

令和 4 年 5 月 4 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11931

研究課題名（和文）超高輝度・短パルス電子源の長寿命化

研究課題名（英文）Life time improvement of super-high brightness and short pulse electron source

研究代表者

金 秀光（Jin, Xiuguang）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・助教

研究者番号：20594055

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、CsK2Sb材料を用いて、裏面照射型フォトカソードを開発することで、電子ビームの超高輝度かつ長寿命を目指す。CsK2Sb系はバンドギャップは2eV程度であるため、532 nmの励起光（ $h\nu$ ：2.33 eV）で励起できる。また、532 nmの励起光の透過を考え、バンドギャップが2.7 eVであるZnSe基板を導入した。

CsK2Sbを作製する前のZnSe基板の表面処理は、カソード作製のキーポイントである。申請者はHF処理がZnSeの酸化膜を除去に有効であることを見つけた。申請者は、ZnSe基板上にCsK2Sbを蒸着法で作製し、1～2%の量子効率を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今までに、電子顕微鏡の領域では、NEA表面を持つGaAsカソードが主流だったが、使用寿命が短いという致命的な問題がある。申請者は、加速器の分野で実績のあるCsK2Sbカソードを導入した。

電子顕微鏡などの領域に応用を目指して、電子ビームの輝度を上げるために、裏面照射型フォトカソードを開発した。具体的には、新しくZnSe基板を導入し、その表面処理など作製工程を確立した。これは新型電子源の誕生であり、電子顕微鏡などへの応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：The aim of this work is to develop a long lifetime and high brightness photocathode. Compared with negative electron affinity (NEA) surface GaAs photocathode, CsK2Sb has predominant long lifetime. In order to realize the high brightness of the electron beam, the transmission mode is required. In other words, the laser light irradiate back side photocathode and electron emit from the surface side. Considering the band gap of CsK2Sb was around 2 eV, we newly introduced ZnSe substrate which band gap is as high as 2.7 eV.

Prior to CsK2Sb evaporation, the substrate treatment decide the quality of the CsK2Sb films. We primarily found the HF treatment could effectively remove the oxide of the ZnSe. After surface treatment, the CsK2Sb films was successfully fabricated on the ZnSe substrate. At the transmission mode, we achieved the electron beam generation and the quantum efficiency is as high as 1~2%.

研究分野：電子源

キーワード：電子源 超高輝度 長寿命

1. 研究開始当初の背景

負の電子親和力(NEA)表面を持つ GaAs フォトカソードは電子顕微鏡へ使われつつ、またリソグラフィーなどの新しい分野でもその応用を検討されている。申請者は、NEA-GaAs を用いて、励起光裏面照射型フォトカソードを開発し、電子ビームの超高輝度を実現することに成功している。裏面照射と言うのは、励起光をフォトカソードの裏面側から照射し、電子ビームを表面から生成することである。励起光と電子ビームの生成を異なる側にすることで、励起光を収束することができ電子ビームの超高輝度が可能になる。しかし、NEA-GaAs フォトカソードには、使用寿命が短いと言う致命的な問題がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、マルチアルカリ材料(CsK_2Sb)を新しく導入し、励起光裏面照射型フォトカソードを開発し、超高輝度を実現しつつ、長寿命のフォトカソードを開発することである。マルチアルカリカソードは大電流、短パルス、低エネルギー幅の電子ビームが生成できることから、加速器の分野でよく使われている。 CsK_2Sb の使用寿命は NEA-GaAs に比べ、100 倍以上も長いというメリットがある。

3. 研究の方法

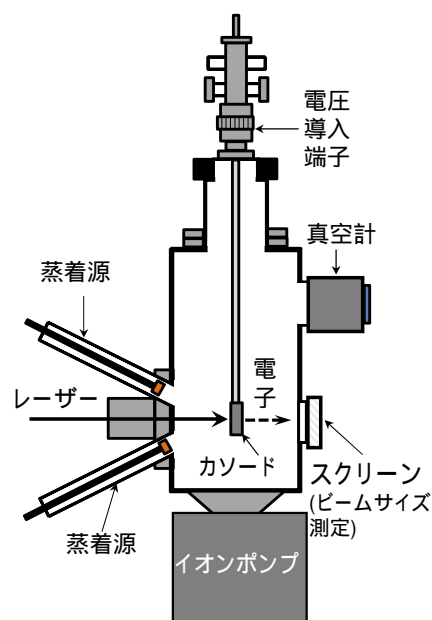
CsK_2Sb は蒸着により、GaAs、Si などの基板上に作製される。 CsK_2Sb のバンドギャップは 2eV 程度であり、532 nm ($h\nu : 2.33 \text{ eV}$) レーザー光が励起によく使われる。GaAs と Si 基板はバンドギャップが 1.4 eV と 1.2 eV と小さく、532 nm レーザー光の透過ができない。

申請者は、532 nm の励起光の透過を考え、バンドギャップが 2.7 eV と大きい ZnSe 基板を新しく導入した。ZnSe は格子定数などのパラメーターが GaAs と近いことから、ZnSe 基板上にも CsK_2Sb が成膜できると考えた。

CsK_2Sb の蒸着には、 10^{-7}Pa 以下の超高真空が必要になり、申請者は蒸着チャンバーを設計、作製した。

作製した装置の全体図は図 1 に示す。装置には、基板を加熱する用のヒーター、Cs、K のディスペンサー、Sb を加熱より蒸発するヒータ、イオンポンプ、電流導入端子などで構成されている。試料の裏面側より励起光を照射し、表面から取り出す構造になっている。装置は組み立てた後、200 °C でベーキングして $8 \times 10^{-9} \text{ Pa}$ に入っている。 CsK_2Sb の蒸着を満たす真空度である。

CsK_2Sb を作製する前に、基板は表面処理をする必要があり、その前処理が CsK_2Sb 膜の性能を左右する。大気中に保存されている ZnSe の表面には数十 μm の酸化膜があり、酸化膜は CsK_2Sb 膜の構造を影響し、電子生成効率を下げる。ZnSe の酸化膜を除去するために、申請者はいろいろな薬品を試し、最終的に HF 処理が有効であることを見つけた。また、ZnSe 基板の HF 処理後、真空チャンバーに導入し、加熱する必要がある。その加熱条件が 500



作製した装置全体図

で 30 分である。また、申請者は作成した装置で、CsK₂Sb/ZnSe 型フォトカソードの作製工程を確立した。

4 . 研究成果

申請者は、ZnSe 基板の上に CsK₂Sb を蒸着法で作製し、532 nm のレーザー光を ZnSe 基板の裏面側から照射し、表面側から電子ビームの生成に見事に成功した。また、成膜条件を最適化することで、量子効率が約 2% まで向上した。圧力 1×10^{-8} Pa において、本研究で開発した CsK₂Sb/ZnSe 型フォトカソードが従来の NEA-GaAs フォトカソードより、明らかに使用寿命が長くなっていることを確認した。

CsK₂Sb/ZnSe 型フォトカソードの開発は、新型電子源の誕生であり、電子顕微鏡、リソグラフィ、X 線発生装置などへの応用が期待される。今後、CsK₂Sb/ZnSe 型フォトカソードより取り出した電子ビームのエネルギー幅、パルス性を評価する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 L. Yu, W.S. Wan, T. Koshikawa, M. Li, X.D. Yang, C.X. Zheng, M. Suzuki, T. Yasue, X.G. Jin, Y. Takeda, W.-X. Tang	4. 巻 216
2. 論文標題 Aberration corrected spin polarized low energy electron microscope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ultramicroscopy	6. 最初と最後の頁 113017
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ultramic.2020.113017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 金 秀光、谷本育律、内山隆司、本田 融	4. 巻 64
2. 論文標題 吸着ガス種によるNEGコーティングの再活性化過程と排気性能への影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum and Surface Science	6. 最初と最後の頁 301-305
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1380/vss.64.301	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 X.G. Jin, Y. Tanimoto, T. Uchiyama, M. Okano	4. 巻 192
2. 論文標題 Synchrotron radiation-stimulated desorption from Pd or Pd/TiZrV coated copper tubes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 #110445
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.vacuum.2021.110445	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shin-ichi Kimura, Taishi Kawabata, Hiroki Matsumoto, Yu Ohta, Ayuki Yoshizumi, Yuto Yoshida, Takumi Yamashita, Hiroshi Watanabe, Yoshiyuki Ohtsubo, Naoto Yamamoto, Xiuguang Jin	4. 巻 92
2. 論文標題 Bulk-Sensitive Spin-Resolved Resonant Electron Energy-Loss Spectroscopy (SR-rEELS): Observation of Element- and Spin-Selective Bulk Plasmons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Rev. Sci. Instrum.	6. 最初と最後の頁 93103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0055435	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 金 秀光、谷本育律、内山隆司、本田 融
2. 発表標題 NEGコーティングに吸着するガスの再活性化過程と排気性能への影響
3. 学会等名 日本表面真空学会学術講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金 秀光、山本将博、谷本育律、内山隆司、野上隆史、本田 融、
2. 発表標題 NEG コーティングしたAg 入り無酸素銅真空チューブの開発
3. 学会等名 日本加速器年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金 秀光
2. 発表標題 歪み補償型超格子偏極電子源の研究
3. 学会等名 加速器学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金 秀光
2. 発表標題 高性能スピン偏極電子源とその応用
3. 学会等名 マイクロビームアナリシス第141委員会、第175回研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 X. Jin, Y. Takeda
2. 発表標題 New transmission-type photocathode using ZnSe substrates
3. 学会等名 LEEM/PEEM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担 者	許斐 太郎	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器 研究施設・助教	
	(Konomi Taro)		
	(20634158)	(82118)	

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
---------	---------