

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：82645

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654052

研究課題名(和文) 超低バックグラウンドX線CCDを用いたガンマ線未同定天体の研究

研究課題名(英文) Ultra low BGD X-ray CCD for diffuse X-ray study of unidentified Gamma-ray celestial objects.

研究代表者

尾崎 正伸 (Masanobu, Ozaki)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号：90300699

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：CCD撮像素子を重ねて配置することで、この両者に同時に反応する放射線信号を除去しデータ品質を向上させる研究を行った。素子は浜松ホトニクス製の裏面照射型CCDを使用し、これを極めて薄いセラミック板の中央部をくりぬいたその裏表に貼ることで、目的に叶う素子配置を素子ハンドリング性と冷却可能性を確保しながら実現した。試作したパッケージに230 MeVの陽子線を照射し、確かに両素子間で入射放射線の相関が取れる事を確認した。ただし、単純な処理では相関が取れる割合はあまり高くなく、入射放射線の詳細な振舞いの研究と素子配置や信号処理方法の最適化の研究が求められる。

研究成果の概要(英文)：A research to exclude charged-particle events from X-ray CCD detector output was carried out. Two full-depletion CCD of 200um thickness are stacked with 125 um gap, and events on a chip that have counterparts in a few pixel distance on the other chip are regarded as of charged-particle origin. The chips are mounted on the both sides of a ceramic board with a central hole. We tested the charged-particle discrimination with 230 MeV proton beam, and confirmed that significant part of the events are recognized as the charged-particle origin. The recognition efficiency is, however, significantly lower than our Monte Carlo simulation prediction. Thus further study about the detail of the incident particles and development of the optimal chip alignment and signal processing scheme are required for a practical use.

研究分野：観測天文学

キーワード：CCD 放射線 バックグラウンド除去

1. 研究開始当初の背景

Fermi 衛星や H.E.S.S. 望遠鏡に代表される近年のガンマ線検出器の発達により、X 線を含む他波長で対応天体が見えない未同定ガンマ線天体がいくつもみつかるようになってきた。これらの正体を探るには、より高い感度すなわち低バックグラウンド性能の検出装置でひたすらに対応天体を追い求めるのが一つの方法である。その為には、微弱な X 線を長時間かけて観測する必要があり、その時に到達できる感度を決めるのは目的の X 線以外の放射線によるバックグラウンドの多寡である。

X 線検出器のバックグラウンド源は一次および二次宇宙線と全天から来る X 線放射で、何も手を講じなければ共に検出器へ全方位から入射し検出される。従って第一の方策は目的外方向の遮蔽である。第二の方策は入射粒子の種類を画像解析により弁別する手法を導入することで、これにより宇宙線の大部分を排除できる。但し、この 10 年で実現された完全空乏化 CCD では高エネルギーまでの感度と引きかえにこの弁別能力が低くなっている。第三の方策は、必要なセンサを小体積化する事でバックグラウンドに反応する領域を減らすという手法であり、これは結像光学系を用いる事で達成される。現代の X 線天文台ではこれら方策の全てが既に取り入れられており、特に良い結像性能を持った望遠鏡では第三の方策の寄与で点源に対する感度が飛躍的に向上している。しかし、広がった天体の観測では結像性能の寄与は限定的となり、従って未だ（露出時間ではなく）バックグラウンドが検出限界を決めている。

2. 研究の目的

広がった X 線天体に対して従来にない高感度を実現する為、超低バックグラウンドの X 線 CCD 検出器系を開発する。これは、既存の CCD を隙間無しに貼り合わせて使うことで粒子種別の弁別性能を上げる (CCD に anti-coincidence を実装する) ことで実現する。

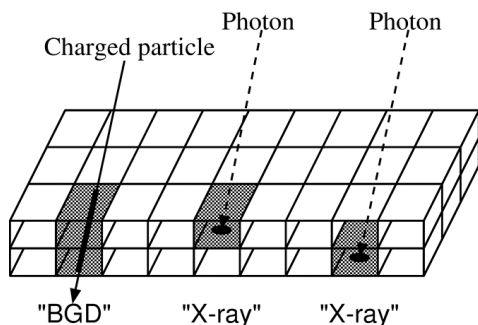


図. 1 重ね合わせた撮像素子により荷電粒子イベントを弁別する原理。荷電粒子はエネルギーを少しずつ落としながら素子を突き抜けるのに対し、X線はエネルギーを落とす時は全て放出して消滅する。従って、上下の素子で痕跡が重なっていれば荷電粒子由来である可能性が高い。

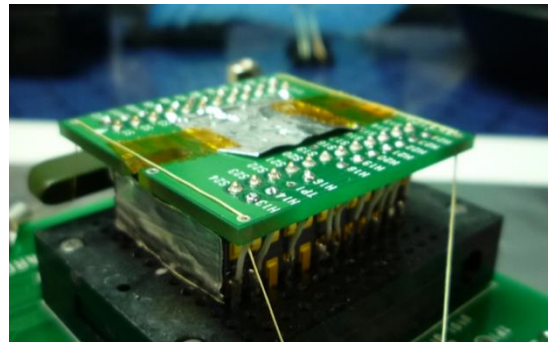


図. 2 既製パッケージを組み合わせた予備実験素子。緑色の電極引き出し基板と黒色直方体のソケットの間に挟まれた素子が見える。

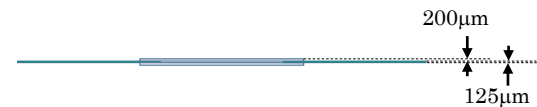


図. 3 新規に設計したパッケージの模式図。200 μm の素子厚に対して隙間が 125 μm に抑えられている。

3. 研究の方法

完全空乏化した CCD を重ねることで、荷電粒子が残す 3 次元的な軌跡を検出できるようにし、今までにない低バックグラウンド化と感度を両立したシステムを開発する。具体的には既存の完全空乏化 CCD 素子を厚さ方向に密着実装し、上下間の相関を取ることで荷電粒子イベントを除去する (図. 1)。これは素子の新しい実装およびデータ処理技術の研究開発となる。

4. 研究成果

予備実験として、200 μm 厚の素子を DIP パッケージに収めた既製品を背中合わせに貼り合わせ (図. 2)、 ^{90}Sr からのおよそ 1MeV の β 線を照射し表と裏の荷電粒子痕跡の対応を調べた。その結果は、対応が全く取れないというものであった。この配置での素子間隔はおよそ 2mm である。モンテカルロシミュレーションで評価したところ、CCD 素子中での散乱が大きく、この素子間隔では β 線が裏側素子まで辿り着くまでに表側素子入射線の延長から大きく離れてしまうことが確かめられた。

そこで、2枚の素子をできるだけ近づけたパッケージを新たに作るべく検討し、厚さ 125 μm のセラミック板の中央部をくり抜き、その穴をまたぐように両面に素子を張り付ける構造のパッケージを試作した (図. 3)。この距離ならば両素子の痕跡の間隔は典型的には 100 μm 程度以下になると予想される。このように薄いセラミック板は取扱い時や実装後の治具熱変形等の外力で容易に割れ得るので、同時にアルミ板によるパッケージおよび信号

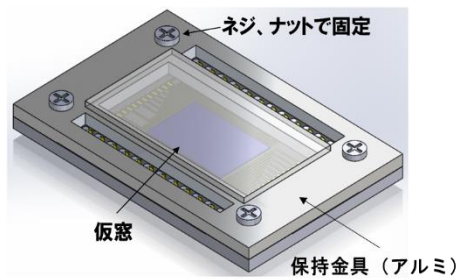


図. 4 開発したパッケージを保持具でハンドリングできるようにした状態。パッケージ本体への応力を避けると同時に保持具を通して冷却する為、基板接触部にグラファイトシートを貼ってある。また、パッケージからの配線は極細単芯銅線で引き出し、保持具に取り付けたピン実装基板で外部へ取り出す。

電極の機械的保持構造も開発した (図. 4)。新規開発素子の評価は、放射線総合医学研究所の重粒子線加速器を用いて、230MeV 陽子線を照射することで行った。これは、およそ7時間に渡って4秒周期で撮像を繰り返したものである。撮像の各露出を、以下「フレーム」と呼ぶ。この結果、両素子間で目視により粒子痕跡の相関が認められることを確認した (図. 5)。しかし、取得したデータを細緻に検討すると、取得フレームによって非常によく対応が取れているケースと全くと言ってよいほど対応が取れていないケースがある事が判明した (図. 6)。このような挙動は同一の条件のモンテカルロシミュレーションではみられず、データにばらつきが生じている理由は解明できていない。

このように素子出力の素性の完全な理解はできていないが、この状態でフレームの分別も行わずに全データを用いて荷電粒子イベントの除去率を評価した。具体的には、各フレームでの表側素子の各イベントに対して裏側素子で最も近いイベントまでの距離を求め、その分布を調べた (図. 7)。その結果は、表側に対応する位置の近傍に明らかなピークが見られた。すなわち、荷電粒子による両素子の

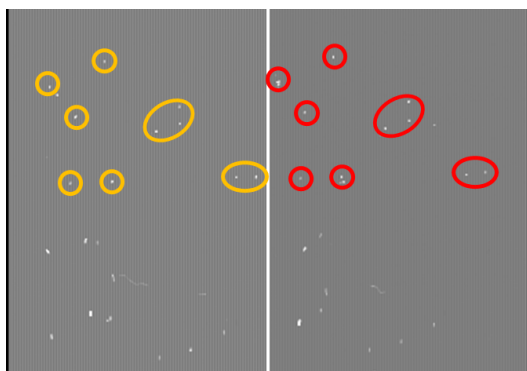


図. 5 陽子線放射で得られた画像の一例。左右は表裏両素子に対応する。かなりの痕跡が類似していることがわかる。

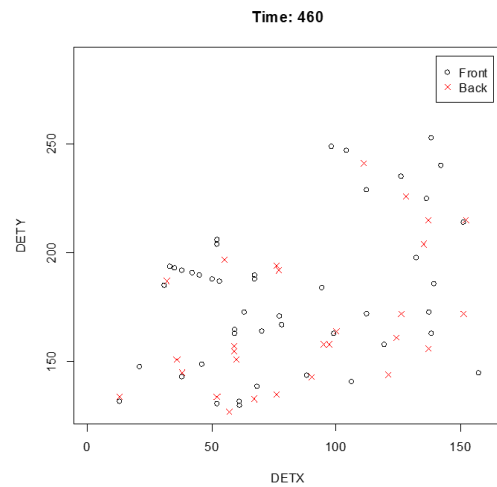
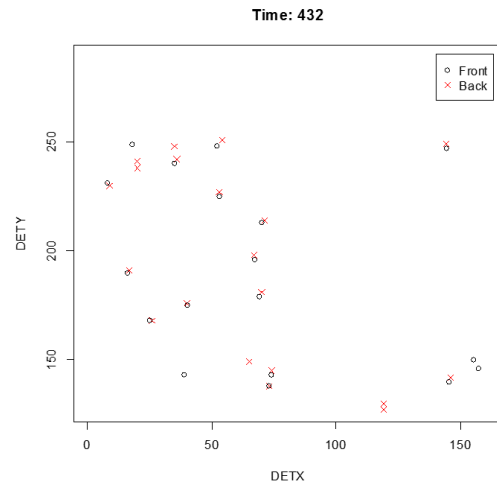


図. 6 得られたデータをフレーム毎に分析したものより、表裏の相関が良いもの(上)と悪い物(下)の例。

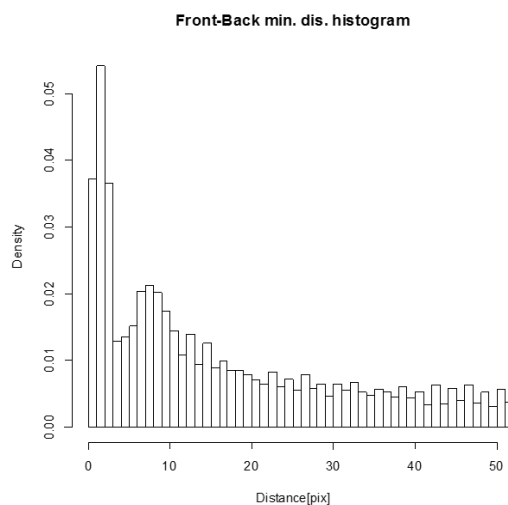


図. 7 両素子間の痕跡間最小距離の分布。縦軸は全体に対する割合。ゼロ近辺に大きなピークがあるのは荷電粒子飛跡を示すが、その割合は期待した値より相当に小さい。

イベントで確かに空間的相関がある事が数値処理により示せた。しかしながら、その(相関が見えるケースの)割合はモンテカルロシミュレーションでは9割を超えているのに対して実験データでは僅かに1割程度である。これは、シミュレーションの入射粒子が陽子のみに限られているのに対し、実験では粒子フラックスを減らす為にアルミ塊で散乱させている為、そこで生じた制動放射ガンマ線が見えているのかもしれない。

今後の課題および展開としては、①陽子線で得られたデータの挙動を解明すべく更なるデータ解析を進め、高い粒子イベント除去率を実現する、②既製品パッケージと同様にβ線による評価を実施し粒子イベント除去性能を評価する、③開発したパッケージと保持構造はそのまま積層可能であるので、電極引出し構造を工夫することで多段スタックとして3次元粒子トラッカへと発展させる、④可視光撮像センサに応用することで強い放射線環境下での放射線による画質劣化を補正する、等が考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文]

なし

[学会発表] (計3件)

- ① 尾崎正伸, 甲斐晋二, 岩井将親, 堂谷忠靖, 近藤恵介:「空間的反同時計数によるバックグラウンド除去を目指した X 線 CCD 検出器の性能検証実験」(日本天文学会 2015 年春季年会, 2015 年 03 月 18-21 日、大阪大学豊中キャンパス)
- ② 近藤恵介, 尾崎正伸, 堂谷忠靖:「反同時計数型 X 線 CCD 素子の、モンテカルロシミュレーションを用いた 性能評価」(日本天文学会 2015 年春季年会、2015 年 03 月 18-21 日、大阪大学豊中キャンパス)
- ③ 岩井将親, 藤永貴久, 井澤正治, 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 夏苺権, 松田佳子, 近藤恵介, 林田清, 中嶋大, 穴吹直久:「荷電粒子バックグラウンドの除去効率を高めた X 線 CCD 検出器の開発」(日本天文学会 2013 年春季年会、2013 年 03 月 20-23 日、埼玉大学)

[図書]

なし

[産業財産権]

なし

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾崎 正伸 (OZAKI, Masanobu)

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号: 90300699

(2) 研究協力者

堂谷 忠靖 (DOTANI, Tadayasu)

夏苺 権 (NATSUKARI, Chikara)

藤永 貴久 (FUJINAGA, Takahisa)

井澤 正治 (IZAWA, Masaharu)

岩井 将親 (IWAI, Masachika)

近藤 恵介 (KONDO, Keisuke)

甲斐 晋二 (KAI, Shinji)

中嶋 大 (NAKAJIMA, Hiroshi)

穴吹 直久 (ANABUKI, Naohisa)