

高周波電子銃用 CsKSb フォトカソードの開発

STUDY ON CsKSb PHOTOCATHODE FOR THE RF ELECTRON GUN

小野央也^{#,A)}, 宮松順也^{A)}, 鷲尾方一^{B)} 坂上和之^{B)}, 飯島北斗^{C)}

Hiroya Ono^{#,A)}, Junnya Miyamatsu^{A)}, Mazakazu Washio^{A)} Kazuyuki Sakaue^{B)}, Hokuto Iijima^{C)}

^{A)} Waseda Univ. Research Institute for Science and Engineering

^{B)} Waseda Univ. Institute for Advanced Study

^{C)} Tokyo Univ. of Science

Abstract

At Waseda University, we have been developing a Cs-Te Photocathode RF electron gun and application experiments such as pulse radiolysis and so on. On the experiments, charge amount is important factor and depends on laser and photocathode quality. We are studying CsKSb photocathode to increase the charge amount of electron beam generated from RF-Gun. We fabricated CsKSb photocathode and tested the possibility to use in the RF-Gun. With CsKSb photocathode, we obtained as much charge as using Cs-Te-photocathode and the lifetime is shorter than that of Cs-Te. This problem may be due to residual gases in vacuum system so we are going to try protective coating on photocathode surface. To make both robust and high Q.E. photocathode, optimization of cathode fabrication process is also continued. Now we can make CsKSb photocathode that has higher Q.E. than last year. In this conference, we report the result of using CsKSb photocathode in the RF cavity. In addition new fabrication method of CsKSb photocathode and the future plan for making long lifetime cathode in the RF-Gun are introduced.

1. はじめに

フォトカソードとは、光電効果によって電子を放出する電子源であり、加速器や光電子増倍管などに広く用いられているものである。早稲田大学では Cs-Te フォトカソード高周波電子銃を用いてパルスラジオリシスや逆コンプトン散乱などの研究を行っているが、電子源であるフォトカソードの性能は高周波電子銃の性能に直接かかわる重要な要素である。我々は電子ビームの電荷量向上およびレーザーシステムへの要求緩和などのため、緑色光でも電子が取り出し可能な CsKSb フォトカソードを導入することを検討中である。現在は、光電効果の効率である量子効率(Q.E.:Quantum Efficiency)が高く、高周波電子銃内の環境で長期間 Q.E.を維持できる CsKSb フォトカソードを生成することを目標として研究を行っている。我々は蒸着チャンバー内での CsKSb フォトカソードの生成から高周波電子銃内での利用までの一連の過程を行い、その利用可能性を評価した。その結果 CsKSb フォトカソードの長寿命化が今後の課題であると認識し、今年度は長寿命化に関するアプローチを行っている。本発表では CsKSb フォトカソードの現状、及び長寿命化に関する検討状況に関して報告する。

2. 実験装置・方法

フォトカソードの生成は真空チャンバー内で各材料を蒸着することによって行う。カソード蒸着チャンバーの概観を Figure 1 に示す。蒸着チャンバー内はスクロールポ

ンプ、ターボ分子ポンプ、イオンポンプおよび NEG ポンプを用いることで蒸着前には $4 \times 10^{-8} \sim 2 \times 10^{-7}$ [Pa] 程度の超高真空状態になっている。

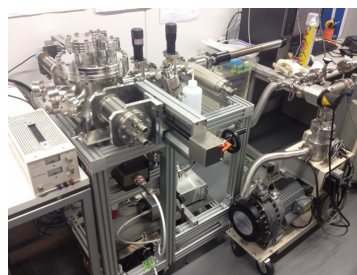


Figure 1: Photocathode evaporation chamber.

早稲田大学での CsKSb フォトカソードの生成レシピを紹介する。初めに基板である Mo に対して Sb を目的膜厚 (20~100nm) まで蒸着する。その後 262nm または 532nm の光を基板に入射させ、Q.E.を測定しながら K を蒸着し、Q.E.が最大となったところで蒸着を停止する。続いて Cs 蒸着も同様に、Q.E.が最大となるまで蒸着を行う。このような手順で蒸着を行うことで 532nm の光に対し 1~2.5[%]のカソードが生成できる。この CsKSb フォトカソードが蒸着された Mo プラグを、トランスファーロードを用いて輸送し、高周波電子銃にインストールする。インストールが完了した後は波長 523nm の緑色パルスレーザーを用いて高周波電子銃からの電子ビーム生成を実際に行う。

3. 実験結果

我々は CsKSB フォトカソードを高周波電子銃用フォトカソードとして利用するために、運転試験用の CsKSB フォトカソードサンプルを一つ作成した。上で述べたような蒸着法により、蒸着チャンバー内で 1.6[%]の Q.E.を示すカソードを作成することができた。このフォトカソードの蒸着時の膜厚と Q.E.の変化を Figure 2 に示す。

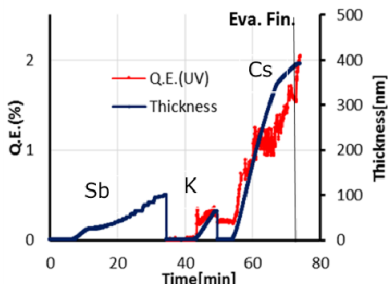


Figure 2: Q.E. transition during the photocathode fabrication.

このフォトカソードが蒸着された Mo プラグを、トランスファーロードを用いて真空状態を保ったまま高周波電子銃へ輸送した。以後、このフォトカソードを用いた高周波電子銃運転試験の結果について述べる。新たなフォトカソードをインストールした際には、初めにエージング作業を行う必要がある。エージングとは、電子銃内で共振する高周波電場の強度を弱いところから徐々に上げていき、フォトカソードおよび空洞壁面の気体分子を飛ばして運転時に放電が起こりすぎないようにする作業である。我々はエージング中にも緑色レーザーを用いて電荷量の取り出しを行った。その様子を Figure 3 に示す。赤いプロットは高周波源のクライストロンから供給される高周波電場の電力、青いプロットは各時間で phase scan を行い、それぞれの phase scan での電荷量の最大値をプロットしたものである。Figure 4 は、最も高い電荷量が得られた時の phase scan の結果を示したものである。

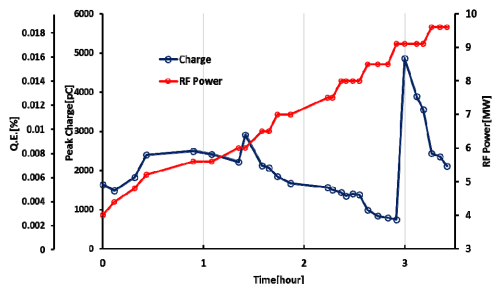


Figure 3: Transition of charge amount extracted during aging process.

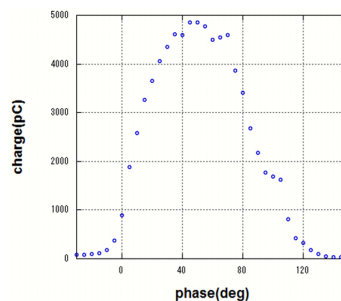


Figure 4: Phase scan.

Table 1: Maximum Charge and Q.E. in the Aging Process (Q.E. was Calculated by Laser Power and Maximum Charge.)

Maximum Charge	Q.E.max@523nm
4.8[nC]	0.016[%]

高周波電場の電力を上げていくと、引き出し電荷量の急激な上昇が起こり、最大 4.8[nC]の電荷量を確認した。この電荷量の急上昇は高周波電場による放電が原因であると考えている。この 4.8[nC]という電荷量は、従来 Cs-Te フォトカソードに UV レーザーを当てていた場合と同程度の電荷量である。この電荷量とレーザーの強度からカソードの Q.E.を算出すると 0.016[%]となる。

エージングが終了した後、高周波電場強度を固定した状態でそのまま電荷を引き出し続けて寿命の評価を行った。その結果を Figure 5 に示す。

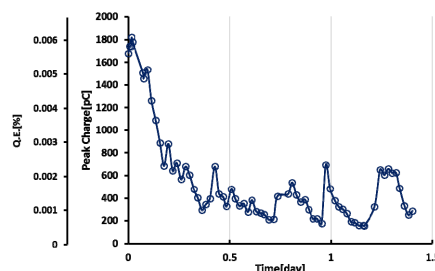


Figure 5: Photocathode lifetime measurement in the RF-Gun.

約半日ほどで電荷量は 400[pC]程度まで落ちてしまうが、その後は上昇と下降を繰り返して完全に電荷量が 0 になることはなかった。測定停止時の 288[pC]という電荷量は、内容によっては応用実験が行える程度の電荷量である。この電荷量から算出されるカソードの Q.E.は 0.001[%]であり、蒸着直後の Q.E.と比べてかなり低下してしまっていることがわかる。運転試験開始時の Q.E.も蒸着直後と比べ低下していることから、カソードの劣化の主な原因としてトランスファーロードおよび高周波空洞内の真空度が不十分であったことが考えられる。そのため今後 CsKSB フォトカソードを利用していくには、残留ガ

スによるカソードの劣化を抑制する工夫が必要となると考えている。

4. 今後の CsKSb 導入に向けた取り組み

4.1 保護膜蒸着による高耐力化

CsKSb フォトカソードは、従来用いていた Cs-Te フォトカソードと比べて残留ガスの影響を強く受けることが知られている。そのような化学的特性から CsKSb の生成法の改善のみでは、劇的な高耐力化は望めないと考えられる。そのため、我々は現在 CsKSb フォトカソード上に化学的安定性の高い物質を用いた保護膜を形成し、カソードへの気体分子の混入を妨げようと考えている。その概念図を Figure 6 に示す。

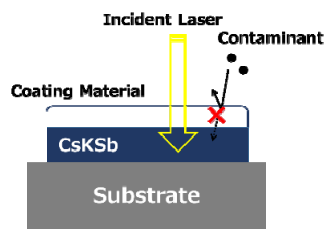


Figure 6: Diagram of photocathode protection by surface coating.

表面を保護する材料は、化学的安定性が高く、緑色光に対して透過率の高いものが望ましい。これによって、CsKSb による緑色光の吸収を妨げずに残留ガスによる劣化のみを防ぐことができると考えられる。実際、CsKSb フォトカソードに CsBr 薄膜を蒸着し高耐力化を達成したという報告がされており[1]、まずは CsBr から試験する予定である。

4.2 CsKSb 蒸着法の改善

4.1のように保護膜を蒸着すると、Q.E.が CsKSb 本来の値から低下していくことが想定される。よって保護膜蒸着前には、できるだけ高 Q.E.な CsKSb を生成しておく必要がある。今年度に入り真空系や蒸着順序などに工夫をこらすことで、蒸着終了後に 532nm の光に対して 3.4[%]の Q.E.を示すカソードを生成することができた。このカソードが得られたときの Cs 蒸着時の Q.E.の推移を Figure7 に示す。このときは従来と異なり Q.E.測定は常に 532nm の光で行うことにし、さらに Sb を蒸着する前に一度 K を蒸着するようにした。その後 Sb, K, Cs の順に蒸着していくことで、昨年度得られた最も Q.E.の高いカソード(2.5[%] at 532nm)と比べ、大幅に高 Q.E.化を達成した。

今後は K と Cs が同時に蒸着できるようなセットアップを組むことで、更なる高 Q.E.化ができるのではないかと考えている。

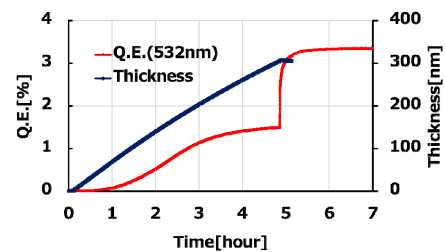


Figure 7: Q.E. transition during Cs evaporation in the new fabrication method.

5. まとめ

CsKSb フォトカソードの生成からそれを用いた電子銃の運転を行い、利用可能性を評価した。現状では Cs-Te フォトカソードを用いていた場合と同程度の引き出し電荷量を確認しているが、長寿命化と安定な引き出し電流を得ることが課題である。今後カソード輸送時の劣化を抑制できれば更なる電荷量の取り出しが達成できる見込みである。劣化抑制および長寿命化に向けては、現在は CsKSb 上に保護膜を蒸着することを計画している。そのためにはより高 Q.E.な CsKSb を生成しておく必要があるが、今年度は真空系や蒸着手順の変更などにより大幅な高 Q.E.化を達成している。今後 CsBr 保護膜の厚さとカソードの寿命の関係进行调查し、適切な厚さの CsBr 保護膜が付加されたカソードを高周波電子銃内にインストールし、試験していく予定である。

参考文献

- [1] A. Buzulutskov *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A 400 (1997) 173-176.
- [2] D.H. Dowell *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A 356 (1995) 167-176.
- [3] Md Abdullah A. Mamun *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. A34, 021509(2016).