

Effect of Substrate 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)},
Ryousuke Sakai^{D)}, Kuniaki Tamagaki^{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

Molybdenum, in many cases, is chosen as a substrate of cesium telluride thin film photocathode for an RF-Gun, which shows high performance. Therefore, in this study, we chose molybdenum as a substrate for cesium telluride thin film. The dependence of quantum efficiency on the kinds of metals for substrate has not been measured entirely and not been well understood.

In this report, showing the result of measurements, we report on the dependence of the quantum efficiency on substrate for the cesium telluride thin film photocathode. In addition to molybdenum, we use tungsten and copper for substrate. We also report on the dependence of the quantum efficiency on the average surface roughness of substrate for cesium telluride thin film when using tungsten and copper as well as molybdenum for the substrate. The rate in the measurement of the dependence of quantum efficiency on the kinds of metals for substrate to incident light wavelength 250nm was 20% on molybdenum, on tungsten 8.6% and on copper 4.8%, when the tellurium thickness is 10nm. In the measurement of the dependence of quantum efficiency on the average surface roughness Ra of the substrates, the rate a sample on a substrate of which Ra is less than 0.1 μ m shows was 20%, on a substrate of which Ra is 50 μ m was 15%.

Thus, the quantum efficiency of cesium telluride thin film photocathode depends on the kind of metals for the substrate, and also on the roughness of the surface of substrates.

セシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率基板依存性

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]。

ここでは、セシウムテルライド薄膜フォトカソードに用いる基板依存性について、測定結果を示し報告する。用いる基板の材料依存性として、モリブデン以外に、タングステン、銅を用いた場合について報告する。また、用いる基板の平均の表面粗さ依存性について、表面粗さの異なるモリブデン基板を用いた場合のセシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率の変化についても報告する。モリブデンは切削や研磨などの加工が比較的難しい金属材料であると言え、その表面の精度がセシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率に与える影響を調べた。

2. 実験装置と薄膜の生成

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。

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。ランプからの光は回折格子を通して分光される。回折格子の分光範囲は波長200nm~800nm(6.19eV~1.55eV)である。無偏光であるランプからの光を分光した後、紫外光透過型グラントムソンプリズムを通し直線偏光させた光を真空チェンバーに入射する。入射光は合成石英ガラス窓を通して真空チェンバー内に導入されカソードに入射される。

セシウムテルライド薄膜の生成においては、テルル、セシウムの順に蒸着する。薄膜生成時の基板温度は室温である。テルルの蒸着時は水晶膜厚計にて、基板に積まれたテルル膜厚を測定している。テルルの蒸着後セシウムを蒸着し、セシウムテルライド薄膜を室温にて生成している。

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

3. 基板依存性測定の結果

3.1 基板材料依存性測定の結果

図1にセシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率の入射光波長依存性における、用いる基板材料による変化を示す。また 図2に基板そのものの量子効率の入射光波長依存性を示す。縦軸は量子効率、横軸は入射光の波長 λ である。●はモリブデンを、□はタングステン、▲は銅を基板に用いた測定結果である。図1、2に示したように、セシウムテルライド薄膜を生成したフォトカソードの量子効率は、基板そのものの量子効率よりも3桁程度高い。図1に示したいずれのサンプルも、用いた基板以外の蒸着条件、真空度などの条件は全てほぼ同等で、セシウムテルライド薄膜生成時のテルル膜厚は10nmである。入射光の波長250nmに対する量子効率は、モリブデンを基板に用いた場合が20%であったのに対して、タングステン、銅を基板に用いた場合は、それぞれ8.6%、4.8%であり、モリブデンを基板に用いたサンプルの量子効率が最も高い。しかし、今回の測定では、入射光波長が330nmより長い領域で、銅基板を用いたサンプルが最も高い量子効率を示した。

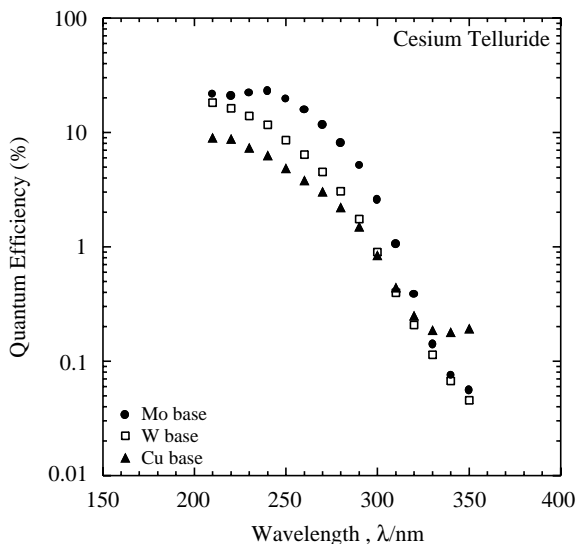


図 1：セシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率基板依存性測定の結果。縦軸は量子効率(%), 横軸は照射光波長(nm)を示している。

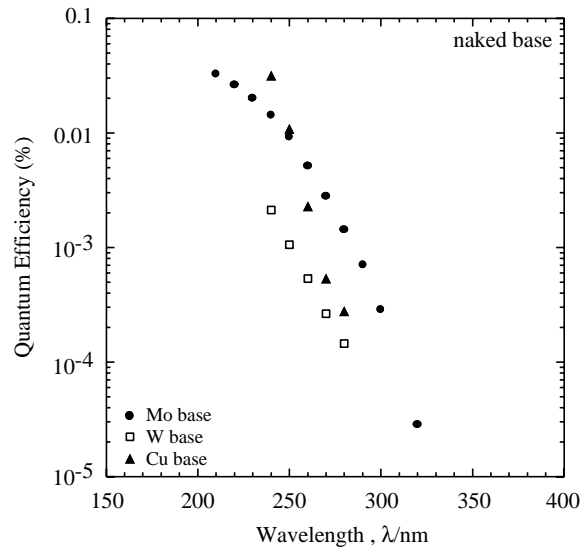


図 2：基板金属の量子効率測定の結果。縦軸は量子効率(%), 横軸は照射光波長(nm)を示している。

3.2 基板の平均表面粗さ依存性測定の結果

モリブデンは切削や研磨などの加工が比較的難しい金属材料であると言える。切削油にブルーベを使用し超鋼チップを用いて切削した表面粗さの大きなモリブデン基板を用意し、市販の研究用モリブデン基板を用いた場合と比較した。切削加工したモリブデン基板の平均の表面粗さRaは50 μ m程度で、市販の研究用モリブデン基板は、圧延加工された後研磨されたもので、Raは0.1 μ m以下である。

図3にセシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率入射光波長依存性の基板のRaによる違いを示す。用いた基板はいずれもモリブデンである。●はRaが0.1 μ m以下の基板を、□はRaが50 μ mの基板を用いたサンプルの量子効率を示している。基板のRa以外の蒸着条件や真空度などの条件は全て同じである。今回示した波長領域では、Raが0.1 μ m以下の基板を用いたサンプルの量子効率は、Raが50 μ mの基板を用いたサンプルの量子効率を全ての波長で上回った。入射光波長250nmにおける量子効率は、Raが0.1 μ m以下の基板を用いたサンプルが20%であったのに対し、Raが50 μ mの基板を用いたサンプルでは15%であった。この測定により、セシウムテルライド薄膜フォトカソード用の基板には、Raがより小さな基板を用いる方が高い量子効率を得られることがわかった。

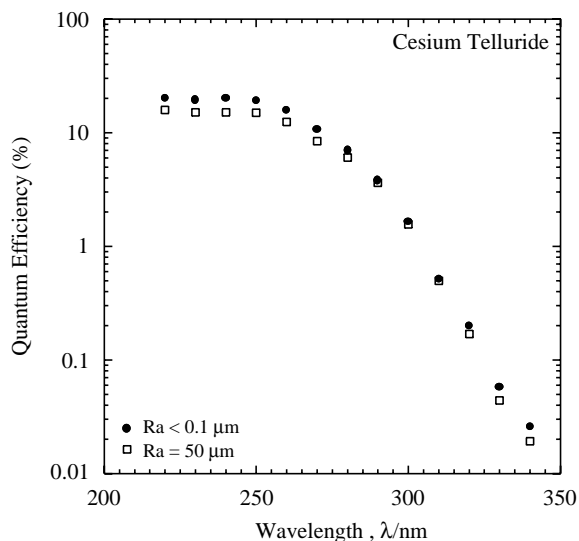


図 3：セシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率基板表面粗さ依存性測定の結果。縦軸は量子効率(%）、横軸は照射光波長(nm)を示している。

4. 基板依存性測定の結果の考察

図1において示した測定結果について考察する。用いた基板の平均の表面粗さRaは、モリブデンが0.1 μm 以下で、タングステンが2.5 μm であった。銅については測定していない。量子効率の基板依存としては、材料依存のみならず、基板の表面粗さが影響することを図3で示した。しかし、図3で示したサンプルでは Ra が3桁もの変化をしても、量子効率の変化は25%にとどまっている。図1で示した測定結果では、基板のRaの変化だけでは説明ができないほどの変化を観測している。

図4にモリブデン、タングステン、銅の反射率を示す。図4に示した値はよく信頼されている光学定数^[3]から計算したものである。ここに示したモリブデン、タングステン、銅においては、反射率が高いほど、セシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率は高い。薄膜においては、入射した光の一部は薄膜を透過し基板まで到達する。基板まで到達した光は、薄膜と基板の界面で反射または透過し、反射光は再び薄膜中に入射する。入射光波長250nmに対する反射率は、モリブデンが70%、タングステンが51%、銅が37%であり、この反射率の差だけでは、量子効率の差は説明できない。薄膜を通過し基板まで到達した光は、再び薄膜中に入射し、そのまま真空中に抜け出るばかりではなく、薄膜と真空の界面でも一部が反射し、さらに薄膜中へ入射されることが示唆される。いわゆる薄膜の干渉により薄膜中で吸収される光の量が増幅された結果、量子効率が高くなることが示唆される。今回の測定結果からは、基板の反射率の影響は、薄膜に

よる入射光の干渉により増幅されていることが予想される。反射率の高い基板を用いると、より高い量子効率を得られることが予想できる。

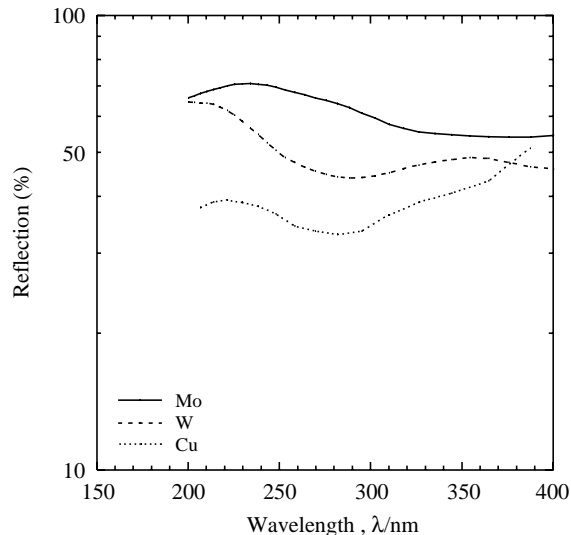


図 4：モリブデン、タングステン、銅の反射率^[3]。縦軸は反射率(%）、横軸は照射光波長(nm)を示している。

5. まとめ

セシウムテルライド薄膜フォトカソードに用いる基板依存性について、測定結果を示し報告した。用いる基板の材料依存性として、モリブデン以外に、タングステン、銅を用いた場合について、また用いる基板の平均表面粗さ依存性について報告した。

セシウムテルライド薄膜フォトカソードの量子効率は、用いる基板材料にも依存し、また用いる基板の表面粗さにも依存することを示した。

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] H. Sugiyama, H. Kobayakawa, Y. Takeda, Y. Takashima and K. Naniwa : J. Japan. Inst. Metals, 69(2005)492-496
- [3] E. D. Palik: *Handbook of Optical Constants of Solids* (Academic Press, Inc., 1985)