

# Double-SOI 層を用いた X 線天文衛星用 SOI ピクセル検出器の性能評価

大村 峻一 (京都大学大学院 理学研究科)

## Abstract

X 線天文衛星で現在主流の検出器である X 線 CCD の時間分解能は数秒なので、ブラックホールやパルサーなどの X 線天体の激しい時間変動 (msec) の観測が出来ない。そこで、私達は Silicon On Insulator (SOI) 技術を用いて、検出部と読み出し回路が一体型の X 線天文衛星用 SOI ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は、新たに「イベント駆動」という、X 線の入ったピクセルのみを読み出す方法を用いることで、数マイクロ秒という時間分解能を達成できる。これまでの開発で、一体型の検出部と読み出し回路の間で電氣的な干渉があり、その結果読み出しノイズが下がらない問題が明らかになっている。そのため、検出部と読み出し回路の間に新たに silicon 層を挟むことで両者の干渉を切ることを目的に、新たに Double-SOI ピクセル検出器を開発した。これまでに Am-241X 線源を用いた常温での X 線照射実験を行い、X 線スペクトルの取得に成功した。今講演ではその結果を中心に、Double-SOI 型の XRPIX 素子の性能について述べる。

## 1 Introduction

現在の X 線天文観測の主流で使われているイメージセンサーである X 線 Charge Coupled Device (CCD) カメラは、優れたエネルギー分解能 ( $\sim 130$  eV in FWHM at 6 keV) と小さいピクセルサイズ ( $\sim 20\mu\text{m}$ ) による優れた空間分解能を持っている。しかし、電荷を転送して読み出すという構造上、時間分解能が数秒ほどしかなく、非 X 線バックグラウンド (Non-X-ray Background: NXB) のため、観測可能なエネルギー帯域が 10keV 以下に制限されてしまっている。

そこで我々は、Silicon-on-Insulator (SOI) 技術を用いたセンサーである SOIPIX に着目し、京都大学が主体となり X 線天文学用として「XRPIX」を開発している。XRPIX は X 線が入射したピクセルのみを読み出すイベント駆動読み出し機能を備えているので、 $\sim 10\mu\text{s}$  の高い時間分解能を達成できる。また、その読み出し速度により、反同時計数法を用いる事で効率的に NXB を除去する事ができ、観測可能なエネルギー帯域が 40keV まで広がるだろうと期待されている。

XRPIX は、CMOS 用の低抵抗の Si 回路層、X 線検出用の高抵抗の Si センサー層、その間にある BOX 層の三層で構成されている。それぞれのピクセルには回路層とセンサー層をつなぐセンスノード ( $p^+$ ) があり、それによりセンサー層で集められた電荷が回

路層に運ばれる。センサー層にはバックバイアス電圧を印加し、それにより空乏化させセンサーとして駆動させる。また、CMOS 回路のバックゲート効果を抑えるために、センサー層にはセンスノードとつながる形で BPW が設置されている。これにより電荷収集能力も上がっている。

しかし過去の測定で、イベント駆動読み出しにおいて、すべてのピクセルで読み出すフレーム読み出しに比べてエネルギー分解能が良くないということが明らかになった。その原因の一つとして、イベント駆動読み出し時に、イベントが来たことを伝えるトリガーが信号を発すると、回路層とセンサー層の間で電氣的干渉が発生してしまうことが挙げられる (Takeda et al. 2014)。そこで我々は、干渉を抑えるために、BOX 層内に新たに middle Silicon 層を挿入した XRPIX3-DSOI を作成した。今回、この XRPIX3-DSOI の動作を確認した結果を述べる。

## 2 XRPIX3-DSOI の仕様

XRPIX3-DSOI は 1 つのピクセルサイズが  $30\mu\text{m}$  角で、全部で  $32 \times 32$  個のピクセルがある。厚みは  $260\mu\text{m}$  で、DSOI 層は BOX 層の間にセンスノードを除いた一面に設置されている。この XRPIX3 のピクセル半分はソースフォロワー回路、もう半分は CSA

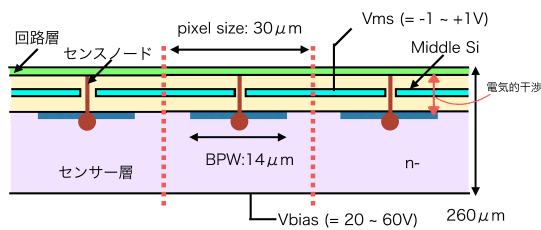


図 1: XRPIX3-DSOI の断面図

回路が使われているが、今回はソースフォロワー回路を備えたピクセルのみで実験を行った。

### 3 レーザー照射実験

XRPIX3-DSOI は XRPIX で初めて middle Silicon 層を挿入した素子であるため、動作確認をすることが必要である。まず、レーザー光を照射し、素子の反応を確認する実験を行った。この時、常温 (25 ) 下で、バックバイアス電圧 ( $V_{bias}$ ) は 30V に固定し、middle silicon 電圧 ( $V_{ms}$ ) を変化させて測定した。図 2 は積分時間が 1ms のときの波高値である。middle silicon 層に印加する電圧を 0.6V 以上にしたときにレーザー光が見えるようになることがわかる。

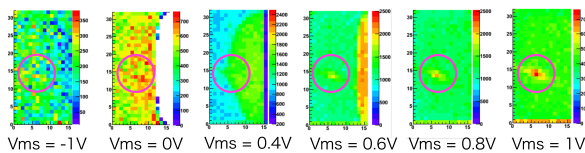


図 2: レーザー光を照射したときの各ピクセルの波高値

### 4 XRPIX3-DSOI のスペクトル

レーザー照射試験で middle silicon に +0.6V 以上の電圧を印加したときにイベントを取得できることが分かったので、実際に  $V_{ms} = +1V$  にし、 $^{241}\text{Am}$  を用いて X 線測定をフレーム読み出しモードで、常温、 $V_{bias} = 30V$ 、積分時間 1ms の下で行った。比較

のために、middle silicon 層を持たない XRPIX3b-singleSOI (XRPIX3b-SSOI) でも同様の実験を行った。

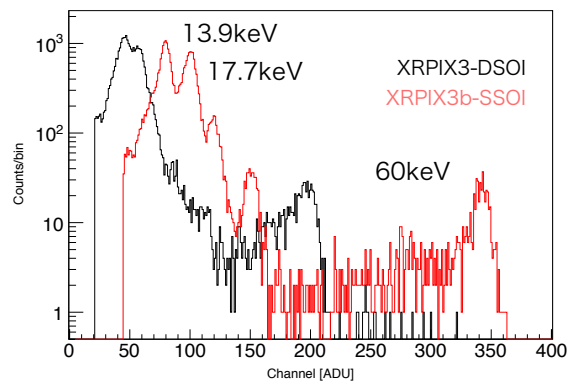


図 3: XRPIX3-DSOI と XRPIX3b-SSOI の  $^{241}\text{Am}$  スペクトル

図 3 黒線が示すように、DSOI 型の XRPIX で初めて X 線の検出に成功した。しかし、XRPIX3b-SSOI にくらべ、XRPIX3-DSOI のゲインが  $V_{bias} = 30V$  下で 0.5 倍に下がった。また、XRPIX-DSOI に印加するバックバイアス電圧量を変化 ( $V_{bias} = 20 \sim 60V$ ) させて  $^{241}\text{Am}$  のスペクトルを測定し、エネルギー較正から求めたゲインを図 4 に示す。バックバイアスを高くするにつれ、ゲインが下がっていることがわかる。この現象は、middle Silicon を持たない素子では見えないものである。

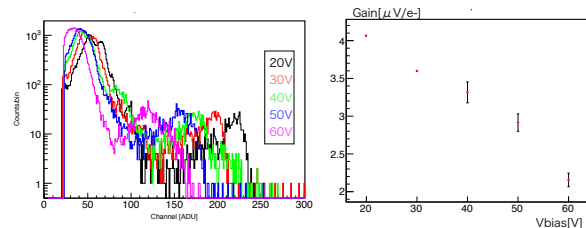


図 4: XRPIX3-DSOI と XRPIX3b-SSOI の  $^{241}\text{Am}$  スペクトル

### 5 今後の素子開発にむけて

今回性能試験をした XRPIX3-DSOI は、イベント駆動読み出しにおける回路層とセンサー層の電氣的

干渉を断ち切るために開発した素子であり、X 線を検出する能力を持つことがわかった。しかし、middle Silicon 層を挿入したことにより、ゲインが下がる、バックバイアス電圧でゲインが変わるなどのこの素子特有の現象が多く見られた。今後の試験では、これらの原因を究明するとともに、本来の目的である電氣的干渉の評価を行っていく予定である。

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

## Reference

- A. Takeda et al. 2014, PoS(TIPP2014)138
- A. Takeda et al. 2015, Journal of Instrumentation, 10, C06005
- H. Matsumura et al. 2015, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 57753
- Miyoshi et al.2013, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 732, 530-534