

## CCD 特性实验

CCD (Charge Coupled Device) 全称为电荷耦合器件, 是于 1969 年由美国贝尔实验室 (Bell Labs) 的维拉·波义耳(Willard S. Boyle) 和乔治·史密斯 (George E. Smith) 所发明的。当时贝尔实验室正在发展影像电话和半导体气泡式内存。将这两种新技术结合起来后, 波义耳和史密斯得出一种装置, 他们命名为“电荷‘气泡’元件”(Charge "Bubble" Devices)。这种装置的特性就是它能沿着一片半导体的表面传递电荷, 便尝试用来做为记忆装置, 当时只能从暂存器用“注入”电荷的方式输入记忆。但随即发现光电效应能使此种元件表面产生电荷, 而组成数位影像。到了 70 年代, 贝尔实验室的研究员已经能用简单的线性装置捕捉影像, CCD 就此诞生。有几家公司接续此一发明, 着手进行进一步的研究, 包括仙童半导体 (Fairchild Semiconductor)、美国无线电公司 (RCA) 和德州仪器 (Texas Instruments)。其中快捷半导体的产品领先上市, 于 1974 年发表 500 单元的线性装置和 100x100 像素的平面装置。CCD 具有光电转换、信息存贮和传输等功能, CCD 图像传感器能实现图像信息的获取, 转换和视觉功能的扩展, 能给出直观、真实、多层次的内容丰富的可视图像信息。CCD 具有集成度高、分辨率高、灵敏度高、功耗小、寿命长、性能稳定、便于与计算机结合等优点。被广泛应用于人民生活、军事、天文、医疗、电视、图像扫描、工业检测和自动控制等各个领域。学习和掌握一些 CCD 的基本结构, 工作原理, 通过实验对 CCD 的基本特性进行测量, 为进一步应用 CCD 打下基础, 是十分必要的。

### 【实验目的】

1. 学习掌握 CCD 的基本工作原理, CCD 正常工作所需的外部条件及这些条件的改变对 CCD 输出的影响。
2. 测量曝光时间, 驱动周期, 照明情况对输出的影响, 并根据实验原理对输出进行说明。
3. 测量 CCD 的光电转换特性曲线, 根据曲线得到 CCD 的灵敏度、饱和输出电压及饱和曝光量。
4. 比较 CCD 输出信号经 AD 转换和二值化处理后输出信号的差异, 了解各自的应用领域。

### 【实验原理】

一个完整的 CCD 器件由光敏单元、转移栅、移位寄存器及一些辅助输入、输出电路组成。图 6-12-1 为某型号 CCD 的结构示意图。CCD 工作时, 在设定的积分时间内由光敏单元

对光信号进行取样，将光的强弱转换为各光敏单元的电荷多少。取样结束后各光敏元电荷由转移栅转移到移位寄存器的相应单元中。移位寄存器在驱动时钟的作用下，将信号电荷顺次转移到输出端。将输出信号接到计算机、示波器、图象显示器或其它信号存储、处理设备中，就可对信号再现或进行存储处理。由于 CCD 光敏元可做得很小（约  $10\mu\text{m}$ ），所以它的图象分辨率很高。

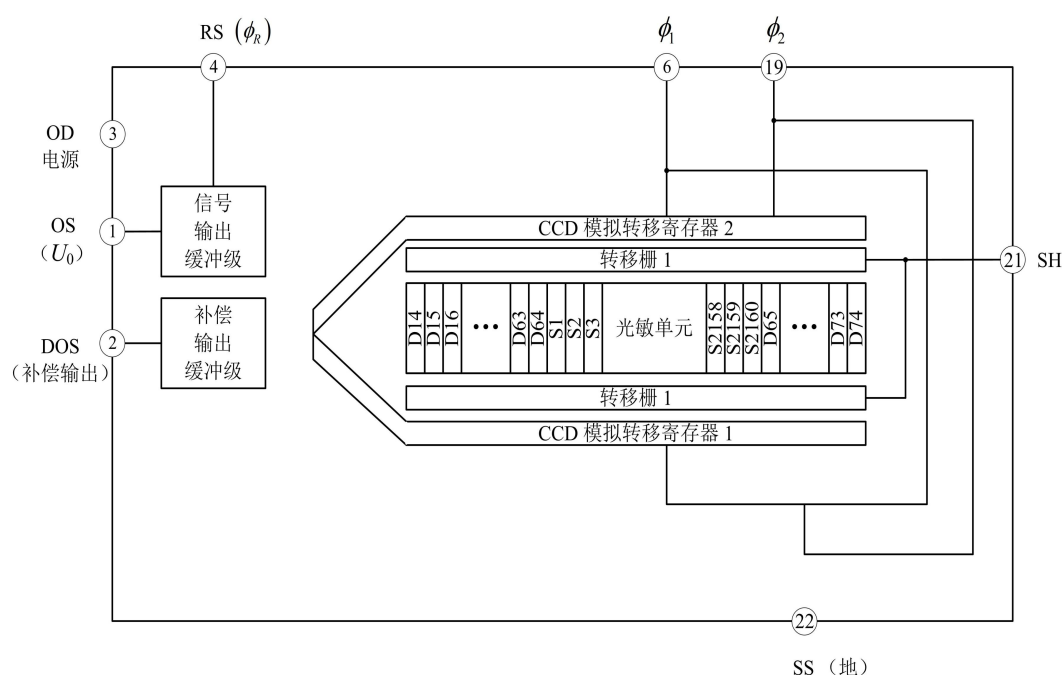


图 6-12-1 CCD 的结构示意图

### 【实验仪器】

仪器由线阵 CCD、CCD 驱动电路、CCD 信号处理电路、接口电路、专用软件、照度计、减光镜、柔光镜、灰度板等

CCD、CCD 驱动电路、CCD 信号处理电路、接口电路、照度计及照度值显示窗口装主机里，照度计的作用是实验时测量照射 CCD 的光强。测量的照度值有的只作为参考，有的则需带入进行计算（如计算 CCD 的饱和曝光量）。图 6-12-2 为仪器面板示意图。

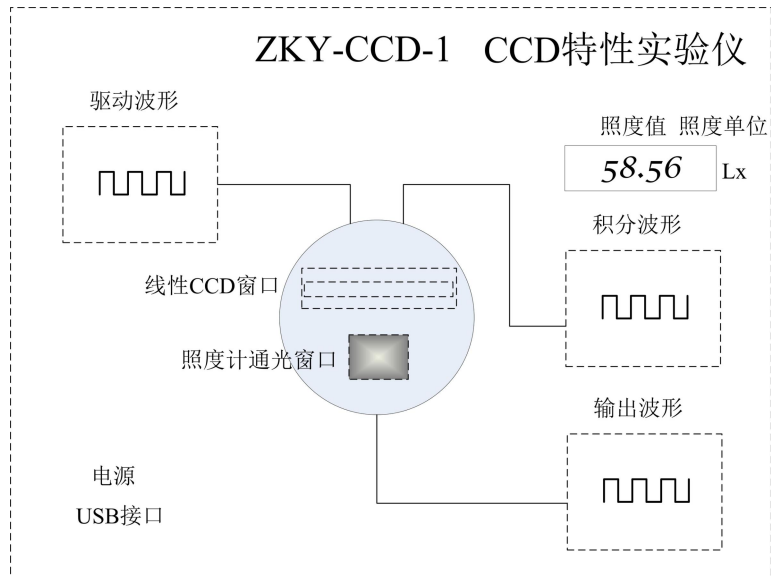


图 6-12-2 CCD 特性实验仪面板示意图

仪器设计了强大的软硬件功能，通过计算机设置工作参数，并显示 CCD 输出情况。选择实验 1 后计算机界面如图 6-12-3 所示。

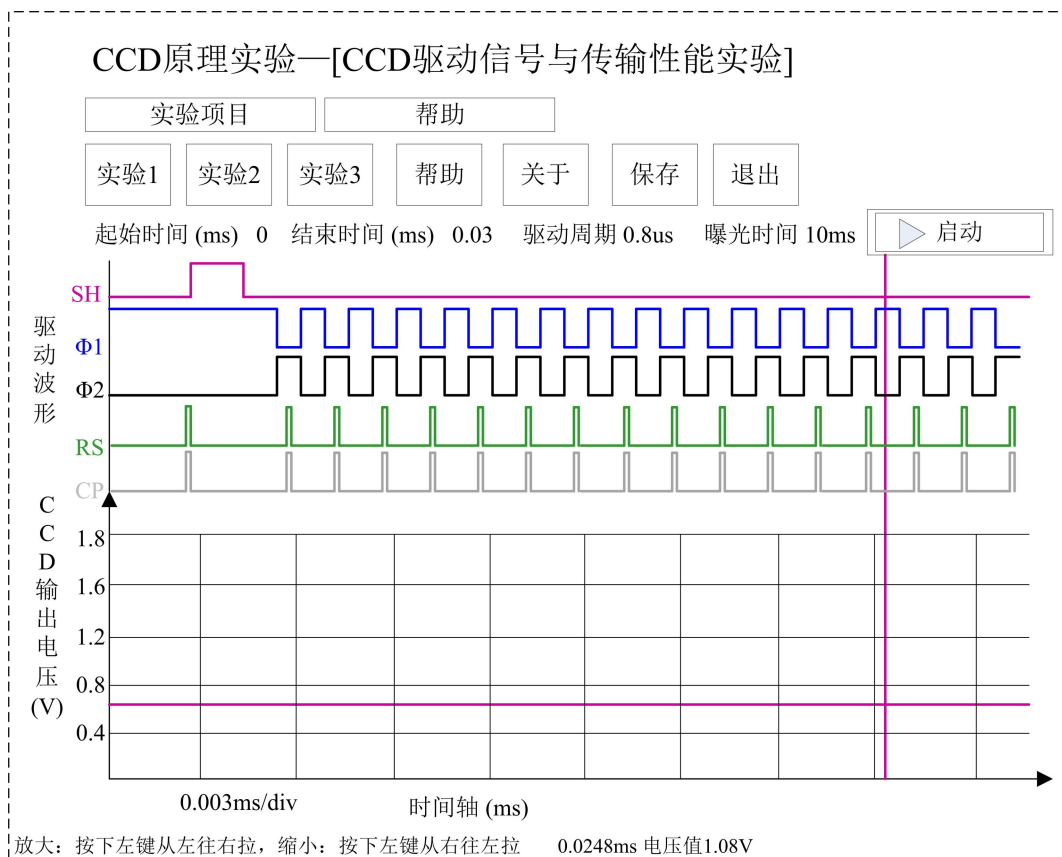


图 6-12-3 CCD 的操作与显示界面

由菜单栏可输入起始时间、结束时间，选择驱动周期、曝光时间。确定显示信号的时间范围和 CCD 的工作参数。屏幕上上部显示 CCD 工作时的各路驱动信号波形，下部显示

CCD 输出电压值。按启动后仪器开始采样并显示实时图形，按停止后显示屏上保持最后采集到的图形。停止后用鼠标对准显示屏上一点，屏幕下方将会显示鼠标纵线对应的时间值和鼠标横线对应的输出电压值，用鼠标拖动还可放大或缩小图形，便于进一步研究。其它界面和使用方法在实验内容和步骤中予以陈述。



减光镜（含遮光罩）



柔光镜



灰度板

**减光镜：**由两片偏振片组成，旋转调节两偏振片的透光轴夹角，可调节透过减光镜的光强度。

**柔光镜：**其作用是将外界不均匀的光改变为均匀光，在实验中必须配在减光镜上同时使用。使用时，先将减光镜置于照度计和线阵 CCD 的通光窗口上（面板上圆形区域），再将柔光镜置于减光镜上，依据照度计显示的照度值调节好减光镜。

**灰度板：**在同一外界照度条件下，可表现出 CCD 每个像元感应并输出电压同该像元对应光照强度之间的变化。

### 【实验内容和步骤】

#### 1. CCD 驱动信号与传输性能的实验


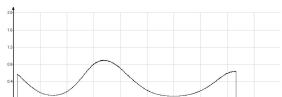


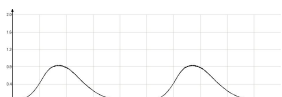




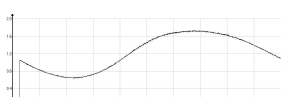

CCD 要在若干时序严格配合的外界脉冲驱动下才能正常工作。

进入 CCD 特性实验程序后选择实验 1，并按图 6-12-3 中的参数选择结束时间，显示屏上将显示各路脉冲的波形图。

按表 6-12-1 设置实验条件（照度通常设置为 1~4Lx）和灰度板位置，参考已经给出的输出电压图形和对输出的说明范例，将表 6-12-1 的空白填写完整。表 6-12-1 内容完成后，可自行设置参数，观测参数设置对输出的影响，加深对实验原理的理解。

表 6-12-1 曝光时间、驱动周期、照明情况对输出的影响 起始时间 0，照度：\_\_\_\_\_ Lx

结束时间 (ms)	曝光时间 (ms)	驱动周期 (μs)	灰度板位置	CCD 输出电压图形	对输出的说明

4	4	1.6			曝光时间等于显示时间,显示 1 幅完整图形。各光敏单元输出电压幅度与透过灰度板的照度成正比。由于显示时间大于驱动周期的 2088 倍,有效信号传送完后有一段时间传送空信号。
8	4	1.6			由于显示时间是曝光时间的 2 倍,显示的是 2 幅图形。横坐标(时间轴)上每格对应的时间是结束时间为 4ms 时的 2 倍。
8	4	1.6			挡光片位置改变,光敏单元照明情况改变,输出也随之改变。
8	8	1.6			曝光时间延长,输出电压也随之增加。由于驱动周期未变,只需 3.34ms 就将所有信号传送到输出端,剩余时间传送的是空信号。
8	8	3.2			
8	8	6.4			曝光时间小于驱动周期的 2088 倍,移位寄存器中信号尚未全部传送到输出端,转移栅又再次开启,信号电荷混杂,导致输出失真。CCD 应用中应避免这种情况出现。
16	16	6.4			曝光量大于饱和曝光量,信号失真。CCD 应用中应避免这种情况出现。

说明:上表中的初始照度和曝光时间需根据每个 CCD 的自身特性参数进行设置,上表设置参数只为示例。灰度板不要遮挡照度计通光窗口。

## 2. CCD 特性参数的测量

影响 CCD 性能的基本参量有:像敏单元数、像元尺寸、响应度、饱和曝光量、饱和输出电压、暗信号电压、动态范围、像敏单元不均匀度、驱动频率、传输效率、光谱响应范围、功率损耗等。这些参量,有的完全由 CCD 的材料及制造工艺确定,如像元数,像元尺寸,光谱响应范围等。有的与使用条件,外围电路与信号处理电路的参数,光学系统的优劣有关系,可用实验的方法测量。

在实验项目中选择实验 2,屏幕上将显示输出电压,不再显示驱动信号。

光电转换特性是 CCD 最基本的特性。实验中，改变 CCD 的曝光量（照度与曝光时间的乘积），测量相应的输出电压，以曝光量为横轴，输出电压为纵轴，就可作出 CCD 的光电转换特性曲线，如图 6-12-5。

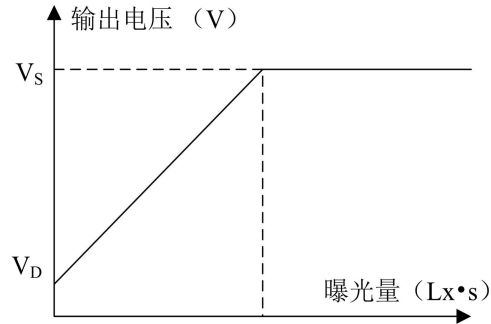


图 6-12-5 CCD 的光电转换特性曲线

特性曲线线性段的斜率，即为 CCD 的响应度或称灵敏度 ( $V/Lx \cdot s$ )，它表征曝光量改变时输出电压的改变程度。

特性曲线的拐点对应的输出电压  $V_S$  为饱和输出电压，即 CCD 输出的最大电压。

拐点对应的曝光量称为饱和曝光量，CCD 使用时必须保证最大曝光量低于饱和曝光量，否则会导致信号严重失真。

特性曲线的起始点对应的电压  $V_D$  为暗信号电压，即一定曝光时间下，无光照时的输出电压。一只良好的 CCD 传感器，应具有高的响应度和低的暗信号输出。

按表 6-12-2 数据设置参数，用减光镜和柔光镜调整照度（通常可设置为  $1 \sim 4Lx$  之间，需根据每个 CCD 的自身特性参数进行设置。如果外界环境光线较暗，可适当增加照度值或增加外界光照强度，其他实验也可以采用类似处理方法），并记录测量到的照度值。在不同曝光时间时点击启动按钮，可观察到由于噪声的影响，各单元的输出值在小范围内波动。点击停止后，用鼠标横线对准各输出单元的输出平均值，屏幕下方将会显示横线对应的电压值，将测量到的输出电压数据记录于表 6-12-2 中。

表 6-12-2 光电转换特性的测量

起始像素 1000，结束像素 1050，驱动周期  $0.8\mu s$

曝光时间(ms)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
实时照度(Lx)										
曝光量(Lx·ms)										
输出电压(V)										

用表 6-12-2 数据作图，画出 CCD 的光电转换特性曲线。并由图计算出 CCD 的灵敏度、饱和输出电压、饱和曝光量。

### 3. CCD 输出信号的处理方式

当用数字设备（如计算机）接收，显示 CCD 采集的模拟信号时，需对信号进行数字化处理。

CCD 用于图像采集时，一般是用 AD 转换器将模拟信号转换为数字信号进行传输、处理，在显示时再还原出原来的模拟信号。

在某些不要求图像灰度的应用中，如图纸，文件的输入，物体尺寸、位置的检测等，只需把信号作为分离的二值（0，1）处理，这样可提高图像边缘的锐度，还可提高处理速度，降低成本。

在实验项目中选择实验 3。实验中，用灰度板作为采集对象，适当调整 CCD 照度，比较经两种不同方法处理后输出信号的异同，将图像记录于表 6-12-3 中。用鼠标纵线对准二值化图像边缘，读取对应的 CCD 输出电压值，记录于表 6-12-3 中。

表 6-12-3 AD 转换或二值化处理后输出信号的测量

起始像素 0，结束像素 2047，驱动周期 0.8 $\mu$ s，照度：\_\_\_\_\_ Lx

曝光时间 (ms)	灰度板位置	CCD 输出电压图形	二值化图像	二值化图像边缘对应的 输出电压值(V)
5				
10				
10				

说明：上表中的初始照度和曝光时间需根据每个 CCD 的自身特性参数进行设置，上表设置参数只为例。

根据表 6-12-3 记录的图形及输出电压值，说明二值化处理的原理。

#### 【注意事项】

CCD 实验的光源应为自然光、直流电源供电的照明光源或采用电子镇流器（频率高达几千赫兹）的荧光灯。减光镜和柔光镜属于易碎品，使用时需谨慎。请勿将灰度板弯折。照度计和线阵 CCD 通光窗口需保持干净。仪器背面接 AC 220V 电源，使用时请注意安全。

#### 【思考题】

作 CCD 的光电转换特性曲线时，如果输出电压未达到饱和，曲线将呈直线型，分析原因并提出解决方案。