

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K13946

研究課題名（和文）MeVガンマ線観測に向けた超小型衛星搭載検出器の開発

研究課題名（英文）Development of a new detector onboard micro satellite for the MeV gamma-ray observation

研究代表者

内田 悠介（Uchida, Yuusuke）

東京理科大学・創域理工学部先端物理学科・助教

研究者番号：70873040

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）：本研究は天体からのX線放射を観測するための検出器を小型化し、超小型衛星に搭載するための検出器の検討作成を行うことを目的として行ってきた。小型衛星搭載のため検出効率の良いCZT検出器を採用した。しかし、これまでの研究で軌道上での放射線による性能劣化が予想される。そこで200 MeVの陽子線を照射することでCZT及びCdTeの放射線による影響を研究した。この実験により、エネルギー分解能の劣化が見られたが、照射後数日を置くとわずかに回復することが確かめられた。本研究課題では他にCZTを使った日米瑞共同の気球実験XL-Caliburに参加し高高度でのCZTでのバックグラウンドについて調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では放射線によりCZTおよびCdTe半導体の性能について調べることができた。この結果は宇宙環境下で使用する半導体放射線検出器のみならず、地上での放射線検出器に対しても共有できる結果である。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study has been to develop a compact detector for observing X-ray emissions from celestial objects and to prepare a detector for use on board a microsatellite. A CZT detector with high detection efficiency was adopted for the small satellite. However, previous studies have shown that the performance is expected to deteriorate due to radiation in orbit. Therefore, the effects of radiation on CZT and CdTe were studied by irradiating them with 200 MeV protons. The experiments showed that the energy resolution was degraded, but recovered slightly after a few days of irradiation. In this research project, the background of CZT at high altitude was also investigated by participating in the Japan-US-Sweden joint balloon experiment XL-Calibur using CZT.

研究分野：宇宙物理実験

キーワード：半導体検出器 X線ガンマ線 CZT/CdTe

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多波長横断による天体構造形成の研究がなされている昨今において、MeV ガンマ線での観測結果は乏しい。そこで、本研究では超小型衛星による MeV ガンマ線観測を目指して、半導体によりコンパクトな MeV ガンマ線に感度のあるコンプトン散乱型検出器を作成する。本研究で作成する検出器は電子陽電子対生成のエネルギー 511keV をカバーし、超新星残骸からの核ガンマ線を捉えることのできる $0.3\text{-}3\text{ MeV}$ の帯域での観測を目指す。

2. 研究の目的

MeV ガンマ線が観測可能なスケーラブルな小型コンプトン散乱型検出器を半導体により実現するためその研究開発を行うことが本研究の目的である。 $0.3\text{-}3\text{ MeV}$ のガンマ線を捉えるためコンプトン散乱型の検出器の開発を CdTe/CZT 半導体検出器により目指す。

また、天体からの光子が偏光していることが期待されるので、X線による偏光に関する放射線検出器として使用できるように研究を進めていく。

3. 研究の方法

- (1) 厚い CZT による検出器開発を進めた。2 mm 厚の CZT 検出器を 2 段組に構成し sub-MeV ガンマ線による放射を捉える。個別の性能評価を進め実機でのこの検出器構成でのシミュレーションを行い最適な形の検出器を開発する。
- (2) 軌道上での放射線耐性を調べるために陽子線照射を行う。200 MeV の陽子線を照射することで軌道上の環境を再現する。また、時間によって性能がどのように変化するかを観察し、軌道上で検出器を動かす際の最適なパラメータについて考える。
- (3) X線偏光による観測を目指す日米瑞国際共同気球実験 XL-Calibur に参加する。XL-Calibur は天体からの X線放射の偏光を捉えることを目的としており、主検出器に CZT を使用している。地上 30 km の高高度での CZT の動作について検証し、本研究にフィードバックする。

4. 研究成果

- (1) 検出器開発については、半導体不足などの社会情勢により当初の予定より遅れており、本研究期間では最終的な検出器構成には至らなかった。読み出し回路について検討した結果、ノルウェーの Ideas 社製の VATA450.3 を使用した。この読み出しはこれまでひとみ衛星の軟ガンマ線検出器に使用されたものであり、CdTe 半導体の読み出しと宇宙での使用実績がある。低消費電力であるため、超小型衛星に搭載した場合には電力的に十分であると考えている。
- (2) 軌道上での放射線耐性を調べる陽子線実験では、CdTe と CZT の 2 種類の半導体について調べた。本実験により CdTe よりも CZT の方がゲインの変化が大きいことがわかった。リーク電流については一時的に上昇するものの、CZT の方が照射前の値よりもさらに低い値になることがわかった(図 1)。本研究により得られた知見は長く軌道上で検出器を運用する際に重要である。本結果については国際会議で報告をした。今後の展望として、放射線により損傷した半導体検出器でのスペクトルを改善するために、検出器の波形情報の取得をめざしている。
- (3) XL-Calibur による気球実験は 2022 年に行われた。この際には気球のアライメントが不十分であり天体からの信号は得られなかったが、軌道上でのバックグラウンドデータを取得することができた。地上の試験では 0.8 mm 厚の CZT 検出器の性能について評価を行ったところ 39.9 keV で 3.8 keV 分解能を示し、使用している読み出し回路のエネルギー決定が 1%未満で達成していることを確認した。高高度では安定したバックグラウンド環境をアクティブシールドにより達成していることを確認した。これらの結果をもとに再度 2024 年初夏の打ち上げを目指し準備を進めている。本結果については国際会議と論文にて報告した。

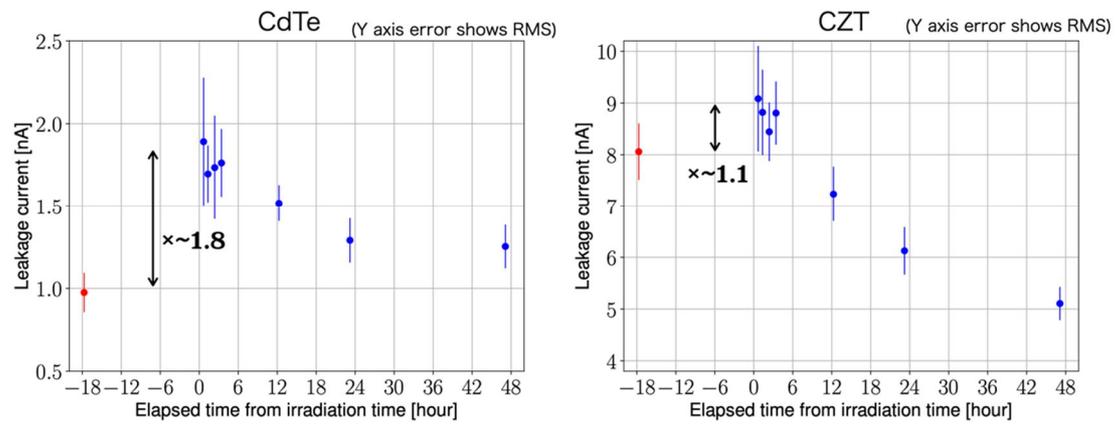


図1 : CdTe と CZT の 200 MeV 陽子照射後の漏れ電流の時間変動。左が CdTe で、右が CZT での違い。CdTe は 450 V 印加し、CZT は 200 V 印加している。また、それぞれの体積は異なる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Iyer N.K., et al.	4. 巻 1048
2. 論文標題 The design and performance of the XL-Calibur anticoincidence shield	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 167975 ~ 167975
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2022.167975	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 W. Kamogawa, et al.	4. 巻 12181
2. 論文標題 Optical performance of the x-ray telescope for the XL-Calibur experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of SPIE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2626537	査読の有無 無
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

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 内田悠介ほか
2. 発表標題 硬X線変更気球実験XL-Caliburの2022年スウェーデンフライトの状況報告
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内田悠介、高橋弘充、眞武寛人、今澤遼、末岡耕平、水野恒史、深澤泰司、羽鳥聡、久米恭、水嶋慧
2. 発表標題 CubeSat利用に向けた200 MeV陽子によるCdTe/CZTの放射耐性について
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Uchida H. Takahashi, H. Matake, R. Imazawa, K. Sueoka, T. Mizuno, Y. Fukazawa
2. 発表標題 Investigation of low Earth orbit influence on CdTe and CdZnTe semiconductor detectors with 200MeV proton irradiation
3. 学会等名 IEEE NSS MIC (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Uchida
2. 発表標題 Performance of the XL-Calibur flight in July 2022
3. 学会等名 38th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2023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

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			
米国	ワシントン大学セントルイス校			
スウェーデン	スウェーデン王立工科大学			