

高周波電子銃用 Cs-Te フォトカソードの高耐久化に関する研究

DURABILITY IMPROVEMENT OF Cs-Te PHOTOCATHODE FOR AN RF-GUN

丹羽智朗^{#, A)}, 宮松順也^{A)}, 江澤健太郎^{A)}, 鷺尾方一^{A)}, 坂上和之^{B)}

Tomoaki Tamba^{#, A)}, Junya Miyamatsu^{A)}, Kentaro Ezawa^{A)}, Masakazu Washio^{A)}, Kazuyuki Sakaue^{B)}

^{A)} WISE, Waseda University

^{B)} UT-PSC, The University of Tokyo

Abstract

At Waseda University, we have been studying for high quality electron beam generation using 1.6 cell Cesium Telluride (Cs-Te) photocathode rf-gun. The performance of photocathode is evaluated mainly in terms of quantum efficiency (Q.E.) and lifetime. Cs-Te photocathode used in the rf-gun is known for high Q.E. about 10% with UV light and relatively longer lifetime among semiconductor photocathodes. Since it is a hard environment for photocathodes inside the gun, it is necessary to replace the photocathode every several months. In this presentation, we report the evaluation results of Cs-Te photocathode by co-evaporation, CsBr coated photocathode performance in an rf-gun and future prospects.

1. はじめに

近年、FEL や ERL など実用的な用途で高輝度電子ビームの需要が高まっている[1-3]。フォトカソードは高輝度で低エミッタンスのビームを生成するのに有効な電子源である。なかでも半導体フォトカソードは、金属フォトカソードと比較してより高い量子効率(Quantum Efficiency, Q.E.)を有し、高輝度電子ビームを必要とする電子源の候補として期待されている[4]。しかし、半導体フォトカソードは一般的に寿命が短く、超高真空な真空環境を必要とする問題がある[5]。

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-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-Te フォトカソードは紫外光で最大 10%程の高い Q.E.を持ち、1/e 寿命は数日から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。早稲田大学では、S バンド高周波電子銃の研究[6-8]、レーザーコンプトン散乱[9]、パルスラジオリシス[10]などへの高品質ビームの応用などを研究している。これらの実験をより高性能なものにするにはフォトカソードを定期的に交換し、安定した電荷量を供給することが重要である。そのため、およそ半年に 1 回フォトカソードの交換を行っている。

我々はフォトカソードの寿命を改善することによってフォトカソードの交換頻度を減らし、rf-gun のより安定的な電荷量供給を目指している。フォトカソードの長寿命化を実現するため、同時蒸着による Cs-Te フォトカソードの有効性を検討した。

2. 実験装置・手順

2.1 蒸着チャンバー

Figure 1 はフォトカソードの生成に使用される蒸着チャンバーの概観図であり、その内部を簡易的に表わした概

略図が Fig. 2 である。蒸着チャンバーでは、Cs-Te(早稲田大学では実際に生成されている Cesium Telluride の組成がわからないので以後このように表記する)を生成するため材料である、Cs、Te 及び CsBr が蒸着源ホルダーにセットされている。Cs は SAES Getters 社製の Cs ディスペンサーを用いており、Te 及び CsBr は小片を W バスケットにセットして用いている。蒸着源ホルダーの概観を Fig. 3 に示す。どれも電熱によって、各材料を Mo 基板に蒸着している。また、Fig. 2 のように基板と水晶振動子膜厚計の間に蒸着源ホルダーがあり、どちらも同じ距離だけ離れていることから、蒸着中に膜厚の測定も可能となる。しかし、これはあくまで 1 つの物質にしか対応していない。

蒸着チャンバー内の圧力は、スクロールポンプ、2 種類のターボ分子ポンプ、イオンポンプと NEG ポンプを使うことによって蒸着中は $10^{-7}\text{Pa}\sim 10^{-6}\text{Pa}$ に維持することができ、寿命測定中は $5\times 10^{-8}\text{Pa}$ 程度まで真空を引くことができる。Q.E.測定用に用いている光源は 2 種類あり、Xe ランプと分光器を用いた 262nm と UV LED を用いた 265nm である。262nm は rf-gun で実際に使用されている波長であり、主に逐次蒸着中と寿命測定中に用いる。一方、265nm の UV LED は同時蒸着中において Fig. 2 のように膜厚計と W バスケットが Xe ランプの光路を遮ってしまうことから、チャンバーの上部から UV 光を入射するために用いる光源である。UV LED は複数のレンズを使うことで光を絞って基板の中央に当たるように調整されている。

[#] takenoko.28@moegi.waseda.jp

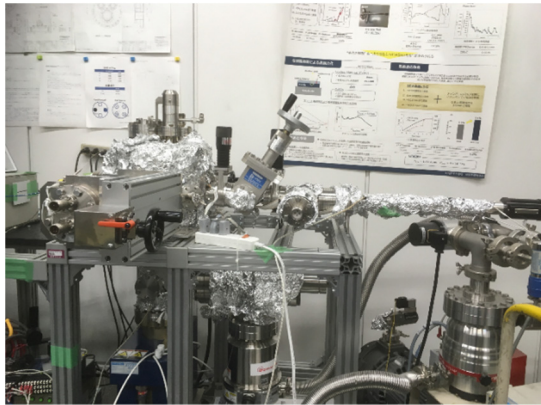


Figure 1: Evaporation chamber system.

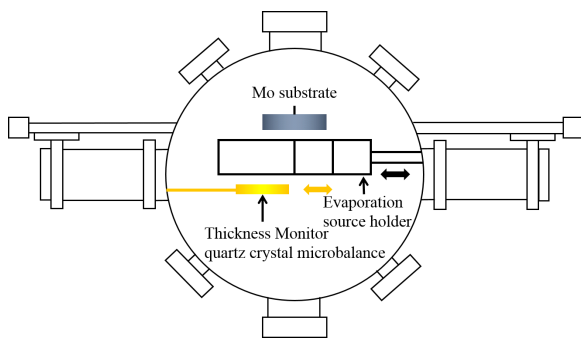


Figure 2: Schematic of the photocathode evaporation system.

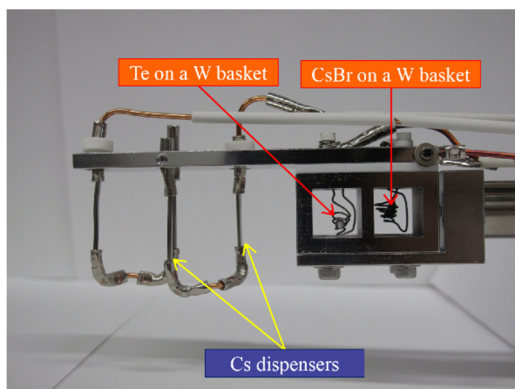


Figure 3: Evaporation source holder.

2.2 手順

従来の逐次蒸着はまず、Te を Mo 基板に 20nm 蒸着し、Cs を Q.E. がピーク後 60% に落ちるまで蒸着する。このレシピは早稲田大学において経験に基づいたレシピとなっている。このような蒸着方法をとる理由としては、Cs を過剰にすることで Q.E. の回復及び減少を防ぐ目的のためである。一方同時蒸着は Cs と Te の蒸着速度をできるだけ一定の速度で蒸着する。そして Q.E. がピークを向えたら蒸着停止とした。同時蒸着でも逐次蒸着のレシピ

と同様にピーク後 60% に落ちたら蒸着停止という形をとったが、Q.E. の大きな回復は見込めず、Q.E. がピークの 60% ままであったため、他の研究機関と同様にピークで蒸着停止という形をとった。

逐次蒸着及び同時蒸着の終了直後に CsBr コーティングを行った。CsBr は 20nm 蒸着するが、セットアップ上 Q.E. を測定しながらの蒸着が不可能なため、5nm までは 0.5~1.0nm ずつ蒸着、5nm 以降は 5nm ずつ蒸着し蒸着が終わるごとに Q.E. を測定し、Q.E. の推移を確認した。

3. 実験結果

3.1 同時蒸着

まず、我々は Cs と Te の組成比と Q.E. の関係について調査した。同時蒸着時の組成比(原子数比)は Cs と Te の蒸着速度比に比例すると考え、Cs-Te の蒸着速度比を変えながら繰り返し作製することにより、同時蒸着法の最適化を試みた。Figure 4 に Cs と Te の組成比と、262nm と 265nm で測定した Q.E. の関係を示す。

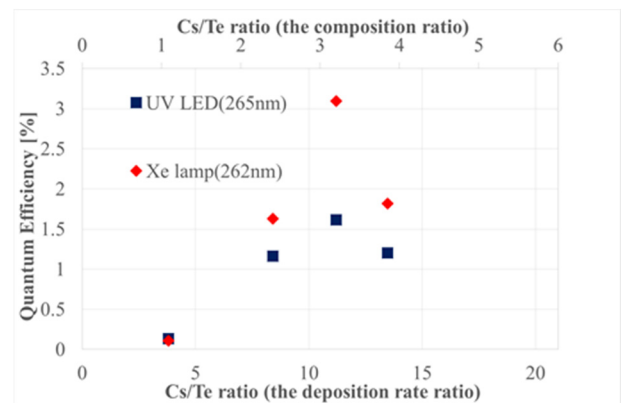


Figure 4: The relationship between Cs/Te ratio and Q.E.

Figure 4 より、Cs と Te の組成比が 3:1 のときに Q.E. がピークを向えたことがわかる。組成比(原子数)が 2:1 でない理由としては、同時蒸着の際、Cs ディスペンサーを傾けて蒸着を行っているので Cs と Mo 基板の距離と W バスケットと Mo 基板の距離が異なるためである。したがって、Fig. 4 の各組成比の値は相対的な値となっている。また、Table 1 に逐次蒸着と同時蒸着で生成した Cs-Te の Q.E. と 1/e 寿命の比較を示す。また、Fig. 5 に Q.E. の連続測定結果を示す。このプロットにフィッティングをかけることによって寿命を求めている。これらの結果より、同時蒸着法が逐次蒸着法よりも長寿命なフォトカソードを生成できることを示している。

Table 1: Comparison of Q.E and Lifetime between Cs-Te Fabricated by Sequential Evaporation and Co-evaporation.

Evaporation Method	Q.E. measured at 262nm [%]	Q.E. measured at 265nm [%]	1/e lifetime [hour]
Sequential Evaporation	3.76	No data	869±390
Co Evaporation	3.13	1.62	1818±308

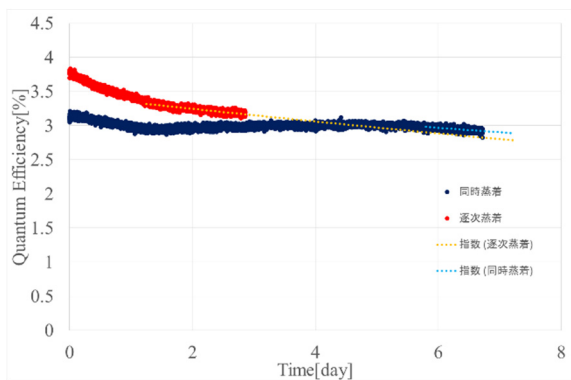


Figure 5: The result of continuous Q.E. measurement.

3.2 同時蒸着後の CsBr コーティング

Figure 6 は同時蒸着後に 262nm で測定されたコーティング中における Cs-Te の Q.E.の推移である。プロットはコーティング前の Q.E.を 1 としたときの相対的な Q.E.を示す。Table 2 はコーティング前後の Q.E.の測定結果である。Figure 6 より最初の数 nm とそれ以降のコーティングにおいて Q.E.の減少の仕方が異なっていることがわかる。同時蒸着と逐次蒸着でこの減少の仕方に大きな違いはみられなかった。コーティング初期段階の急激な Q.E.の減少は Cs-Te と CsBr の境界で起きている物理現象が支配的であり、それ以降の段階では別の物理現象が支配的であると考えている。

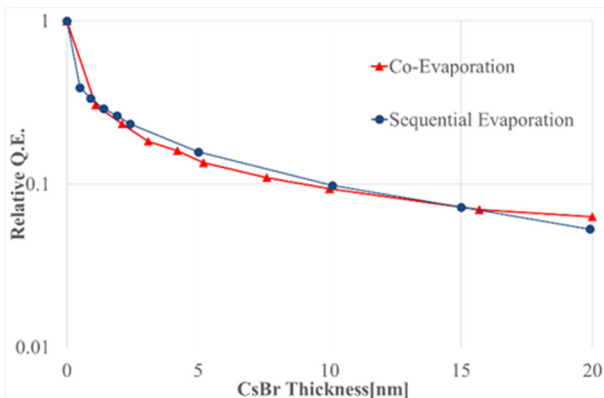


Figure 6: Q.E. of coated Cs-Te as a function of CsBr thickness measured at 262nm.

Table 2: Comparison of Q.E. before and after CsBr Coating between Cs-Te Fabricated by Sequential Evaporation and by Co-evaporation.

Evaporation Method	Q.E. before coating [%]	CsBr thickness [nm]	Q.E. after coating [%]
Sequential Evaporation	5.7	20.0	0.5
Co Evaporation	3.1	19.8	0.12

4. 結論

フォトカソードの耐久性向上を目的として、Cs-Te を同時蒸着法によって作製した。具体的に、Cs と Te の蒸着速度比を変えながら、様々な組成比の Cs-Te を作製することで最適化を試みた。その後最適化した組成比の Cs-Te を作製し、蒸着チャンバー内において Q.E.の連続測定を行った。その結果、従来の逐次蒸着で生成した Cs-Te よりも長寿命なフォトカソードを生成できることを確認した。しかしながら、Q.E.は逐次蒸着法より劣ることから、更なる最適化が必要である。

同時蒸着法による Cs-Te に CsBr のコーティングを行った結果、逐次蒸着と比較して大きな違いはみられなかった。今後、より長期的に Q.E.の推移を計測した寿命測定が必要である。

今後、同時蒸着法による Cs-Te の rf-gun における運転試験によって有効性を調査する。

参考文献

- [1] D.H. Dowell, I. Bazarov, K. Harkay, C Hernandez-Garcia, R Legg, H. Padmore, T. Rao, J. Smedley and W. Wan. Nucl. Instrum. Meth., A 622 685 (2010).
- [2] G. H. Hoffstaetter, S. M Gruner, M. Tigner et al., Cor-nell Energy Recovery Linac Science Case and Project Definition Design Rep. (2013).
- [3] T. Rao, A. Burrill, X. Y. Chang, J. Smedley, T. Nishitani, C. Hernandez Garcia, M. Poelker, E. Sed-donn, F. E. Hannton, C. K. Sinclair, J. Lewellen and D. Feldman, Nucl. Instrum. Meth., A 557 124 (2006).
- [4] L. Cultrera, H. Lee and I. Bazarov. J. Vac. Sci. Tech-nol., B 34 011202 (2016).
- [5] R. Lawrence. Ives, E. Montgomery, L. Falce, G. Col-lins and D. Marsden. 2014 IEEE 41st Int. Conference on Plasma Sciences (ICOPS) held with 2014 IEEE Int. Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS), 1 (2014).
- [6] K. Sakaue, Y. Koshiba, M. Mizugaki, M. Washio, T. Takatomi, J. Urakawa and R. Kuroda, Phys. Rev. ST Accel. Beams., 17 023401 (2014).
- [7] K. Sakaue, H. Hayano, S. Kashiwagi, R. Kuroda, A. Masuda, T. Suzuki, T. Takatomi, N. Terunuma, J. Urakawa and M. Washio, Nucl. Instrum. Meth., B 269 2928 (2011).
- [8] Y. Koshiba, K. Sakaue, M. Mizugaki, M. Washio, R. Kuroda, T. Takatomi and J. Urakawa, Vib. Spec., 75 184 (2014).
- [9] K. Sakaue, T. Gowa, H. Hayano, Y. Kamiya, S. Kashiwagi, R. Kuroda, A. Masuda, R. Moriyama, J. Urakawa, K. Ushida, X. Wang and M. Washio, Radi. Phys. and Chem. 77 1136 (2008).
- [10] Y. Hosaka, R. Betto, K. Sakaue, R. Kuroda, S. Kashiwagi, K. Ushida and M. Washio, Radi. Phys. Chem., 84 10 (2013).