

ぐんま天文台150cm望遠鏡高分散分光器の 検出器改良と性能評価

高橋 英則¹、橋本 修、本田 敏志、田口 光 (ぐんま天文台)、中屋 秀彦、鎌田 有紀子 (国立天文台)

¹ nori@astron.pref.gunma.jp, <http://www.astron.pref.gunma.jp/>

Gunma Astronomical Observatory, 6860-86 Nakayama, Takayama, Agatsuma, Gunma 377-0702 Japan

群馬県立ぐんま天文台150cm反射望遠鏡には、エシエル回折格子を用いた高分散分光器 (GAOES) が搭載されている。これは波長360~1000nmを最大で波長分解能~110,000で分光が可能な装置で、多くの観測に使用されている。現在この分光器に用いられているe2v 15μm 2Kx4KのCCD検出器は現在入手可能な検出器としては世界で最高の性能を有している。また周辺読み出し・制御回路には、すばる望遠鏡にも使用されるMfront2およびMessiaVが導入されており、より高い総合性能を実現している。

これまで検出器に実用上十分な性能を有するエンジニアリンググレード (EG) が使用されていたが、より高性能・高精度な観測に対応するため、今年度の計画としてこのCCD検出器をサイエンスグレード (SG) への交換を行った。作業は2007年10月下旬から11月初旬にかけて、国立天文台・先端技術センター内クリーンルームで行われた。その後の動作チェックにおいて、SGチップのインストールが問題なく行われたことを確認した。さらにSGチップの性能評価測定が行われた。

150cm望遠鏡および高分散分光器

可視低分散分光・撮像装置

可視CCDカメラ

観望鏡

近赤外線カメラ

150cm反射望遠鏡

光学方式	リッチ・クレチアン式反射望遠鏡
主鏡直径	160 cm
有効口径	150 cm
焦点距離	1830 cm (F/12.2)
ハルトマン定数	0.3 arcsec
架台	計算機制御経緯台式
指向精度	3.0 arcsec (rms)
追尾精度	0.7 arcsec (rms) (1.5分間)
ドーム直径	11 m
設置	1999年3月
製作	三菱電機

150cm望遠鏡外観図と仕様・性能

GAOES外観図と仕様・性能

波長域	360-1000 nm
波長分解能	75,000 (スリット 1.0"), 100,000 (スリット 0.6")
スリット長	8.0" (720μm)
検出器	e2v CCD44-82 2048 x 4096画素 (1画素 15μm x 15μm)
読み出し回路	Mfront2 + Messia-V (読み出しノイズ 3e以下)
冷却方式	ヘリウム循環冷凍機
方式	セミリトロフ
コーリメータ	レンズ方式
カメラ	レンズ方式
エシエル回折格子	R = 2.8, 31.6 gr/mm, プレズ角 71deg
クロスディスペルサ	(赤) 250 gr/mm, プレズ 600 nm, 4.5deg (青) 400 gr/mm, プレズ 415 nm, 4.8deg
限界等級	1.0等 (600nm付近) S/N: 50, 120分露出
製作	ジェネシア

e2v検出器

CCD44-82 Back Illuminated High Performance CCD Sensor
e2v CCD44-82-3-952
Serial # 8433-16-1

GENERAL DATA

Format

Image area 30.7 x 61.4 mm

Active pixels (H) 2048

(V) 4096 + 6

Pixel size 15 x 15 μm

Number of output amplifiers 2

Number of underscan (serial) pixels 50

The device has a 100% fill factor.

Package

Format invar metal package with PGA connector

Focal plane height above base 14.0 mm

Package size 31.7 x 66.6 mm

Package weight 150 g

Number of pins 40

Inactive edge spacing:

sides 500+/- 50 μm

top 160+/- 50 μm

bottom (edge connections) 5.0 mm

TYPICAL PERFORMANCE (@ 173 K)

Pixel readout frequency 20-1000 kHz

Output amplifier sensitivity 6.0 μV/e

Peak signal 200 ke/pixel

Spectral range 200-1060 nm

Readout noise (@ 20 kHz) 2.5 e⁻ rms

QE @ 500nm 90%

Charge transfer efficiency 99.9995%

TYPICAL SPECTRAL RESPONSE
(At -90 °C, measured with astronomy broadband AR coating)

測定

測定

測定期間 2007年10月22日~11月2日

測定場所 国立天文台・先端技術センター

測定温度 -100 °C (173K) ~ -120°C (153K)

冷却装置 ジェネシア製GAOES専用クライオスタット

冷凍機 Iwatani製ヘリウム循環型冷凍機

読み出し・制御回路
・ Mfront2+MessiaV

測定条件
・ 外部照射 (赤色LED) with シャッター
・ X線 (55Fe) with Be窓
・ ダーク

```

set_clock_tick 1
operation_type 25
Serial_shift (CCD_20u)
S S S S R D D S T C C C C S S
W W C C C P R B D S S M P
R H A S S M Y E U
E T
start 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
t 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
t 12 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
t 25 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
t 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
t 25 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
t 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
t 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
end.

```

1x1bin, CDS_T=2μsecのシリアル転送クロックパターン

電圧設定

Bias00 = + 2.007 V P12+

Bias01 = - 7.996 V P12-

Bias02 = + 2.004 V P3+

Bias03 = - 7.998 V P3-

Bias06 = + 3.005 V S+

Bias07 = - 6.992 V S-

Bias08 = + 3.002 V SW+

Bias09 = + 2.007 V SW-

Bias10 = + 2.007 V RG+

Bias11 = + 2.007 V RG-

Bias12 = + 4.004 V DG+

Bias13 = - 7.999 V DG-

Bias14 = - 4.997 V OG1

Bias15 = - 3.998 V DG2

BHV00 = +10.006 V RD

BHV01 = +10.007 V DD

BHV02 = +20.010 V OD

BHV03 = +22.015 V JD

プリアンプ出力波形 (青) と CDS回路出力波形 (赤)

結果

コンバージョンファクターとノードセンシティブリティ

シャッターレス法によるフォントランスファークラップから、コンバージョンファクターが導出できる。またこれからCCDのノードセンシティブリティを見積もることが出来る。

→ CF=1.92&1.95e-/ADU (@CDS_T=2μsec)

→ Sv=5.60 & 5.67μV/e

リニアリティ

Left ch. Linearity

Right ch. Linearity

Left ch. Integral Nonlinearity

Right ch. Integral Nonlinearity

Left ch. Differential Nonlinearity

Right ch. Differential Nonlinearity

クライオスタット入射窓にシャッターを取り付け、シャッターの開時間を制御することで、入射光をコントロールする。光源には一様面光源となるように、赤色LEDを複数配置したものを利用した。これにより時間的な変動がない状態も実現できる。測定は、シャッター開時間とカウント値との相関を調べることでリニアリティを見積もることができる。

→ ADC入力範囲において、130,000e⁻まで±1%

ノイズ

左図：CDSの時間を変えたときの読み出しノイズの変化。10~20μsec付近で2.4e⁻と最小になる。実運用時間である2μsecないし4μsecで、3.1e⁻~2.9e⁻程度であり、ノイズレベルとしては非常に小さい。

右図：読み出し時間とノイズの関係。30sec以上で3e⁻以下であり、実際の観測条件においては問題のないレベルである。ノイズに関しては、左右のチップでほぼ相違は見られない。

暗電流

左図：wipeからの読み出しまでの暗電流。右図：単位時間あたりの暗電流。(いずれも上段が@173K、下段が@155K) → 1e⁻/hour/pix

暗電流画像の比較 (4x4bin, 2560sec) : EGでは引っ掻き傷のような模様が見える。さらにホットピクセルも少ない。これに対してSGでは素性がよく、ホットピクセルも少ない。

GAOES/SG-CCD性能まとめ

コンバージョンファクター : 1.92&1.95e-/ADU (CDS_T=2μsec)

ノードセンシティブリティ : 5.60&5.67μV/e

線形性 : 130,000e⁻まで±1% (ADC入力範囲内)

暗電流 : 1e⁻/pix/hour 以下

読み出しノイズ : 3.2e⁻ @ 30sec, 2.4e⁻ @ 100sec

転送時の電荷漏れ : 0.07%以下 (parallel/serial)

EGからの改善点 : 転送効率の上昇、エネルギー分解能アップ → イメージング (分光精度) 性能のアップ!