

マルチアルカリフォトカソードの初期エミッタンス測定装置の設計

DESIGN OF THE INITIAL EMITTANCE MEASUREMENT SYSTEM FOR MULTI-ALKALI PHOTO CATHODE

稲垣暲^{#,A)}, 許斐太郎^{B)}, 禿氏徹成^{B)}, 加藤政博^{B,D)}, 加古永治^{C)}, 山口誠哉^{C)}, 小林幸則^{C)}, 山本尚人^{D,A)},
保坂将人^{D)}, 高嶋圭史^{D)}

Ryo Inagaki^{#,A)}, Taro Konomi^{B)}, Tetsuyou Tokushi^{B)}, Masahiro Katoh^{B)}, Eiji Kako^{C)}, Seiya Yamaguchi^{C)}, Yukinori
Kobayashi^{C)}, Naoto Yamamoto^{D)}, Masato Hosaka^{D)}, Yoshifumi Takashima^{D)}

^{A)} Graduate School of Engineering, Nagoya University

^{B)} UVSOR facility, Institute for Molecular Science

^{C)} KEK, High Energy Accelerator Research Organization

^{D)} Nagoya University Synchrotron radiation Research center

Abstract

We develop the electron gun which is put a photo cathode and superconducting RF cavity to develop the high repetition X-rays free-electron laser (XFEL). It is desirable that the photo cathode in superconducting RF cavity is operated under low temperature like case of the cavity. Operating under low temperature makes decrease a thermal emittance of photo cathode. We pay our attention to this point and manufacture the Multi-Alkali photo cathode and the initial emittance measurement system of DC electric field mode.

In this paper, we report about the characteristic of the film formation device of the Multi-Alkali photo cathode, the result of film formation examination and the conception of the initial emittance measurement system.

1. はじめに

分子科学研究所極端紫外光研究施設(UVSOR)では、1MHz 程度のパルス繰り返しを持つ線形加速器をベースとした X 線自由電子レーザーを次期放射光源の候補の一つとして検討を開始した。1MHz 以上という高繰り返しを実現するためには、高電界且つ連続運転が可能な超伝導空洞と高い応答性を持つフォトカソードを組み合わせた超伝導フォトカソード電子銃が適していると考えている。フォトカソードの重要なパラメーターは量子効率と初期エミッタンスであり、これらは電子銃の性能を予測し、レーザーの選定を行うためにも重要である。また超伝導電子銃は極低温で運転するため、熱負荷を考えるとフォトカソードも低温で運転することが望ましい。さらにカソードの初期エミッタンスは、理論上低温であるほど小さくなるため、低温での運転はカソードの性能の向上に繋がると考えられる。そこで我々は室温から液体ヘリウム温度までの温度域での量子効率と初期エミッタンスを測定するための簡易な DC 電界型測定装置の設計を進めている。

本研究では高い量子効率を実現するためにマルチアルカリフォトカソードを採用し、マルチアルカリの中でも比較的高い量子効率を持つ K_2CsSb の蒸着試験を行った^[1]。また作製したフォトカソードの波長と量子効率関係を測定した。測定本稿では、それらの実験結果と初期エミッタンス測定装置の構成について報告する。

2. 実験方法および装置の特徴

2.1 実験装置

図 1 に本実験で用いた蒸着チャンバーの概要図を示す。本蒸着チャンバーは直径 150mm、高さ 520mm の円筒形でチャンバー上部から伸びた金属棒の先端にカソードホルダーがあり、ターゲットに向

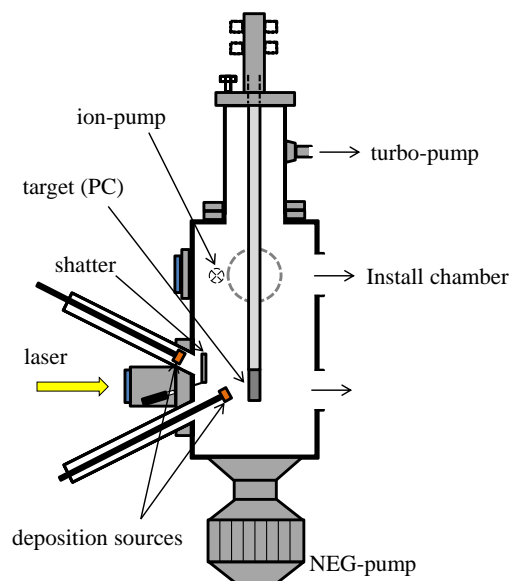


Figure 1: Deposition chamber.

かってチャンパー側面から伸びた4つの蒸着源から各金属を飛ばし蒸着を行う。カソードホルダーは直径 50mm で、その中央に基板を装着している。また、膜厚計をホルダー位置に置いて蒸着することで、蒸着源に流す電流と蒸着膜厚の校正を行った。各蒸着源においても挿入位置の調整が可能で、使用しない蒸着源はシリンダー内に収納し、他の蒸着金属の付着を防止するためにシリンダー口はシャッターで閉じることができる。またチャンパー正面、側面および背面のビューポートからレーザーを入射し、量子効率の測定などを行うことができる。この蒸着チャンパーには3つのポンプ（イオンポンプ、ターボポンプ、NEG ポンプ）が付属されており超高真空状態を作ることができる。このチャンパーの大きな特徴は、真空状態を保ったまま基板の着脱が可能である点である。トランスファーロードを用いて隣接するインストールチャンパーから基板を移動し、将来的には蒸着後に初期エミッタンス測定用チャンパーや輸送用チャンパーなどにカソードを移動可能にする予定である。

図2に各蒸着源の概略図を示す。この蒸着源の大きな特徴は、最大で10種類の蒸着金属のセッティングが可能である。カソードホルダーから見て左上(a)と右上(b)の蒸着源の先端にはセラミックのブロックがあり、最大4つのディスペンサーを装着可能である。各ディスペンサーの間にはセラミック板で仕切られており、他の蒸着金属の付着を防止している。現在(a)の蒸着源には、K、Li、Naが、(b)の蒸着源には Cs、Rb のディスペンサーが装着されている。また左下(c)と右下(d)の蒸着源の先端には、カップ状のタングステンヒーターにセラミックのカップがはめ込まれており、その中に蒸着金属を設置することができる。現在(c)、(d)の蒸着源には、Te と Sb がそれぞれ設置されている。各蒸着源はそれぞれ電源に繋がれており、指定した蒸着源にのみ電流を流すことで選択した金属を加熱・蒸着する。

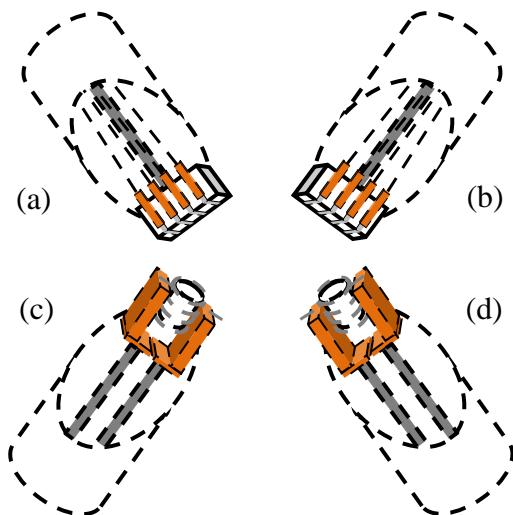


Figure 2: Deposition source.

2.2 実験方法

蒸着試験を行う前の準備として、基板のヒートクリーニングを行った。今回は研磨していない Mo 基板 (φ 10mm) を使用し、カソードホルダーの温度を約 380°C で 1 時間程度保持した。その後、カソードホルダーの温度を約 100°C に保持した。

K₂CsSb の蒸着の過程を表 1 に示す。ヒートクリーニング後、まず初めに Mo 基板に Sb の蒸着を行った。蒸着中は膜厚計で蒸着量を確認しつつ、26 分間蒸着を行った。次に K の蒸着を行った。K の蒸着中はカソード表面にダイオードレーザー (405nm) を照射し、常時量子効率をモニタリングした。またその際のレーザーパワーは、空間電荷効果による制限値に達しないように、光電流を光電流 100nA 程度となるように随時調整して測定を行った。そして、量子効率の増加がピークを迎えた時点で K の蒸着を終了した。最後に Cs の蒸着を行った。Cs の場合も K の蒸着時と同様に常時量子効率をモニタリングし、量子効率の増加がピークを迎えた時点で蒸着を終了した。蒸着中のカソードホルダーの温度は約 100°C に維持しており、真空度は 10⁻⁷Pa 台前半であった。また蒸着源とターゲットの距離は、各金属とも約 10mm 程度とした。

	Deposition source	Deposition stop
1	Sb	Deposition time: 26min
2	K	QE peak
3	Cs	QE peak

Table 1: Procedure of deposition.

蒸着終了後、基板上に形成した薄膜のバンド構造を特定するために、カソードにレーザーの波長を変えて照射し、カソードの量子効率の波長依存性を調査した。励起光源には、キセノン光源を用いた。測定波長範囲は 350~600nm で 10nm 毎に波長を変えて測定した。

3. 実験結果

3.1 蒸着中の量子効率の変化

図3に蒸着中のカソードの量子効率の時間変化を示す。はじめに Sb を 10nm 蒸着した。Sb 蒸着中は量子効率の変化は見えなかった。K の蒸着中には量子効率は指数関数的に伸び、4.7%でピークを迎えた。K の蒸着終了後、カソード表面が全体的に薄青色に変化しているのが観察できた。また Cs の蒸着準備をしている間、量子効率が低下していく様子が観察された。この原因としては、カソード温度が真空中の K の沸点よりも高く、蒸着した K が再び気化した、またはチャンパー内に存在する微量な酸素によって蒸着面が酸化したことが考えられる。Cs 蒸着

開始後はゆっくりと量子効率が増加し始め、最終的に7.3%でピークを迎えた。

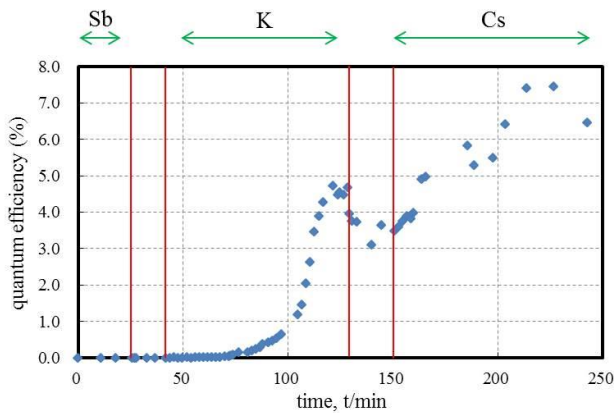


Figure 3: Measurement of QE under deposition.

3.2 QE スキャン結果

図4に今回作製したカソードの量子効率波長依存性の結果を示す。横軸はキセノン光源の光エネルギー、縦軸はカソードの量子効率を対数で表している。2.25eV および 2.8eV 付近で量子効率の増加の傾きが変化していることがわかる。J.Smedley らのデータ^[2]と比較すると K_2CsSb として妥当である。量子効率の絶対値が低い原因は、研磨していない Mo を基板材料として用いたためだと考えられる。基板の面粗さは量子効率に大きく寄与することが知られており^[3]、面粗さが小さい基板を使用することで、より高い量子効率を得られると期待できる。

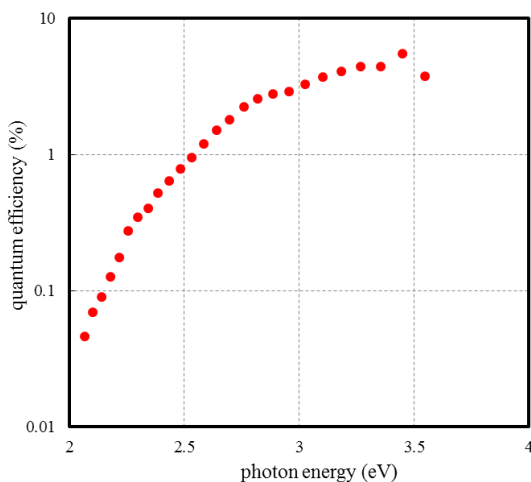


Figure 4: QE scan.

4. 初期エミッタンス測定装置

フォトカソードの初期エミッタンスは下式のように表される^[4]。ここで R はビーム半径、 χ は真空準位と伝導帯最下端の差、 k_B はボルツマン定数、 T はカソード温度である。下式によれば、初期エミッタンスは低温であればあるほど小さくなることが考えられる。我々はフォトカソードを電子銃に装着し

$$\epsilon_{n,rms} = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{2(\Delta E + \chi)}{3m_e c^2} + \frac{2k_B T}{m_e c^2}}$$

た状態で、フォトカソード温度を 5K 程度まで冷却することを考えている。そこで、室温から 5K 程度まで連続して温度を変えられるクライオスタットを製作して、初期エミッタンスの温度依存性を測定することを考えている。測定方法は、Pepper-Pot とソレノイドスキャンを考えている。図5に装置の設計概要を示す。平行電場を得るためにアノードにはφ20μm のピンホールが 100μm 間隔であけられたニッケル箔を使用する。ニッケル箔は平行を維持できるようにカソードからセラミックロッドを通して固定される。また、輻射熱を避けるためにカソードはヘリウムのリターンガスで冷却された輻射シールドで守られている。

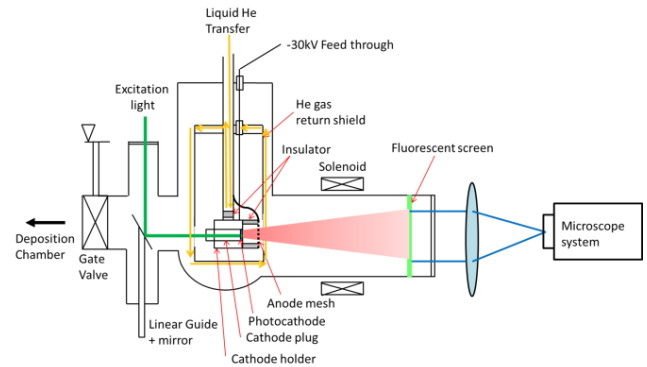


Figure 5: Design summary of the initial emittance measurement system.

5. まとめと今後の課題

今回作製したマルチアルカリフォトカソードは、量子効率 7.3% を達成した。量子効率の波長依存性を測定した結果から、狙いとした K_2CsSb が成膜できていることが分かった。今後の課題としては、基板材料に面粗さの小さい材料を用いることや、本蒸着装置での確実な蒸着方法の確立、XPS を用いた薄膜構造の解明を行う予定である。また、初期エミッタンス測定装置の設計および製作も並行して行う予定である。

参考文献

- [1] A. V. Lyashenko et al. JINST 4 P07005 (2009).
- [2] J.Smedley et al., AIP Conf Proceedings 1149,18th Int'l. Spin Physics Symp.pp.1062-1066 (2009).
- [3] 杉山陽栄,名古屋大学博士論文 甲第 6716 (2005)
- [4] 山本尚人,名古屋大学学位論文'NEA-GaAs 型超格子薄膜結晶を用いた高輝度・高スピン偏極度・大電流密度ビームを生成する電子源の開発'(2007)