

Effect of Formation on the Quantum Efficiency of Cesium Telluride Thin-Film Photocathode

Harue Sugiyama^{1,A)}, Hisashi Kobayakawa^{B)}, Yoshifumi Takashima^{C)}, Tsutomu Nakanishi^{D)}, Ken-ichi Naniwa^{D)}

^{A)} Department of Crystalline Materials Science, Nagoya University, Nagoya, 464-8603

^{B)} Professor Emeritus, Nagoya University, Nagoya, 464-8603

^{C)} Department of Materials, Physics and Energy Engineering, Nagoya University, Nagoya, 464-8603

^{D)} Department of Physics, Nagoya University, Nagoya, 464-8602

Abstract

The photocathode for practical usage should be guaranteed to keep high performance level stable in long time and reproducibility. The quantum efficiency of a cesium telluride thin film photocathode changes in accordance to deposition conditions of cesium telluride. Conditions here include: the thickness of tellurium, the quantity of deposited cesium, passage of time from production of thin film, and a substrate condition to deposition.

In this study, we produced thin films different deposition conditions of tellurium and cesium, and investigated about the spectral properties. We produced thin films by two cesium deposition methods: (1) suspending cesium evaporation at the time reaching the maximum photocurrent, and (2) wait for recovering the photocurrent after the excess cesium deposition. The quantum efficiency measurements were carried out in tellurium thickness range of 5-15nm.

The results revealed that the quantum efficiencies at the 5eV energy region were high about 20% and fluctuations in quantum efficiencies were within 10-20% under the present tellurium and cesium deposition conditions. Below 4eV, the quantum efficiencies were very low and we observed differences of more than 10 times among these deposition conditions.

セシウムテルライド薄膜フォトカソードの作製方法と量子効率

1. はじめに

セシウムテルライド薄膜は、高周波電子銃用のフォトカソード材料として、量子効率が高く、引き出し電流寿命が長い優れた材料である^[1]。セシウムテルライド薄膜を電子銃用のフォトカソードとして使用するためには、再現性良く安定に薄膜を作製することが必要である。

セシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率は、テルルやセシウムの蒸着量、作製からの経過時間、また用いた基板の状態により変化する。セシウムテルライド薄膜フォトカソードを用いた他の研究では、薄膜作製時の基板温度は100 ~ 120 °Cである場合が多い^[2,3]。しかしながら本研究での薄膜作製時の基板温度は室温である。そのため、室温での薄膜作製過程について、テルルとセシウムの蒸着量を変えた量子効率の変化を調べた。

2. 実験装置

図1、2に装置の概略と光源・光学系の

模式図をそれぞれ示す。本研究ではセシウムテルライド薄膜を真空蒸着により生成し、生成したサンプルを大気に取り出すことなく量子効率を測定できる、真空蒸着装置と量子効率測定装置を兼ねた実験装置を使用している。約 2.7×10^{-8} Paの超高真空装置である。

直線導入器によって、カソード基板は鉛直方向に、蒸着源は水平方向に移動させることができ、基板部分と蒸着源、水晶膜厚計センサーとの位置を調節する。

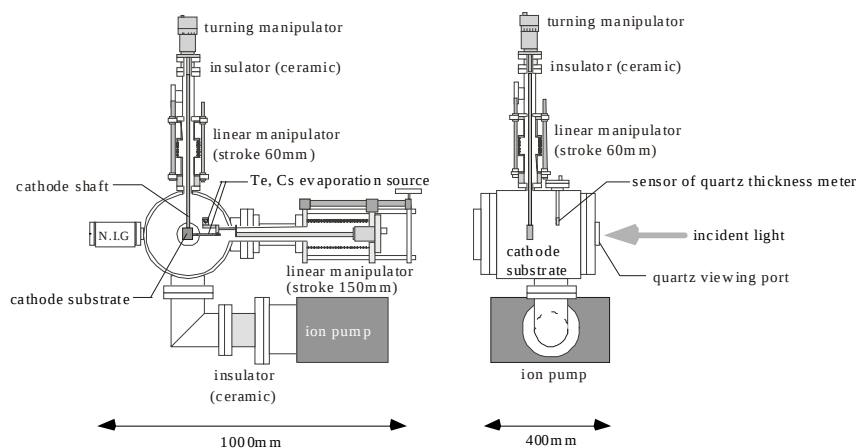


図1：装置概略

¹ E-mail: sugiyama@nsr.numse.nagoya-u.ac.jp

高周波電子銃においてセシウムテルライド薄膜フォトカソードは紫外光領域で使用される。通常、光源には固体レーザーの4倍高調波などが利用されるが、本研究では光源としてキセノン(Xe)ランプを使用している。キセノンランプはレーザーに比べパワーが小さいものの、紫外光領域から赤外光領域まで連続で安定な光が得られる。

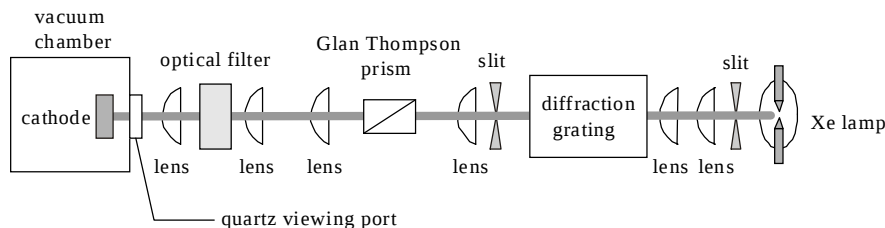


図 2：光源・光学系の模式図

薄膜を作製する基板にはモリブデンを使用している。モリブデン基板はエタノールによる超音波洗浄を行い清浄化した後、真空チャンバー内に装着する。超高真空生成後、基板表面清浄化のため600℃の加熱処理を行う。基板加熱には、セラミックにより基板と絶縁したタンタル電熱線を使用している。

3．セシウムテルライド薄膜の作製方法と量子効率

3.1 セシウムテルライド薄膜作製

セシウムテルライド薄膜は、基板の加熱処理後、基板温度を室温まで戻してからテルル、セシウムの順に蒸着し作製する。

テルルはタングステン電熱線バスケット内のテルル小片(99.9999%)を熱し蒸発させる。基板に蒸着したテルルの膜厚は、蒸着中水晶膜厚計でモニタしている。水晶膜厚計センサーは膜厚測定安定化のため、水冷により20℃に保っている。テルル蒸着中の真空度はほとんど変化しない。セシウムの蒸着には、市販のクロム化氧化物蒸着源(サエスゲッターズ社製)を使用している。熱することによる還元反応を利用し、セシウムを蒸発させるものである。セシウム蒸着源への供給電流値が4.5Aのとき蒸着源温度は550℃程度、5.5Aのとき650℃程度である。セシウムの放出速度は、蒸着源温度が550℃で 10^{-8} g/sec程度、650℃で 10^{-7} g/sec程度である。セシウム蒸着中の真空度は供給電流が4.5Aのとき 2.7×10^{-7} Pa程度まで、5.5Aのとき 2.7×10^{-6} Pa程度まで悪化する。

3.2 成膜の均一性

セシウムテルライド薄膜サンプルの均一性は、薄膜作製時のテルル蒸着の均一性がおもに効く。テルル蒸着源とサンプル間の距離が小さいとき、蒸着むらは無視できない。本研究では装置の都合上、蒸着源とサンプル間距離は33mmであるが、作製した薄膜の中心から離れたところで、最大45%の不均一性がある。測定箇所である薄膜中心部での不均一性は最大で4%程度である。

作製したサンプルの量子効率は、テルル膜厚10nmのとき最大値を取る。10nmを挟んで ± 5 nmのとき10～20%、 ± 2 nmで数%低下する。量子効率が最大値を取る10nmのサンプルを使用する場合、誤差を数%に押さえるためには、 ± 2 nm程度の精度でよい。

3.3 セシウム蒸着と薄膜作製過程

セシウムの蒸着量は、量子効率や寿命に大きく効く。経験的に、量子効率（光電流値）とセシウムの蒸着条件には以下の関係がある。

- (1) セシウム蒸着開始後から光電流値は蒸着量とともに上昇しやがて最大値を示す。光電流最大値でセシウム蒸着を停止すると、蒸着停止から約2時間後に光電流値は安定し、長時間保つことができる。
- (2) 光電流最大値以降も続けてセシウムを過剰に蒸着すると、光電流値はセシウムの蒸着量とともに低下する。セシウムを過剰に蒸着しても、蒸着を停止した後、光電流値は次第に回復し、回復後は(1)と同様に長時間安定に保つことが出来る。
- (3) 光電流が最大値になる前にセシウムの蒸着を停止すると、短時間で光電流値が低下する劣悪な膜ができる。

図3にセシウムの蒸着条件として上の(1)と(2)の条件で作製した際の、照射光波長が250nm（5eV）での光電流値の変化を示した。いずれの蒸着条件においても、十分時間を取れば、250nmのときはほぼ同じ光電流値が得られる。実際には、セシウム蒸着中にモニタしている光電流値が最大値であることを判断するのは難しいが、最大値を越えて過剰に蒸着しても時間さえかければ、問題はない。

3.4 蒸着条件と量子効率のエネルギースペクトル

量子効率のエネルギースペクトルを取ると、厳密ではないが作製したサンプルのエネルギーギャップが観測できる。図4に示すように、3～4eVの間で量子効率が大きく変化する。大きな立ちあがりの直前に不連続

な箇所が観測されるがこの箇所とエネルギーギャップはだいたい一致する。

図4ではセシウムの蒸着条件によりエネルギーギャップが変化している様子を示した。比較のため、Powellら^[3]のデータを実線で示した。

セシウムの蒸着条件の違いによって、量子効率は5eV付近では大きな変化はない。しかし4eV以下の領域ではところにより1桁以上の大きな変化が観測できる。4eV以下の領域では、セシウムを過剰に蒸着したサンプルの方が、より安定で再現性の良い量子効率を得ることができる。しかし、よく使われている5eV付近においては、セシウムの蒸着量は不足しない限りあまり効かない。

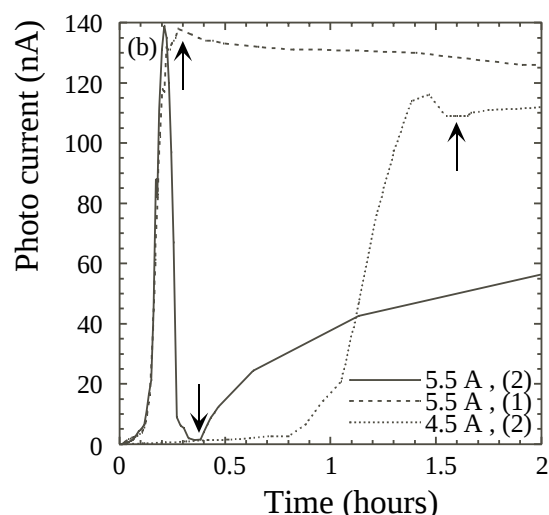
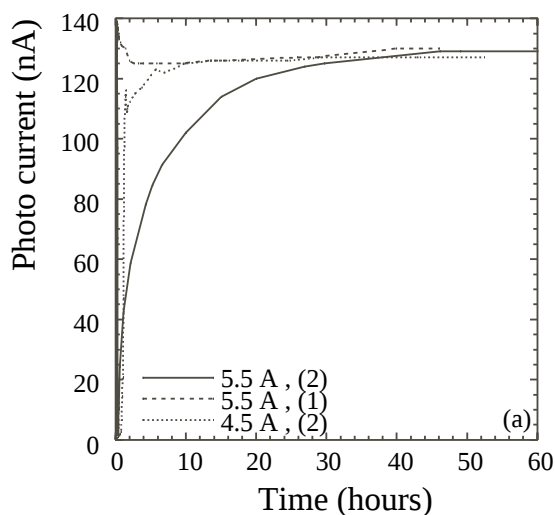


図 3：セシウム蒸着中と、蒸着停止後の光電流値の経時変化（照射光波長250nm、テルル膜厚10nm）。セシウムの蒸着条件として、光電流最大値で蒸着を停止したサンプル(1)と、光電流最大値以降もセシウムを過剰に蒸着したサンプル

(2)の光電流値の経時変化。(b)は(a)の横軸2時間までを拡大したもの。セシウム蒸着停止点を矢印で示した。

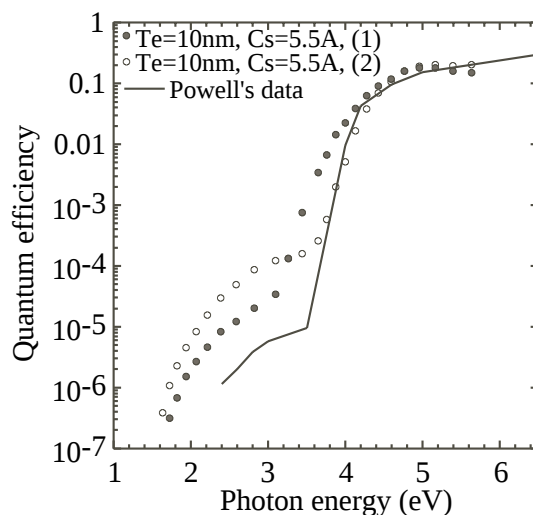


図 4：セシウムの蒸着条件による量子効率エネルギースペクトルの変化（実線は文献[3]より）

4．まとめ

セシウムテルライド薄膜の作製時の蒸着条件と量子効率の関係を調べた。テルル蒸着時の膜厚と量子効率の関係は、テルル膜厚が10nmに対して、 $\pm 5\text{nm}$ のとき10～20%、 $\pm 2\text{nm}$ で数%低下する。

セシウムテルライド薄膜がフォトカソードとして、使用される5eV付近においては、セシウムの蒸着量は不足しない限り大きな影響はない。

参考文献

- [1] N. Terunuma, K.Hasegawa, M. Kuriki, H.Hayano, J.Urakawa, T. Nakanishi, S. Okumi, I. Sakai, M. Takano, M. Nomura, K. Hirano, Y. Yamazaki, R. Kuroda and M. Washio : Proceedings of the 28th Linear Accelerator in Japan (2003) pp. 162-164
- [2] S. H. Kong, J. Kinross-Wright, D. C. Nguyen and R. L. Sheffield : J. Appl. Phys. 77 (1995) 6031-6038
- [3] R. A. Powell, W. E. Spicer, G. B. Fisher and P. Gregory: Phys. Rev.B.8 (1973) 3987-3995