

多通道望远镜的光量测定及CCD的选配

宋国峰, 艾国祥

中科院北京天文台 100080

提要

多通道太阳磁场望远镜是我国自行设计的一台综合性的太阳物理观测设备。主镜 $\Phi 600\text{mm}$ 为格里高里反射系统, 配备有目前世界上独一无二的多通道滤光器, 通过此望远镜可以同时观测九条太阳谱线, 反映九个不同层次的太阳物理现象。由于望远镜系统对不同的谱线的透过率、透过带宽均不相同, 所以对不同谱线透过的光量的测定就非常必要。此望远镜系统的光谱分辨率很高, 所以对不同的CCD在各谱线上的接收光量则不同, 需要选择适合不同谱线的CCD, 以获得最佳观测效果。本文根据实测的情况讨论这一问题。

一. 引言

从我国古代人们用肉眼观测太阳并最早发现太阳黑子, 到近代太阳磁场的发现, 太阳物理借助科学技术的发展, 揭示了许多奇妙的物理现象和过程。从观测手段来讲, 从眼睛到照相机, 又发展的光电管, 这些探测器件的发展, 使得太阳的观测分辨率大大提高。无论是空间分辨率、时间分辨率, 还是光谱分辨率。但是这些观测设备很难实现光学信号的量化, 直到有了CCD这样的二维阵列器件, 太阳物理的发展才更为迅速。

目前我国的天文学界已广泛应用CCD探测器, 并已取得了令世人瞩目的成就。

1987年由北京天文台研制成功的CCD两维实时观测及处理系统^[1], 开创了视频CCD(TV CCD)图象系统在我国天文界使用的先河。自此以后, 全国各兄弟台站先后建起了多套视频CCD太阳观测及处理系统, 见表1。这些系统大大提高了观测效率和空间分辨率, 以及资料的信噪比和信号灵敏度, 增强了观测设备的整体性能。

近两年, 北京天文台又发展了新一代的太阳磁场测量仪器, 即多通道太阳磁场望远镜^[2], 还进一步提出了球载和流动太阳望远镜计划, 空间太阳望远镜计划^[3], 红外太阳磁象仪计划^[4]等一系列建造具有国际水平的太阳观测设备的计划。无疑这些设备都需要配备满足仪器性能指标的CCD探测器。

CCD的技术的发展, 提供了各种型号、各种性能参数不一的可供选择的产品类型。在满足灵敏度、信噪比等性能指标的前提下, 价格因素也是应用选择的一个不可忽视的方面。下面各节详细介绍我们为多通道太阳磁场望远镜选配CCD的一些考虑。

二. 多通道太阳磁场望远镜的特点及对CCD要求

多通道太阳磁场望远镜包括五台不同口径的望远镜系统, 其中以配置九通道滤光器的反射真空望远镜为主。仪器的主要性能见表2, 望远镜结构如图1示。

表 1. CCD 视频图象处理系统在我国太阳仪器中的应用

单位	系统名称	CCD 型号	CCD 像元数 (H × V)	配用图像处理器型号	主控计算机	工作方式	配用望远镜或系统	开始投入使用时间
北京天文台	VMG System of SMFT	PULNIX TM-560C	500×582	ITI SR151 Image processor	AST/P386C	多帧叠加 帧加, 帧减 相除	太阳 磁场 望远镜	1987年
	VMG System of SMCT	PULNIX TM-860N×3	800×590	ITI SR151 Image processor	AST/P486	1. 同上 2. 视频录像	太阳多通 道望远镜	1994年
	VMG System of SFDMFT	VIDEK MEGAPLUS	1320×1035	ITI SR151 High resu. Image processor	AST/P386	多帧叠加 帧加, 帧减 相除	太阳全日 面磁场 望远镜	1991年
	太阳白光耀斑观测系统	PULNIX TM-46	384×491	ITI SR151 Image processor	IBM/AT	多帧叠加 多波段交替	太阳白光 望远镜	1990年
	VMG System of SMCT	MTV 1802	796×590	ITI SR151 Image processor	AST/P486	多帧叠加 帧加, 帧减 归算	太阳多通 道磁场 望远镜	1994年
	VMG System of SMCT	MTV1881EX	796×590	ITI SR151 Image processor	AST/P486	多帧叠加 帧加, 帧减 归算	太阳多通 道磁场 望远镜	1994年
	VMG System of SMCT	LZ 2122	512×582	ITI SR151 Image processor	AST/P486	多帧叠加 帧加, 帧减 归算	太阳多通 道磁场 望远镜	1994年
云南天文台	太阳精细结构终端系统	PULNIX TM-560C TM-765	500×582 756×581	ITI SR151 Image processor	AST/P386	多帧叠加	太阳 精细结构 望远镜	1990年
	太阳两维光谱观测系统	PULNIX TM-760 TM-765	756×581	ITI SR151 Image processor	AST/P386	开窗处理 多波段交替	太阳 光谱 望远镜	1991年
紫金山天文台	太阳近红外波段观测系统	PULNIX TM-860N	800×590	ITI SR151 Image processor	AST/P386	多帧叠加	太阳 望远镜	1991年
	太阳精细结构终端系统	PULNIX TM-860N	800×590	ITI SR151 Image processor	AST/P386	多帧叠加	太阳 精细结构 望远镜	1994年
新疆	太阳白光耀斑观测系统	PULNIX TM-46	384×491	ITI SR151 Image processor	IBM/AT	多帧叠加 多波段交替	太阳白光 望远镜	1990年
南大	太阳两维光谱观测系统	PULNIX TM-560C TM-765	500×582 700×581	ITI SR151 Image processor	AST/P386C	开窗处理 多波段交替	太阳塔	1991年

表2. 多通道太阳磁场望远镜性能参数

主镜口径: $\Phi 600\text{mm}$
反射系统等值焦距: 10000mm
系统焦距: 12000mm , 6000mm , 400mm 可选
付镜放大率: $20/3$
主镜焦距: 1500mm
主镜相对孔径: $1:2.5$
优选谱线: 3968\AA , 4686\AA , 5173\AA , 5247\AA , 5250\AA , 5576\AA , 6302\AA , 5876\AA , 6563\AA
采样视场: $4' \times 5'$, $3' \times 2'$ 或 $8' \times 6'$
滤光器半宽: $0.047\text{\AA} \sim 0.5\text{\AA}$
电光调制器: 一组宽场全色KD*P调制器, 九个通道共用
有效接收器象元数: 512×512
光电导行精度: $< 2''$
光电导行速度: $< 2''/\text{s}$
望远镜理论分辨率: $0.17'' (4000\text{\AA}) \sim 0.27'' (6600\text{\AA})$
几何分辨率: $0.52''$
可观测磁场温度: ± 2 高斯 ~ 3000 高斯

多通道太阳磁场望远镜由上表可以看出:

- ①它可以同时观测太阳上同一活动区的九条谱线所反映的不同的物理内容,且滤光器万能可调,可见光区其它磁敏线同样可以用此系统进行观测。在整个可见光区虽是离散分布,但几乎包含了整个可见光区的范围。由于CCD成象器件的光谱响应是由光敏面的材料决定的,本征硅的光谱响应大约在 $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 之间,但光谱响应曲线的形状,受多方面的影响。光敏面的结构,各层介质的折射率和消光系数,各层介质的厚度,入射光的入射角等,都可影响光谱响应曲线的形状。在整个可见光区,不同的CCD其光谱响应曲线形状各异,对特定的谱线的响应率有高有低。对可见光区的几乎所有谱线来说,在这么宽的光谱范围内找出都有良好的响应率的同一类型的CCD是很困难的,因此需要选择峰值响应与测量波长相应的CCD。
- ②太阳是一个非常强的辐射源。望远镜口径,镜面反射率,滤光器的透过率等参数都还比较高,但由于磁场测量的需要^[5],滤光器的透过带宽非常窄($0.047\text{\AA} \sim 0.5\text{\AA}$),照度实测在 $0.5\text{lus} \sim 3\text{lus}$ 左右,实测光量太小则要求采用灵敏度高的CCD。同时由于有效信号比较弱,则杂散光等噪声相对就比较强,因此要求选用量子效率高、读出噪声小的CCD器件。
- ③九个CCD同时观测,共用一组电光调制单元,则要求九个CCD与电光调制器同步工作,要求所选用CCD具有外同步功能。
- ④要观测太阳的能量爆发和其它太阳物理现象,这些现象源于磁场的强烈变化,约为

几十至几千高斯, 表现为几百倍的光度变化, 要测量这一光度变化, 则要求 CCD 的动态范围至少 50db, 且光敏元要有良好线性响应。

在实际工作中我们调查了几十种不同型号 CCD 在上述要求的基础上进行判断, 计算和实测, 确定了几种目前较为实用的 CCD。

三. 几种 CCD 的特性及选配

我们试用过的几种 CCD 性能如表 3 所示。

表 3. 几种 CCD 的性能参数

CCD 型号	像元数	像元尺寸	灵敏度	信噪比	光谱响应	峰值波长	生产厂家
PULNIX TM-560	500×582	17×11 μm ²	2 Lux	60db	400-1000	560nm	美国 PULNIX 公司 1300\$
PULNIX TM-760	756×581	11×11 μm ²	2 Lux	50db	400-1000	760nm	美国 PULNIX 公司 2350\$
PULNIX TM-860N	800×590	11.5×11 μm ²	2 Lux	50db	400-1100	860nm	美国 PULNIX 公司 2350\$
VIDEK MEGAPLUS	1320×1035	6.8×6.8 μm ²	0.2 μJ/cm ² 饱和曝光	>48db	400-700	630nm	Kodark 14,000\$
MTV1881EX	796×590	10×11 μm ²	0.02 Lux	50db	320-1100	680nm	台湾敏通公司 ¥3000
MTV1802CB	796×590	10×11 μm ²	0.02 Lux	50db	320-1100	680nm	台湾敏通公司 ¥3000
LZ-2122	512×512	11×10 μm ²	0.02 Lux	60db	400-1100	500nm	日本 ¥9000 (含图象板)
Fairchild CAM3500F	488×380	30×18 μm ²	10 ⁻³ Lux	50db	500-1100	800nm	美国仙童公司 3000\$

由表 3 和图 2 到图 6, 我们可以判断在短波的 3968Å, 4686Å 等谱线使用对蓝光比较敏感的 LZ2122 似乎比较合适, 对长波方向的红光区, 如 6563Å 以及 6302Å, 5876Å 等光谱区, 似乎使用 TM860 更合适, 而对 5500Å 附近的绿光区的几条谱线, 几乎所有的 CCD 都有可能应用。而从灵敏度和信噪比两项指标分析, TM560、MTV1881EX 和 1802CB 更有竞争力, 具有高的性能价格比。而仙童公司的 CAM3500 灵敏度较高, 但解析度较差, 价格较上述两种又偏高, 只有在十分需要时才可选用。实际使用中我们第一步先选择 TMTM560, TM860, MTV1881EX 和 1802CB, LZ2122 等供观测使用。计划购买几只性能更高些的 CCD。目前还在进一步的调研中。下面表 4 列出的几种 CCD 是可供选择的部分类型。

表4. 几种高灵敏度或高解析度的CCD

CCD型号	象元数	象元尺寸	灵敏度	信噪比	光谱响应范围	峰值波长	厂家
512TKB	512×512	27 μ × 27 μ 13.8×13.82mm	20e	25000 : 1	260~1080nm	650nm	美国普林斯顿公司
1024TKB	1024×1024	24 μ × 24 μ 24.58×24.58mm	8e	25000 : 1	260~1080nm	650nm	美国普林斯顿公司
CCD412	512×512	15 μ × 15 μ 7.68×7.68mm	25PA /cm ²	10000 : 1	400~1000nm	680nm	美国仙童公司
CCD422	1024×1024	15 μ × 15 μ 15.30×15.36mm	25PA /cm ²	10000 : 1	400~1000nm	700nm	美国仙童公司
CA-D9 0512	512×512	10 μ × 10 μ 5.12×5.12mm	100PS /cm ²	3000 : 1	420~880nm	780nm	加拿大达格斯公司
CA-D9 1024	1024×1024	24 μ × 24 μ 24.58×24.58mm	0.4LSB	6000 : 1	420~880nm	780nm	加拿大达格斯公司
CA-D2 1024	1024×1024	10 μ × 10 μ 10.24×10.24mm	100PS /cm ²	3000 : 1	420~880nm	780nm	加拿大达格斯公司

四. 几种CCD的初步观测结果

经过调研、调试和测试,在系统焦距6M时使用几种CCD进行观测,分别得到单色象、磁图等资料,我们对这些资料进行了比较。

同样波长、同一观测条件下, TM560, TM860, MTV1802/1881的比较表明: TM860型CCD灵敏度较低,特别是蓝光区响应度很低。MTV1802和1881型CCD,其灵敏度较高,但信噪比还不够理想,在紫光区其响应度也不高,3968Å谱线上无法观测。

MTV1802型CCD增益、反差、同步等,全部采用外部控制,控制上考虑是比较理想的机型。目前正式观测使用的以此型号为主。

附图为用此CCD观测的各波长单色像的照片和部分磁图。

五. 结果与讨论

虽然利用此系统已达到多层磁场观测的目标,但CCD的选择仍然不能满足保障不降低望远镜光学分辨率的目标。因为实际使用的望远镜由于CCD灵敏度不够和望远镜光量太弱的原因,系统焦距较短,太阳像比较小。所以CCD靶面所对应的视场较大,而CCD的解析度又受到实际工艺的限制,几何分辨率只能达到0.6",远远低于望远镜的极限分辨率。这样就限制了用图象处理方法以消除大气干扰而获得望远镜极限分辨率观测的可行性。这一问题可以从两个方面解决,一方面如果现有解析度的CCD其灵敏度能大幅度提高,则可增大系统焦距,减小靶面对应视场,使几何分辨率满足极限分辨率观测要求;另一方面在象元灵敏度不能大幅提高的前提下,提高系统单位面积

象元数,也可以满足几何分辨率的要求。随着CCD设计水平、制作工艺水平的提高定能满足我们的需要,目前进一步的工作正在进行。

参考文献

- [1] 明长荣,天文学报, Vol. 29, No. 4, P346, 1988
- [2] Ai Guoxiang, A Brief Introduction to the Multichannel Solar Magnetic Field Telescope, (Press print)
- [3] 艾国祥,张和祺,张柏荣,空间太阳望远镜, (Press print)
- [4] 宋国峰,重庆会议文集
- [5] 北京天文台台刊, 8

The CCD Detector of the Multi-channel Solar Magnetic Field Telescope

Guofeng Song, Guoxiang Ai,
Beijing Astronomical Observatory
Chinese Academy of Sciences
Beijing 100080

Abstract. There are thirteen CCD camera in multi-channel solar magnetic field telescope. These CCD camera are all video cameras used in different environment, different telescope diameter, different solar image size, different spectral line. When we decided which camera can use in one of the conditions, we must master the parameter of the it. In this paper, we discussed the determination of the MCST's cameras.

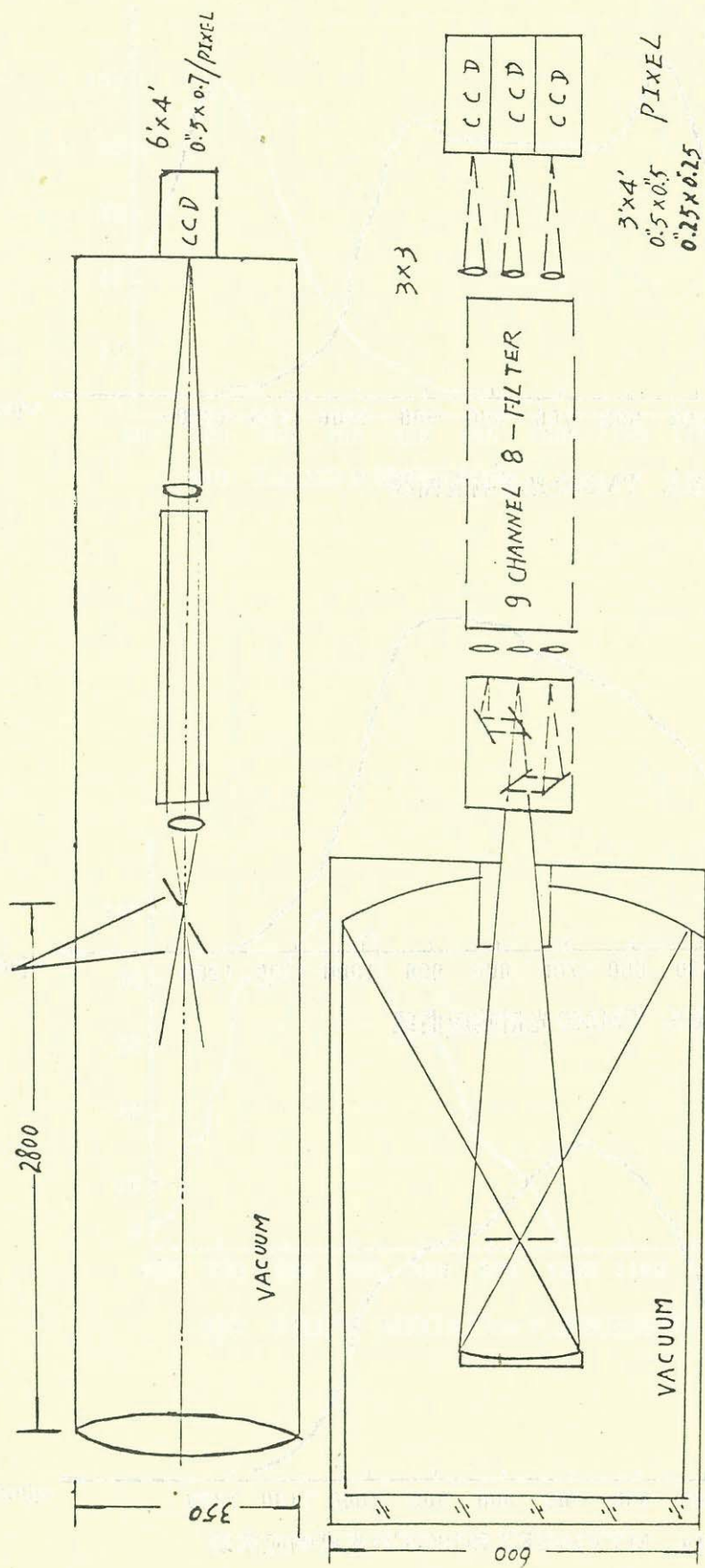


图1. 多通道太阳望远镜示意图

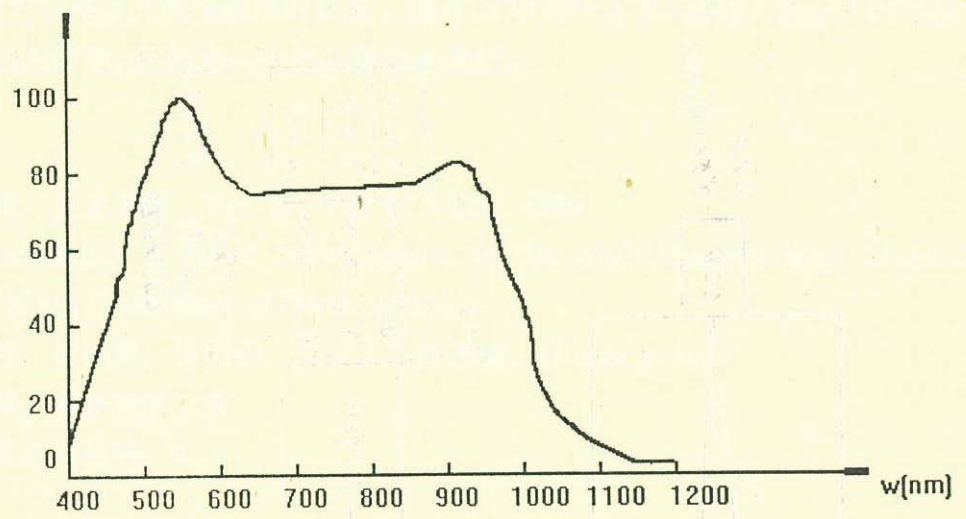


图2. TM560光谱响应曲线

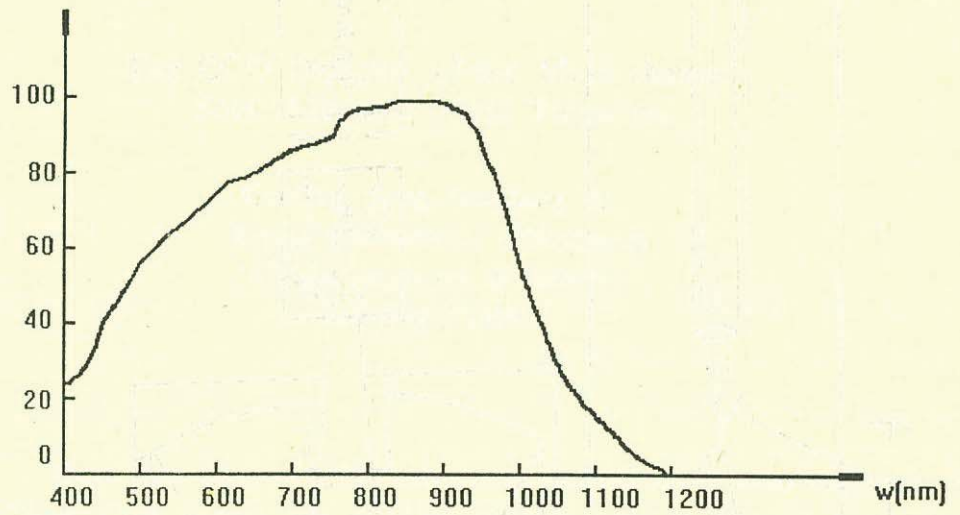


图3. TM860光谱响应曲线

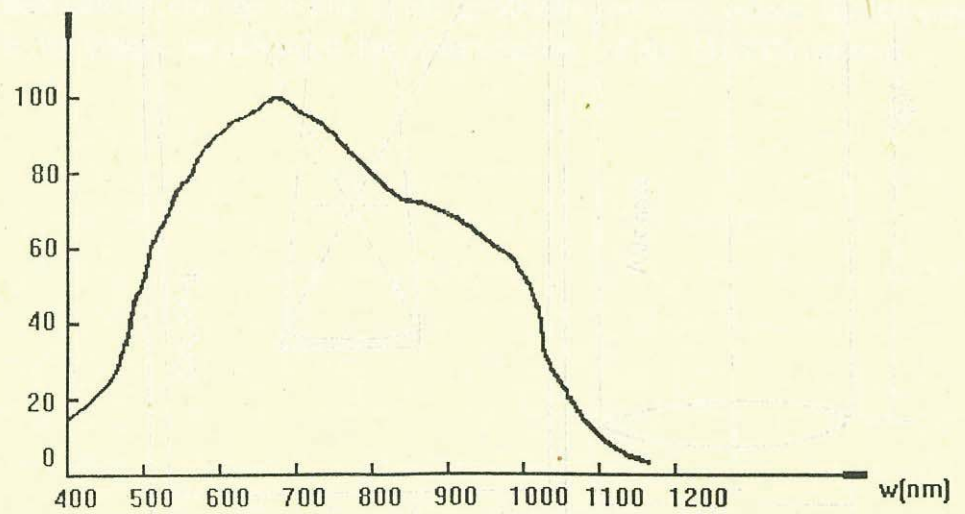


图4. MTV1881EX和1802CB光谱响应曲线

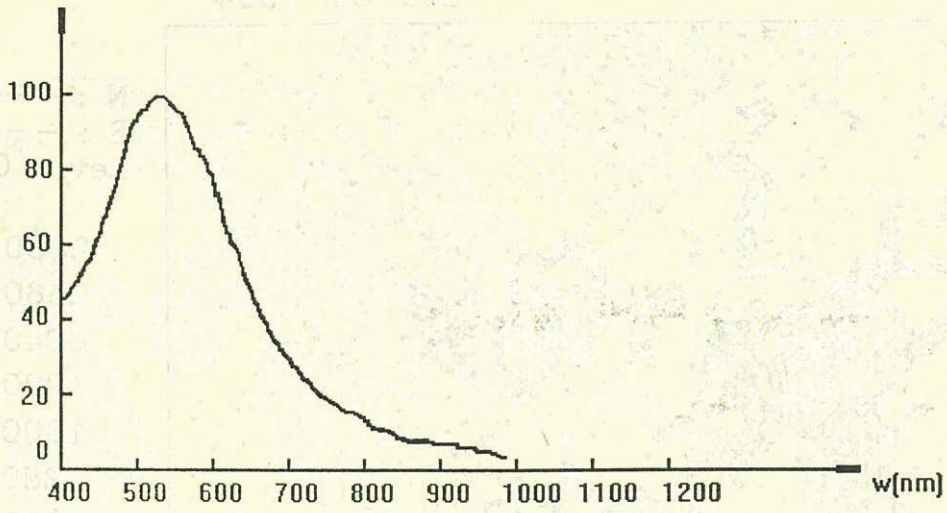


图5. LZ2122光谱响应曲线

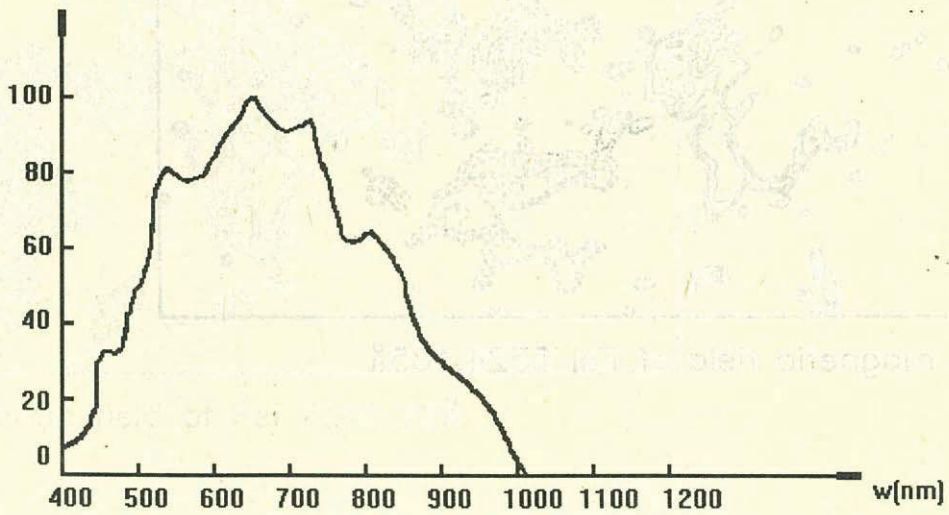
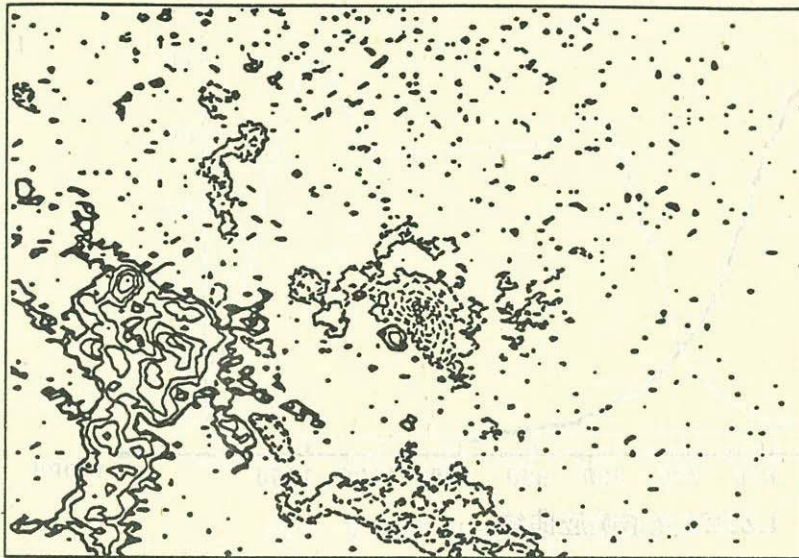
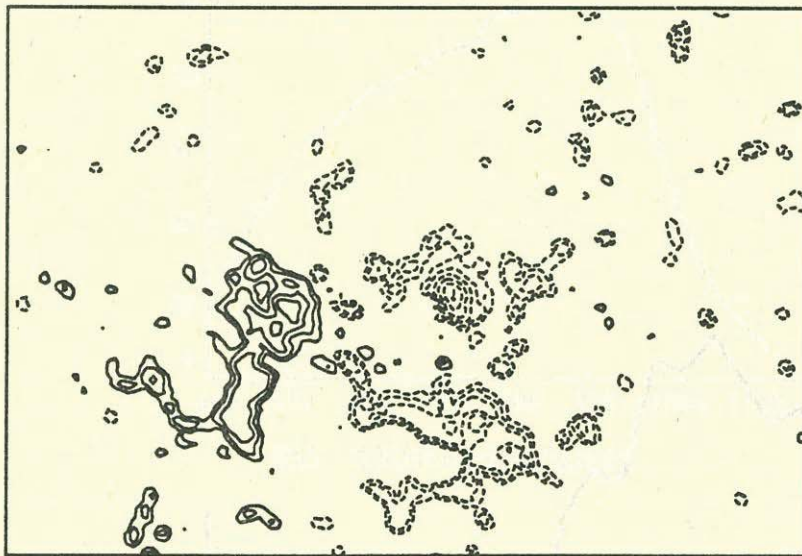


图6. VIDFK MEGAPlus光谱响应曲线

Dec-09, 1994



magnetic field of Fe I 6302.507 Å

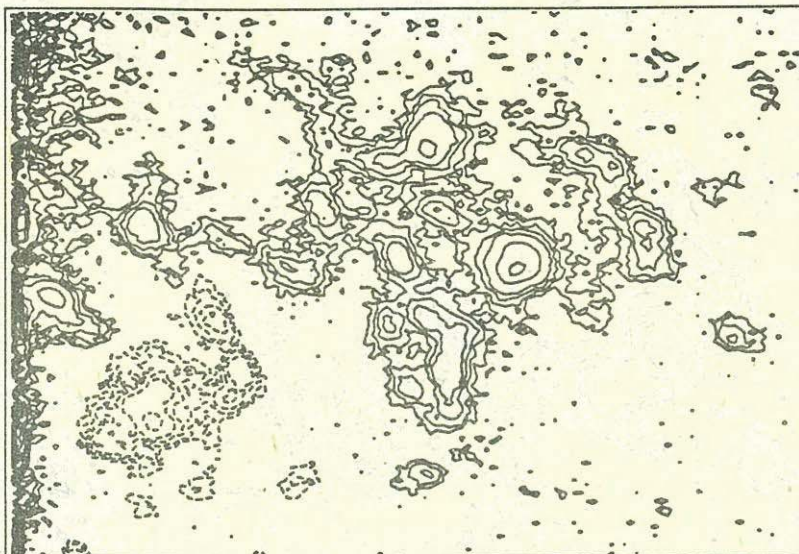


magnetic field of Fe I 5324.185 Å

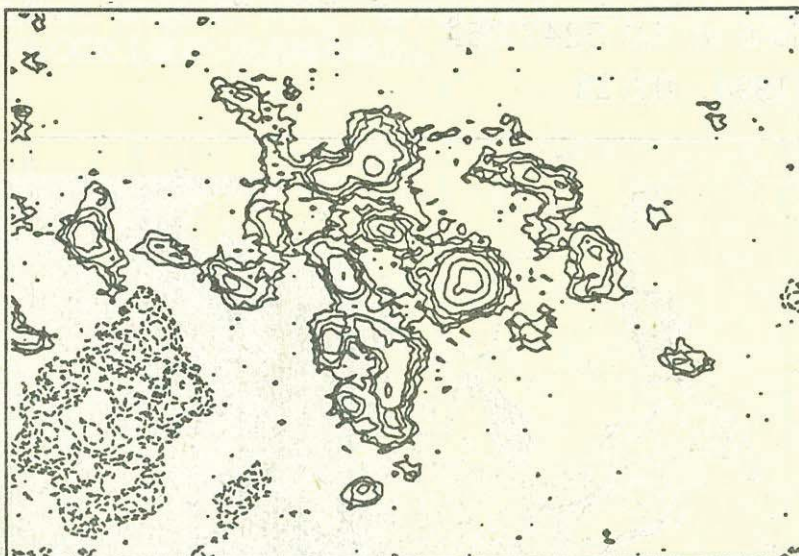
N : _____
S : _____
Lev. : Gauss

2880.0
2560.0
2240.0
1920.0
1600.0
1280.0
960.0
640.0
320.0
160.0
80.0
40.0

07:50, Dec-09, 1994



magnetic field of Fe I 5247.06Å



magnetic field of Fe I 5250.22Å

N : _____

S : - - - - -

Lev. : Gauss

2880.0

2560.0

2240.0

1920.0

1600.0

1280.0

960.0

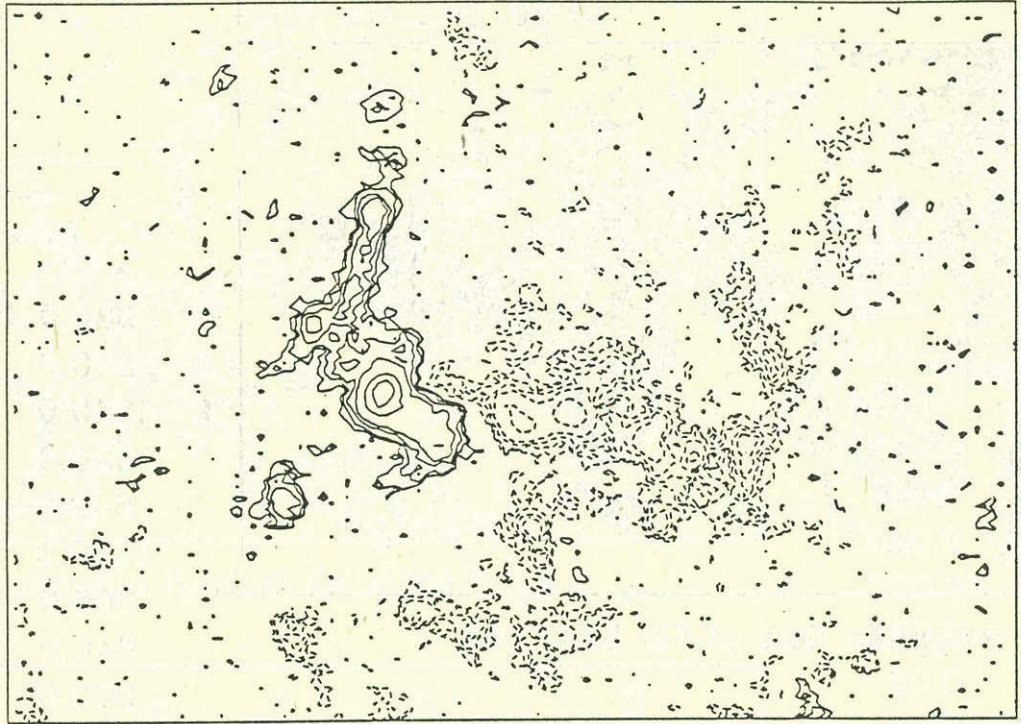
640.0

320.0

160.0

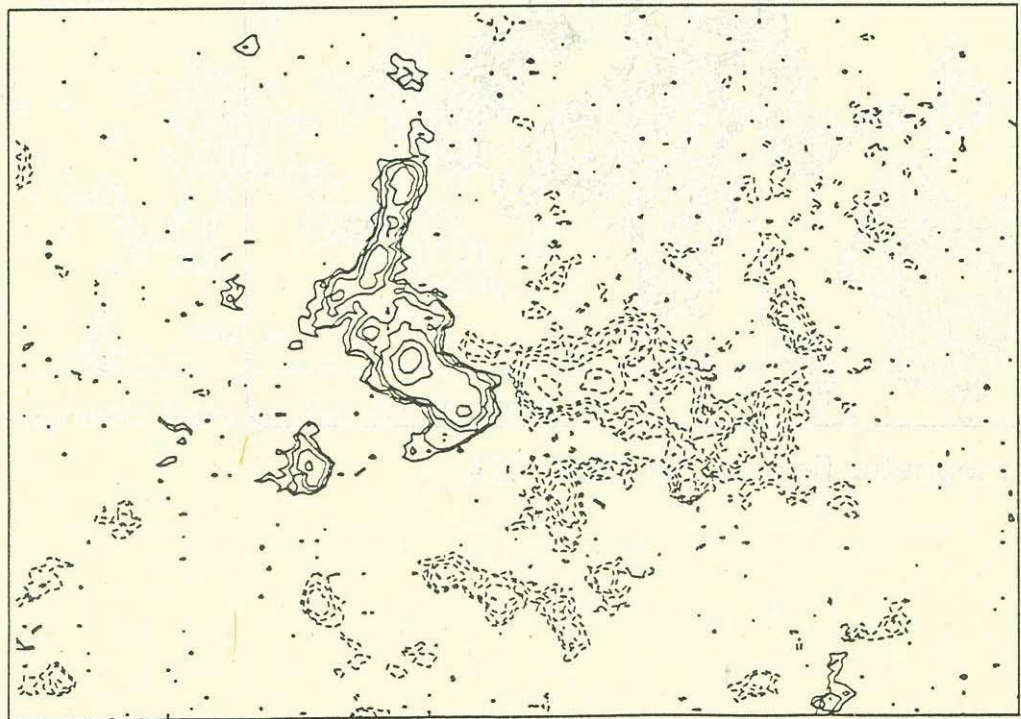
80.0

40.0



magnetic field of Fe I 5247.06Å

Aug. 28, 1994, 02:22



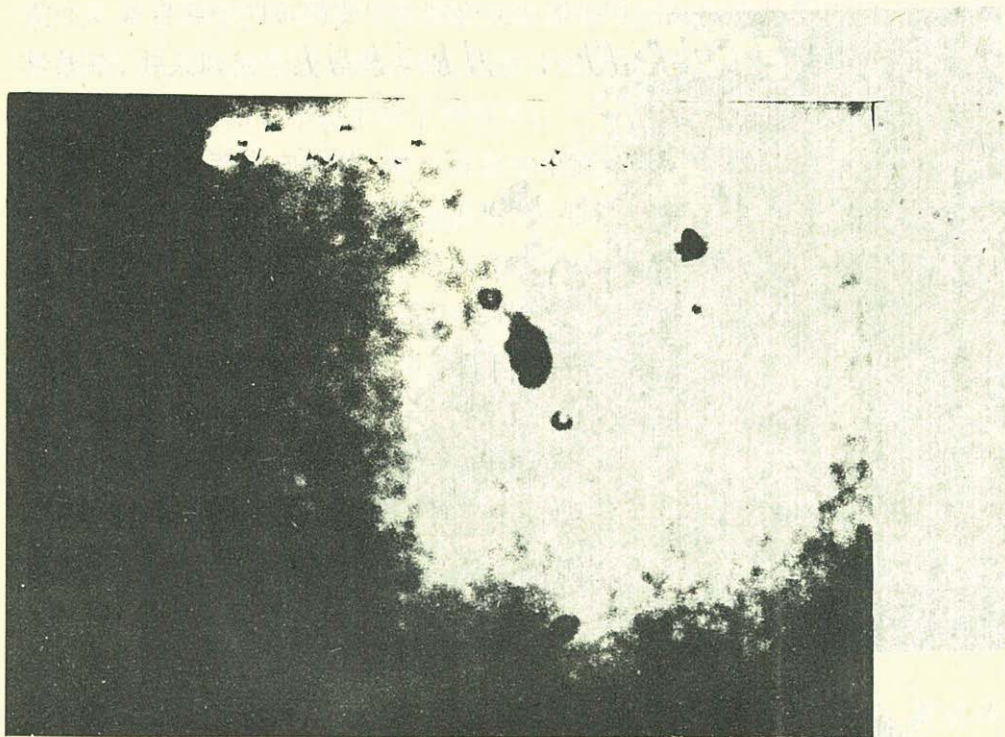
magnetic field of Fe I 5250.22Å

Aug. 28, 1994, 02:22

图7. 九通道各磁敏谱线观测磁图



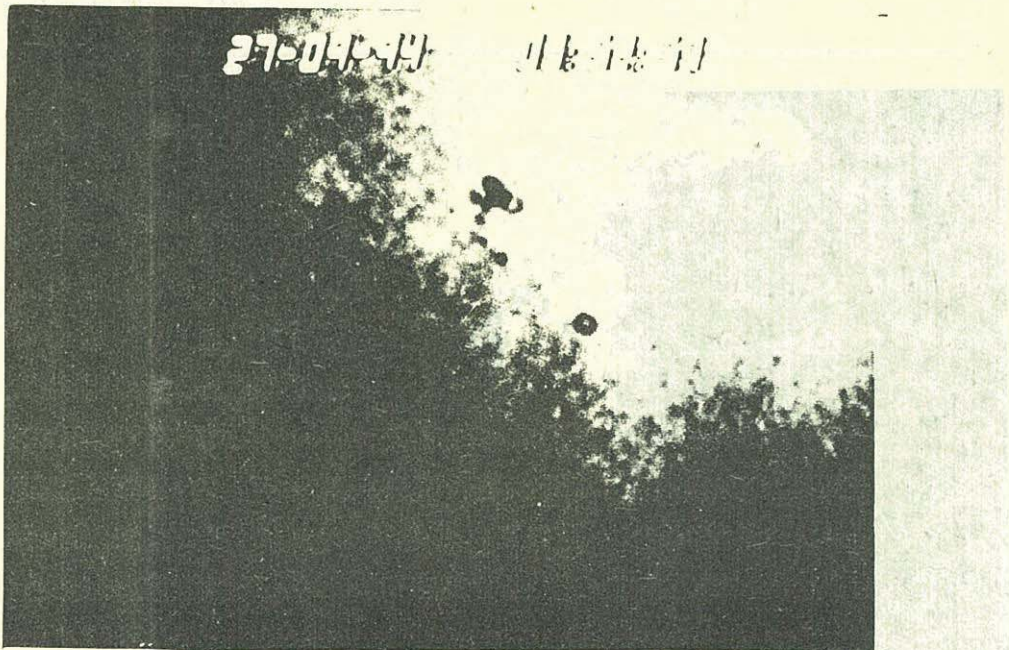
九通道望远镜4686单色像：资料先用录像带记录，事后放像翻拍。视场约 $4.5 \times 3'$ ，黑子靠近日面中心。正上方沟状物为CCD上脏物，右边略有挡光。



九通道望远镜5250单色像：资料先用录像带记录，事后放像翻拍。视场约 $4.5 \times 3'$ ，黑子靠近日面边缘。黑色圆圈为CCD上灰尘。



九通道望远镜 $H\alpha$ 黑子照片：资料先用录像带记录，事后放像翻拍。视场约 4.5×3.0 ，活动区在日面东南方向。曝光时间1秒，光圈4，焦距0.5米。



九通道望远镜 5876 单色像：资料先用录像带记录，事后放像翻拍。视场约 $4.5 \times 3'$ ，黑子靠近日面边缘。黑色圆圈为 CCD 上灰尘。

图8. 多通道太阳望远镜部分谱线单色像。