

2011B1010

BL20B2

衛星搭載用硬 X 線ガンマ線撮像検出器の応答測定 Response Measurement of the Spaceborne Hard X-ray and Gamma-ray Imaging Detector

中澤 知洋^a, 国分 紀秀^b, 中野 俊男^c, 佐藤 悟朗^b, 萩野 浩一^b, 小高 裕和^d, 渡辺 伸^b,
三宅 克馬^a, 小林 翔悟^a

Kazuhiro Nakazawa^a, Motohide Kokubun^b, Toshio Nakano^c, Goro Sato^b, Koichi Hagino^b,
Hirokazu Odaka^d, Shin Watanabe^b, Katsuma Miyake^a, Shogo B. Kobayashi^a

^a東京大学理学部, ^b宇宙科学研究所/宇宙航空研究開発機構, ^c理化学研究所, ^dSLAC
^aSCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO, ^bISAS/JAXA, ^cRIKEN, ^dSLAC

硬 X 線、ガンマ線による天体観測の革新を図るために、Si 両面 strip 検出器(Double-sided Si Strip Detector ; DSSD)を用いた観測装置の開発が進められている。本実験では我々が浜松ホトニクス社と開発した DSSD を 5-80 keV 帯域での撮像分光検出器として使うにあたり、信号応答の場所依存性を調べた。具体的には、30 keV の X 線ビームを 6 μm \times 6 μm にコリメートしてスキャンすることで、strip 間で X 線が相互作用した時に生じる、電荷分割イベントの定量的な評価を進めた。strip 間での電荷分割イベントが生じる領域サイズを実測したところ、光電子の飛程および Si 内での electron-hole キャリアの熱拡散を組み合わせたモデルでよく合うことを確認した。同設計の DSSD は実際に「ひとみ」衛星に搭載されて軌道上で正常に動作した。

キーワード： Sistrup 検出器、DSSD、検出器応答、電荷分割イベント、「ひとみ」衛星

背景と研究目的：

新世代の宇宙硬 X 線、ガンマ線観測において、観測性能の大幅な改良を実現すべく、数 100 μm の位置分解能と、 ~ 4 keV から 100 keV 以上の帯域での分光能力を併せ持つ検出器として、Si 両面 strip 検出器(Double-sided Si Strip Detector ; DSSD)が利用されるようになってきた^{[1],[2]}。その最初の例が宇宙 X 線観測衛星「ひとみ」の硬 X 線イメージャ(Hard X-ray Imager: HXI)である。DSSD は図 1 下に示すように、両面に互いに直交する strip 電極を持ち、p-strip/n-strip それぞれで x,y 座標と波高値を得ることで、X 線の 2 次元位置とエネルギーを測定する。高速で動作し、イベントごとにセルフトリガーを立てることで、周囲を囲むシンチレータとの間で反同時計数をとって、宇宙線に由来する 2 次信号を除去し、低いバックグラウンドレベルを達成できる^[3]。

検出器で得られた信号から天体の画像やエネルギースペクトルを得るためには、入射する X 線のエネルギーと位置に対応して、検出器の各 strip 電極から出される信号のモデル、いわゆる検出器応答の理解が重要である。これには、スペクトルの分解能やテール成分、位置依存性が含まれる。strip 検出器では、Si 内部の電場分布が一樣でなく、DSSD ではこれが P-side と N-side の両面にあるため、特に strip 電極間で相互作用した X 線に対する検出器応答が複雑なものとなる。この応答を調べるには、単色の X 線をピンホールでコリメートして照射しながらスキャンして、応答の位置依存性を実測するのが、最も効率的である。しかし、通常に入手できる放射線源や X 線ジェネレータでは、光子数が不足し実効的な実験はできない。そこで、SPring-8 の高輝度の単色光をもちいて、実際に「ひとみ」衛星で使用される DSSD の応答評価実験を行った。

実験：

実験は BL20B2 で行われた。32 mm 四方で 250 μm ピッチ、500 μm 厚の 128 \times 128 ch の DSSD を使い、二結晶分光器で 30 keV 光を作り、6 μm \times 6 μm に細くコリメートした。高調波は除去せず 90 keV 光子も検出できたため、これも解析に用いた。DSSD は、「ひとみ」HXI で用いたものと同様のトレイに固定され、その信号は専用のアナログ ASIC で読み出される。トレイはアルミボックスに封入され、このボックスに -20 $^{\circ}\text{C}$ に冷却したエチレングリコールを循環させてシステムを冷却し、HXI での DSSD の動作温度 -15 $^{\circ}\text{C}$ 程度にして実験した。

実験では、10 μm ピッチで 31 ステップのスキャンを実施した。一つは N-strip の直上を、P-strip

をまたぐ方向(P サイドスキャン)に、もう一つのスキャンは、P-strip 上を N-strip をまたぐ方向(N サイドスキャン)に実施した。図 1 にセットアップの様子を示す。

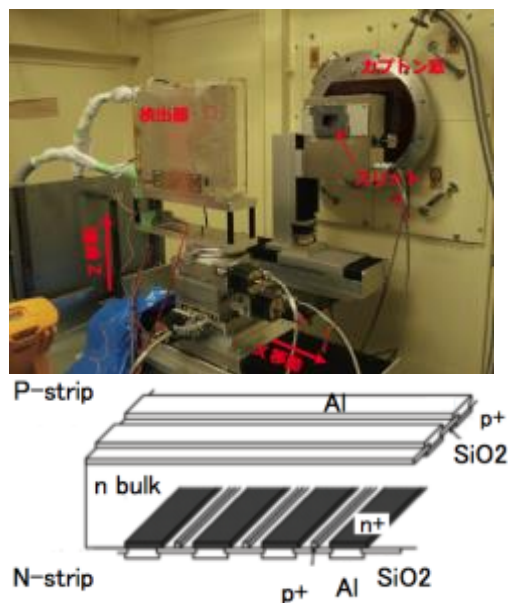


図 1. (左上) 実験のセットアップ。検出器ボックスを冷却しつつ X-Y テーブルで動かす。(左下) DSSD の電極構造の模式図。

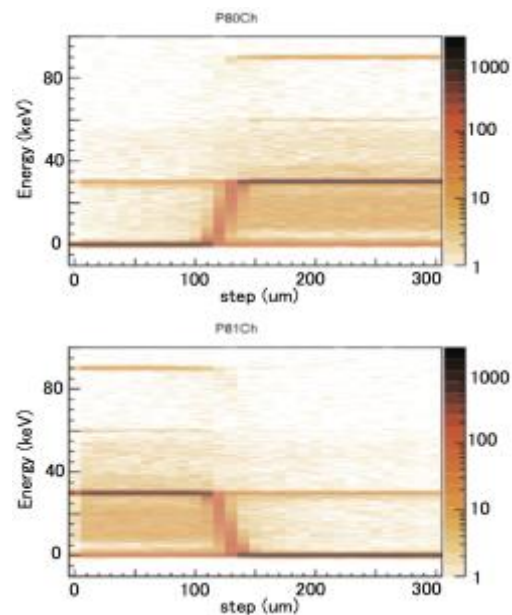


図 2. P-side スキャンの結果。横軸はスキャンステップ。17 ch 目で 30 keV 全てが検出されている状態から、16 ch と分割している領域を経て、16 ch 目に 30 keV が全て検出されている領域に至る様子がわかる。参考文献[1]より

結果および考察と今後の課題：

図 2 の測定結果から、2つの strip に電荷が分割される領域幅を FWHM で評価すると、P サイド、N サイド共に、30 keV の光子に対し 19-20 μm 、90 keV 光子に対して 36-41 μm と求められた。30(90) keV 光電子の 1 次元の飛程 5.3(35) μm と熱拡散 $\sim 6 \mu\text{m}$ だけでは説明できず、後者を約 2 倍することでこの結果を説明できる。他の実験でも同様の傾向が見られた^[1]。拡散が広がる理由はクーロン反発なども考えられるが、まだわかっていない。これにより、DSSD の応答関数を構築する上で、strip 間の電荷分割イベントを記述する数値的なモデルが 30 keV と 90 keV の帯域で確認できた。一方で、「ひとみ」HXI では 5 keV までの X 線検出が要求されており、低エネルギー側での詳しい検出器応答の評価が次の課題であった。低エネルギー光子は DSSD の表面付近で光電吸収されるため、表面の電極や SiO₂ 層の構造の影響を強く受ける。本実験で得られた理解に基づいて、ISAS/JAXA 内で 5.9 keV や 13.9 keV などの低エネルギー X 線を用いて、表面特性の評価に着目した実験を追加で実施し、これらの影響を定量化した^[4]。

本実験の DSSD と同設計の製品 8 台が、実際に「ひとみ」衛星に搭載され 2017 年 2 月に打ち上げられた。軌道上で HXI を立ち上げてから衛星が失われるまで^[5]の 13 日間、DSSD は正常に動作した。数ヶ月を超える長期安定性を除き、検出器としての優れた性能を実証できた^[4]。特にバックグラウンドの低さでは世界最高の性能を達成した^[3]。DSSD は X 線・硬 X 線検出器として今後も有力であり、次世代の衛星・検出器への応用を進めて行く。

参考文献：

- [1] T. Nakano, Master Thesis, Graduate School of Science, Univ. Tokyo (2012)
- [2] G. Sato *et al.* *NIM-A* **831**, 235-241 (2016)
- [3] K. Nakazawa *et al.* *proc-SPIE*, **9905**, 990511 (2016)
- [4] T. Miyake, Master Thesis, Graduate School of Science, Univ. Tokyo (2015)
- [5] T. Takahashi *et al.* *proc-SPIE*, **9905**, 99050U (2016)

©JASRI

(Received: March 28, 2017; Early edition: July 11, 2017;
Accepted: July 18, 2017; Published: August 17, 2017)