

固体像探测器在太阳仪器中的应用

明长荣

(中国科学院北京天文台)

提 要

本文概述了应用于太阳仪器中的固体像探测器的分类与主要特性以及它们在太阳仪器中应用的新进展,同时还介绍了固体像探测器和相应图像处理器的主要性能以及几种固体像探测器在太阳磁像仪中应用的典型例子。最后对固体像探测器在太阳仪器中的应用前景作了扼要评述。

一、引 言

新型的自扫描固体像探测器在天文仪器中获得越来越广泛的应用,它与天文上长期采用的照像底片和光电倍增管的方法相比,具有量子效率高(70—80%),动态范围大($10^4:1$)和光谱响应优良($0.4—1.1\mu\text{m}$)^[1]等特点。同时,它还具有体积小、重量轻、图像几何失真小、成本低、互换性强和寿命长等优点。

尤其是 CCD (电荷耦合器件)像探测器与实时图像处理系统近十年来受到世界各国天文界的普遍重视^[2],并且已经成为各国天文台的重要观测设备。几年前,我国的天文仪器工作者也开始从事这方面的研制工作。

二、探测器的分类

目前,作为商用产品销售的固体像探测器件(solid state image device)主要可分为以下三类。

1. IDA (integrate diode array) 集成二极管阵。
2. CCD(charge complete device)电荷耦合器件。
3. CID (charge inject device) 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若干个 P-N 结组成的二极管阵,即当探测器的光敏面接收到入射光子后,释放出电子-空穴对(理想情况下,一个入射光子产生一个电子),露光时,偏置二极管放电。由于IDA 探测器的每个像元(pixel)的物理尺寸比 CCD要大,因此IDA的单个像元电荷存贮容量要大1—2个数量级。通常 Reticon 器件的电荷存贮容量为 $10^5—2 \times 10^7\text{e}$ /像元(其中 e为电子电荷)。目前,世界各国的太阳仪器主要采用 IDA (Reticon) 和CCD 这两类固体像探测器。

IDA和 CCD 固体像探测器现已有多种分辨像元的线阵和面阵系列产品销售。天文仪器工作者可根据系统的要求, 如观测仪器采用视场的大小、入射光照度、空间分辨率要求、光谱响应特性、单个像元和探测器光敏面积的尺寸等参数, 考虑选择适合各自系统要求的探测器器件或摄像机。现在市场上已有756(H)×581(V)^[3]分辨像元的CCD面阵商用摄像机和256(H)×256(V)^[4]分辨像元的Reticon面阵像探测器器件出售。可是在天文仪器中, CCD比Reticon器件的应用更为广泛, 其原因如下:

- (1) Reticon器件的工作频率不如 CCD高, 通常为 5MHz/s 左右;
- (2) Reticon 器件的读出噪声比CCD要大, 一般为 400—1500e^[1](e为噪声电荷);
- (3) Reticon器件的成本比 CCD要高。

三、在太阳磁像仪中的应用

1. Reticon器件早期应用的例子

早在1973年, 美国基特峰(Kitt Peak)国立天文台洛克希德(Lockheed)太阳观测站首次将Reticon512线阵探测器用于太阳磁像仪上, 对太阳像的垂直方向进行683次机械步进扫描, 用5分钟左右的时间获得一幅约35万个像元的太阳磁图(不包括图像叠加时间)。由于采用了量子效率很高的Reticon固体像探测器, 因而提高了仪器的磁场分辨本领, 使仪器可测磁场范围为2—2000高斯(当信噪比为1000:1时), 即可测光亮变化为 $\Delta I/I = 3 \times 10^{-4}$ ^[1], 换句话说可检测到万分之三的谱线轮廓变化。

2. CCD应用的例子

1987年6月, 我国第一套用于太阳仪器的 CCD 两维实时数据接收与图像处理系统研制成功^[5], 并且安装在北京天文台怀柔太阳观测站的太阳磁场望远镜上。该系统采用了一只超小型 CCD 摄像机作为视频接收器, 由 AST/P386 微机控制, 配以 SR-151 实时图像处理器装置^[5], 以每秒25帧的速率采集太阳单色像, 经多帧叠加与实时归算后, 获得太阳磁场和速度场信息。该系统的总体结构框图如图1所示。

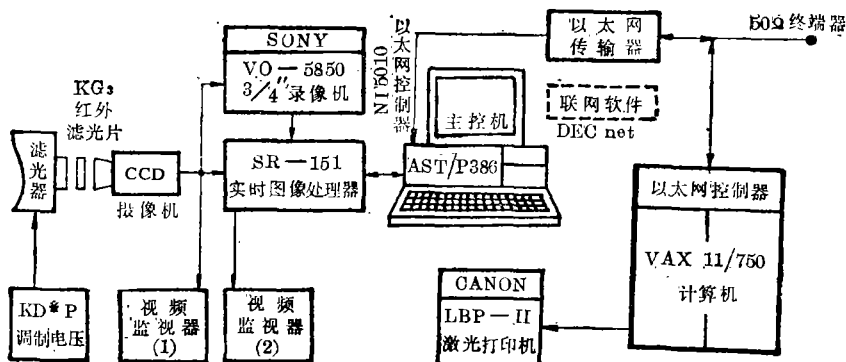


图1 北京天文台两维实时太阳磁图系统总结构框图

系统的CCD摄像机图像分辨率为 $500(H) \times 582(V)$ 个像元, 每个像元的尺寸为 17×11 平方微米, 整个光敏区的尺寸为 8.8×6.6 平方毫米, 磁场望远镜电视光路成像面为40毫米, 相应视场为 $4' \times 6'$, 则CCD每个像元对应太阳上 $0''.5 \times 0''.7$ 的区域, 目前取得的最好单帧图像空间分辨率为 $1''$, 叠加255帧后(即20秒钟的积分), 由于大气低频抖动的影响, 实际获得的最好磁图空间分辨率为 $2''$ 。

为了计算系统的信噪比, 我们进行了单场读出噪声测试和多帧叠加信噪比测试:

(1) 单场读出噪声测试

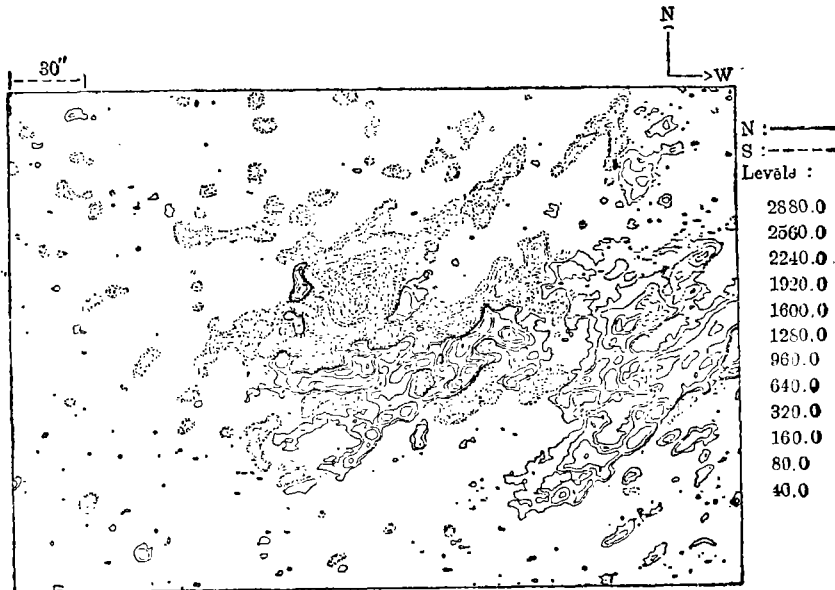
在黑暗情况下, 采集两帧图像(A和B), 选一个 30×30 像元的区域, 在增益为90时, 由

均方差公式得出读出噪声误差 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 从而求出单场读出噪声误差为1.25ADU。

(2) 多帧叠加信噪比测试

在 5324 \AA 太阳像中心附近(宁静区), 取 30×30 点区域。不加KD*P调制电压, 左、右旋调制信息各叠加255帧, 计算信噪比。得到冬季一般气候条件下的单场信噪比优于70, 叠加255帧后的信噪比优于 $1200^{[6]}$ 。

该系统发展了一系列的实时接收与图像处理的天文应用软件, 设置了AST/P386 主控微



Huairou, Beijing Astro. Obs.

Time: Mar-23, 1988 00:47:29

File name: L523024A

Contents: Longitudinal Field

Sun Disk Coordinates: S13.0 W16.0

Orthogonal Coordinates: 401.5 - 788.9

Carrington Coordinates: -13.0 274.4

Wave length: 5324 Å

Seeing: B*

Frame Number. 255

图2 太阳光球层(5324 Å)纵向磁场等强度磁图

机与VAX11/750 计算机之间的“以太”联网,使总的系统具有很强的后续处理功能。在测试太阳磁场和速度场条件下,巧妙地解决了用多帧叠加的图像处理方法消除量化中的舍入误差,因此用8位A/D变换可获得10000:1的信噪比,从而可获得1高斯左右的太阳磁场灵敏度,使整个系统的性能价格比大为提高。在太阳仪器中使用的视频CCD,由于积分时间短(40毫秒/帧),因此不必致冷,最佳工作温度为+15°C左右。在该系统中因具有快速图像叠加的功能可进行太阳背景光的实时归算,减少了天光背景起伏的影响,在有薄云的情况下,仍能取得较好的观测资料,从而使可用观测天数大为提高,投入观测的第一年实际取得310天的太阳磁场和速度场资料。图2是采用该CCD和实时图像处理系统在太阳磁场望远镜上获得的太阳活动区磁场等强度图。它是在左、右旋调制信息各叠加255帧,经过实时消除背景光和磁场归算处理后由激光打印机打印出来的。

四、固体像探测器与图像处理器应用现状

近几年,我国的天文仪器工作者正不断地致力于固体像探测器的应用与研制工作。目前我国已经在恒星与太阳观测中,无论是采用光谱狭缝或是采用较大视场的太阳单色像观测,用Reticon和CCD探测器均已获得观测成功,并建立起相应的望远镜视频接收器终端与图像处理系统。同时还将Reticon100×100的面阵探测器与工具显微镜配合,组成了天文底片的数字化读出装置,不断扩大固体像探测器的应用范围,发挥它在天文仪器中或天文资料处理中的作用。现在我国天文界约有十台不同的仪器系统已经建立和正在研制CCD及相应的图像处理系统,有的台站正计划对现有的CCD或系统进行更新,以便获得更高空间和时间分辨率的天文观测资料。

固体像探测器与图像处理系统在太阳仪器中应用的不完全统计见表1(正在研制中的系

表1 固体像探测器及系统在太阳仪器中的应用(部分统计表)

天文台	探测系统名称	探测器型号	探测器像元数(H×V)	主控计算机	工作方式	配用望远镜或系统	主要研制者	备注
云南天文台	*云台一号	RCA-35612	320×512	PDP11/23	冷却单帧照相	云南天文台1米望远镜	叶彬溥 王传晋等	1935年投入使用
北京天文台	Reticon 太阳光谱记录系统	RL512EC-17	512 (线阵)	TRS-80 PDP11/24	半导体致冷单帧式连续扫描	南京大学太阳塔	孙敬颢 董怡芬 胡景耀等	1985年投入使用
	二维实时太阳磁场与速度场数据接收与图像处理系统	PULNix TM-560C	500×582	AST/P 386	多帧叠加、帧加、帧减相除	北京天文台太阳磁场望远镜	明长荣 文国祥等	1987年投入使用
紫金山天文台	应用于天文的2D-Reticon系统	RA100×100A	100×100	IBMPC/XT	半导体致冷单帧式连续扫描	与工具显微镜组成天文底片的数字化读出	姜丹玲 孙敬颢等	1987年进行试验
** BBSO 美国	*** VMG system	COHU-700	700×512	PDP11/44	帧加、帧减多帧叠加	BBSO 25公分太阳望远镜	H. Zirin R. Goeden A. Patterson	1985年投入使用
应用物理所 西德	CCD数字像处理系统	Fairchild-202	100×100	IBM 3033	多帧叠加三维绘图	15公分H _α 太阳望远镜	N. Kämpfer W. A. Schöchlin	1980年投入使用

* 该系统曾用于太阳光谱线试验寻找10830 Å冕线获得成功。^[3]

** BBSO—Big Bear Solar Observatory, U. S. A.

*** VMG—Video Magnetogram.

统不包括在内)。

CCD 应用于太阳图像研究的一个不足之处是视场太小 (CCD 芯片太小), 而较大尺寸的 CCD 芯片价格昂贵, 目前还难以推广采用。

随着固体像探测器在天文仪器中的广泛应用, 天文数据接收系统与相应的图像处理技术也得到迅速的发展。在天文领域中, 凡是采用 Reticon 或 CCD 探测器的场合, 几乎都配置了相应的实时或非实时图像处理器, 以便进行天文资料(或数据)归算和必要的图像处理。可是系统的结构、性能及图像处理的工作方式等则由天文课题要求和不同的观测对象而定。

为了方便我国的天文学家及天文仪器工作者设计和建立固体像探测器与图像处理系统, 现将目前国际市场上销售的商用 CCD 固体摄像机和 Reticon 像探测器件 (主要适合于可见光波段) 和实时与非实时图像处理器的主要性能与价格列表介绍如下(见表 2 和表 3)。

表 2 部分固体像探测器的主要性能与价格表

探测器型号	图像分辨率 H×V	探测器尺寸	像元尺寸	最低照度	信噪比	光谱响应范围 (nm)	工作温度范围	生产厂家	价格/只* 美元
PULNix TM-560	500×582	8.8×6.6 mm ²	17×11 μm ²	0.6Lux Gain Max.	67db (25℃)	400—1000	-10℃—+50℃	日本 PULNix公司	1800
PULNix TM-760	756×581	8.8×6.6 mm ²	11×11 μm ²	0.3Lux Gain Max.	50db min	400—1000	-10℃—+50℃	日本 PULNix公司	2000
PULNix TM-240T	244×244	8.8×6.6 mm ²	34×22 μm ²	10Lux	45db min	400—1000	-10℃—+50℃	日本 PULNix公司	700
Sony XC-37	384×491	8.8×6.6 mm ²	23×13.4 μm ²	3Lux	46db min	400—1000	0℃—+40℃	日本 Sony公司	1600
RCA TC-2800	403×512	6.45×4.84 mm ²	20×16 μm ²	0.65Lux	59db min	380—900	-18℃—+50℃	美国 RCA公司	2000
RCA TC-2900	403×512	6.45×4.84 mm ²	20×16 μm ²	0.26Lux	59db min	380—900	-18℃—+50℃	美国 RCA公司	2500
Fairchild CAM3000	488×380	11.4×8.8 mm ²	30×18 μm ²	0.1Lux	50db min	400—700	0℃—+50℃	美国 仙童公司	1800
Fairchild CAM-3500F	488×380	11.4×8.8 mm ²	30×18 μm ²	10 ⁻³ Lux	50db min	500—1100	0℃—+50℃	美国 仙童公司	3000
Reticon RL-1024S	1024(H)	30mm	25μm	14×10 ² /ft-cd/s	≥40db	300—1000	-55℃—-10℃	美国 EG&G 公司	600
Reticon RA0256B	256×256	15×15 mm ²	40×40 μm ²	14×10 ⁻² /ft-cd/s	≥40db	380—1000	-55℃—-10℃	美国 EG&G 公司	1800

* 表中的价格为1986年美国和本土的报价, 仅为参考。

表 3 部分图像处理器的主要性能与价格

型号	主控机系统总线	处理器图像分辨率	帧缓冲存储器结构与容量	图像处理速度	处理器基本配置	生产厂家	处理器价格* 美元
SR-150	VME BUS	512×512×8bits	512×512×8bits×2 512×512×16bits×1	10Mpixels/s	三块板	美国 ITI 公司	11495
SR-151	IBMPC/AT BUS	512×512×8bits	512×512×8bits×2 512×512×16bits×1	10Mpixels/s	三块板	美国 ITI 公司	11495

(续表3)

IP-512	Q-BUS Multi-BUS	512×512×8bits	512×512×8bits×1	10Mpixels/s	三块板	美国 ITI 公司	9495
SR-100	IBM/AT BUS, Q- BUS VME BUS Multi BUS	512×512×6bits	512×512×12bits×1	10Mpixels/s	单板	美国 ITI 公司	6000
SR-105	IBM/AT BUS, Q- BUS VME BUS, Multi BUS	512×512×8bits	512×512×12bits×4	10Mpixels/s	单板	美国 ITI 公司	8600
DT1451 DT1458	VME BUS	512×512×8bits	512×512×8bits×2 512×512×16bits×1	2.5Mpixels/s	二块板	美国 DT 公司	5900
DT2651 DT2658	Q-BUS VME BUS	512×512×8bits	512×512×8bits×2 512×512×16bits×1	2.5Mpixels/s	二块板	美国 DT 公司	5900
DT2851 DT2858	IBMPC/AT BUS	512×512×8bits	512×512×8bits×2 512×512×16bits×1	2.5Mpixels/s	二块板	美国 DT 公司	5700
DT2603	Q-BUS	256×256×6bits	256×256×8bits×1	Direct Memory Mopping	单板	美国 DT 公司	2500
DT2803	IBM XT/AT BUS	256×256×6bits	256×256×8bits×1	Direct Memory Mapping	单板	美国 DT 公司	2600

* 表中所列价格为1986年美国本土报价。

五、应用前景

经过我国天文仪器工作者的不断努力,近几年,固体像探测器与实时图像处理这门新技术正得到更加广泛和深入的应用,获得了大量宝贵的天文数据和资料,给天文学家提供了更加广泛和深入的研究课题。

具有新颖和独特性能的光学天文仪器,配置高灵敏和高分辨率的固体像探测器和实时图像处理系统,它是天文仪器现代化的重要标志之一。即使是投入空间观测的各类天文望远镜也同样需配置上述的CCD探测器和计算机图像处理系统,以便获得更高的时间和空间分辨率的观测资料。如欧洲的LEST计划中,将采用若干只512×512和1024×1024分辨像元的高灵敏度面阵CCD探测器作望远镜的接收器。我国正在研制中的九通道太阳望远镜^[7]也将采用十一只高分辨率和高灵敏度的CCD面阵探测器(包括H_α和Ca线全日面监视系统)及相应的实时图像处理系统,以便同时获得太阳九个不同层次的磁场、速度场和亮度场资料,进一步发展我国的太阳物理研究工作,这一研制工作目前正在进行之中。

概括地说,固体像探测器正在迅速地取代传统的照相底片和光电倍增管等光电检测器件,它在天文仪器中的应用已经开始取得令人满意的结果,并且已经展示出更加广阔的天文应用前景。

六、致 谢

本工作曾得到我台艾国祥、孙敬颢、云南天文台吴铭贻、紫金山天文台王传晋和美国大熊湖天文台台长H. Zirin教授和R. Geoden主任工程师的有益帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Smithson R. C., *SolarPhys.*, 39 (1975), 241.
[2] Livingston W. C., in *Image Processing Techningues in Astronomy*, p.20, (1976).
[3] The Specification of Model TM-760 PULNIX Corp. Japan.
[4] The Specification of RA0256B Solid-state Image Sensor Array. EG&G RETICON Corp. U. S. A;
[5] 明长荣等, 天文学报, 29 (1988), 346.
[6] 二维实时太阳磁场和速度场数据接收与图像处理系统, 科学技术成果鉴定证书, 中国科学院(88)成鉴定字009号,
[7] 艾国祥等, *Scientia Sinica*, (1987), 1069.
[8] 宣家余等, 云台用CCD系统观测到太阳 HeI 10830Å谱线, 天文通讯第20号, (1985).

(责任编辑 林一梅)

**Application of Solid State Image Detector
in Solar Instruments**

Ming Changrong

(Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica)

Abstract

The main features and the classification of solid image detector in solar instruments, as well as the recent progresses in this field, are summarized in the paper. The main characteristics of solid detector and it's image processing system as well as the typical examples of using solid state detector in solar magnetograph are introduced. The prospect of using solid state image detector in solar instruments is also discussed.