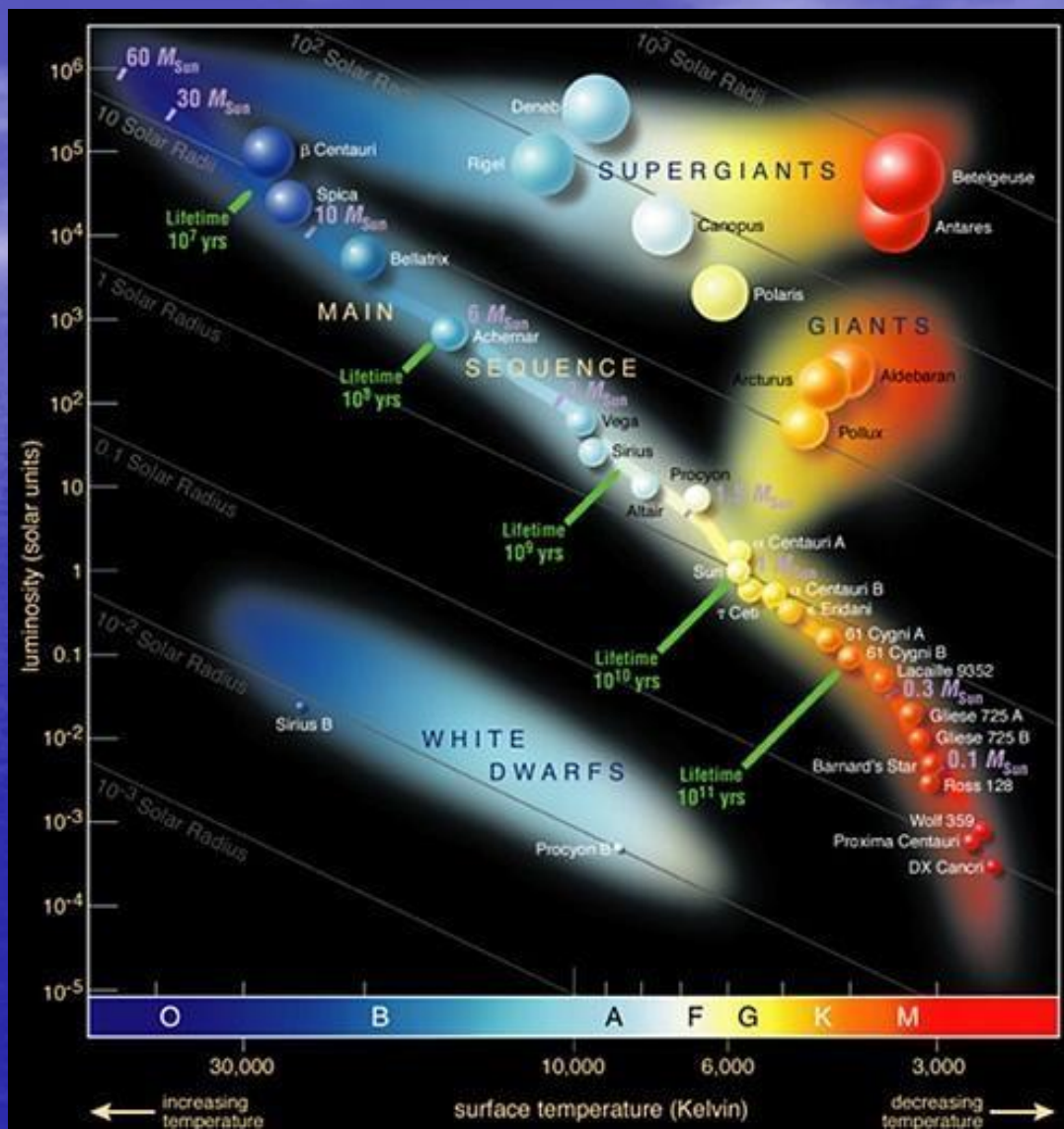


光学**红外**天文观测

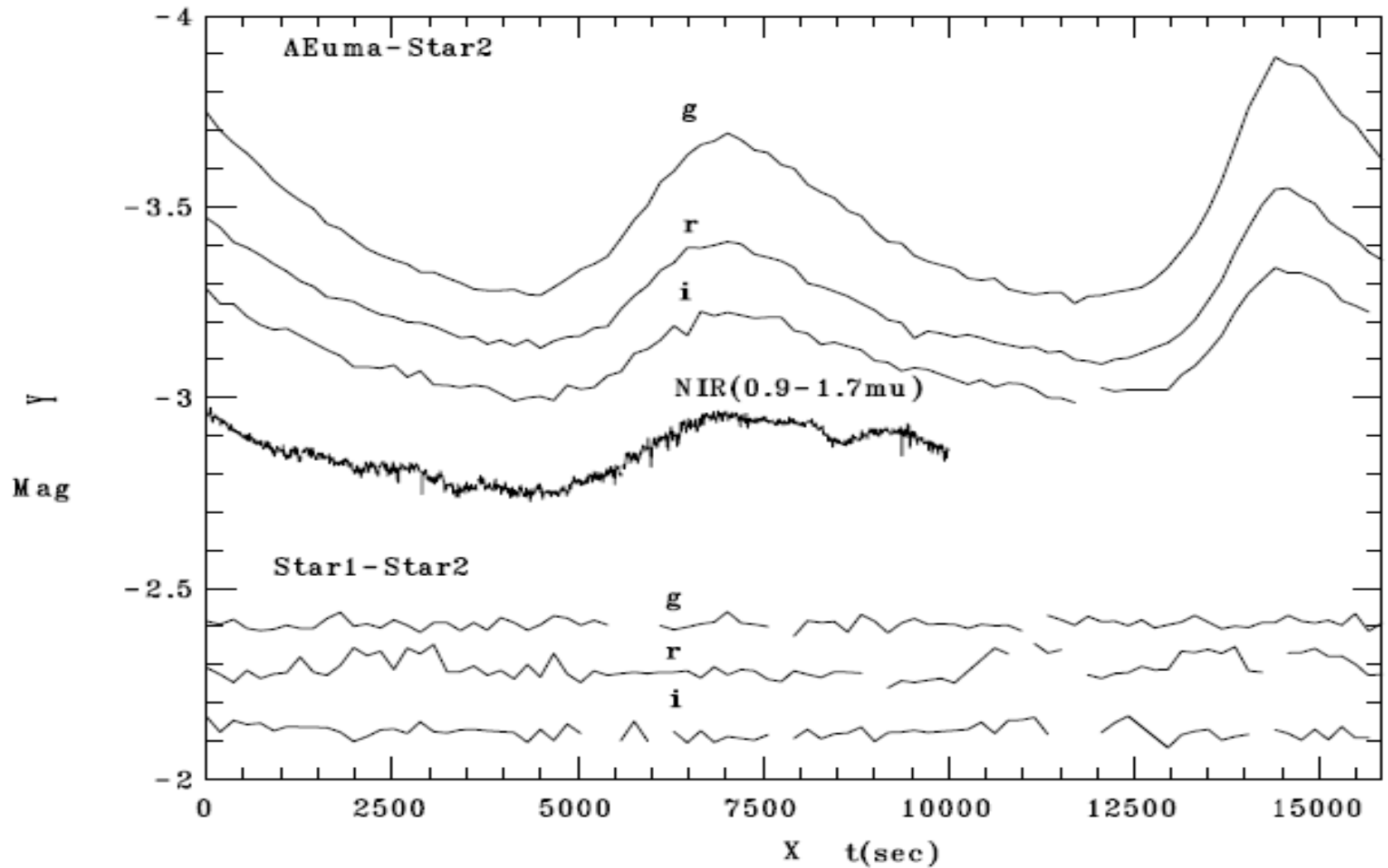
为什么测量天体光度光谱？

测光：
获取天体性质手段

著名的赫罗图：
又名颜色-星等图

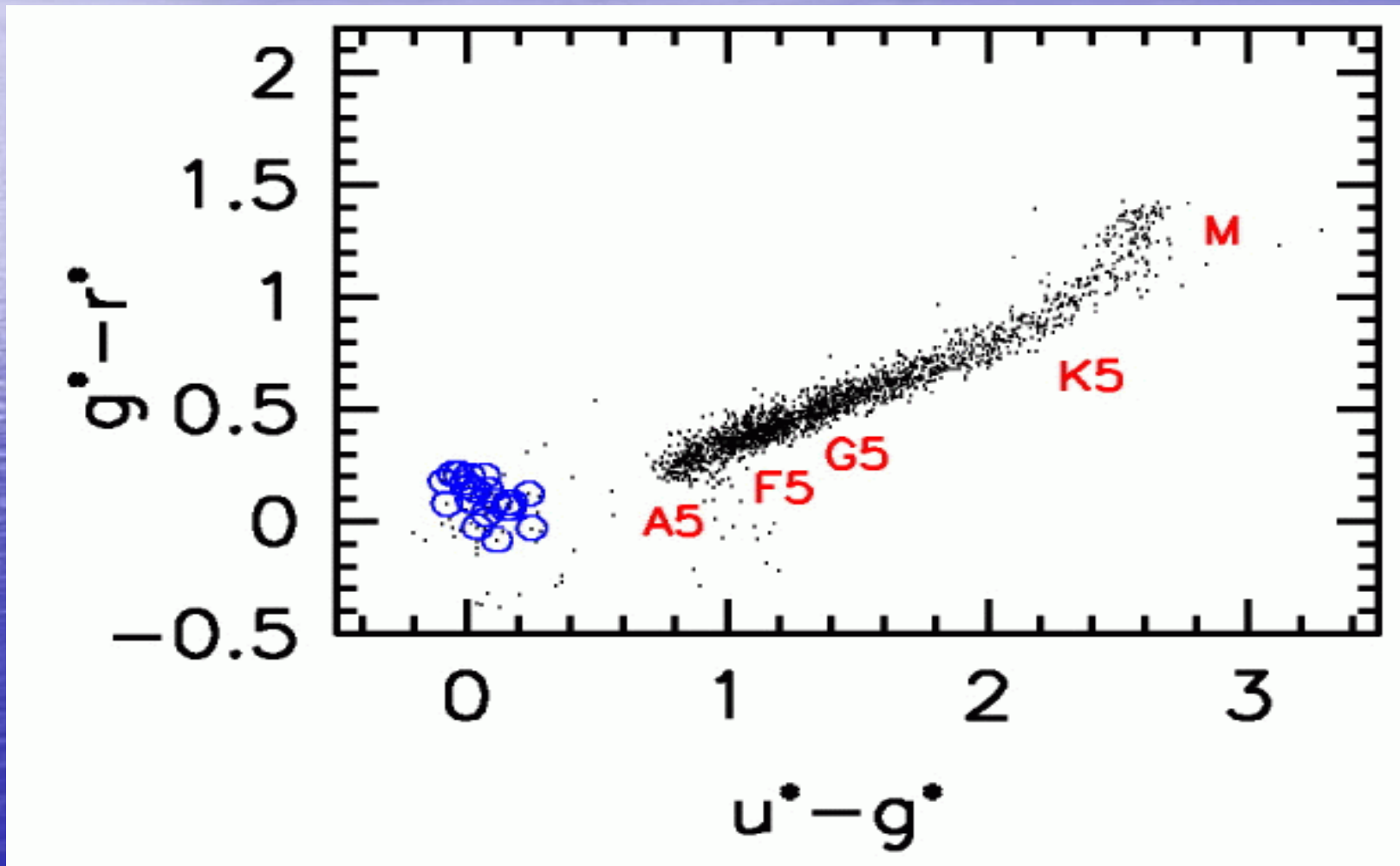


恒星光变曲线



多波段测光、颜色给出天体信息

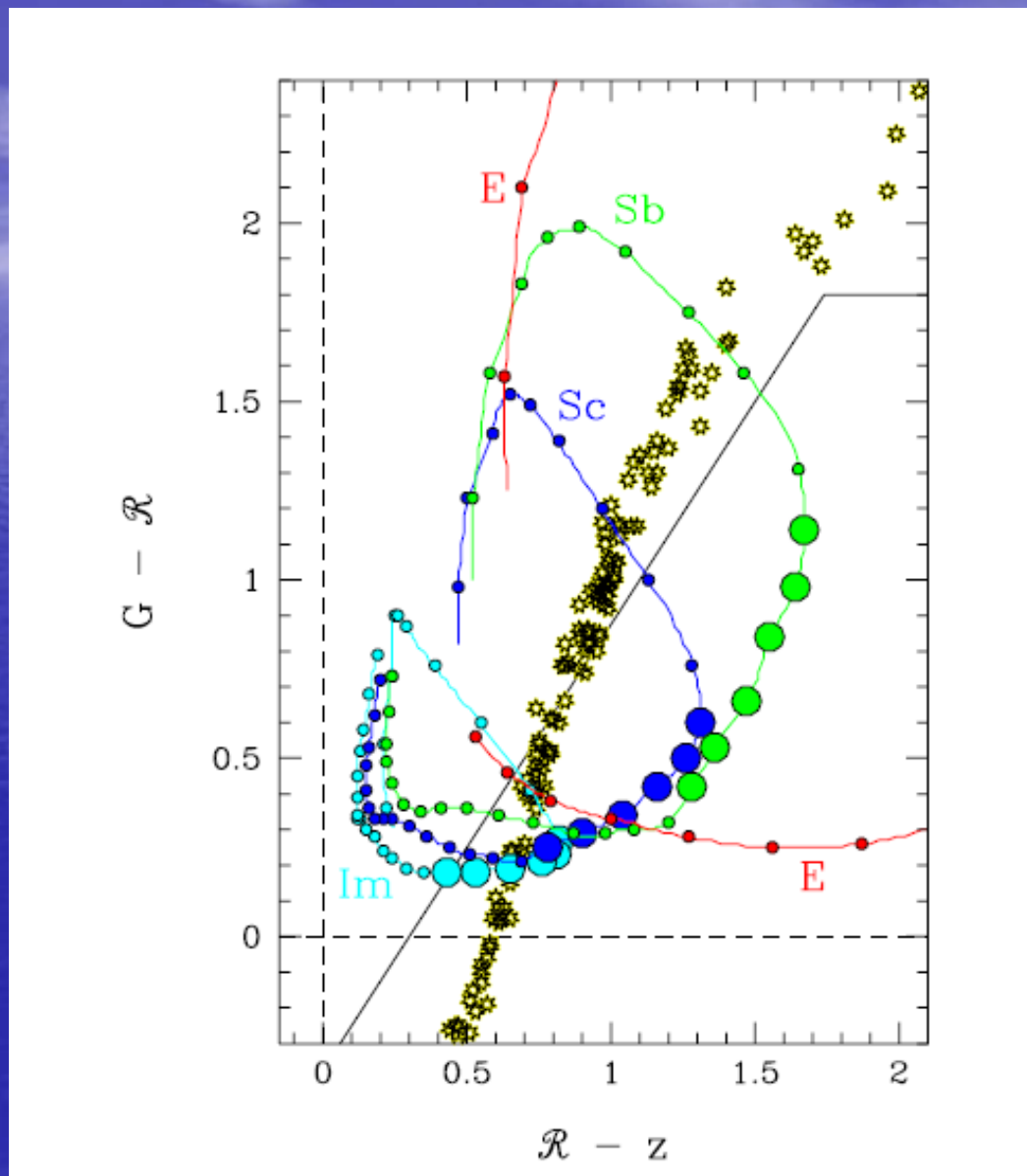
区分恒星、类星体



区分不同红移星系、类星体

不同红移的星系在双色图上的位置随红移不同而不同

可以由双色图位置挑选不同红移星系！

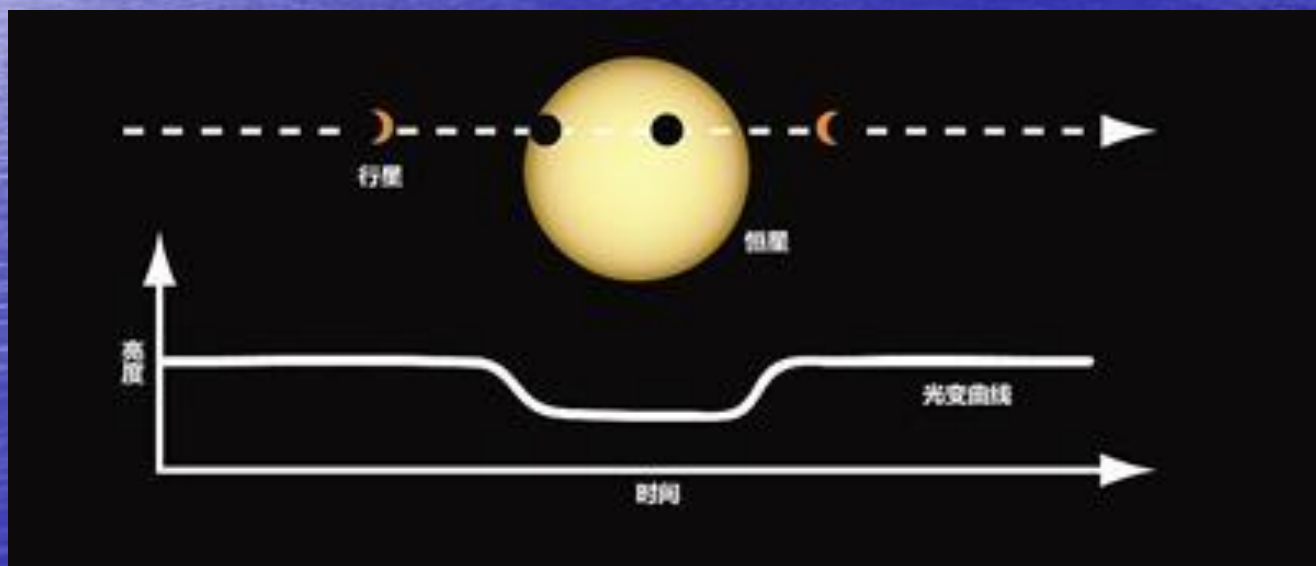


地外行星搜寻



较差测光--凌星法:

测光精度好于1-2%，地球大小行星需要好于1%



● 测光可解决的问题:

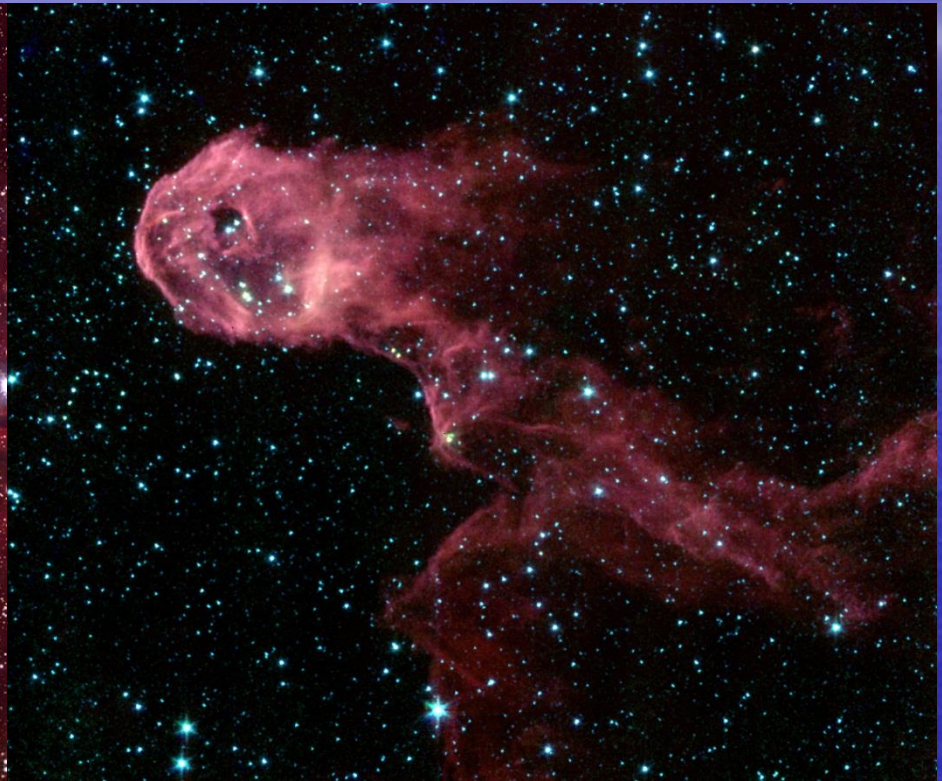
- 天体的位置(α, δ), 视星等, 色指数, 可帮助证认天体, 统计分析。
- 多色测光, 可获得暗天体的光谱能量分布 (SED) 和色温度, 研究星际消光与波长关系 A_λ , 对星际介质进行探讨。
- 测光与其他方法配合, 可获得天体的 M_V r T_{eff} L (总辐射、光度)
- 可取得星团的色指数—星等图 (H-R图), 研究星团分类、年龄、演化。
- 可得光变曲线 (L-t关系图), 需要监测, 如地外行星搜寻、脉动变星、食变星、新星、超新星、活动星系核等天体的重要物理信息。

为什么要进行红外观测？

IC 1396: optical

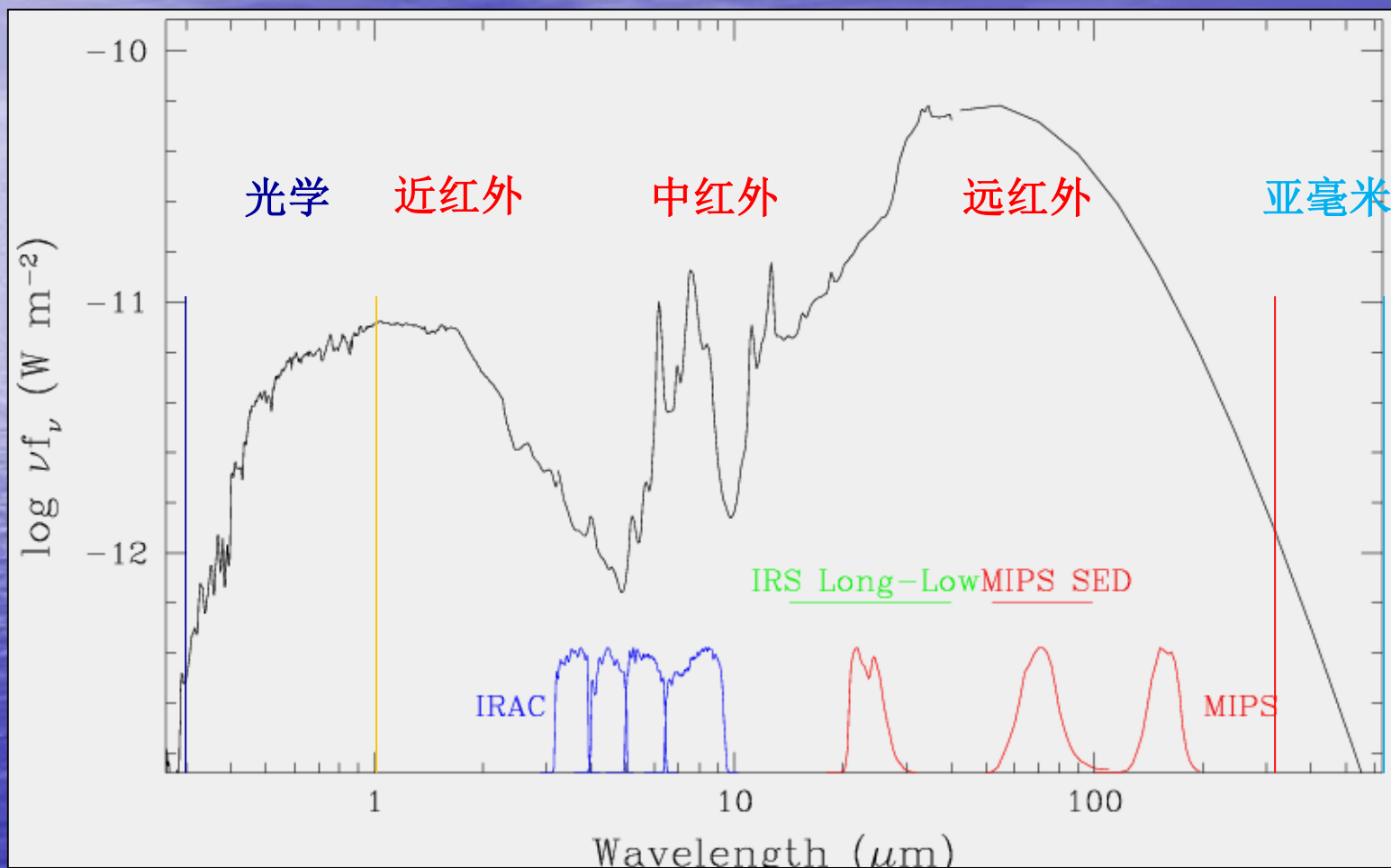


IRAC 8 μ m



NGC 5746





天体光度测量

光度测量一般分2类（根据观测源形态）

1、点源测光

孔径测光：

利用圆孔径直接积分孔径中的流量

适用于非密集星场

暗源测光误差较大

PSF（点扩散函数）测光：

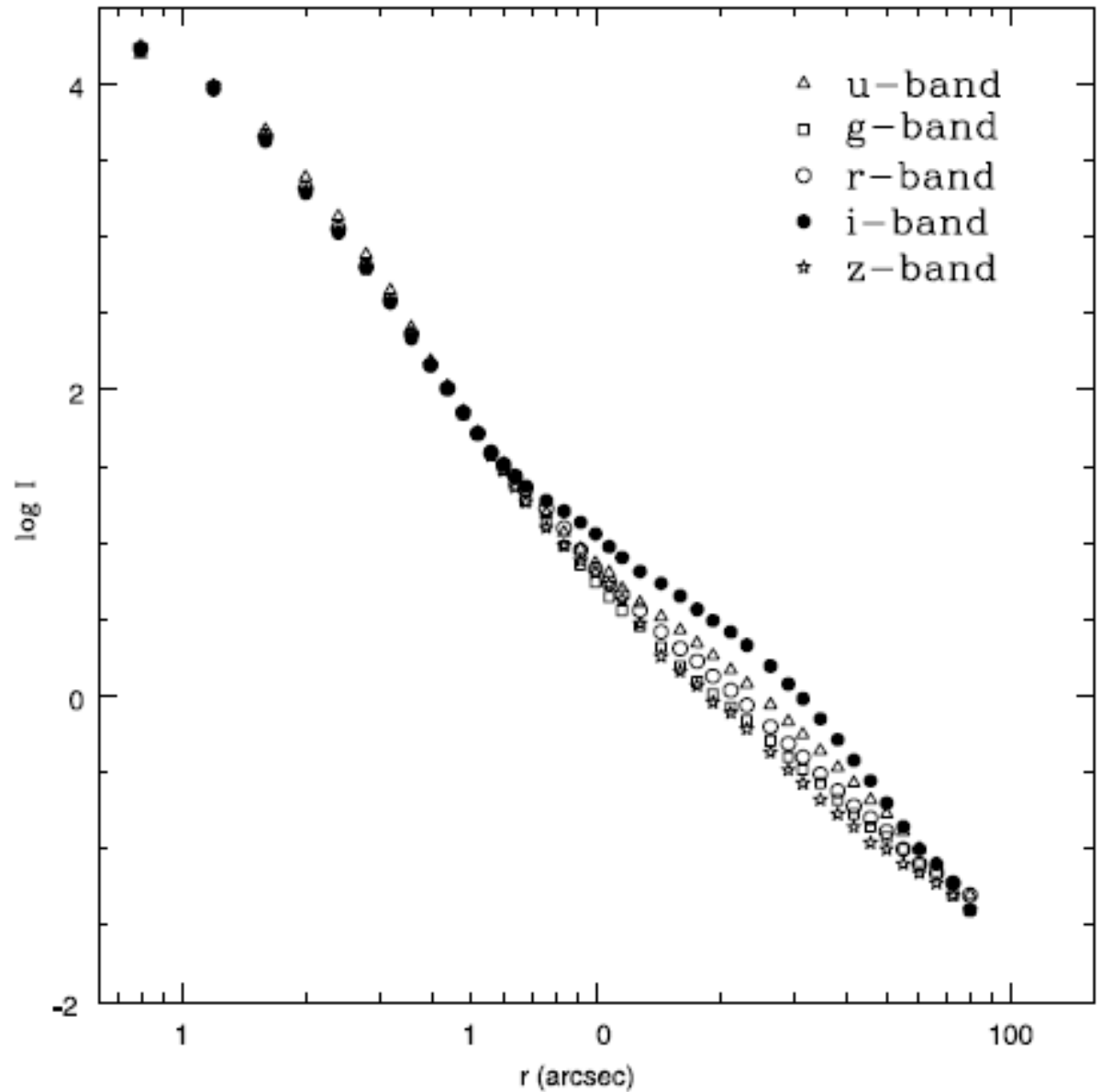
利用PSF模型拟合得到的流量

适用于密集星场

暗源测光误差小

PSF

Wu et al. 2005,
ApJ, 622, 244



2、展源测光（星系）

总光度（0维）：

孔径测光：（椭）圆孔径，等强度线内积分流量

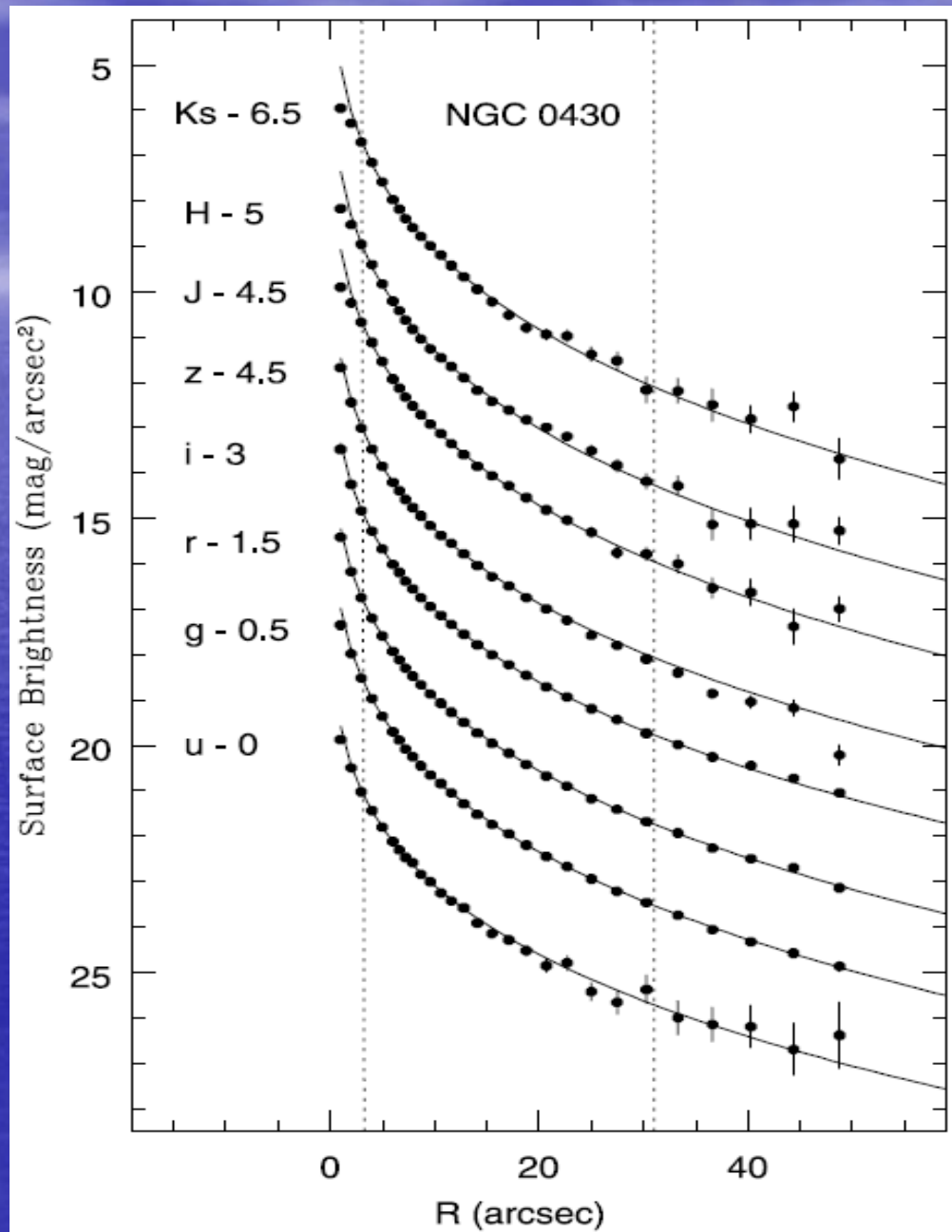
模型拟合测光：模型拟合得到流量

轮廓测量（1维）：沿半径的轮廓分布（椭圆拟合）

面轮廓测量（2维）：面光度分布测光

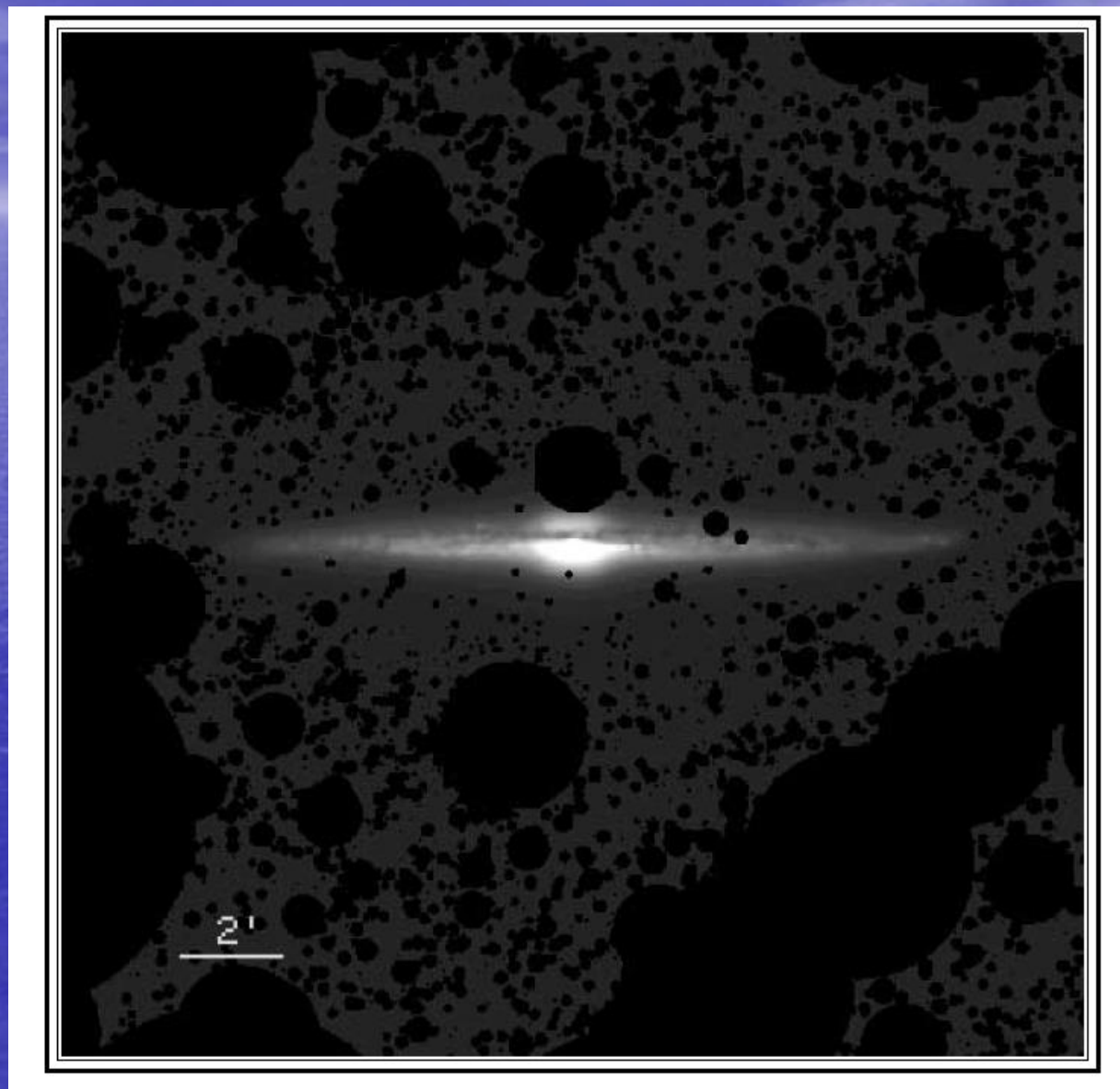
2维成图研究形态、颜色分布

星系面源测光，
径向轮廓测光

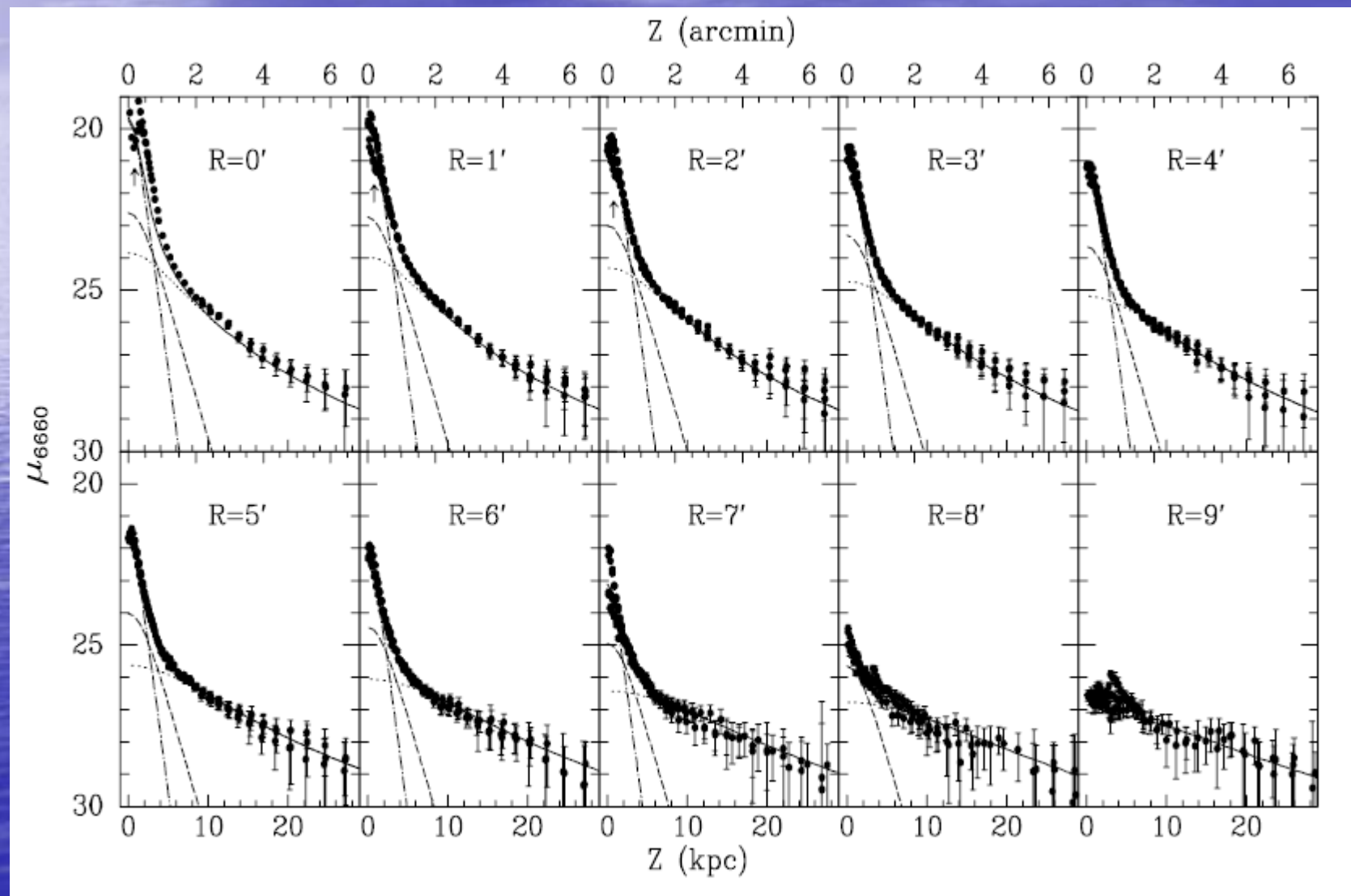


侧向星系
NGC4565

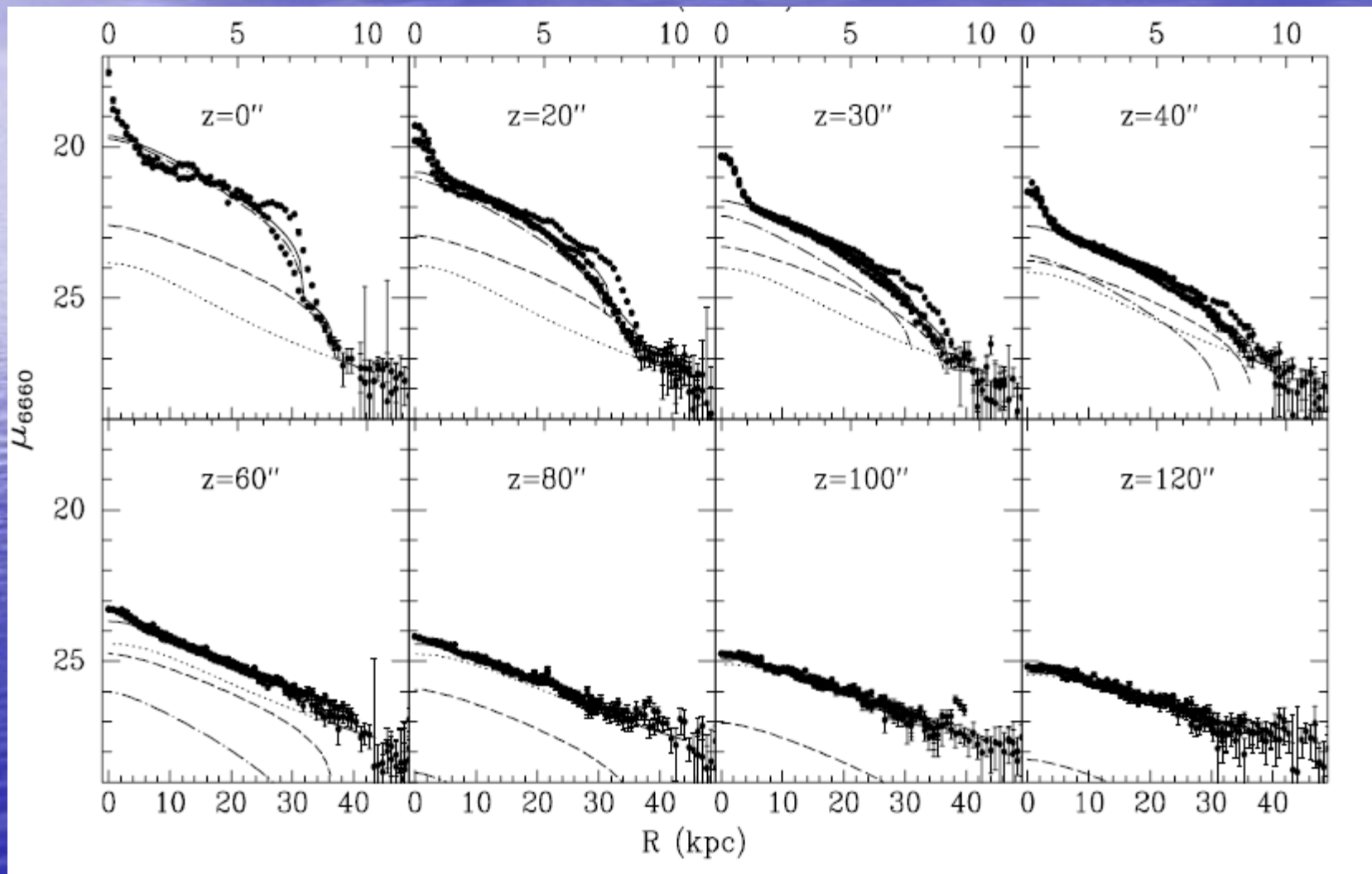
Wu et al.2002,
AJ,123,1364



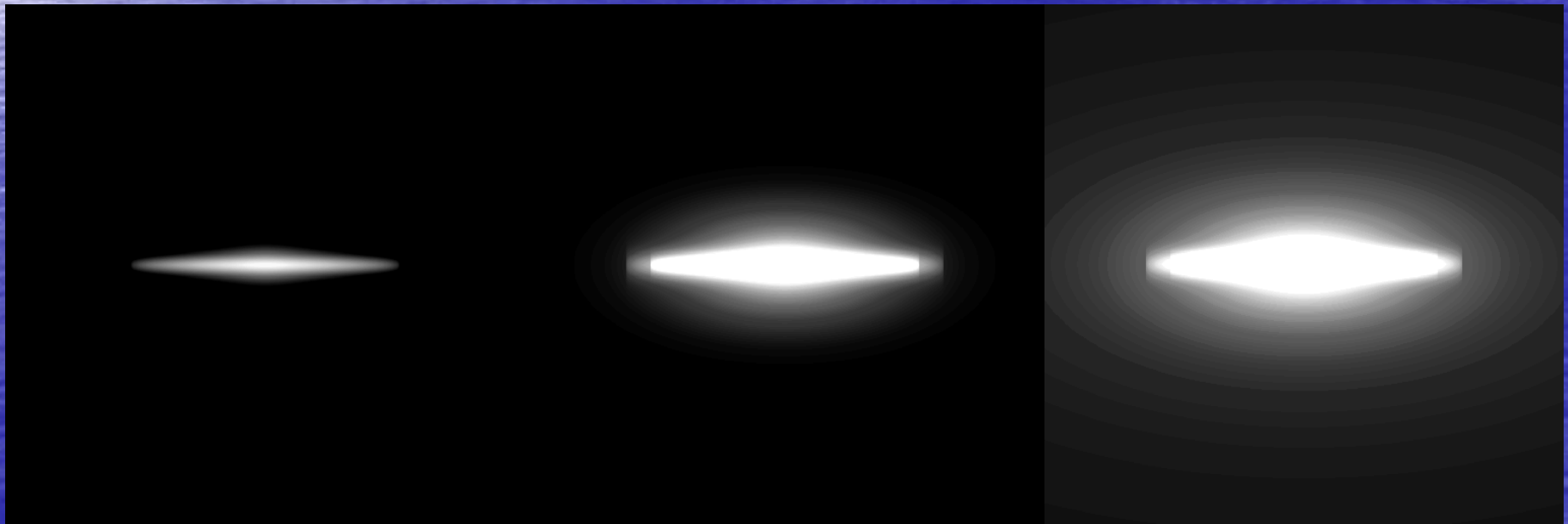
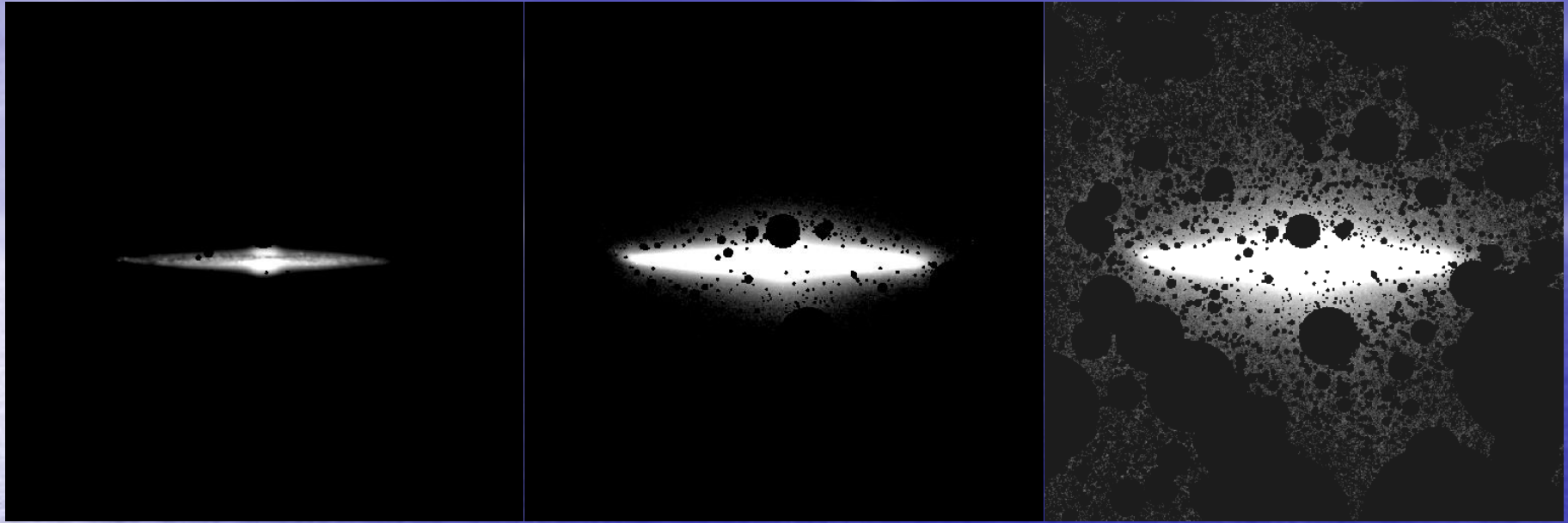
垂直盘方向轮廓



沿着盘方向轮廓



2维模型拟合



根据定标源的两类分类

1、绝对流量测光：

通过标准星定标得到天体的真实星等

一般测光误差在 $1\% \sim 2\%$ （由平场改正制约）

比如SDSS巡天，

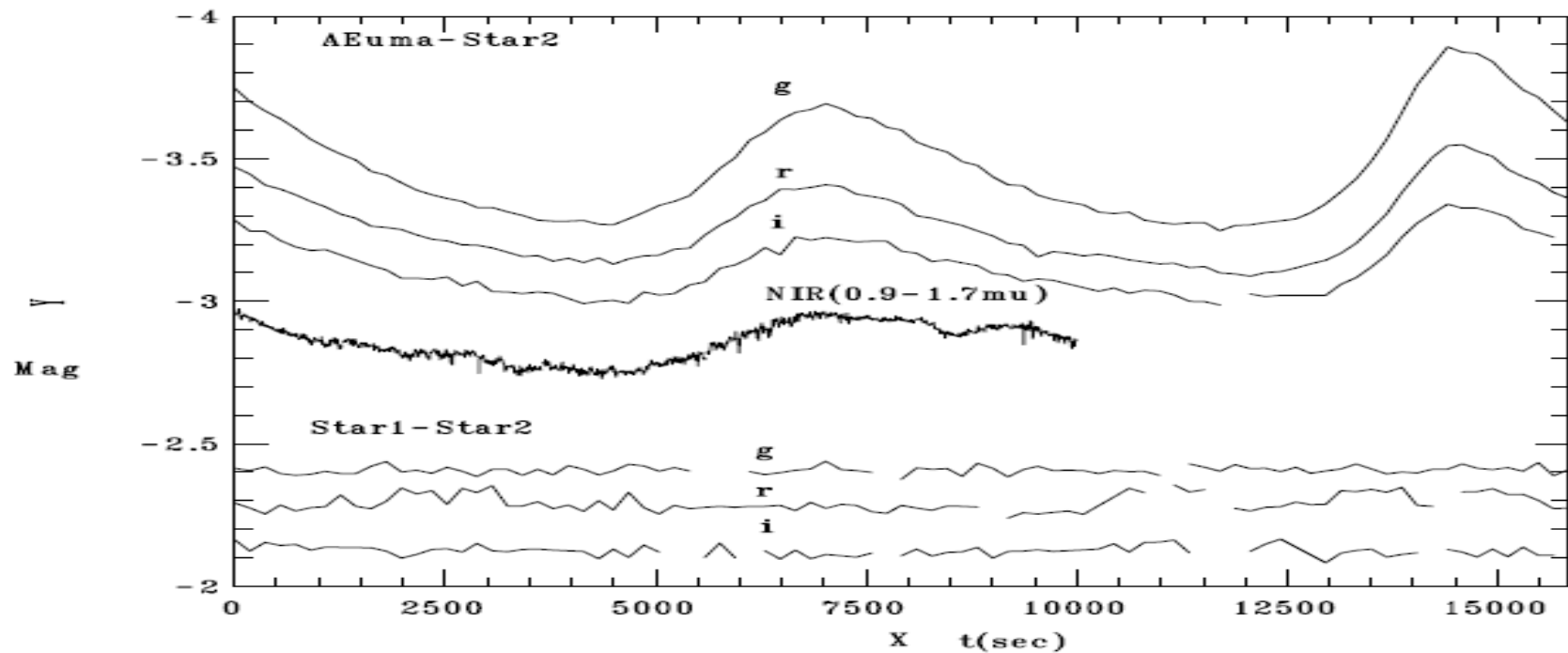
虽然SDSS巡天以光谱巡天为主，

SDSS巡天成功的一个基本原因之一，

高的测光精度。（对比2DF巡天）

举例：高红移类星体首先实在图像测光中选出的候选体，再用光谱证认。发现了一系列遥远类星体！

2、相对流量测光（较差测光）：对于时变源常用同时观测变源和稳定的比较星。通过每个观测时间二者的星等差，得到变源的随时间的光变曲线。较差测光可以得到很高的测光精度（甚至好于千分之一）。

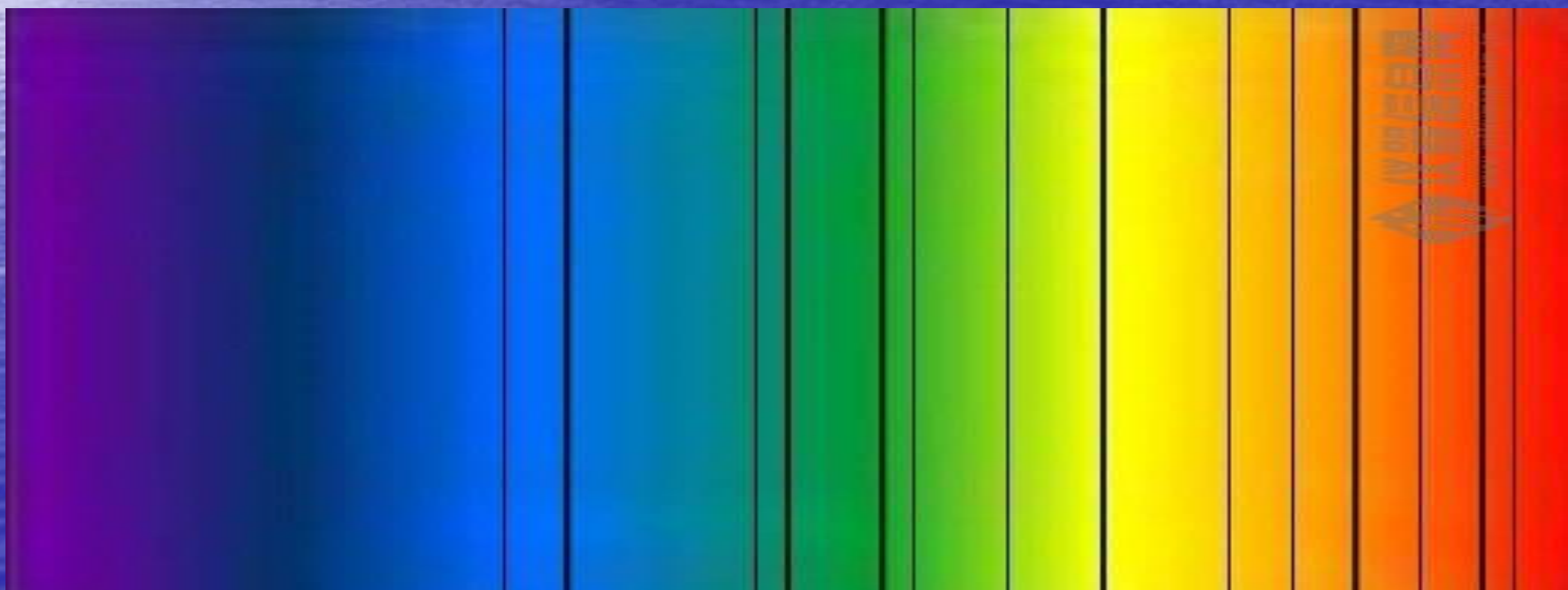


天体光谱测量

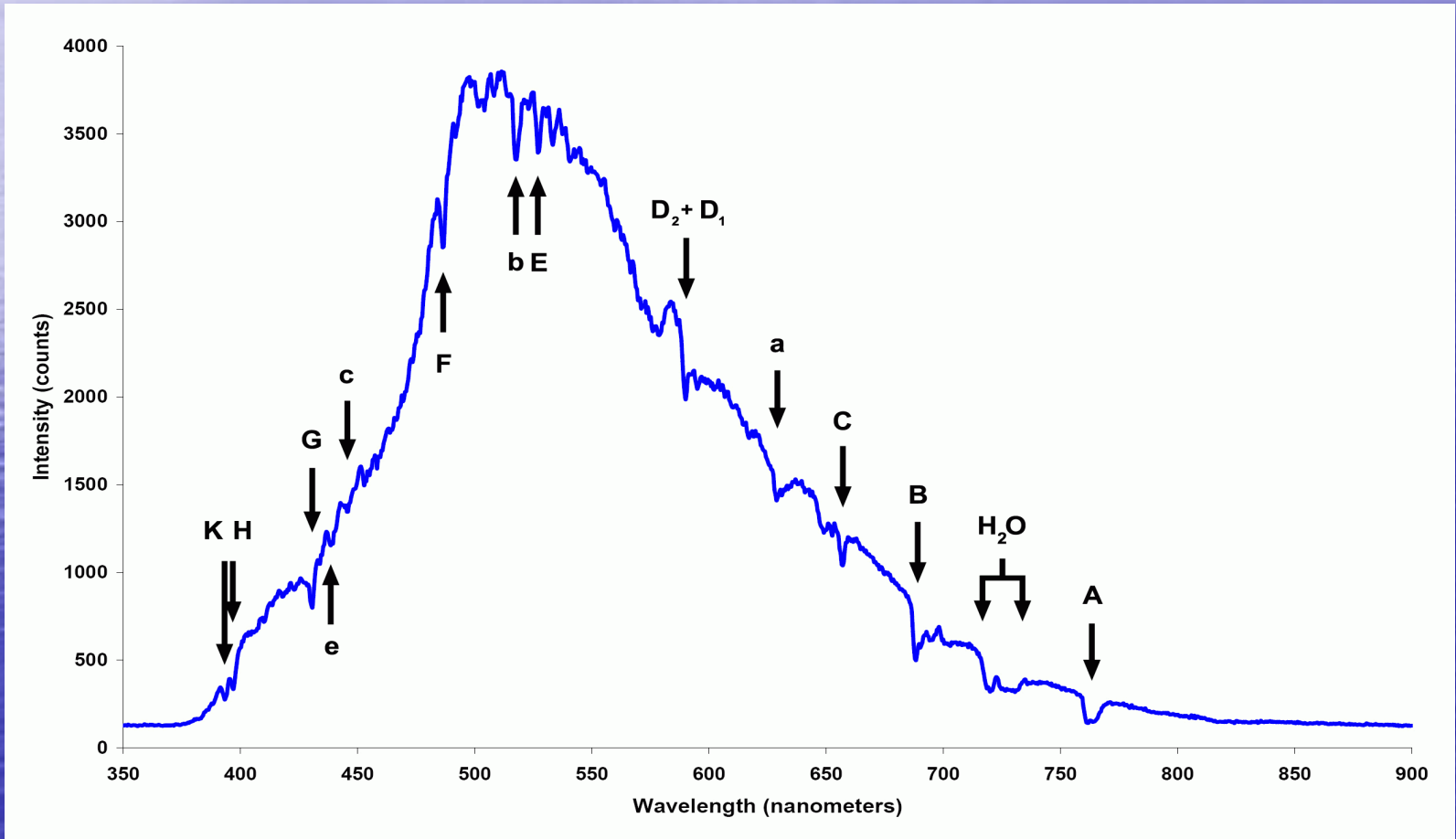
光谱可以提供更为丰富能量细节和视向速度

- 光谱：光的强度随波长的分布曲线

太阳光谱：2维光谱

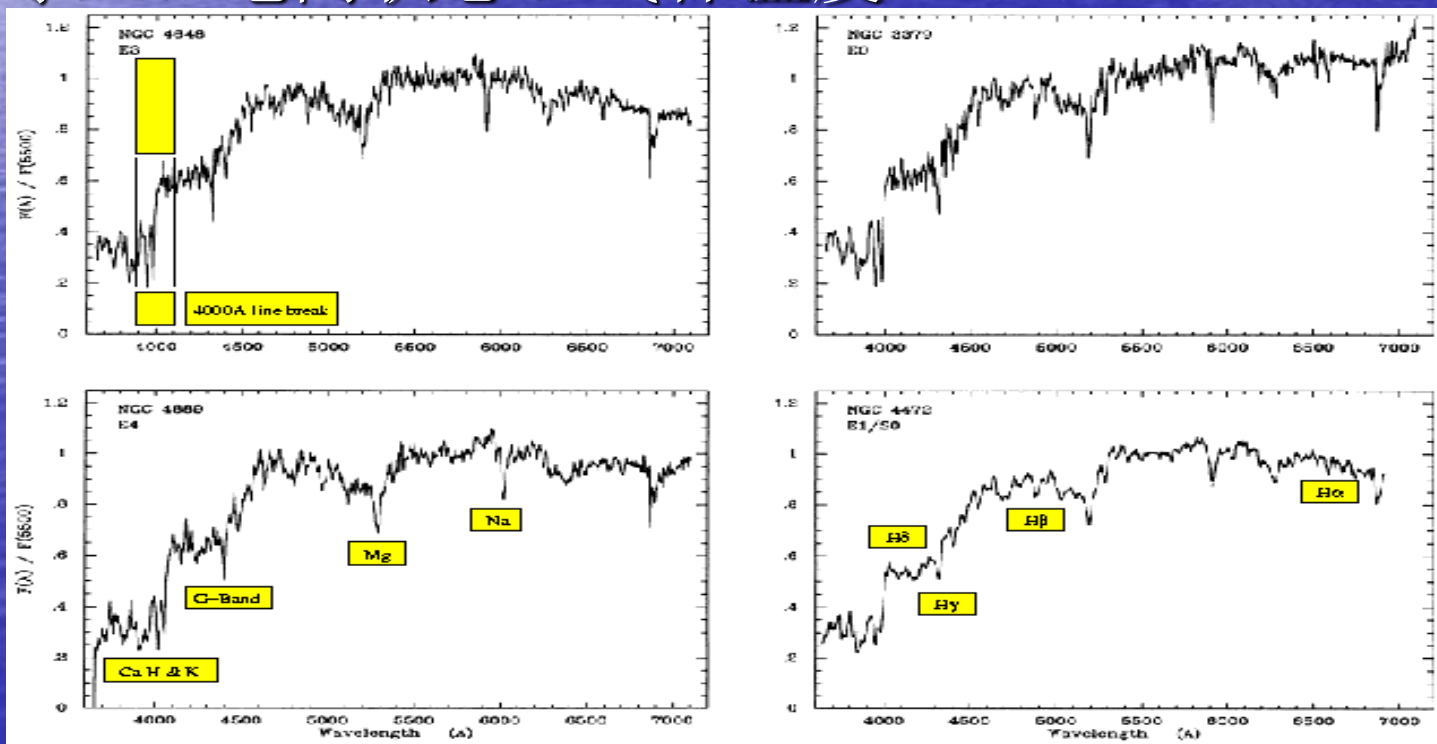


太阳沿波长1维光谱



相比测光，光谱包含天体更多的信息：

- 1、类似测光颜色，连续谱包含天体温度、消光、颜色等诸多信息。
- 2、吸收线、发射线则可以给出天体化学组成、消光和吸收、运动学特征（速度、距离、运动学结构等）、电离状态、气体温度。。。



无论测光还是光谱测量：

天文观测接收、记录设备就是**终端探测器**，天文观测、数据处理主要是围绕探测器进行的。

因此，首先要了解探测器性能！

这里主要介绍**光学探测器CCD**的观测和数据处理。

光学**CMOS**探测器以及近红外探测器观测、处理有类似也有不同。

实际天文观测、数据处理需要针对探测器性质进行相应的调整和试验！

光学红外探测器

- 光学CCD

CCD只是一种电荷转移方式，作为一个探测器，严格地应该说是具有CCD转移方式的光电导探测器件，但为了简单起见，称它为CCD探测器。

- 光学CMOS

- 红外探测器：**红外CCD ? 错误!**

CCD: Charge Coupled Device

电子耦合探测器

CCD最大的优点

量子效率高: $>90\%$

线性好!

测量精度高

CCD工作原理

- 光电效应

当光入射到某些物质时，和物质作用后产生电子的现象。

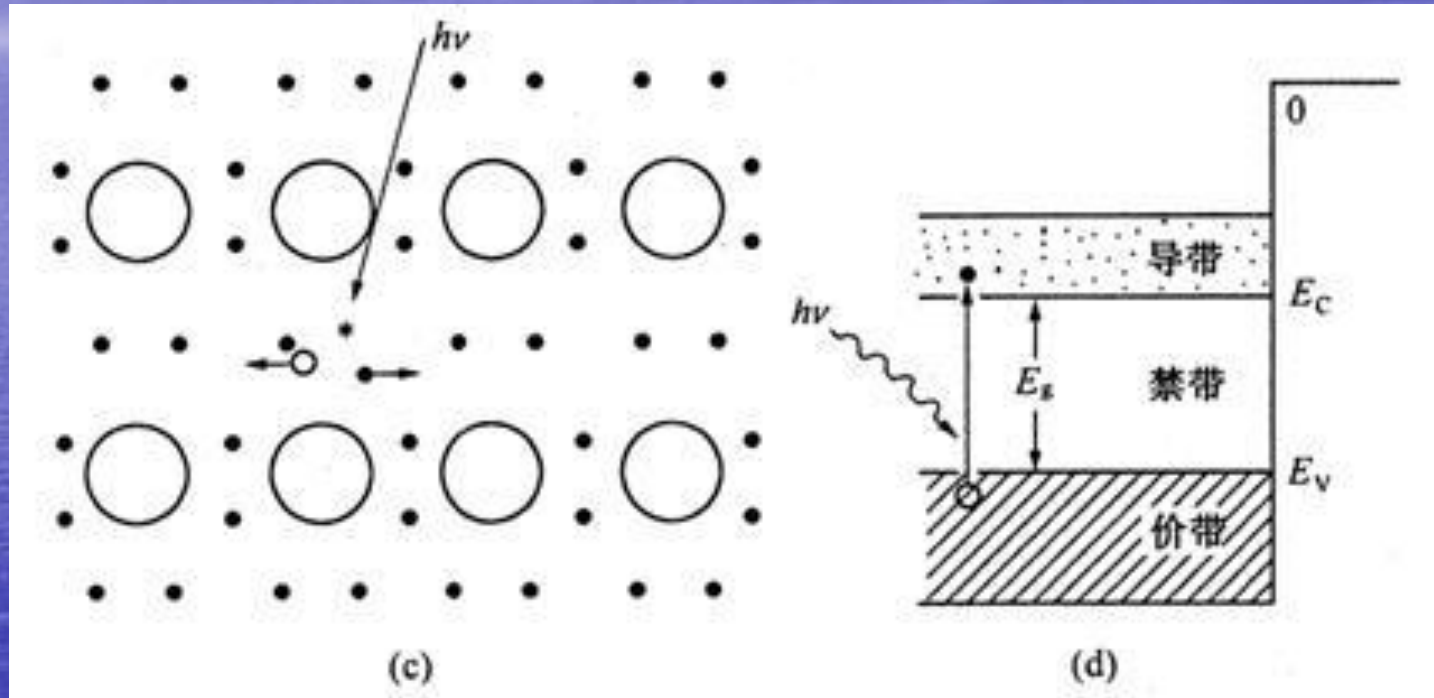
$$\frac{m_e v_e^2}{2} = h\nu - E_0$$

v_e :电子速度, m_e : 电子质量, h : 普朗克常数,

ν :入射光子频率, E_0 : 束缚能

因此入射光子能量一定要大于束缚能才能产生光电效应

电子-空穴对

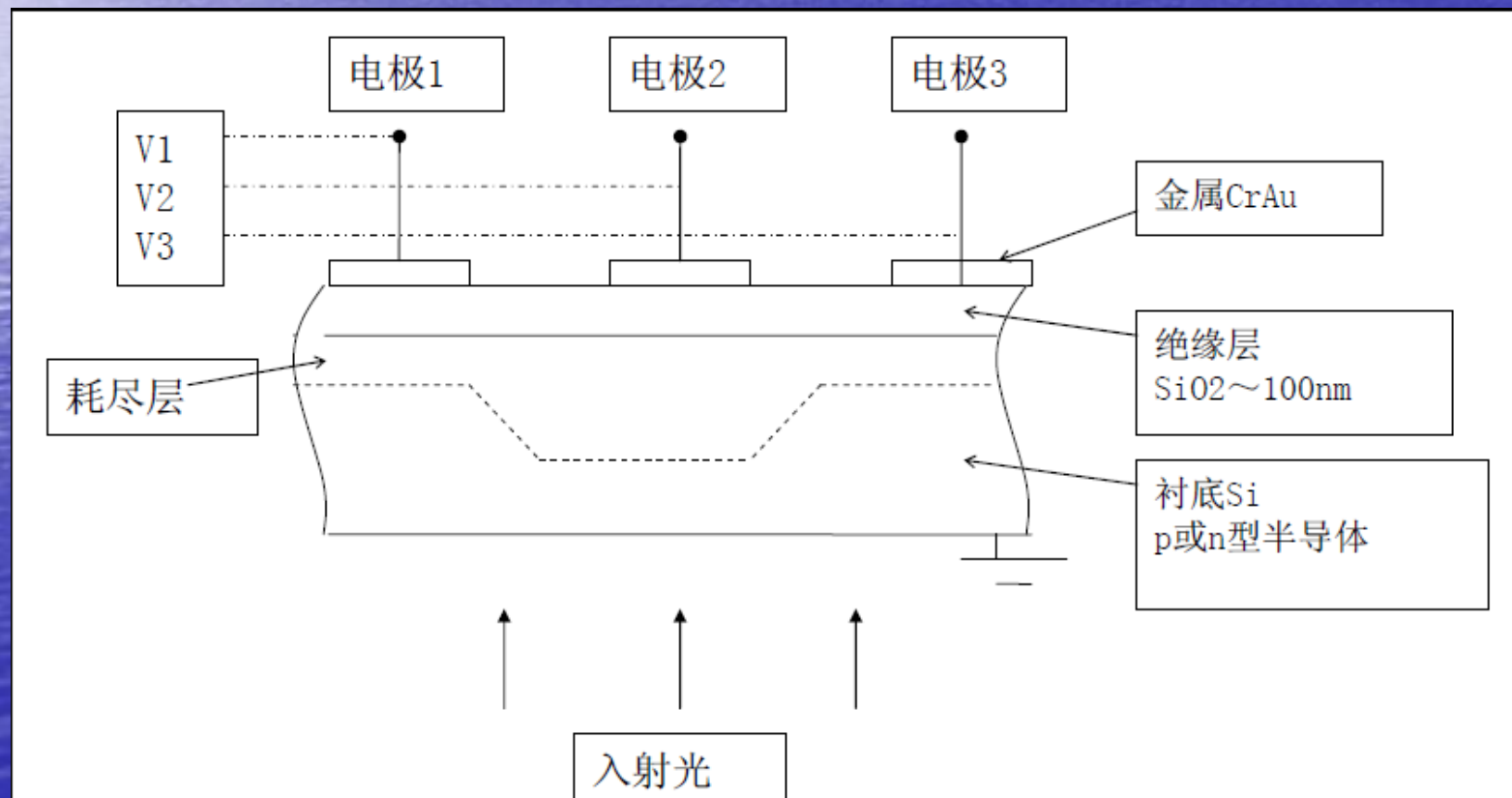


$$E_0 = \frac{hc}{\lambda_c}$$

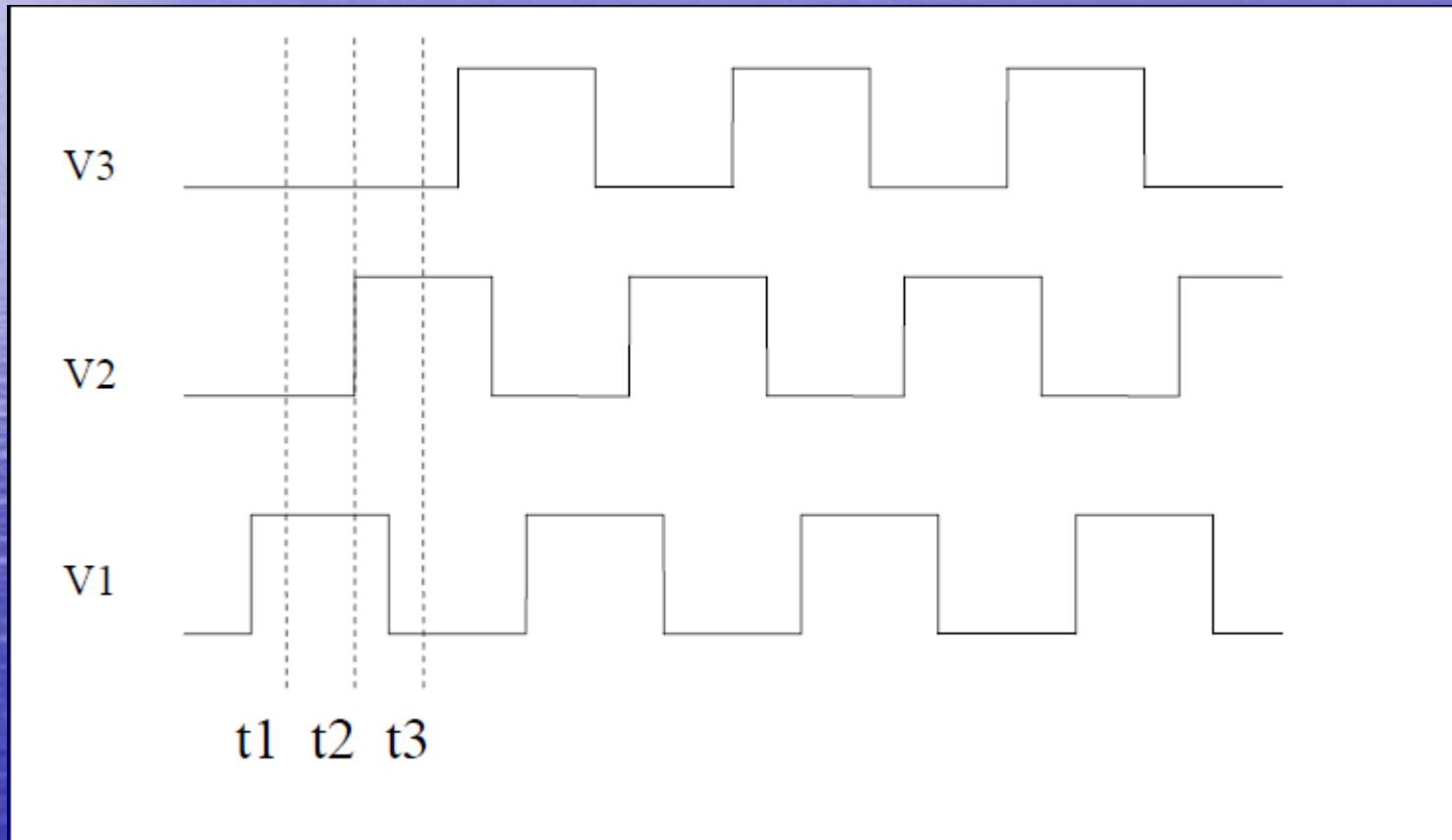
c: 光速，束缚能 E_0 对应相应波长截至波长 λ_c 。
硅原子波长 $\lambda_c = 1126$ 纳米，
因此波长在400-1126纳米的光子，都可将硅原子中的电子
打出形成一个电子-空穴对。
收集电子，就可以得到入射光子数。

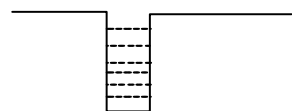
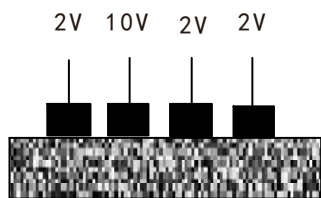


CCD的基本结构是在p型（或n型）衬底表面生长一层绝缘层SiO₂，约1200埃厚，然后，用光刻技术在SiO₂上制造一系列间隔很小（< 3微米）的电极，形成金属-氧化物-半导体电容阵列，通过金属化布线，形成三相结构，见下图。

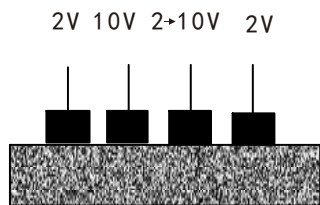


电信息的读出方法，最简单的是三相结构法。

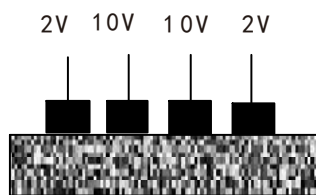




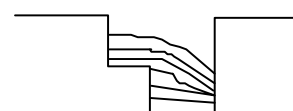
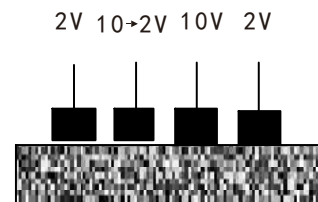
a



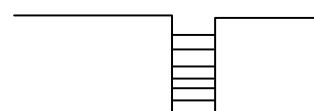
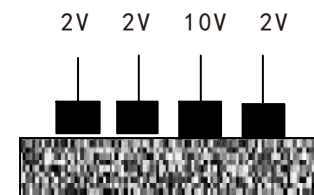
b



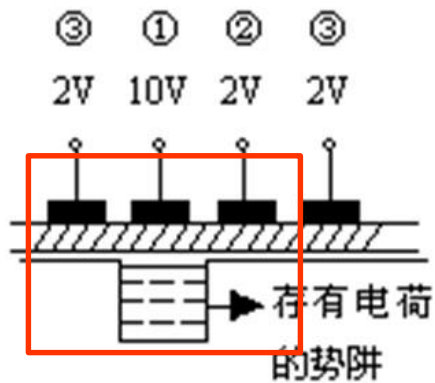
c



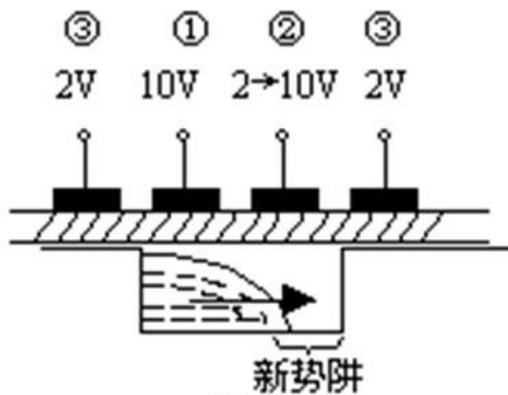
d



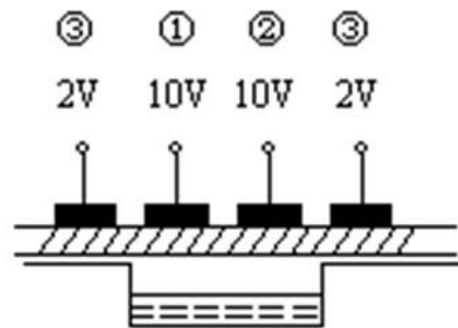
e



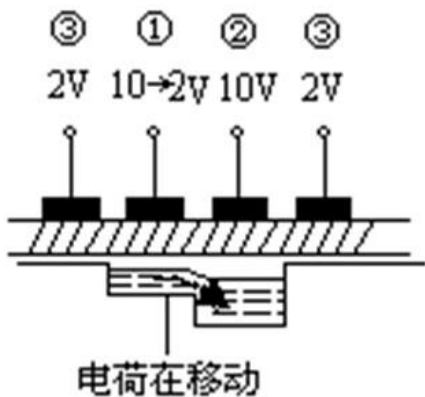
像素 (a)



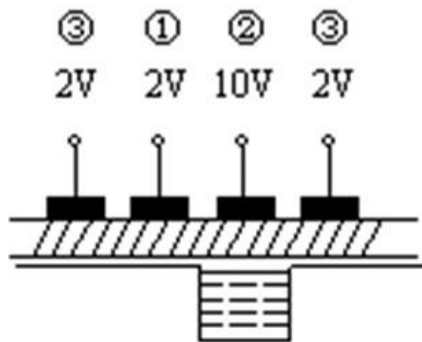
(b)



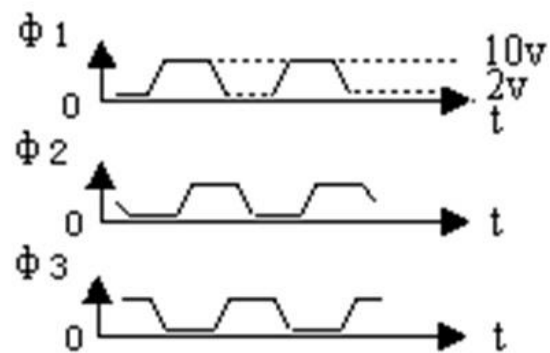
(c)



(d)



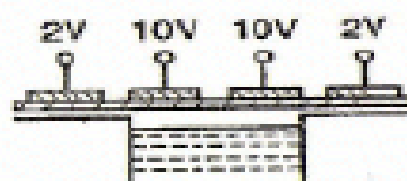
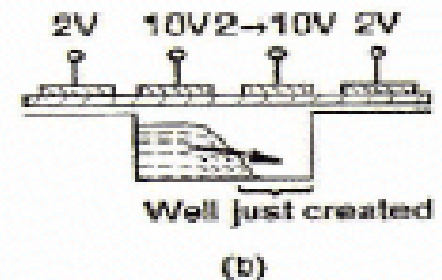
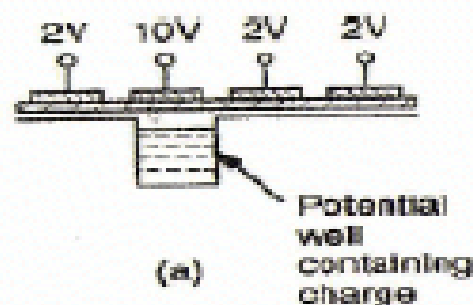
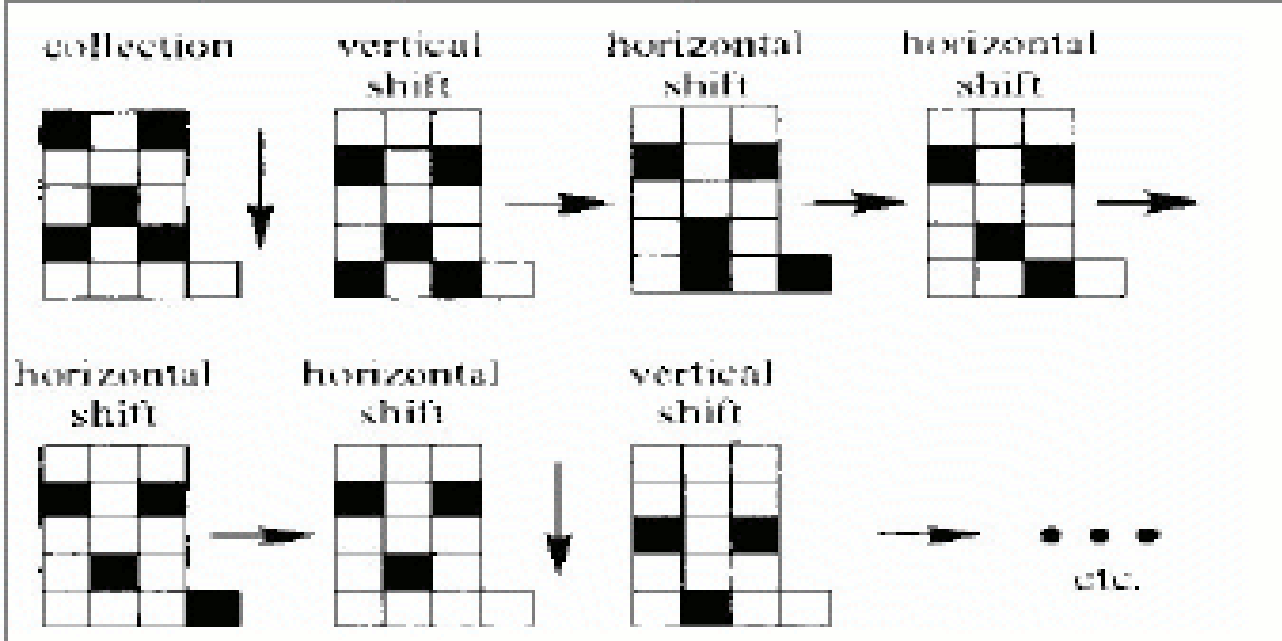
(e)



(f)

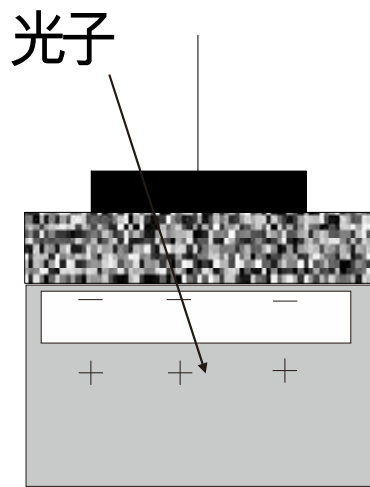
图 (3) CCD中电荷的以为过程

CCD principle of operation

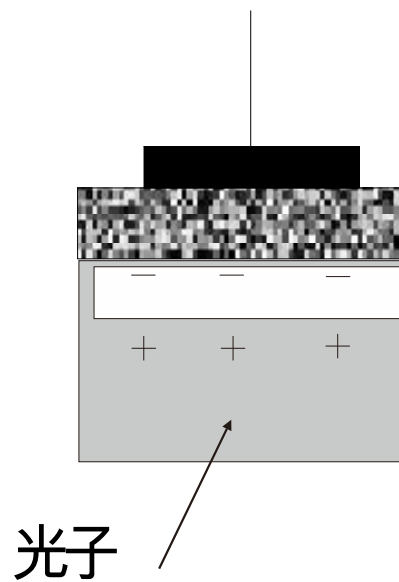


CCD 的分类照射面分类

照射面分类

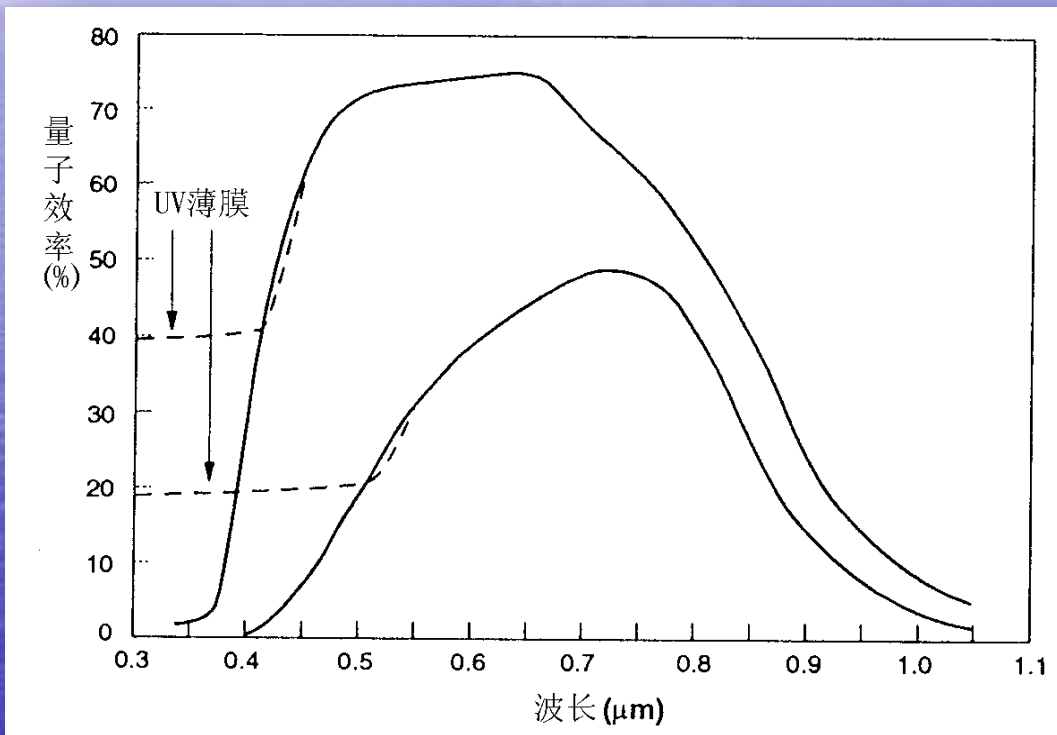


(a)前照式CCD



(b)背照式CCD

前照式和背照式CCD阵的典型谱响应

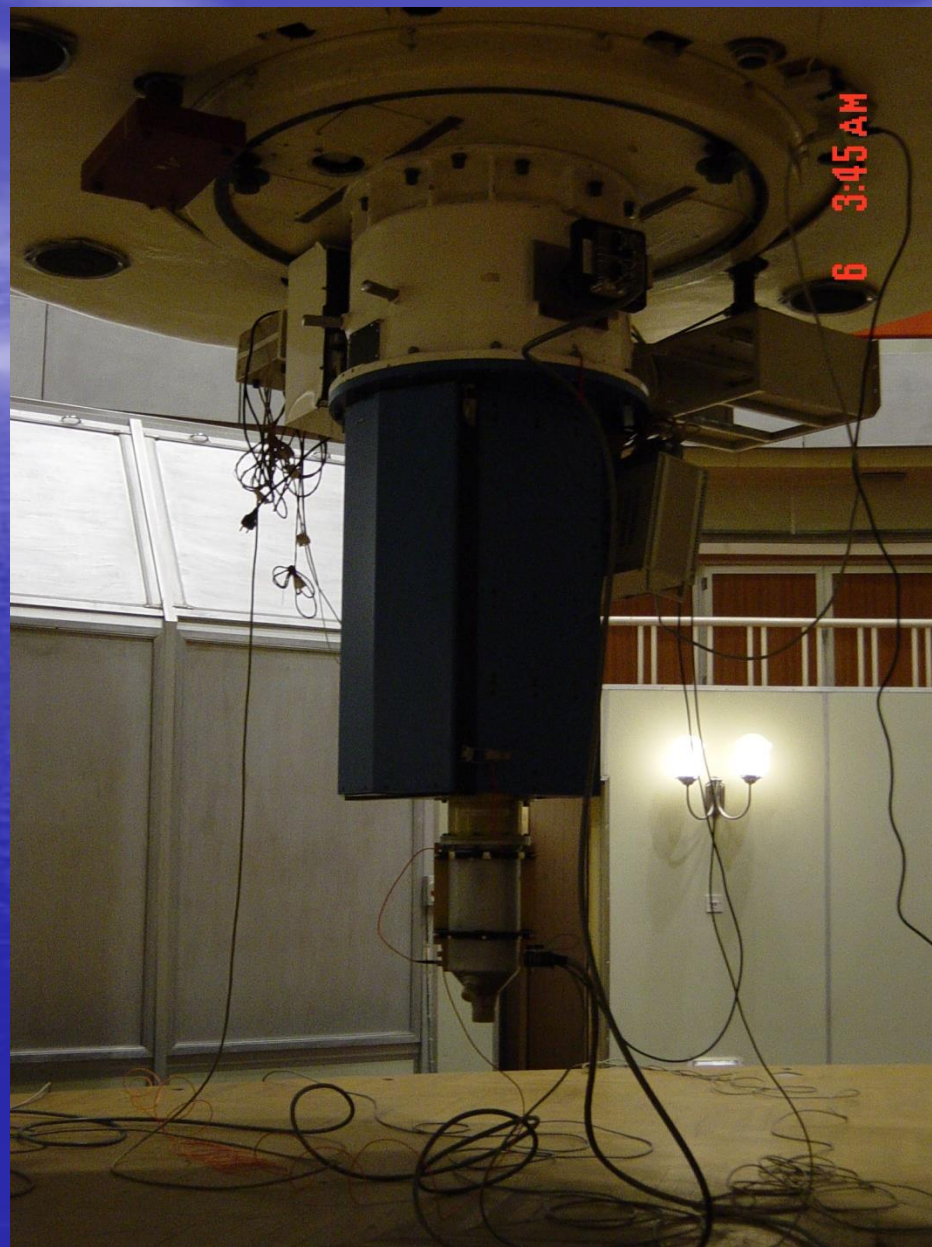
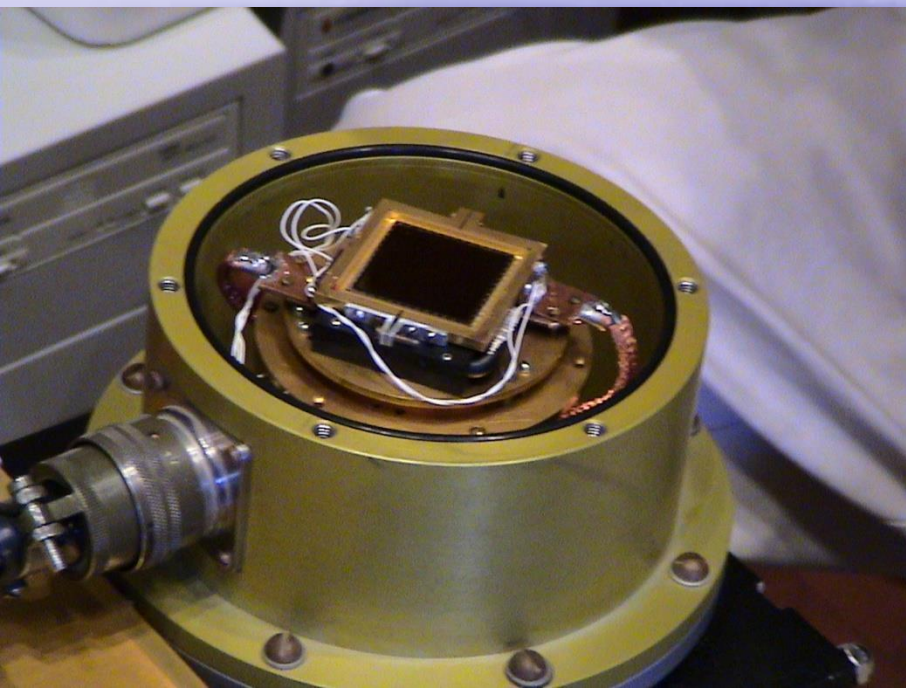


读出方式分类

- 逐行读出：经典读出方法
- 帧转移读出：CCD有2个区域，曝光区+储存区
- 漂移扫描：利用地球自转或者望远镜运动
行转移速度与自转相同
- Binning读出
- 局域读出
- 分块读出

CCD相机

- CCD芯片只包括光敏材料、电荷存储和电荷转移功能部分。
- 要成为一架完整的探测器，芯片外还应有时序系统、电路控制、驱动电路、放大电路、A/D转换和各种电源。一定程度上说，芯片外这些附加设备不比CCD芯片本身简单，而且集成化程度相对较低，稳定性差，功耗大。



CMOS

目前利用一种互补金属氧化物半导体（CMOS）的工艺把CCD的MOS芯片与外面的附加设备集成一块芯片，叫做

互补金属氧化物半导体主动像元传感器（Complementary Metal–Oxide–Semiconductor Active Pixel Sensor, 英文简写为CMOS APS）。

CMOS发展

- CMOS原本是计算机系统内保存系统引导的信息的一种芯片，
- 但是后来发现也可以作为影像传感器，因而开始用于数码相机上。
- 但是最初为红外探测器而发展的，当时感光元件主要利用光伏效应的光敏二极管。
- 之后在光学波段改用CCD。

CMOS分两类：

- 一类是被动像元传感器（PPS）
- 还有一种是主动像元传感器，就是APS。

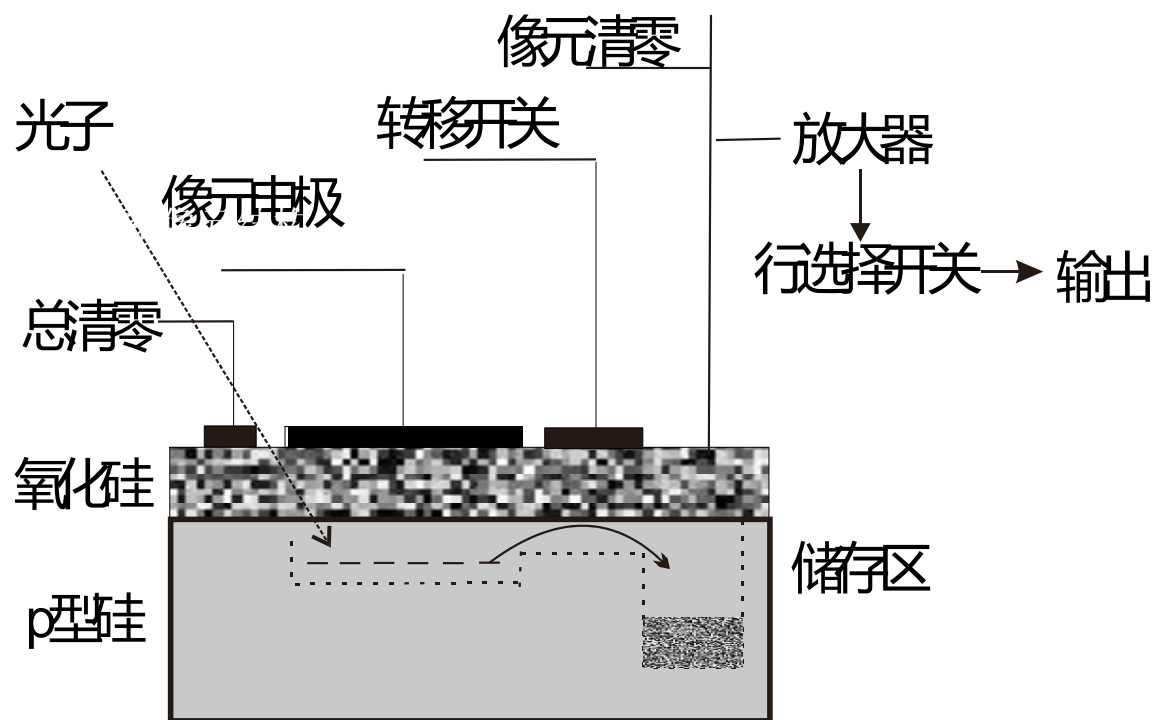
APS中一种是使用与CCD相同的硅二极管的MOS结构，除保持第一代CCD的优良特性，它没有原来CCD探测器CCD芯片外部设备，输入只是控制信号和电源，从APS的输出就是数字图像。而且可以非常方便的对电子快门、读出窗口、积分时间，甚至读那一个像元的信号进行控制。

因此，这一类APS与CCD的光电荷的采集原理几乎是一样。但是电荷的转移与输出，与CCD有所不同。

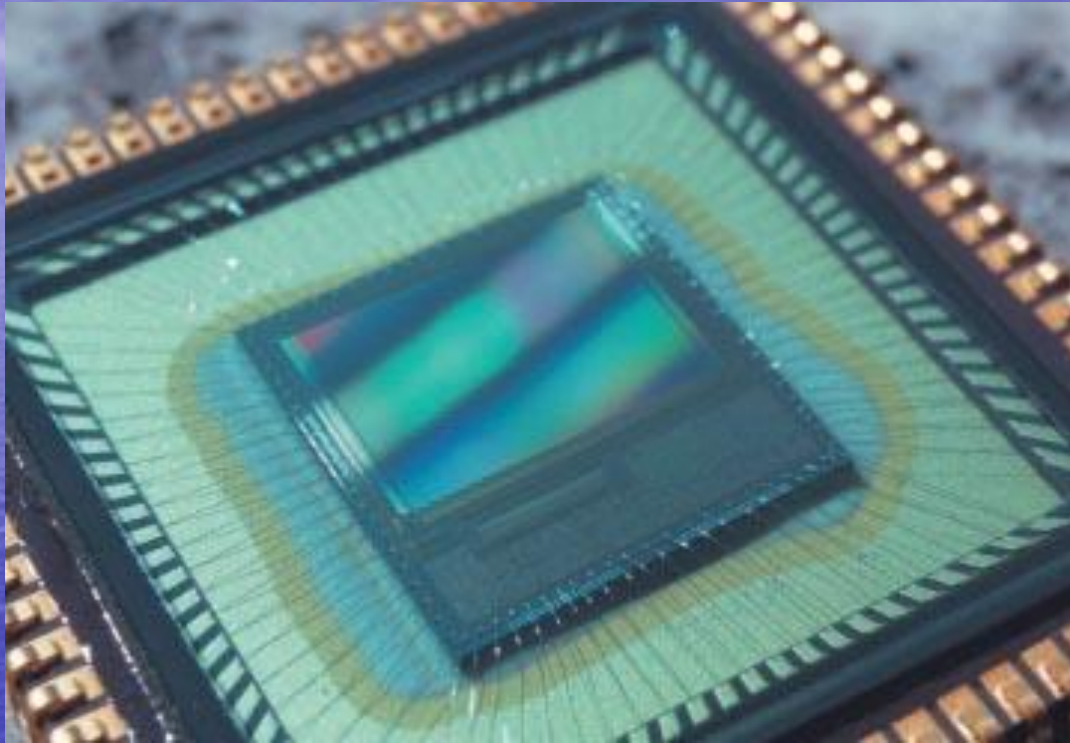
CMOS每个像素的工作模式:

- CMOS电荷的转移与输出，与CCD有所不同。
- APS的每一个像元都有一套转换器，而CCD是所有像元公用一套转换器。
- 这种转换器包括6个管组成，包括MOS、像元清零开关、A/D转换、行选择开关、转移开关、总清零开关。
- 其中转移开关将电荷采集区和储存区分开，只有在转移开关加压激活后，才能使电荷向储存区转移，直到将电荷转移完毕，因而没有滞后效应。
- APS最后可以直接转换为数字信号

APS的每一个像元都有一套转换器，而**CCD**是所有像元公用一套转换器。

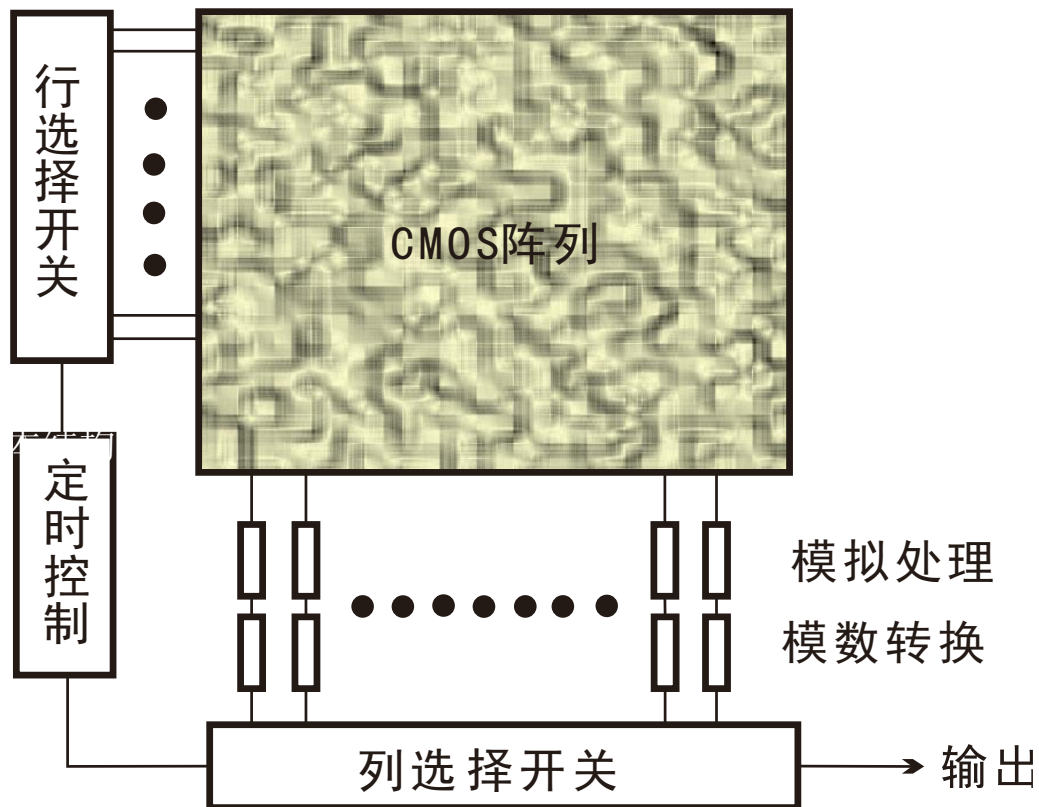


欧空局（ESA）研制成功的一个640×480像元的APS



CMOS结构

- CMOS成像元件结构由像元阵列、行选择电路、列选择电路、定时控制电路、模拟处理电路和数模转化电路组成。
- CMOS的阵列同时是二位可编址传感器阵列。行和列选电路主要是选定的芯片上具体的像元。这样可以同时读出和处理各像元的信息，速度快。
- 定时控制电路设置芯片各种工作参数。
- 模拟处理电路包括信号放大、采样、积分等。



CMOS成像元件基本结构图

CMOS工作流程

- CMOS工作流程首先是收集光电子，曝光开始，入射光激发电子，并储存在各个像元中。
- 曝光结束后，电荷的转移分两步。
- 每个像元的转移开关开启，使电荷暂时储存于像元的储存区，转移完成后，转移开关关闭，CMOS可以进行新一轮曝光。
- 而储存区的电荷通过像元内部的放大器转化成电压，而不需要电荷的转移，而电压通过由行选择控制多路传输到共同的列线，经过模拟处理和模数转换后通过列选择控制输出。

- CMOS优缺点

将图像传感器的所有功能集成到一起，避免使用外部设备

优点：

体积小、重量轻、集成度高、制作简单、价格低、功耗低、读出时间短（可以达到**0.001秒**）、读出噪声低（最好的可以达到**1电子/像元**）、工作温度较**CCD**高（不需要液氮制冷），易于做成大阵列、捕捉快速变化。

缺点：

但是量子效率偏低**50-60%**，暗流稍大（接近**1电子/秒/像元**），动态范围较小、位阱小（**~30000电子**），像元间的起伏较大，这些对于天文应用还有所欠缺。

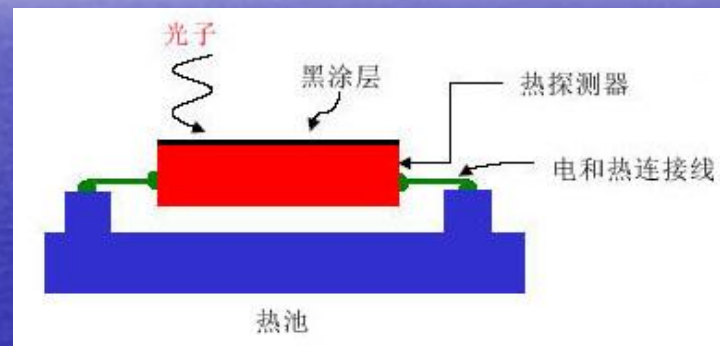
新的科学级**CMOS**采用背照式，量子效率显著提升。

红外焦平面探测器

- CCD用的硅材料
但是对红外波段不敏感
- 采用其它材料
近红外波段一般用HgCdTe（碲镉汞）材料
最好的是 Hawaii芯片
国内目前可以得到一种是法国SOFRADIR芯片

红外探测器

- 热辐射探测计



- 量子类探测器响应快、低噪声、集成化程度高，已成为红外探测的主要探测器。

红外探测器从材料

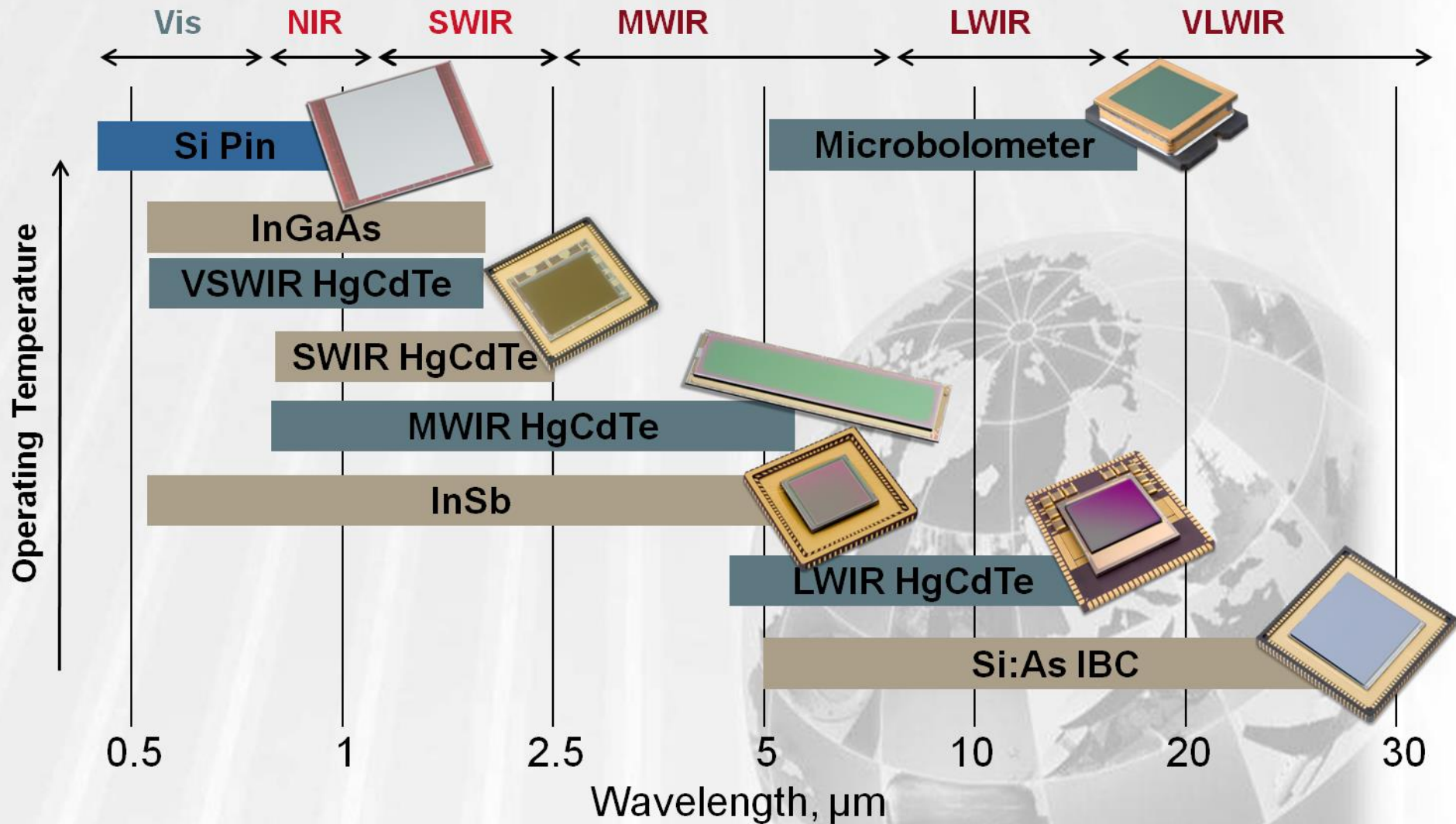
- 红外材料的能带间隙远小于硅材料
- 因此需要比CCD更低得工作温度。

HgCdTe探测器暗流要低于1电子/分钟/像素需要液氮的77K温度，InSb探测器暗流要低于0.1电子/秒/像素需要工作在30K的温度下。对于工作在20微米波长的探测器甚至需要制冷在4K的温度。

● 掺杂半导体

三元半导体	x	截断波长 (μm)	工作温度 (K)
Hg (1-x) Cd (x) Te	0.2	12	77
In (1-x) As (x) Sb	0.8	5	195

Mission Needs Drive A Range of Detector Materials



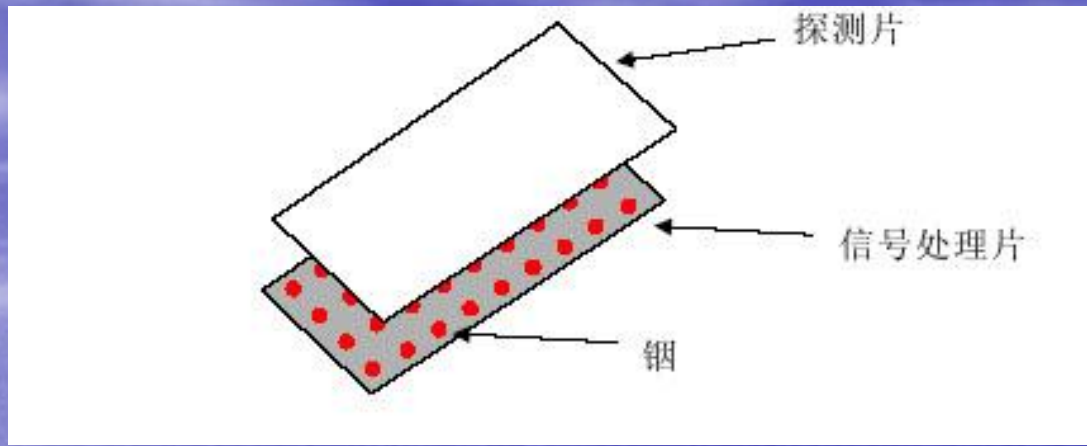
光学探测器:

单片阵是探测材料和信号处理部分做在一个半导体材料芯片里，CCD、CMOS探测器，它的探测和信号处理部分都放在一块硅芯片里。

红外探测器:

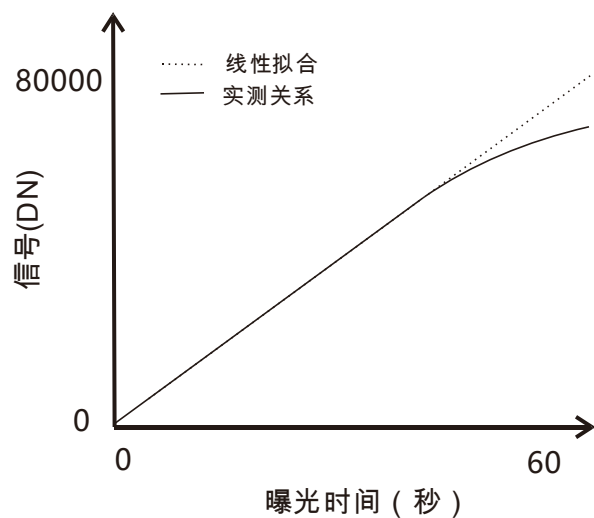
材料有点特殊，很难把探测和信号处理放在同一种材料里，混合阵是把探测和信号处理分开，各部分由不同的材料组成。

红外阵列探测器每个像素包含上面的红外探测单元和下面一个硅材料读出单元，而每个像素的读出单元都与外面连接，类似与CMOS读出结构。



- 红外探测器示意图。探测材料可以是任一种红外光敏材料，如InSb、Pb-Sn-Te、Hg-Cd-Te 等等。而信号处理部分是一个硅材料读出阵列。中间用一种钢粘合材料粘在一起，很像一个三明治的结构。
- 由于红外阵列探测器的这种结构比较复杂，因此制作工艺难度要高于光学的阵列探测器。

- 与光学的**CCD**不同，近红外光伏探测器存在一定的非线性，也即入射光子流量与输出电压不完全线性相关。



- 最著名的近红外探测器是夏威夷大学Teledyne的HAWAII芯片（HAWAII-I和HAWAII-II），是由HgCdTe材料的2048x2048阵列的芯片，工作在0.9-2.5微米。
- 其用于很多国际大中小型天文望远镜上，例如英国的3.8米UKIRT红外望远镜的WFCAM宽场相机采用了4个HAWAII 2048x2048芯片，并完成了著名的UKIDSS近红外巡天。

探测器的基本参数

参数很多：

阵列大小，像素尺寸，工作温度，读出噪声，暗流，满阱电荷，坏像素数目，动态范围，线性度，读出时间，增益，量子效率，响应度，光谱响应，时间响应，等等

量子效率 (QE) 定义为探测器所能记录的光子数除以同样条件下一个理想探测器所能记录的光子数。量子效率反映了探测器接收并记录信息的能力。

照相底片~1%，光电倍增管 ~30%，CCD ~ 90%

光谱响应 (RA) 又称为分光灵敏度或分光响应。表征探测器对不同波长辐射的响应特性。目前探测器的光谱响应常用量子效率来表征，量子效率随波长的变化即为光谱响应曲线。

增益 (gain)：定义与工程的定义不一样，相反

CCD图像中的1个计数值 (ADU) 代表的电子个数，这是有电子的数字转化电路决定的。增益的单位是e/ADU。

不同探测器的比较

	CCD	CMOS	红外 HAWAII	Hg-Cd-Te SOFRADIA (法国)	INGaAs (国内)
量子效率	>90%	80-90%	>80%	>80%	>80%
阵列	10K	10K	4K	320x256	640x512
工作温度	~173K	240-270K	30K	140K	100K
暗流 (e/s/pix)	0.001	0.2	0.2	10000	~10
读出噪声(e/pix)	1-9	1~6	12	250	10-20
读出时间 (秒)	10-60	<1	10	<<1	<<1
波长	光学	光学	1-2.5微米	1-2.5微米	0.8-1.5微米

举例：Lick CCD的基本参数

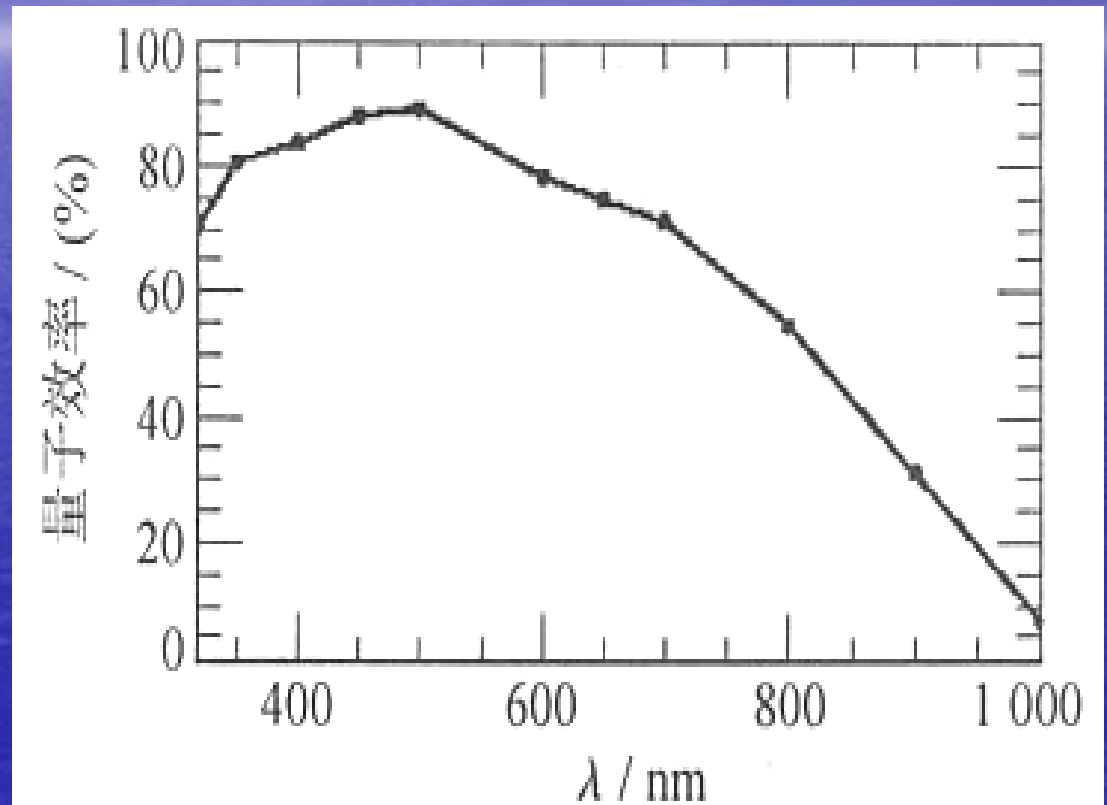
- ✓ 图像大小(像元) 2048×2048
- ✓ 像元大小 (微米) 15×15
- ✓ 暗流 (电子/像元/小时) $2.4e$ at -100°C
- ✓ 满阱电荷 (电子/像元) 100, 000
- ✓ 读出噪声 (电子/像元) : 3
- ✓ 光谱响应 (量子效率) : < 1 微米
- ✓ 线性度:
- ✓ 坏像元数
- ✓ 增益 (电子/计数ADU) : 2 (控制器)

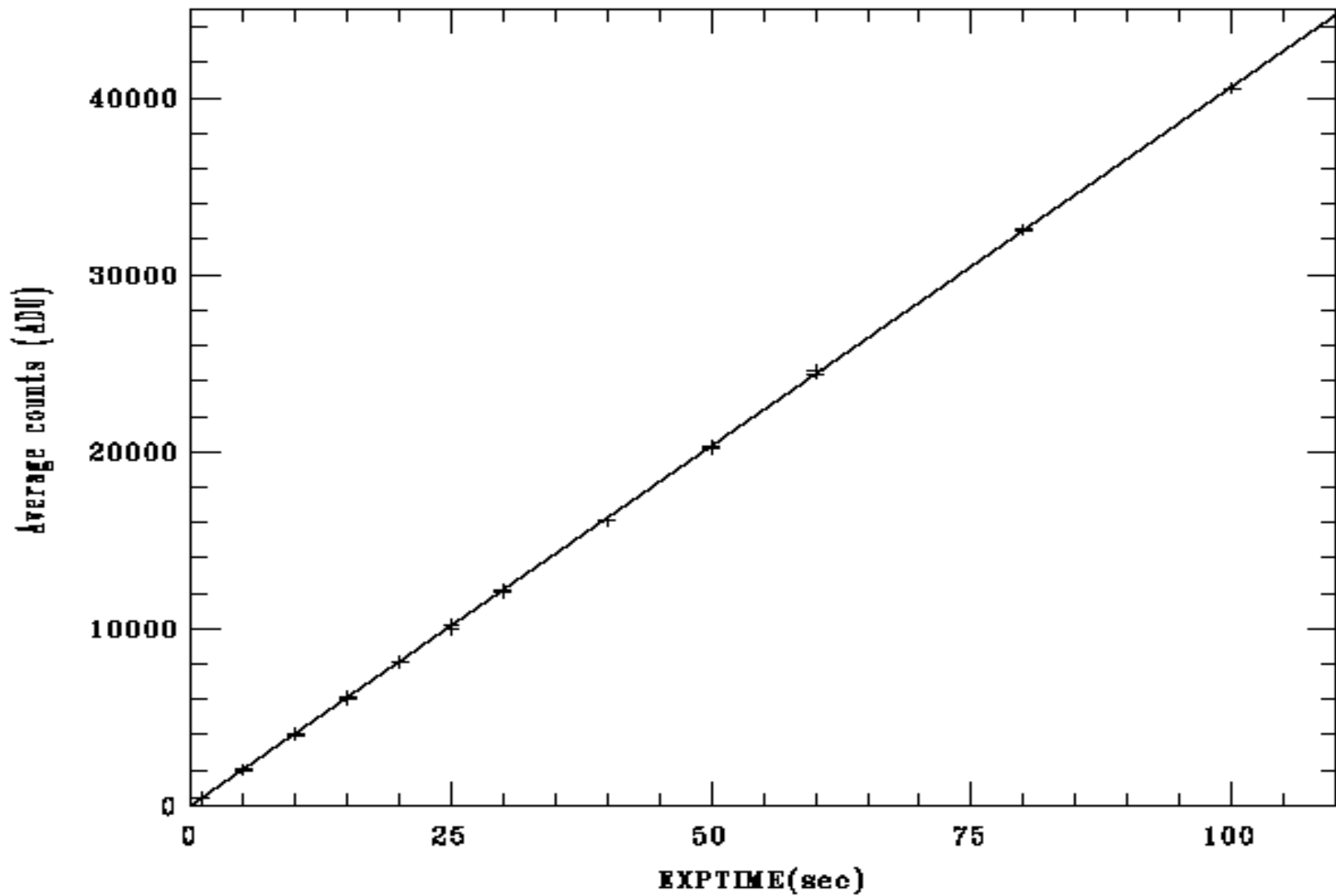
CCD类型 图像大小(像元) 像元大小(微米) 暗流(电子/像元/小时) 满井电荷(电子/像元) 控制器		Loral Lick 3 薄片, MPP 2060×2048 15×15 2.4 at 97 K Lick新CCD控制器(魏名智)		
模式				
读出速度	增益选项	增益 (e^-/ADU)	读出噪声 ($e^-/pixel$)	整幅CCD读出时间 (second)
Slow	0	3.59	9.93	87
Slow	1	1.69	8.30	87
Slow	2	0.75	8.14	87
Median	0	7.20	11.07	53
Median	1	3.39	9.96	53
Median	2	1.50	9.29	53
Fast	0	19.98	49.03	20
Fast	1	10.32	54.39	20
Fast	2	4.45	51.27	20

举例：Lick CCD

不同波长处的出厂量子效率

$\lambda(\text{\AA})$	$\eta_{\text{CCD}}(\%)$
3500	18.4
4000	49.9
5000	86.3
6500	88.7
9000	38.5





CCD天文观测需要的基本辅助图像

本底图像 (BIAS)

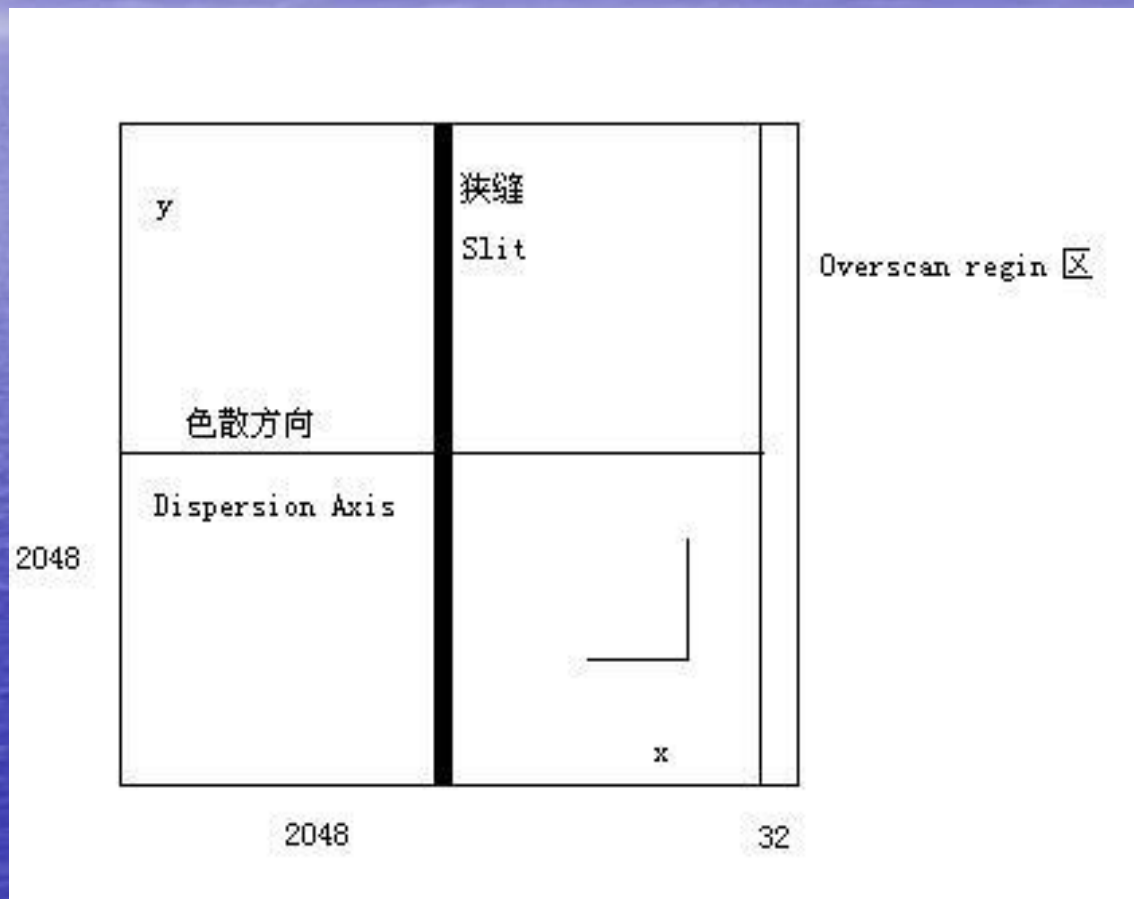
暗流图像 (Dark Current)

平场图像 (Flat-Field)

坏像元图像 (坏像元表)

Overscan区域 (有些CCD没有)

CCD的Overscan/Baseline区域 有些CCD没有



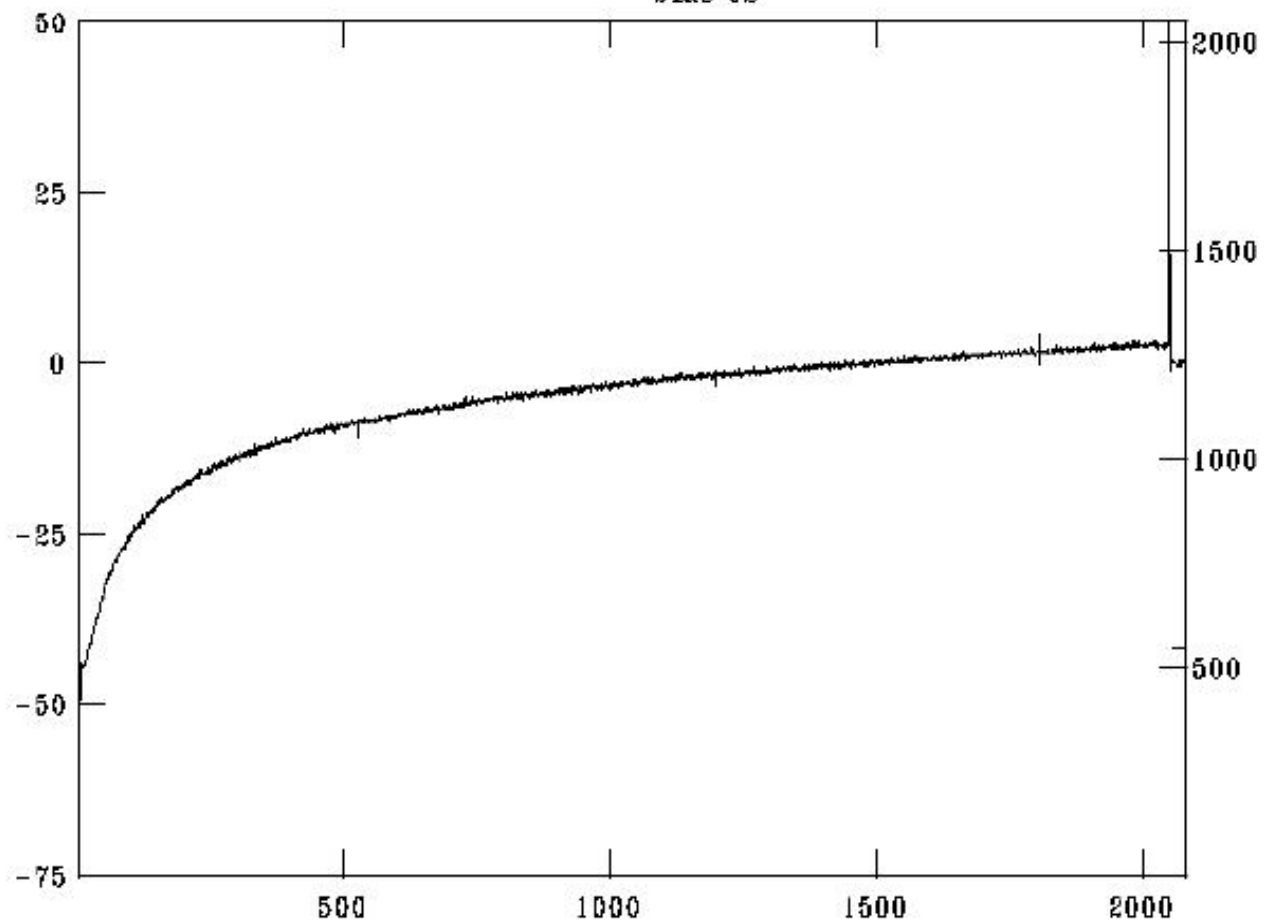
本底图像 (BIAS)

本底图像是为了获取 CCD 整体和各个像元的基底值，同时也包含 CCD 读出电路带来的一些结构。

本底图像一般是采用零秒暗场图像。



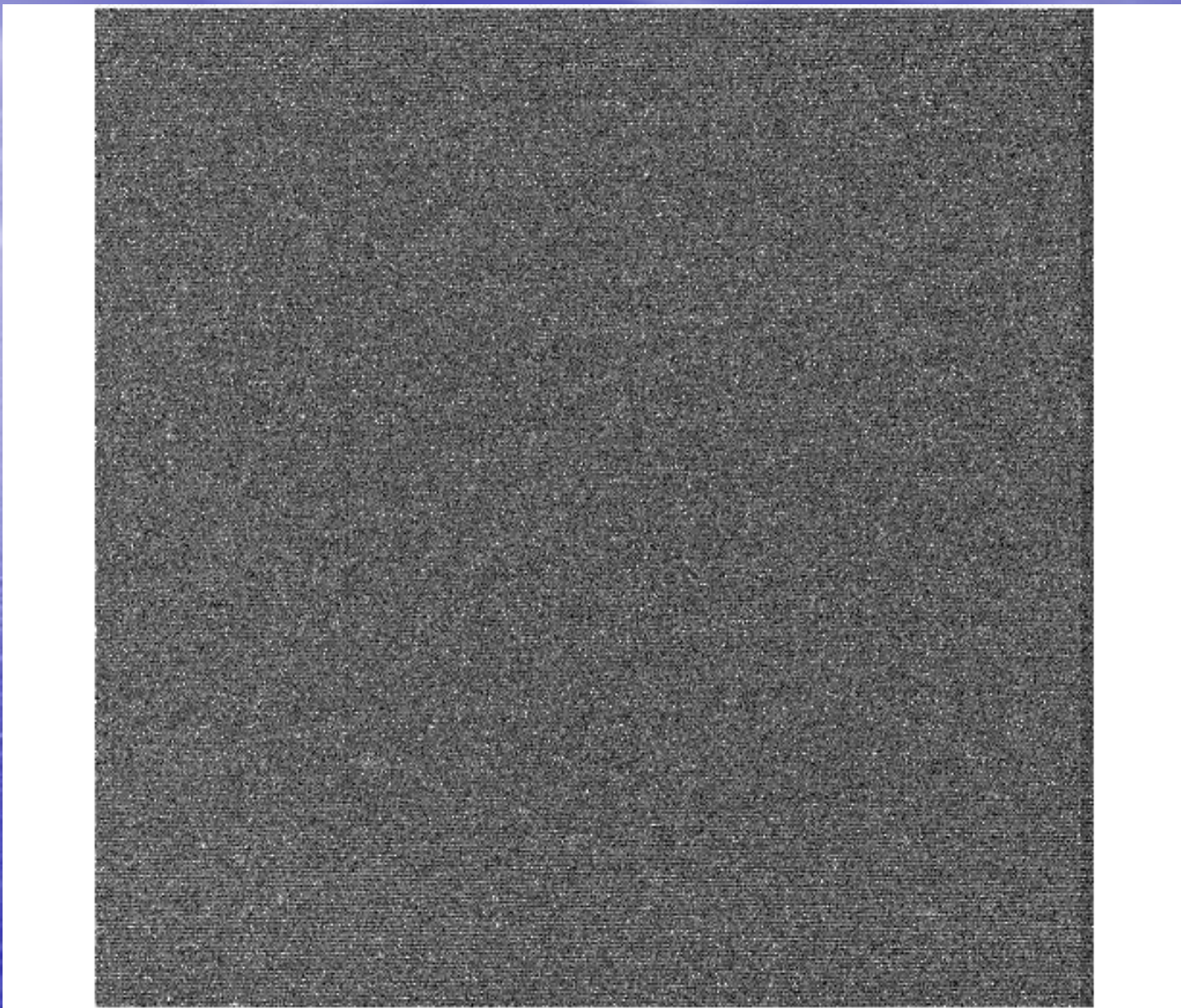
NOAO/IRAF V2.12.2a-EXPORT wu@wnhong.bao.ac.cn Tue 23:10:55 12-Jul-2005
Average of lines 548 to 1547 of d1001c
bias 0s



暗场图像

CCD在不曝光时，自身也会产生电子，叫暗流
暗场图像获取一般采用长时间积分图像

对于目前大多数科学CCD图像，暗流值很低，可以忽略。
对于一些特殊科学观测，需要考虑！

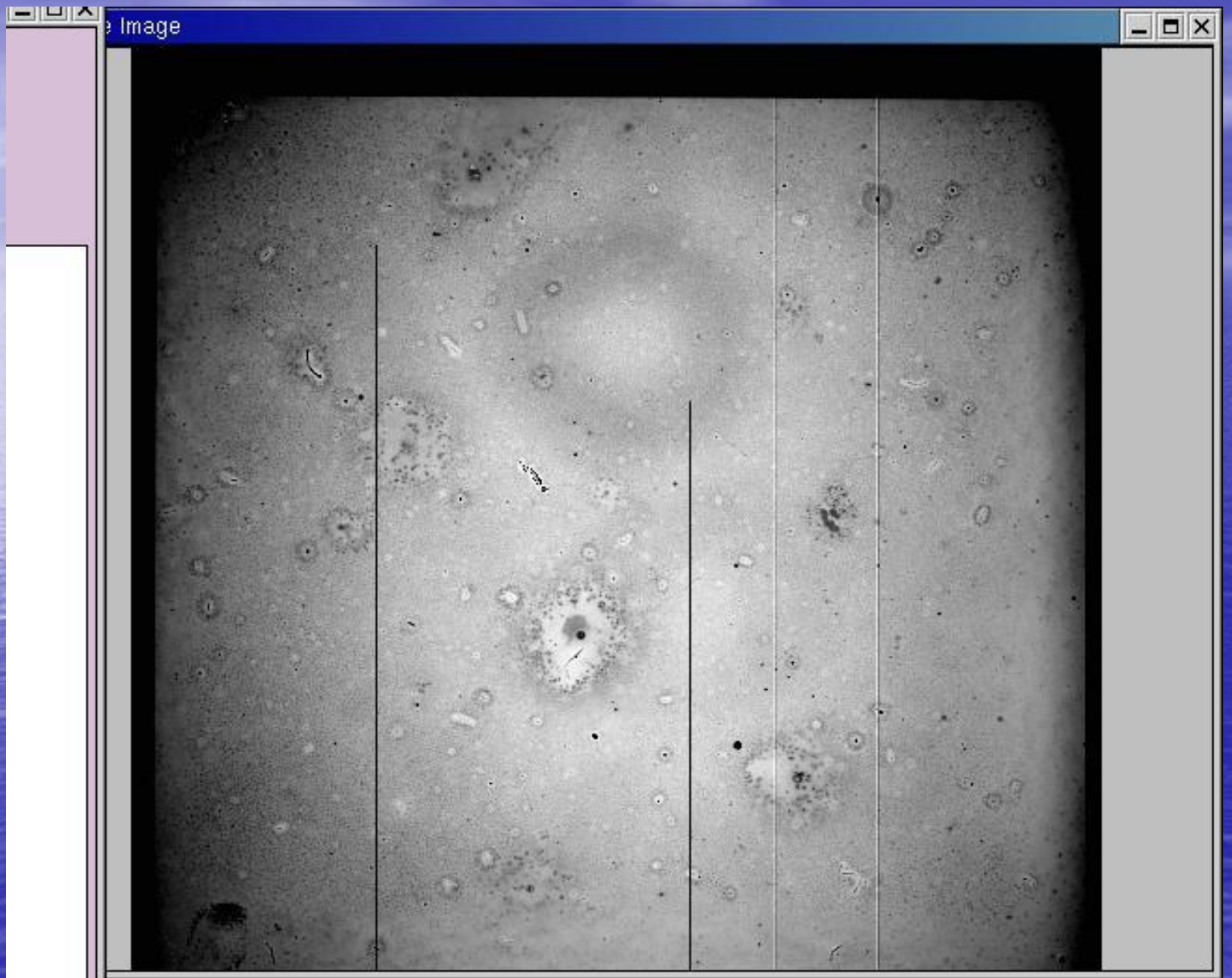


平场图像

决定CCD测光精度的关键！

需要一个平谱、均匀入射的平行光源！

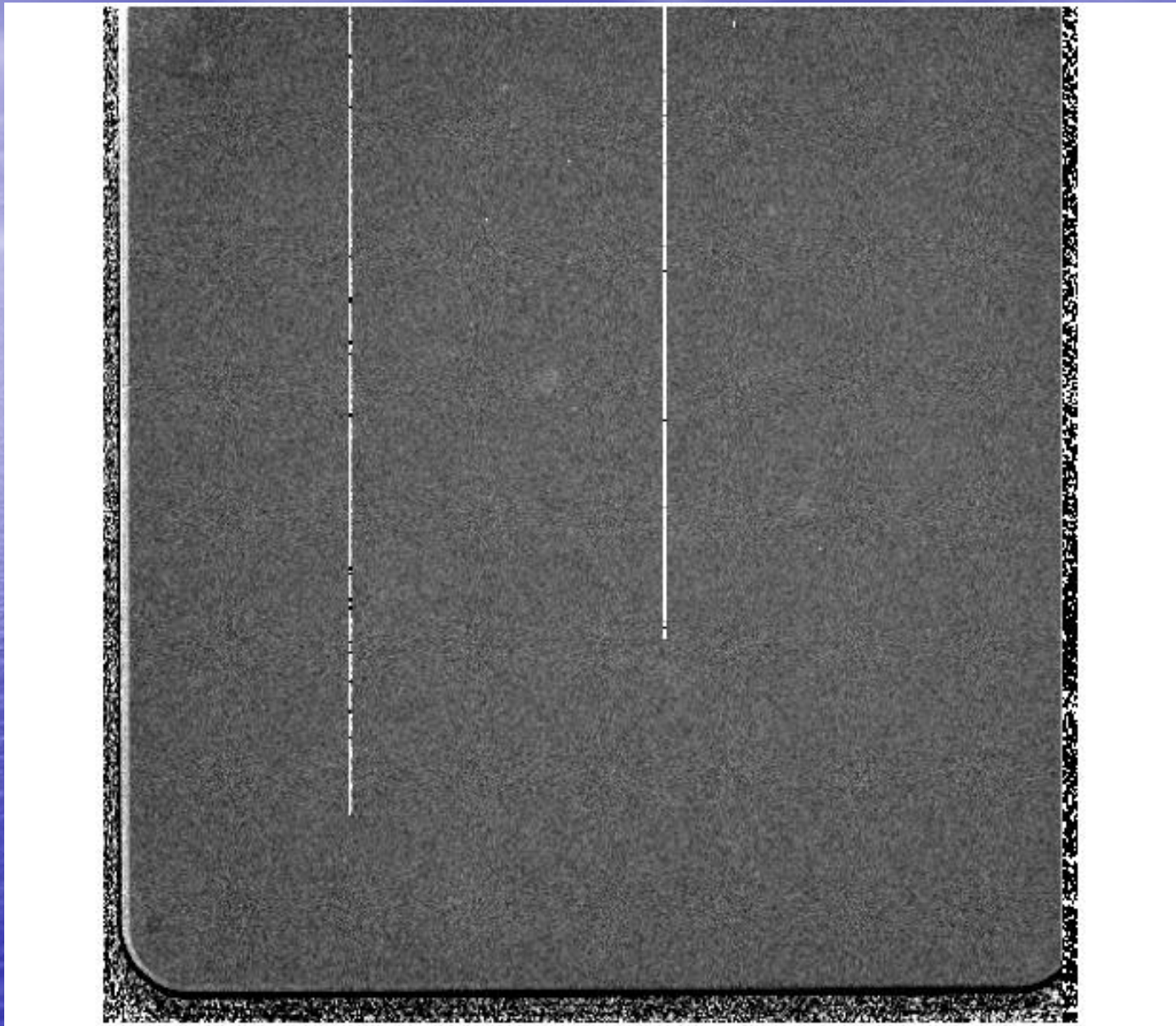
主要改正CCD的不同像素之间的差异，以及可能成像光路中光学元件（例如滤光片）造成的大尺度不均匀性。



Overscan 区域

在一些CCD中有一些不感光的行和列；
或者CCD在每行读出前或后，空读出若干行和列。

实际上这些区域反映了CCD读出过程的附加电压值，与本底图像很类似，但更具有实时性。



利用CCD进行天文观测的策略

- ◎ CCD观测的基本原理
- ◎ 观测前准备
- ◎ 观测策略

基本原理

$$\text{改正图像} = \frac{\text{观测图像} - \text{本底图像} - \text{暗场}}{\text{平场图像} - \text{本底图像} - \text{暗场}}$$

在大部分情况下，暗场可以忽略。

观测前准备

- ✓ 熟悉所用望远镜观测系统和控制界面
一般可以到望远镜主页或相应的使用手册查找
- ✓ 确认当晚要用的滤光片（测光）
或者光谱仪的所需光谱分辨率
- ✓ 准备源表和标准星表
证认图，观测顺序，曝光时间等。
- ✓ 准备候选源表，如果天气条件不好时观测
- ✓ 准备好观测记录表（log表）

观测策略

成像观测：

选择当晚所用的滤光片

5-10 幅本底图像

5-10 幅平场图像（每个滤光片一组）

获取标准星图像

目标源图像

基本观测顺序为：

天文昏影终（日没后暮色消失的时候）之前：本底图像（5-10幅）— 平场图像（5-10幅）

标准星—目标源—标准星—目标源 …… （测光夜情况）

天文晨光始（日出前曙光初露的时刻）之后：平场图像（5-10幅）— 本底图像（5-10幅）

光谱观测

根据所需谱分辨率和观测当晚的seeing选择缝宽

获取

本底图像、所用色散元件的光谱色散平场图像
所用色散元件的波长定标谱
所用色散元件的标准星谱

目标谱

基本观测顺序为：

天文昏影终：本底图像（5-10幅）— 光谱平场图像（5-10幅）

波长定标谱 — 标准星谱 — 波长定标谱 — 目标星谱 — 波长定标谱 — 标准星谱 — 波长定标谱 — 目标谱 — …… — 波长定标谱

天文晨光始：光谱平场图像（5-10幅）— 本底图像（5-10幅）

本底图像 (BIAS)

每天在开始观测前和结束观测前各获取5-10幅
0 秒暗场

要求

快门关闭、圆顶关闭、圆顶关灯、望远镜镜盖关闭

平场 (Flat-Field)

每天观测开始前、观测结束后各获取5-10幅

三类平场:

圆顶灯光平场 (Dome-Flat)

晨昏天光平场 (Twilight-Flat)

夜天光平场 (Super-sky-Flat)

平场的选择决定于望远镜结构、科学目标。

成像平场/光谱平场

成像平场

圆顶灯光平场

优点:

不依赖于天气

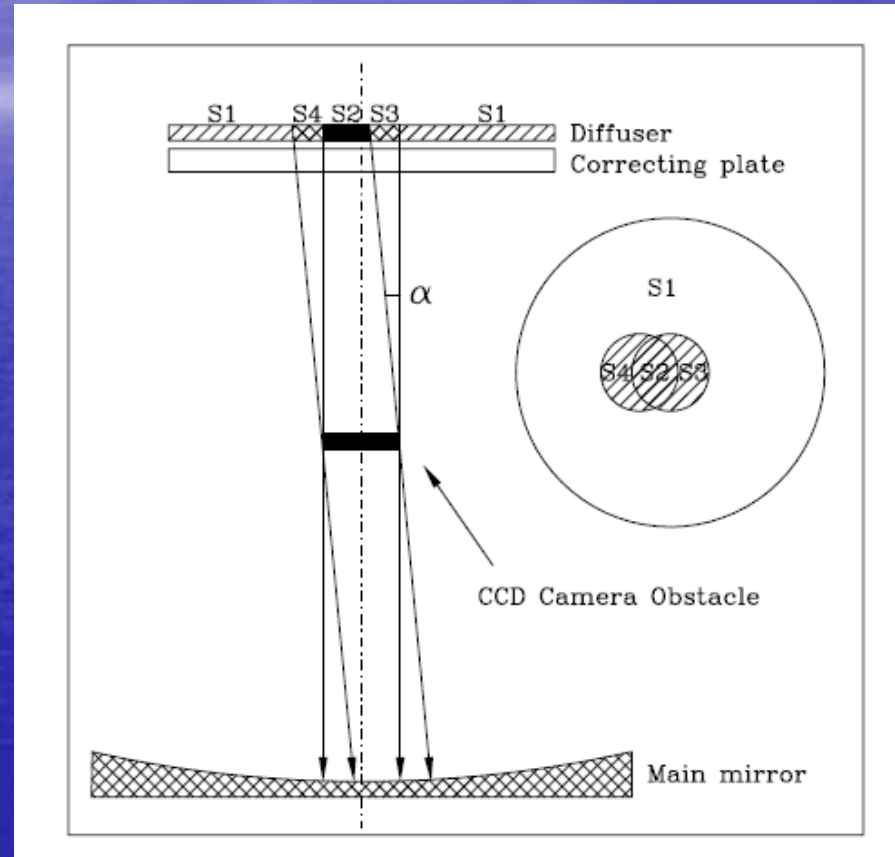
不占观测时间

高光子计数

缺点:

照明很难均匀

光源谱与夜天光差别很大



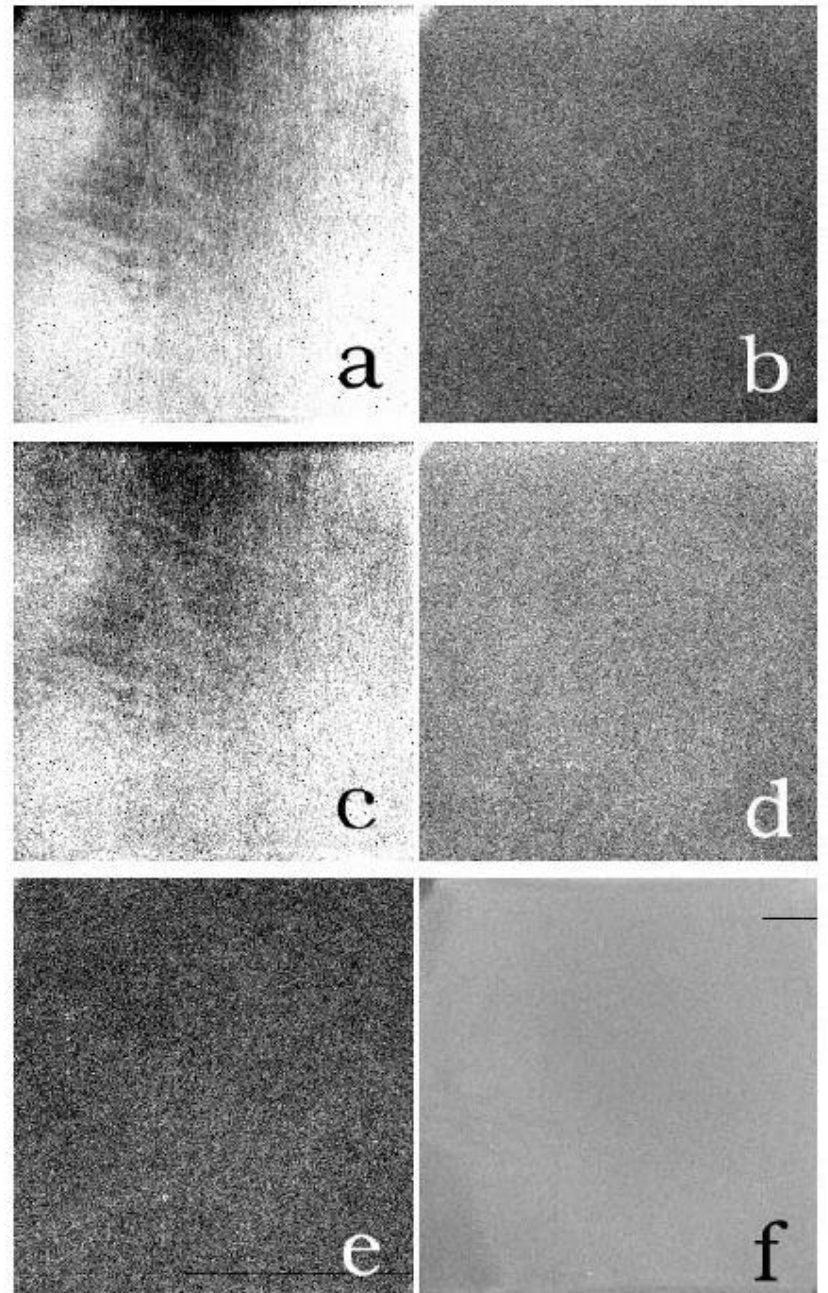
a:圆顶平场（60/90施密特）

c:夜天光平场

b、d: 夜天光/圆顶平场

e: 夜天光1/夜天光2

f: 圆顶1/圆顶2



晨昏天光平场

优点:

在一定视场内比较均匀
不占观测时间
高计数

缺点:

大视场不均匀($>0.5\text{deg}$)
每天观测时间短
可能有亮星污染
光谱不同于夜天光

夜天光平场**Super-Sky-FF** 通过图像合并技术实现！

优点：

均匀

与观测条件完全相同

缺点：

占观测时间

依赖天气

低计数

合成平场

平场结构:

每个像素本身的不同 (pixel-to-pixel)

大尺度结构 (large-scale)

圆顶平场(pixel-to-pixel 结构)

夜天光平场 (large-scale 结构)

优点:

均匀

接近观测条件

高计数

光谱平场*

目的：改正CCD的量子效率，改正光学上的空间照明不均匀。

两种平场：圆顶平场、晨昏天光平场

圆顶平场

优点：高计数、连续谱

缺点：空间照明不均匀、蓝端计数低

晨昏天光平场

优点：空间照明均匀

缺点：可能有发射线

合成平场：圆顶平场+晨昏天光平场

光谱波长定标*

定标灯：Fe/Ar（铁氩灯）、Ne（氖灯）

氖灯：

有强的孤立发射线

容易识别证认

红波长好

蓝波长无发射线

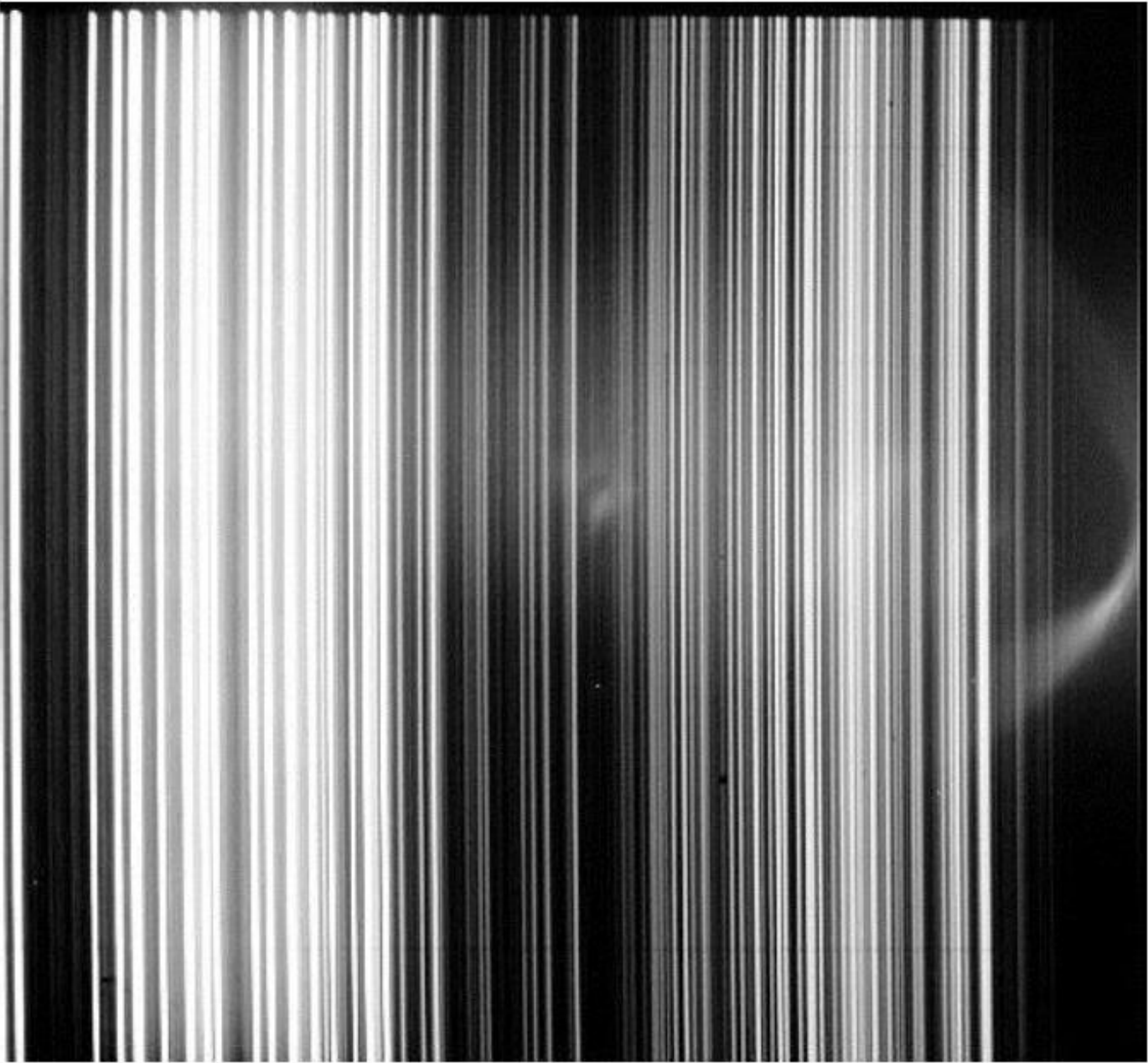
铁氩灯：

红、蓝波长均有很多发射线

大多线很弱、并且混淆一起

很容易认错发射线。

一般情况下，观测前后各观测一组。需要较高定标精度时，在观测每个源的前后各拍一次（望远镜和设备姿态保持和观测一样）。



图

标准星*

如果需要对观测目标光谱进行流量定标, 每晚必须多次获取多个标准星的光谱。

测光标准星

Oke-Gunn标准星 或 Landolt 标准星

光谱标准星

选择白矮星 (仅有很弱的吸收线)

可以很好连续谱改正

蓝端信噪比高

一般, 需要在不同天顶距观测标准星, 以便于做大气消光改正。

目标源（成像观测）

观测策略：最好在目标源中天时观测（大气消光最小）先用CCD快模式获取快照，检查视场然后用CCD慢模式观测。长曝光最好采用2-3次曝光方式，甚至采用dithering的方式观测。

优点：去除宇宙线（见图像合并技术）

剔除坏像元（见图像合并技术）

如果1幅观测有问题，还有1-2两幅曝光图像可用

缺点：信噪比会略微下降

目标源（光谱观测）*

最好在目标源中天时观测（大气消光最小）先用成像快模式获取快照，检查视场然后将源放入狭缝中用CCD慢模式观测。

缝宽决定与分辨率要求和seeing，狭缝空间方向最好垂直地面，避免大气折射使得红蓝波段不能同时进入狭缝。特殊需要时，可以旋转狭缝。

长曝光最好采用2-3次曝光方式，为了去除宇宙线。

建议最好获取源的狭缝，目标对好后，在狭缝状态曝光、在曝光中间移走狭缝。

数据处理

- 基本CCD处理:

$$\text{改正图像} = \frac{\text{源图像} - \text{本底图像}}{\text{平场图像} - \text{本底图像}}$$

- 成像:

基本CCD处理
测光
流量定标

- 光谱*:

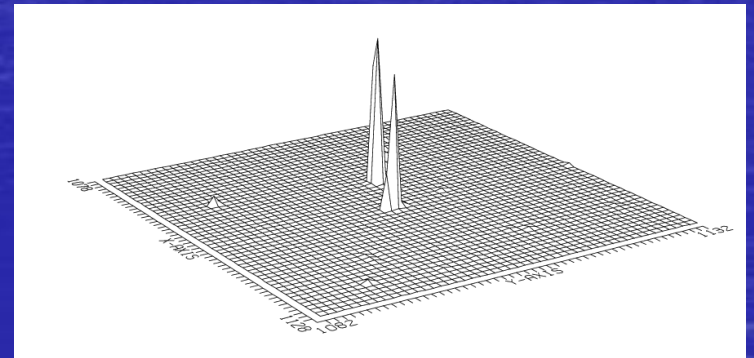
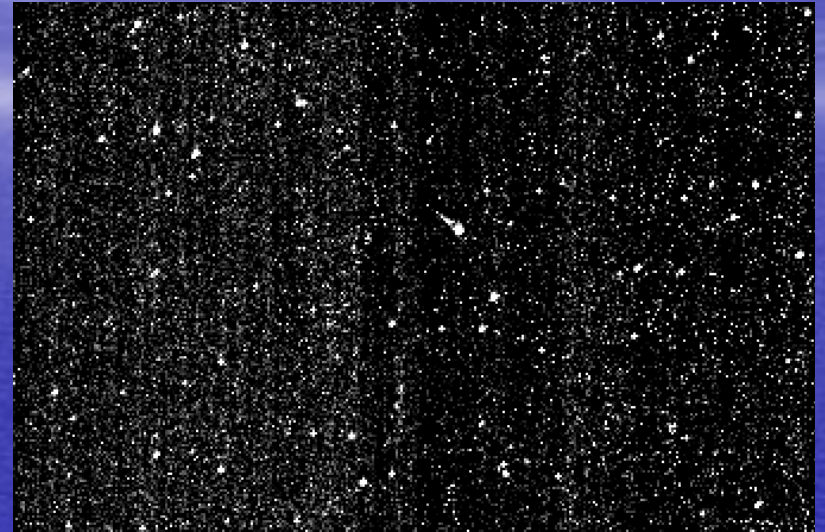
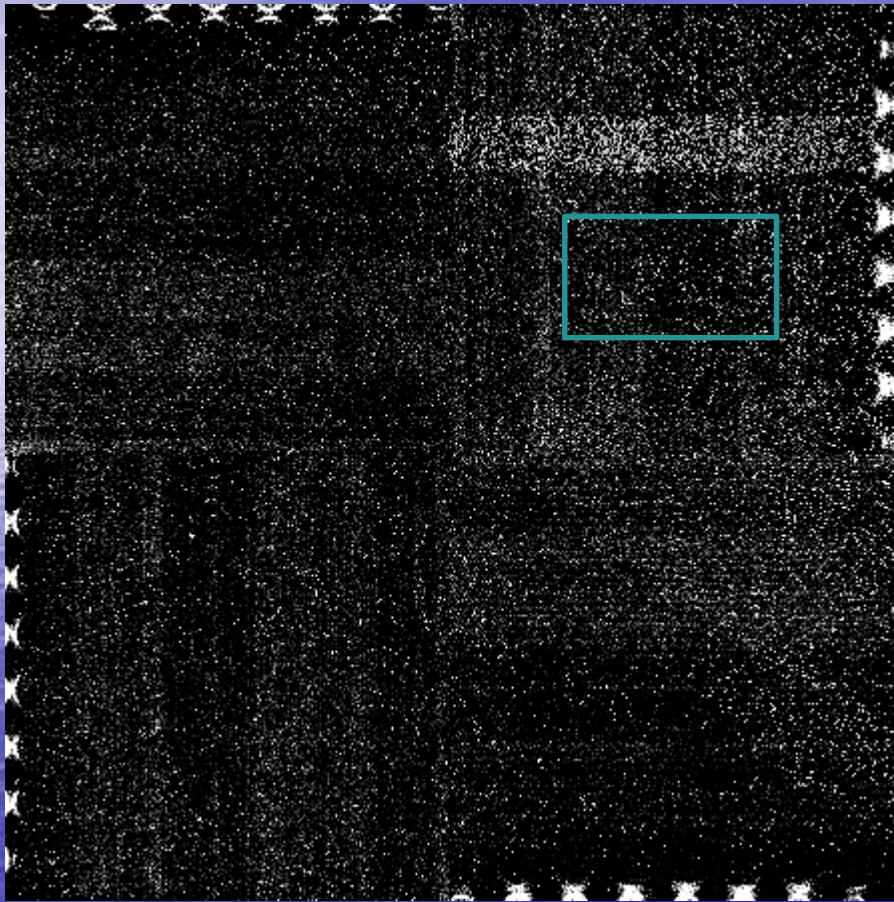
基本CCD处理
波长定标
弯曲改正
抽谱
流量定标

红外天文图像观测

近红外观测特点:

- 探测器暗流可能高（差一些的探测器）
- 坏点多（如图）
- 读出模式与CCD不同，有固定的图案
- 红外天光背景值高
- 周围自发射强

例如：在K波段，圆顶黑体辐射值甚至强于夜天光值



红外天文图像观测所需辅助图像

与CCD辅助图像不同点：

- 暗流图像：与观测曝光时间相同
- 平场图像：曝光时间相同的晨昏天光平场
- 夜天光背景图像：
与观测源曝光时间同，**dithering**

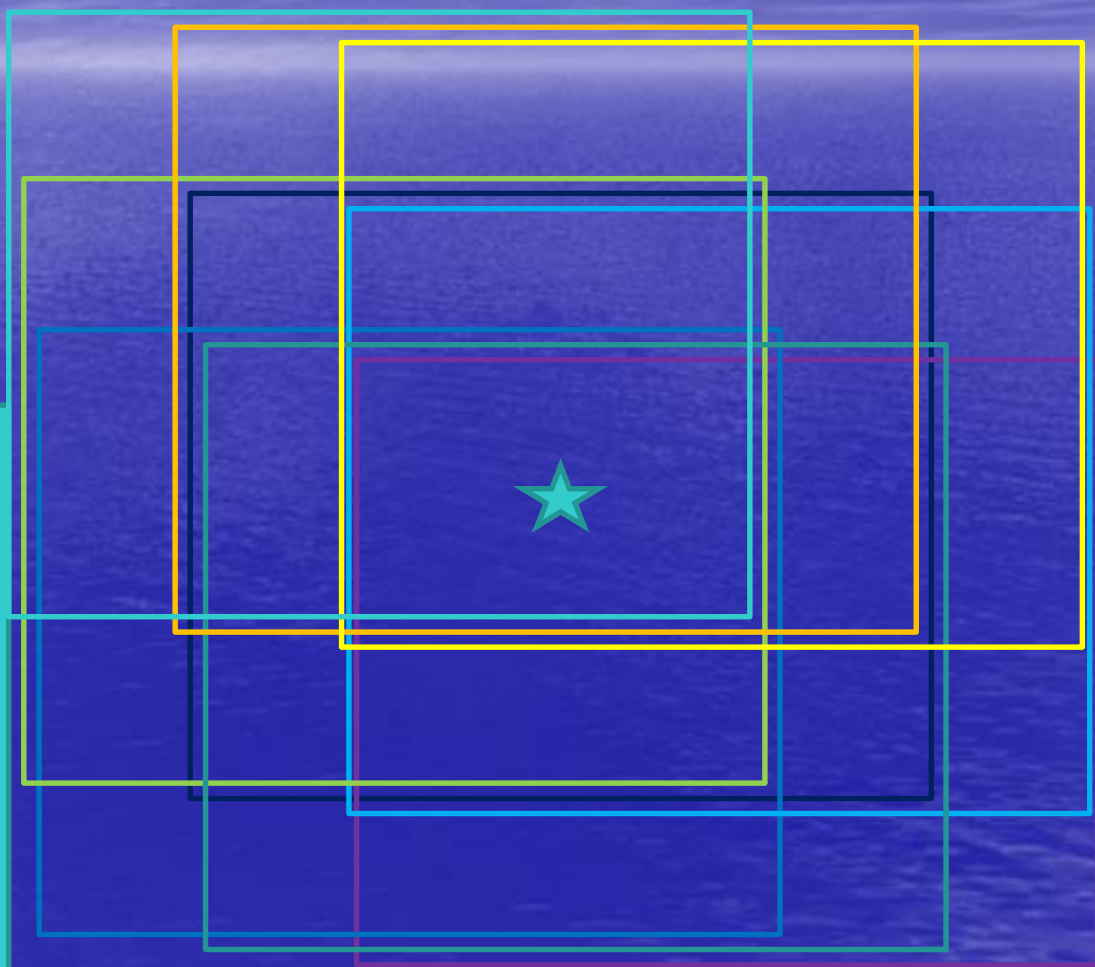
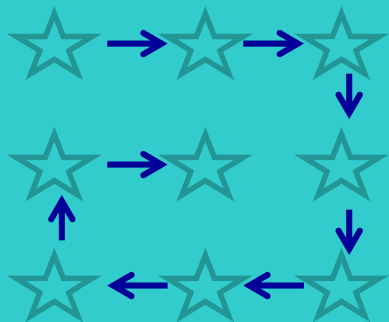
Dithering模式

望远镜抖动观测

望远镜中心位置按
一定顺序移动！

例如：

9个位置的dithering



红外天文图像观测步骤:

- 确定正式观测的曝光时间: 由于天光红外天光背景高, 因此每次图像曝光时间很短, 一般在几秒至几十秒, 一次一个源曝光幅数多。在每天正式观测前确定曝光时间, 以便获取相应的辅助图像。
- 获取与正式观测曝光时间相同的暗流图像 > 10 幅
- 获取观测波段的曝光时间相同的晨昏天光平场 5-10 幅 (晨昏天光平场)
- 观测红外测光标准星, dithering 观测模式, 与观测源同样曝光时间。
- 观测目标源, dithering 观测模式 (例如九个位置模式), 每个位置可以连续进行多幅曝光 (根据最终总曝光时间确定) 以保证信噪比。
- 观测目标附近背景天光图像观测, dithering 观测模式, 每个位置一幅即可。
- 标准星 -- 观测目标 - 目标背景 -- ...
- 晨昏天光平场 5-10 幅
- 暗流 > 10 幅

红外天文图像观测处理(一种方案):

$$\text{改正图像} = \frac{\text{源图像} - \text{暗流图像}}{\text{平场图像} - \text{暗流图像}}$$

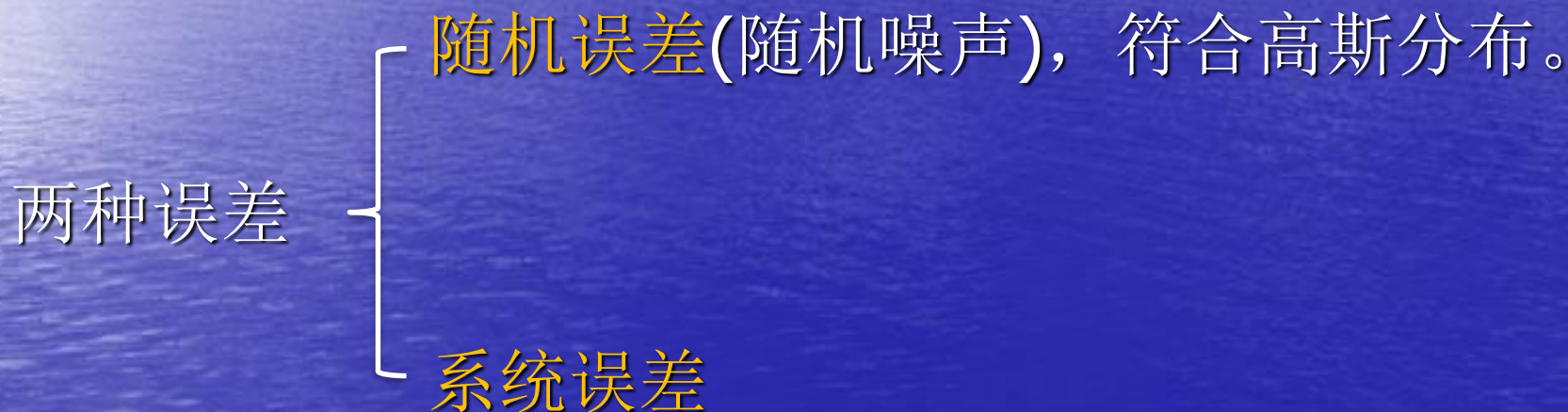
改正图像合并扣除源产生天光背景图像

每个改正图像扣除合并背景图像

最后图像按源位置对齐合并图像，得到最终的源图像

误差

每一步数据处理都会带来误差



随机误差

可以通过数据统计得到

误差源

CCD 读出噪声

扣除overscan带来误差

减本底图像带来误差

平场改正带来误差

暗流改正带来误差

天光背景噪声

去除背景误差.....

随机误差可以通过下面公式累加:

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots$$

系统误差

通常很难测量

不能用随机误差公式累加

CCD增益和读出噪声的计算

CCD相机的2个基本量:

读出噪声: 单位电子/像素

增益: 电子/ADU计数

一般是比较稳定的, 建议一段时间测一次!

标准测量, 需要稳定的光源以及一系列不同曝光时间图像和本底图像, 测量每个像素的增益和读出噪声, 再取平均! 比较困难!

利用CCD特性可以有更简易方法测增益和读出噪声!

CCD增益和读出噪声的简易计算

基本假设： CCD在小范围内不同像素的性质一样
获取2幅同样条件下的平场图像 (F1,F2)

获取2幅本底图像(B1,B2)

$$B_{12} = B_1 - B_2$$

$$F_{12} = F_1 - F_2$$

$\langle B_1 \rangle$ $\langle B_2 \rangle$ $\langle F_1 \rangle$ $\langle F_2 \rangle$ 代表图像的平均值

σ : 图像的标准偏差(计数ADU), 最好是局域图像

r: 读出噪声(电子e)

g: Gain (e/adu)

$$(g \sigma_{B2})^2 = (g \sigma_{B1})^2 = r^2$$

$$(g \sigma_{B12})^2 = 2r^2$$

$$(g \sigma_{F1})^2 = (\langle F1 \rangle - \langle B1 \rangle) g$$

$$(g \sigma_{F2})^2 = (\langle F2 \rangle - \langle B2 \rangle) g$$

$$\begin{aligned} (g \sigma_{F12})^2 &= (g \sigma_{F1})^2 + (g \sigma_{F2})^2 + (g \sigma_{B1})^2 + (g \sigma_{B2})^2 \\ &= (\langle F1 \rangle - \langle B1 \rangle) g + (\langle F2 \rangle - \langle B2 \rangle) g + (g \sigma_{B1})^2 + (g \sigma_{B2})^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{B12}^2 = (g \sigma_{B1})^2 + (g \sigma_{B2})^2$$

$$g = (\langle F1 \rangle - \langle B1 \rangle + \langle F2 \rangle - \langle B2 \rangle) / (\sigma_{F12}^2 - \sigma_{B12}^2)$$

$$r = (g \sigma_{B12}) / \sqrt{2}$$

IRAF中任务findgain就是用这种方式获取CCD增益和读出噪声的。

σ : 图像的标准偏差(计数ADU), 最好是局域图像

r: 读出噪声(电子e) g: 增益 (e/adu)

图像	图像平均值 测量值 (e)	图像统计标准偏差 测量值 (e)	理论误差及推导
B1	$g\langle B1 \rangle$		$(g\sigma_{B1})^2$
B2	$g\langle B2 \rangle$		$(g\sigma_{B2})^2$
B1-B2	0	$(g\sigma_{B1B2})^2$	$= (g\sigma_{B1})^2 + (g\sigma_{B2})^2 = 2r^2$
F1	$g\langle F1 \rangle =$ $g(\langle F10 \rangle + \langle B1 \rangle)$		$(g\sigma_{F1})^2 =$ $g(\langle F1 \rangle - \langle B1 \rangle) + (g\sigma_{B1})^2$
F2	$g\langle F2 \rangle =$ $g(\langle F20 \rangle + \langle B2 \rangle)$		$(g\sigma_{F1})^2 =$ $g(\langle F2 \rangle - \langle B2 \rangle) + (g\sigma_{B2})^2$
F1-F2	0	$(g\sigma_{F1F2})^2$	$= g(\langle F1 \rangle - \langle B1 \rangle) + g(\langle F2 \rangle -$ $\langle B2 \rangle) + (g\sigma_{B1})^2 + (g\sigma_{B2})^2$
			$= g(\langle F1 \rangle - \langle B1 \rangle) + g(\langle F2 \rangle -$ $\langle B2 \rangle) + (g\sigma_{B1B2})^2$
	$r = (g\sigma_{B1B2}) / \text{sqrt}(2)$		$g = (\langle F1 \rangle - \langle B1 \rangle) + (\langle F2 \rangle - \langle B2 \rangle) / (\sigma_{F1F2}^2 - \sigma_{B1B2}^2)$

举例: findgain (课后作业)

PACKAGE = **obsutil** TASK = **findgain**

cl>epa findgain

flat1 = **10430006**

First flat frame

flat2 = **10430007**

Second flat frame

zero1 = **10430004**

First zero frame

zero2 = **10430005**

Second zero frame

(section= **[400:500,400:500]**)

Selected image section

(center = mean)

Central statistical measure

(nclip = 3)

Number of clipping iterations

(lsigma = 4.)

Lower clipping sigma factor

(usigma = 4.)

Upper clipping sigma factor

(binwidth= 0.1)

Bin width of histogram in sigma

(verbose= yes)

Verbose output?

(fd =)

(mode = ql)

运行后

FINDGAIN:

center = mean , binwidth = 0.1
nclip = 3 , lsigma = 4. , usigma = 4.

Flats = 10430006[400:500,400:500] & 10430007[400:500,400:500]

Zeros = 10430004[400:500,400:500] & 10430005[400:500,400:500]

Gain = **1.14** electrons per ADU

Read noise = **2.67** electrons