X線天文用 SOI ピクセル検出器の 大面積化とイベント駆動読み出しの評価

宇宙線研究室 林秀輝

次世代 X 線天文衛星「FORCE」

ブラックホール、中性子星、超新星残骸など の多くの天体が X 線で輝く

広帯域 (0.5–80 keV) かつ高感度 (3 × 10⁻¹⁵ erg cm⁻² s⁻¹) な X 線観測を実現する次世代 X 線天文衛星「FORCE」計画を推進



「すざく」搭載 X 線 CCD の 非 X 線バックグラウンド (NXB) スペクトル









X 線 CCD の時間分解能 ~ sec では、反同時計数法を 用いることができない



X 線 CCD の時間分解能 ~ sec では、反同時計数法を 用いることができない 時間分解能が良い (< 10 µs) 新しいセンサーが必要 →「XRPIX」の開発

FORCE 搭載に向けた XRPIX の開発



XRPIX	観測帯域	時間分解能	イメージング エリア	分光性能
要求性能値	0.5–20 keV	10 µs	20 × 20 mm²	300 eV (FWHM) @ 6 keV

FORCE 搭載に向けた XRPIX の開発



4

FORCE 搭載に向けた XRPIX の開発



大面積素子「XRPIX5b」の開発







読み出し口





読み出し口

XRPIX5b の全面で フレーム読み出しによる X線スペクトルの取得に成功









XRPIX5b ゲインの一様 性



XRPIX5b ゲインの一様性



読み出し口から遠いほど ゲインが小さい

→ 配線抵抗による 電圧降下が効いている

XRPIX5b ゲインの一様性



XRPIX5b ゲインの一様性



イベント駆動読み出しの流れ



イベント駆動読み出しの流れ



イベント駆動読み出しの流れ



イベント駆動読み出しの流れ



イベント駆動読み出しの流れ



XRPIX5b イベント駆動読み出し イメージ取得



XRPIX5b イベント駆動読み出し イメージ取得



XRPIX5b イベント駆動読み出し イメージ取得



正確にヒットタイミングとヒットアドレスを出力している

XRPIX5b イベント駆動スペクトルの問題



XRPIX5b イベント駆動スペクトルの問題



XRPIX5b イベント駆動スペクトルの問題



XRPIX6D イベント駆動読み出し X線スペクトル



イベント駆動読み出しで各X線の輝線を分離することに成功

XRPIX6D イベント駆動読み出し X線スペクトル



イベント駆動読み出しで各X線の輝線を分離することに成功

Double SOI により回路層とセンスノードとの 干渉が抑えられたことを示唆している

11

X線スペクトル バックバイアス電圧 (Vb) 依存性

X線スペクトル バックバイアス電圧 (Vb) 依存性



X線スペクトル バックバイアス電圧 (Vb) 依存性



フレーム読み出しとイベント駆動読み出しでは トリガー回路を用いるか用いないかの違いだけでなく、 シャッターを閉じるタイミングも異なる

X線スペクトル バックバイアス電圧 (Vb) 依存性



12

X線スペクトル バックバイアス電圧 (Vb) 依存性

























電荷収集時間が速い成分と遅い成分の2種類が存在する





電荷収集時間が速い成分と遅い成分の2種類が存在する 絶縁層とセンサー層との間の界面のトラップ準位での トラップ・デトラップが原因ではないか

イベント駆動・フレーム読み出し スペクトル比較



イベント駆動読み出しの分光性能がフレーム読み出しに迫っている

イベント駆動・フレーム読み出し スペクトル比較



イベント駆動読み出しの分光性能がフレーム読み出しに迫っている

FORCE 搭載に向けて大幅に性能を向上させた (FORCE の分光性能の要求値 300 eV (FWHM) @ 6 keV)

まとめ

- ◆ FORCE 搭載に向けて、XRPIX を開発しており、「イベント駆動読み 出し」により、~ 10 µs の時間分解能を実現する。
- ◆ 大面積素子である XRPIX5b の全面でフレーム読み出しによる X 線ス ペクトル取得に成功し、領域ごとの性能差がほぼないことも確認した。
- ◆ XRPIX5b でイベント駆動読み出しによる X 線イメージの取得に成功。
- ◆ イベント駆動読み出しでの X 線スペクトルの問題は、Double SOI 構造 の導入により解決した。
- XRPIX6D で FORCE の要求性能値に迫る 346 ± 11 eV (FWHM)
 @ 6.4 keV のエネルギー分解能をイベント駆動読み出しで達成。

Back up

速さが異なる2成分の電荷収集の解釈



絶縁層とセンサー層との間の界面のトラップ準位での 信号電荷のトラップ・デトラップが原因で 電荷収集時間が遅くなっているのではないかと考えている

ピクセル境界での電荷損失

⁵⁷Co BI Spectra (Double Events)



空乏層が薄い

















stnuoJ スペクトル

XRPIX5b イベント駆動 スペクトル異常の原因

コンパレータの論理の反転が 影響を与えることで アナログ信号電圧が トリガー閾値電圧に張り付く

イベント駆動の流れ

次世代 X 線天文衛星「FORCE」

埋もれた活動銀河核

超巨大ブラックホールの形成過程

10⁶–10⁹ *M*_☉ の超巨大質量ブラックホールは いかに形成されたか? → 活動銀河核 (AGN) 2–10 keV 帯域での AGN の 空間数密度の赤方偏移依存性 (Ueda+2014) 「ダウンサイジング」現象

しかし、塵やガスに深く埋もれた AGN は 右図には含まれていない

