



SWIMS用検出器HAWAII-2RGの評価試験

西嶋颯哉*、館内謙、本原顕太郎、小西真広、高橋英則、北川祐太郎、加藤夏子
(東京大学天文センター)

*Email: nishijima@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

1. Introduction

TAO6.5m望遠鏡は、東京大学がチリ・チャノントール山頂に建設を予定している赤外線望遠鏡です。私たちは、TAOの第1期近赤外観測装置としてSWIMS(Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph)を開発中です(Fig.1)。SWIMSの特長は、0.9-1.4 μm 、1.4-2.5 μm の2色を同時に撮像、多天体分光、面分光することができる点です。SWIMSの検出器には、Teledyne Scientific & Imaging社(TSI)のHgCdTeハイブリッドアレイ検出器、HAWAII-2RG(H2RG)を使用します(Tab.1)。H2RGの読み出しシステムは、Fig.2のように構成します。

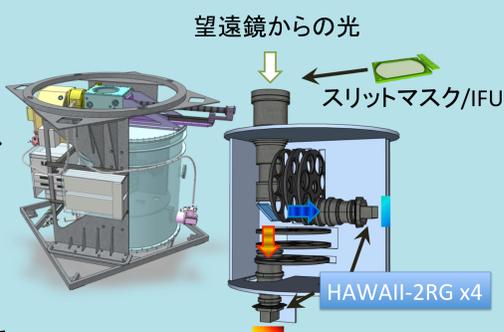


Fig.1: 装置概観イラスト



デュワー(@77K)

Fig.2: 検出器読み出しシステム

SIDECAR ASICはAD変換とクロック生成、JADE2 CardはPCへのデータ転送などを担う。読み出しにはTeledyne提供の専用ソフトウェアを使用。

項目	値
ピクセル数	2048x2048
ピクセルサイズ	18 μm
参照ピクセル数	4x4x2044
半導体結晶	HgCdTe
カットオフ波長	2.5 μm

Tab.1: H2RGの仕様

2. Setup

検出器は、デュワーを液体窒素で80K程度に冷却して駆動します。デュワーの外部から黒体炉を見せることにより入射フラックスを制御します(Fig.3)。また、狭帯域フィルターによって波長を制限します(Fig.4)。



Fig.3: 黒体炉とデュワーの配置

黒体炉からの光は矢印の経路を通してデュワー内に入射する。デュワーの窓材には白板ガラスを使用。

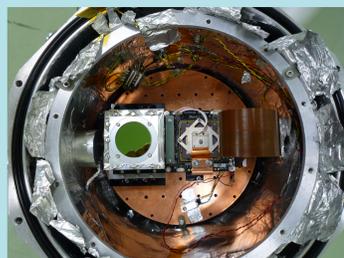


Fig.4: デュワー内部のセットアップ

左から、Radiation Shield Box(緑色の円形の物体はPa β フィルタ(1.292 μm))、SIDE CAR ASIC、JADE2 Card(常温常圧部)と接続するフラットケーブル。

3. Features of H2RG & SIDECAR ASIC

3.1. H2RG

各ピクセルには、フォトダイオードとソースフォロワがあり、SIDECAR ASICへ V_{OUT} が出力されます(Fig.5)。出力ラインは1,4,32CHから選択できます(3.2参照)。

Reference Pixel

2Kx2Kピクセルのうち、4辺それぞれに4pixずつ配置されています(Fig.6)。フォトダイオードの代わりに、対応する容量のコンデンサがあり、
 ✓ 光は検出し
 ✓ 暗電流はのらない
 ✓ 読み出しノイズはのる
 で、理想的には出力が時間変動しません。

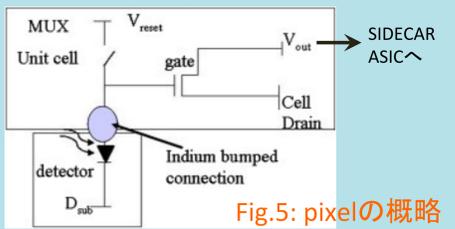


Fig.5: pixelの概略

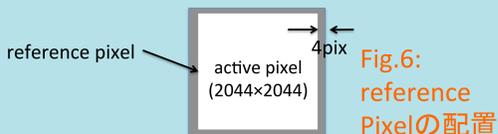


Fig.6: reference Pixelの配置

3.2. SIDECAR ASIC

H2RGからの V_{OUT} は、PreAmpで増幅されてからAD変換されます(Fig.7)。

PreAmp

V_{OUT} とReference電圧の電位差を増幅します。増幅率(=GAIN)は16段階で変更できます(Tab.2)。

多チャネル出力

Fig.7の信号処理は、最大32CHで並列処理することが可能です。使用CH数はoutput設定により1,4,32から選択します。設定に応じて、読み出し時間が変化します(Tab.3)。frame内で、各CHは短冊状に割り振られます。

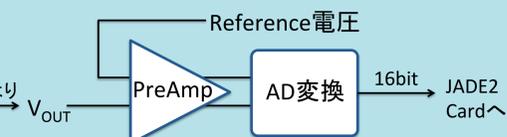


Fig.7: SIDECAR ASICでの信号処理

設定	GAIN	GAIN [dB]	output 設定	読み出し 時間
#0	0.70711	-3.01		
#1	1.00000	0.00	1CH	42s
#2	1.41421	3.01	4CH	10.6s
...	32CH	1.36s
#15	22.6274	27.09		

Tab.3: output設定

Tab.2: ゲイン設定

4. Methods & Results

4.1. ADU-エレクトロン変換係数(コンバージョンファクター)

コンバージョンファクター g_C の測定にあたっては、入射光のシグナル m とノイズ σ の比から求めるphoton-transfer法を用います($\sigma^2 = m/g_C + \sigma_{CDS}/g_C^2$)⁶が、測定値はピクセル間寄生容量(Inter Pixel Capacitance; IPC)の影響を受けるため、これを補正する必要があります。

IPCの測定

IPCによって隣接pixelに $\alpha\%$ のクロストークがあると、近傍pixelとの相関係数の比はFig.8のようになります。

flatを200枚とり、差分フレームx100枚から得られた近傍pixelの共分散行列がTab.4です。ここから隣接pixel間の相関係数 r を求め、 $r = 2\alpha(1-4\alpha)/[(1-4\alpha)^2 + 4\alpha^2]$

の関係から α が求まります。

α の測定値は、 $\alpha = 1.42 \pm 0.03\%$ となり、文献値と概ね一致する結果になりました。

-0.1163	-2.6760	4.0286	-0.4702	0.0297
0.5364	7.7983	56.7591	3.5217	-3.2228
7.4554	62.7760	2050.0450	63.0373	6.2968
3.4775	6.8495	59.4528	4.9585	1.6963
-0.0609	0.4482	0.8714	-1.2906	1.6487

Tab.4: 5x5pixelの共分散行列

入射光2,450ADUの場合; 1.7x10⁶pix平均

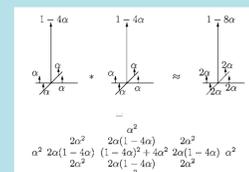


Fig.8: 近傍pixelとの相関係数の比 (Moore 2006 Fig.2より)

g_C の補正・測定値

g_C は、近似的には $g_C(\text{Corrected}) = g_C(\text{Measured}) / (1 + 8\alpha + 52\alpha^2)$ で補正されます(Fox 2009)。この式より、補正幅は~10%になります。

補正の結果、我々は $g_C = 2.4e^-/\text{ADU}$ @GAIN=5.66 なる結果を得ました。なお、CHIにより最大で+5%、-3%の差があります。

4.2. 読み出しノイズ

CDS読み出しノイズの測定値は、 $\sigma_{CDS} = 17e^-$ @GAIN=5.66となりました。

読み出しノイズは、GAIN依存して変化するAD変換によるノイズ σ_{ADC} [ADU]と、GAIN依存しない成分に分けることができます(Fig.9)。この成分分解をdetectorも含めた読み出し①とSIDECARのみの読み出し②とでそれぞれ行うことにより、読み出しシステムの各コンポーネントのノイズ成分を測定することができます(Fig.10)。

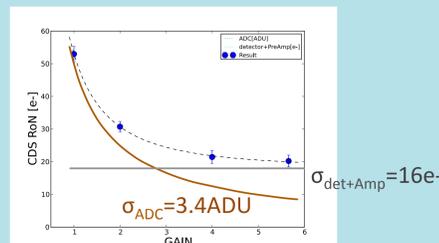


Fig.9: 読み出しノイズ(32CHの平均)のGAIN依存性とノイズの2成分分解
①の読み出しの場合。

$\sigma_{\text{det+amp}}$ (平均18e-)はCHごとに見ると最大で+15%、-19%のノイズ差があります。ピクセルにはCHごとのノイズ差は存在しないと仮定すると、フラットケーブルからPreAmpまでの間に最大で+22%、-27%のノイズ差があることとなります。

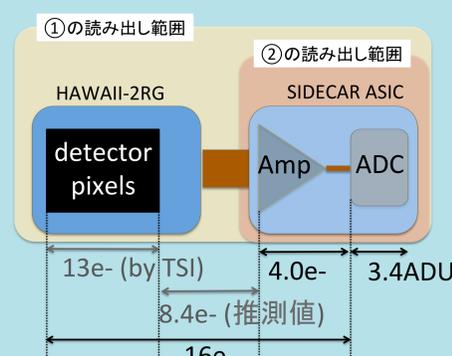


Fig.10: 各コンポーネントのノイズ成分

ほかに、読み出しノイズについて

- USBアイソレータをPCとJADE2 Card間に入れても読み出しノイズはほとんど減らない
→読み出しノイズへのPC由来ノイズの寄与は現在のセットアップではほとんどない
- Fowler(32)では~3.6e-まで軽減され、理論値($\propto 1/\sqrt{N}$)の予想通りの値になる(Fig.11)。という実験結果が得られています。

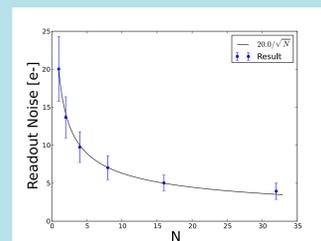


Fig.11: Fowler(N)での読み出しノイズ(ref pixより算出)

5. Summary

SWIMSに搭載する検出器HAWAII-2RGの評価試験を行い、次の結果を得ました。

- コンバージョンファクター $\alpha = 2.4e^-/\text{ADU}$ @GAIN=5.66
 - IPC補正により10%下方修正
 - 32CHのバラつきは最大+5%、-3%
- 読み出しノイズ $\sigma_{CDS} = 17e^-$ @GAIN=5.66
 - detector pixel > flat cable > SIDECAR ASIC内部ノイズ で効いている (ただし、Teledyneのレポート値が正しいと仮定)
 - 32CHのバラつきは最大+15%、-19%
 - Fowler(32)で3.6e-まで軽減

今後、同時駆動試験とそれによる読み出しノイズへの影響の測定を行う予定です。

今後のスケジュール

~2014.6	~2014.12	~2015
検出器評価試験のつづき 同時駆動試験 新デュワーでの精密試験	SWIMSデュワーの冷却試験 SWIMSデュワーへの検出器インストール 制御ソフト整備 全体のパフォーマンス試験	ハワイへ搬送 Subaru取り付け ファーストライト