

OPERATIONAL EXPERIENCE OF THE CeB₆ ELECTRON GUN FOR THE SCSS PROTOTYPE ACCELERATOR

Atsushi Higashiya^{A)}, Kazuaki Togawa^{A)}, Takahiro Inagaki^{A)}, Katsutoshi Shirasawa^{A)}, Yuji Otake^{A)},
Tsumoru Shintake^{A)}, Other SCSS staff^{A,B)}

^{A)} RIKEN / SPring-8 1-1-1 Kouto, Mikazuki, Sayo, Hyogo 679-5148, Japan

^{B)} JASRI / SPring-8 1-1-1 Kouto, Mikazuki, Sayo, Hyogo 679-5198, Japan

Abstract

A pulsed high-voltage electron gun with a thermionic cathode made of single-crystal CeB₆ is used for the SCSS prototype accelerator. The operational temperature of the cathode is as high as 1500 degree C. A 500 keV beam with a 1 A peak current is generated in this condition. In this paper, we report on basic characteristics of the CeB₆ gun and operational experience at the SCSS prototype accelerator.

CeB₆熱電子銃のSCSS試験加速器における運転経験

1. はじめに

昨年度、SPring-8においてX線自由電子レーザー研究施設(SCSS; SPring-8 Compact SASE Source)のための試験加速器の建設を行った。そして今年の6月、波長49 nmのレーザー増幅に成功した^[1]。

SCSS試験加速器では、安定した低エミッタンスビームを供給するために、単結晶CeB₆を熱カソードとして用いた高電圧パルス電子銃を使用している。図1に加速器収納部に据え付けた電子銃パルスタンクの外観写真を示す。このパルスタンクには、加速器へビームを供給するCeB₆熱電子銃チャンバー、モジュレーター電源とのインピーダンスマッチングを行うためのダミー管等が装備されている。パルスタンクは試作器に比べてコンパクトな形状になるよう設計、製作を行い、奥行1600 mm×幅1080 mmの大きさに収めた^[2]。本稿ではSCSS試験加速器におけるCeB₆熱電子銃の基本特性と運転状況を紹介します。

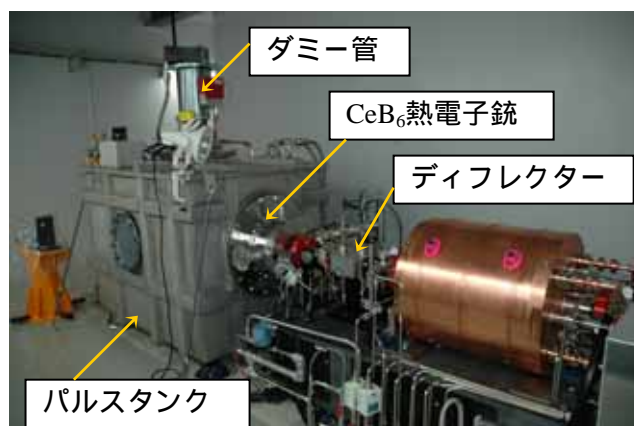


図1: SCSS試験加速器で使用しているCeB₆熱電子銃の外観写真。

2. CeB₆熱電子銃の基本特性及び現在の運転状況

2.1. CeB₆カソード

図2に運転中のCeB₆カソードのカメラ画像及びビームエミッション特性を示す。ビーム電流値は電子銃の出口にあるCTモニターで測定した。左図の中心部の青丸がカソードに使用しているCeB₆単結晶で、その周りはカソードをクランプしているグラフィットである^[3]。運転中のカソード温度は、放射温度計を用いてグラフィット温度を測定することで間接的に計測している。図中の黒丸が温度計測点を示している。右図は、カソード温度1500℃、繰り返し周期60 ppsにおいて測定した、カソードの印加電圧とビーム電流の関係を示している。左側の縦軸は

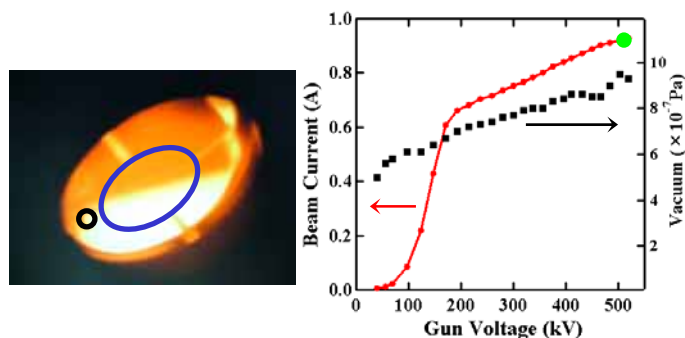


図2: (左図) CeB₆カソードのカメラ写真。黒丸は放射温度計による観測点、青丸はCeB₆単結晶部分である。(右図) カソードへの印加電圧とビーム電流の関係、および、電子銃チャンバー内の真空度の変化。

パルスビームのピーク電流値を示し、右側の縦軸は同時に測定をした電子銃チャンバーの真空度を示している。印加電圧 ~ 200 kVまでは空間電荷制限領域で、それより高い印加電圧では温度制限領域であること、すなわちSCSSでは電子銃を温度制限領域で運転していることを示している。図中の緑丸で示している点が現在の運転条件で、印加電圧が500 kV、ビーム電流が1 Aである。印加電圧の上昇に伴った真空度の変化も小さく 1×10^{-6} Pa以下の高真空中で運転を行っている。圧力上昇によるエミッション電流の劣化は今のところ見られない。

2.2. CeB₆熱電子銃の高電圧プロセッシング

SCSS試験加速器における運転条件である、印加電圧500 kV、ビームのピーク電流 1 A、パルス幅 2 μ s、繰り返し60 ppsを達成するために、電子銃の高電圧プロセッシングを行った。以下にその手順を示す。

1. 高電圧を加える前にカソードヒーターを加熱して脱ガスをを行い、電子銃チャンバーの真空を良くする。 $(1 \times 10^{-6}$ Pa以下)
2. カソードを加熱しない状態で、低い繰り返し周期で印加電圧を500 kVへ上げていく。
3. 一旦印加電圧を下げて、カソードヒーターの温度を上昇させる。
4. この状態でカソード印加電圧を500 kVの定格値まで上げていく。
5. 繰り返し周期を徐々に上げながら手順(3)と(4)を繰り返し、最大繰り返し60 ppsを達成した。

図3に加速器運転中に測定した印加電圧などのオシロスコープの波形を示す。青色はカソード印加電圧、水色はダミー管の電流、緑色はビーム電流、桃色はビームディフレクターのパルス電圧である。カソード印加電圧のフラットトップは ~ 100 ns幅で、ディフレクターのトリガータイミングを同期して、

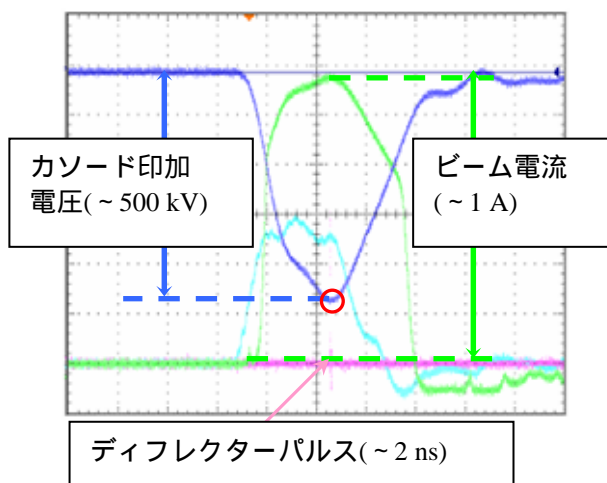


図3： 定常運転中のカソード印加電圧とビーム電流の波形。

このフラットトップから1 ns幅の電子ビームを切り出している。印加電圧のジッターについては3章で詳しく述べる。

2.3. プロファイルモニターによるビーム安定性の測定

電子ビームの形状と安定性を調べるために、ビームプロファイルの測定を行った。測定条件は繰り返し周期5 pps、印加電圧500 kV、ビーム電流1 Aである。プロファイルの測定には2 m下流に設置した厚さ1 mmのアルミナ蛍光板を使用した。電子銃の特性を見るためにビームディフレクター(1 ns幅の短バンチビームを切り出す)のみを稼動し、RF系の電源はオフにした。図4に電子ビームプロファイルとその強度プロットを示す。電子ビームの直径は ~ 6 mmである。図4(a)、4(b)は、1ショットおよび100ショット平均のビームプロファイルをそれぞれ示している。図中の黒矢印はビームディフレクターで短バンチビームを切り出す時に、バンチの先頭と後尾に混入する角度の大きい成分である。このプロファイルvertical方向とhorizontal方向に射影した強度分布が図4(c)と(d)である。この強度分布から、1ショットと100ショット平均でビーム中心(黒の縦線)の変化が見られず、ビーム形状もよく一致していることが分かる。1ショットと100ショットの間でのプロファイルのピーク強度の違いは、電子ビームの強度のふらつきではなく、蛍光板の発光強度の周期的な変動によるものであると思われる。以上より、CeB₆熱電子銃から電子ビームが極めて安定に出ていることが証明された。

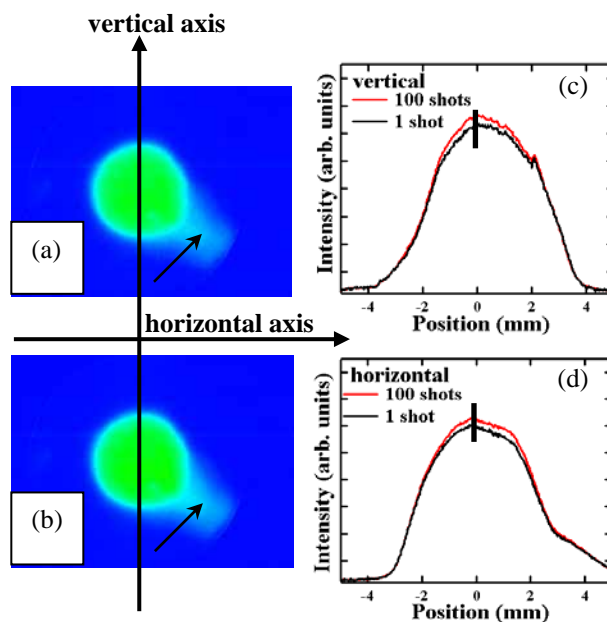


図4： プロファイルモニターによる電子ビームの像とその強度分布。(a)は1ショットで得られた像、(b)は100ショットの平均ビーム像である。(c)、(d)はvertical方向およびhorizontal方向へ射影したビームの強度分布である。

3. インバーター電源の高圧モニターの調整による電圧安定性の向上

電子銃電圧が安定でなければ、バンチャーなどのRFに乗るビームの位相タイミングがずれて、ビームのエネルギー及びタイミングジッターを生じてしまう。従って電子銃の電圧安定化は非常に重要な課題である。図5は電子銃のために使用しているモジュレーター電源本体とモジュレータのPFN回路を充電するインバーター電源の外観写真である。運転当初はインバータータンク内の電圧モニターを基準として充電電圧制御を行っており、モジュレータPFN回路までの回路遅延やスイッチングノイズの影響のためにフィードバック制御の精度が悪く、電圧ジッターは0.33%(P-P)であった。(株)ニチコンにより、充電電圧をより安定化するための調査が行われ、モジュレータのPFN回路高圧側に繋がれた高電圧プローブを基準として充電電圧制御を行う方がより電子銃の電圧安定度が増すことが分かった。図5(b)にフィードバックのための高圧モニター接続部であるサイラトロンスイッチ高圧側を示す。改造後のインバーター充電電圧の波形とその目標電圧到達付近の拡大図を図5(c)に示す。高精度オシロスコープを使用して測定した拡大波形から見積もったインバーター電源のジッターは、充電電圧47.2 kV(電子銃の印加電圧500 kV)において0.061%(P-P)と劇的な改善がみられ、きわめて安定な電圧をモジュレータに印加できることを確認した。さらにこの時、CeB₆熱電子銃のカソード印加電圧のジッターは0.05%(P-P)以下であった。今後、安定度をさらに一桁向上させるための改善を行う予定である。

4. 運転状況のまとめ

SCSS試験加速器において、CeB₆熱電子銃より発生したビームにより波長49 nmのレーザー増幅に成功した。これは、CeB₆熱電子銃が極めて安定な低エミッタンスビームを加速器に供給できていることを証明している。現在まで約半年間の運転で放電等のトラブルはなく、真空度 1×10^{-6} Pa以下の安定な値を保持しながら運転を継続している。

5. 謝辞

電子銃の設置、運転を手伝っていただいたすべての人に深く感謝いたします。

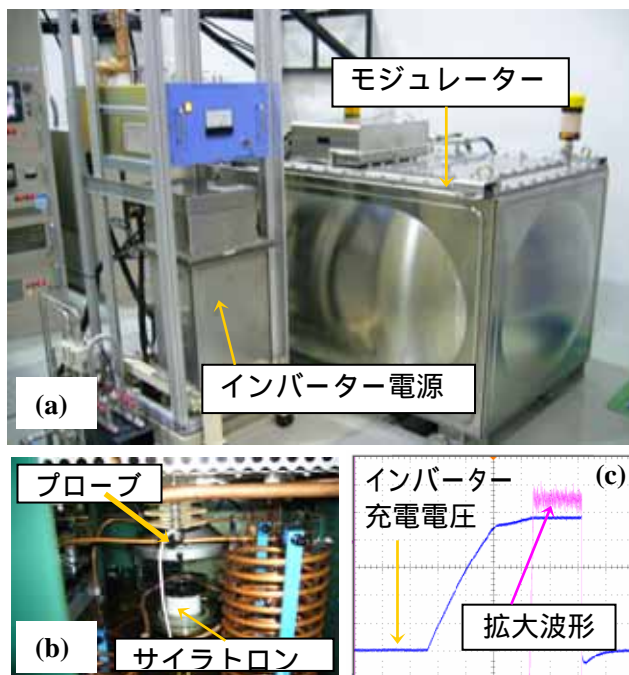


図5 : (a)インバーター電源とモジュレータの外観写真、(b)モジュレータ内の高電圧プローブ取り付け部の写真、(c)インバーターの充電電圧の波形。

参考文献

- [1]SCSS X-FEL R&D Group (<http://www-xfel.spring8.or.jp/>)
- [2]SCSS X-FEL R&D Group SCSS X-FEL Conceptual Design Report(2004). (<http://www-xfel.spring8.or.jp/SCSSCDR.pdf>)
- [3]K. Togawa, T. Shintake, H. Baba, T. Inagaki, K. Onoe, T. Tanaka, and H. Matsumoto, Proc. LINAC2004.