

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03966

研究課題名（和文）秒角空間分解能の硬X線撮像分光観測に向けたCdTe半導体検出器の開発研究

研究課題名（英文）Studies of CdTe semiconductor detectors for hard X-ray imaging spectroscopy with arc-second spatial resolution

研究代表者

渡辺 伸（Watanabe, Shin）

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：60446599

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：秒角の空間分解能を持った硬X線撮像観測の実現に向けて、大面積と100ミクロンの位置分解能を兼ね備えたCdTe半導体両面ストリップ型検出器の開発、研究を実施してきた。新しい手法を適用して、試作と実証試験を進め、課題解決を目指した。本研究を通して、CdTe素子のストリップ電極、および、実装の設計指針を得ることができ、目標とする検出器の実現の目処がついた。従来の方法に比べて、エネルギー分解能という観点で優れた性能を高い歩留まりで達成できる見通しを得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高感度硬X線観測を目指した次期衛星計画が検討されており、そのミッション実現にむけて、観測機器の技術成熟度を高めることができた。搭載用観測機器の設計を進めるために不可欠な試作機の製作と実証試験を進めることができた。加えて、天文学以外の医学分野、環境放射線計測分野、非破壊測定分野でも、このような硬X線撮像検出器が望まれている。本研究成果は、他の研究分野への適用に際して重要となる検出器の実用性向上につながった。

研究成果の概要（英文）：We have been developing and researching a CdTe semiconductor double-sided strip detector that has a large area and a position resolution of 100 microns in order to realize hard X-ray imaging observation with a spatial resolution of arc-second. By applying a new method, we performed the trial manufacture and the verification test, and aimed to solve issues. Through this research, we were able to obtain the design guideline for the strip electrode of the CdTe device and for the mounting. Compared with the conventional method, we were able to obtain the prospect that good performance in terms of energy resolution could be achieved with high yield.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：宇宙物理 X線天文学 CdTe半導体検出器 X線撮像分光検出器

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近傍宇宙の銀河の中心には、超巨大質量ブラックホール(SMBH)が普遍的に存在する。SMBH と銀河が「共進化」していると考えられているが、SMBH がどのように超巨大質量を持つまでに成長 / 進化し、宇宙の形成史において、どのような役割をはたしてきたのか？ という謎の解明は、現在の天文学に課された最重要課題の一つである。SMBH 進化の仕組みを読み解くための観測対象が、物質が SMBH に落ち込む際に解放する重力エネルギーを元に明るく輝くと考えられている活動銀河核(AGN)である。そして、その AGN の進化を議論する上で最も基本的な情報が、その空間数密度を光度と赤方偏移パラメータの関数として表した「光度関数」であり、そのためには、AGN を無バイアスで探し出すことが第一歩となる。AGN の検出には、X 線観測が最も有効な手段だが、これまで高精度の観測が主に行われてきたのは、10 keV 以下の軟 X 線と呼ばれるエネルギー領域であり、ガスや塵などの吸収が少ない AGN だけが選択的に探查されてきたことになる。SMBH/AGN の進化により関わりがあると考えられるガスや塵などに深く埋もれた AGN を探すのに有効なのは、吸収の影響を受けにくい 10 keV 以上の硬 X 線による観測だが、これまで行われてきた硬 X 線領域の観測は、感度の限界から限定的であった。

NuSTAR 衛星や ASTRO-H 衛星によって、1 分角から 2 分角程度の空間分解能を持った硬 X 線望遠鏡が実現し、硬 X 線撮像観測が始まり、コリメータやコーデッドマスクを使用した観測に比べ、格段に硬 X 線の観測感度が向上している。しかしながら、AGN の検出感度の点では、秒角程度の空間分解能を Chandra 衛星や XMM-Newton 衛星で達成している軟 X 線領域に比べると不十分である。そこで、混入限界を下げ、さらなる AGN 検出感度向上を図り、この課題の解明を目指すのが、現在検討中の衛星計画「広帯域 X 線高感度撮像分光衛星 (FORCE)」である。FORCE は、NuSTAR 衛星や ASTRO-H 衛星で、1 分角から 2 分角程度であった硬 X 線での空間分解能を 15 秒角以下にまで、一気に向上させ、1 桁以上も上回る AGN 検出感度を実現し、SMBH たちの真の姿を暴きだそうとする計画である。

FORCE の実現に向けて、結像性能の良い硬 X 線望遠鏡とともに鍵を握る開発課題の一つが、硬 X 線撮像検出器である。秒角の空間分解能に対応した 100 ミクロンの位置分解能と、AGN を探查するために必要な広視野のため、3 cm 角以上の広い撮像領域とが両立して要求され、現時点で、世界的にも実用化されているものはない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大面積と 100 ミクロンの位置分解能を兼ね備えた硬 X 線撮像検出器の開発を行い、秒角の空間分解能を持った硬 X 線観測を実現に導くことである。我々が世界の最先端を走ってきたテルル化カドミウム(CdTe)半導体を用いた硬 X 線撮像検出器を発展させ、技術課題である CdTe 素子の実装方法の解決を図る。本研究期間には、CdTe 素子の実装方法の基礎研究に加え、各種試作機による実証試験を実施し、完成度の高い観測機器の実現を目指す。

具体的には、100 ミクロンの位置分解能、3 cm 角以上の大面積を兼ね備えたものが目標で、構成としては、ASTRO-H 衛星 HXI の CdTe 半導体両面ストリップ型を基本に、さらなる狭ピッチのストリップを実現させるための研究、開発を行う。

3. 研究の方法

100 ミクロン程度以下の狭ピッチを実現するための新たな実装方法を適用した CdTe 半導体両面ストリップ検出器を試作し、それらの試作検出器を用いて、様々な測定実験を行い、検出器の性能を評価し、実装方法の検証を行った。

CdTe 半導体ストリップ検出器で、ストリップ電極と信号処理回路を接続する主な実装方法を図 1 に示す。図 1(a)に示すのが、これまでに ASTRO-H 衛星 HXI で実現してきた貫通導線と配線を持ったセラミック基板と我々が CdTe ピクセル検出器向けに開発した金バンプ接合技術を組み合わせ、セラミック基板にワイヤーボンディングする手法である。しかしながら、この手法では、250 ミクロン程度のストリップピッチが限界で、100 ミクロンピッチとなると貫通導線をそのピッチでセラミックに形成することが難しい。それを解決させる実装方法が、図 1(b)であり、ガラス基板の端面に 3 次元的に配線を行い、基板の表面と裏面を接続し、これと金バンプ接合技術、ワイヤーボンディングによって、接続を行っている。本研究では、この実装による試作として、125 ミクロンピッチ、3.2 cm 角 CdTe 両面ストリップ検出器と 60 ミクロンピッチ、7.6 mm 角 CdTe 両面ストリップ検出器を製作し、評価を行った。

図 1(c)に示すのが、シリコン検出器の場合に適用される半導体素子上の電極に直接ワイヤーボンディングを行う手法である。狭ピッチを実現するには、最も有効な手法であるが、これまで、CdTe 半導体に対しては、半導体素材がもろく柔らかいため、実現してこなかった。本研

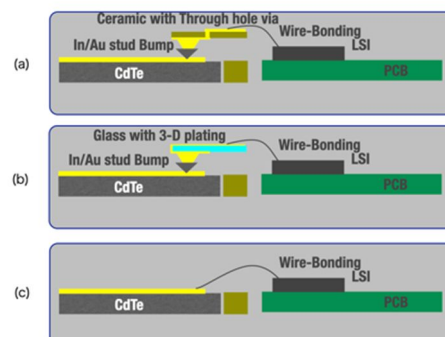


図 1 : CdTe 半導体素子への実装方法

究計画の3年目以降、CdTe 半導体に対して、ワイヤーボンディング可能な電極の試作が可能になったため、その CdTe 素子の製作を行い、ワイヤーボンディングの試実装をインハウスで行い、評価を行った。また、直接ワイヤーボンディングが可能になると、電極形状を工夫して、引き出したりできると、検出器設計の自由度が広がる。ファンアウトするような電極形状が形成可能か、調べるために、電極形状を設計して、テストピースを製作し、評価実験を実施した。

さらに実際にこの CdTe 両面ストリップ検出器を利用した高感度観測を行う上での課題を抽出するために、ASTRO-H 衛星 HXI の CdTe 両面ストリップ検出器で得られた軌道上データの解析を実施した。高精度硬 X 線天文学に向けて、観測感度については、軌道上でのバックグランド低減は重要な要素の一つであり、この HXI の軌道上データで CdTe 両面ストリップ検出器のバックグランド特性を調べ、設計に反映すべき項目の抽出を行った。

4. 研究成果

(1) 3.2 cm 角、125 ミクロンストリップピッチ CdTe 両面ストリップ検出器の実現

撮像領域としては、ASTRO-H 衛星 HXI と同じ 3.2 cm 角を持ちつつ、ストリップピッチを半分の 125 ミクロンにした CdTe 両面ストリップ検出器の試作を行った。金バンプ接合技術を行う基板として、ガラス基板の端面に 3 次元的に配線した新しい基板を用いて、この CdTe 両面ストリップ検出器を実現させた。試作した検出器の写真を図 2 に示す。



図 2: 125 ミクロンストリップピッチ CdTe 両面ストリップ検出器

新しい実装方法で電氣的接続がとれ、検出器として、動作させることにも成功し、硬 X 線のデータを取得した。しかしながら、この狭ピッチで、3 cm 強という長さの基板の金バンプ接合の際、熱と圧力がかかりすぎたためか、CdTe 素子の検出器としての性能に劣化が見られた。歩留まり良く検出器を得るには、さらなる条件出しが必要になることが、課題となった。

(2) 60 ミクロンストリップピッチ CdTe 両面ストリップ検出器

3 次元的配線を持ったガラス基板を用いて、60 ミクロンストリップピッチの CdTe 両面ストリップ検出器の試作を行った。今回は、8 台の試作を行い、ガラス基板の歩留まり、ガラス基板上の電極形成やその電極へのワイヤーボンディング実装で困難が伴ったが、検出器を製作することができた。試作した検出器の写真を図 3 に示す。動作試験を実施し、成績のよかったものについては、太陽硬 X 線集光撮像観測ロケット実験「FOXSI-3」に提供し、実際にロケットに搭載して、観測を行った。

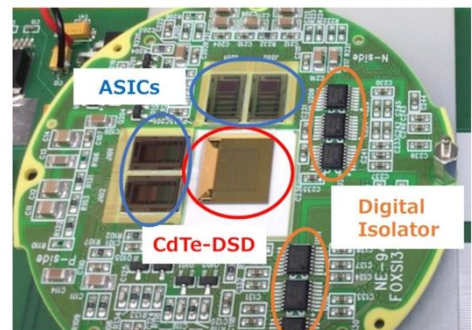


図 3: 60 ミクロンストリップピッチ CdTe 両面ストリップ検出器

FOXSI-3 ロケット実験のあと、回収された検出器と搭載しなかった予備の検出器を用いて、詳細な性能評価試験を行った。結果の一部を図 4 に示す。FWHM で、1 keV を切るような優れたエネルギー分解能と、ストリップピッチである 60 ミクロンよりよい位置分解能を持つことを実証することができている。この技術実証を踏まえて、太陽フレアにより磁気リコネクションと粒子加速を研究する PhoENiX ミッションの観測装置の一つとして、概念検討を進めている。

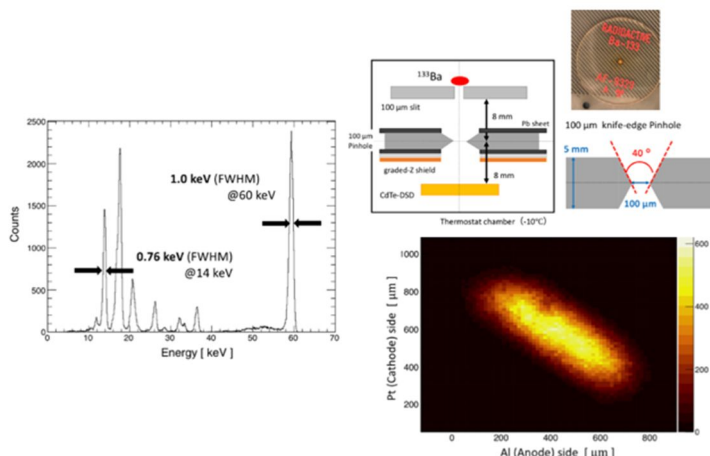


図 4: 60 ミクロンストリップピッチ CdTe 両面ストリップ検出器による結果。得られたスペクトルと硬 X 線(30 keV)イメージ。(Furukawa,Nagasawa et al.2020 NIM-A より)

(3)厚型 CdTe 両面ストリップ検出器特性評価と ASTRO-H 衛星 HXI の軌道上データによるバックグラウンド特性の研究

2 mm 厚という CdTe 両面ストリップ検出器の特性評価を行った。CdTe 半導体では、キャリアの輸送特性がよくないために、電極に移動する途中でトラップされてしまい、反応位置の深さ方向に対して、信号の大きさに依存性が出てしまい、エネルギー分解能、エネルギー決定精度の悪化をもたらす。これを防ぐため、これまでは、0.5-0.75 mm 厚という薄い CdTe 素子を使用してきたが、両面からの信号が得られる両面ストリップ検出器の特徴を生かし、両面からの信号を再構成することで、深さ方向の情報と優れたエネルギー分解能を得ることができる。そして、今回、2 mm 厚というような厚型の CdTe 素子に対しても適用可能で、優れた性能が得られることを実証した。図 5 にその結果を示す。また、この 2 mm 厚 CdTe 両面ストリップ検出器をコンプトンカメラの構成検出器に使用して、ガンマ線のコンプトンイメージングの実験を行った。その中で、コンプトンイメージングの手法を用いて、2mm 厚の中の反応位置による両面への信号応答を調べること的成功し、深さ方向の位置決定の定量化を実現することができた。

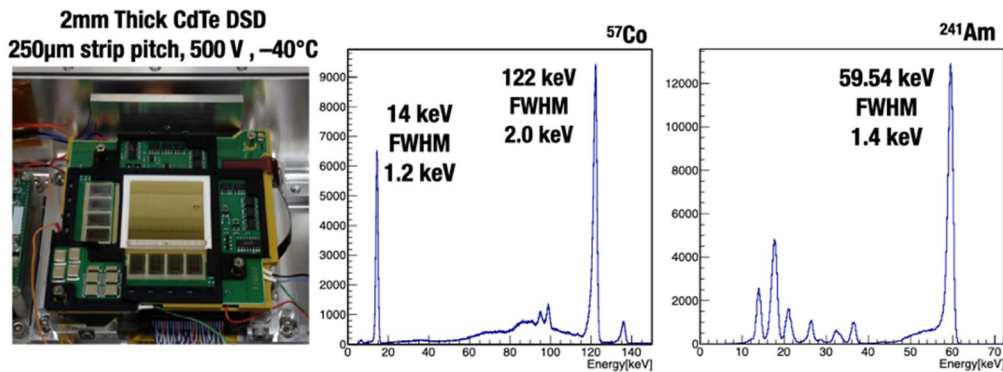


図 5 : 2 mm 厚 CdTe 両面ストリップ検出器と得られた再構成スペクトル。

ASTRO-H 衛星の HXI の CdTe 両面ストリップ検出器の軌道上データを解析し、厚型の CdTe 両面ストリップ検出器を使うことで、目標天体からの放射に起因しないバックグラウンドイベントを低減できる可能性を見出した。HXI の CdTe 両面ストリップ検出器は、0.75 mm 厚だが、両面の信号の情報を使用することで、反応位置の深さ情報を得て、軌道上データにおいて、天体からの硬 X 線とそれ以外のバックグラウンドを区別することができた。これをさらに厚型の CdTe 両面ストリップ素子に適用すれば、バックグラウンドを区別するだけでなく、周りの領域をアクティブシールドとして、動作させ、バックグラウンド低減に寄与させることができる。次期 X 線天文衛星計画「広帯域 X 線高感度撮像分光衛星 (FORCE)」に向けては、厚さの最適化設計が必要であるが、そのための実証データの獲得と解析手法の確立を行うことができた。

(4)CdTe 半導体上の電極への直接ワイヤーボンディング実装の評価

狭ストリップピッチのストリップ検出器の接続は、ワイヤーボンディングで実装を行うのが、効率的である。これまでは、CdTe 半導体素子上の電極に対しては、ワイヤーボンディングは適用できなかったが、本研究期間中に研究協力者である CdTe 半導体素子の製造業者において、ワイヤーボンディングが可能となる電極を持つ CdTe 半導体素子が得られるようになったため、その評価を行った。まずは、ストリップなどに分割されていない素子に対して、ワイヤーボンディングで接続を行い、接続性を確認したのち、I-V 測定やスペクトル測定を行い、素子にダメージがなく、検出器としての性能に問題がないことを確認した。

次に、2 mm 厚、3.2 cm 角、250 ミクロンストリップピッチの CdTe 両面ストリップ素子をワイヤーボンディング可能な電極で製作し、これでイメージング検出器を試作した。その写真を図 6 に示す。2 つ試作したが、歩留まりよく製作可能な見通しを得た。また、スペクトル評価測定も一部、実施し、良好な結果を得ることに成功した。

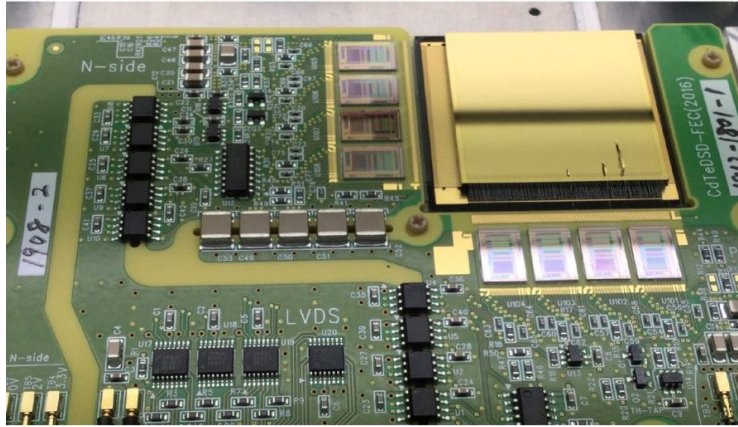


図 6: ワイヤーボンディング可能な電極を用いた CdTe 両面ストリップ検出器。

さらに、50 ミクロンを切る位置分解能を達成するような狭ストリップピッチを実現するためのストリップ電極が形成できるか、実証するために、テストピースを設計し、試作した。ワイヤーボンディングでは、直径 25 ミクロンのワイヤーを使っているが、ワイヤーボンディングの際ワイヤーが潰れるため、ワイヤー径の数倍のピッチでは、ファンアウトするなど、工夫が必要になる。そのような配線が CdTe 素子上でできるか、その電極に対するワイヤーボンディング性の確認を行った。図 7 に試作したストリップ電極を持つ CdTe 素子の写真を示す。1 回目の試作では、ワイヤーボンディング性に課題が出たので、対策を行った設計を行い、2 回目の試作を実施した。検出器としての性能は、1 回目の試作素子でも良好な結果が得られ、ワイヤーボンディング実装を用いることで、狭ピッチの CdTe ストリップ検出器であっても、これまでの手法に比べて、エネルギー分解能という観点で優れた性能を高い歩留まりで達成できる見通しを得ることができた。

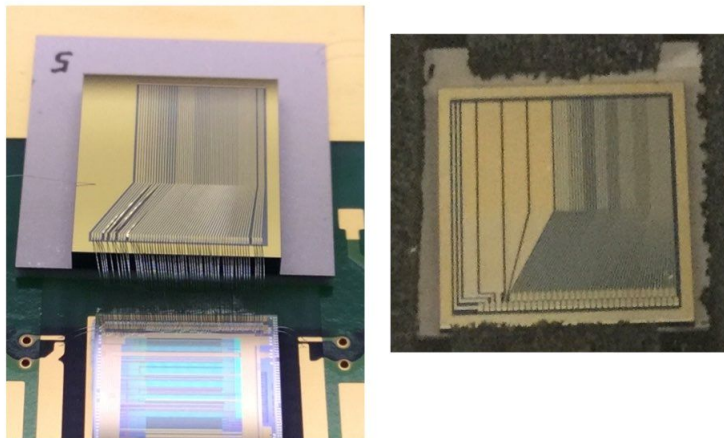


図 7: 狭ピッチストリップ電極テスト用試作 CdTe 素子(左: 1 回目の試作, 右: 改良版試作)

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 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Furukawa Kento, Buitrago-Casas Juan Camilo, Vievering Juliana, Hagino Kouichi, Glesener Lindsay, Athiray P.S., Krucker Sum, Watanabe Shin, Takeda Shin' ichiro, Ishikawa Shin' nosuke, Musset Sophie, Christe Steven, Takahashi Tadayuki	4. 巻 924
2. 論文標題 Development of 60 μm pitch CdTe double-sided strip detectors for the FOXSI-3 sounding rocket experiment	5. 発行年 2019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 321-326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1016/j.nima.2018.07.011	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 Katsuragawa Miho, Tampo Motonobu, Hamada Koji, Harayama Atsushi, Miyake Yasuhiro, Oshita Sayuri, Sato Goro, Takahashi Tadayuki, Takeda Shin' ichiro, Watanabe Shin, Yabu Goro	4. 巻 912
2. 論文標題 A compact imaging system with a CdTe double-sided strip detector for non-destructive analysis using negative muonic X-rays	5. 発行年 2018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 140-143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.11.004	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 Takeda Shin' ichiro, Katsuragawa Miho, Orita Tadashi, Moriyama Fumiki, Arai Yasuo, Sugawara Hirota, Oshita Sayuri, Yabu Goro, Watanabe Shin, Takahashi Tadayuki, Furenlid Lars R.	4. 巻 912
2. 論文標題 A high-resolution CdTe imaging detector with multi-pinhole optics for in-vivo molecular imaging	5. 発行年 2018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 57-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.10.037	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 Kento Furukawa, Shunsaku Nagasawa, Lindsay Glesener, Miho Katsuragawa, Shin'ichiro Takeda, Shin Watanabe, Tadayuki Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Imaging and Spectral Performance of a 60 μm Pitch CdTe Double-Sided Strip Detector	5. 発行年 2020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 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Shunsaku Nagasawa, Furukawa Kento, Katsuragawa Miho, Takeda Shin'ichiro, Watanabe Shin, Takahashi Tadayuki
2. 発表標題 Imaging and spectral performance of a 60 μm pitch CdTe double-sided strip detector
3. 学会等名 12th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 G. Yabu, F. Moriyama, H. Yoneda, S. Takeda, S. Watanabe, T. Orita, T. Takahashi
2. 発表標題 Study of 3D image reconstruction using a Si/CdTe semiconductor Compton Camera
3. 学会等名 2018 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川健人, 高橋忠幸, 武田伸一郎, 渡辺伸, 石川真之介, 萩野浩一, Lindsay Glesener, ほかFOXSIチーム
2. 発表標題 FOXSI-3ロケット実験に向けた狭ピッチCdTe両面ストリップ検出器の性能評価とイメージングアルゴリズムの開発
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川健人, 高橋忠幸, 武田伸一郎, 渡辺伸, 石川真之介, 萩野浩一, 成影典之, Lindsay Glesener, ほか FOXSI-3 チーム
2. 発表標題 FOXSI-3 ロケット搭載CdTe半導体硬 X 線検出器における一様性の評価およびモンテカルロ・シミュレーションによる検出器応答の構築
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村天陽, 織田忠, 武田伸一郎, 渡辺伸, 池田博一, 高橋忠幸
2. 発表標題 新しい信号処理回路を用いたX線、ガンマ線半導体検出器の研究開発
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Watanabe, H. Yoneda, S. Saito, H. Ikeda, T. Takahashi, S. Takeda
2. 発表標題 Si/CdTe semiconductor Compton cameras with electron-tracking based imaging
3. 学会等名 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K.Furukawa, P.S. Athiray, J.Casas, J.Vievering, K.Hagino, L.Glesener, S.Krucker, S.Watanabe, S.Takada, S.Ishikawa, S.Musset, S.Chritste, T.Takahashi
2. 発表標題 Development of 60 μm pitch CdTe double-sided strip detectors for the FOXSI-3 sounding rocket experiment
3. 学会等名 11th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Takeda, T. Orita, F. Moriyama, Y. Arai, H. Sugawara, M. Katsuragawa, S. Oshita, G. Yabu, S. Watanabe, T.Takahashi, L.Furenlid,
2. 発表標題 High Resolution CdTe Imaging Detector With Multi-Pinhole Optics for In-Vivo Molecular Imaging
3. 学会等名 8th International Conference on New Developments In Photodetection (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	M. Katsuragawa, S. Takeda, A. Harayama, M. Tampo, K. Hamada, S. Watanabe, T. Takahashi, Y. Miyake
2. 発表標題	A Compact Imaging System with a CdTe Double-Sided Strip Detector for Non-Destructive Analysis Using Negative Muonic X-rays
3. 学会等名	8th International Conference on New Developments In Photodetection (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	渡辺 伸、米田 浩基、池田 博一、高橋 忠幸、武田 伸一郎
2. 発表標題	電子軌跡検出型のSi/CdTe半導体コンプトンカメラの開発
3. 学会等名	第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	武田 伸一郎、織田 忠、森山 文基、菅原 寛孝、都丸 亮太、桂川 美穂、藪 悟郎、渡辺 伸、高橋 忠幸、蔵地 理代、水間 広、金山 洋介
2. 発表標題	超高分解能マルチプローブ CdTe SPECT装置の開発(1) : 装置コンセプト
3. 学会等名	第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	都丸 亮太、武田 伸一郎、織田 忠、森山 文基、菅原 寛貴、桂川 美穂、藪 悟郎、渡辺 伸、高橋 忠幸、蔵地 理代、水間 広、金山 洋介
2. 発表標題	超高分解能マルチプローブ CdTe SPECT装置の開発(2): CdTe両面ストリップ検出器の性能評価
3. 学会等名	第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 織田 忠、武田 伸一郎、都丸 亮太、森山 文基、菅原 寛考、桂川 美穂、藪 悟朗、渡辺 伸、高橋 忠幸、蔵地 理代、水間 広、金山 洋介
2. 発表標題 超高分解能マルチプローブ CdTe SPECT装置の開発(3) : 画像再構成
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桂川美穂, 反保元伸, 濱田幸司, 原山淳, 三宅康博, 大下紗百合, 佐藤悟朗, 高橋忠幸, 武田伸一郎, 渡辺伸, 藪悟郎
2. 発表標題 CdTe両面ストリップ型硬X線検出器を用いたミュオンX線のイメージング
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>世界初！太陽観測ロケット実験FOXSI-3、太陽コロナからの軟X線を集光撮像分光観測することに成功！ http://www.isas.jaxa.jp/topics/001870.html 観測ロケットFOXSI-3が軟X線太陽像を新手法で描く http://www.isas.jaxa.jp/topics/002010.html</p>
--

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