotaki<sup>\*)A)B)</sup>, M. Kando<sup>A)</sup>, S. Kondo<sup>A)</sup>, S. Kanazawa<sup>A)</sup>,  
T. Yokoyama<sup>A)</sup>, T. Hosokai<sup>A)</sup> and K. Nakajima<sup>A)B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Atomic Energy Research Institute

Umemidai 8-1, Kizu-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-0215 Japan

<sup>B)</sup> The Graduated University for Advanced Studies

Hayama-cho, Miura-gun, Kanagawa 240-0193 Japan

### Abstract

A photocathode RF-Gun was installed as a high quality electron source at JAERI-Kansai-APR for laser wakefield acceleration experiment. A charge of 730pC was produced by a frequency quadrupled Nd:YLF laser whose energy was 60μJ on a copper cathode surface. A photo-emitted charge increased as the RF-power increased. This enhancement of charge is known as Schottky effect. Quantum efficiency (QE) and a field emission dark current were measured during RF-conditioning. QE and the dark current were reduced with the progress of RF-conditioning after a leak of SF<sub>6</sub> gas. In order to reduce the dark current, the RF-conditioning is been continuing.

## 原研関西におけるフォトカソードRFガンのコンディショニング

### 1. はじめに

日本原子力研究所 関西研究所 光量子科学研究センターにおいて、1GeV のエネルギー利得を目指したレーザー加速の実証実験の準備を進めている。レーザー航跡場加速実験には、高品質の電子ビーム源が必要不可欠であるため、電子源としてフォトカソードRFガンを採用した。また、これに小型の加速装置として住友重機械工業製のレーストラックマイクロトロン[1]を組み合わせ、世界で初めてマイクロトロンとRFガンの組み合わせに成功した[2]。

フォトカソードRFガンは、高品質電子ビーム源として、世界各国で研究が進められており、さまざまな結果が得られている[3] [4]。近年、このフォトカソードRFガンを電子ビーム源とした実験結果も得られているが[5][6]、量子効率（以後QE）の変化や電界放出暗電流（以後、暗電流）のコンディショニングによる減少のメカニズム等、未解明の部分も多く、さらなる研究が必要である。今回は、昨年12月より原研関西で行われてきたコンディショニングについて報告する。

### 2. 実験装置概要

図1にフォトカソードRFガンおよびフォトカソード照射用レーザーの写真を示す。レーザーはフォトカソードRFガンの隣に設置し、石英窓を通してレーザーをフォトカソードに入射する。カソード表面での光電効果により発生させた電子ビームは、RFガンにより加速され、ソレノイド電磁石で収束を受け、マイクロトロンへ導かれる。

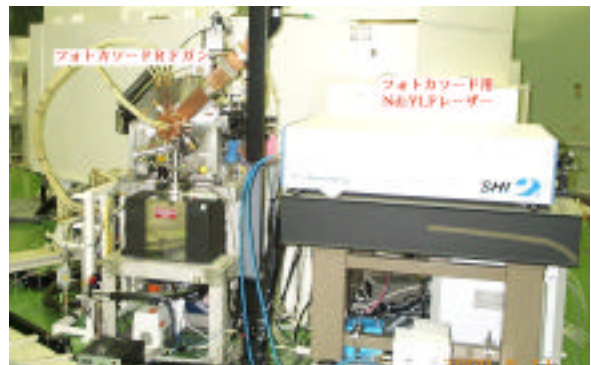


図1 フォトカソードRFガン写真

<sup>\*)</sup>H. Kotaki, 0774-71-3381, kotaki@apr.jaeri.go.jp

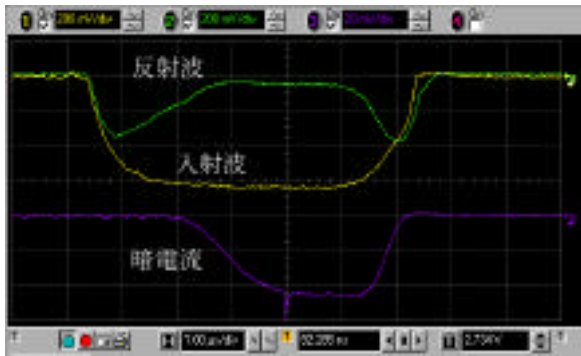


図2 RFおよびダークカレント波形

フォトカソード RF ガンは、BNL タイプを使用している。カソード材料はキャビティと同様の無酸素銅であり、RF キャビティは S バンド (2856MHz)、1.6 セルである。フォトカソード用レーザーには Nd:YLF の 4 倍高調波 (263nm) を使用しており、パルス幅 6ps (FWHM)、エネルギーは約 120 $\mu$ J、最大繰り返し数 100Hz である。ビーム成形等により、フォトカソード表面でのレーザーエネルギーは約 60  $\mu$ J となる。

RF ガンへの高周波 (以後 RF) は導波管によって入力され、導波管内部は 2kg/cm<sup>2</sup> の SF<sub>6</sub> ガスで満たされている。図 2 に、入力および反射の RF の波形、暗電流を示す。このときのキャビティ内での RF パワーは 6MW、パルス幅 6 $\mu$ s、加速勾配は 100MeV/m であり、RF ガンで加速された電子は、3.5MeV になる。RF の繰り返しは最大で 60Hz であり、現在は、レーザー・RF とともに 10Hz で運転されている。この RF キャビティは 42.0 に温度コントロールされており、10Hz での運転においては 0.1 の精度を達成している。

ガン直後には収束用ソレノイド電磁石、圧空駆動式のファラデーカップおよび 0.1mm のスクリーンモニタが配置されている。フォトカソードからの引き出し電流はソレノイド電磁石で収束される。電流値はファラデーカップにて、マイクロトロンへの電子ビーム入射位置はスクリーンモニタで測定される。

### 3. 特性試験

RF 窓でのリークや導波管でのアーク放電等、途中いくつかのトラブルはあったが、これまで約 4 ヶ月間 (リーク前 3 ヶ月、リーク後 1 ヶ月) RF ガンのコンディショニングを続けてきた。リークや導波管でのトラブルにより、最大 60Hz のところ 10Hz での運転となってはいるが、これまでのところ、フォトカソード表面でのレーザーエネルギー 60 $\mu$ J で、最大で引き出し電荷量 730pC、QE で  $5.7 \times 10^{-5}$  を得た。詳しくは、3.3 節で述べる。

### 3.1 RF パワーによる量子効率の変化

図 3 に RF パワーに対するフォトカソードからの引き出し電荷量および QE のグラフを示す。図のように、RF パワーが大きいくほどカソードからの引き出し電荷量および QE は大きくなる。これは、RF の電界によるカソード表面でのショットキー効果により、カソード表面での見かけの仕事関数が小さくなったため、電子がポテンシャルエネルギーの障壁を越えやすくなり、より多くの電子が真空中に引き出されたためと考えられる。

図 4 に、RF パワー 6MW でのレーザーの位相の変化に対する引き出し電荷量および QE の変化を示した。これも図 3 と同様にカソード表面でのショットキー効果によるものであり、レーザー照射時の RF の電界が位相によって違うため、RF パワー最大の位相で引き出し電荷量および QE が最大になり、その後で引き出し電荷量および QE は減少していく。グラフより、最大電荷量は位相 60° のときであり、マイクロトロンへの入射は 80° ~ 100° で行っている。

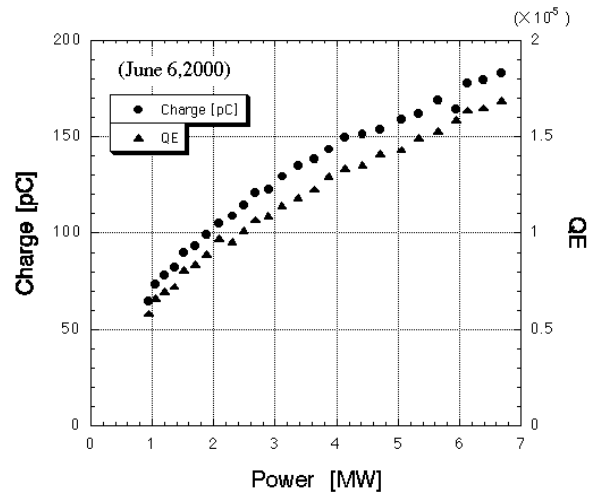


図3 RF パワーによる QE の変化

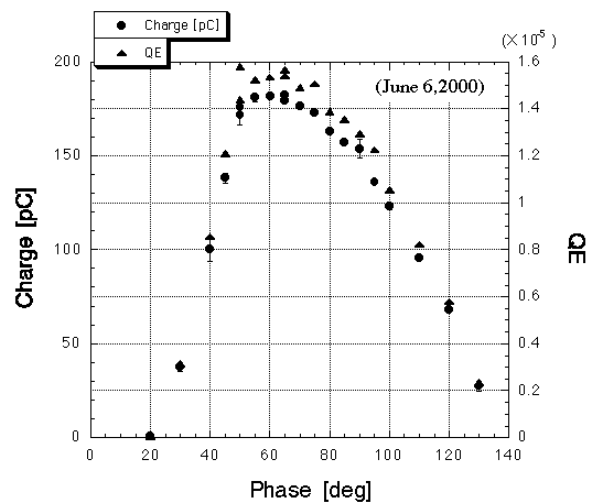


図4 レーザーの位相による QE の変化

### 3.2 コンディショニングによる暗電流の変化

RF ガンには、レーザーを照射しない場合でも、RF の電界によって放出される暗電流がある。この暗電流のコンディショニングによる変化を図5に示す。このように、コンディショニングを行うことにより暗電流は減少していく。最も暗電流の少ない4月3日の状態が3ヶ月間のコンディショニング後のデータであり、最もコンディショニングが進んだ状態である。しかし、その後のRF窓でのリークにより導波管内のSF<sub>6</sub>ガスがRFガン内部に入った。4月24日のデータが、RF窓交換、再立ち上げ後の暗電流である。リークによって暗電流は増加し、再度コンディショニングを行う必要が生じた。現在、ガスリーク後コンディショニング1ヶ月で、まだリーク前の値にまで回復していない。以後もコンディショニングを続け、暗電流を減らしていく必要がある。

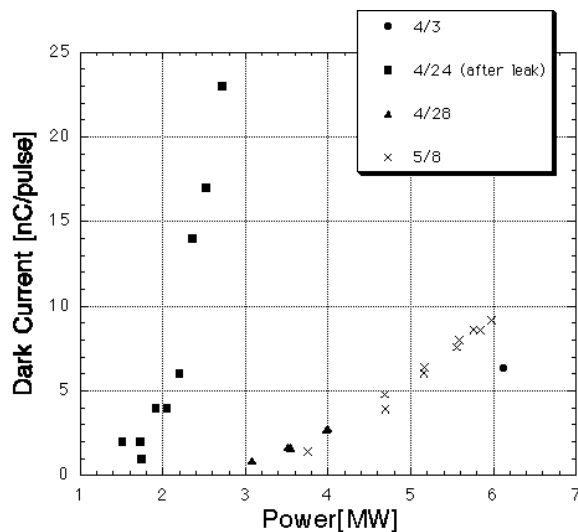


図5 RFパワーによる暗電流の変化

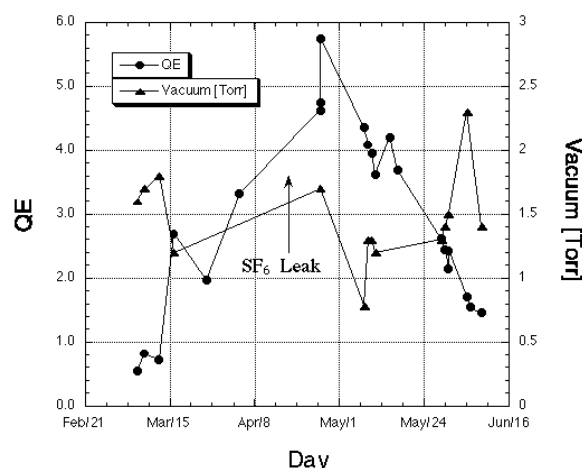


図6 QEの時間変化

### 3.3 コンディショニングによるQEの変化

図6に示すようにコンディショニングによりQEが変化している。図のように、ガスリーク前は、QEは徐々に増加しているが、リーク後にピークを持ち、その後徐々に減少している。同時に図6に真空度の変化を示した。RFガンでの真空度は、リーク前はわずかに減少していき、リーク後はわずかに上昇している。QEの値には、真空度が少なからず影響していると考えられるが、完全に同調はしていない。リークによるカソード表面の変化やカソード表面での吸着ガスの影響、真空度の違いによるカソード表面の状態や見かけの仕事関数の変化等、何がQEに効いているのか調べることは、今後の研究課題である。

### 4. まとめ

日本原子力研究所 関西研究所 光子科学センターにおいて、レーザー航跡場加速実験用電子ビーム入射器として、フォトカソードRFガンを備えたマイクロトロンを整備を進めている。フォトカソード用レーザーとしては、60μJのNd:YLFの4倍高調波を入射し、QEは最大5.7×10<sup>-5</sup>、引き出し電荷量730pCを達成している。また、RFパワーによるカソードからの引き出し電流の変化を確認できた。

今後もコンディショニングを進め、繰り返しを上げ、暗電流を減少させていく予定である。また、さらなる実験研究を進め、QEを高くし、効率よく高品質電子ビームをフォトカソードより引き出し、RFガンで加速していく必要がある。

### 参考文献

- [1] T. Hori, et al., Proc. of the 22th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp. 16-18 (1997)
- [2] M. Kando, et al., Proc. of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, Himeji, July 12-14, 2000
- [3] X. J. Wang, et al., NIM A 375, p.82 (1996)
- [4] M. Kando, et al., Proc. of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp. 128-130 (1999)
- [5] M. Uesaka, et al., NIM A 410, p.424 (1998)
- [6] H. Kotaki, et al., Proc. of SPIE, volume 3935, p.149 (2000)