

[1 a - 9]

## Development of high-brightness rf electron gun with tungsten photocathode

K. Ohkubo, T. Watanabe\*, M. Fujita\*\*, K. Imasaki\*\*, N. Ohigashi\*,  
Y. Tsunawaki\*\*\*, K. Mima, S. Nakai, and C. Yamanaka\*\*

Institute of Laser Engineering (ILE), Osaka University  
2-6 Yamada-oka, Suita, Osaka 565 Japan

\* Faculty of Engineering, Kansai University

\*\*Institute for Laser Technology (ILT)

### Abstract

At ILE, Osaka University, we developed metallic photocathode driven RF-gun with a 9 MeV RF linac. For short wavelength compact free electron laser, it is very important to achieve high-brightness electron beam, that is higher current density and lower emittance. Last year We have proposed that the quantum efficiency of tungsten photocathode had been enhanced by heating up. The tungsten photocathode heated up to 1400K and irradiated by  $2\omega$  of Nd:YAG laser produced the electron beam with high current density ( $\sim 1 \text{ kA/cm}^2$ ) and in order to further improve the quantum efficiency of the tungsten without thermal damage of rf gun, it is necessary to instantly increase the temperature using fundamental of Nd:YAG laser. We irradiated the tungsten photocathode by two wavelengths,  $\omega$  and  $2\omega$  of mode-locked Nd:YAG laser.

### タングステンフォトカソードを用いた高輝度RF電子銃の研究

#### 1. はじめに

阪大レーザー研では、電子エネルギー9MeVの高周波線形加速器を用いて、発振波長 $10 \mu\text{m}$ ～数mmの広帯域の自由電子レーザーの研究・開発を行っている。

自由電子レーザーの短波長領域での発振のためには、電子ビームの高輝度化が重要な要素のひとつであり、高周波電場の位相と同調させたモード同期 Nd:YAG レーザーによって駆動された、フォトカソード高周波電子銃の研究を行ってきた。

そこで、フォトカソードの材料として、レーザー照射に対する耐久性に優れ、高電流密度で動作可能な金属カソードについて開発を行い、現在までに  $\text{LaB}_6$  やタングステンにおいて $\sim 1 \text{ kA/cm}^2$ の高電流密度を達成している。今回は、タングステンの特性である高融点に着目し、YAGレーザーの基本波を照射し、瞬間的にカソードに追加熱を与えることによって得られた量子効率の改善結果について報告する。

## 2. 量子効率と温度

一般に、タングステンのような金属は高い電気伝導性とレーザー耐久性、そして高い耐アーク性を持つために、 $200\text{kA}/\text{cm}^2$ を越える高電流密度で、長時間安定に電子ビームを発生することが出来る。しかし仕事関数が高いために、半導体化合物フォトカソードに比べて、量子効率が低い。また、照射するレーザーとして2倍高調波を用いて2光子吸収による光電子放出を行っているため量子効率はさらに低くなるが、レーザー強度に対する非線形性からレーザー強度を高くすることで改善する。

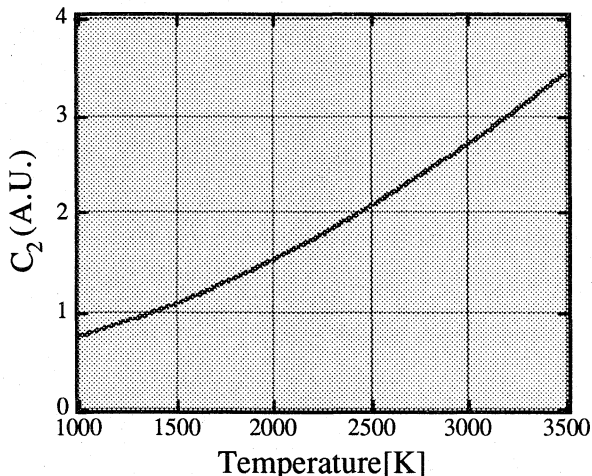


図1 光電子放出係数の温度依存性

また、タングステンは高融点 (3600K) 材料であり、カソード温度を高くすることによっても量子効率は改善する。タングステンを1400Kに加熱した場合と3000Kに加熱した場合とでは、その2光子過程における光電子放出係数 ( $C_2$ -parameter) は、およそ2.8倍となる (図1)。しかし、ヒーターを用いた定常的な加熱は電子銃への熱損傷の点から、困難である。

そこで、YAGレーザーの基本波によっ

て、カソードを瞬間的に加熱し、量子効率を改善させることを提案した。レーザーのパルス幅は20psであるので、タングステンを瞬時に加熱することが可能である。 $2\text{GW}/\text{cm}^2$ の基本波を20psのパルス幅で照射することで、タングステンに約900Kの追加熱が起きる (図2)。現在までにこのYAGレーザーの基本波と2倍高調波をカソードに照射し、より高電流密度の電子ビームを発生させる実験を行ってきた。

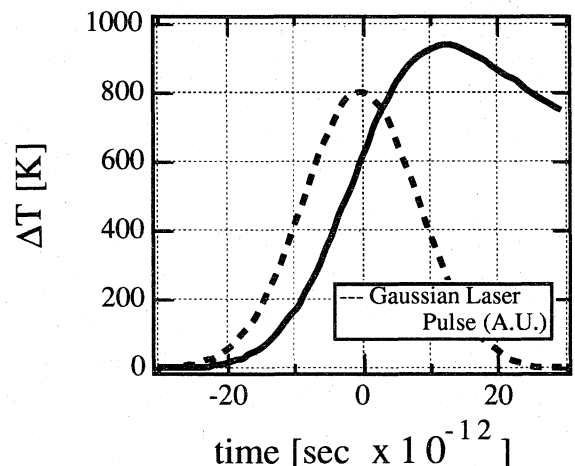


図2 ミクロパルスにおけるカソードの温度変化

## 3. 2波長照射実験

直径3mmのタングステンを高真空RF電子銃にセットして、カーボンヒーターによって1400Kに加熱されている。RF-gunは2856MHzの加速電場で運転した。YAGレーザーを入射角 $50^\circ$ 、スポット面積 $1\text{mm}^2$ で照射した。マイクロパルス幅は20psでパルス間隔は11.2nsでモード同期されている。また、マクロパルス幅は $10\mu\text{s}$ で、繰り返し10Hzである。

基本波は $0\sim 2\text{GW}/\text{cm}^2$ 、2倍高調波は $300\text{MW}/\text{cm}^2$ でカソードに照射した。発生

した電子はRF電子銃で1MeVまで加速され、この電子ビームの電流量をコアモニターで測定した。我々は、レーザーの2倍高調波のみを照射した場合と、基本波と2倍高調波を照射した場合とで実験を行った。

また、基本波と2倍高調波との照射タイミングについても実験を行った。

図2に示すように、パルス幅 20psの基本波をタングステンフォトカソードに照射した場合、カソード温度の時間変化は、レーザーのパルス波形と一致しない。レーザーのピークから約 10ps後にカソードの温度はピークに達する。

このことより、YAGレーザーの基本波と2倍高調波との間に時間差を設けて照射を行い、電流の評価を行った。

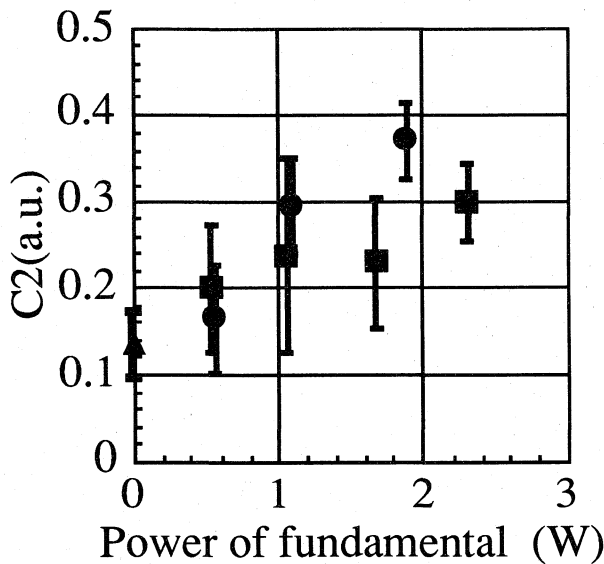


図3 C<sub>2</sub>のレーザー強度依存性

#### 4. 結果

タングステンに基本波のレーザー強度を変化させて得られたC<sub>2</sub>を示したのが図3である。

■印は時間差をつけずに、●印は約

10psの時間差をつけたものである。レーザー強度によってC<sub>2</sub>の値が増加していくことが明かとなった。

また、基本波と2倍高調波との時間差を変化させてC<sub>2</sub>を示したのが図4である。実線は時間差がない場合をのぞいて、図2の曲線をフィットさせたものである。

時間差をつけたものが全体的に低くなった原因としては、基本波と2倍高調波とのスポット位置のアライメントの困難さが挙げられる。

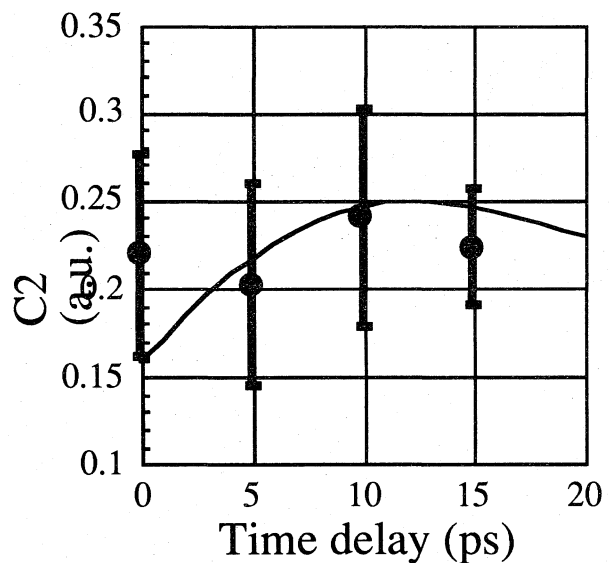


図4 C<sub>2</sub>の時間差依存性

#### 5. おわりに

阪大レーザー研では自由電子レーザー用の高輝度電子ビーム源としてフォトカソード駆動高周波電子銃の研究・開発を行っている。現在はVUV域自由電子レーザーで必要となる規格化輝度 $10^{12} \text{A/m}^2/\text{rad}^2$ の超高輝度電子ビーム発生を目指し、タングステンを用いたフォトカソード高周波電子銃の研究を行っている。