

电荷耦合器件(CCD)及其在天文中的应用

王传晋

(中国科学院紫金山天文台)

叶彬浔 孟新民

(中国科学院云南天文台)

提 要

电荷耦合器件 (CCD) 是近十年来新兴的一种光检测器, 近来已为天文界所重视。本文先概述 CCD 的工作原理及目前各国天文台常用的几种 CCD 产品。然后简单介绍天文观测用的 CCD 系统的结构; 并对 CCD 的优缺点及应用范围作了评述。

到七十年代初, 天文光学观测所用的检测器还只限于底片和带光电阴极的器件 (如光电倍增管、电子照相和各种电视摄象管等)。底片的量子效率极低, 动态范围很小, 线性不好, 加上事后处理手续繁复, 使它不能很好地利用望远镜所收集的珍贵光子。带光电阴极的器件虽有较高的量子效率, 但其灵敏度的均匀性和稳定性及象素位置的稳定性都不好。环境条件和供电电压的改变会引起这些特性显著改变, 使精确测量造成误差。

固体器件技术的进步, 提供了原理上完全不同的新型光检测器——硅二极管阵。半导体硅具有光敏效应。当光子射入被吸收时, 产生一个电子空穴对。如果设法把一种载流子例如电子收集起来, 而把另一种例如空穴驱走, 则所收集到的电子多少和入射光子的多少成正比。这就是固体器件的最基本的原理。

这种现象尽管早就为人们所认识, 但只有到七十年代半导体集成电路工艺进步后, 才有可能把很多个硅光敏检测器做在一个很小的面积上而形成二极管阵。目前适于天文应用的固体二极管阵最常见的有三类: 自扫描硅二极管阵、或称雷迪康 (Reticon)、电荷耦合器件 (CCD) 和电荷注入器件 (CID)*。它们都利用硅片的光敏特性, 但收集载流子和读出的方法不同。现在天文观测中用得最多的是 CCD。本文只限于讨论这种器件。其它两种可以参看有关文献^[1,2]。

一、CCD的基本原理

CCD基本上是一种MOS器件。在一块硅片上, 先镀上一层氧化物绝缘层, 再在其上制成许多电极。当电极上加上电压时, 电极下形成相间分布的位阱和位垒。由光子产生的电子空穴对, 空穴导入基板; 电子则为附近的位阱所收集。每个位阱相当于一个象素。整个器件

* 在有些文献中, 将CID和CCD并成一大类。

1983年8月26日收到。

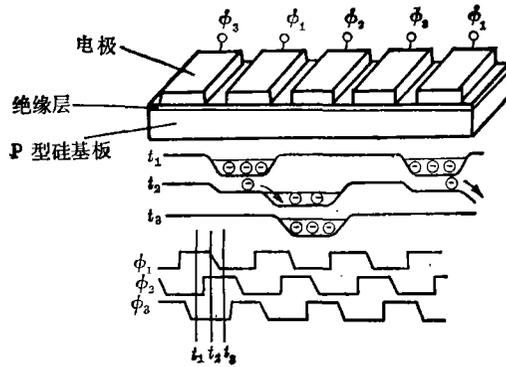


图1 三相驱动 CCD 工作过程示意图

形成一张和入射图象强度成正比的电子潜象。下一步是如何读出这些收集在位阱中的电信号。把电极依次分为三组，加上相差各为 120° 的三相驱动电压。这样硅片内的位阱随时间发生移动(见图1)。阱内的电子以成团的形式随着位阱移动。驱动电压的一个周期，电荷团向右移动一个电极。在硅片的最右端有一个加反偏的二极管。电荷团传入该电极即产生一信号经后面的电荷放大器转化为电压输出。这样，在 CCD 各象素内的电荷团以时间为序列依次读出。这种工作方式相当于一个移位寄存器。但所送出的信号随物象的强弱而改变，并不只是

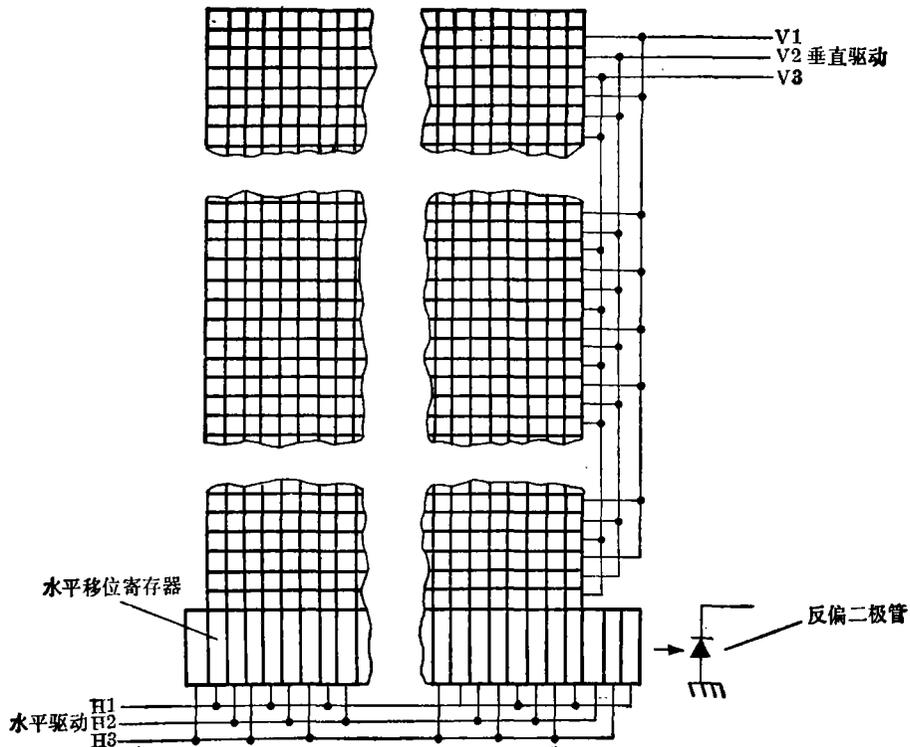


图2 二维 CCD 工作原理示意图

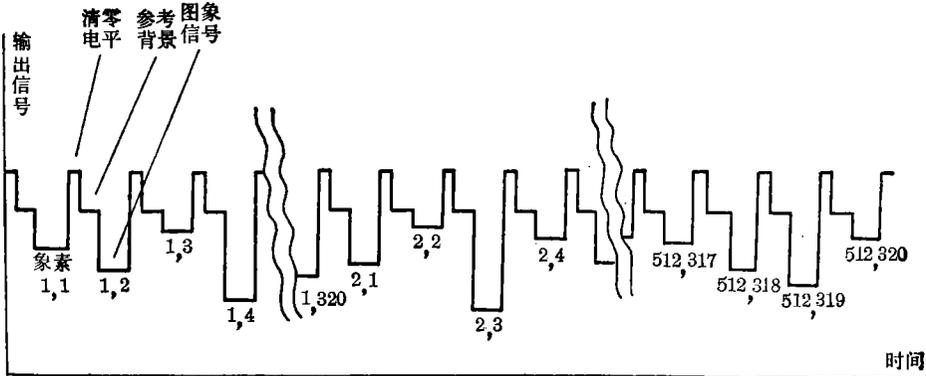


图3 512×320二维 CCD 的输出波形

0 和 1。

两组 CCD 的工作原理更为复杂些。如图 2 所示，在器件的底部有一个水平移位寄存器。它能在水平驱动钟的控制下和上述一组 CCD 一样移位工作。阵列上的象素每三排为一组。在垂直驱动钟的控制下，每隔一定时间逐排移入水平移位寄存器。每移入一排，水平寄存器即将该排信号读出，直到全帧图象读完为止。象素信号随时间排列的次序如图 3 所示。图中窄脉冲是读出放大器复零时输出；紧接的部分是驱入电荷团前读出放大器悬置时输出电平，用作背景参考。再下面的半周是驱入一个象素的电荷团后所产生的信号。所以，各象素所产生的信号高度就是图象上各点亮度强弱的衡量。对它们进行取样，并按一定的次序排列，就得到一帧数字图象。

CCD 并不一定要用三相脉冲驱动，也可以用二相脉冲和单相脉冲（在下节还要谈到）来驱动，但它们的原理都相同。无非是产生位阱和位垒，用移动位阱的办法转移电荷团，从而读出位阱所收集的信号电荷。这种移动电荷的方法叫作电荷耦合。所以把用这种原理操作的器件称为电荷耦合器件。

初期的 CCD，电荷团贴着硅基板和二氧化硅的分界面贮存和转移，称为表面型 CCD。这种器件由于存在着电荷和表面的相互作用，由于分界面可能成为信号电子的陷阱在电荷团转移时会受到阻力。这就使电荷转移效率*大为变坏，数据读出速率也不可能提高（这一点对天文应用并不重要）。因此出现“埋沟”型 CCD。埋沟型 CCD 是将磷离子扩散到硅基板内，在氧化层和 P 型基板之间形成一层 N 型硅沟道，使电荷团的贮存和转移都在这一埋沟层中进行。由于电荷远离表面，在电荷团转移时电荷和表面层的相互作用大为减弱，从而改善了电荷转移效率。埋沟结构同时使噪声降低，动态范围扩大。目前天文上使用的 CCD 大都是这种埋沟型器件。

二、天文工作中几种常用的 CCD

现在，世界各国的较大型望远镜几乎都装备了 CCD 接收器。所用的产品各不相同。最为受人瞩目的有以下四种。

* 电荷转移效率是位阱中的电荷团每转移一次后该电荷团内电荷数和转移前之比，关于它们的定义和测定方法，我们将在文献[3]中详细讨论。

1. 仙童(Fairchild)公司*

仙童公司是生产各种尺寸一维及二维 CCD 器件的最早厂商之一^[4]。它的产品采用正面照光,即光从硅片的做 CCD 电极的那面照入。因而器件做得比较厚(~250 微米),坚固耐用。但片子做得太厚,会产生严重的宇宙线效应^[5]。即当外层空间来的高能辐射进入器件时,造成一条载流子“长尾”,被各位阱所收集。因此图象上会出现彗形斑条,影响图象质量。仙童 CCD 的光敏区和不透光的垂直移位寄存器一一相间。感光时累积的电荷团同时从光敏区的位阱转移到垂直移位寄存器,然后再从垂直寄存器一行行转入水平寄存器后读出。这样受光面积的一半被垂直寄存器遮住,落到这部份的光子无法利用。仙童 CCD 的光敏区的量子效率本来就比较低,在峰值 7,000 埃处只有 25% 左右。现在遮掉一半,使全片的量子效率只有 10%。曾试图把垂直寄存器的遮光层取去,而使它和光敏区一样收集光子,以期克服这一缺点。采用这种方法,量子效率尽管提高了一些,但同时使噪声也增加了一倍,并在低光流时产生非线性^[6],所以仍不能令人满意。仙童 CCD 相对来说有较小的噪声,电荷转移效率及线性均好。它的另一优点是在片上同时制备电荷放大器,使输出的电信号已经是低阻抗的电压,这对使用者来说堪称方便。

2. 得克萨斯仪器公司(Texas Instruments Inc. 简称 TI)**

早在 1973 年 TI 就和喷气推进实验室和美国宇航局(NASA)签订合同制作大面积 CCD。希望把 CCD 用于空间天文探测器上。TI 的产品质量很好,也是迄今为止象素数最多的 CCD 器件(800×800)。但目前还不能大量生产,所以不易得到。

TI 研制的 CCD 采用薄型结构。输入光学图象成在基板背面,以提高效率和空间分辨本领,从而改善器件的调制转移系数。在加工时,他们从 CCD 电路部份的背面将硅基板减薄至 8 到 10 微米的厚度,使所有的入射光子都有机会和硅片相互作用而得到很高的量子效率。同时蓝端响应也得到改善。

薄型器件的另一个优点是使宇宙线效应大为改善。因为一个入射粒子总是只限制在一个象素内,它所引起的 2,500 个电荷载流子,还能很好地在象素的动态范围内。但是薄型器件产生一个特有的问题,即对单色性很强的图象会发生干涉条纹。有人企图用在器件上涂膜和加劈形玻璃或采用光纤板输入的方法来解决,但至今仍未获满意结果。这使它不适用于高色散光谱的工作。薄型器件另一个缺点是较为脆弱。但若不受机械外力的冲击,仍是很耐用的。

近年来, TI 正从事一种虚相(Virtual-Phase)CCD 的研制^{[7][8]}。它只需要单相驱动脉冲就可以工作。因而简化了驱动电路,提高了可靠性。同时,由于器件只需要制作一层电极,使成品率相应提高。减少一层电极也可以减少对蓝光的吸收,从而改善了器件的蓝光响应***。虚相 CCD 目前还没有到十分成熟的阶段。如果能进一步完善,它必将替代其它二相和三相驱动的 CCD。

3. 美国无线电公司(Radio Corporation of America, 简称 RCA)****

* Fairchild CCD Imaging, 4001 Miranda Avenue, Palo Alto, California 94304.

** Texas Instruments Inc., 13500 N. Central Expressway, Dallas, Texas 75265.

*** TI 的虚相 CCD 是正面照光器件。

**** CCD Marketing, RCA Lancaster, Pennsylvania 17604.

TI 的虚相 CCD 是正面照光器件。

RCA 生产的 CCD 原来是专为 525 行美国标准电视使用的。整个器件分成两部分, 感光部份和贮存部分, 各为 320×256 像素。感光部份累积图象后, 迅速转入贮存部份, 然后在感光部份累积下一帧时, 贮存部份被逐行读出, 得到图象信号。

在天文应用时, 不需要很快的帧率, 所以可以把贮存部份也用作感光, 以扩大阵列面积一倍(320×512 个像素)。然后再逐行读出。

RCA CCD 有厚型(如 SID 53601)和薄型(如 SID 53612)两种。它们的一般特点分别和前面所讨论的相仿。和仙童公司及 TI 的 CCD 相比, RCA CCD 的优点是量子效率特别高, 峰值处可达 75%; 并且蓝敏性好, 即使到 3,500 埃时量子效率仍达 30%。RCA CCD 的缺点是噪声也比其它两种高几倍。近来 RCA 正在探索制造一种低噪声高量子效率的 CCD, 但尚未有正式的结果。

RCA CCD 的一些优点, 加上比较容易得到, 所以目前在各天文台中用得最广。假如

表 1. 几种常见 CCD 的特性比较*

制造厂商	仙童公司 (美国)	得克萨斯仪器 公司(美国)	得克萨斯仪器 公司(美国)	美国无线电公司 (美国)	美国无线电公司 (美国)	通用电气公司 (英国)	
型 号	221	三相	虚相	SID53601(厚型)	SID53612(薄型)	MA 357**	
像素数	垂直	488	800	800	512	512	576
	水平	380	800	800	320	320	385
工作面积(平方毫米)	100.3	148	148	144.8	144.8	108	
像素尺寸 (微米 \times 微米)	18 \times 12	15 \times 15	15 \times 15	30 \times 30	30 \times 30	22 \times 22	
峰值波长(埃)	7,500	7,000	6,000	5,500	6,500	8,500	
量子效率(%)	3,500 埃处	~0	~0	~0	30		
	6,000 埃处	8	40	55	50	75	25
	9,000 埃处	5	20	13	50	20	35
	峰值波长处	13	55	55	70	75	35
电荷转移效率	0.99995	0.99995	0.99997	好	>0.9999	>0.99995	
宇宙线效应	坏	好	好	好	好	好	
线性(%)	<0.7	0.5	0.2	0.4	0.4	<1	
饱和电子数(电子)	$1.25 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$1.25 \cdot 10^5$	$1.25 \cdot 10^5$	$2.5 \cdot 10^5$	
RMS 噪声(电子)	27	10	18	60	60	20	
干涉条纹	5%(8,500埃)	20%(6,500埃)		5%(8,500埃)	20%(7,000埃)		
参考价格(美元)	10,000			4,000	6,500	2,000—10,000	
参考文献	[6]	[25]	[8]	[26]	[26]	[9]	

* 不同文献所载特性可能有些差别。

** 1981年起改型号为P8600, 由英国电子管公司(English Electric Valve Company LTD)生产。

RCA 确能在降低噪声方面有进一步的突破, 则将是 TI 的一个很有力的竞争者。我国昆明云南天文台已着手装备这种 CCD 器件, 作为常规观测设备装在一米反光望远镜上。

4. 英国通用电气公司(British General Electric Company, 简称 GEC)*

该公司生产欧洲标准 625 行电视摄像使用的 CCD 已受到天文界的注意。一些天文台已开始对它的特性进行检测和探讨。这是一种 576×385 象素的三相驱动埋沟型器件, 属于厚型 CCD。入射象通过半透明电极正面入射。板面也分为感光 and 贮存两部分, 和 RCA CCD 相似。

该厂生产两种产品, 适于天文应用的一种 MA357 是将 CCD 的高阻率硅基板用外延法制作在一片低阻率硅片上。在低阻率硅片内所产生的载流子能很快地和晶格复合, 所以在这层中因宇宙线事件所产生的电荷不为 CCD 所收集。这种结构使厚型器件能象薄型器件一样消除宇宙线的效应。由于入射光透过电极, 正面入射的厚型器件, 其蓝敏性总是较差的。

和仙童 CCD 一样, GEC CCD 片上装有电荷放大器, 以简化外电路。这种器件的量子效率在峰值 8.000 \AA 处约 30%。噪声很小, 仅 20 个电子左右, 线性和电荷转移系数都很好。

GEC 还计划制造 $1,500 \times 1,500$ 象素、34.5—39 毫米见方的大阵^[9]。如果能得到成功, 将是一种最大的 CCD 面阵。目前这种器件的特性还没有得到天文界的充分研究。有人认为这是很有希望的新尝试。

除了以上几种 CCD 外, 还有一些厂商也生产 CCD。不过在质量和规模上都不如上述几个公司。比较以上四家的产品, 可以说各有长短, 目前还没有明确的结论。从一定意义上说, TI 似稍占上风。但在不同场合使用要求也有不同。表 1 列出它们的综合特性, 供读者参考。

三、天文观测用 CCD 系统的结构

到现在为止, 我们所讨论的还只局限于 CCD 器件本身。要将一个 CCD 投入使用可并不象传统的照相底片、光电倍增管或象增强器那样简单直观。一个 CCD 系统包含有大量电子线路及数据收集技术(包括硬件和软件), 幸而大规模集成电路的出现和计算机技术的发展, 大大简化了系统的制作。不过即使这样, 要使之正常和良好地运转, 仍不是一件轻而易举的事。

图 4 是一个典型的 CCD 系统方框图。

CCD 是固体元件。存在着由于热运动所引起的暗流。暗电流不但产生噪声, 而且占去很大的动态范围, 使器件积分时间不能过长。暗流随温度改变, 一般地说, 每降低 5°C 到 7°C , CCD 的暗流即减小一半。所以要使器件能积分很长时间, 必须将器件冷却到足够低的温度, 天文应用的 CCD 一般都工作于 -100°C 以下, 那时暗流小于每秒一个电子。即使积分几小时, 暗流的累积也只占动态范围很小的百分比。对于一般的积分时间(如几十分钟)暗流可以忽略。温度变化同时也影响 CCD 的其它特性。通常将 CCD 置于液氮杜瓦瓶内加以冷却, 并用控制电路使之恒温到 0.1°C 的范围, 以保持器件特性稳定。

驱动电路是产生使 CCD 正常工作所必需的脉冲(如垂直转移和水平转移驱动脉冲等)的部分。这些脉冲之间需有严格的位相关系。微小的误差就能引起系统工作紊乱。通常这是用

* The General Electric Company LTD. Hirst Research Center, East Lane Wembley, Middlesex, U.K.

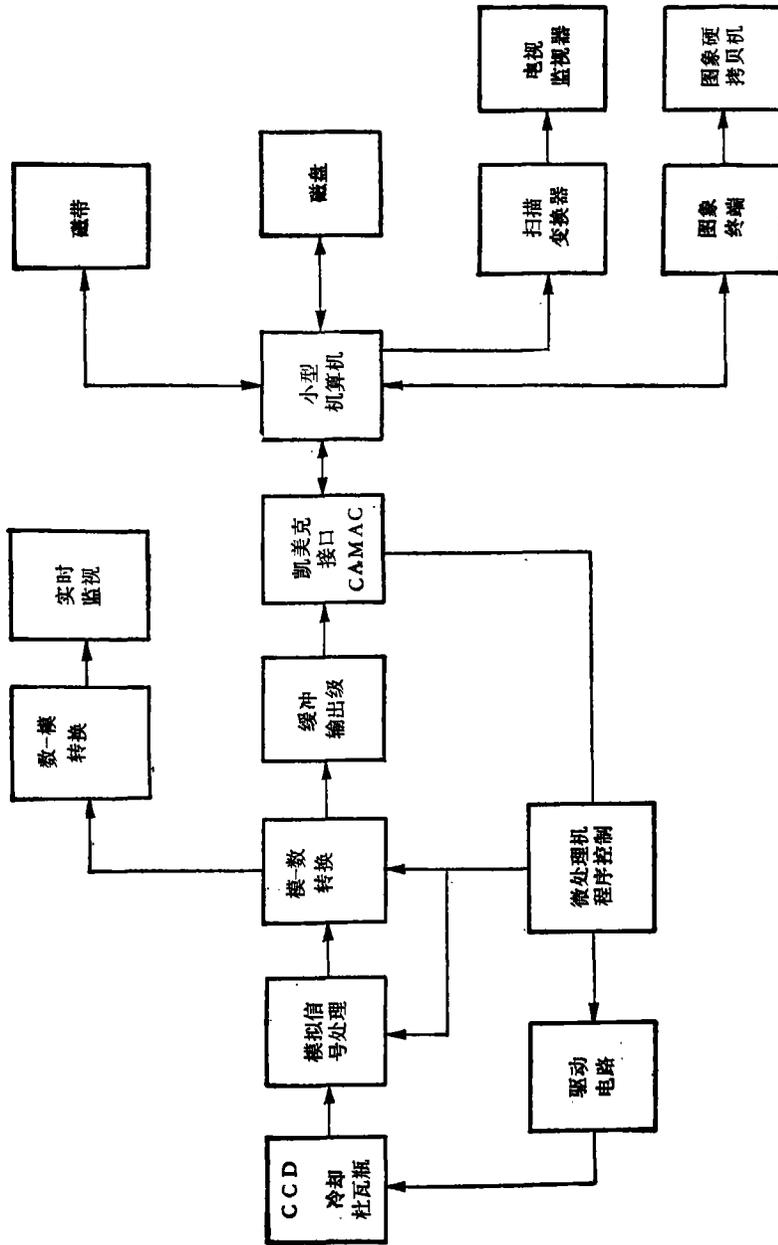


图 4 典型的 CCD 系统方框图

一具独立的微处理机或一种叫位片(bit slice)的集成电路产生的。预先用只读存储器将产生需要的脉冲的程序写好,然后由计算机通过凯美克(CAMAC)标准接口或其它输入输出接口启动。控制程序还要发生处理模拟信号和模-数转换等所需要的控制脉冲,使各部分工作得到同步和协调。

CCD 放在望远镜的焦面上接收图象。根据观测对象的亮度,可采用不同的积分时间,从几秒到几小时不等。积分结束后,计算机启动驱动电路对 CCD 读出,得到图 3 的信号。对每一象素所产生的信号,先要通过模拟信号进行放大和处理,使信号有足够大的幅度和消除部分噪声。经过处理的信号送入模数变换器变换成数字信号,再经接口送入计算机的内存。计算机应有适当的外部设备对信息加以贮存,通常是磁盘和磁带。也需要有终端设备供人机对话。扫描变换器实际上是一个大容量的存储器,用来暂存图象。对这个存储器进行扫描可将图象显示在高分辨电视屏上供观测者参考。

系统还有一路数-模转换,将数字信号变回到模拟信号,供实时监视。这是供实时检验系统工作及需要对望远镜调焦等情况下使用的。

CCD 的使用提出了一些前所未有的特殊问题。最为突出的是,如此巨大的信息量要在极短时间内加以收集和贮存是极为困难的事情。试想一个 800×800 的两维 CCD, 一帧图象的象素就达 640,000 之多。每个象素都要经过模拟处理,模拟变换后送入计算机加以贮存。假如这一过程需要 100 微秒,那么读出一帧图象就需要 64 秒。通常采用直接存取(DMA)方式以加快速度。但即使加快到每象素 20 微秒,读出一帧仍需 12 秒多。这对于快速观测工作已经是长得不能容忍了。另一方面,假如采用 14 到 16 位的模数变换器,那么每个象素占二个字节。即使用一具 16 根地址线的 16 位字长的计算机,它的内存也只放得下一帧图象。而实际上每部计算机都需要一些操作管理程序。用户可用的存储器还不足以放一张图象。解决这个矛盾的办法是采用边读入边送盘的方法,在内存区开辟两个缓冲器轮流工作。所有这些,需要一系列的特殊的计算机硬件和软件的支持。

另一个问题是 CCD 的象素之间,暗流和灵敏度不可能完全一样。要互相比较,首先需要加以校正。一般需设置一个平场光源。即该光源能保证照到 CCD 各象素上的光强是相同的。平场光源应与 CCD 观测对象有一致的波长和相近的强度。最简便的办法是利用无星区域的夜天光或圆顶内散射入望远镜的室内自然灯光。但最好是有专门设计的光源以便于控制。CCD 拍摄平场后即可得到各象素之间的相对灵敏度。用平场除图象即可校正 CCD 象素灵敏度不均匀所引起的误差。当然平场和图象相除之前先要减去一幅暗场。所以要得到一幅可用的图象信息,至少要有平场、暗场和观测图象三幅象。计算机对它们进行逐点计算处理。至于对图象的进一步分析和研究,就需要更多的软件。许多天文台都特地为此建立了处理软件包。这是很大的工作量,也需要高水平的程序员。

所以在谈论 CCD 的同时,我们应当看到一个 CCD 系统牵涉到的不仅只是 CCD 器件,还需要大量电子线路,计算机接口,软件设计,机械设计,低温技术,真空技术等等。也许从此那种靠一两个人在一间小实验室里敲敲打打就可以做成一台观测仪器的时代已经过去了。

四、CCD的天文应用

美国贝尔实验室 Boyle 和 G. E. Smith 在 1970 年第一次做出电荷耦合器件^[10], 到现在只不过十三年的时间。1973 年加州理工学院喷气推进实验室 G. M. Smith 等人首先注意到 CCD 在天文学中应用的可能性。同时, 喷气推进实验室和美国宇航局(NASA)立即和TI合作研制为探测木星的空间飞行器“伽利略使者”上应用的 CCD。这项计划一直进行到现在。^[11]

但是真正第一次发表用固体器件得到天文结果的应从 1976 年 Watson 等人用窄波段滤光片拍摄木星和土星的红外象算起^[12]。实际上, 他们用的器件应该算作电荷注入器件(CID), 拍到一组 8900 埃 CH_4 吸收带内 15 埃宽的行星象, 通过测定它们表面的反照率来研究大气散射的性质。从那时到现在的七年内, CCD 受到普遍重视, 并得到迅速推广。

CCD 并不是一种完全理想的检测器。它尽管有一系列优点, 也还有其局限性的一面。下面结合它的优缺点来看看一些天文学家的选题。

1. 红敏性好

CCD 的光谱响应可以扩展到 11,000 埃的范围。这是底片和光电阴极所难以达到的(S1 光阴极可在红外区工作, 但这种阴极的特性不好, 有些 III-V 族阴极也可达到 10000 埃以上, 但量子效率已很低)。所以用 CCD 来做近红外观测是合适的^[13,14]。上述红区和红外窄带行星测光就是一个较有意义的课题。另一个例子是威斯康星大学 Roesler 等人用 RCA CCD 和一具窄波段可调法布里-珀洛干涉仪相结合, 在 6716 埃和 6731 埃的[S II]及 9 531 埃的[S III]处观测木星周围的等离子体环, 以研究行星的物理性质^[18]。这种电离气体发射极为暗弱, 并且要研究和木星相关的环体运动, 需要快速短曝光。因此采用象素兼并技术, 以提高收集光子的能力。

2. 量子效率高

CCD 的利用光子效率远远高于底片, 也较一般的光阴极高得多, 因此对于暗星观测非常有利。Ricker 等人在麦克格林-海尔天文台用 1.3 米望远镜接上 TI 虚相 CCD, 在 1800 秒积分时就达到了天光极限的结果。他们当时用以研究四个高银纬 X 射线源, 以期得到光学对应体^[15]。

为了比较 CCD 和光电象管的效率, 读者可以看 Riley 等人用 90 毫米磁聚焦 ITT 象管加 Kodak III a-J 底片拍摄的 3LR34 星区^[16]和 Gunn 等人用 500×500 TI CCD 所拍摄的另一区域^[17]的结果。两者都是在 5 米望远镜上曝光 10 分钟得到的。显然, 尽管用 CCD 得到的星象因为象素饱和而使亮星两侧呈现出线状扩散, 但能辨认的暗星却多得多。用这架望远镜装上 CCD, 已可摄到暗至 25 等的天体, 比长时期露光的照相观测所能记录的星等还要暗一等多。这是 CCD 充分利用微弱星光光子和能收集贮存更多光电子(即有大的饱和电子数)的缘故。

3. 象素位置稳定和动态范围大

CCD 相对于带光阴极的器件来说, 有高度的象素位置稳定性, 对图象不产生畸变。相对于底片, 有很大的动态范围。这两点对一个二维面测光系统是很重要的。

Wamsteker 等人用 TI CCD 观测星系和 H II 区^[19]及 Illingworth 用仙童 CCD 观测早型星系^[19]都是这方面的尝试, Schild 和 Kent 用 RCA CCD 作多色测光, 企图建立与标准 BVRI 和 grI 及照相测光系统之间的转换^[20]。

CCD 象素位置的稳定性也受到天体测量工作者的注意。Monet 在基特峰的 4 米望远镜上使用 CCD, 当积分 120 秒时星象中心测量位置准确性可达 0.25 微米, 这相当于 5 毫角秒的精度^[21]。

4. 实时处理

CCD 得到数据的实时性使它可以很快地作图象比较。亚利桑纳大学月亮和行星实验室正在进行一项计划。用几块 CCD 镶拼成一个大面积器件, 对一定天区进行巡天。然后把摄得的星象和以前同一天区的记录作实时比较。他们希望能通过这样的搜寻来大量发现新的小行星。

上面几方面的工作目前也还处于探索阶段。但人们对它的前景是充分乐观的。所得到的一些结果已经被用来研究活动星系、类星体的红移, 发现类星体附近的暗星系及证实一些理论问题。在[22]中可以看到一些很好的例子。

虽然目前最大的 CCD 已做到近千个象素见方的数量, 它的光敏面积还是很小的。即使装在焦距很短的主焦上, 也只能有几角分的视场。所以对一些要求大视场的工作它是无法胜任的。若用来作光谱观测, 也只能限于小色散的系统。这方面的工作, 目前仍是照相底片所独占的领域, 而且看来还不是短期内所能改变的。

CCD 的另一缺点是蓝端灵敏度很差。大部分 CCD 在波长短于 4000 埃时已很不灵敏。这一问题已有了一些解决办法。在器件上涂一层荧光层, 例如六苯并苯, 采用将入射光转换成长波的办法, 可以改善器件的蓝端响应, 甚至可延伸到远紫外区^[22,24]。

五 结 论

CCD 的优点及潜力已经很明显, 由于它的历史还不长, 有许多问题需要进一步研究和改进。其中非常主要的一点是优良的器件。天文上应用的数量极少, 它的需要不足以刺激厂商投资。但电视、传真等方面的使用却有很大的市场。虽然彼此的要求有很大的差别, 天文学家仍可从此得益, 即可在商业产品中选用天文上合用的器件。

随着我国半导体制造工艺的发展, 现在也已有一些单位制作各种规格的 CCD。可惜国内的天文仪器工作者还没有对它们作详细的研究。我们认为, 天文工作者应当充分利用这一有利条件, 并且支持我国的这一新生事物。

参 考 文 献

- [1] W. L. Livingston, "Diode Arrays — A Review", *Astronomical Applications of Image Detectors with Linear Response*, ed. M. Duchesue, G. Lelievre, 22-1 (1976).
- [2] J. A. Westphal, "A Short Review of the Present Status of Electronic Panoramic Detectors" ESO Workshop on Two Dimensional Photometry, ed. P. Crane, K. Kjar, 77 (1980).
- [3] 叶彬浔, 孟新民, 王传晋, "电荷耦合器件(CCD)的特性及评价方法", (待发表)
- [4] "CCD The Solid State Imaging Technology", Product Catalog (1981).

- [5] S. Marcus, R. Nelson, C. R. Lynds, "Preliminary Evaluation of a Fairchild CCD 211 and a New Camera System", *Instrumentation in Astronomy III*, *SPIE*, 172 (1979), 207.
- [6] L. E. Goad, W. F. Ball, "Charge-coupled Device Utilization and Development at Kitt Peak Observatory", *Solid State Imagers for Astronomy*, ed. J. C. Geary, C. Geary, D. W. Latham, *SPIE*, 290 (1981), 130.
- [7] J. R. Lineback, "Clocking Technique Simplifies Structure of Image-sensing CCDs", *Electronics*, 39, Jan27 (1982).
- [8] J. R. Janesick, J. Hyncek, M. M. Blouke, "Virtual Phase Imager for Galileo", *SPIE*, 290 (1981) 165.
- [9] C. D. Mackay, "The British General Electric Company Charge-coupled Device Development Program", *SPIE*, 290 (1981), 159.
- [10] W. S. Boyle, G. E. Smith, "Charge-coupled Semiconductor Devices", *Bell System. Tech. J.*, 49 (1970), 587.
- [11] K. P. Klaasen, M. C. Clary, J. R. Janesick, "CCD Television Camera for NASA's Galileo Mission to Jupiter", *Instrumentation in Astronomy IV*, *SPIE*, 331 (1982), 376.
- [12] R. B. Wattson, S. A. Rappaport, E. E. Frederick, *Icarus*, 27 (1976), 417.
- [13] F. L. Roesler, et al., "Observation of the Plasma Torus of Jupiter with a Fabry-Perot CCD Imaging Spectrometer", *SPIE*, 290 (1981), 180.
- [14] A. Coudal, et al., "Ionization Structure and Partial Obscuration of the Planetary Nebulae NGC 3132 and NGC 3242", *PASP*, 93 (1981), 695.
- [15] G. R. Ricker et al., "Optical Studies of X-ray Sources with the MASCOT — A Charge-coupled Device-based Astronomical Instrument", *SPIE* 290 (1981), 190.
- [16] J. M. Riley, M. S. Longair, J. E. Gunn, "Investigations of the Optical Fields of 3CR Radio Sources to Faint Limiting Magnitudes—III", *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, 192 (1980), 233.
- [17] J. E. Gunn, J. G. Hoessel, J. A. Westphal et al., "Investigations of the Optical Fields of 3CR Radio Sources to Faint Limiting Magnitudes—IV", *Mon. Not. R. Astr. Soc.* 194 (1980), 111.
- [18] W. Wamsteker et al., "CCD Observations of HI Regions and Galaxies", *ESO Workshop on Two Dimensional Photometry*, (1980), 271.
- [19] G. Illingworth, "Core Structure in Early-type Galaxies", *ESO Workshop on Two Dimensional Photometry*, (1980), 299.
- [20] R. Schild, S. Kent, "Photometric System for Charge-coupled Device Imaging", *SPIE*, 290 (1981), 186.
- [21] D. G. Monet, "Precision Astrometry and the Kitt Peak National Observatory 4m/Charge-coupled Device Parallax Program", *SPIE*, 290 (1981), 208.
- [22] J. Kristian, M. Blouke, 天文学里的电荷耦合器件, *科学*, (1983). No.2, 30.
- [23] M. M. Blouke et al., "A UV Downconverting Phosphor for Use with Silicon CCDs", *Applied Optics*, 19 (1980).
- [24] F. E. Stuart, A. K. Haas, "Fluorescent Plastic Coatings for Improving Ultraviolet and Blue Response of Cooled Silicon CCDs", *SPIE*, 331 (1982), 52.
- [25] M. M. Blouke, J. R. Janesick, "Texas Instruments 800×800 Charge-coupled Device Image Sensor", *SPIE*, 290 (1981), 6.
- [26] A. Fowler, P. Waddell, L. Mortara, "Evaluation of the RCA 512×320 CCD Imagers for Astronomical Users", *SPIE*, 290 (1981), 34.

Charge-Coupled Devices (CCDs) and Their Application in Astronomy

Wang Chuan-jin

(Purple Mountain Observatory, Academia Sinica)

Ye Bin-xin

Meng Xin-min

(Yunnan Observatory, Academia Sinica)

Abstract

Charge-coupled Devices (CCDs) are a new kind of optical detector developed 13 years ago, by which astronomers have set great store recently. This article describes their principle and some CCD products widely used in observatories all over the world. Also outlined is the structure of a typical CCD system for astronomical observation. Meantime some comments are made on the advantages and disadvantages of CCD, as well as its applications in astronomy.