

# 信号線のインピーダンス整合による CeB<sub>6</sub> カソードの仕事関数測定装置の改良

## IMPROVEMENT OF THE IN-SITE WORK FUNCTION MEASUREMENT SYSTEM FOR CeB<sub>6</sub> CATHODES USED IN THE ELECTRON GUN OF SACLA BY IMPEDANCE MATCHING OF THE SIGNAL LINE

馬込保<sup>#, A, B)</sup>, 渡川和晃<sup>B)</sup>, 稲垣隆宏<sup>B)</sup>, 原徹<sup>B)</sup>, 田中均<sup>B)</sup>

Tamotsu Magome<sup>#, A, B)</sup>, Kazuaki Togawa<sup>B)</sup>, Takahiro Inagaki<sup>B)</sup>, Toru Hara<sup>B)</sup>, Hitoshi Tanaka<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute

<sup>B)</sup> RIKEN SPring-8 Center

### Abstract

A CeB<sub>6</sub> thermionic cathode is used for the electron gun of the X-ray free-electron laser, SACLA. An operation time of a CeB<sub>6</sub> thermionic cathode is typically limited to only one year or so due to decrease in emission currents. Since a work function is the most dominant factor in emission current, we have been developing an in-situ measurement system for the work function of the CeB<sub>6</sub> thermionic cathode under simulative conditions of the real electron gun to investigate mechanism of this cathode degradation. The developed system adopts the photoelectron yield spectroscopy using excitation lights from a nanosecond tunable Nd:YAG laser system. In the measurement system, the photoelectron pulse signal was distorted in profile because of reflections of the photoelectron pulse signal in the simulative anode plate (12 cm in diameter and 2 mm in thickness) of the real electron gun and in the signal line in vacuum. A coaxial cable of 50 ohms in impedance in vacuum and an anode cylinder (5 mm in diameter and 9 mm in length) enabled the photoelectron pulse signal to be a single nanosecond pulse with a long tail. In this paper, we report the detail of the impedance matching.

### 1. はじめに

SPring-8 SACLA は、CeB<sub>6</sub> 製の熱カソードを電子源に採用した X 線自由電子レーザー (X-ray free-electron laser: 以降 XFEL と略記) 施設である。XFEL の安定した発振のために電子源からのエミッションカレントは一定である必要があるが、CeB<sub>6</sub> カソードからのエミッションカレントは長期間の使用で徐々に減少していくことが分かっている。

現在は、適宜 CeB<sub>6</sub> カソードの温度を上げることでエミッションカレントの減少分を補填している。しかし、1 年経過すると減少率が著しく増加し始めるため、その時点で新しい CeB<sub>6</sub> カソードとの交換を行っている。

XFEL ではレーザー発振源となる電子バンチに精細な取り扱いが要求されるため、CeB<sub>6</sub> カソードを交換するたびに、煩雑な調整作業を行う必要がある。また、SACLA 電子銃は二重化されておらず、SPring-8 の蓄積リングへの常時入射も迫っていることを考えると、エミッションカレントの減少を防止し、長期間安定して CeB<sub>6</sub> カソードを使用可能にすることは、必須の事項であるといえる。

このような背景から、CeB<sub>6</sub> カソードの劣化、すわなち、エミッションカレントの減少の原因を in situ で調査して対策を施し、その長寿命化に取り組むこととなった。劣化現象は様々な要因が絡んでくると想定され、多角的な視点からの特性評価が必要となる。我々は、その第一ステップとして、エミッションにおいて第一義的な CeB<sub>6</sub> カソードの仕事関数の変化を測定することとした。

理想的には実機、あるいは実機を完全に模擬できる電子銃テストベンチを利用して仕事関数の測定を行うべきではあるが、その準備段階として、実機を可能な限り模

擬しつつ、小型で取り扱いやすいオフラインの測定装置を開発してきた[1]。

当該測定装置は、実機を模擬することを前提に設計されていたため、仕事関数測定の観点からは改善すべき問題点をいくつか有している。測定される光電子パルスのパルス形状の歪みもそのひとつである。本件では、この歪んだパルス形状とその対処について報告する。

### 2. 仕事関数測定装置

SACLA 運転中には温度約 1500°C で熱エミッションカレントを放出している CeB<sub>6</sub> カソードの仕事関数を測定できるよう、励起光にパルスレーザー光を利用した光電子収量分光法[2]を採用している。

本測定装置はレーザー部、パルス信号処理部[3]、真空チャンバー部からなる。装置概要を図 1 に示す。レーザー出力の仕様については表 1 にまとめた。これ以外の装置詳細については別途報告[1]しているのでここでは割愛し、追加した手動レーザーアッテネータについてのみ記載する。

波長可変 YAG レーザのレーザー出射口下流に、虹彩絞り、半波長板、および、グランレーザープリズムからなる手動レーザーアッテネータを挿入している。レーザー本体に内蔵されているアッテネータと合わせて使用することにより、パルス強度を 0.3 μJ ~ 10 mJ とより幅広い範囲で調整することができる。このため、光電子パルスが空間電荷効果で飽和しない適切なパルスエネルギー領域で仕事関数を測定することが可能となっている。

# magomago@spring8.or.jp

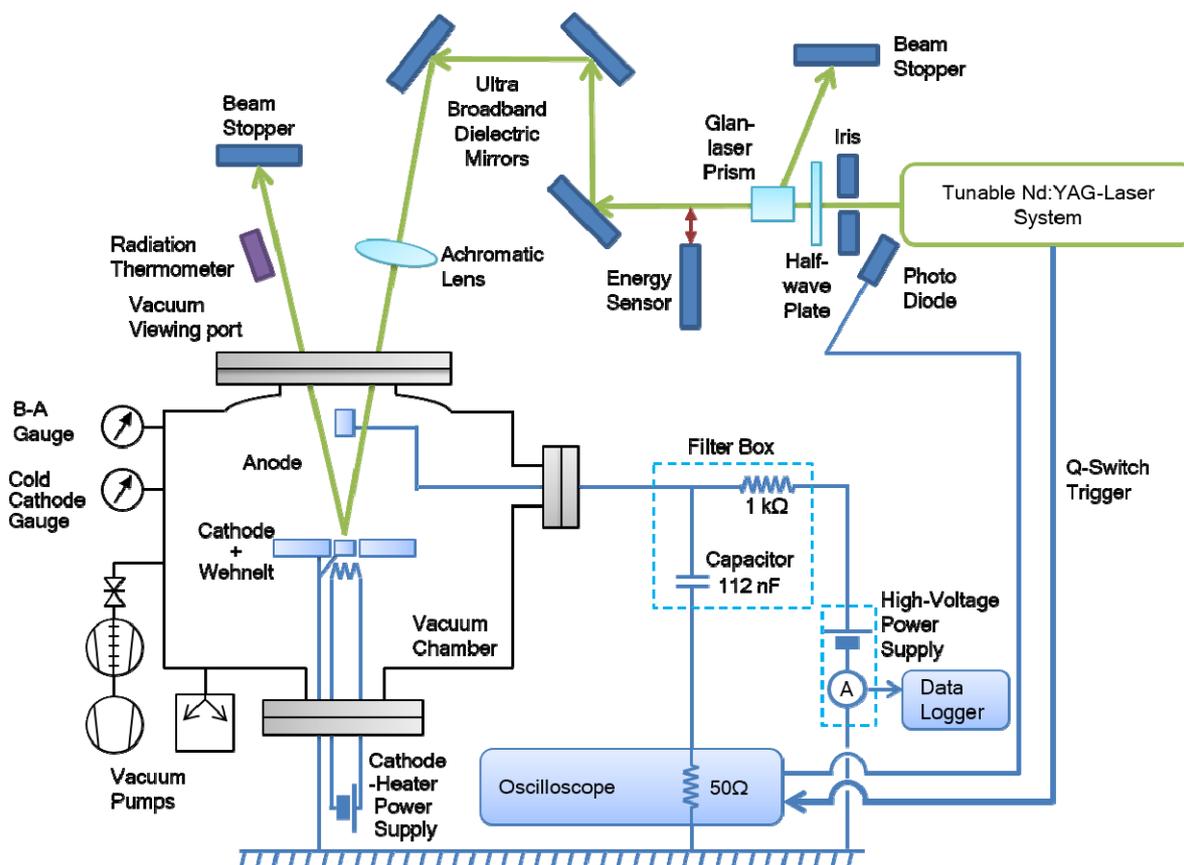


Figure 1: Schematic diagram of the experimental setup.

Table 1: Beam Output Characteristics of Tunable Nd:YAG-Laser System

Tunable Range	410 nm-709 nm (Accuracy < 0.1 nm)
Maximum Linewidth	5.5 cm <sup>-1</sup> @450 nm
Pulse Duration (FWHM)	3.7 ns @450 nm
Maximum Pulse Energy	10 mJ @450 nm (Tunable 1%-100%)
Repetition Rate	10 Hz

### 3. 光電子パルス信号線の問題点

実機の環境を模擬するという観点から、改良前のアノードは直径 120 mm、厚さ 2 mm の円板となっている。ただし、レーザをカソードに容易に照射できるよう、アノードの中央には水平方向 60 mm、垂直方向 10 mm の角穴があけてある。アノードからの配線(真空中)は、長さ 5 cm のセラミック筒 6 個で絶縁された長さ 30 cm の金属製ワイヤーであり、電流導入端子を介して、大気側の同軸ケーブルに接続されている。この電流端子は大気側が MHV であり、真空側は金属ピンである。大気側の同軸ケーブルのインピーダンスは 50 Ω である。

このような光電子パルス信号線(アノード・電流導入端子を含む)では各部における反射により、光電子パルス信号が実際とは異なる複雑な形状となってしまう。励起

光の波長に対する光電子パルスの相対的なパルス強度がわかれば仕事関数自体の測定は可能である。しかしながら、量子効率の算出や表面状態による仕事関数の微妙な変化を測定するためには、本質的でない複雑なパルス成分を除去して正確な光電子パルス電流波形を計測しなければならない。そこで、信号線のインピーダンスを可能な限りマッチングさせることで光電子パルス信号を理想的なパルス形状(数 ns 幅の単一ピークと長く伸びたテール)にするよう改良を施した。

### 4. 改良した光電子パルス信号線

図 2 に改良した光電子パルス信号線の様子を示す。

アノードは SUS316L 製で直径 5 mm、高さ 9 mm の円筒であり、底面でカソードと向かい合う。アノードの中央部には穴が開いており、この穴にボルトを通し、アノードとアノード配線を接続・固定する。カソードからの放射熱に耐えるようジルコニア製のボルトを使用した。

アノードは厚さ 5 mm のアルミナ製スペーサを介して SUS316L 製サポートバーに、ジルコニア製のボルトで固定されている。カソードに照射するレーザと干渉しないようサポートバーの形状はコの字型になっている。

アノード配線はカプトンを絶縁材料とするインピーダンス 50 Ω、長さ 1 m の同軸線であり、超高真空でも使用可能である。カソードからの放射熱による影響を低減するた

めに、アノード配線はカソードに対して固定ボルトとサポートバーの裏側を通るように配線されている。アノード配線のもう一端には真空中で使用可能なインピーダンス  $50\ \Omega$  の SHV プラグが接続されている。アノード配線は、大気側、真空側とも SHV レセプタクルになっているインピーダンス  $50\ \Omega$  の電流導入端子を介して大気側の長さ  $20\ \text{m}$ 、インピーダンス  $50\ \Omega$  の同軸ケーブルと接続されている。

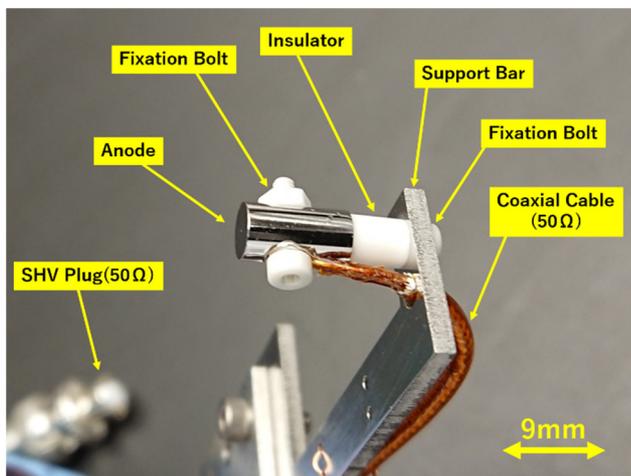


Figure 2: Photograph of the improved photoelectron signal line.

## 5. 改良光電子パルス信号線による測定結果

図3に光電子パルス信号線の改良前後の光電子パルス電流の様子を示す。改良前の光電子パルスには、最初の下向きピークとそのオーバーシュート、さらにそれに続く振動が見られる。

一方、改良後の光電子パルスは、 $40\ \text{ns}$  程度のテールを持つ最初の下向きピークと、それに続くいくつかのピークが見られる。 $1.4 \times 10^{-7}\ \text{s}$  にみられる第二の下向きピークと最初の下向きピークの時間間隔は、大気側の電流導入端子からフィルタボックスまでの同軸ケーブルの長さに比例しており、フィルタボックスによる反射と考えられる。したがって最初の下向きピークが純粋な光電子パルス信号であり、理想的なパルス形状になっていることが

わかる。

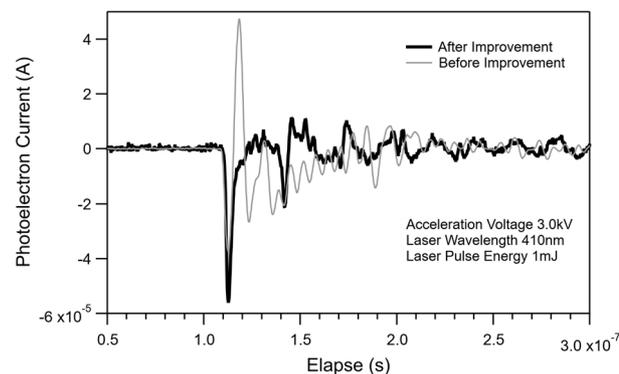


Figure 3: Laser-induced photoelectron current from the  $\text{CeB}_6$  cathode before and after signal-line improvement. Cathode temperature was room temperature. First peak positions are aligned to each other.

通常、光電子パルスの測定に先立ち、カソードを  $1500^\circ\text{C}$  で 12 時間以上アニーリングするが、改良した光電子パルス信号線には 28 時間のアニーリング後も特に損傷は見られなかった。

## 6. まとめ

SACLA 電子銃の  $\text{CeB}_6$  カソードでは、運転時間の経過に伴いエミッションカレントが減少するという劣化現象が見られる。我々は、この劣化現象を解明、防止し、長期間安定に使用できるカソードを開発するプロジェクトを進めている。その劣化現象解明の第一段階として、オフラインの光電子収量分光法による仕事関数測定装置を開発したが、依然細かい課題は多い。今回は光電子パルスのパルス形状を理想的な形状に近づけることができた。残る課題も順次解決し、より精度の高い仕事関数測定の実現をめざしていきたい。

## 参考文献

- [1] Tamotsu Magome *et al.*, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagaoka, Japan, Aug.7-10, 2018, pp. 896-899. (in Japanese).
- [2] R. H. Fowler, Physical Review 38, p.45-56 (1931).
- [3] K. Torgasin *et al.*, Phys. Rev. Accel. Beams 20, pp.073401 (2017).