

# 硅二极管阵的特性及其在太阳磁场望远镜中应用的可能性

明长荣

(北京天文台)

## 一、硅二极管阵的基本特性

固体硅二极管阵的基本结构为, 在一块光敏硅片上用光刻工艺将它分割成若干小块, 成为若干只光敏二极管, 纵横排列成线阵或面阵将每只二极管都附带一个读出电路, 这样就可以同时测定一个面光源的光强分布, 成为二维光电器件。硅二极管阵包括IDA (集成硅二极管阵) CCD (电荷耦合器件) 和CID (电荷注入器件)。就光聚集方式而言, IDA 和 CCD 器件的作用都相当于P-N结的光检测器。即为当接收到入射光子后, 释放出电子一空穴对 (对理想效率而言, 一个光子对应于一个电子)。露光时, 偏置二极管放电。在IDA器件中, 每只二极管存储光电荷的最大容量为 $10^5 \sim 2 \times 10^7$  [1] e (e为电子电荷), 读出噪声约为 $10 \sim 50e$ , 但经前置放大后, 在器件的输出端, 噪声电平可达 $400 \sim 1500e$ , 因为任何低噪声前置放大器的噪声不可能做到为零。

## 二、系统性能比较

在天文上, 由于照相底片有信息容量大, 成像视场宽, 几何尺寸固定, 原始资料易于长期保存等优点。因而, 采用这种方法已有一百多年的历史。但它也有不少缺点, 如动态范围小, 量子效率低, 倒易率失效, 资料处理繁复等, 光电倍增管属于另一类原理不同的检测器它用阴极作光接收面, 受光后逸出光电子, 其管内有高达 $10^6$ 以上的内部增益。即它只要接收到一个光子, 在输出端便能产生上百万个电子, 因而灵敏度极高。同时, 它的动态范围也很宽, 量子效率也较高 (约为 $10 \sim 30\%$ )。然而, 它对对象的检测只能逐点进行, 不能一次成像。自扫描固体硅二极管阵, 可以说是将前述二者的优点相互补充后的一种较为理想的光电检测器。它的量子效率很高, 通常为 $60\%$ 左右, 最高可达 $80\%$  [2], 它还有电荷累积效应好, 动态范围大, ( $> 2 \times 10^8$ ) 光谱范围优良 ( $0.3 \sim 1.3 \mu\text{m}$  [3]), 体积小、重量轻、工作电压低、寿命长和互换性强等优点。

## 三、硅二极管阵在太阳仪器中的典型应用:

硅二极管阵在太阳仪器中获得成功应用的典型例子为: 1973年, 美国基特峰天文台首次将洛克希德的IDA512单元的线阵摄像器件用到太阳磁象仪上, 对太阳象作机械步进扫描,

(即垂直方向步进683次)整幅图象约有三十五万个像素。在信噪比为1000:1时,一次扫描时间为5分钟(不包括存贮器累积相加时间)。由于该系统用硅二极管阵作检测器,使得可测磁场范围为2~2000高斯,从而提高了磁场分辨本领。并且还获得 $\Delta I/I$ 为 $3 \times 10^{-4}$ 的亮度检测率。因此,能在太阳大气层附近,检测出万分之三的谱线轮廓变化。见文献〔2〕

#### 四、CCD面阵象感器在太阳磁场望远镜中应用的定量分析:

现以国产GE201型150×120分辨单元的CCD面阵象感器若用在太阳磁场望远镜中的各参数做出定量计算与分析。表1列出了国产GE201型CCD面阵象感器的主要性能指标。

表 I: 国产GE201型CCD面阵象感器主要参数

光谱范围	0.4 μm~1.1 μm
灵敏度	≤ 1 LaX
动态范围	50 db
信噪比	40 db
输出幅度	50 mv
芯片尺寸	4.4×5.3mm <sup>2</sup>
分辨单元	150×120

太阳磁场望远镜的物镜直径为35厘米,滤光器工作在5324 Å和4861 Å两个波段,其透过带半宽分别为0.15 Å和0.12 Å。在地球大气层外5324 Å处,太阳所产生连续光谱的能量为200尔格/cm<sup>2</sup>·Å·s,由于大气吸收,以及望远镜中几何光学与物理光学的传输损失,则通过望远镜的光实际为60%左右。由于纵场透过线翼,横场透过线心,而线翼为连续光谱强度的60%左右,线心为25%左右。因此,在天顶角距为75°时,在一般日面区域,20mm太阳象照到象感器光敏区上的照度为42.7勒克斯(纵场)和17.9勒克斯(横场)然而,对应于不同聚光孔径的二极管与不同直径的太阳象,其入射光能量也不相同。在太阳磁场望远镜的电视系统光路中,为了适应不同尺寸的光敏区域,设置了七种不同直径的太阳象。这里,我们取三种直径的太阳象,在量子效率为70%,分辨单元的聚光孔径为24×24 μm<sup>2</sup>时,对应于CCD150×120面阵象感器,将计算后的各参数列于表II中。

#### 五、系统参数的物理意义:

##### 1. 采样精度:

采样精度指模/数(A/D)转换器的量化精度。在太阳磁场望远镜中,为了获得纵场为几高斯,横场为几百高斯的磁场分辨本领,则要求信噪比大于3000:1,把它转换成二进制数则为12bit。即 $2^{-12} = \frac{1}{4096}$ 且大于3000:1,故满足要求。

表：Ⅱ 三种不同直径太阳象各参数对照表

太阳象直径	20mm	40mm	80mm
单位聚光面积	$24 \times 24 \mu\text{m}^2$	$24 \times 24 \mu\text{m}^2$	$24 \times 24 \mu\text{m}^2$
空间分辨力	2"	1"	0.5"
观测区域	4' × 5'	2' × 2.5'	1' × 1.25'
入射光子	$5.6 \times 10^7 \text{P/S}$	$1.4 \times 10^7 \text{P/S}$	$7 \times 10^6 \text{P/S}$
量子效率	70%	70%	70%
逸出电子	$3.9 \times 10^7 \text{e/s}$	$9.8 \times 10^6 \text{e/s}$	$4.9 \times 10^6 \text{e/s}$
饱和电荷	$1.6 \times 10^6 \text{e}$	$1.6 \times 10^6 \text{e}$	$1.6 \times 10^6 \text{e}$
有效信噪比	3000:1	3000:1	3000:1
采样精度	12 bit	12 bit	12 bit
差分时间	0.04s	0.16s	0.3s
采样频率	450K c/s	112.5K c/s	60K c/s
累计因子	100次	100次	100次
读出时间	4s	16s	30s

## 2. 实际信噪比:

实际信噪比由式： $\frac{\sqrt{\text{饱和电荷}}}{x}$  得出（其中x为杂散噪声系数）。通常，x取2~5，本例取了。

所谓杂散噪声是指除散粒噪声（由光子统计起伏引起的噪声）以外的其它噪声源。例如，由大气抖动引起的噪声和仪器的热噪声等。它们都将干扰磁场信息，降低磁场测量灵敏度。

## 3. 积分时间 $\Delta t$ :

在硅二极管阵中，虽然有较好的电荷累积效应，但这种累积不是无限的，它将受到硅二极管存储光电荷最大容量的限制，通常称之为二极管的饱和电荷。在临界饱和情况下，积分时间由下式确定：

$$\Delta t = \frac{\text{饱和电荷}}{\text{入射光子数} \times (\text{A/D}) \text{位数} \times \text{单位聚光面积}}$$

为了使二极管工作在线性区，实际上， $\Delta t$ 应取得比理论计算值更小一些，本例取小一倍。

## 4. 采样频率:

采样频率指模/数（A/D）转换器的变换速度，可由下式求出：

$$f(\text{采}) = \frac{\text{总像素}}{\text{积分时间}}$$

由上式可知，它与总像素的多少和积分时间的长短有关。在入射光一定时，若增加总像素，

## 七、结束语

综上所述,目前若将 $150 \times 120$  CCD面阵象感器用作太阳磁场望远镜中的光电检测器,无论模/数或数/模转换器的精度或速度,以及计算机的字长,内存容量和数据通道传输速率等都可满足使用要求。加之,自扫描型固体象感器又有着前述突出的优点,因此,将CCD面阵象感器用在太阳仪器中,无疑是一件十分有意义的工作。

感谢:

在调研工作中曾得到我台艾国祥同志的具体指导与帮助,在此,表示感谢!

### 参考文献

- [1]. 《Image Processing Techningues in astronomy》P20~26.
- [2]. 《Solar Physics》Vol. 39, 75, 1 P241~246.
- [3]. Development of a CCD for ultraviolet image using a CCD photocathode combination.  
D. R. Couins, C. G. Roberts, W. W. Chan W. C-Rhines and J. B. Barton Texas. Instrument Incorporated Dallas Texas.

80, 12.

## THE SPECIFIC PROPERTY OF INTEGRATION SILICON DIODE ARRAY AND THE POSSIBILLTY OF APPLICATION IN SOLAR MAGNETIC FIELDS TELESCOPE

Ming Chang-rong

(Beijing Astronomical Observatory)

### Abstract

At present, applaction solid state image sensor in solar instrument is new techoigy. It as follws advantage, higher quantum efficent, better accumulate effect, better spectral response, smaller volume, lighter weight etc. than photoelement, so it has broab wide application on astronomical.

First main speciality of the solid sensing device, photo-graphic plate and photomultiplier tubes are compared in this article. Then if this device used in video system of solar magnetic fields telescope to make quantitative analysis by way of  $120 \times 150$  CCD matrix array sensing device. Final the diagram had been given which are scanning circuit and data process system.

则积分时间应相应缩短，否则，对模/数转换器的变换速度要求也更高。

### 5. 累积因子M:

在硅二极管阵中，若一次扫描的信噪比为S/N，扫描M次后，实际信噪比将提高 $\sqrt{M}$ 倍，（这种方法仅对由光子起伏引起的噪声和大气抖动引起的噪声起作用）。于是有： $(S/N)M = \sqrt{M} (S/N)$  由于自扫描硅二极管阵的积分时间一般为 $\leq 20\text{ms}$ ，甚至更快。因此，可采用多次扫描，在计算机存储器中累积相加，可使有效信噪比进一步提高，以便进一步提高磁场测量灵敏度。然而，获得每幅磁图的时间也将与M成比例地增加。

## 六、信息处理系统

在太阳磁场望远镜的电视—计算机接收系统中，需将左旋偏振光和右旋偏振光的变化信息快速采样累加后存储起来，然后由计算机完成 $\frac{\sum A - \sum B}{\sum A + \sum B}$ 的运算（A和B分别代表左旋和右旋光信息）。最后获得磁图。

为了减小大气扰动所产生的噪声干扰，必须对微弱磁场的变化进行快速采样。若 $150 \times 120$ 单元的CCD面阵摄像机的场频为50HE/秒，由于该器件为隔行扫描工作方式，则每秒钟可输出25帧完整图象，每帧图象为 $150 \times 120 = 18,000$ 个象素，则每秒钟有 $18,000 \times 25 = 450,000$ 个信息，即要求计算机至少应有500K字/秒的快速数据通道。要求计算机的字长应大于19位（二进制位）。因为模/数变换器的精度为12位，加上M次累加（ $M=100$ ），则 $2^7 = 128$ 大于100，即12位+7位=19位，要求计算机内存应有累加功能，否则，要求内存的存储容量足够大（大于4M字）或考虑做前置机，使得信息在输入计算机之前进行累加和缓冲存储。在计算机终端还应有宽行快速数字打印机，x-y绘图仪，模拟信息显示器等。 $150 \times 120$ CCD面阵摄像—计算机接收系统的原理框图见图1所示。

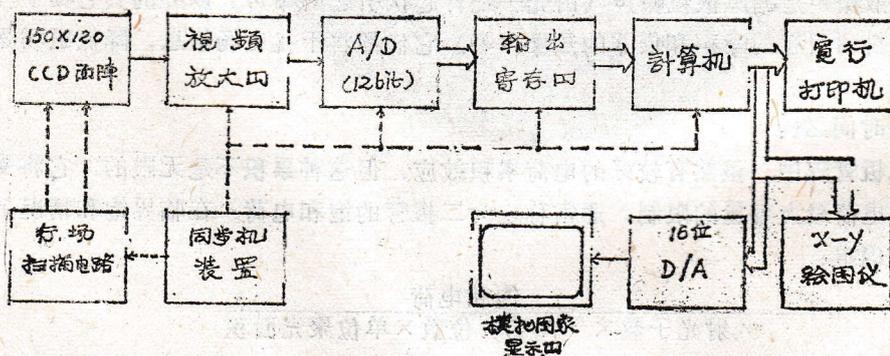


图1. ( $150 \times 120$ CCD面阵摄像机与信息处理系统方框图  
(单根实线表示模拟信息，单根虚线表示数字控制，双线表示数字信息)

由于已经研制成功的太阳磁场望远镜有良好的光学性能，CCD面阵的分辨位数还可以增加，因此，可进一步扩大观测视场。然而，对模/数变换器的转换速度和计算机的数据通道及计算机内存容量等也将相应地提出更高要求。