



# CCD图像传感器





## 6 CCD图像传感器



### 各种数码成像设备

(数码照相机、摄像机、摄像头、复印机、传真机等)



# 6 CCD图像传感器

胶卷时代





## 6 CCD图像传感器



1975年，柯达公司用CCD制造了可以操作的电子相机。相机从此进入电子数码时代。



1975年的10月7日，世界上第一张数字照片诞生。





## 6 CCD图像传感器



2009年，柯达公司宣布柯达克罗姆反转片（Kodak Chrome）正式停产。胶卷时代过去了。

2012年1月19日，柯达正式申请破产。柯达，一个拥有一百多年历史，称霸全球的胶卷业巨头，一个与摄影艺术共同成长起来的影像器材帝国，在二十一世纪数码大风暴的侵袭中，轰然倒塌。



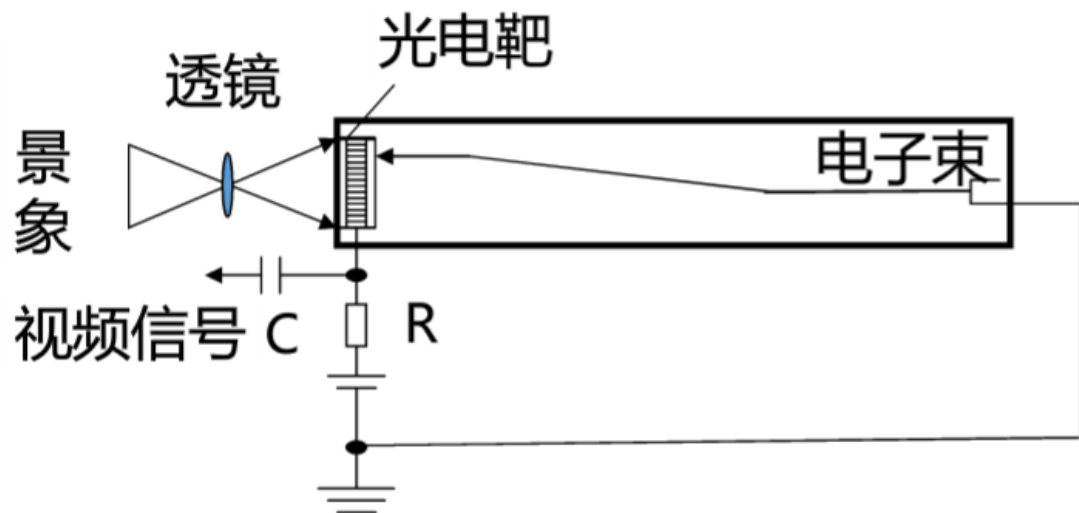
## 6 CCD图像传感器

### 图像传感器

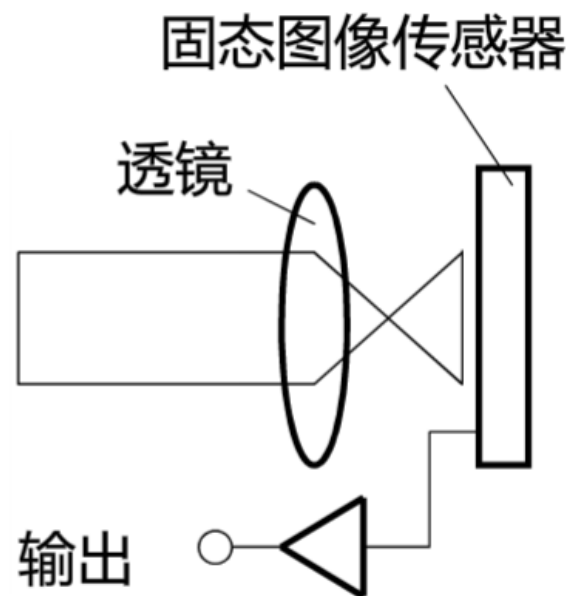
**图像传感器**是指利用光电器件的光电转换功能，将其感光面上的光像转换为与光像成相应比例的电信号“图像”的一种功能器件。



## 6 CCD图像传感器



光导摄像管



固态图像传感器



# 6 CCD图像传感器

## 授课内容介绍

- ❖ CCD图像传感器的工作原理
- ❖ 线型与面型CCD图像传感器
- ❖ CCD图像传感器的主要特性参数
- ❖ CCD图像传感器的应用





## 6.1 CCD图像传感器的工作原理

CCD ( Charge Coupled Device ) 全称电荷耦合器件，是1970年贝尔实验室的威拉德·博伊尔 (Willard S. Boyle ) 和乔治·史密斯 (George E. Smith ) 发明的。

40年后，随着影像传感器逐渐发展成为一个年出货量达13亿颗的庞大市场，两位技术先锋也在2009年获诺贝尔物理奖。





# 6.1 CCD图像传感器的工作原理

## 2009诺贝尔物理学奖获得者



**高锟**  
( Charles K. Kao )



**威拉德·博伊尔**  
( Willard S. Boyle )

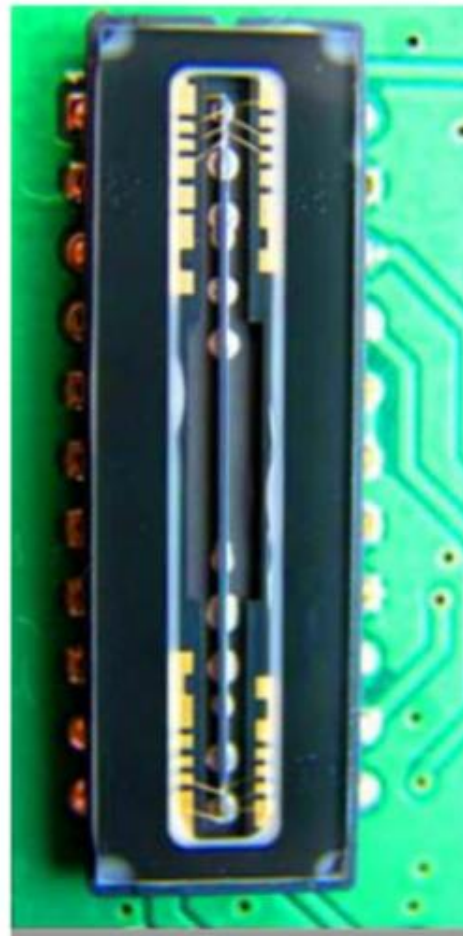


**乔治·史密斯**  
( George E. Smith )



## 6.1 CCD图像传感器的工作原理

### 线阵CCD外形

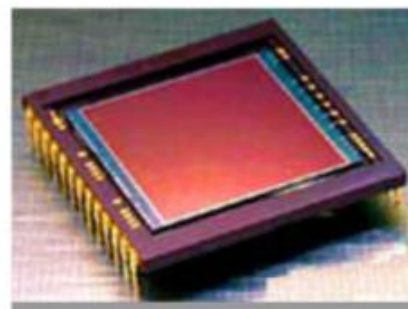
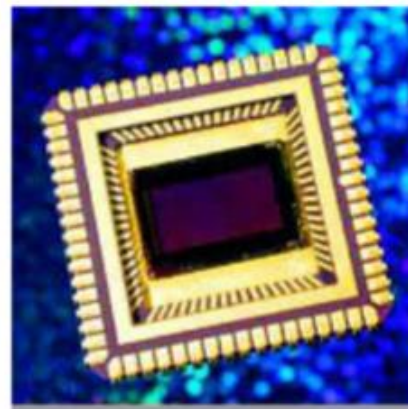
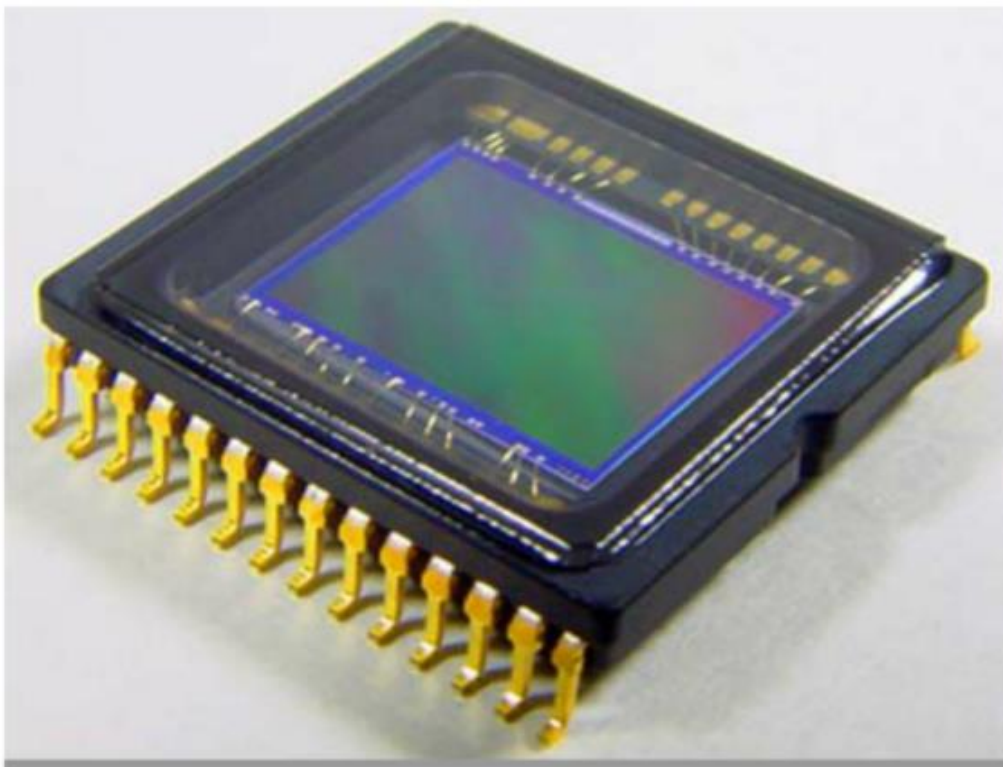






# 6.1 CCD图像传感器的工作原理

## 面阵CCD外形





## 6.1 CCD图像传感器的工作原理

- CCD的基本功能是电荷的产生、存储、转移和输出。
- CCD的最基本单元就是MOS电容器。

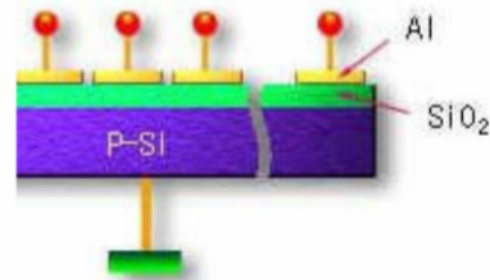
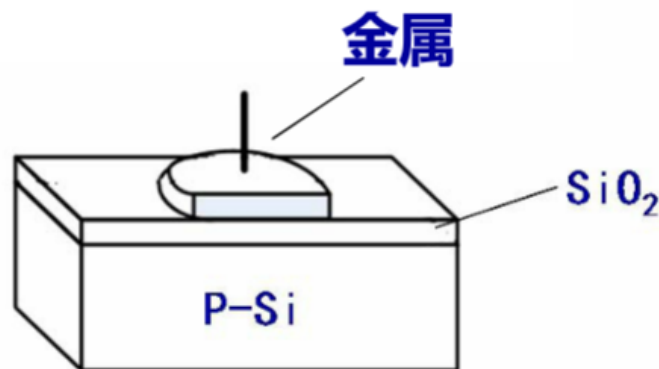
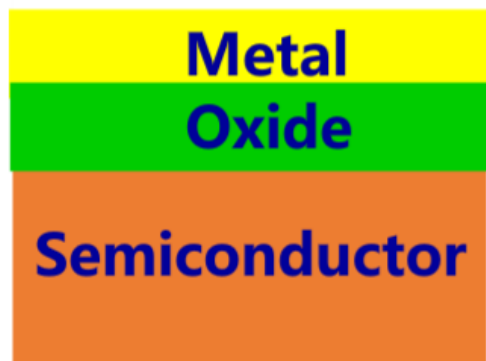




# 6.1 CCD图像传感器的工作原理

## ■ MOS电容器

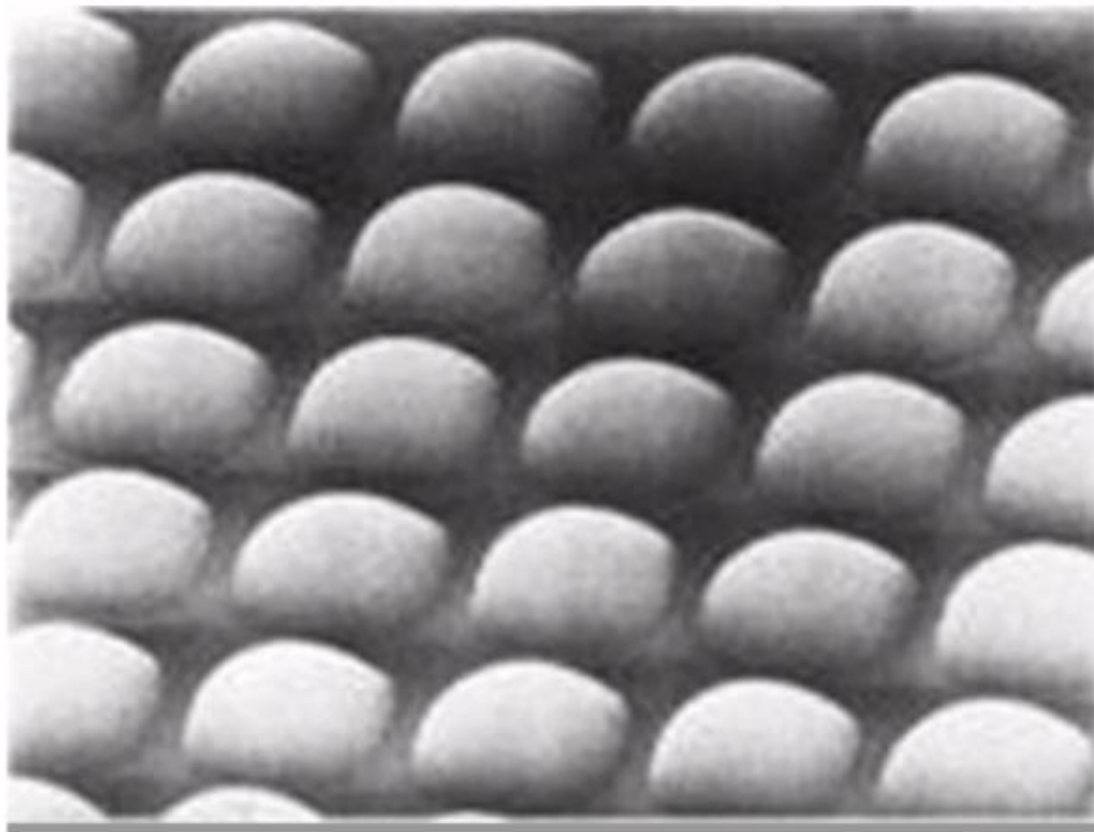
**MOS** — metal oxide semiconductor.



- CCD的光敏单元是在P型(或N型)硅衬底上生长一层厚约120nm的氧化物SiO<sub>2</sub>层。
- 再在SiO<sub>2</sub>层上依次沉积金属或掺杂多晶硅电极。



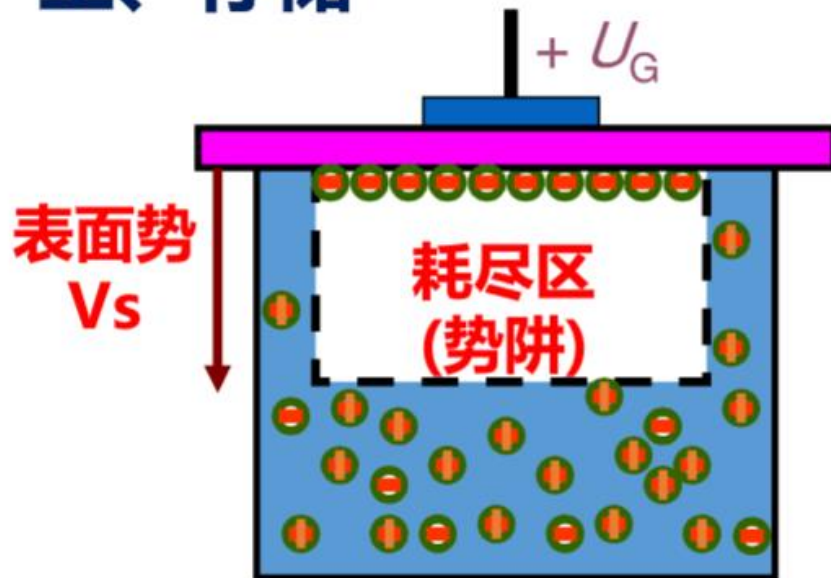
## 6.1 CCD图像传感器的工作原理



**显微镜下的MOS电容**

## 6.1 CCD图像传感器的工作原理

### ■ 电荷的产生、存储

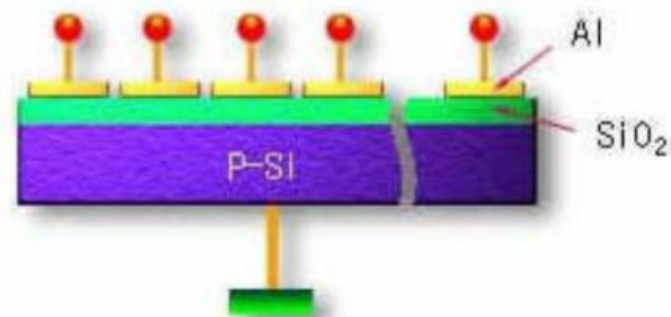
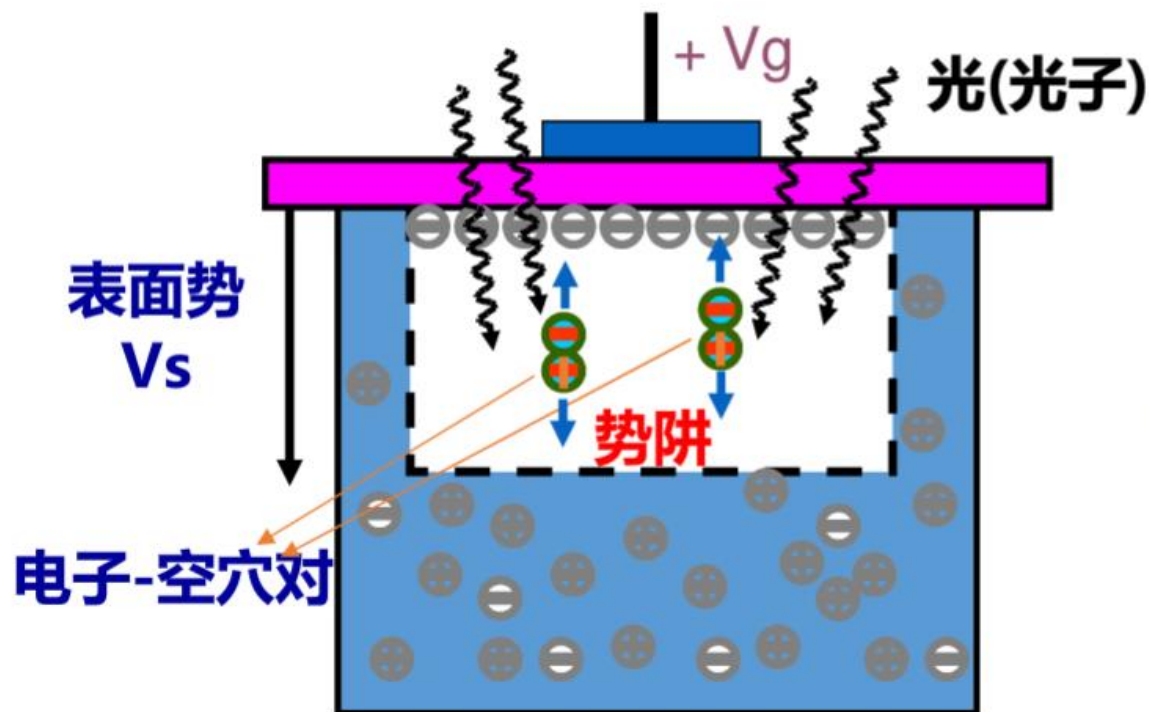


- 向 $\text{SiO}_2$ 表面电极加正偏压，P型硅中的多数载流子(空穴)受到排斥，半导体内的少数载流子(电子)吸引到P-Si界面处来，形成一个带负电荷的耗尽区(表面势阱)。



# 6.1 CCD图像传感器的工作原理

## 光电转换的实现

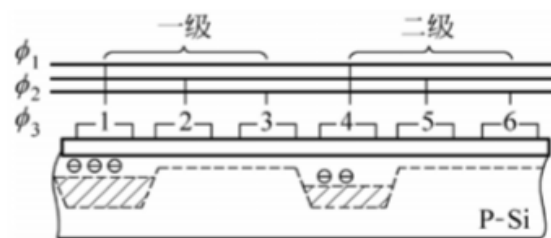
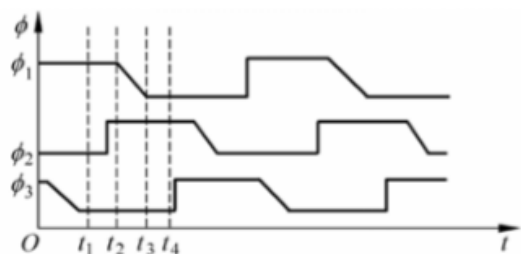




# 6.1 CCD图像传感器的工作原理

## ■ 电荷转移

把MOS光敏元的电极每3个分成一组，依次在其上施加三个相位不同的时钟脉冲（又称控制脉冲或驱动脉冲） $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、 $\phi_3$ 。 $\phi_1$ 驱动电极1、4， $\phi_2$ 驱动电极2、5， $\phi_3$ 驱动电极3、6。



三相时钟脉冲波形



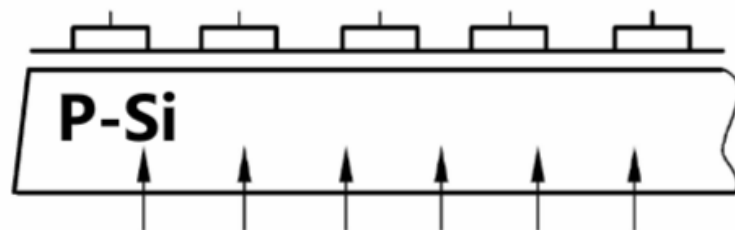


# 6.1 CCD图像传感器的工作原理

## ■ 电荷的注入

### 1) 光信号注入

当光信号照射到CCD衬底硅片上时，在栅极附近的耗尽区吸收光子产生电子-空穴对。这时在栅极电压的作用下，多数载流子（空穴）将流入衬底，而少数载流子（电子）则被收集在势阱中，形成与光强成正比的信号电荷存储起来。



背面照射式注入

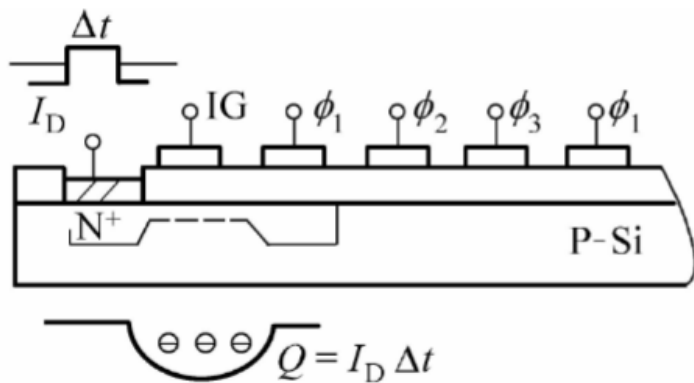


# 6.1 CCD图像传感器的工作原理

## ■ 电荷的注入

### 2) 电信号注入

二极管位于输入栅衬底下，当输入栅加上宽度为 $\Delta t$ 的正脉冲，输入二极管PN结的少数载流子通过输入栅下的沟道注入 $\phi_1$ 电极下的势阱中。



**注入电荷量**

$$Q = I_D \Delta t$$

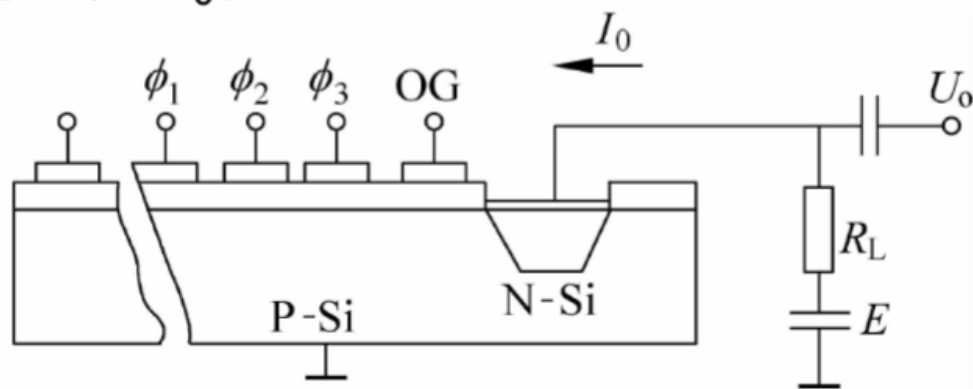
**电压信号注入**



## 6.1 CCD图像传感器的工作原理

### ■ 电荷的输出

OG为输出栅，当加上反相偏压时，转移到终端的电荷在时钟脉冲作用下移向输出二极管，被二极管的PN结所收集，在负载 $R_L$ 上形成脉冲电流 $I_0$ 。输出脉冲电流的大小与信号电荷的大小成正比，并通过负载电阻转换为信号电压 $U_0$ 输出。

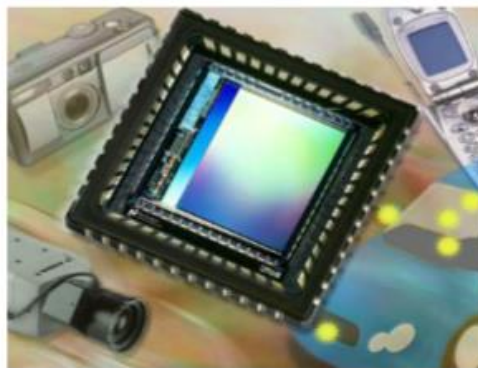




## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

**CCD图像传感器从结构上可分为两类：**

- 一类是用于获取线图像的**线阵型CCD图像传感器**，主要用于产品外部尺寸非接触测量、产品表面质量评定、传真和光学文字识别等方面；
- 另一类用于获取面图像的**面阵型CCD图像传感器**，主要用于摄像领域。





## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

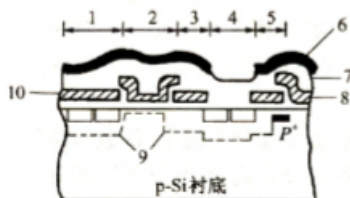
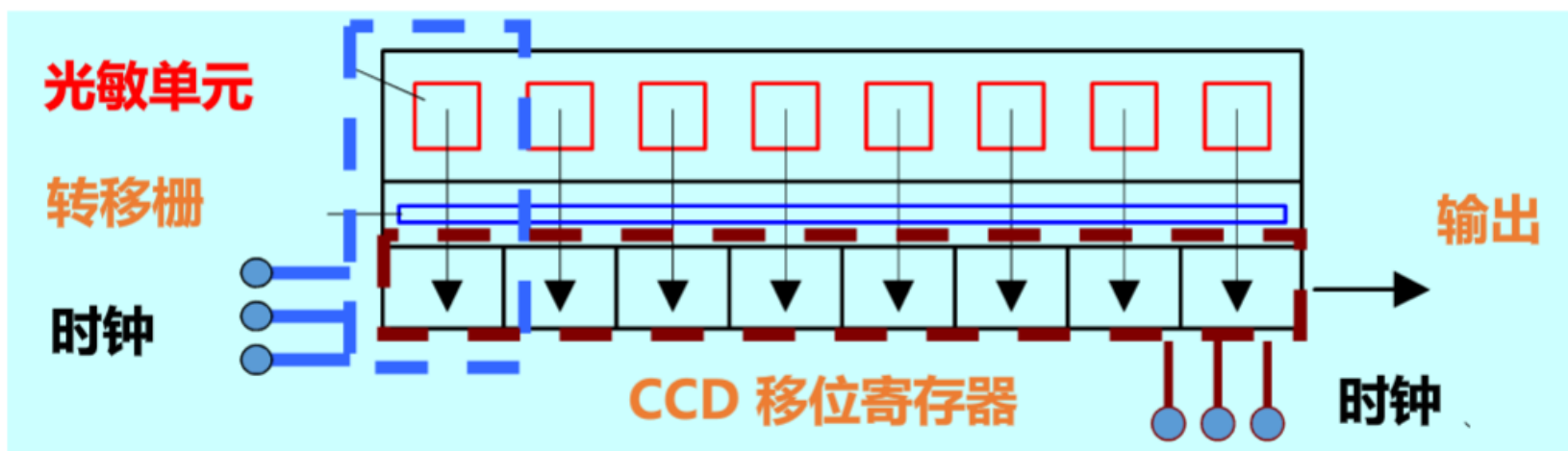




# 6.2 线型与面型CCD图像传感器

## ■ 线型CCD图像传感器

### 1) 单行结构



高灵敏度线型传感器截面构造

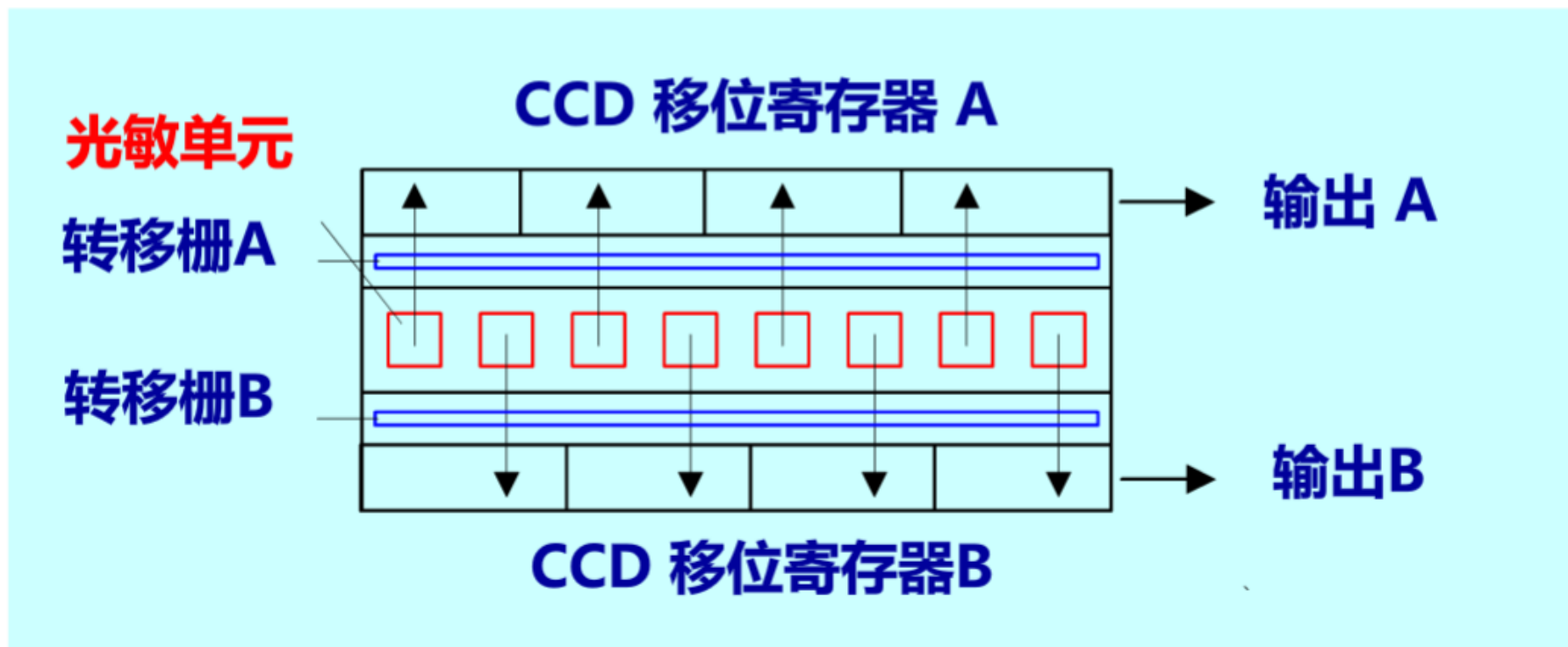
- 1—CCD; 2—转移控制栅; 3—积蓄电极;
- 4—PD; 5—积蓄电极; 6—光屏蔽(AI膜);
- 7—SiO<sub>2</sub>膜; 8—第二层多晶硅; 9—耗尽层;
- 10—第一层多晶硅。



## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

### ■ 线型CCD图像传感器

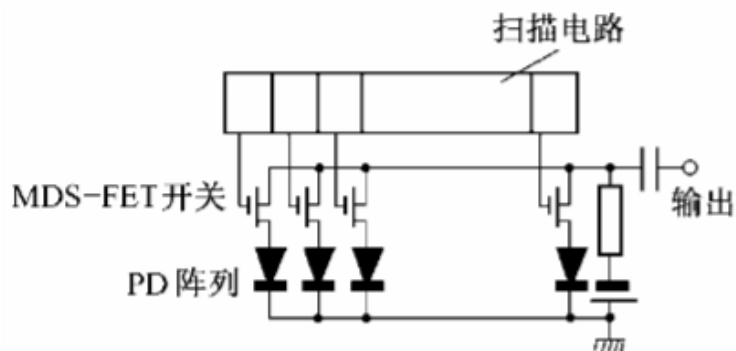
#### 2) 并行结构



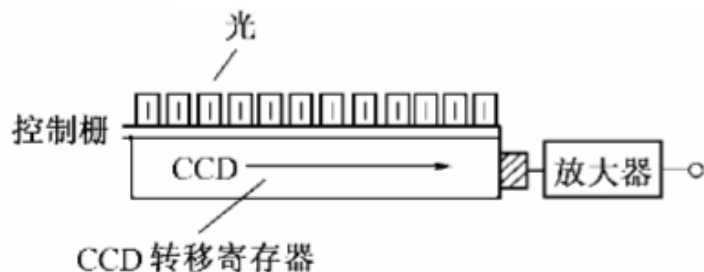


## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

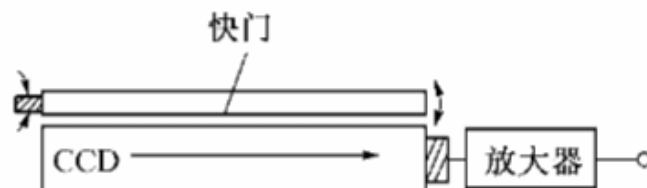
### ■ 线型CCD图像传感器



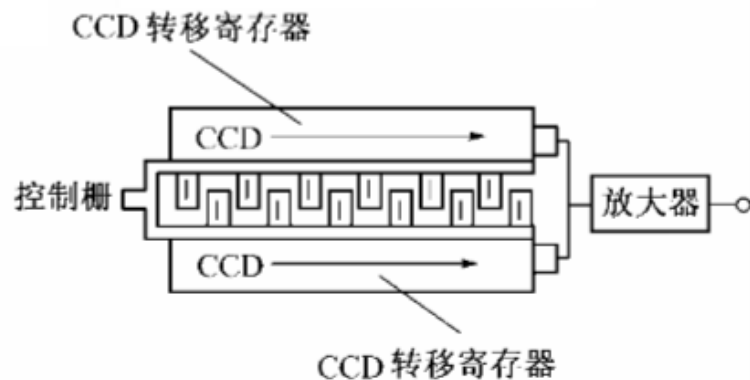
(a) MOS式



(c) 分离式



(b) 光积储式

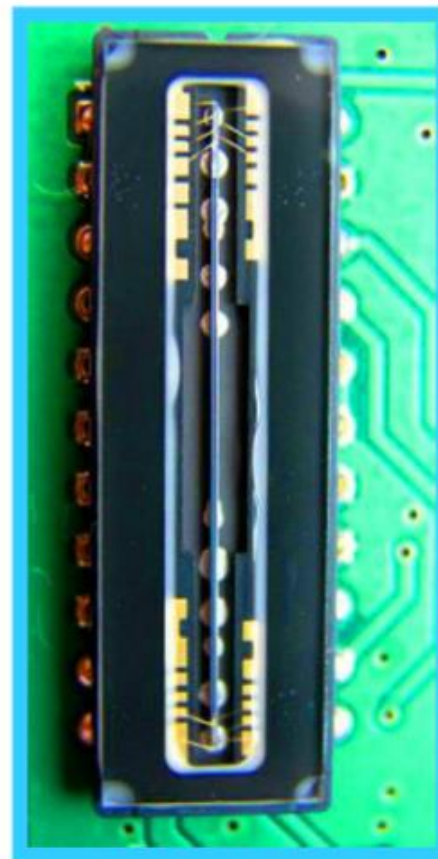


(d) 双读出式



## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

### ■ 线型CCD图像传感器

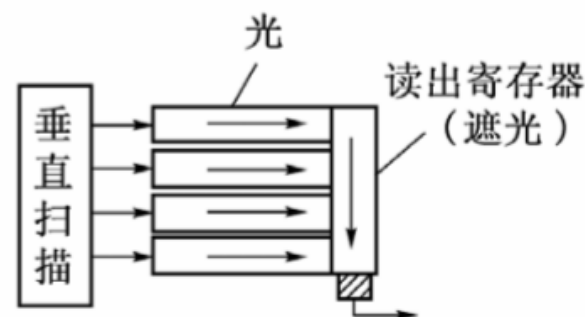
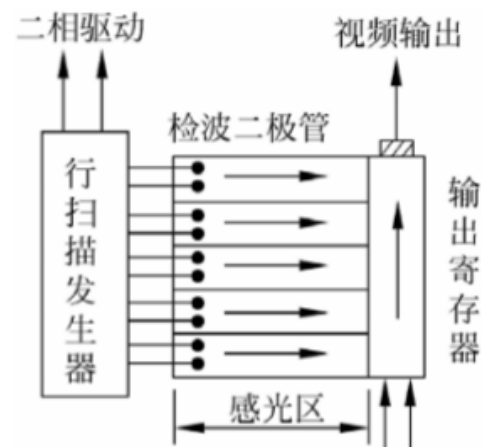


## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

### ■ 面阵型CCD图像传感器

#### 1) 线转移式

- 由行扫描电路、垂直输出寄存器、感光区和输出二极管组成。
- 行扫描电路将光敏元件内的信息转移到水平(行)方向上，由垂直方向的寄存器将信息转移到输出二极管。
- 输出信号由信号处理电路转换为视频图像信号。





## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

### ■ 面阵型CCD图像传感器

#### 2) 帧转移式

➤ **构成：**感光区、暂存区、读出寄存器

➤ **电荷的转移过程：**

(1) 感光区的光生信号电荷送到带有光屏蔽的暂存区

A、感光区积累起一帧电荷包阵列后，感光区和暂存区施加频率为 $f_{cv1}$ 的驱动时钟；

B、一个周期使电荷包向下移动一行；

C、经过M个周期（M行），这帧图像转移到暂存区。

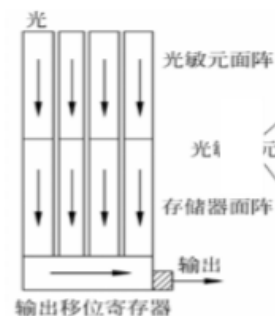
(2) 感光区进入下一个积分周期

(3) 暂存区电荷在频率为 $f_{cv2}$ 驱动下向水平寄存器转移

A、底部N个电荷包先转移至水平读出寄存器；

B、这行电荷包在水平寄存器中以频率为 $f_{CH}$ 的时钟驱动，转移至输出端，形成视频信号；

C、重复A、B，依次输出（M行）。

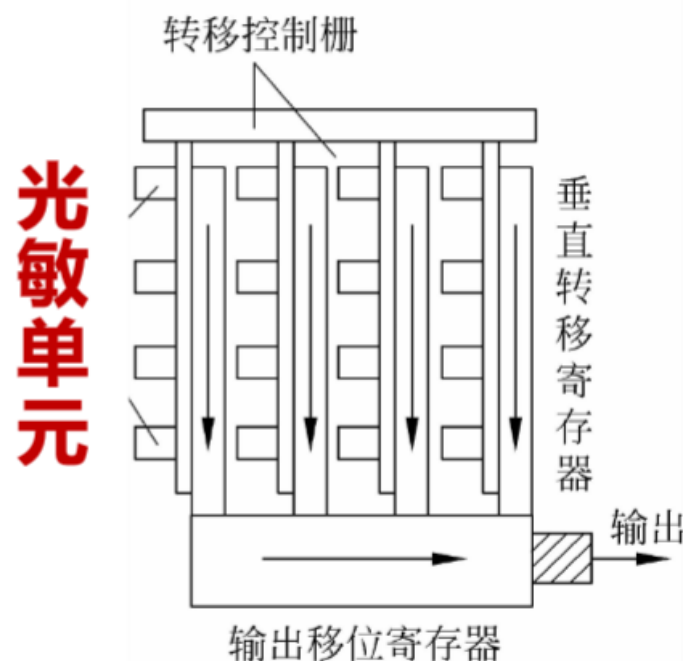


## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

### ■ 面阵型CCD图像传感器

#### 3) 行间转移式

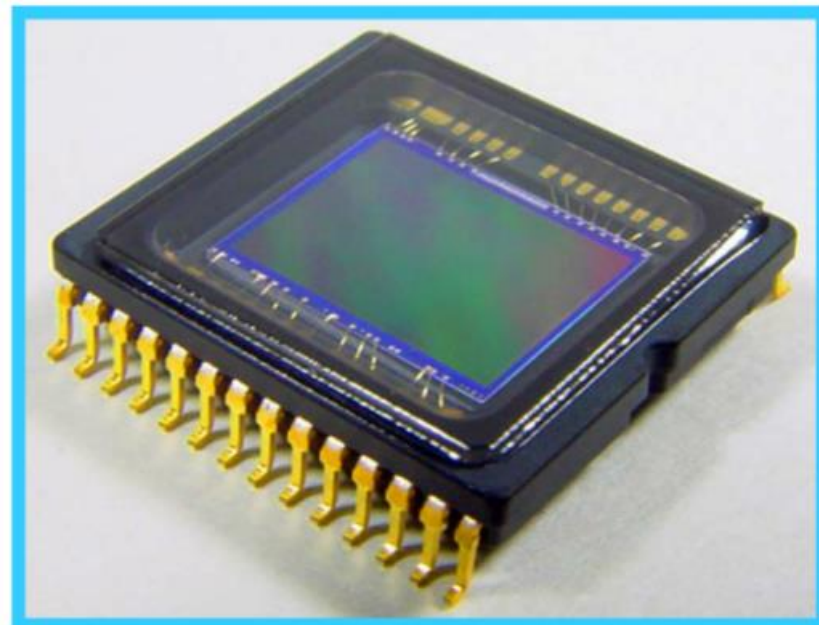
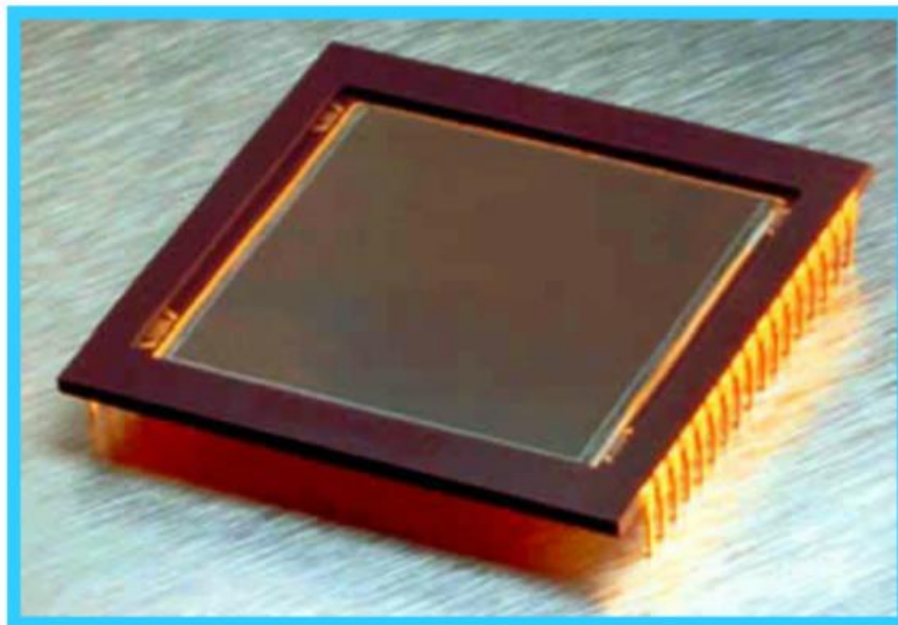
- 光敏单元与垂直转移寄存器交替排列。在光积分期间，光生电荷存储在感光区光敏单元的势阱里。
- 当光积分时间结束，转移栅的电位由低变高，信号电荷进入垂直转移寄存器中。
- 随后，一次一行地移动到输出移位寄存器中，然后移位到输出器件，在输出端得到与光学图像对应的一行行视频信号。





## 6.2 线型与面型CCD图像传感器

面阵CCD能在 $x$ 、 $y$ 两个方向都能实现电子自扫描，可以获得二维图像。





## 6.3 CCD图像传感器的主要参数

### ■ CCD靶面尺寸

所谓“CCD靶面英寸”是CCD感光列阵的大小，常见的有： $1/1.8''$ 、 $1/2''$ 、 $1/3''$ 、 $1/4''$ 等。

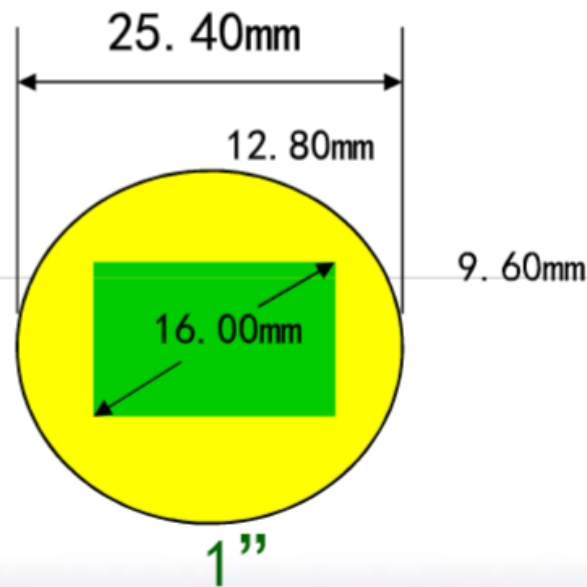
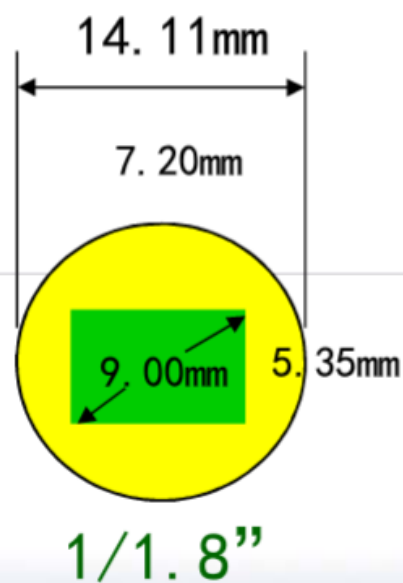
例如，型号为“ $1/1.8''$ ”的CCD，表示其成像面积与一根直径为 $1/1.8''$ 的光导摄像管的成像靶面面积近似。



## 6.3 CCD图像传感器的主要参数

### ■ CCD靶面尺寸

光导摄像管的直径与CCD成像靶面面积之间没有固定的换算公式，从实际情况来说，CCD成像靶面的对角线长度大约相当于光导摄像管直径长度的2/3。







## 6.3 CCD图像传感器的主要参数

### ■ CCD靶面尺寸

要提高影像质量必须增加CCD的像素；

若在CCD靶面尺寸一定的情况下，增加像素就得缩小像素点的面积；

像素点的面积越小（大），其感光性能越低（高），信噪比越低（高），动态范围越窄（宽）；

所以，如果不增加CCD面积而一味地提高像素；只会引起图像质量的恶化。

大尺寸CCD加工制造比较困难，成品率也比较低，成本高。



## 6.3 CCD图像传感器的主要参数

### ■ 电荷转移效率

当电荷一次转移之后，到达下一个势阱中的电荷与原来势阱中的电荷之比称为电荷转移效率。

好的CCD具有极高的电荷转移效率，一般可达0.999995。

例如，一个有2048像数的CCD，其信号电荷的总的电荷转移效率为 $0.999995^{2048} = 0.9898$ ，损失率只有约0.1%。



## 6.3 CCD图像传感器的主要参数

### ■ 量子效率

量子效率是用来定义光敏器件，例如底片、感光耦合元件将其受光表面接收到的光子转换为电子-空穴对的百分比例。

量子效率越高，器件的灵敏度越高。由于光子的能量与波长的倒数成比例，量子效率的测量通常是在一段波长范围内进行。普通胶片的量子效率通常少于10%，而CCD在某些波长位置具有超过90%的效率。



## 6.3 CCD图像传感器的主要参数

### ■ 暗电流

在无光照的情况下，图像传感器能产生的输出噪声电流称为暗电流。此电流越小，噪声干扰越小，信噪比越高。

暗电流时是由于热激励产生的电子-空穴对。



## 6.3 CCD图像传感器的主要参数

### ■ 动态范围

动态范围 = 饱和曝光量 / 噪声曝光量(暗电流)

动态范围表示图像中所包含的从“最暗”至“最亮”的范围。

动态范围越大，所能表现的层次越丰富，所包含的色彩空间也越广。





## 6.3 CCD图像传感器的主要参数