

## RF 電子銃用高耐久フォトカソードの開発

### DEVELOPMENT OF HIGHLY-DURABLE PHOTOCATHODE FOR RF-GUN

宮松順也<sup>#,A)</sup>, 小野央也<sup>A)</sup>, 坂上和之<sup>B)</sup>, 鷲尾方一<sup>A)</sup>, 飯島北斗<sup>C)</sup>, 全炳俊<sup>D)</sup>

Junya Miyamatsu<sup>#,A)</sup>, Hiroya Ono<sup>A)</sup>, Kazuyuki Sakaue<sup>B)</sup>, Masakazu Washio<sup>A)</sup>, Hokuto Ijima<sup>C)</sup>, Heishun Zen<sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> Research Institute for Science and Engineering, Waseda Univ.

<sup>B)</sup> Waseda Institute for Advanced study, Waseda Univ

<sup>C)</sup> Tokyo Univ. of Science

<sup>D)</sup> Institute of Advanced Energy, Kyoto Univ.

#### Abstract

At Waseda University, we have been studying for high quality electron beam generation and variety of application researches using 1.6 cells photocathode RF-gun. Photocathode is the electron source that makes electron emission by photoelectric effect. We are using Cs<sub>2</sub>Te photocathode which is known for high quantum efficiency (Q.E.) about 10% with UV light and relatively long lifetime. For the purpose of increasing charge amount of electron beam and simplifying laser system, we started introducing CsK<sub>2</sub>Sb photocathode. CsK<sub>2</sub>Sb is known for its low durability. We observed that it is not suitable for long-term operation in the RF-gun. Then we expected to improve durability of not only CsK<sub>2</sub>Sb but Cs<sub>2</sub>Te by coating photocathodes with CsBr thin film. We investigated the effectiveness of protective CsBr thin film and we confirmed improvement of lifetime of photocathode in evaporation chamber. In this conference, we report the measurement results of CsBr thin film coated photocathodes and future prospects.

#### 1. はじめに

早稲田大学 1.6 セルフォトカソード RF 電子銃では、電子源として Cs<sub>2</sub>Te フォトカソードを使用している。フォトカソードとは光電効果によって電子を取り出すことのできる陰極であるが、電子ビームの性能に大きく関わるため、高性能なフォトカソードの開発は非常に重要である。RF 電子銃内で実際に使用している Cs<sub>2</sub>Te フォトカソードは紫外光で最大 10%程の高い量子効率(Quantum Efficiency, Q.E.)を持ち、1/e 寿命は数日~数十日と比較的長い高性能なフォトカソードとして知られている。

現在、我々はさらなるビーム電荷量の増大及びレーザーシステムへの負担軽減を目的として、新たに CsK<sub>2</sub>Sb フォトカソードの導入を検討している。CsK<sub>2</sub>Sb フォトカソードは可視光領域の光に対しても電子放出能を持ち、かつ緑色光(532nm)でも高量子効率であることが知られているが、Cs<sub>2</sub>Te と比較すると耐久性に難があり、RF 電子銃内において高量子効率かつ長期運転に耐えられないことをすでに確認している。[1] そこでカソード材料の高耐久化を目的として、CsBr 保護膜を付与することを試みたところ、蒸着容器内において寿命改善効果を確認することができた。本発表では CsK<sub>2</sub>Sb および Cs<sub>2</sub>Te カソードに対する CsBr 保護膜の有効性評価及び今後の展望について報告する。

#### 2. 実験装置・手順

##### 2.1 蒸着チャンバー

フォトカソードの生成には Figure 1 に示す蒸着チャンバーを用いており、Te, Sb, K, Cs の 4 種類の物質とコーティング材料である CsBr を加熱することで Cs<sub>2</sub>Te または CsK<sub>2</sub>Sb の生成及びコーティングを行う。Figure 2 に示す蒸着源ホルダーでは SAES Getters 社製の Cs, K ディスペンサーを用いており、Te, Sb 及び CsBr は小片を W バスケットにセットして用いている。基板には Mo を使用しており、蒸着中は基板と水晶振動子膜厚計の両方に対して蒸着物を飛ばせるようになっているため、蒸着と膜厚の測定を同時に行うことができる。

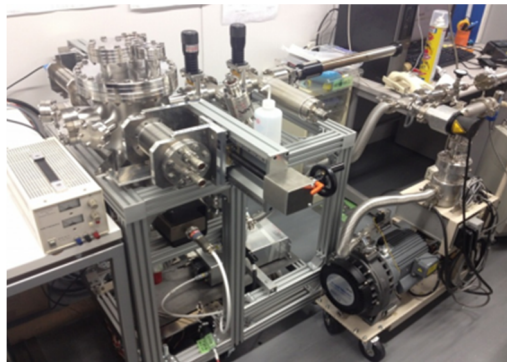


Figure 1: Evaporation chamber.

<sup>#</sup> junya.m931030@akane.waseda.jp

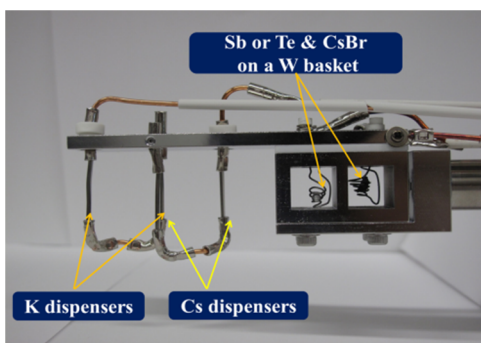


Figure 2: Evaporation source holder.

スクロールポンプ、ターボ分子ポンプ、イオンポンプ及び NEG ポンプを用いることで蒸着中もチャンパー内圧力を $\sim 10^{-7}$ Pa 程度に保つことができる。

## 2.2 蒸着手順

$\text{Cs}_2\text{Te}$ ,  $\text{CsK}_2\text{Sb}$  の生成及びコーティングは以下のような手順で行った。まず  $\text{Cs}_2\text{Te}$  蒸着では、Mo 基板に対して目標膜厚まで Te を蒸着したのち Cs を蒸着する。Cs 蒸着中は 262nm の紫外光で Q.E. の測定を行い、Q.E. が最大となってから最大値の 60% 程まで減少したところで蒸着を停止する。以上のような手順で蒸着することで、262nm の光を照射した際の Q.E. が 4% 前後の  $\text{Cs}_2\text{Te}$  を生成することができる。

次に  $\text{CsK}_2\text{Sb}$  の蒸着手順だが、基板を加熱した場合と無加熱の場合で少し異なる。まず基板無加熱の場合では、K 及び Sb を目標膜厚まで蒸着したのち、Q.E. の推移を見ながら K 及び Cs の蒸着を行い、どちらも Q.E. が最大となったところで蒸着を停止する。このような手順で蒸着することで基板無加熱でも高 Q.E. かつ長寿命なカソードを生成することができる。一方、基板加熱の場合では、基板温度を  $100^\circ\text{C}$  に維持した状態で Sb を目標膜厚まで蒸着したのち、K 及び Cs 蒸着を行う。Cs 蒸着中は基板の温度が  $50\sim 60^\circ\text{C}$  になるよう調節している。

CsBr コーティングはカソード成膜後、直ちに行った。コーティング中は Q.E. の測定を同時に行えないため、目標膜厚まで CsBr を蒸着→Q.E. 測定を繰り返すことによりカソード Q.E. の CsBr 膜厚依存性を測定した。コーティング終了後も Q.E. 測定を継続して行い、寿命測定を行った。

## 3. 実験結果

### 3.1 $\text{CsK}_2\text{Sb}$ へのコーティング試験

基板加熱及び基板無加熱で生成した  $\text{CsK}_2\text{Sb}$  に CsBr 保護膜を付与したところ、Figure 3 に示すように Q.E. の CsBr 膜厚依存性に大きな差は確認されず、いずれにしても CsBr 蒸着の初期段階における Q.E. の低下が著しいことを確認できた。

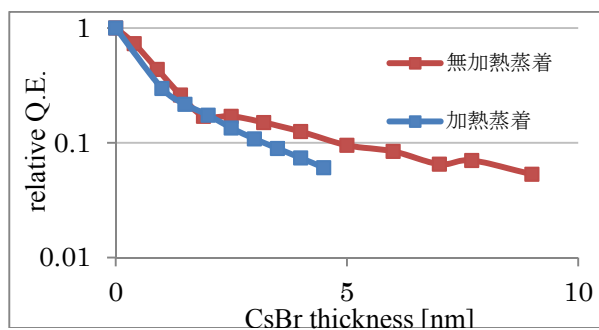


Figure 3: Quantum Efficiency of coated  $\text{CsK}_2\text{Sb}$  as a function of CsBr thickness at 532nm.

またコーティング後の寿命測定結果を Figure 4 に示す。基板無加熱で生成したものに比べ、基板加熱で生成した  $\text{CsK}_2\text{Sb}$  の方がコーティング後、Q.E. を長時間維持できていることが確認できた。これは基板加熱により Cs 蒸着中、反応せずに残った  $\text{K}_3\text{Sb}$  が少なく、結晶性の良い  $\text{CsK}_2\text{Sb}$  を生成できたためであると考えている[2]。しかし我々が使用している RF 電子銃用の Mo プラグは加熱することができないため、基板無加熱で長時間 Q.E. を維持できるようにしなければならない。

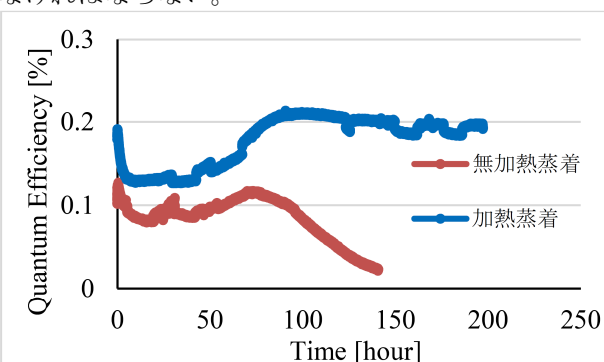


Figure 4: Lifetime measurement of coated  $\text{CsK}_2\text{Sb}$  at 532nm.

### 3.2 $\text{Cs}_2\text{Te}$ へのコーティング試験

次に  $\text{Cs}_2\text{Te}$  を生成し CsBr 保護膜を付与した。Q.E. の CsBr 膜厚依存性を Figure 5 に示す。コーティングは 2 回行い、2 回目のコーティングでは一度に蒸着する CsBr の量を増やしたところ、コーティングの初期段階における Q.E. の低下を抑制することができた。このことからコーティング中における不純物混入による影響が大きいと考えられる。

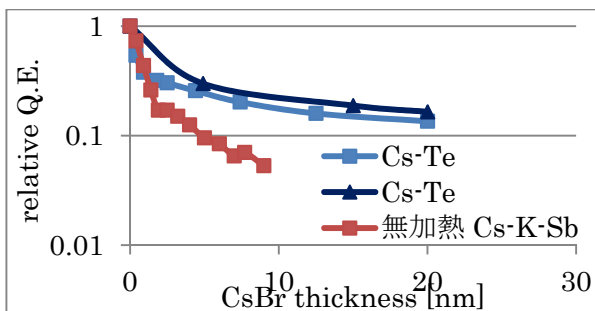


Figure 5: Quantum Efficiency of coated  $\text{Cs}_2\text{Te}$  and  $\text{CsK}_2\text{Sb}$  as a function of CsBr thickness at 262nm and 532nm respectively.

またコーティング後の寿命測定結果を Figure 6 に示す。コーティングしていない Cs<sub>2</sub>Te では蒸着終了後、Q.E.の低下が見られ、1/e 寿命は 44.8 日であることが確認できた。一方 CsBr 保護膜を付与した Cs<sub>2</sub>Te では、25 日以上 Q.E.の低下が見られず、劇的な寿命改善効果が見られたことから、蒸着チャンパー内における CsBr 保護膜の有効性を確認することができた。(寿命測定は 2 回目にコーティングした Cs<sub>2</sub>Te の結果である)

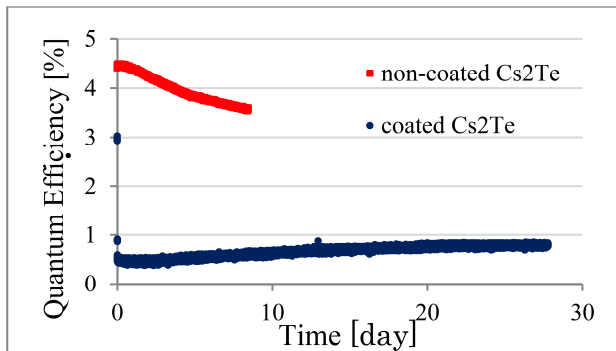


Figure 6: Lifetime measurement of coated and non-coated Cs<sub>2</sub>Te.

#### 4. まとめと今後の展望

CsK<sub>2</sub>Sb 及び Cs<sub>2</sub>Te の高耐久化・長寿命化を目的とし、CsBr 保護膜の付与を試みた。CsK<sub>2</sub>Sb のコーティングでは特に基板加熱において優位な結果が得られたが、RF 電子銃に導入する際は基板無加熱で蒸着しなければいけないため、今後は 1) コーティング初期段階における Q.E.の維持と 2) 寿命測定中における Q.E.の維持が課題であると考えている。一方、Cs<sub>2</sub>Te のコーティングでは一度に蒸着する CsBr の量を増やしたところ、コーティング初期段階における Q.E.の低下を抑えられたことから、コーティング中における不純物が Q.E.低下に寄与しているのではないかと考えている。また寿命測定の結果ではコーティングによる劇的な寿命改善効果を確認することができた。

基板無加熱で生成した CsK<sub>2</sub>Sb のコーティングでは、1) コーティング初期段階における Q.E.の維持と 2) 寿命測定中における Q.E.の維持が RF 電子銃導入に向けた大きな課題である。これらの課題の解決に向け、現在新たな蒸着法として Cs と K の同時蒸着を検討している。Cs と K を蒸着することで、高 Q.E.な CsK<sub>2</sub>Sb を生成できることを期待しており、高 Q.E.化が達成されれば、より厚く CsBr でコーティングできるため、高耐久化・長寿命化を達成できると考えている。また Cs 蒸着中の K<sub>3</sub>Sb の量を少なくすることも考えられるため、基板加熱と同様に結晶性の良い CsK<sub>2</sub>Sb を生成できることを期待している。さらに同時蒸着により表面の滑らかな CsK<sub>2</sub>Sb を生成することができるため、均一にコーティングでき

る可能性もある。[3] またコーティング初期段階における Q.E.の大幅な低下を抑制するために、コーティング中における不純物の混入を防がなければならない。そのため CsBr の蒸着法に工夫が必要であることから、今後は同時蒸着・コーティングを含めた基板無加熱における CsK<sub>2</sub>Sb フォトカソードの蒸着法の最適化を行い、RF 電子銃内での性能評価試験を行いたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] H. Ono *et al.*, “Study on CsKSb photocathode for the RF electron gun”, Proc. of the 13th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan August 8-10, 2016.
- [2] Susanne Schubert *et al.*, “Bi-alkali antimonide photocathode growth: An X-ray diffraction study”, Journal of Applied Physics 120, 035303 (2016).
- [3] Jun Feng *et al.*, “Near atomically smooth alkali antimonide photocathode thin film”, Journal of Applied Physics 121, 044904 (2017).