

Subpixel Response Measurement of Near-Infrared Detectors

Barron et al. 2006, arXiv:astro-ph/0611339

ABSTRACT. Wide-field survey instruments are used to efficiently observe extended regions of the sky. To achieve a large field of view and to provide a high signal-to-noise ratio for faint sources, many modern instruments are undersampled. However, in undersampled detectors, sensitivity variations across individual pixels can severely impact science programs that require high photometric precision. To address this, a near-infrared spot projection system has been developed. With this system, $1.7 \mu\text{m}$ cutoff detectors were characterized, and the effect of subpixel nonuniformity was studied. The measurements demonstrate that for detectors with near 100% internal quantum efficiency, 1% photometry can be achieved with a point-spread function (PSF) size of about half a pixel. For detectors with large subpixel nonuniformity, photometric errors become negligible only if the PSF size is more than about two pixels.

Background

特に近赤外の検出器ではピクセルサイズが大きいためアンダーサンプリングになりがち

⇒アンダーサンプリングで正確な測光を行うためにはサブピクセルの不均一性が測光に及ぼす影響をきちんと評価する必要がある。

Instruments

Spot-o-Maticという検出器試験装置を用いてサブピクセルサイズに集光された光を使い、検出器をステップスキャンし、検出器の応答を記録することで、サブピクセル応答の測定を行う。評価する検出器は以下の表にある5つ。

TABLE 1
LIST OF NIR DETECTORS TESTED WITH THE SPOT-O-MATIC

NIR Detector	Manufacturer	Device ID	Measured QE	Substrate Removed
InGaAs	RVS*	Virgo 1k	>80%	No
HgCdTe	RVS	Virgo 598141	>80%	Partial
HgCdTe	Teledyne ^b	H2RG #102	>80%	Yes
HgCdTe	Teledyne	H2RG #40	50%–70%	No
HgCdTe	Teledyne	H1RG-BA #25	20%–30%	Yes

NOTES.—The top three detectors in the table have measured quantum efficiencies (QE) over 80%, equivalent to nearly 100% internal quantum efficiency. The bottom two detectors have lower quantum efficiency and exhibit substantial nonuniform intrapixel response.

* Raytheon Vision System, Goleta, CA.

^b Teledyne Scientific and Imaging (formerly Rockwell Science Center), Camarillo, CA.

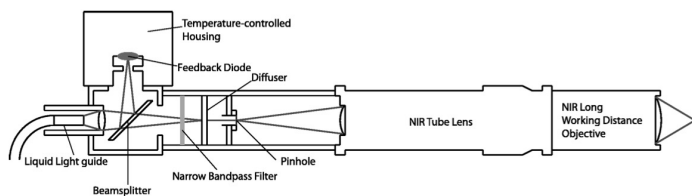


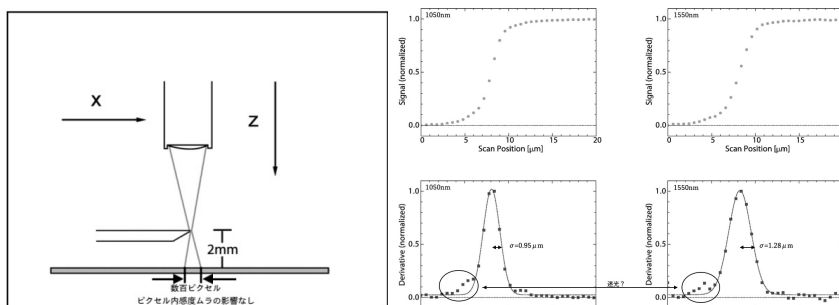
Fig. 1.—Schematic diagram of the optical components of the Spot-o-Matic. [See the electronic edition of PASP for a color version of this figure.]

Beam spot characterization

フーコー・ナイフエッジ法

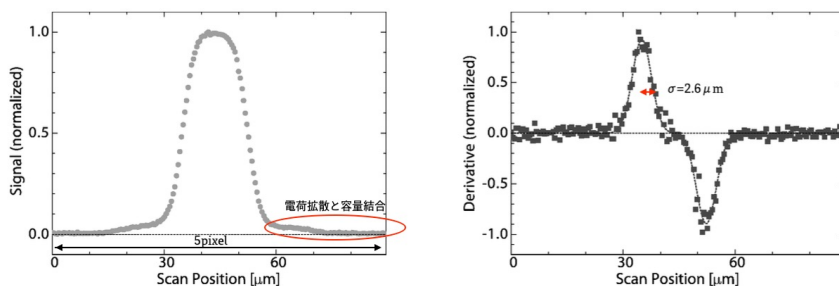
$1050 \mu\text{m}$ と $1550 \mu\text{m}$ についてエッジトレースを取得

⇒微分したものが線広がり関数



Pixel Response

1.PSF,2.電荷拡散,3.容量結合が含まれる



5ピクセル分だけスキャンした時の真ん中の画素の応答

Fig. 4.—Left: Response of an arbitrary single pixel vs. scan position for 1050 nm light. Note that the scan extends over five pixels, with the measured pixel in the center. Right: Derivative of the signal with best-fit Gaussian functions overlotted (dotted curve). The average width (σ) of the two Gaussians is $2.6 \mu\text{m}$. [See the electronic edition of PASP for a color version of this figure.]

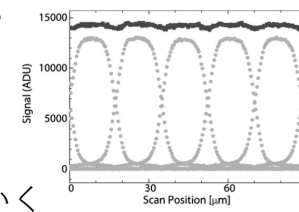
⇒ピクセル応答関数を求めるためには測定された画素応答からPSFの影響を取り除く必要がある。

Results

1. Table1の前3つの高量子効率検出器

⇒同じような振る舞い

⇒そのうちの1つについて詳しく見ていく



- ✓ ピクセル境界において、信号が隣接する2つのピクセル間で均等に共有されている(rms変動1.02%)
- ✓ ピクセル境界で同じ効率で電荷収集(左右対称)

⇒このデバイスのピクセル内変動の主な原因は、電荷収集の不備ではなく、横方向の電荷拡散または容量結合

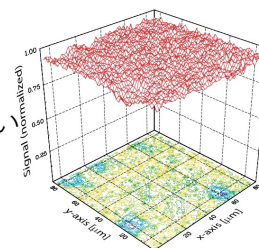
Pixel response(No PFS)

画素応答の各成分(PSF etc.)のモデル関数を作り、その大きさをフィッティングによって求め、ピクセルを表すボックスカーと容量結合と電荷共有の積によってピクセル応答関数を求める

⇒二次元で行ったものが右図

⇒変動は1.9%

⇒測光に測定可能な影響を与えない



2. Table1の下2つ

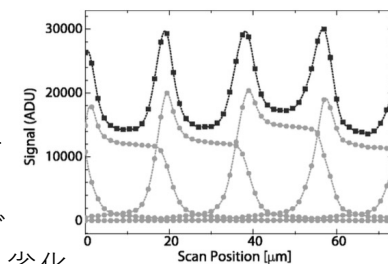
➤ H1RG-BA #25

⇒ランダム大きなランダム変動やピクセルエッジ付近での感度の落ち込み

➤ H2RG #40

右のような非対称なピクセル応答が検出器の全てのピクセルに見られる。

⇒アンダーサンプリングの場合測光性能が著しく劣化



Photometry Simulation

前述の二つのピクセル応答関数にガウスPFSを積みこんだ観測される画素応答のモデルを用いて測光性能のシミュレーション(右図)

⇒高量子効率検出器はどのサイズのPSFでも測光誤差は2%未満

⇒H2RG #40ではPSFが1ピクセルよりも小さい時に測光誤差が10%を超える可能性(PSFのFWHMが2ピクセル以上だと測光誤差は無視できる)。

