

早稲田大学における Cs-Te フォトカソードの開発

DEVELOPMENT OF A Cs-Te PHOTOCATHODE AT WASEDA UNIVERSITY

松崎脩理^{#, A)}, 坂本瑞樹^{A)}, 西田万里子^{A)}, 坂上和之^{A)}, 鷲尾方一^{A)}, 浦川順治^{B)}

Shuri Matsuzaki^{#, A)}, Mizuki Sakamoto^{A)}, Mariko Nishida^{A)}, Kazuyuki Sakaue^{A)}, Masakazu Washio^{A)}, Junji Urakawa^{B)}

^{A)} Research Institute for Science and Engineering, Waseda University (RISE)

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

A photocathode is a key component for a high quality, high charge and stable electron gun. We have developed a photocathode evaporation chamber in our laboratory to prepare a Cs-Te photocathode which has much higher quantum efficiency (Q.E.) than metal cathodes. A new cathode, which is manufactured in this chamber, can be transferred into an accelerator without being exposed to the air owing to a load-lock system. We have succeeded to obtain high Q.E of 1.74%. Cs-Te photocathode was established to have enough performance for RF-Gun operation. We carried out further researches for understanding a suitable growth recipe of a Cs-Te photocathode.

1. はじめに

早稲田大学では、フォトカソード RF-Gun による高品質ビーム生成またその応用に関する研究を行っている。近年の加速器実験の高度化により生成する電子ビームには高品質かつ高電荷量であることが求められるようになり、フォトカソード RF-Gun の電子源であるフォトカソードも進化を遂げてきた。フォトカソードを評価する上で重要な項目は二つあり、一つ目が入射光子数に対する放出電子数の比を表す「量子効率(Quantum Efficiency : Q.E.)」、2つ目が「寿命」である。早稲田大学では2007年からそれまで用いてきた Cu カソードに代えて、量子効率が2桁程度高い(1~10%)Cs-Te フォトカソードを使用してきた[1]。しかしながら、高周波電磁場内におけるカソードの寿命や量子効率に関しては分かっていない部分が多い。そこで早稲田大学では研究室内でのフォトカソードの生成と物性研究・最適化研究を目的に蒸着チャンバーを立ち上げた。本講演では、蒸着チャンバーの詳細と、RF-GunでのQ.E.測定結果、生成条件の最適化に向けて行った蒸着チャンバー内でのQ.E.のTe膜厚依存性についての研究結果を報告する。

2. 実験装置

2.1 蒸着チャンバー

立ち上げた蒸着チャンバー外観図を Figure 1 に示す。Cs-Te フォトカソードは O₂ などのガスにより容易に劣化する性質を持つため[2]、蒸着チャンバー内の真空度はフォトカソード生成において非常に重要である。本蒸着チャンバーにはターボ分子ポンプ(EDWARDS 社:STP-301)、イオンポンプ(ULVAC 社:PST-100CX)、NEGポンプ2台(saes getters社:St707tTM)が備え付けており、またスクロールポンプ(ANEST IWATA 社:ISP-250C)とターボ分子ポンプ

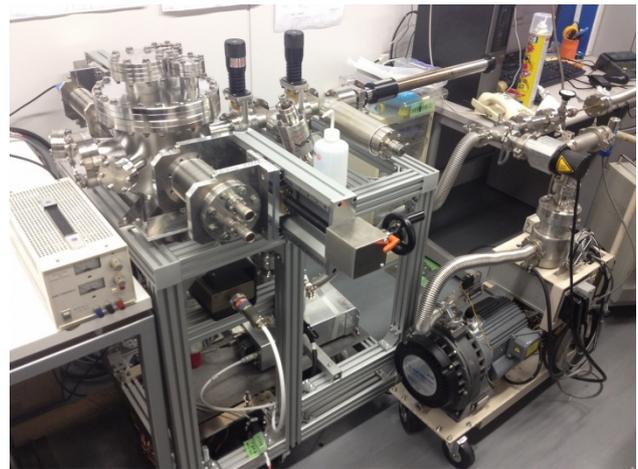


Figure 1: Outside apparent of the evaporation chamber.

(PFEIFFER VACUUM 社:HiPace300)を搭載した粗排気ユニットを更に接続し排気を行う。またこれらの真空ポンプに加えて、ベーキングを 170℃程度で 24 時間行うことによってチャンバー内圧力を 1.1×10^{-7} Pa まで下げることによって成功している。

2.2 蒸着源ホルダー

Cs-Te フォトカソードは Te、Cs の順に蒸着源を通電加熱によって蒸散させ、基板に蒸着し生成する。本研究では蒸着源として Cs ディスペンサー(saes getters 社 : Cs/NF/3.2WIRE)と Te 小片(ニラコ社 : 純度 99.9999%)を、基板には Mo 製のカソードプラグを用いた。蒸着源ホルダーの写真を Figure 2 に示す。

[#] matsuzaki@akane.waseda.jp

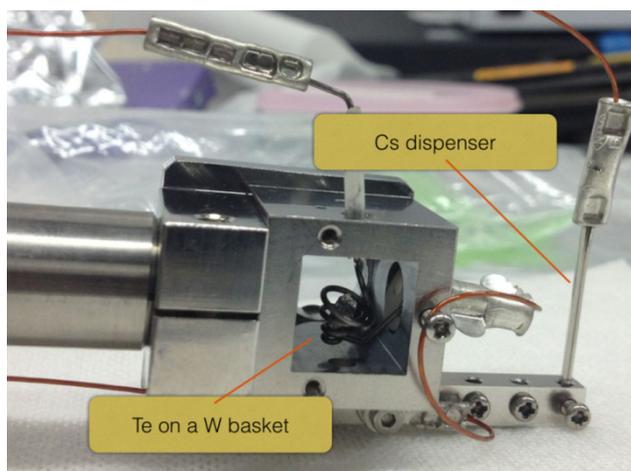


Figure 2: A photograph of the evaporation source holder.

2.3 Te 膜厚測定

Te 蒸着は水晶振動子膜厚計(ULVAC 社 : CRTS-4U)を用いて膜厚を蒸着中にリアルタイムで測定し制御する。膜厚計と基板は蒸着源ホルダーを挟んで等距離に位置しており、それぞれに同量蒸着されるとして膜厚測定を行っている。

2.4 Q.E.測定

Cs 蒸着は膜厚計を使用せず、Q.E.測定をリアルタイムで行うことで制御する。Cs ディスペンサーへの通電量は時間経過と共に徐々に上げてゆき、Q.E.がピークを示してから少し経った時点で停止する。Q.E.は UV 照射によって流れる光電流量と UV 光量から以下の式で導出される。

$$\begin{aligned} \text{Q.E.} &= \frac{\text{Number of Emitted Electrons}}{\text{Number of Incident Photons}} \\ &= \frac{I/e}{P/hc} \\ &= 4.74 \times \frac{I}{P} \end{aligned}$$

ここで I は光電流値[A]、 P は入射レーザーパワー[W]、 e は素電荷、 h はプランク定数、 c は光速を表し、入射レーザー波長 λ は 262nm である。なお光源として Xe ランプ(日進電子社:LH-SA3H)を用い、分光器(リツエーデン光学社製 : MC-10DG)を通して UV 光($\lambda=262\text{nm}$)を取り出している。以下に Q.E.測定系概念図を示す。カソードには-100V の電圧が掛けられており、UV 光を照射して放出される光電流の補完電流値を測定している。

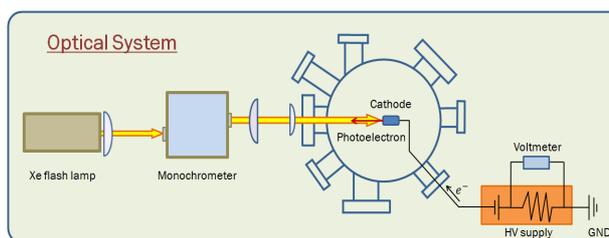


Figure 3: A scheme of the Q.E. measurement system.

2.5 ロードロックシステム

すでに述べたように Cs-Te フォトカソードは大気に触れると容易に劣化してしまう性質を持つ。そのため本蒸着チャンパーには Load-Lock システムを採用し、生成したフォトカソードはNEGポンプを備え付けた Transfer-rod に入れて輸送し、大気に触れることなく RF-Gun にインストールできるようになっている。

3. 結果と考察

3.1 RF-Gun 内での Q.E.評価

Cs-Te フォトカソードを RF-Gun にインストールし、カソード生成から 2 週間後に実際に電子ビームを生成して Q.E.測定を行った。Figure4 に示すように 1 バンチ当たり 4.6nC のビーム電荷量が得られ、Q.E.は 1.74% という値であった。この結果から加速器運転に十分使用できる Cs-Te フォトカソードの生成に成功したといえる。

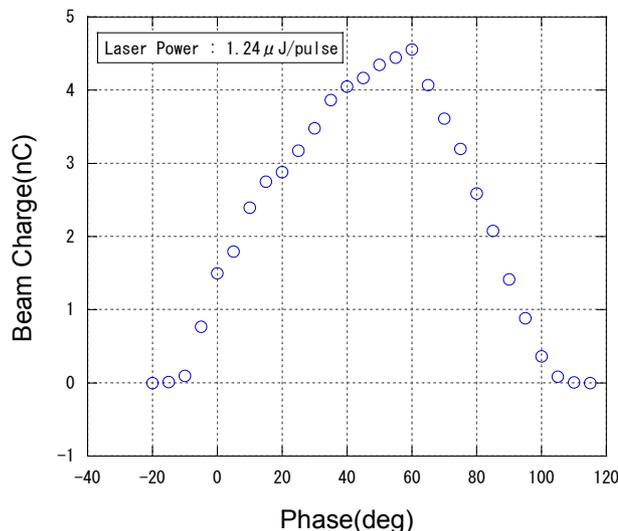


Figure 4: Beam charge as a function of RF phase.

3.2 Q.E.の Te 膜厚依存性

Te 膜厚 3nm、10nm、20nm の Cs-Te フォトカソードを各 2 サンプルずつ生成し、蒸着チャンパー内で Q.E.の Te 膜厚依存性の評価を行った。Cs 蒸着時に得られた Q.E.推移のグラフは以下に示すように、Q.E.がピークに達した後に減少し、Cs への通電を停

止するとすぐに安定するものと、ピークに達した後
に減少し、Cs 通電を停止すると再び上昇してから安
定するものの 2 パターンが得られた。

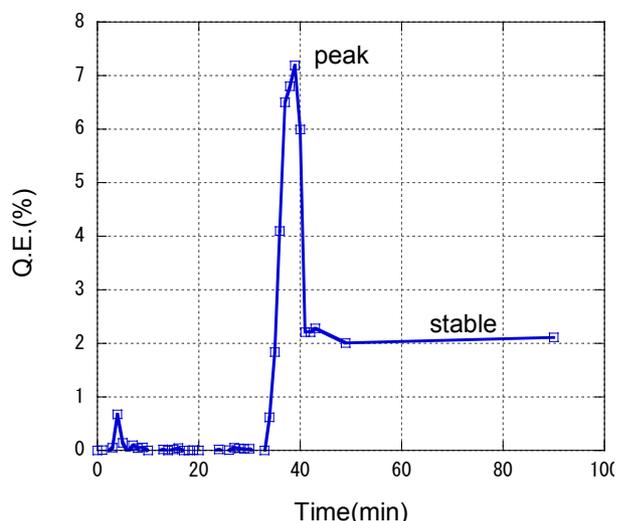


Figure 5: A typical Q.E. transition during Cs deposition.

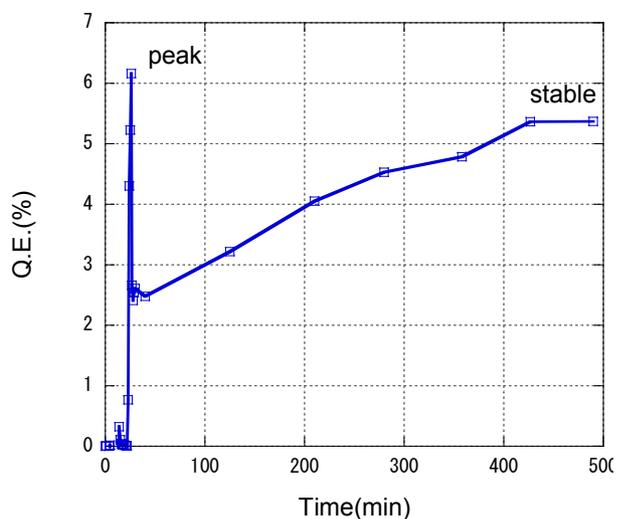


Figure 6: A Q.E. transition during Cs deposition with Q.E. recovery.

Figure5 の Q.E.推移パターンを Q.E.回復なし、
Figure6 の Q.E.推移パターンを Q.E.回復ありとして各
膜厚で得られた結果を Table1 にまとめる。

Table 1: Relationships between Te Thickness and Q.E.

Te thickness[nm]	Q.E.[%]		Q.E. Recovery	
	Peak	Stable		
3	3.0	7.20	2.11	×
	3.0	5.60	4.61	○
10	10.3	4.99	1.61	×
	10.1	6.16	5.37	○
20	20.0	3.98	3.63	○
	19.9	5.36	2.27	○

結果から分かるように、Q.E.のピークの値に関し
ては膜厚が薄いほうが高くなる傾向が見受けられる。
しかし、最終的に得られる Q.E.の安定値に関しては
Te 膜厚よりも Q.E.回復が生じたか否かが大きく関係
していることが分かる。Q.E.回復は各膜厚すべてで
確認され、また同じ膜厚であっても生じる場合と生
じない場合があるため、この現象が Te 膜厚に依存し
たものではないことがわかる。Cs ディスペンサーの
交換を行った直後から Q.E.回復を示すようになった
ことなどから、我々は要因が Cs の蒸着速度にあると
考えており、Cs 蒸着時に膜厚計を使用できるよう改
良した蒸着源ホルダーを近々インストールして検証
を行う予定である。

4. まとめと今後の展望

本研究ではフォトカソード蒸着チャンバーを立ち
上げ、十分な電荷量をもつ電子ビーム生成が可能な
Cs-Te フォトカソードの生成に成功した。また Cs-Te
の物性研究・最適化研究として Q.E.の Te 膜厚依存性
を調査し、Te 膜厚以外に Q.E.を決定付ける要因が存
在するという結論に至った。今後は改良した蒸着源
ホルダーを用いて Cs 蒸着条件が Q.E.に与える影響に
関しての研究を進めていく予定である。Figure 7 は
その設計図である。

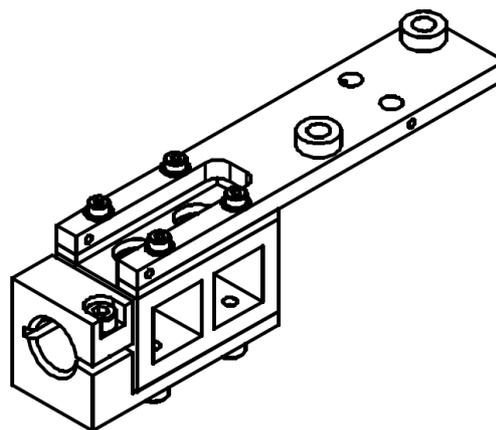


Figure 7: A plan of a new evaporation source holder.

この蒸着源ホルダーは最大 4 種類まで蒸着源を保持
できるよう設計したため、将来的には K-Cs-Sb など
のマルチアルカリフォトカソード生成を行うことも
視野にいられている。さらに蒸着チャンバーには新
たに基板加熱機構をインストールすることも検討し
ており、生成条件最適化に関してさらなる調査を続
けていく。また Q.E.測定精度の向上を図るため新た
な Xe ランプの導入なども検討している。

参考文献

- [1] K.Sakaue, et al., “Cs-Te photocathode RF electron gun for applied research at the Waseda University”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 269 (2011) 2928-2931.
- [2] H.Sugiyama, “セシウムテルライド薄膜フォトカソードの特性”, Doctoral Thesis at Nagoya University, 2005.