

# 国産による低ノイズ大面積近赤外線イメージセンサーのCo60放射線試験

中屋秀彦(国立天文台)

鹿野良平(国立天文台)、山田良透(京都大学)、永山貴宏(鹿児島大学)、川端弘治(広島大学)、長田哲也(京都大学)

## 天文観測用近赤外線イメージセンサー

微光天体観測に用いる高感度・低ノイズな近赤外線イメージセンサーは、米国一社によるHgCdTe(水銀・カドミウム・テルル)センサーしか使えるものがない。米国製センサーは輸出規制もあり、入手には手間・時間・費用が非常にかかる。例えば、科研費 基盤(A)では1k×1k素子の購入も難しい。

国立天文台先端技術センターでは、すばる望遠鏡による超広視野近赤外線観測を目指し、国内メーカーによる天文観測用InGaAs(インジウム・ガリウム・ヒ素)近赤外線センサーの開発に成功した(図1)。RoHS規制(EUにおける危険物質制限令)に触れるHgCdTeセンサーと比較して、InGaAsセンサーは工業用としてすでに普及しており、国産が可能であり、比較的安価に、かつ長期に渡り安定した供給が期待される。波長0.9-1.6μmに感度があり(冷却時)、量子効率は70%前後である。

開発した素子の画素フォーマットは15μm画素の1280×1280であり、InGaAsイメージセンサーとしては世界で2番目に大きいサイズである<sup>2</sup>。天文観測に必要な低ノイズ(約10 e<sup>-</sup>、図2)・低暗電流(0.1 e<sup>-</sup>/sec/pixel以下)を実現し、米国製センサーと同等以上の性能を達成している。また、最小限の不感エリアで広視野を実現するため、3辺斜なし形状(3-side buttable)となっている。これらの条件を満たす天文観測に適したInGaAsイメージセンサーは世界唯一である。

既に広島大学や鹿児島大学で試験観測を行っているほか(図3、4)、京都大学3.8mせいめい望遠鏡、東京大学アタカマ天文台6.5m望遠鏡の観測装置にも搭載される予定である。

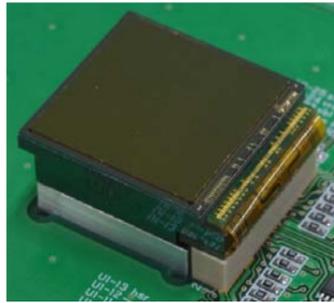


図1 開発した国産InGaAsイメージセンサー<sup>4</sup>  
(2019年度製造素子)

表1 開発した近赤外線センサーの仕様一覧<sup>4</sup>

画素数	1280 × 1280
画素サイズ	15μm × 15μm
イメージエリア	19.2mm × 19.2mm
出力ポート	2ポートまたは8ポート
読み出し時間	4.2秒または1.0秒 (200k pix/s/portの時)
感度波長域	0.9-1.6μm(冷却時)
量子効率	70%前後
読み出しノイズ	
ダブルサンプリング	約10 e <sup>-</sup>
マルチサンプリング	約4 e <sup>-</sup>
暗電流	0.1 e <sup>-</sup> /s/pix以下(130K)
3辺バタブル	
並べた時のフィルファクター	0.64

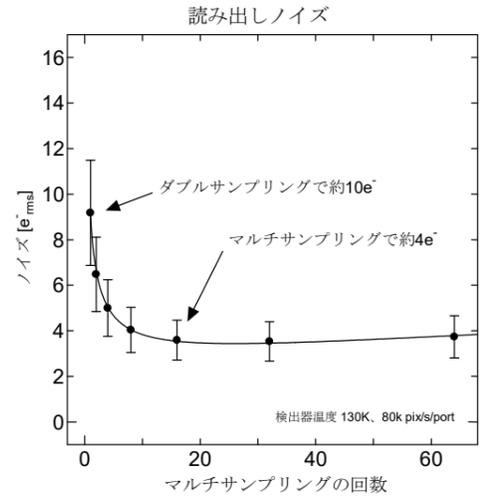


図2 読み出しノイズ<sup>4</sup>

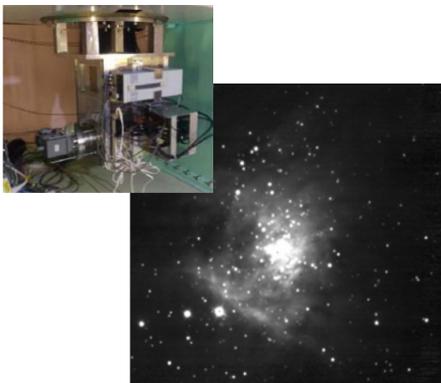


図3 鹿児島大学1m望遠鏡によるオリオン星雲<sup>4</sup>  
(Jバンド、波長1.3μm、2016年度製造素子による)  
2019年3月天文学会 V217a 永山

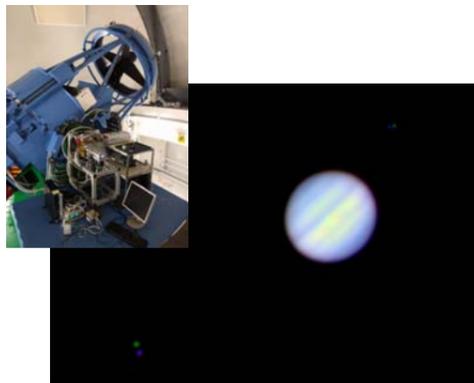


図4 広島大学1.5mかなた望遠鏡による木星<sup>3</sup>  
(Y、J、Hバンド、2016年度製造素子による)  
2017年9月天文学会 V238b 森



図5 InGaAsイメージセンサー用エレクトロニクス<sup>3</sup>  
(国立天文台先端技術センターでKEKと共同開発、一部Hyper Suprime-Camのエレキを利用)

## 国産InGaAsイメージセンサーのCo60放射線試験

このイメージセンサーは微光天体観測や光子に限られる分光観測などに広く活用することができるため、赤外線位置天文観測衛星JASMINEグループと協力し、国産InGaAsイメージセンサーの宇宙用化を目指してコバルト60によるガンマ線照射試験を行った。

照射試験は1280×1280素子と同じ画素回路を持つ小型の予備試作素子を用いて合計26kradを照射した。その結果、読み出しノイズの悪化と低温での暗電流増加が認められた。

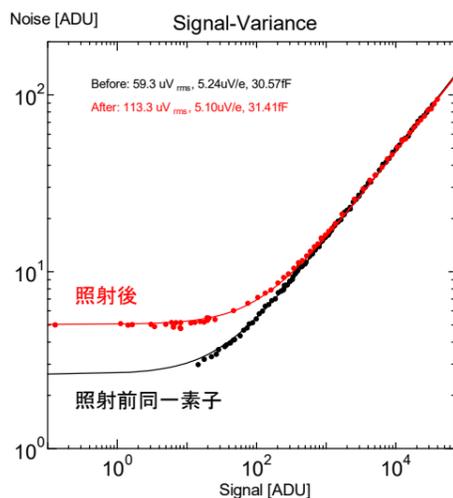


図6 変換係数(120K)

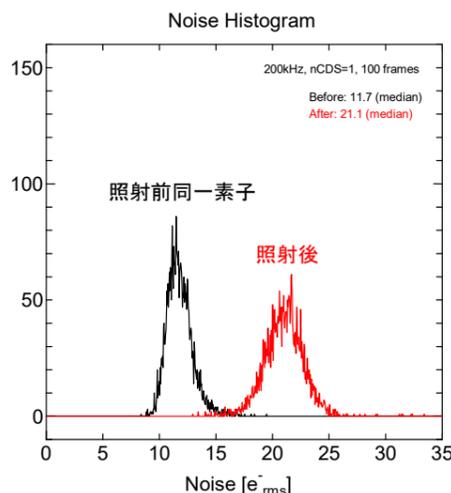


図7 ノイズヒストグラム(120K)

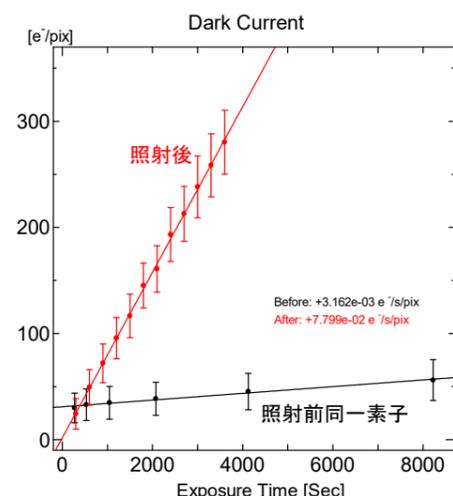


図8 暗電流(120K)

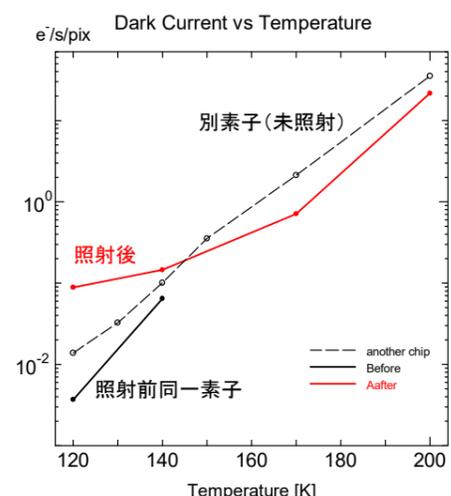


図9 暗電流と温度の関係

- ・東京工業大学先端原子力研究所のコバルト60照射施設で行った。
- ・照射日時 2020年9月18日 11:11-14:41
- ・7.4 krad/h × 3.5h = 26 krad
- ・照射はセンサーのみに当たるよう、周辺機器は鉛ブロックにより遮蔽した。

- ・素子
- ・2018年度製造の予備試作素子128x128x15μm□、シリアル番号18J00001
- ・1.3k素子に採用した画素回路
- ・国立天文台に持ち帰り、冷却して測定した。

- ・変換係数(図6)
- ・フォントランスファーカーブから算出する。傾きが変換係数、Y切片がノイズを表す。
- ・照射前 5.24uV/e<sup>-</sup> → 照射後 5.10uV/e<sup>-</sup> **有意な変化なし**

- ・ノイズヒストグラム(図7)
- ・最短露出時間100枚から、画素ごとの標準偏差を計算した。
- ・照射前 11.7 e<sup>-</sup> → 照射後 21.1 e<sup>-</sup> (中央値) **ノイズは1.8倍に悪化**

- ・暗電流(図8)
- ・異なる露出時間のデータから傾きを求める。
- ・照射前 0.003 e<sup>-</sup>/s/pix → 照射後 0.078 e<sup>-</sup>/s/pix @120K **暗電流は25倍に悪化**  
(Beforeデータにオフセットがあるのは測定方法によるもの)

- ・暗電流と温度の関係(図9)
- ・同じ素子の照射前データ(黒実線)は120Kと140Kのみのため、別素子(未照射)のデータ(黒破線)とも比較を行った。
- ・暗電流は120Kでは有意に増加しているが、温度の高いところ(およそ150K以上)では変化はない。(温度の高いところでは、ガンマ線による暗電流増加はわからない。)
- ・暗電流の多いホットピクセルが増加しているが、本発表のプロットではsigma clipによりホットピクセルが除かれている恐れがあり、評価方法の改善が必要である。

- ・JASMINEとしては、問題ない結果となった。
- ・ノイズの悪化は許容範囲
- ・暗電流については、使用温度180Kを想定しているため、影響はない。

## 謝辞

- ・東京工業大学先端原子力研究所のコバルト60照射試験でお世話になった方々にお礼申し上げます。ありがとうございました。
- ・InGaAsイメージセンサーの開発はすばる望遠鏡用超広視野カメラの開発を目指してJSPS科研費17H01117、26247029の助成を受けて行ったものです。

## Reference

1. Majid Zandian, et al., "Performance of science grade HgCdTe H4RG-15 image sensors", Proceedings of the SPIE, Volume 9915, id. 99150F, 2016
2. A. D. Hood, et al., "Large-format InGaAs Focal Plane Arrays for SWIR Imaging", Proceedings of the SPIE, Volume 8353, id. 83530A, 2012
3. 中屋秀彦 他, JSPS科研費「超広視野撮像観測のための新しい低ノイズ大面積近赤外線検出器の開発」研究成果報告書、26247029, 2014-2016
4. 中屋秀彦 他, JSPS科研費「超広視野撮像観測に用いるCCDと同じ空間分解能の低ノイズ近赤外線検出器の開発」研究成果報告書、17H01117, 2017-2019