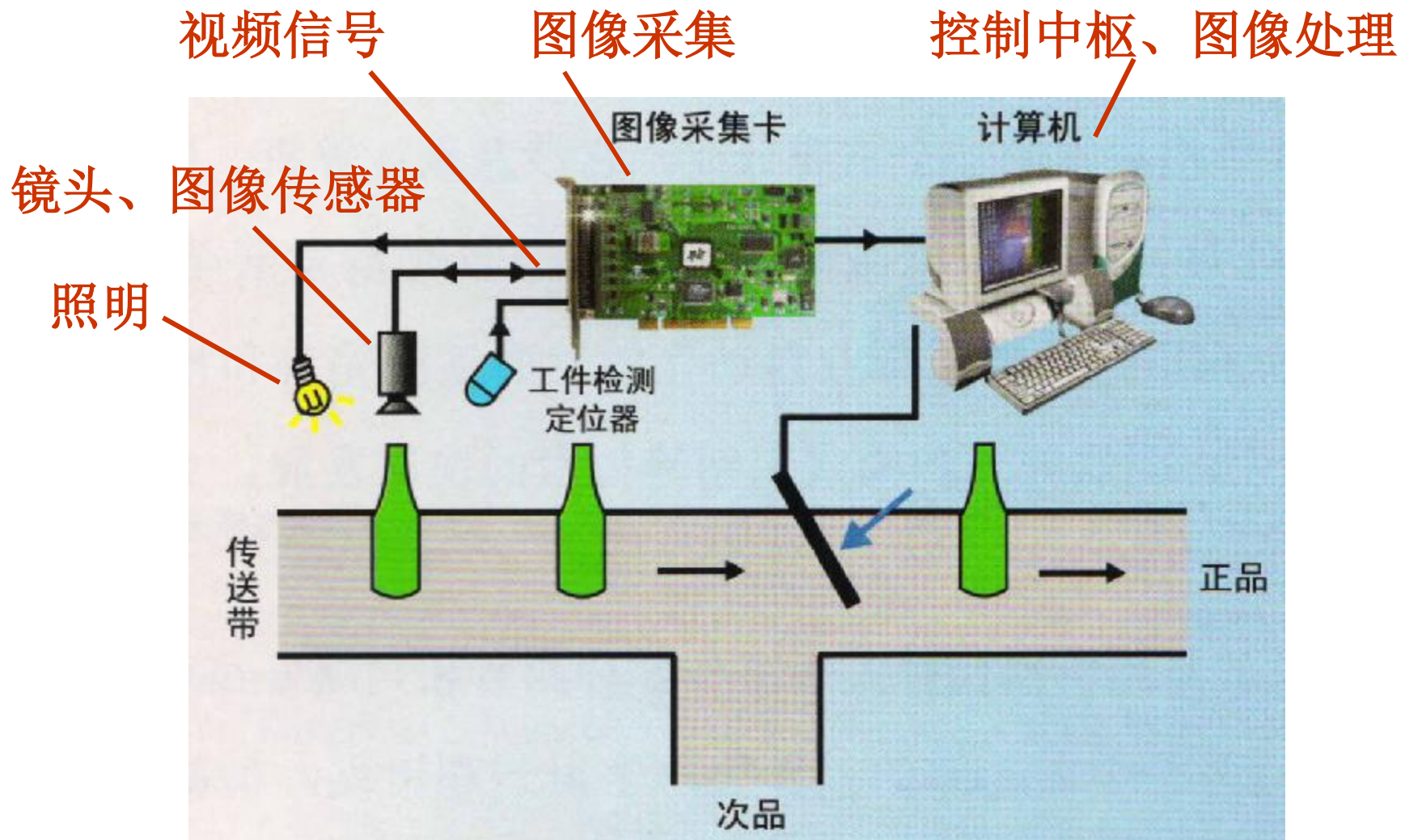




## 6.1 图像传感器



# 图像测量系统





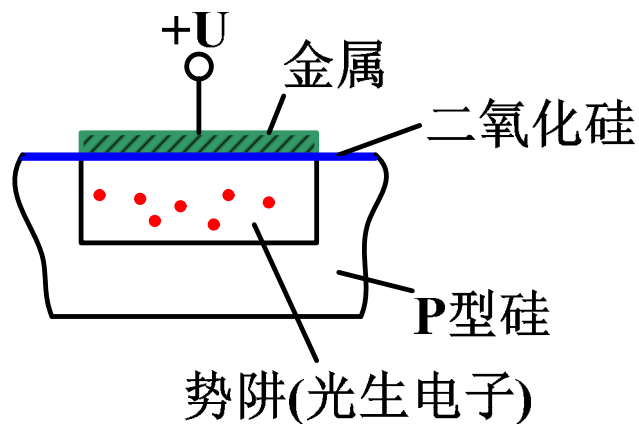
# 图像传感器

- ✓ 图像传感器是在光电技术基础上发展起来的**将光学图像转换成电信号**的器件，分为真空管图像传感器和半导体图像传感器。
- ✓ 固态图像传感器是高度集成的半导体光电器件，在一个器件上可以完成光电信号的转换、传输和处理。
- ✓ 固态图像传感器的核心是电荷转移器件，有五种类型：
  - § **电荷耦合器件 (CCD)**
  - § **互补式金属-氧化物-半导体 (CMOS) 型**
  - § **电荷注入器件 (CID)**
  - § **电荷引发器件 (CPD)**
  - § **叠层型成像器件**

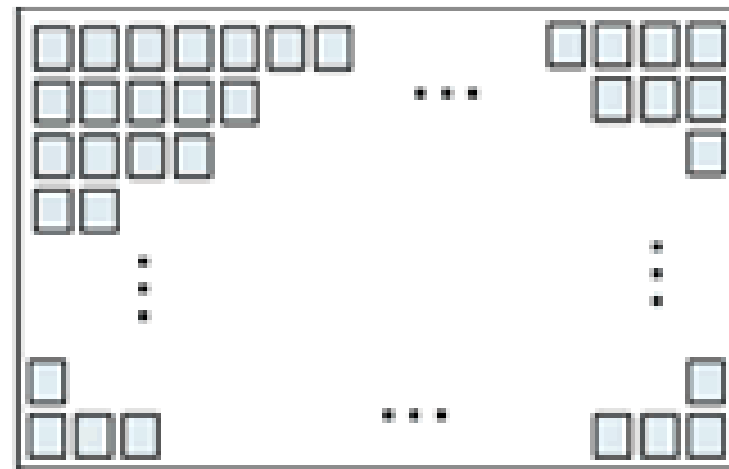


# 电荷耦合器件(CCD)

**电荷耦合器件**（**Charge Coupled Device**，简称**CCD**）是以阵列形式排列在衬底材料上的金属—氧化物—半导体（**Metal Oxide Semiconductor**，简称**MOS**）电容器组成的，具有光生电荷、积蓄和转移的功能。



MOS 光敏单元



光敏单元阵列

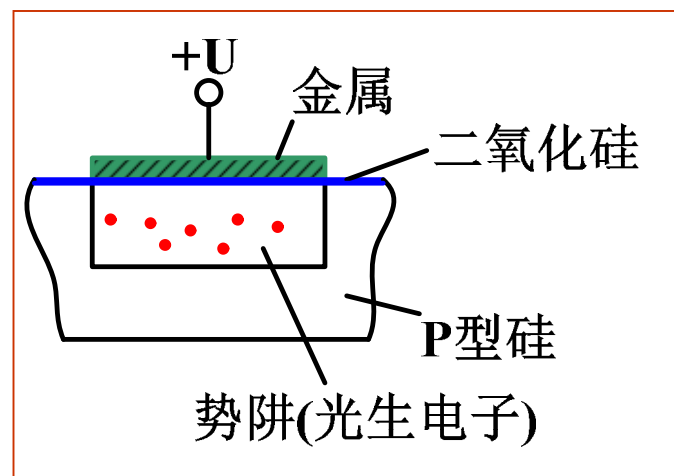


# CCD电荷的产生

以P型衬底MOS结构为例，如果在**金属电极——栅极**上施加一足够大的正点压，半导体表面将处于深耗尽状态，在半导体表面形成电子**势阱**。半导体表面相对于体内的电势差称为**势阱深度**。势阱可以存储少数载流子（在P型衬底情况下少数载流子是电子），势阱越深存储电荷越多。

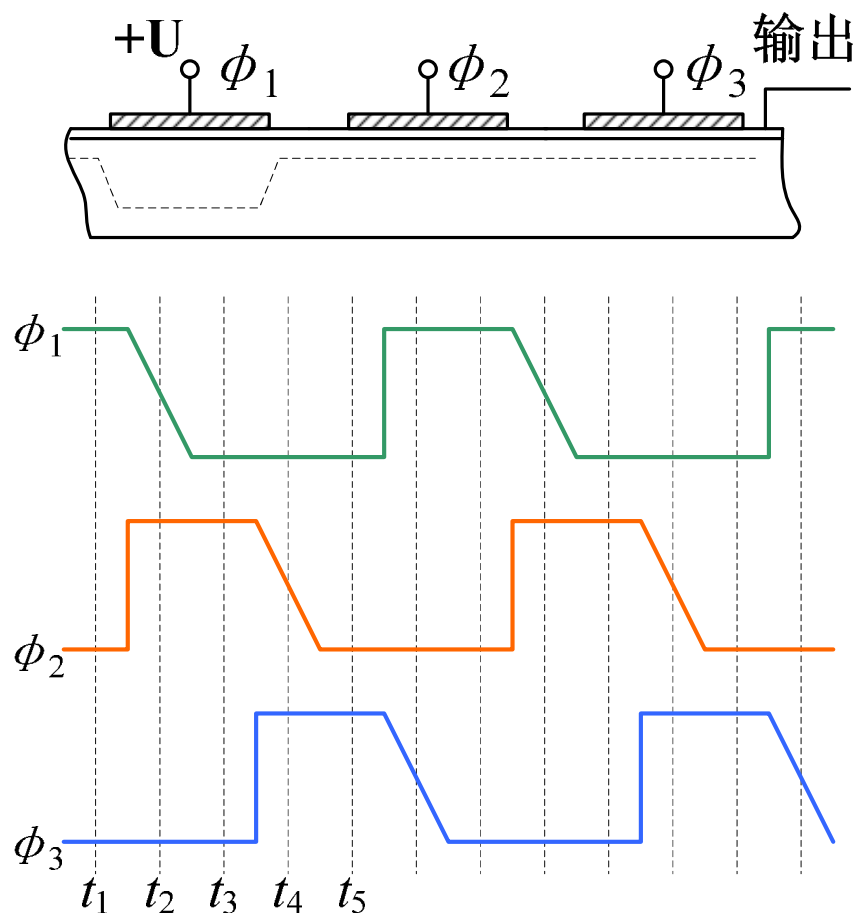
当光照射到硅片上时，在光子作用下产生**电子-空穴对**，自由电子会被势阱收集，电子数主要取决于光照强度和收集（积分）时间的长短。

**CCD**以**电荷**作为信号的载体，而不是电压或电流。





# CCD电荷的转移



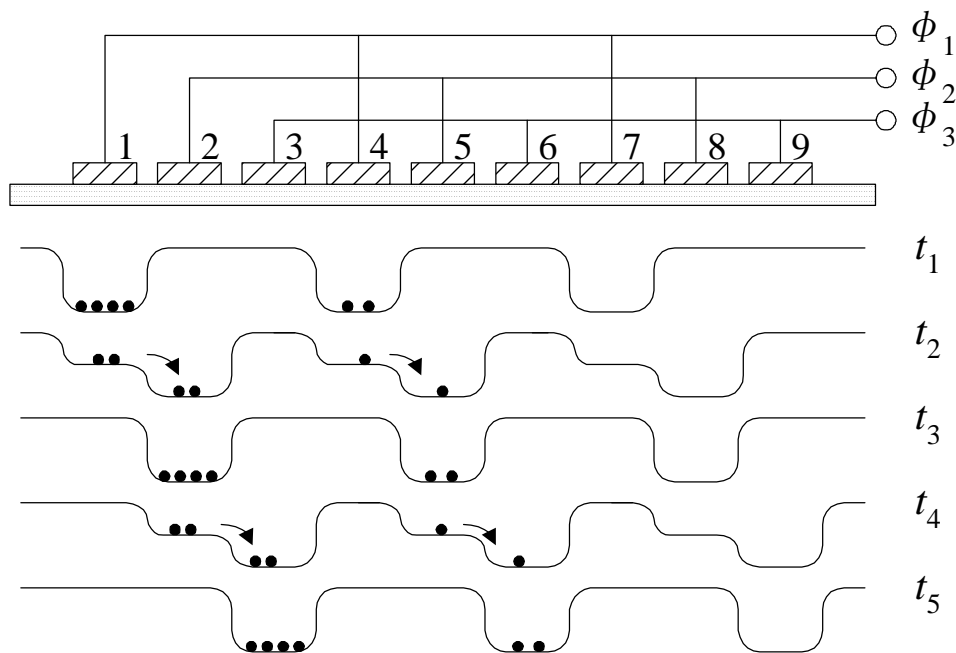
电荷转移

为了将势阱中的电荷转移并输出，每个光敏单元对应设置**3个相邻的电极（三相）**作为转移单元，电极上的脉冲电压相位依次相差 $120^\circ$ ，波形都是前缘陡峭后缘倾斜。

**\*\***可以是二相、三相、四相等结构。



# CCD电荷的转移



在 $t_1$ 时刻，电极1、4、7下方出现势阱，并接收各自对应光生电荷包，电荷的多少与光强有关。

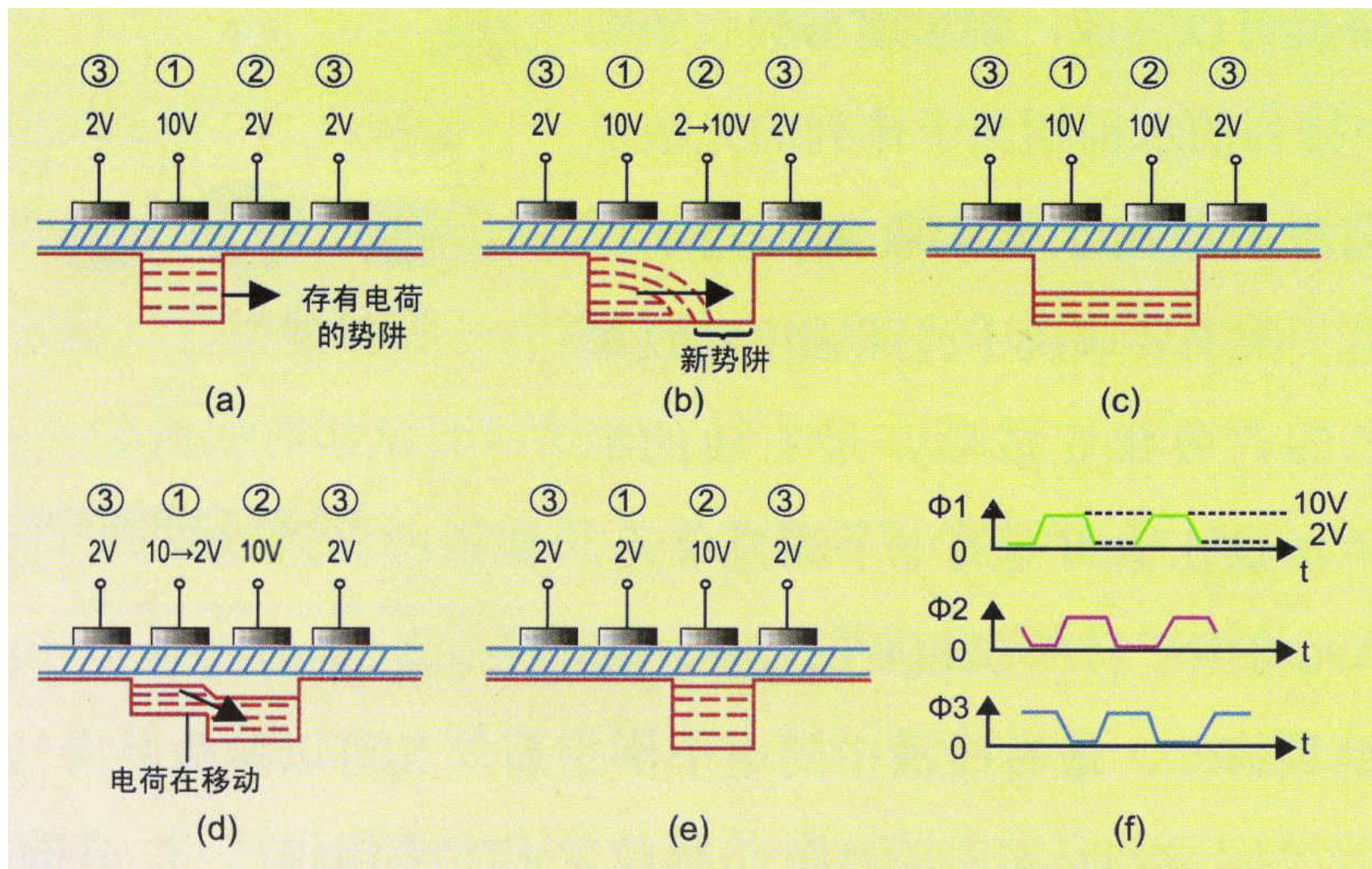
在 $t_2$ 时刻，电压 $\phi_1$ 下降，电压 $\phi_2$ 最高，电极2、5、8下方势阱最深，原来存储在电极1、4、7下方的电荷将在电场作用下转移到2、5、8下方。

到 $t_3$ 时刻，电荷全部向右转移的一步。依次类推，在 $t_5$ 时刻，电荷将转移到电极3、6、9下方。





# CCD电荷的转移



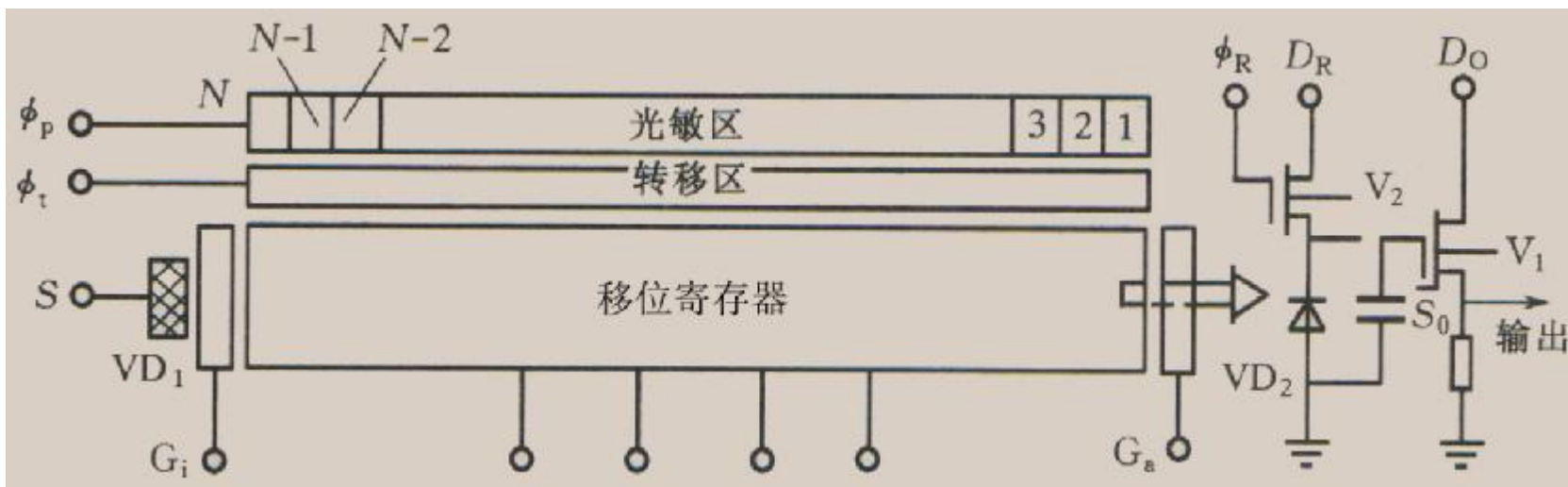




# CCD结构

**CCD**结构主要功能模块：

- 光敏区（成像区、光电转换）
- 转移栅（隔离，转移电荷）
- 电荷移位寄存器阵列（电荷移位输出）
- 电荷/电压转换器和电压放大器（输出视频信号）



线型**CCD**

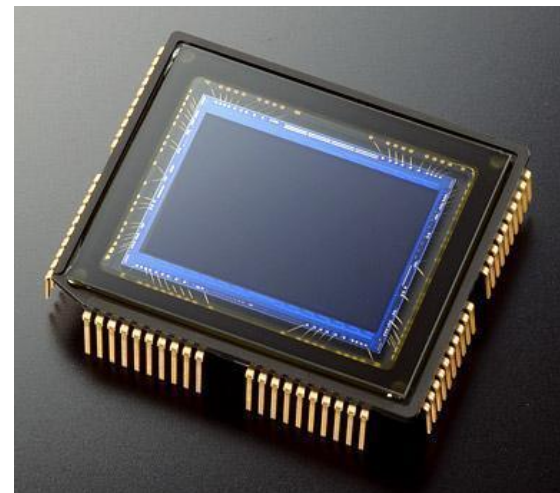


# CCD图像传感器

CCD可以把光信号转换为电脉冲信号。每一个脉冲反应一个光敏元的受光情况，**脉冲幅度的高低反映该光敏元受光的强弱，输出脉冲的顺序可以反映光敏元的位置**，这就构成了图像传感器。

CCD图像传感器一般分为**线型**和**面型**。二者的原理类似，都是通过**光学成像系统**将景物图像成在CCD的**像敏面**上。

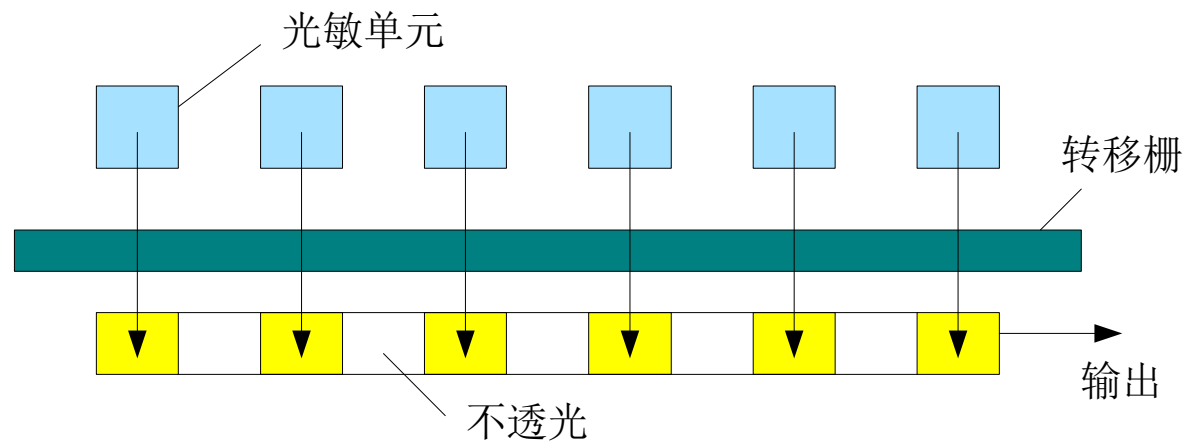
线型**CCD**可以直接接收一维光信号，主要用于测试、传真和光学文字识别技术等方面。





# 线型CCD工作

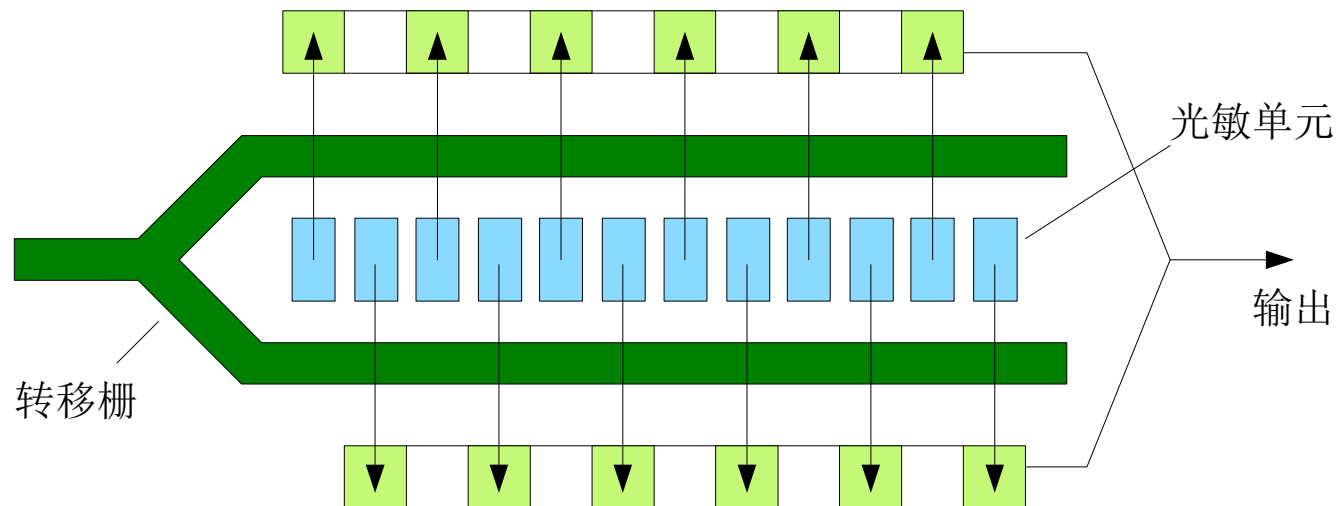
最简单的线型CCD是**单通道**式的，它包括**感光区**（光积分单元）和**传输区**两部分：感光区由一系列光敏单元组成；传输区由转移栅及一系列移位寄存器组成。光照产生的信号电荷存储于感光区的势阱中。在转移脉冲到来时，光敏阵列势阱中的电荷被并行转移到移位寄存器中，最后在时钟脉冲的作用下一位位的移出，形成视频信号。传输区是遮光的，以防止因光生噪声电荷的干扰造成图像模糊。





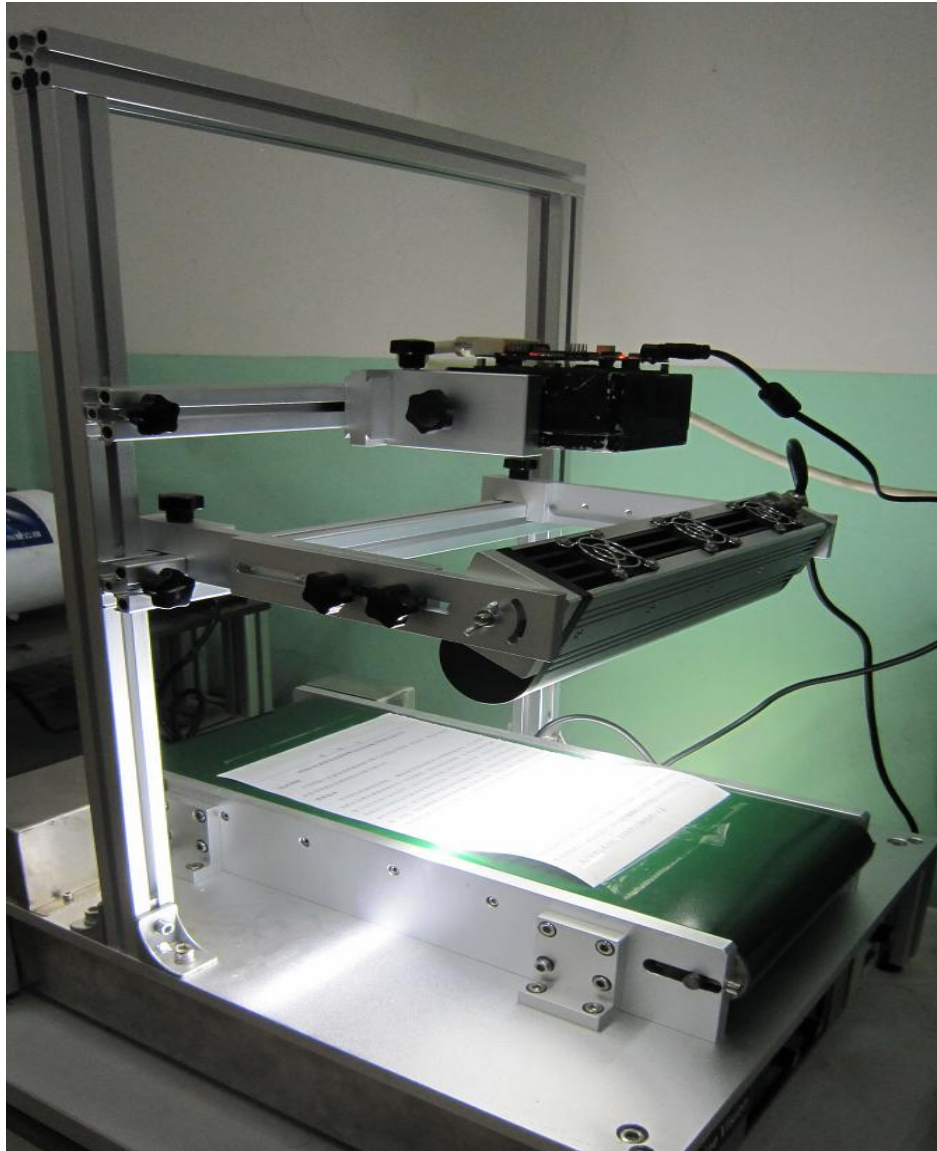
## 线型CCD工作

为了减少信号电荷在转移过程中的损失，通常采用**双通道式结构**。双通道式CCD有两列移位寄存器，平行的分置在感光区两侧。同样感光区的双通道线型CCD比单通道线型CCD的转移次数减少一半，降低了传输损耗，同时也缩短了器件尺寸。





# 线型CCD工作原理



线扫相机  
视觉检测平台

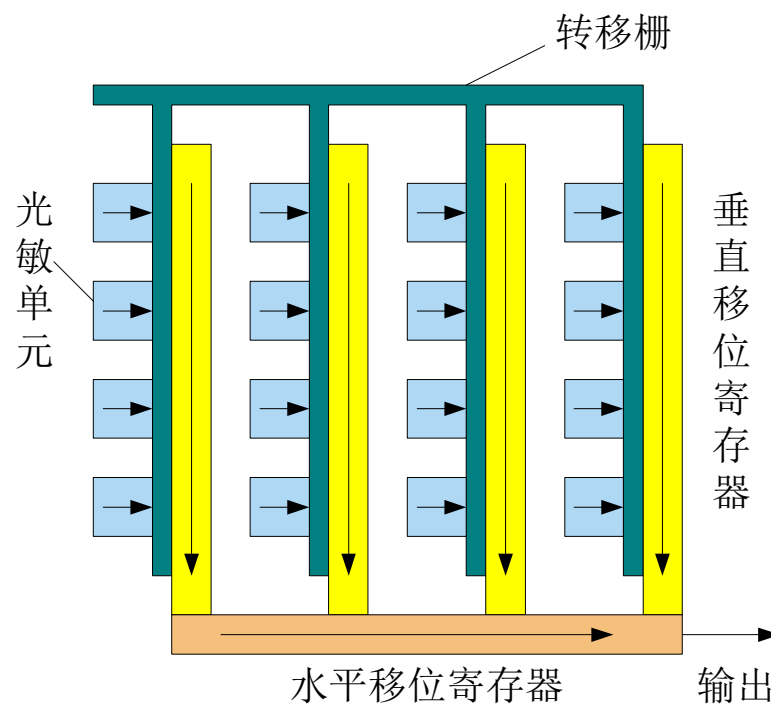




# 面型CCD工作

常见的结构有**隔列转移结构（行间传输）**和**帧转移结构（场传输）**。

**隔列转移结构**的像敏单元呈二维排列，每列像敏单元被遮光的垂直移位寄存器隔开，像敏单元与垂直移位寄存器之间又有转移控制栅。像敏单元中的信号电荷在转移栅电压控制下转移到垂直移位寄存器，然后在读出脉冲作用下逐行转移到水平移位寄存器中，再由水平移位寄存器快速输出，得到视频信号。



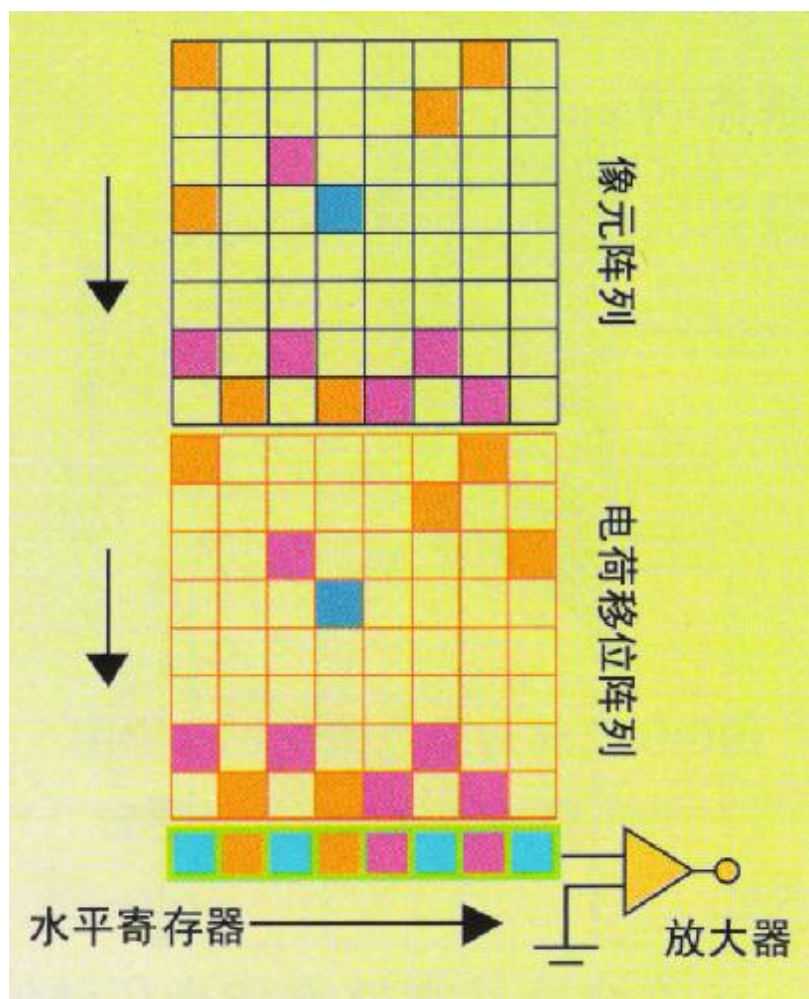


# 面型CCD工作原理

帧转移结构包括**成像区**（光敏区）、**电荷移位寄存器**和**水平移位寄存器**三部分。

当光积分周期结束时，加在成像区和存储区电极上的时钟脉冲使所收集到的信号电荷迅速转移到存储区中。然后逐行转移到读出寄存器并输出。

在第一帧读出的同时，成像区开始收集第二帧信号电荷。一旦第一帧信号被全部读出，马上传送第二帧信号，实现连续输出。

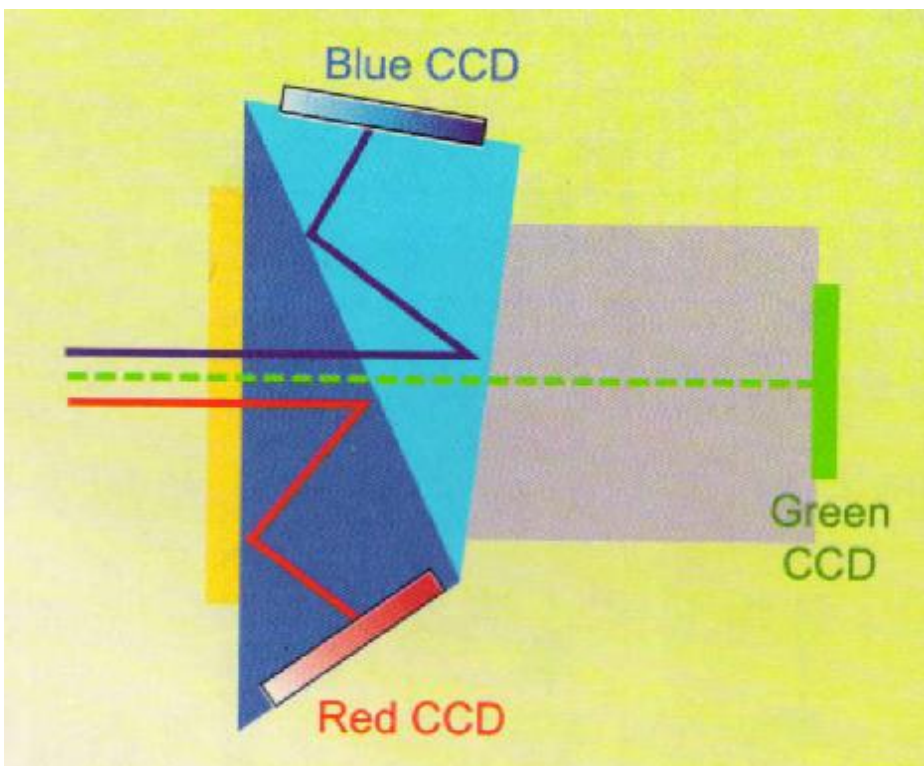




# 彩色CCD结构

**CCD**硅芯片不能区分不同光谱的颜色，为了区分光谱的**RGB**三基色，常采用两种方式：

## 1. 三晶片结构：



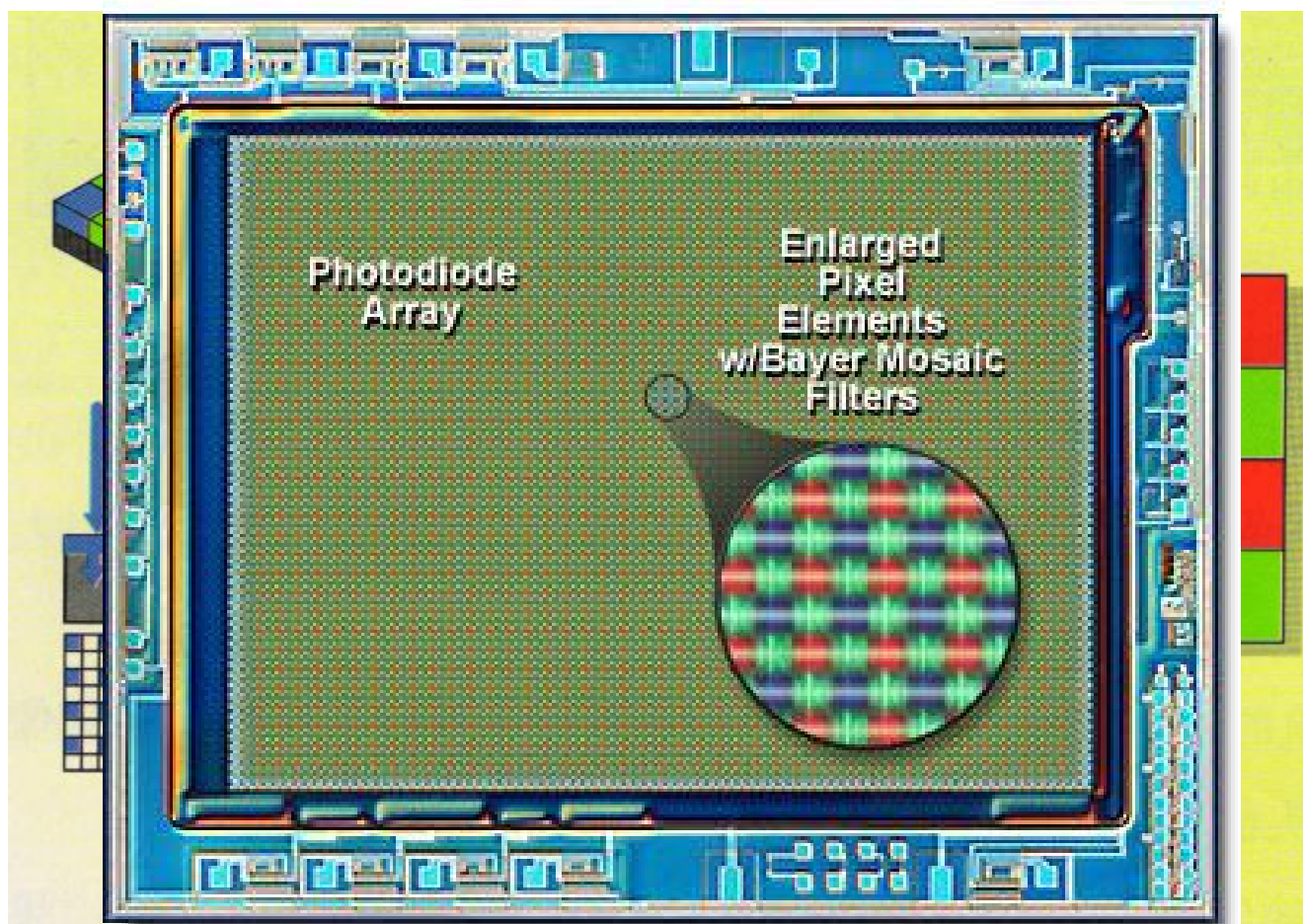
利用三棱镜组将图像分为**RGB**三基色图像，分别投影到三片**CCD**芯片上。

图片质量高；结构复杂，价格昂贵



# 彩色CCD结构

## 2. 彩色滤波阵列—Bayer滤波器模式



彩色滤波马赛克；

牺牲分辨率，  
简化结构，降低价格；

通过反马赛克  
算法从**Bayer**  
模式图像恢复  
出**RGB**模式  
图像。





# 彩色CCD结构

基于USB2.0总线的高分辨数字图像传感器 (1280\*1024)

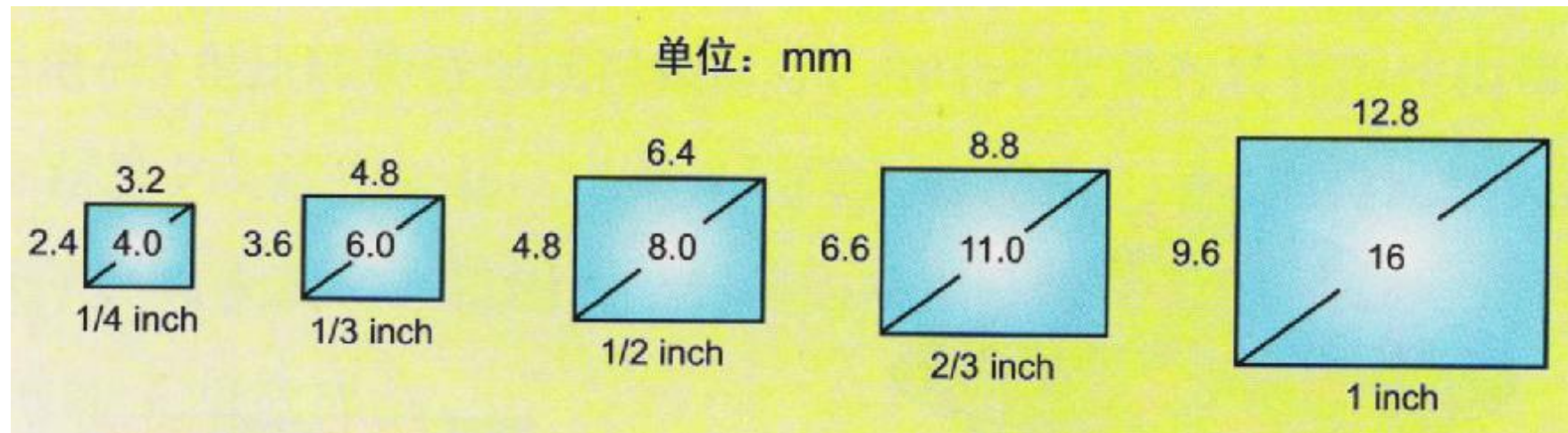






# CCD的长宽比和尺寸

✓ **CCD长宽比为4: 3**，尺寸如图所示：



**CCD像元密度Z**——有效区内采样的点数：

**768\*576, 1024\*768, 2048\*2048等**



# CCD的基本特性

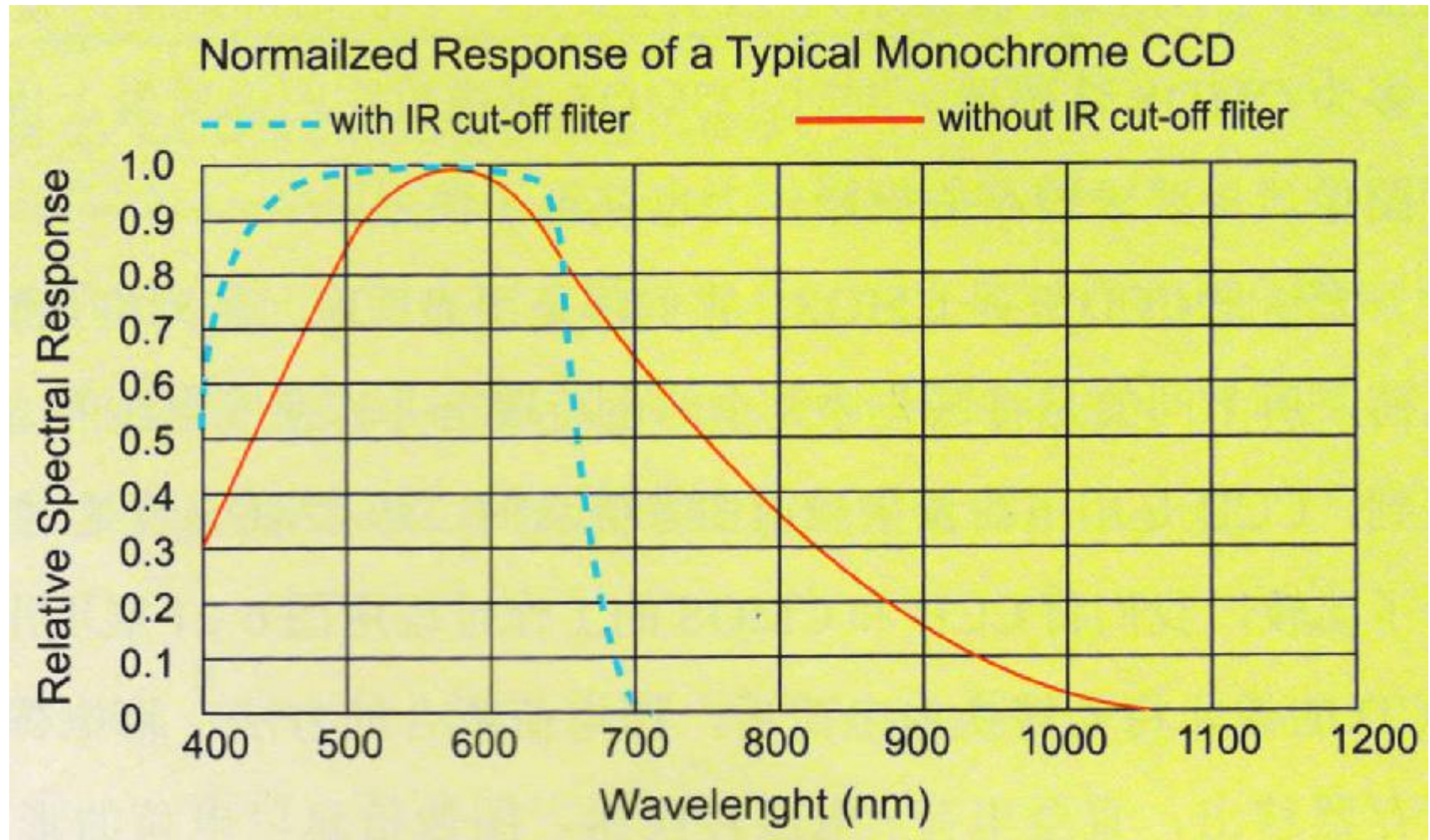
1. **响应度（灵敏度）**：光电转换效率，输出电信号与输入光信号能量之比；与入射光波长有关，因此分为**光谱响应度**（对特定波长入射光）和**积分响应度**（对连续波长辐射光）；
2. **光谱特性**：响应度与入射光频率或波长的关系（光谱峰值）；

CCD硅晶片对400nm至1060nm的光波都很敏感，为使CCD和人眼对外界图像的感应尽可能一致，常在CCD前方加入红外滤波器（**Infra-Red Filter**）。

在机器视觉中，可将**IR**滤波器去掉，或加入特定光谱滤波器，制成红外光感应器。



# CCD的光谱特性







# CCD的光谱特性

可见光与近红外混合成像，波长约为400-1200nm



Color-ED1 1980-1991-05A-00788-238Y



# CCD的基本特性参数

- 3. **暗电流**：无光信号时的输出电流——图像噪声；
- 4. **分辨率**：取决于光敏单元间距，常用光敏单元数表示，一般像元越多分辨率越高；实际分辨率还与CCD光敏单元的中心间距、光学系统的放大率有关。

**CCD实际分辨率=光敏单元中心距/光学系统放大倍率**

**最大被测物尺寸=最大成像尺寸/光学系统放大倍数**

- 5. **均匀性**：光敏单元对光强度响应的一致性。





# CCD传感器的应用

- (1) 非接触检测;
- (2) 响应快;
- (3) 可靠性高,维修简便;
- (4) 测量精度高;
- (5) 体积小,重量轻; 容易与计算机连接;
- (6) 对被测物体需要强光照射;
- (7) 受被测物体以外的光的影响.



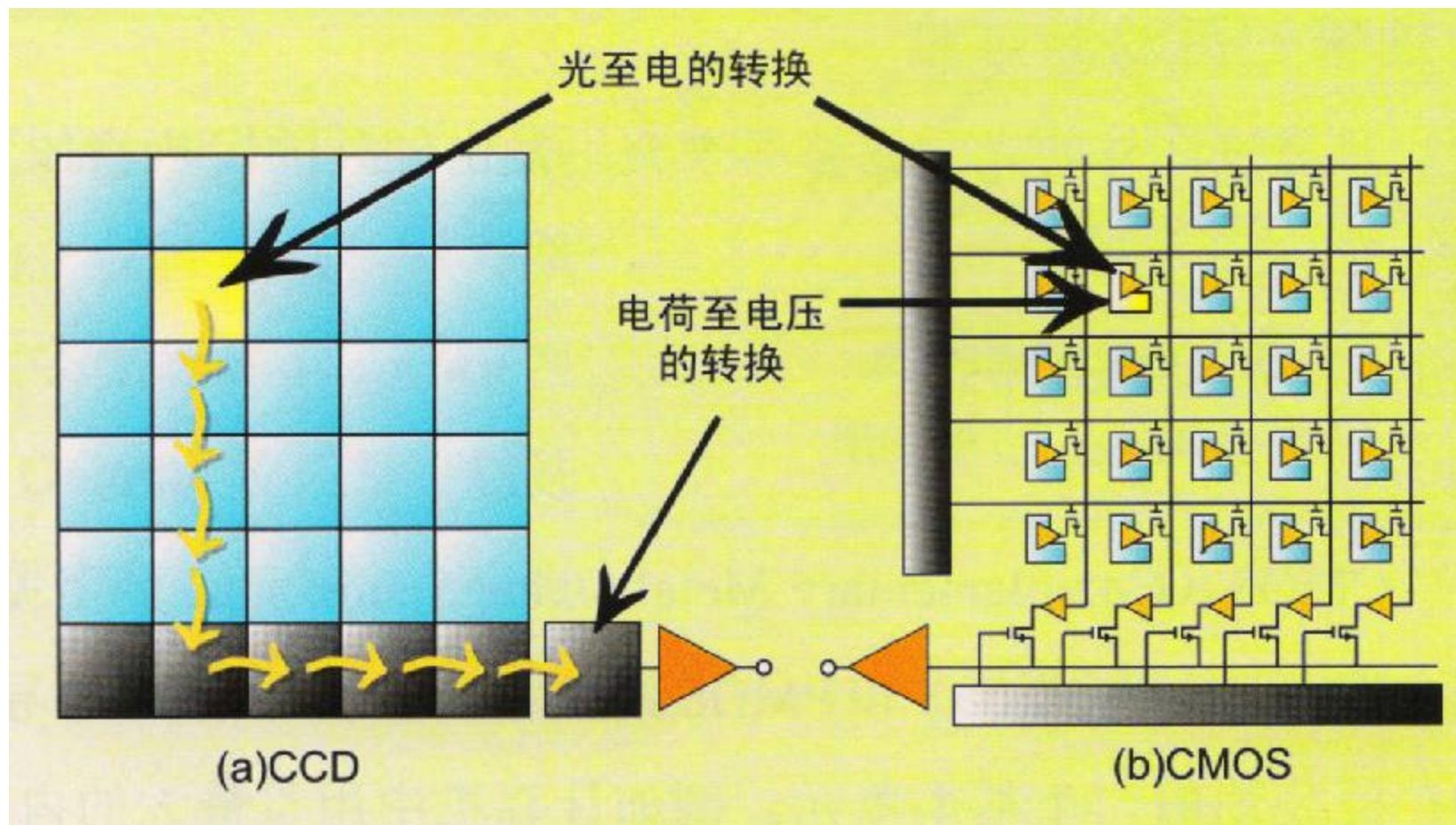
# CMOS图像传感器

## ✓ **CMOS** (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

- § 互补式金属-氧化物-半导体，NMOS和PMOS串联；
- § 是集成电路中广泛使用的一个基本单元，在动态存储器中广泛使用，如计算机内存；
- § 出现于**20世纪70年代初**，早期**CMOS**图像传感器图片质量差，仅用于低端产品；
- § **90年代后**重新得到关注，**低功耗、高集成度**；
- § 已广泛用于各种高、中、低端图像采集设备。



# CCD和CMOS的工作框图

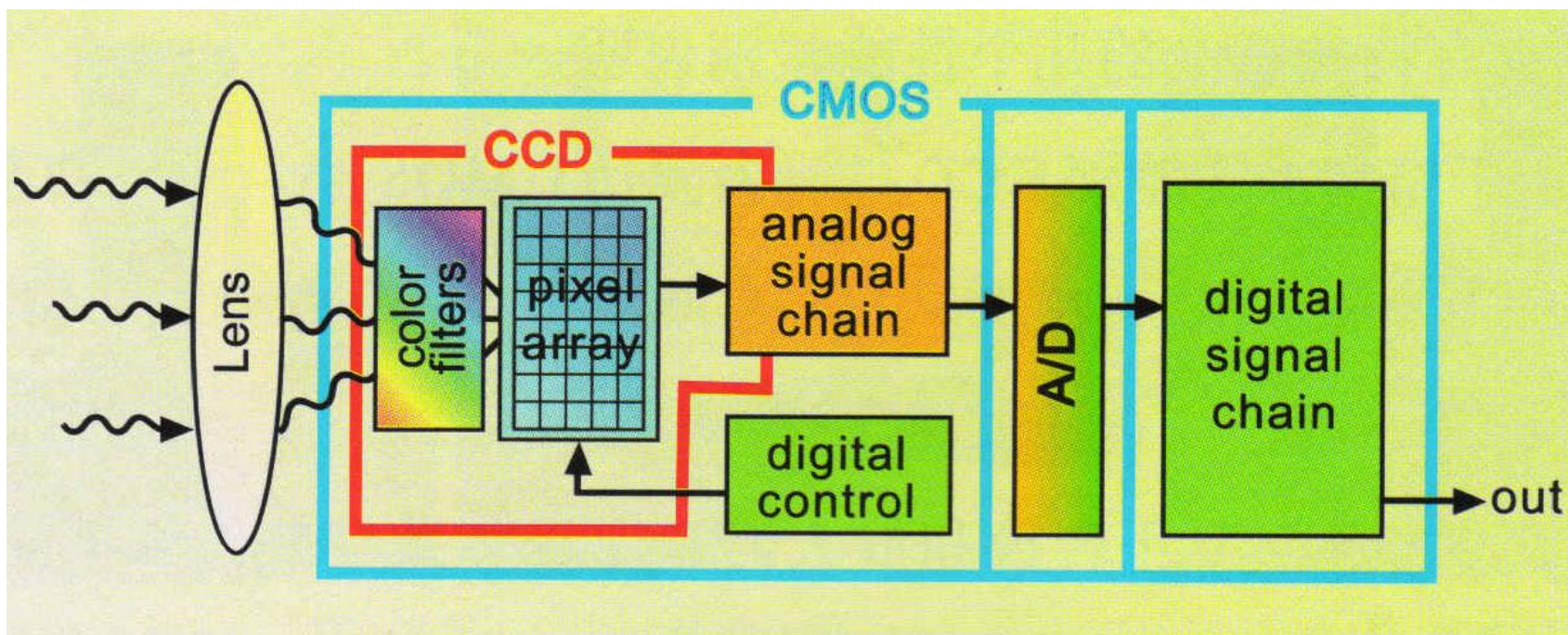


以电荷形式传输

以电压形式传输



## CCD和CMOS的集成度

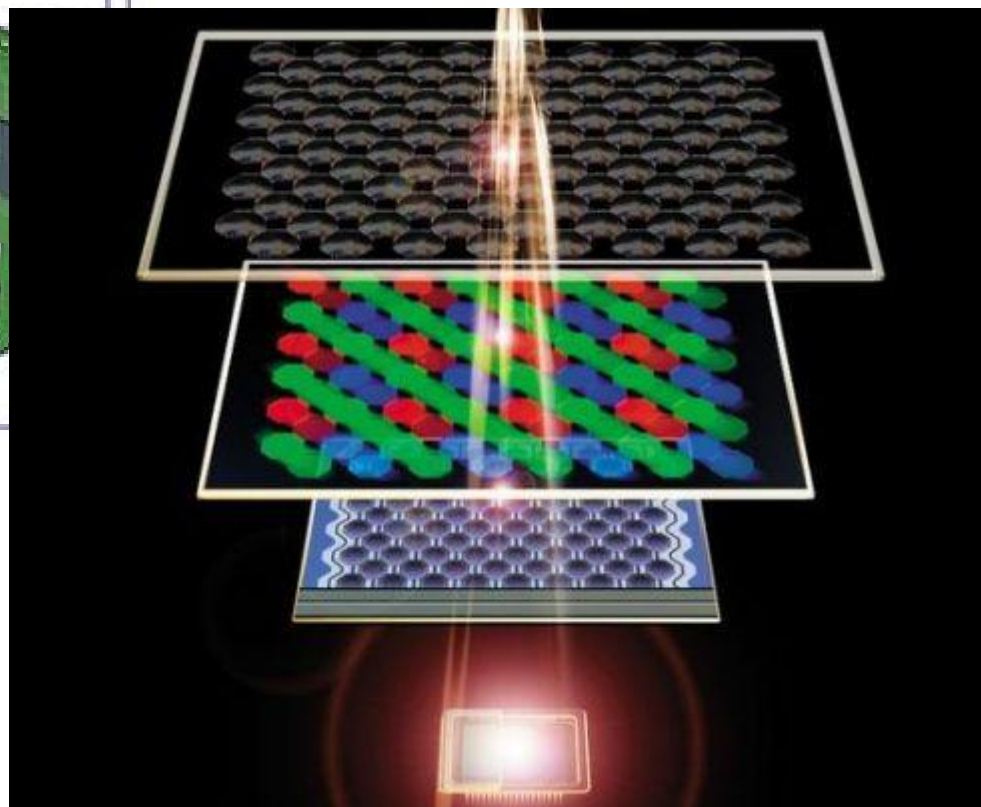
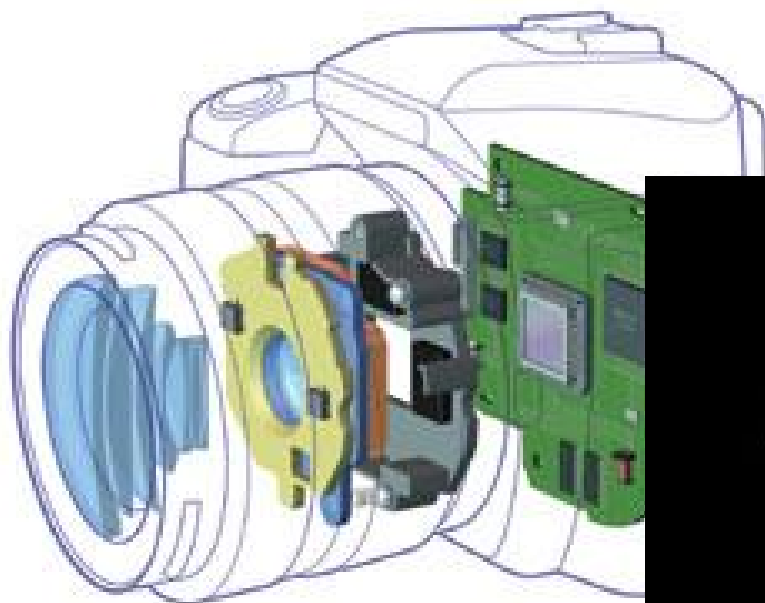


**CMOS**芯片除了具有**CCD**芯片的功能单元，还包括了控制电路、**A/D**转换和视频信号处理电路，可以进行亮度、对比度、噪音抑制、边缘检测等复杂处理。





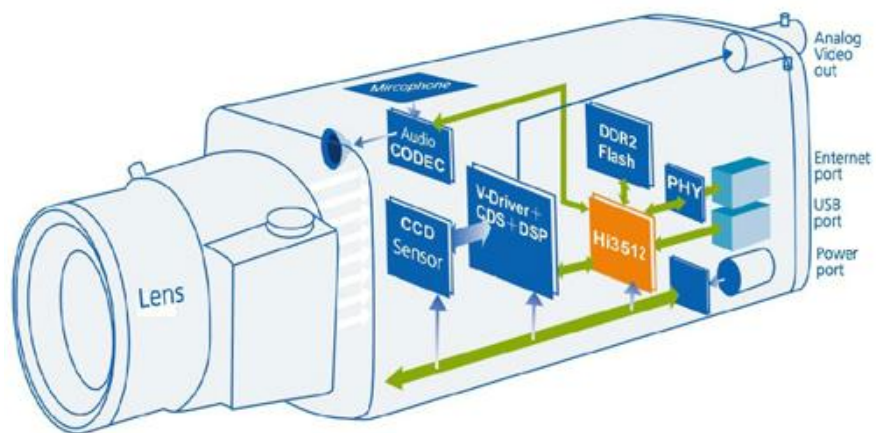
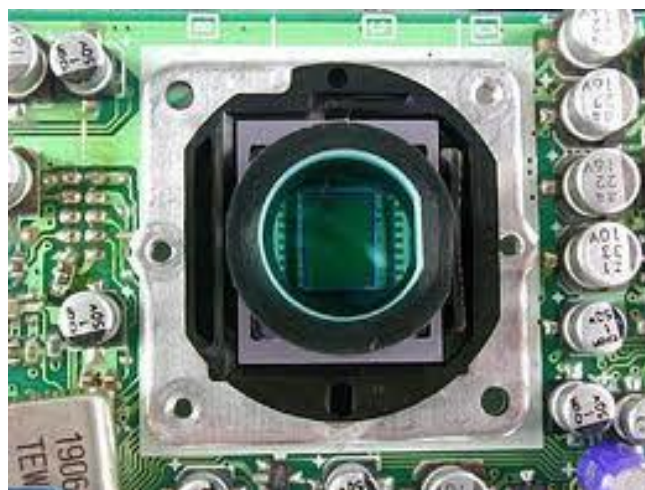
# 图像传感器的应用





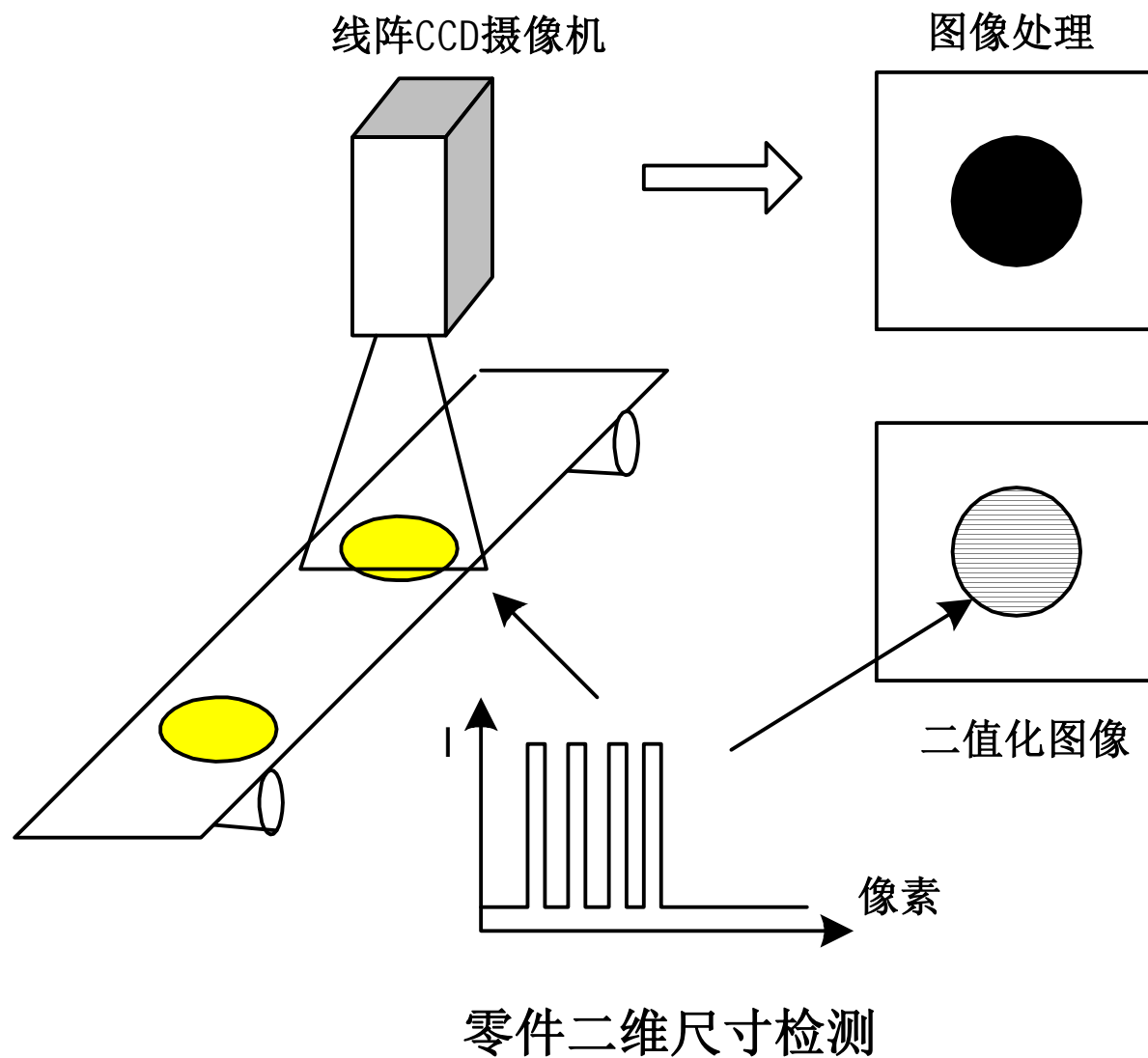


# 图像传感器的应用



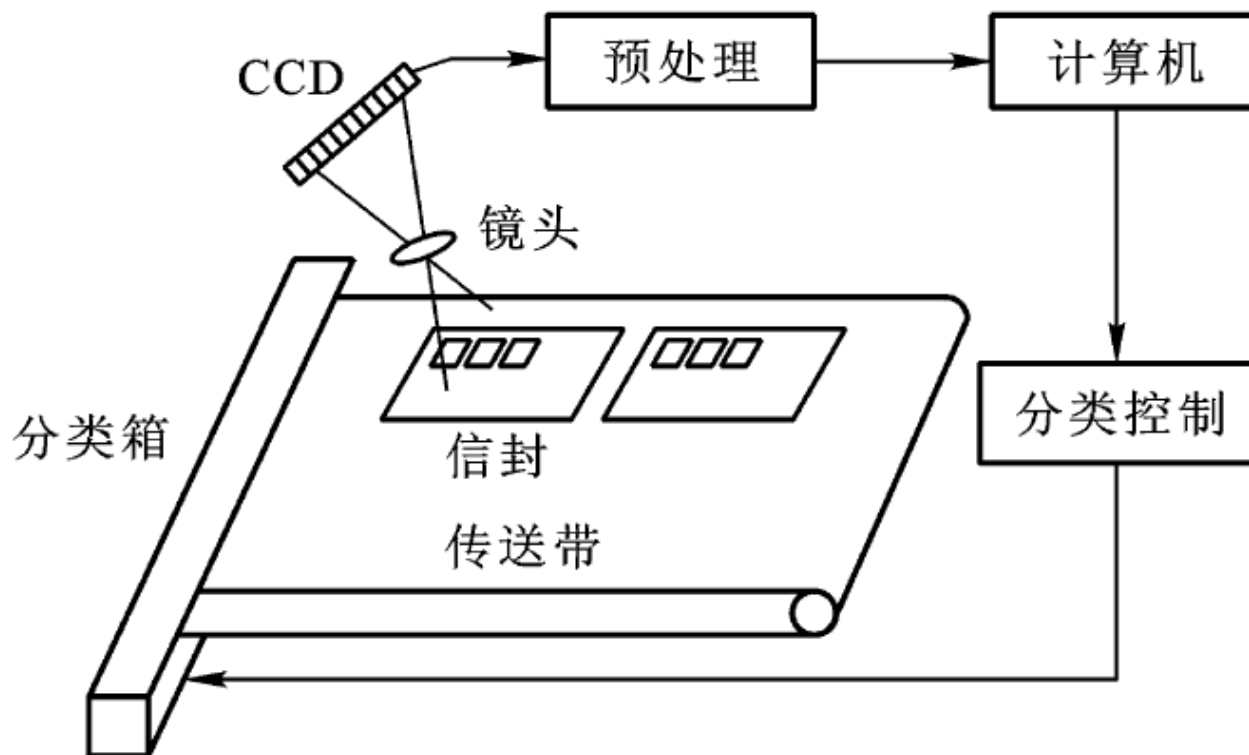


# 图像传感器的应用





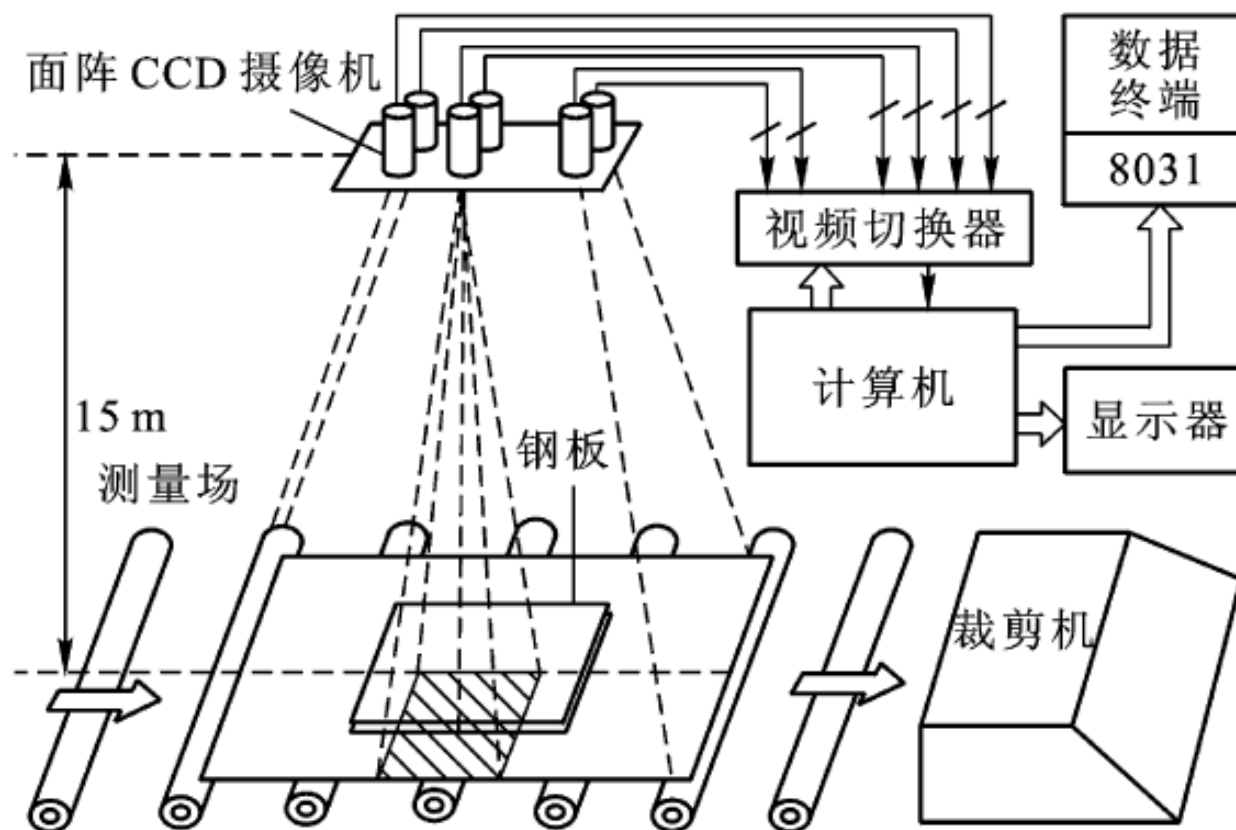
## 图像传感器的应用



邮政编码识别



## 图像传感器的应用



钢板尺寸的在线检测