## Zero dark current in H2RG detectors: it is all multiplexer glow i. Michael W. Regan and Louis E. Bergeron, 2020

Abstract. We present the analysis of James Webb Space Telescope near-infrared H2RG detectors with a 5- $\mu$ m cutoff, which shows that, at temperatures <60 K, there is no measurable dark current. Instead, the observed signal in dark exposures is almost entirely due to multiplexer glow that arises as each pixel is selected. We are able to separate the per-sample glow from the timedependent dark current by comparing the observed signal in both continuous and sparsely sampled dark exposures. Such explicit tests are required to break the degeneracy between dark current and uniform amplifier glow. We show that the glow is lower within the regions of the detector that are missing the epoxy back fill (voids). We also find that the glow from each pixel extends out to a radius of several pixels. Because of the higher sampling frequency of subarray observations, the per-sample glow leads to a higher apparent dark current in subarray exposures. Finally, we show that the magnitude of the glow is affected by the pixel source follower current, the pixel clocking rate, and the number of outputs running in parallel. Our measurement of an insignificant dark current shows that the detector noise is no longer limited by the quality of the mercury cadmium telluride layer but instead by the multiplexer and readout electronics. © The Authors. Published by SPIE under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License. Distribution or reproduction of this work in whole or in part requires full attribution of the original publication, including its DOI. [DOI: 10.1117/1.JATIS.6.1.016001]

## Background

NICMOSのHgCdTeアレイではオフチップアンプのグローがサンプリング回数に比 例する信号を生成していた(Fig.1)

⇒ JWSTに使用されたH2RGはオフチップアンプのグローが検出器層に到達しな いように遮光されたROICを使用したにもかかわらず、e<sup>-</sup>/sで表されるランプ画像 においてサブアレイのピクセル数に反比例した、つまり、frame/sに比例した (e<sup>-</sup>/frameが一定の)暗電流の増加が見ら

これは暗電流 + MUX glowで説明される

暗電流とMUX glowの分離 みかけの暗電流の大きさSは

 $S = FN_f/t + D \left[ e^{-}/s \right]$ 

(F:per-frame glow, N<sub>f</sub>:n<sub>sur</sub>,t:暗電流,D:暗電流)

 $t = 3300[s], n_{sur} = 300$ のランプ画像(Fig.3左)と $t = 3300[s], n_{sur} = 100$ のラン プ画像(Fig.3右)を引き算し、FとDを分離した画像を生成(Fig.4,Fig.5)



Fig. 3 Median slope image from (a) a UTR 300-frame continuously sampled dark and (b) a UTR 100-frame continuously sampled dark and (b) a UTR 100-frame sparsely sampled dark. The two images have the same total exposure time. The slope in the sparsely sampled image is significantly lover than in the continuously sampled image. This is a strong evidence for a large per-frame contribution to the slope. The detector was at 37 K and the slopes are in units of e e^-1. Fig. 4 Tr the enhan not numb the pixels complete lack of

0.0175 0.0150 0.0125 0.0100 0.0075



Fig. 6 Median slope images from the set of dark exposures taken at a range of temperatures. のランプ画像 advantation of the pixels, only the 65-K slope image shows

暗電流の温度依存性

37Kの時と同様のことを異なる温度でも行った(Fig.7,8,9)





av av<sub>7</sub> temperature: Ine units are e<sup>\*</sup>s<sup>\*1</sup>. ダーク画像は55Kまではホットピクセルの数は増えるものの、 暗電流は0近傍にとどまる



large number of hot p variance of the median 10 The nu mber of pixels with measured in e<sup>-</sup>s<sup>-1</sup>







Glow Spread Function (GSF)

JWSTで用いられるIRS<sup>2</sup>という読み出しモード(参照ピクセルを頻繁に読み出す)では 参照ピクセルに隣接するピクセルが明るくなる(glowは周りに影響を及ぼす) ⇒ 各CHの1画素のsub arrayを連続して読み出し、その影響を確認した

Full frame読

の相互作用によるもの



GSFは数ピクセルに及んでいる 
 ・ full frame読み出しの時の一様なglowは全てのピクセルのGSFの重ね合わせ
 ・ sub frame読み出しの際に、周囲にglowの小さい境界線があることを示唆

Glowのパラメータ依存性

- Glowは -スフォロワの電流 1.
- 2.
- 読み出しチャンネルの数
- クロッキングレート 3 に依存

-スフォロワの電流

ソースフォロワの電流を大きくするとper frame glowが大きくなる。逆に小さくすると、 セトリング時間が長くなり、たとえばホット ピクセルの次に読み出されたピクセルも 大きなカウントを持つようになる



measured per-frame glow as a function of the current provided to the pixel so oth full frame and subarray. Note that, at higher current levels, the per-frame glo factor of two higher than in full frame.

## ・クロッキングレート

- Glowの大きさはピクセルのアドレス指定の時間に 比例する(クロッキングレートに反比例する)
- Per frame glowの波長 Glowは2.5µm cutoffの方が 5µm cutoffよりも小さい ⇒ glowが熱電子制動放射に 由来することに矛盾しない

"Rule07"というMBE HgCdTe検出器の暗電流の大きさを表す経験的な式から導出 した暗電流の大きさに比べ、今回の測定結果は3倍ほど大きい。

1.ホットピクセルが多すぎてホットピクセルの影響を受けている 2.熱放射の影響を受けている

実験により、検出器が37Kの時、>68Kの熱幅射を検知できることが判明。 またその時のmorphologyがダーク画像のパターンに似ている。 65Kという値は68Kに近いため、65Kでの暗電流の増加に見えるものは検出器



Fig. 18 A dark slope image during a cooldown when the detector is at an operating temperature c 37 K, but the blank in front of the detector has not cooled down and is still at ~75 K. This overa morphology is very similar to what we see in the 65-K dark slope image (Fig. 7). The units ar

## 意義

暗電流の温度依存性が思ったよりも小さく、< 60Kでみかけの暗電流のほと んどがper frame glow

⇒ 読み出しノイズとbackgroundが小さいく、みかけの暗電流が大きい場合、 連続サンプリングよりもsparseサンプリングの方がS/Nを上げられる可能性 がある。

- JWSTの劣化による温度上昇がある程度許容できる(ホットピクセルの増加は、 ditherの回数を増やすことで対応)
- 暗電流に関してはHgCdTe層が検出器のノイズ特性に関してあまり重要では ないことが判明

⇒ 電子回路はHgCdTeの検出器層の特殊な製造技術とは違い、半導体製造 の王道なので、対費用効果の高い性能アップが期待できる



20×20[pix<sup>2</sup>]の領域を切り出したもの Voidの内側ではPlowは小さ

Fig. 13 GSF for the four single-pixel subarrays. (a) The magnitude of the glow in a slice along middle row of the subarray. (b) A log stretch of the GSF. The figures show that the GSF is as metrical with a bias to the right. This asymmetry does not depend on the read direction. We also see that the magnitude of the glow is lower inside the void.

⇒ MUXのユニットセル内のglow sourceの形状とInバンプとエポキ

metrical with a bias to the right. This asymmetry does not depend on the read also see that the magnitude of the glow is lower inside the void. GSFの形状は読み出し方向によらず左側に伸びている







```
⇒ 読み出しチャンネル数により実効電流の大きさ
が違う
```



es that the p The one-sigma error bars are sma

d per-frame glow as a function of the pix selected (the inverse of the pixel clock es. The linear relationship implies that the















w from the offichip amplifier at each corner Note that high count rates at the edge of nature of amplifier



Fig. 11 The fraction of pixels above three different thresholds (0.01 e<sup>-</sup>s<sup>-1</sup>, 0.2 e<sup>-</sup>s<sup>-1</sup>, and  $2 e^{-s^{-1}}$ ) at varying detector temperatures similar to the study by Rauscher et al.<sup>7</sup> While the number increases substantially between 37 and 65 K, up to 50 K, the hot-pixel fraction is still only

0.004 0.002 0.000

ant with increasing temperatures. Note that the void do s are  $e^{-}s^{-1}$ .