

令和 6 年 4 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17994

研究課題名（和文）ヘテロ接合による電子源の革新的性能向上

研究課題名（英文）Innovative performance improvement of electron source by heterojunction

研究代表者

郭 磊（guo, lei）

名古屋大学・シンクロトロン光研究センター・助教

研究者番号：10816127

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）： アルカリカソード薄膜によるヘテロ結合を用いて負の電子親和力が得られる新しい NEA-GaAs 構造を実現するため、薄膜による NEA 層の理解を試み、その化学結合状態の解明を挑戦した。

貧弱な NEA 層の機能を損なわずに輸送できる真空スーツケースを開発した。これを用いて世界初で大学のラボから放射光施設まで無傷のままカソードの輸送が成功した。

2 種類の成膜手法を試し、作製されたカソード構造の組成の違いが確認できた。頑丈な NEA 層を目指し、K 過蒸着法から得られた組成は適正だと抜粋できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今までカソードの性能とする量子効率と寿命だけに注目してカソードの研究開発を行っている。一方、その性能が更なる向上することが難しくなってきた。その問題に対して、本研究の成果では、カソードの研究開発に新しい手口を提供することができた。フォトカソード自体の化学結合状態及びその物理的なメカニズムの解明からフォトカソードの分子構造などの理解を深めることが可能になり、カソード性能の向上に繋ぐ。

研究成果の概要（英文）： In pursuit of realizing a novel NEA-GaAs structure utilizing heterojunctions with alkaline cathode thin films to attain negative electron affinity, we endeavored to comprehend the thin film NEA layer and challenged the elucidation of its chemical bonding states.

We developed a vacuum suitcase capable of transporting cathodes without compromising the functionality of fragile NEA layers. Utilizing this innovation, we achieved the successful transportation of cathodes from university laboratories to synchrotron facilities without damage for the first time worldwide.

Two deposition methods were explored, confirming differences in the composition of fabricated cathode structures. Striving for robust NEA layers, it was deduced that the composition obtained from K evaporation deposition method was optimal.

研究分野： 加速器

キーワード： アルカリカソード薄膜 ヘテロ接合 真空輸送装置 光電子分光

1. 研究開始当初の背景

光陰極(フォトカソード)は低エミッタンスと短パルスが得られることから、熱陰極や電界電子放出源では得ることのできない、十分なビーム輝度を持ちながら高空間分解能かつ時間分解能を有する電子源を実現できる。しかし、高い量子効率を得られる有望なフォトカソードほど良い真空を必要とするため、実用化は超高感度光センサなどに限られてきた。フォトカソードの実用化を広げるため、半導体薄膜によるヘテロ結合を用いることで、これまでバルク材料では実現することのできなかった高量子効率、高耐圧力、大電流すべての性能を有するフォトカソードが提案された。

2. 研究の目的

薄膜フォトカソードの一種である CsK_2Sb フォトカソードによるヘテロ結合を用いて負の電子親和力が得られる新しいNEA-GaAs構造を実現するため、薄膜によるNEA層の理解を試み、その化学結合状態の解明を挑戦した。

3. 研究の方法

グラフェン、Si、Moの基板上に一般手法とK過蒸着法の2種類の手法で CsK_2Sb フォトカソードを成膜し、QEの測定を行った(Fig.1)。カソードの劣化を防ぐために真空輸送装置に格納し、あいしンクロトロン光センター(あいし SR)のビームライン BL7Uへ搬送した。そこで、カソードの表面、およびスパッタリング(Ar^+)を施して内部の光電子分光(X-ray Photoelectron Spectroscopy; XPS)を行った。得られたデータから組成を定量化し、Sbに対して規格化することで、 CsK_2Sb フォトカソード表面および内部組成の評価を行った。

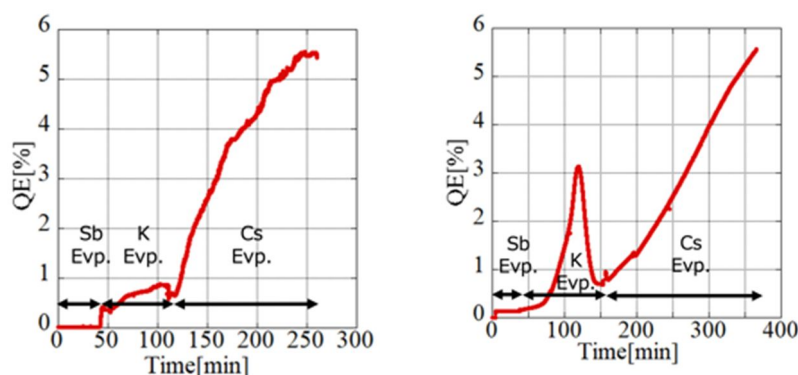


Fig. 1 成膜手法 一般手法(左)とK過蒸着法(右)

4. 研究成果

異なる基板におけるカソードの組成分析

一般手法でグラフェン、Mo基板にカソードを成膜した。それぞれのQEは5.4%と2.3%でグラフェン基板上的カソードの方の性能が高かった。各カソード表面の組成分析の結果、グラフェン基板上的カソードは $\text{Cs}_{2.28}\text{K}_{2.00}\text{Sb}$ でCs過剰の状態だった(Fig.2 左)。一方、Mo基板上的カソードは $\text{Cs}_{0.20}\text{K}_{2.04}\text{Sb}$ でCsが殆ど存在しないという結果となった(Fig.2 右)。このことからCsの量が量子効率に影響することが示唆された。また、スパッタリング時間を伸ばし内部に進むにしたがって、グラフェン基板上的カソードではCs、Kの組成率が緩やかに減少したのに対して、Mo基板上では急激に減少した。このことからグラフェン基板上に構成されたSb結晶の方がCs、Kを透過しやすい可能性が示された。

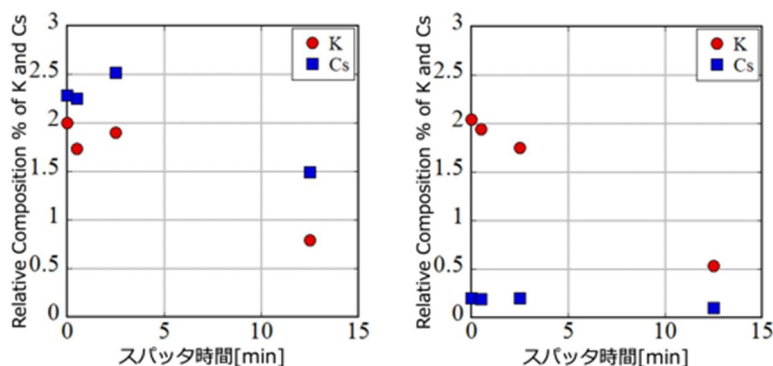


Fig. 2 一般手法の組成 グラフェン基板(左)とMo基板(右)

異なる成膜手法での組成分析

一般手法とK 過蒸着法の2種類の手法でグラフェン基板に成膜したCsK₂Sb カソードの組成を比較した。それぞれのQE は5.4%と5.6%で同程度であった。カソード表面の組成は一般手法のものがCs_{2.28}K_{2.00}Sb、K 過蒸着法のものはCs_{0.05}K_{1.41}Sb で全く異なる組成となった。また、一般手法のカソードはスパッタリングエネルギー0.5 keV で12.5min のスパッタリングで組成が変化したのに対して(Fig.2)、K 過蒸着法のカソードはエネルギー3.0 keV で100min のスパッタリングでも組成に大きな変化は表れなかった(Fig.3)。このことからK 過蒸着法のカソードは内部までより均一な成膜ができていることが示唆された。

二つの研究成果を踏まえ、耐久性を考慮した上でK 過蒸着法から得られた組成はNEA 層に適正だと抜粋できた。

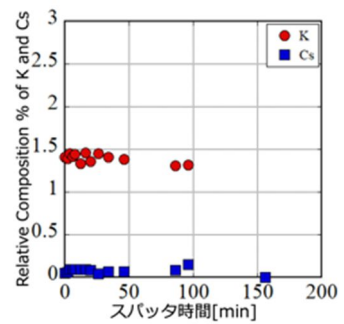


Fig. 3 グラフェン基板, K 過蒸着法の組成

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Keisuke Shiohara, Lei Guo, Hisato Yamaguchi, and Yoshifumi Takashima	4. 巻 2687
2. 論文標題 Photoelectron spectroscopy of CsK2Sb photocathode at Synchrotron Radiation Facility using vacuum transport system	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 032035 ~ 032035
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/2687/3/032035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Lei.Guo
2. 発表標題 Photoelectron spectroscopy of CsK2Sb photocathode at Synchrotron Radiation Facility using vacuum transport system
3. 学会等名 14th International Particle Accelerator Conference（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩原慧介
2. 発表標題 真空輸送装置を用いたCsK2Sbフォトカソードの光電子分光
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩原慧介
2. 発表標題 真空輸送装置を用いたCsK2Sbフォトカソードの光電子分光
3. 学会等名 シンクロトン光研究センターシンポジウム2023
4. 発表年 2024年

1．発表者名 7.塩原慧介
2．発表標題 真空輸送装置を用いたCsK2Sbフォトカソードの光電子分光
3．学会等名 2023年度 ビーム物理研究会・若手の会
4．発表年 2024年

1．発表者名 塩原慧介
2．発表標題 真空輸送装置を用いた半導体フォトカソードの劣化メカニズムの光電子分光分析
3．学会等名 第36回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4．発表年 2023年

1．発表者名 塩原慧介, 郭磊, 仲武昌史, 高倉将一, 真野篤志, 高嶋圭史
2．発表標題 半導体フォトカソード分析用真空輸送装置の開発
3．学会等名 日本物理学会第77回年次大会（2022年）
4．発表年 2022年

1．発表者名 塩原慧介、郭磊、高嶋圭史、真野篤志
2．発表標題 半導体フォトカソード用真空輸送装置の開発
3．学会等名 2021年度ビーム物理研究会、若手の会
4．発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

第78回年次大会（2023年） 日本物理学会学生優秀発表賞

氏名：

塩原 慧介

Keisuke Shiohara

対象発表：

17pS31-5

真空輸送装置を用いたCsK2Sbフォトカソードの光電子分光

Photoelectron Spectroscopy of CsK2Sb Photocathode at Synchrotron Radiation Facility Using Vacuum Transport System

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------