P-145

X線SOIPIX検出器のサブピクセルレベルの相対検出効率の改善

根岸　康介[1]

幸村 孝由[1], 萩野 浩一[1], 小木曽 拓[1], 大野 顕司[1], 鑓田 敬吾[1], 玉澤 晃希[1], 鶴 剛[2], 田中 孝明[2], 松村 英晃[2], 立花 克裕[2], 林 秀輝[2], 原田 颯大[2], 森 浩二[3], 武田 彩希[3], 西岡 祐介[3], 武林 伸明[3], 横山 聖真[3], 福田 昂平[3], 新井 康夫[4], 倉知 郁生[4], 三好 敏喜[4], 岸本 俊二[5]

1) 東京理科大学, 2) 京都大学, 3) 宮崎大学, 4) KEK IPNS, 5) KEK IMSS

➢ Abstract

我々は、次世代の X 線天文衛星搭載用に、SOI 技術を用いたイベント駆動型ピクセル検出器であるXRPIX(X-Ray soiPIXel)を開発している。XRPIX は、各ピクセルにイベントトリガー出力機能を持ち、ノイズを低減するためにCDS(Correlated Double sampling)機能を兼ね備え、高い時間分解能 (数 μs) を実現する。さらに，検出器の周囲をシールドカウンターで囲み、検出器からの信号と反同時計数を行うことでNXB(Non X-ray Background)の大幅な除去が可能になり、観測できるエネルギー帯域は0.5-40 keVにまで広がる。

先行研究[1]より、SPring-8 において XRPIX1b に対し、10 μmϕに絞った 8 keV のX 線ビームを素子の回路層側から照射した結果、ピクセル中心部に比べ、境界付近で約20%程度まで相対検出効率が低下していることが分かった。 これは、ピクセル回路の配置によるセンサ内部の電場構造への影響が原因と考えられるため、我々はピクセル回路の配置を変更した素子を作成した。

本研究では、ピクセル回路の配置を改良した素子 XRPIX3b に対し、KEK-PF において4 μmϕ に絞った 2 – 5 keV の X 線ビームを、センサー層側から 6 μm ピッチで照射し、サブピクセルレベルの相対検出効率の評価実験を行った。その結果、XRPIX3b ではピクセル境界付近の電荷収集の向上と、相対検出効率が約75%程度にまで改善したことが確認できた。

➢ Introduction

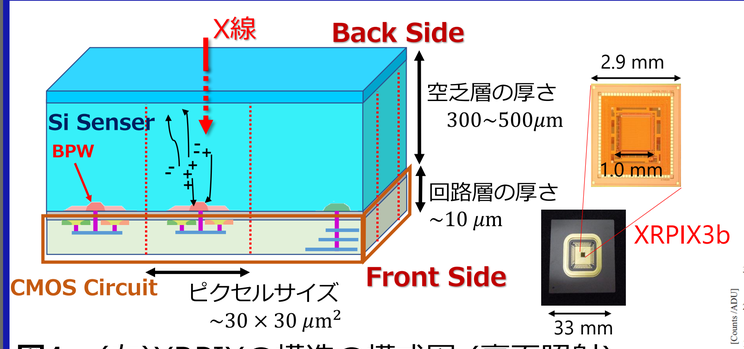


図1：(左)XRPIXの構造の模式図 (裏面照射)
(右)素子の写真

◆ **XRPIX** (**X**-**R**ay soi**PIX**el) ：センサー部（Ｘ線検出部）と読み出し回路部が一体となったCMOSイメージセンサー

◆ **BPW** (Buried P-Well) と呼ばれる薄いP層を、CMOS 回路の直下にあたるセンサー部分に形成し、**バックゲート効果**を抑制。

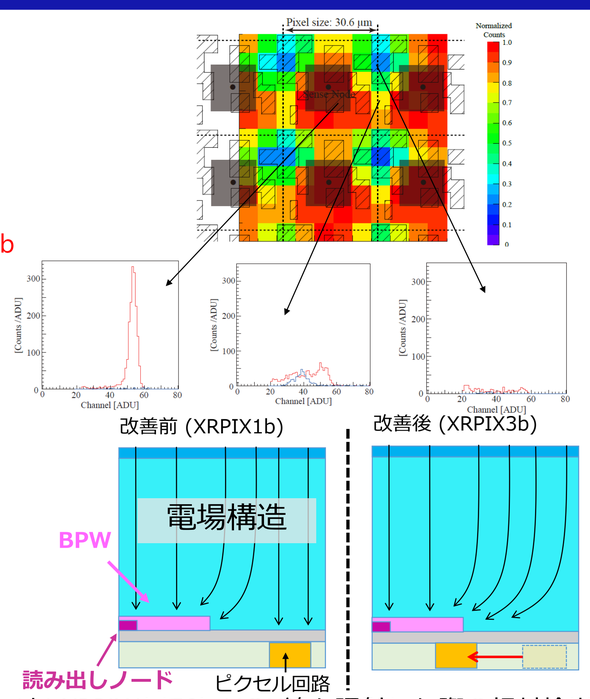


図 2：(上) XRPIX1bに8keVのX線を照射した際の相対検出効率。斜線部はピクセル回路、黒い四角がBPW。スペクトルは、ピクセル中心付近と境界付近から抽出。[2]
(下) レイアウト変更前後のXRPIXの断面図。黒い矢印は電場の向きを表す。

◆先行研究[1]より、**XRPIX1b**ではピクセル内の検出効率がBPWから離れているピクセル回路の場所ほど悪く、4ピクセルの境界では約20%程度であった。（**図2.上**）

◆２および４ピクセル境界では、スペクトルの形が潰れていて、電荷を正しく収集できていなかった。

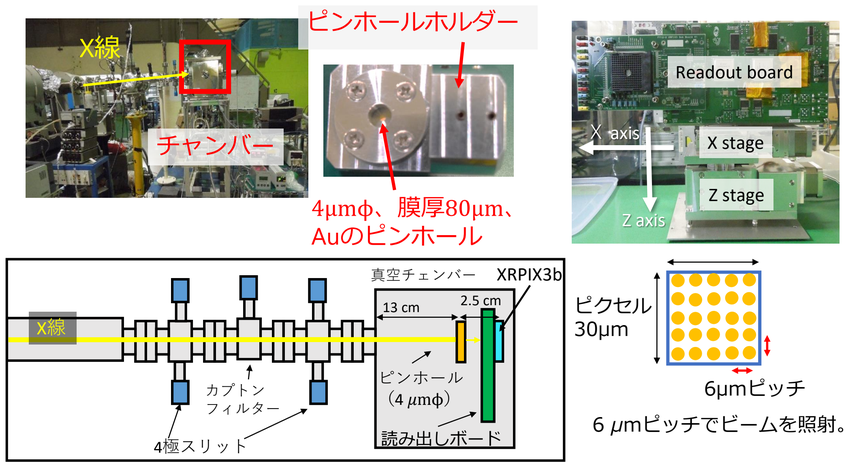
◆電場シミュレーションの結果、それは、ピクセル回路がセンサー層の電場構造を歪めていることが原因と判明した。

◆そこで我々は、ピクセル回路がBPWの真上にくるようにレイアウトを変更した新たな**素子XRPIX3b**を作成した。

XRPIX3bについても同様にサブピクセルレベルでの相対検出効率の違いを調べる実験を行った。

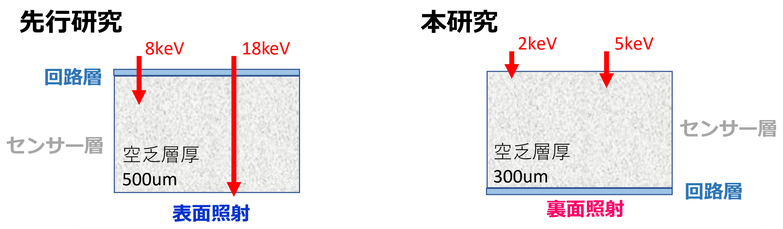
➢ Present Study

◆2017年 4月に高エネルギー加速器研究機構の放射光施設(KEK-PF)内のビームラインBL-11Bにおいて実験を行った。



BL-11Bの実験セットアップの上から見た概略図。

図3：BL-11Bの実験セットアップ写真と上から見た概略図。XRPIX3bには、ピンホールで4μmΦに絞ったビームを照射。本実験では、ステージを6 μmピッチで動し、ビームを最大で3×3ピクセルの領域（計255箇所）に照射。



	先行研究		本研究	
実験場所	SPring-8		KEK-PF BL-11B	
素子	XRPIX1b		XRPIX3b	
空乏層厚	500		310	
照射方向	表面照射		裏面照射	
照射エネルギー[keV]	8	18	2	5
吸収長[um]	70	500 (貫通)	2	20
回路層からの距離[um]	60		300	280

図4：先行研究と本研究の測定条件の比較

1ピクセル内のカウントマップ

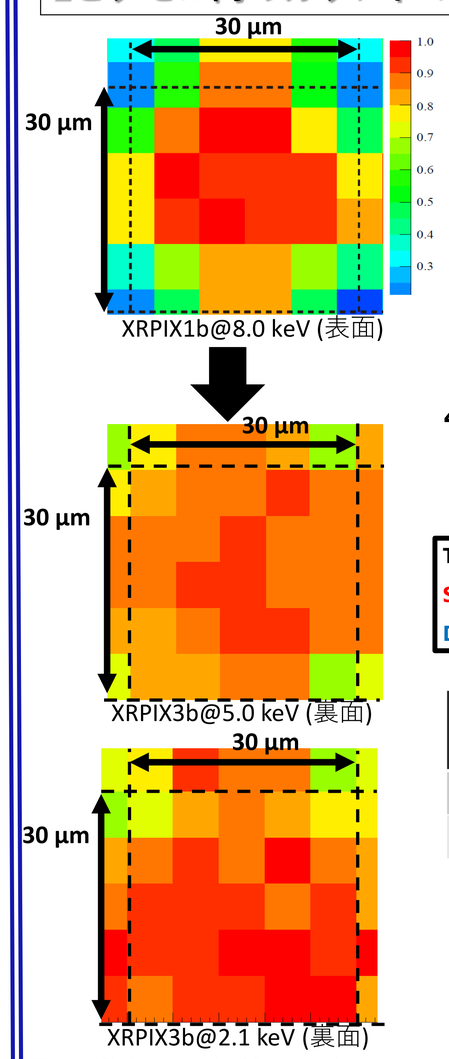


図5 :総カウント数の二次元マップ
最大値を1として規格化。

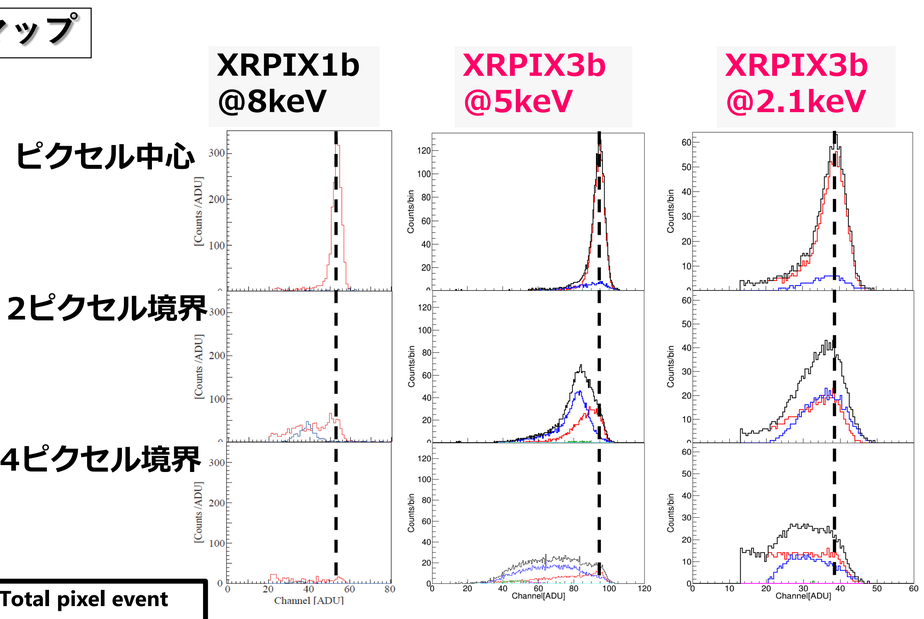


図7:素子、エネルギー毎のピクセル中心付近と境界付近のエネルギースペクトル。

	XRPIX1b @ 8.0 keV	XRPIX3b @ 5.0 keV	XRPIX3b @ 2.1 keV
2ピクセル境界	$81.1 \pm 2.8\%$	$97.9 \pm 2.3\%$	$89.4 \pm 4.1\%$
4ピクセル境界	$22.4 \pm 1.2\%$	$76.3 \pm 1.9\%$	$74.0 \pm 3.2\%$

◆2ピクセル境界(@5.0 keV)では、検出効率の悪化は見られない
◆4ピクセル境界では、相対検出効率が75%程度にまで改善
◆ XRPIX1bと比べ、XRPIX3bではエネルギースペクトルの形状が改善
→　電荷収集の向上

➢ Summary

- 先行研究で使用した XRPIX1b と比較し、ピクセル回路の配置を変更した XRPIX3b では、ピクセル境界付近の電荷収集効率が改善された。
- 4ピクセル境界でもエネルギースペクトルが得られ、相対検出効率は約20%から75%程度まで向上した。
- ピクセル回路の配置を改善した最新の素子XRPIX6では、更なる向上が見込める。

➢ Reference

[1] H.Matsumura et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 794 (2015) 255-259
[2] H.Matsumura et al., Master thesis, Kyoto University (2015)

This document is provided by JAXA.