

# 第三章 彩色电视摄像 原理

**NEW**

**AJ-HDC20A**

2/3" FIT-3CCD 摄录一体机





### 3.1 电视摄像器件---CCD固体摄像器件

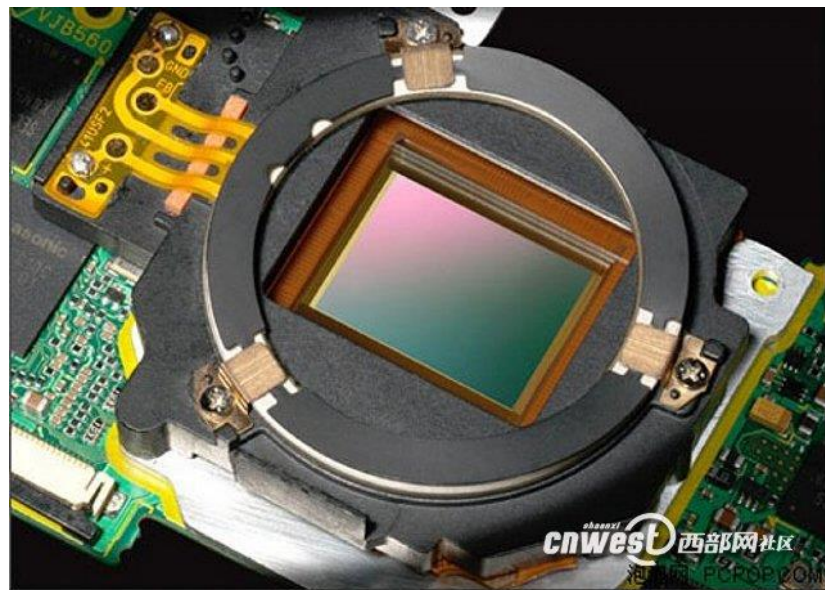
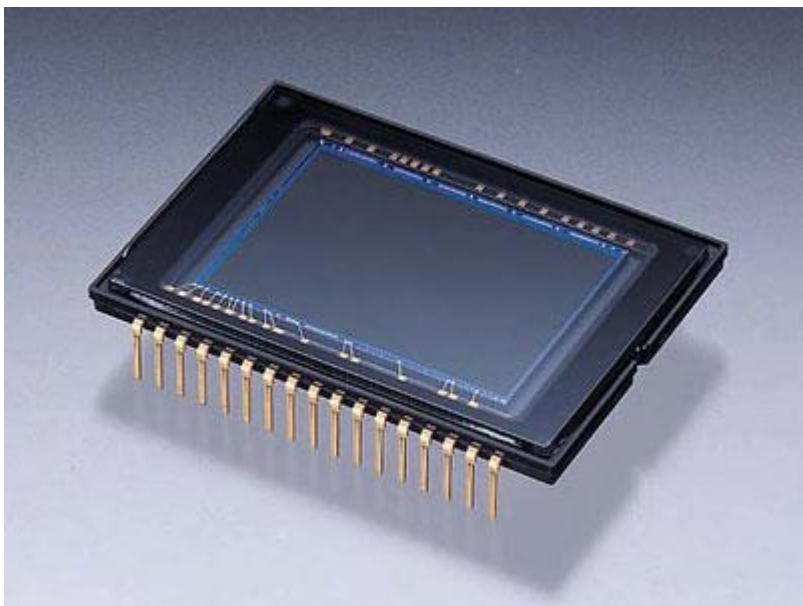
CMOS

- 电视摄像器件是决定电视系统性能质量的关键器件，它的两个任务：
- **完成光电转换**—— 利用光敏材料的光电效应，将聚焦在光敏面上的光图像变为电图像；
- **将电图像变换成相应的电信号**——利用电子束的行场扫描（摄像管）或通过电荷转移（CCD器件）的方法将电图像变换成相应的电信号输出。
- 摄像管曾有过辉煌的历史，但在20世纪80年代之后，以CCD（Charge Coupled Device **电荷耦合器件**）为代表的摄像器件已逐步取代了摄像管摄像机。



CCD摄像器件和过去使用的真空摄像管相比有以下特点：

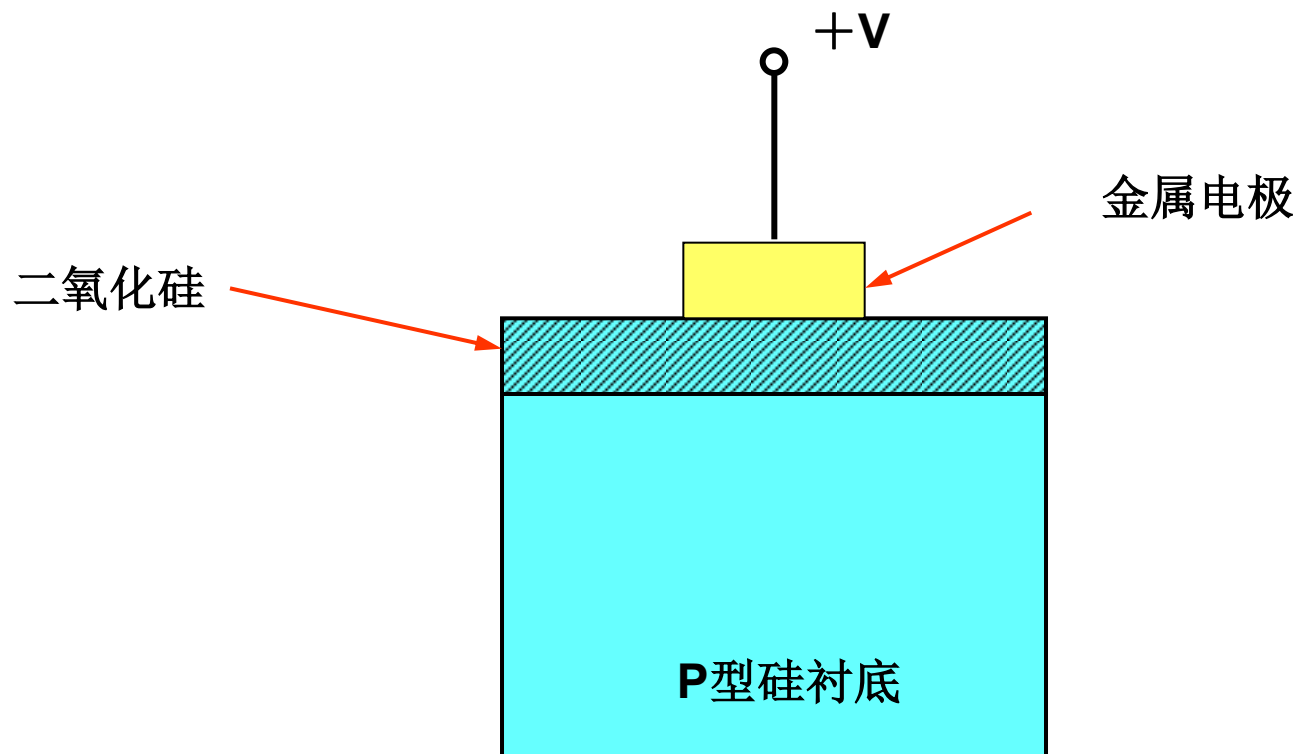
- 1. 利用光子在单晶硅里激发出电子-空穴对的光敏效应实现光电变换；
- 2. 由电荷转移代替过去摄像管的电子束扫描实现图像信号的输出，无需电子束聚焦和偏转，电路简单；
- 3. 便于批量生产，性能好，体积小、重量轻、结构简单、工作稳定。



# 3.1.1 CCD 固体摄像器件工作原理

## 1. CCD 单元的结构

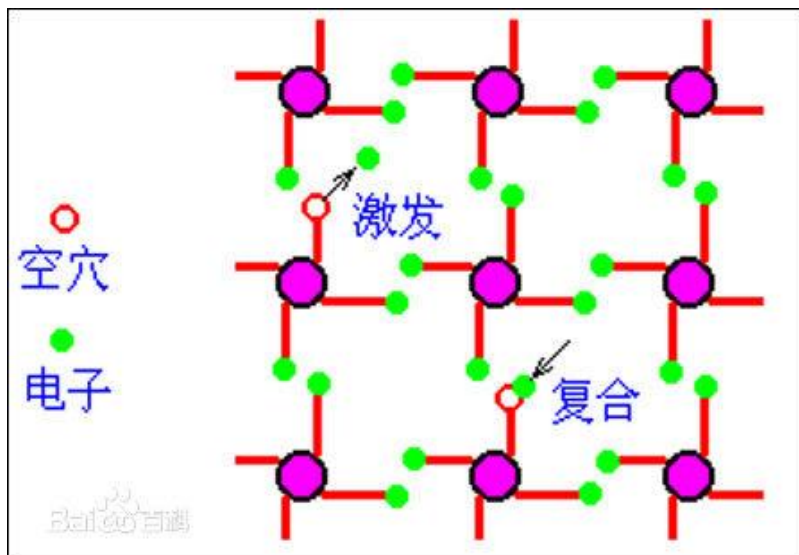
- CCD 属于 MOS (金属—氧化物—半导体) 器件.



# 3.1.1 CCD 固体摄像器件工作原理

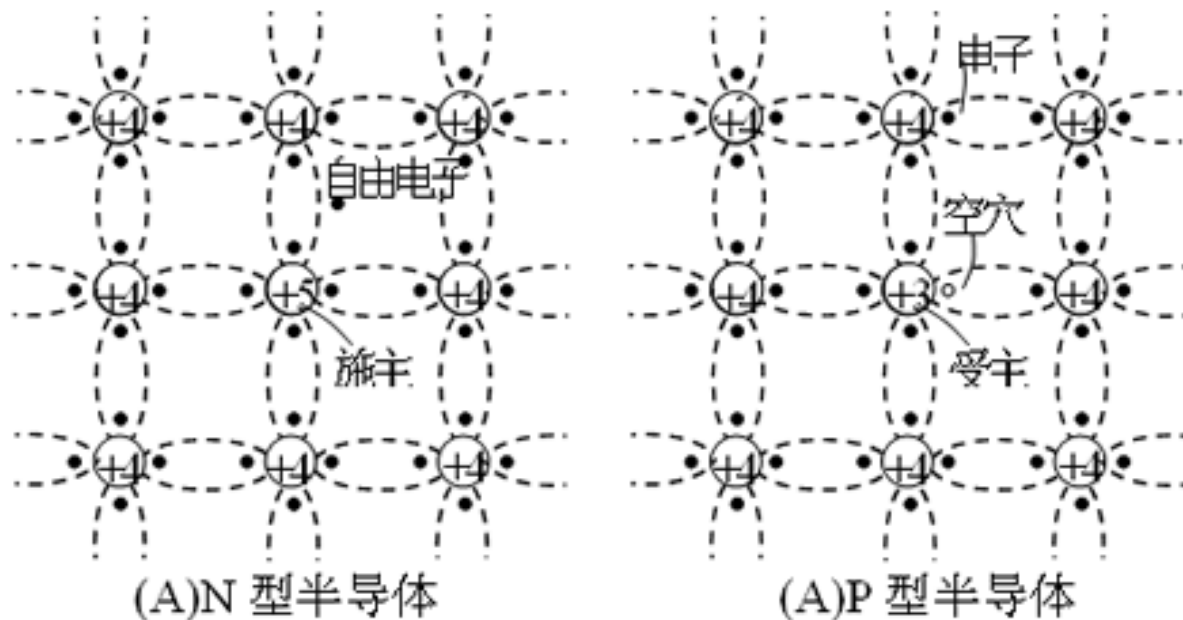
## 1.CCD单元的结构

- CCD属于MOS(金属—氧化物—半导体)器件.
- 半导体



本征激发

- **P型半导体**，也称为空穴型半导体。**P型半导体**即空穴浓度远大于自由电子浓度的杂质半导体。
- **N型半导体**即自由电子浓度远大于空穴浓度的杂质半导体。





# 3.1.1 CCD 固体摄像器件工作原理

## 1. CCD 单元的结构

- CCD属于MOS(金属—氧化物—半导体)器件.

- 半导体

两种载流子:自由电子(形成电子电流)和空穴(形成空穴电流)

两种类型:

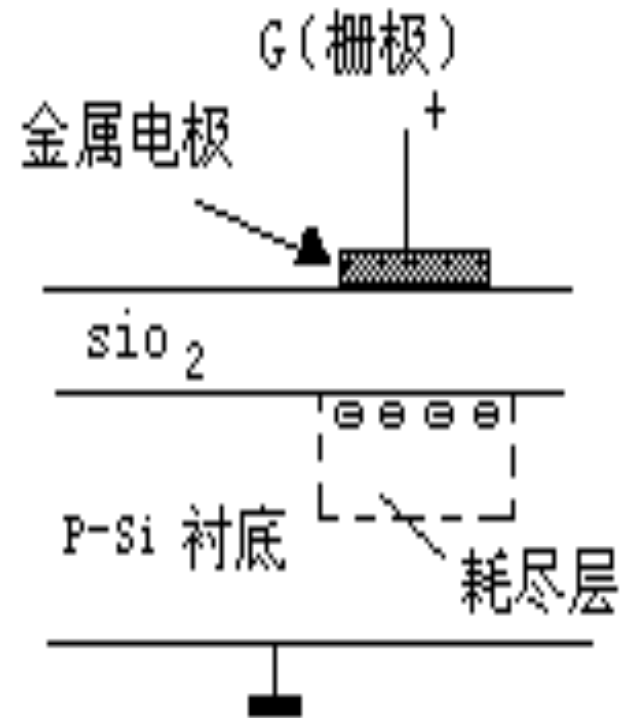
N型半导体:自由电子为多数载流子,空穴为少数载流子

P型半导体:空穴为多数载流子,自由电子为少数载流子

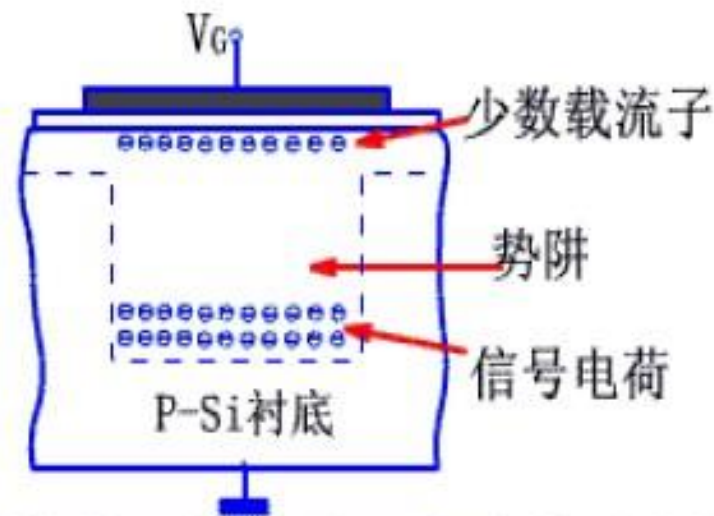
### 3.1.1 CCD固体摄像器件工作原理

#### 1.CCD单元的结构

- CCD是由几十万个带有金属铝电极的单元组成。
- 每个金属电极（称为栅极G）部分为一个CCD单元。
- 在金属电极和P型半导体间有一层厚度约为100nm的SiO<sub>2</sub>的绝缘层。
- 这样就构成了金属—氧化物—半导体的MOS结构。



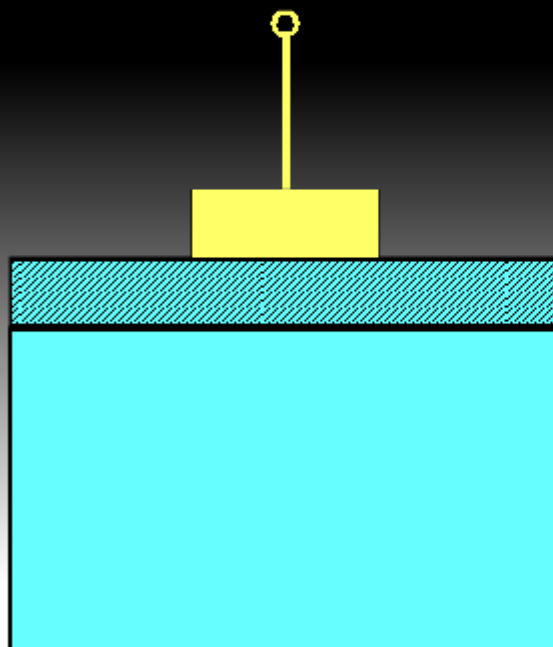
- 当栅极未加电压时，其下面P型半导体中的多数载流子（空穴）均匀分布；
- 当栅极加正电压时，空穴被排挤，电子集中在界面，形成带负电的**耗尽层**。**没有空穴的带负电荷的区域**）
- **栅极电压越高，耗尽层越深。**
- 耗尽层达到一定的深度，便形成了一个可吸收电子的**势阱**。



MOS结构单元的势阱及储存信号电荷

- 电子势阱可以存储外来的电子电荷, CCD摄像器件的感光面上有几十万个电极, 即有几十万个势阱 (像素)。
- 当景物成像到感光面时, 每个像素对应的衬底在光激发下, 出现和光强度成正比的电子-空穴对, 空穴被排挤走, 电子注入势阱, 形成电荷包, 实现光电转换, 得到有几十万个电荷包组成的电图像。☆ P89
- 栅极电压越高, 势阱越深, 可存储的电子电荷越多;
- 但势阱内电子电荷的多少 (即电荷包的大小) 只与外来光的强度及照射时间有关。

将鼠标移至元件  
上显示元件名：

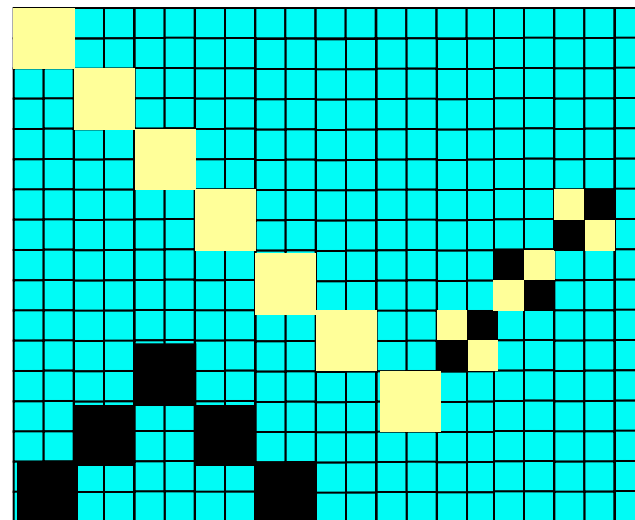


原理演示：

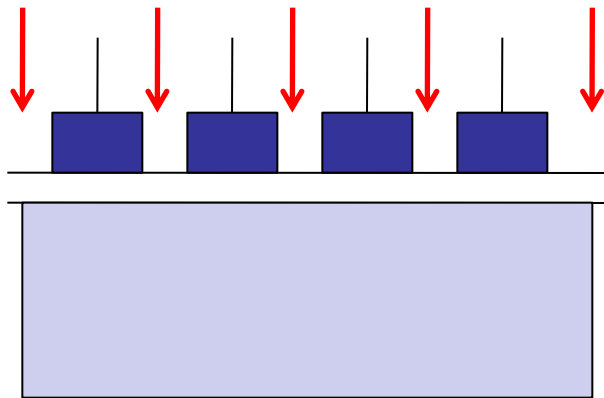




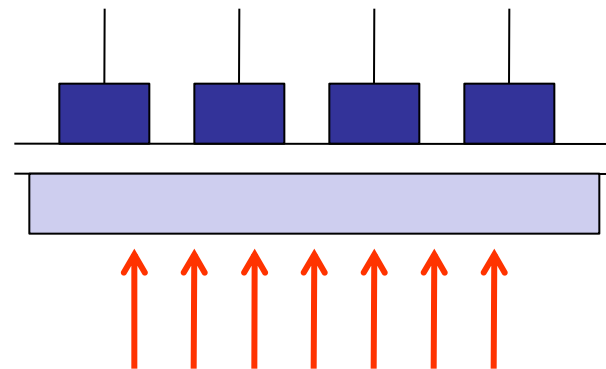
实际的CCD摄像器件的感光面上，分布有几十万甚至几百万个独立的铝电极，各自对应一个像素和势阱。因此，可将其表面的光学图像变成内部的电荷图像。



- 光的照射方法有两种：
  - 正面入射（从电极面入射）和背面入射（从衬底面入射），背面入射的光效率高于正面入射。

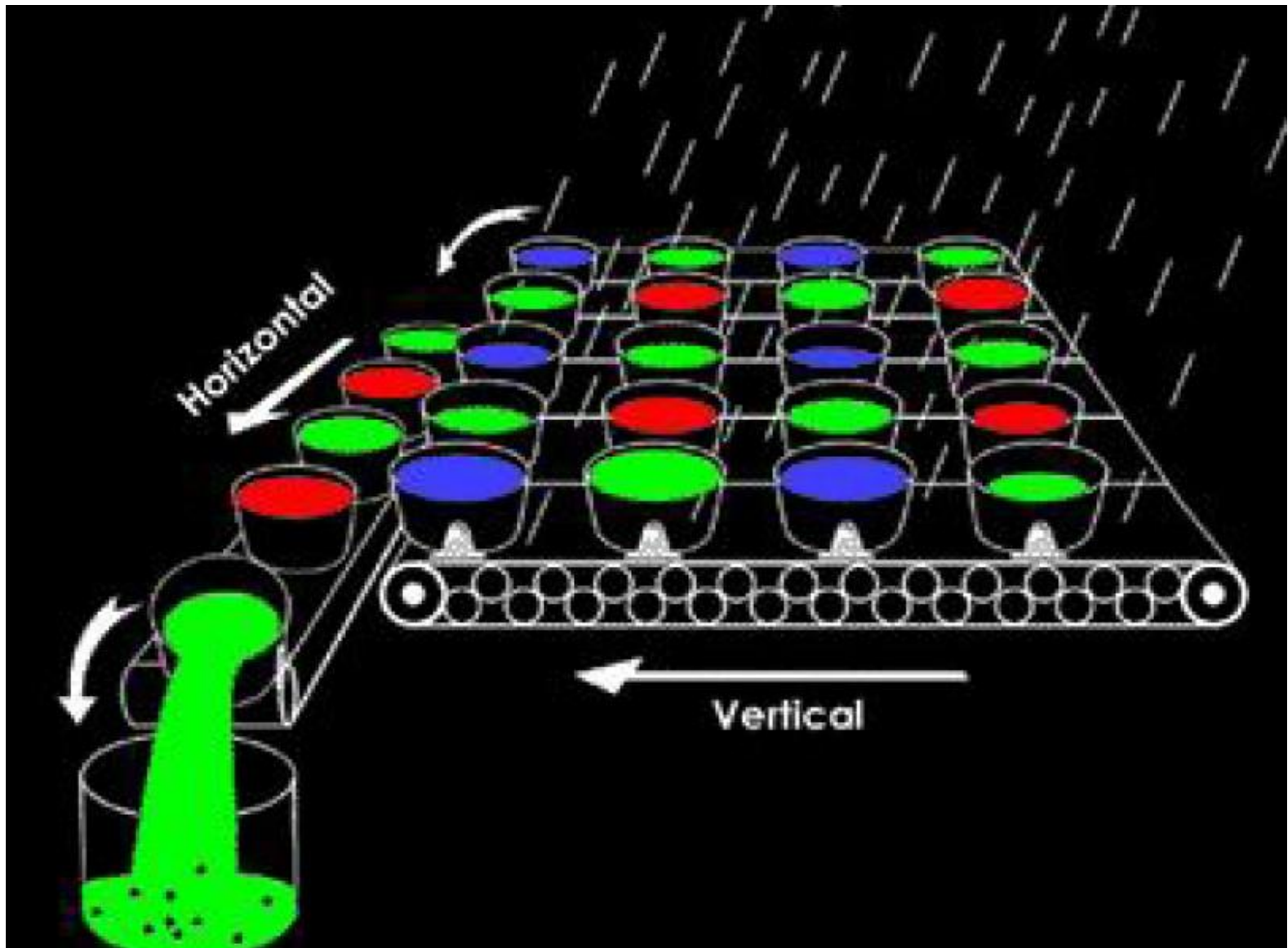


正面入射  
(效率 4 0%)

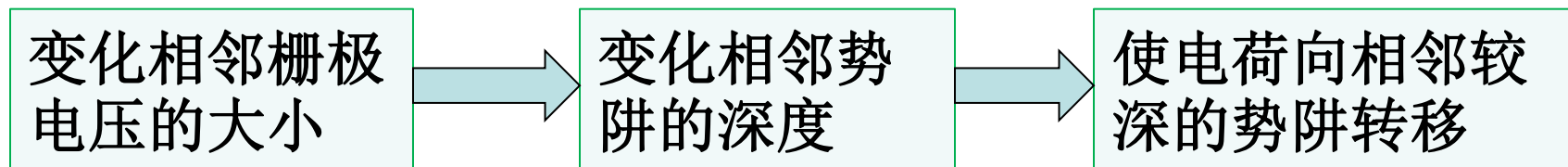


背面入射  
(效率 8 0%)

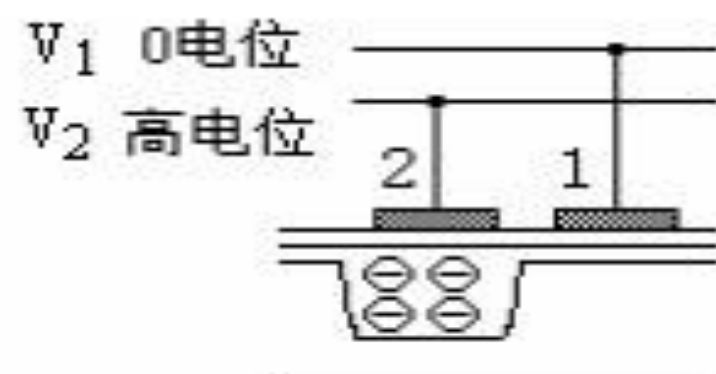
## 2. CCD电荷的转移



## 2. CCD 电荷包的转移驱动方法

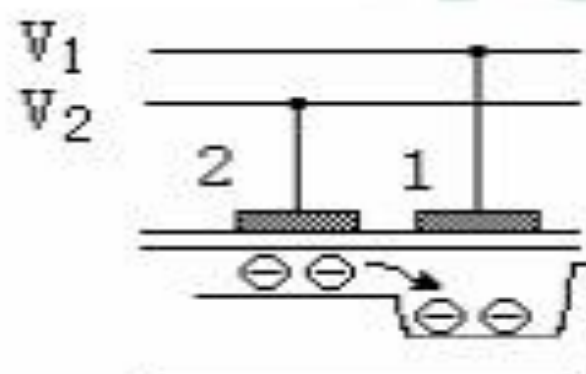


- 如图3-2，要求采用的驱动方法可以控制电荷的转移方向
- 为实现定向电荷转移，有三相、二相、四相时钟驱动方式



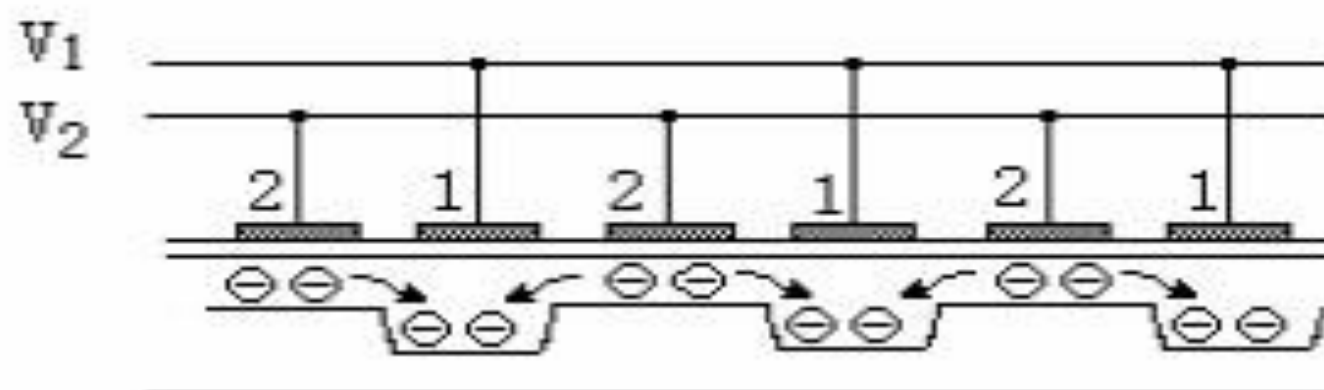
(a) 电荷积累期间

电极2 为积累电荷电极  
电极1为 转移用电极



(b) 电荷转移期间

$V_1$  从 0 逐渐变为 高电位  
 $V_2$  从高电位逐渐变为 0



(c) 电荷不能单方向转移

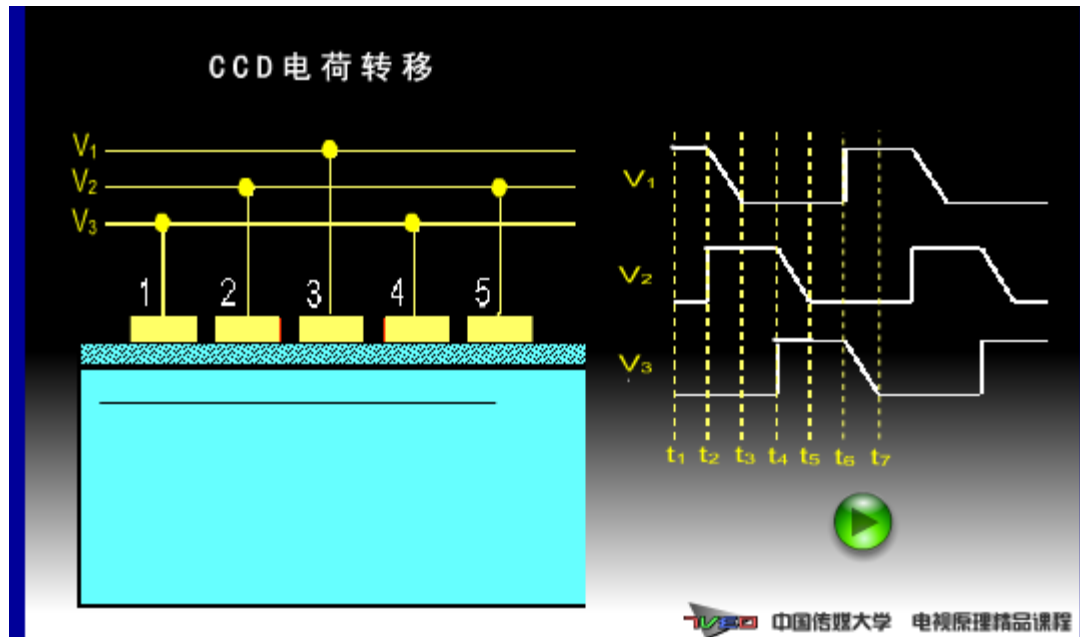


# 1. 三相时钟驱动方式:

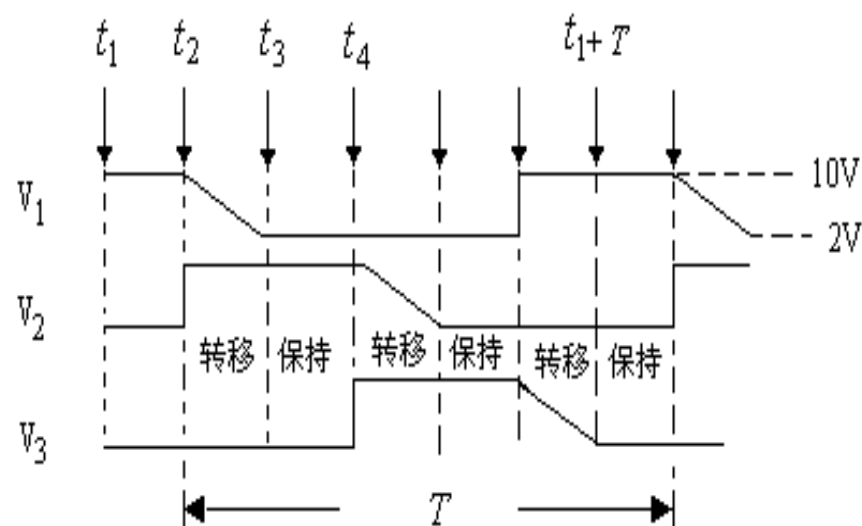
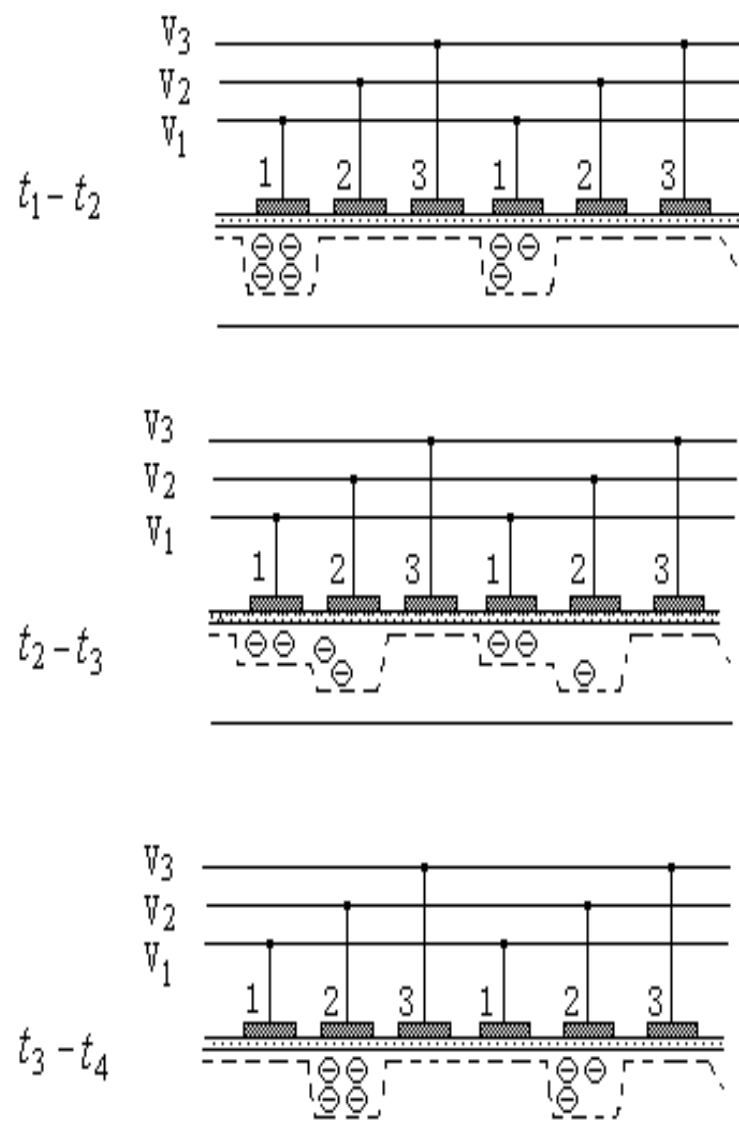
## (1) CCD单元的结构:

每个像素, 有三个电极, 分别加三相时钟.

(2) 三相时钟脉冲的高电平的时序是 $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1$ , 则 $V_1$ 电极下面势阱内的电荷将转移到右面相邻像素电极 $V_4$ 下面势阱中, 移了一个像素的距离。



# 三相时钟驱动图



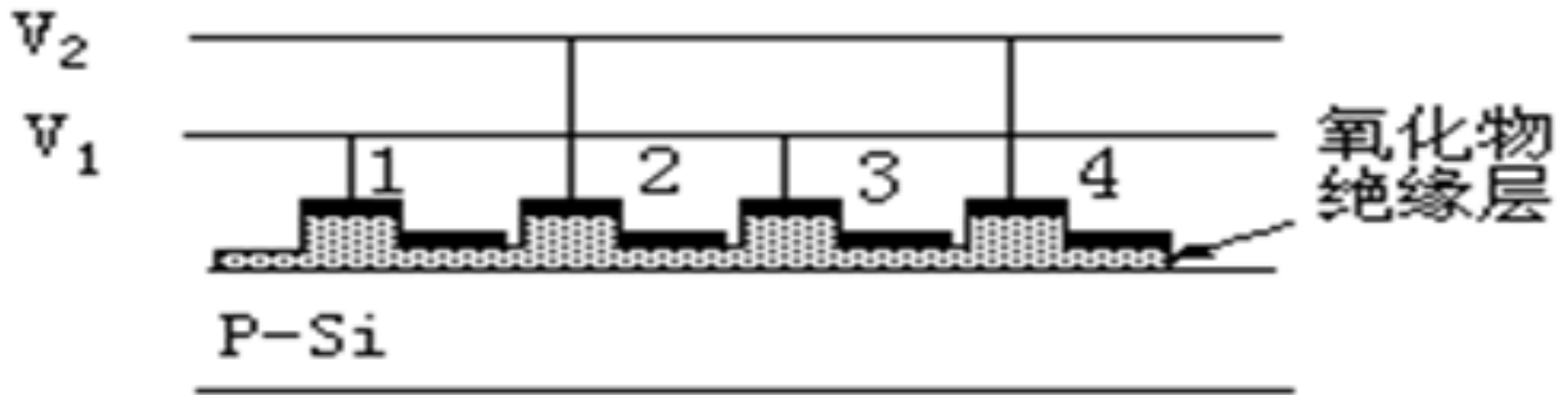
- $t_1 \sim t_2$   $V_1$  为高, 其它为低, 第一个势阱为深势阱, 有电荷包  
 $t_2 \sim t_3$   $V_1$  逐渐变低,  $V_2$  为高, 电荷包逐渐转移到第二个势阱  
 $t_3 \sim t_4$  保持  
 $t_4$  以后, 电荷包开始向第三个势阱转移, 一个时钟周期转移三个势阱, 转移到下一个像素的第一个势阱

# 三相时钟驱动方式

- 如果将时钟脉冲的高电平的时序改变为  $V1 \rightarrow V3 \rightarrow V2 \rightarrow V1$  , 可改变转移方向即自右向左, 即能双向转移。
- 三相时钟驱动方式的优点是改变驱动脉冲相位就可改变转移方向, 它能实现双向转移。

## 2. 二相时钟驱动方式

- **CCD单元的结构**：每个像素有两个电极，每个电极有两个厚度不同的绝缘层，在同一电压下，厚的势阱浅，薄的势阱深。

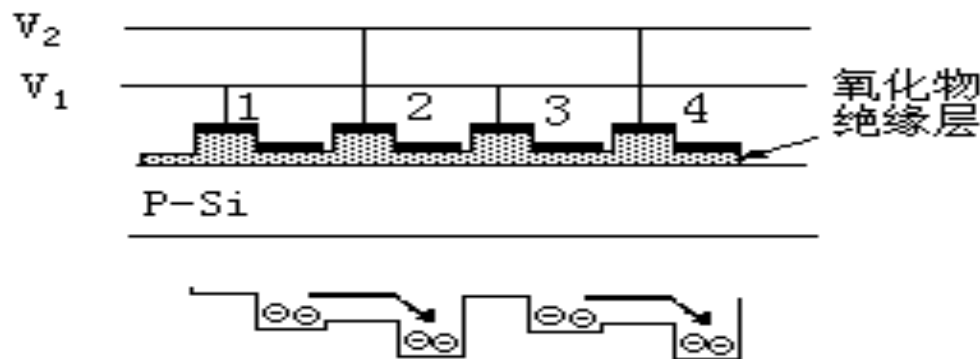


# 二相时钟驱动图

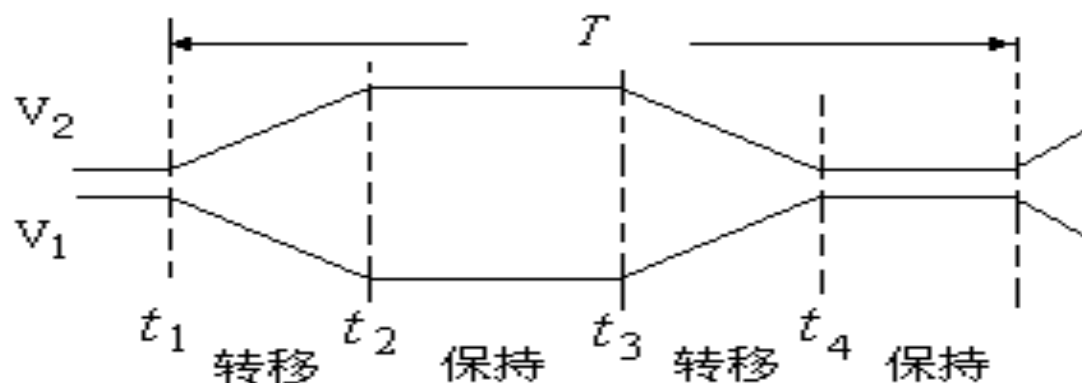
■ **电荷转移原理**：由相位差 $180^\circ$ 两个时钟驱动。

■ 在电荷存储期间（ $t_1$ 之前），电荷包都在电极1势阱深的地方。

■ 在电荷转移时（ $t_1$ 开始）， $t_1$ — $t_2$ 期间，电荷包转到2电极的深势阱下面。在 $t_3$ — $t_4$ 期时，电荷包转到下一个像素电极1的深势阱下面，移了一个像素的距离。



(a) CCD结构和电荷转移



(b) 驱动时钟



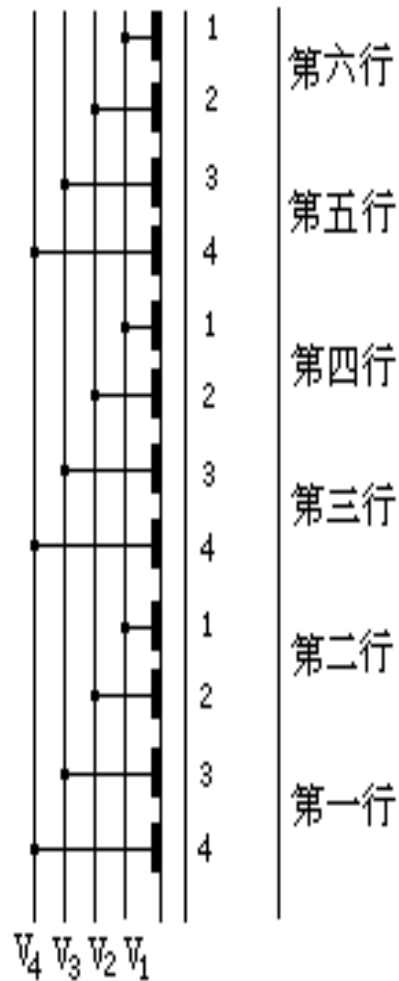
## 2 . 二相时钟驱动方式

- **CCD单元的结构**：每个像素有两个电极，每个电极有两个厚度不同的绝缘层，在同一电压下，厚的势阱浅，薄的势阱深。
- **优点**：时钟脉冲简单、电荷包转移速度快。
- **缺点**：势阱中存储电荷少（浅势阱无电荷）、不能双向转移。
- 实际CCD摄像器件中, 将一行行图象信号电荷向外转移输出时, 采用了二相时钟转移方式.

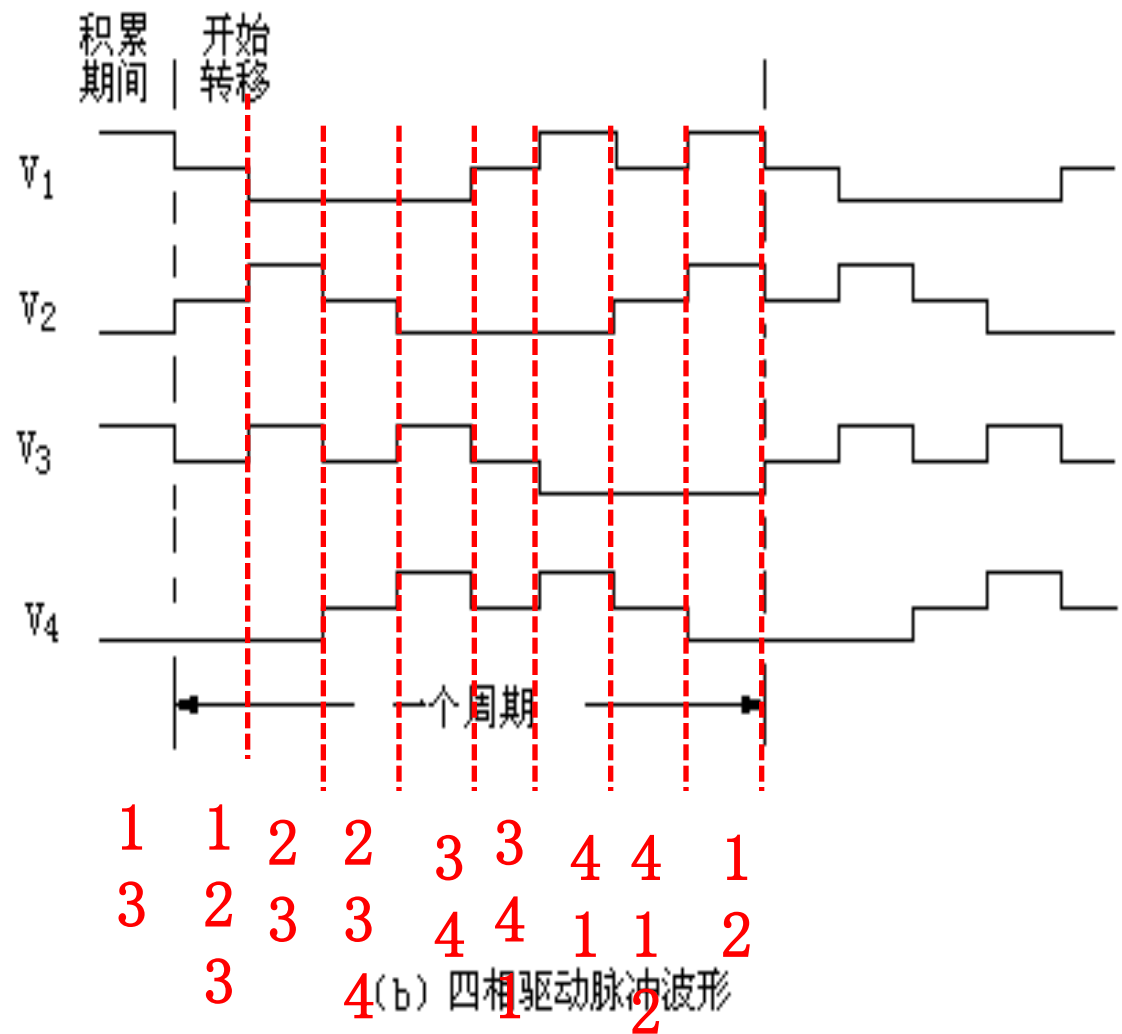
### 3 . 四相时钟--实现隔行扫描的方法

- 为了让每个CCD单元1场读出1次，并实现隔行扫描，CCD器件通常采用四相时钟驱动方式，即三电平四相时钟驱动的电荷包转移。可以实现垂直方向的隔行读出。
- 为简单起见，只画出了一列中的几个像素，垂直方向每两个电极为一个像素。

### 3. 四相时钟—实现隔行扫描的方法



(a) 结构示意图  
(一列6个像素)



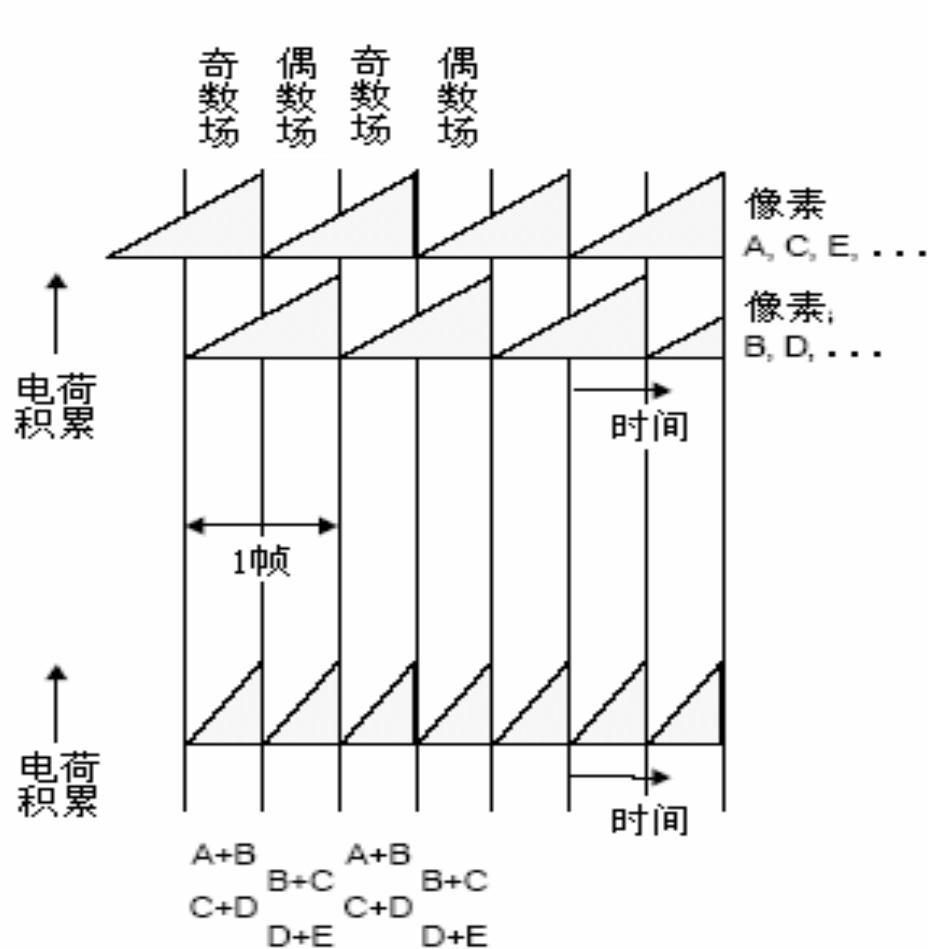
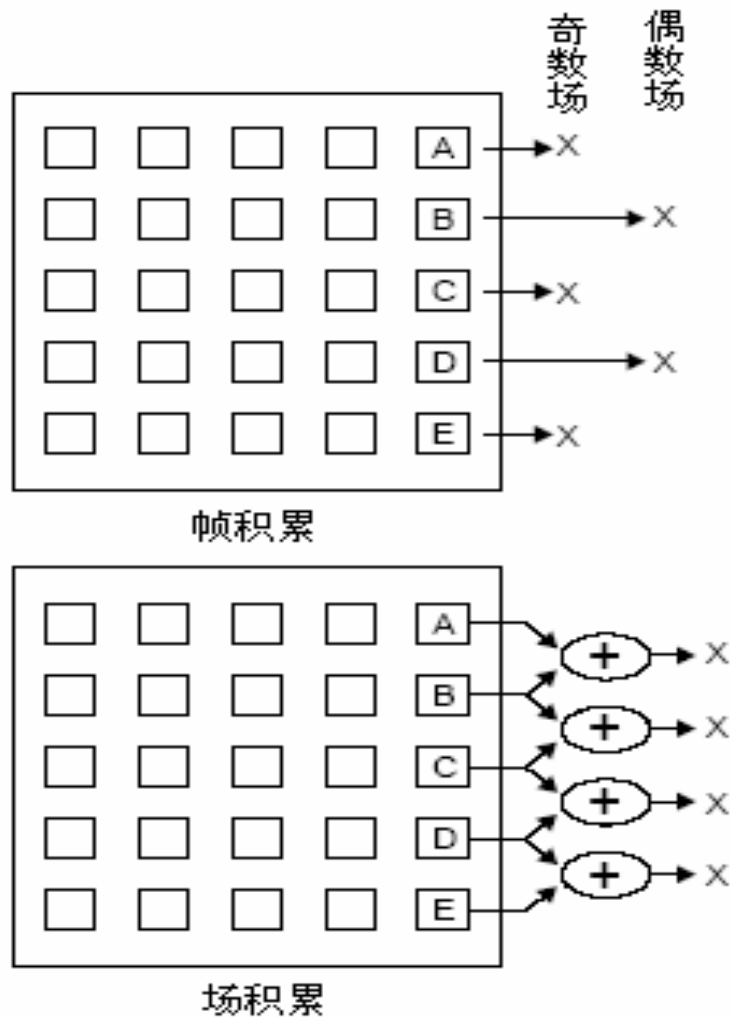
(b) 四相驱动脉冲波形

### 3 . 四相时钟—实现隔行扫描的方法

- 在电荷转移前的积累期间， $V_1$ 、 $V_3$ 为高电位， $V_2$ 、 $V_4$ 为低电位，积累的电荷包在电极1、3的势阱里。
- 当奇数场开始电荷转移时，在四相时钟 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 的控制下，转移过程如下（以三、四行为例）：
- $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 变为中电位，1、3电极下的电荷平分在电极1、2、3下；完成三、四行的合并；
- $V_2$ 、 $V_3$ 变为高电位，1、4为低电位，合并的电荷转移到电极2、3下；
- $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 变中电位，电荷平分在电极2、3、4下；
- $V_3$ 、 $V_4$ 变高电位， $V_1$ 、 $V_2$ 变低电位，电荷转移到电极3、4下；
- $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_1$ 变中电位， $V_2$ 为低电位，电荷平分在电极3、4、1下；
- $V_4$ 、 $V_1$ 为高电位， $V_2$ 、 $V_3$ 为低电位，电荷转移到电极4、1下；
- $V_4$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 变中电位，电荷平分在电极4、1、2下；
- $V_1$ 、 $V_2$ 变高电位， $V_3$ 、 $V_4$ 为低电位，电荷转移到（下一个像素）电极1、2下，完成三、四行的合并和一行的转移。

## 4. CCD 摄像器件的场积累和帧积累模式

- CCD感光单元电荷积累的时间有场积累（我国标清为20ms）和帧积累（我国标清为40ms）两种。

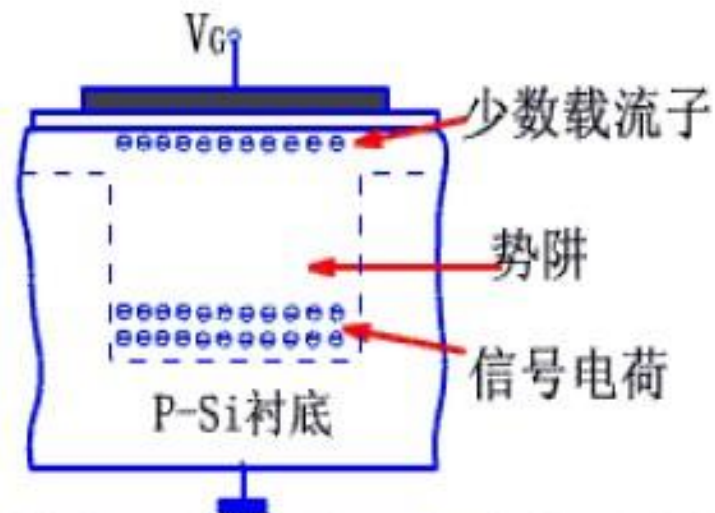




- 在**帧积累方式**中： 每个感光单元的电荷一帧读出一次  
    **奇数场**时只有奇数行感光单元的电荷转移出去形成奇数场信号  
    **偶数场**时只有偶数行感光单元的电荷转移出去形成偶数场信号。
- 在**场积累方式**中： 每个感光单元的电荷一场读出一次，为了实现隔行扫描：  
    输出**奇数场**信号时，将1帧中的第1和第2行合并作为奇数场的第1行输出，将第3行和第4行合并作为奇数场的第2行输出.....依次类推；  
    输出**偶数场**信号时，将第2行和第3行合并作为偶数场的第1行输出，将第4行和第5行合并为偶数场的第2行输出.....依次类推。
- **优缺点：**
- **帧积累**的垂直分解力高，但由于电荷积累时间长（相当于照相机快门时间），在拍摄活动图像时会变模糊, 适合于拍摄静止图像。不过，如果配合电子快门，就能解决惰性问题
- **场积累**需将相邻两行的电荷进行合并，使垂直分解力下降，但不需电子快门，提高活动图像的清晰度。

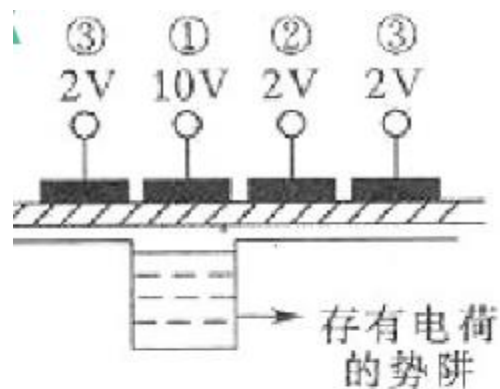
# 复习

- CCD单元结构及工作原理
- 电荷定向转移驱动方法

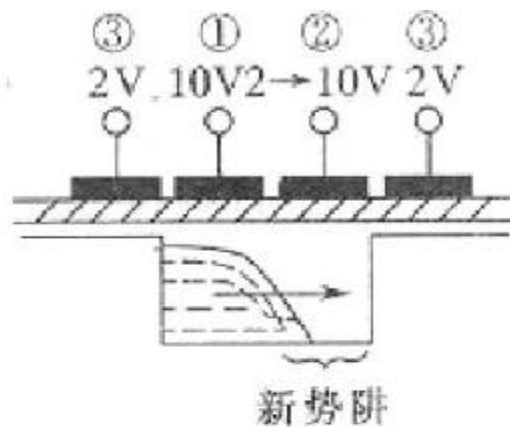


MOS结构单元的势阱及储存信号电荷

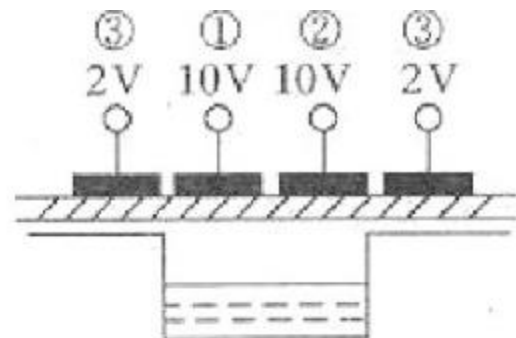
# 复习



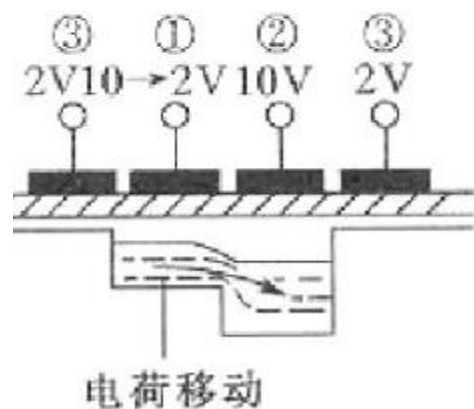
(a)



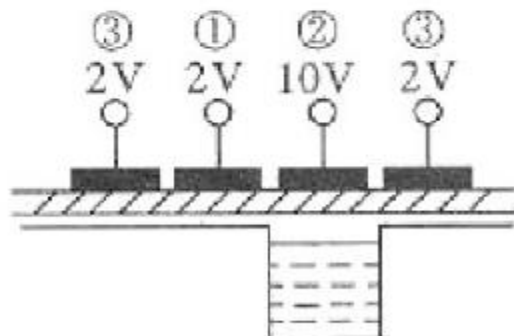
(b)



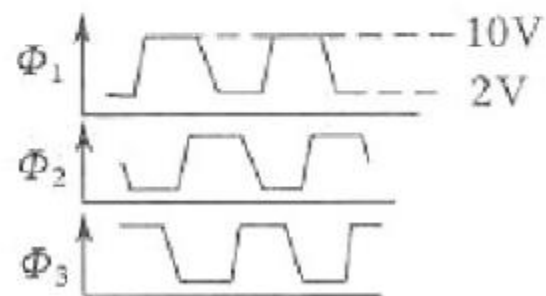
(c)



(d)



(e)



(f)

## 3.1.2 CCD 摄像器件的主要类型

- 目前CCD摄像机中采用的CCD摄像器件主要有三种类型：  
行间转移式（IT , Interline Transfer ） CCD;  
帧转移式（FT, Frame Transfer） CCD;  
帧行间转移式（FIT, Frame- Interline Transfer） CCD;

# 1. 行间转移 (IT) 式

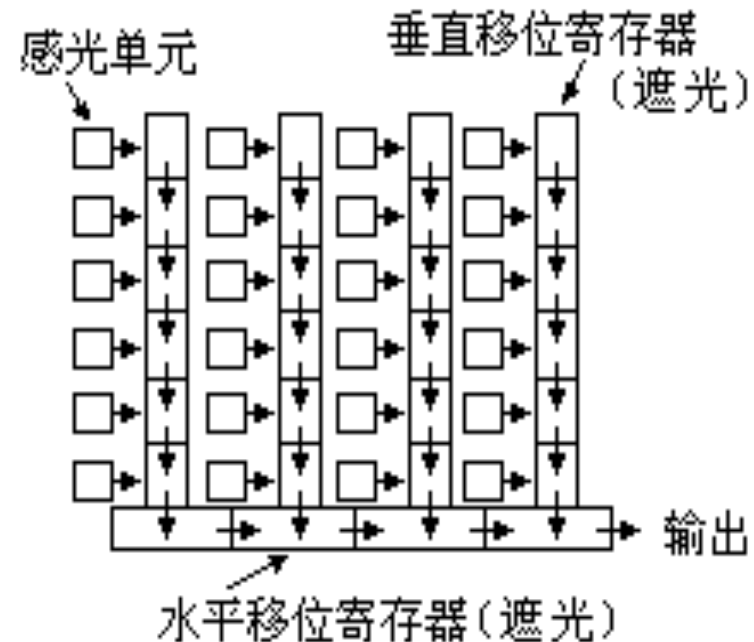
- 每一列感光单元的右侧有遮光的垂直移位寄存器，最后一行下面有遮光的水平移位寄存器。
- 以**场积累**为例：
- **在场正程**：每个感光单元积累光电荷，形成电荷包；形成电子图像；

■ **场消隐期间**：用 $1\ \mu\text{s}$ 时间将迅速将电荷包全部转移到垂直移位寄存器；

■ **在场正程每个行消隐期间**：  
将上下两行每个对应的电荷包相加后，逐行移入水平移位寄存器。

■ **在场正程每个行正程期间**：

水平移位寄存器在时钟脉冲控制下输出一行的图像信号。



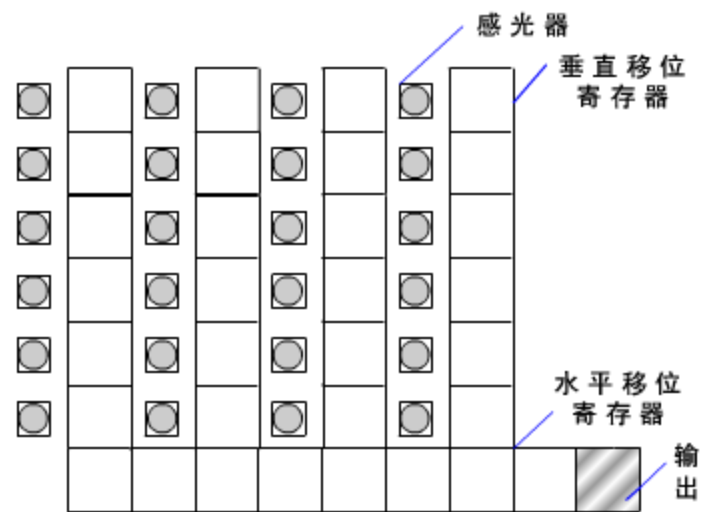
# 行间转移（IT）的特点

行间转移式CCD的最大优点是结构简单。

缺点有：

- ①灵敏度低，因感光面积只有总面积的35%左右；
- ②垂直拖道（smear，也称垂直亮带）严重，所谓垂直拖道是指当在拍摄的景物中有一个高亮度像点时，重现图像会在亮点下出现一条垂直亮带。

■ 形成垂直拖道的原因是电荷包从垂直移位寄存器向水平移位寄存器转移期间，倾斜光线从遮光的垂直移位寄存器两侧漏进垂直移位寄存器内造成的电荷积累，这期间的电荷积累会叠加到逐行下移的同列的各电荷包内。



行间转移式（IT）CCD的结构  
开始演示

*Smear*



## 2. 帧转移 (FT) 式

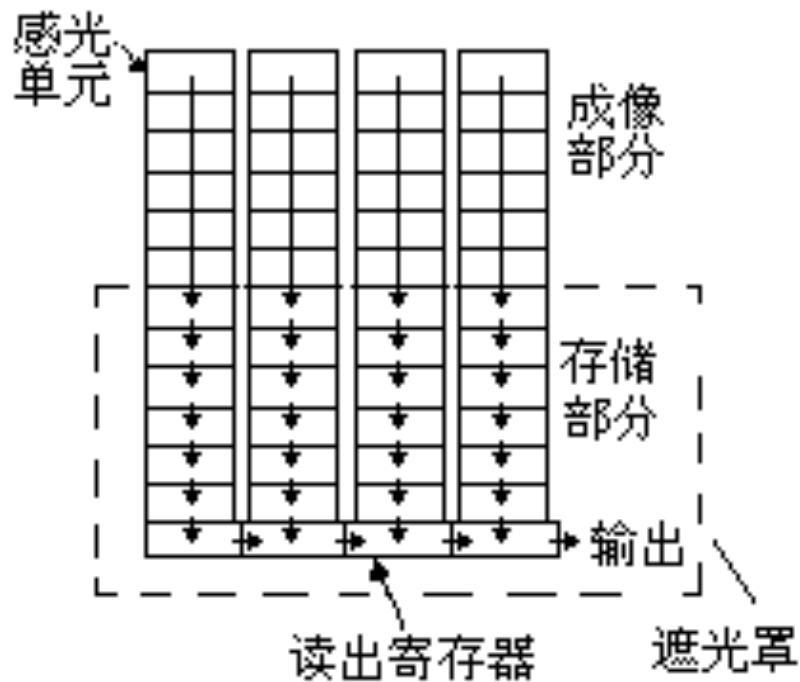
- 分三部分：成像部分（感光部分）、存储部分（遮光）、读出寄存器（水平移位寄存器，遮光），三部分在同一硅片上。

- 工作原理：

场正程期间，成像部分进行电荷积累，形成电子图像；

场消隐期间，成像部分电荷包迅速（0.5ms）全部向下移入存储部分。

- 在场正程每个行消隐期间：逐行转移到读出移位寄存器。
- 在场正程每个行正程期间：水平移位寄存器在时钟脉冲控制下输出一行的图像信号。





# 帧转移（FT）特点

- 帧转移式CCD的优点是成像部分电极结构简单；感光面光的利用率高；感光单元密，分解力高。
- 缺点：（1）器件总面积大；  
（2）要增设机械快门才能防止出现垂直拖道。
- 所谓机械快门就是在场消隐期间从成像部分向存储部分转移电荷包时，用转动的叶片挡住进入成像部分的光。否则，虽然从成像部分转移出电荷包的时间短，但由于没有遮光，垂直拖道是相当严重的。
- 由于帧转移式CCD要有机机械快门，故整体机构比较复杂。

### 3. 帧行间转移 (FIT) 式CCD摄像器件

- 是行间转移和帧转移的结合。上部结构和行间转移式相同，下部遮光的存储部分和水平移位寄存器与帧转移式相同。

在场消隐期间：

感光区的电荷包瞬间 ( $1\mu s$ )

转移到垂直移位寄存器，

然后又很快

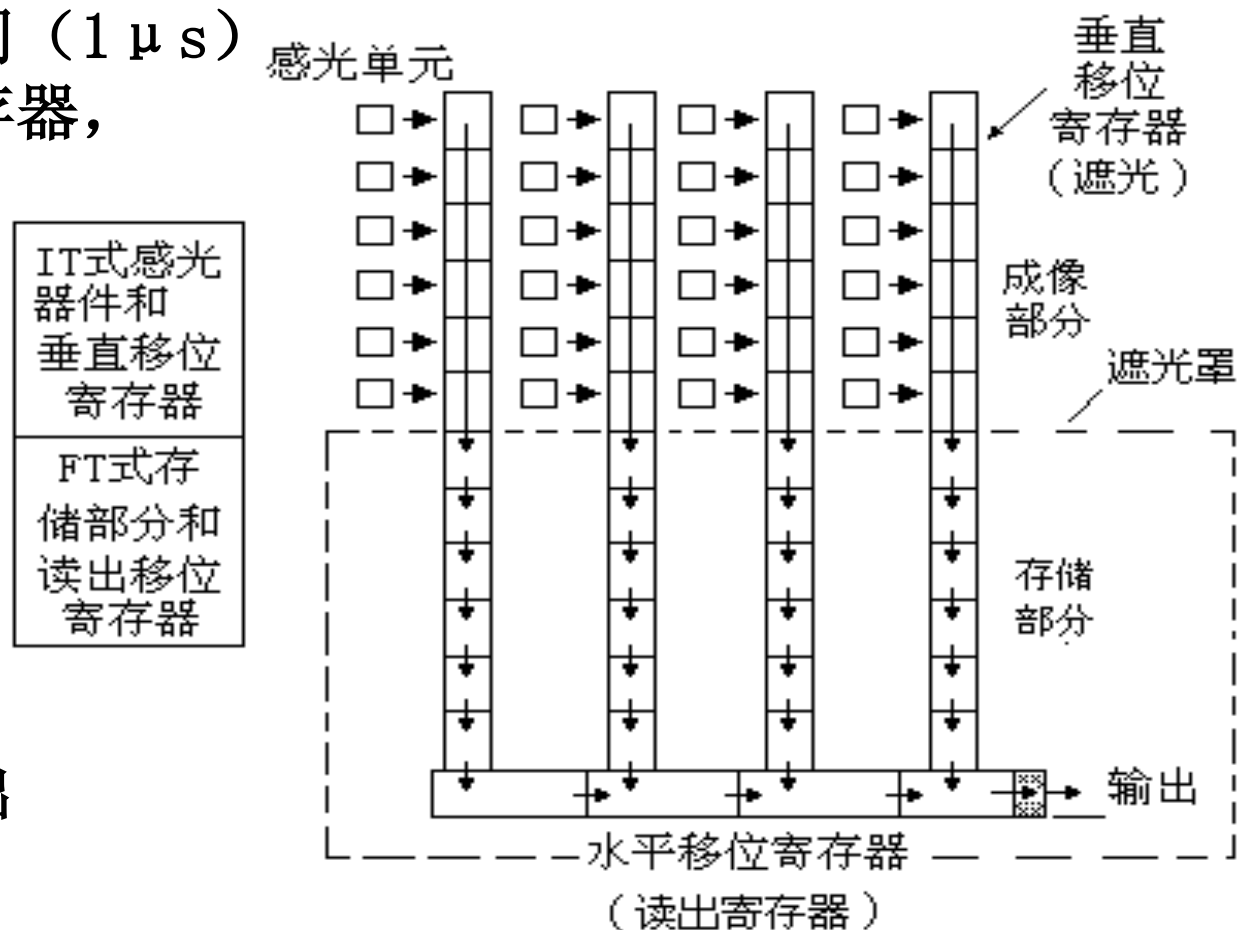
( $0.5ms$ 以内)

转移到存储部分。

在场正程：

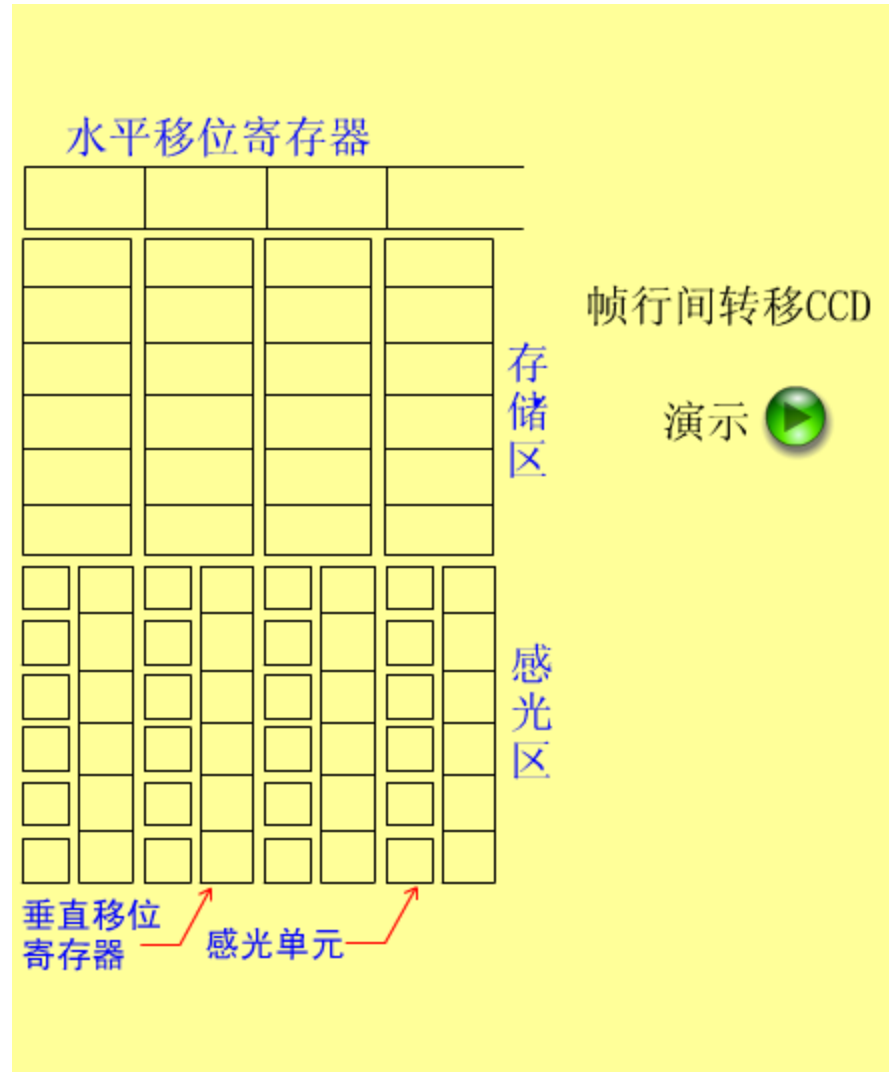
**成像部分**象IT CCD  
一样重新积累电荷，

**存储部分**象FT CCD  
一样一行一行地输出  
图像信号。



# 帧行间转移（FIT）特点

- 由于垂直移位寄存器是遮光的，所以和IT CCD一样不需要机械快门，
- 又由于FIT CCD的电荷包从垂直移位寄存器转移出去的时间约（0.5ms 以内）远短于IT CCD（IT 是在场正程一行一行慢慢地转移到水平移位寄存器，约需19ms）所以垂直拖道比IT CCD小得多。
- 在以上三种类型的CCD摄像器件中，帧行间转移式CCD的性能最佳。





# CCD器件电子快门的工作原理

- CCD感光单元积累电荷的时间有**场积累**和**帧积累**两种，即每个感光单元积累电荷的时间是一场（20ms）或一帧（40ms），拍摄静止景物清晰度高选用帧积累和一般活动景物惰性小选用场积累。
- 然而在拍摄快速运动的景物时，图像会变模糊。原因是摄像机拍摄物体时，是一帧（或一场）完成一次扫描，对运动物体来说，相当于 $1/25$ （ $1/50$ ）秒的电子快门时间，若是高速运动的物体，则 $1/25$ （ $1/50$ ）秒内移动了一段距离，摄像机将这段时间内运动景物产生的光电变换电荷积累一起，形成图象信号，作为一帧（或一场）进行显示，图象必然会产生模糊。运动越快，模糊程度越严重。
- **CCD器件摄像机附加了电子快门来拍摄高速运动的物体。**

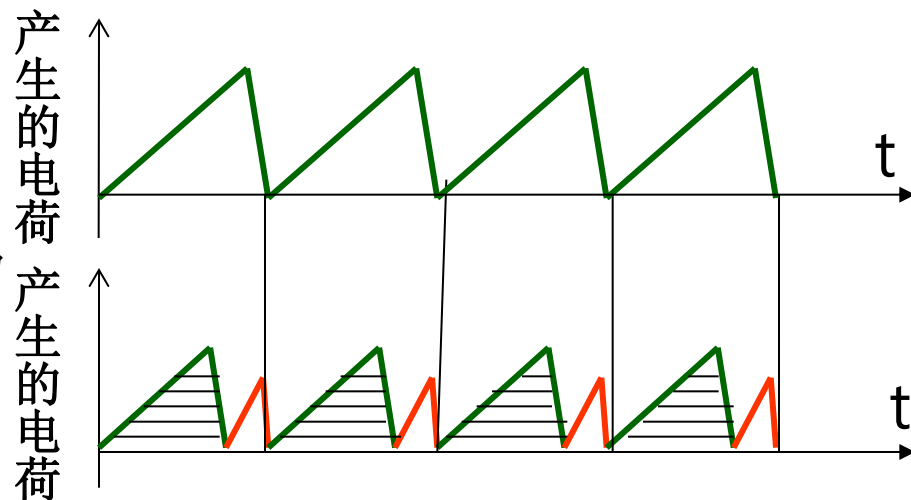
## 电子快门实现方法

将一场时间积累的电荷分两次读出：

**第一次**舍弃掉已经积累的电荷，舍弃后再重新积累，

**第二次**到达场消隐时再读出作为图像信号。

相当于缩短了入射光在CCD片上作用的时间，如同照相机减小了快门时间一样，这就是CCD器件电子快门的工作原理。





- 电子快门时间就是感光单元有效积累电荷的时间，有效积累电荷时间越短，电子快门的速度越快。
- 一般，有效电荷积累时间以多少个扫描行周期来设定电子快门，例如，用16H（16个行周期）作为有效电荷积累时间，则电子快门的时间为 $16/15625=1/976.56\approx 1/1000$ 秒。
- 一般CCD摄像机可选择的电子快门速度档次一般为：关、 $1/50s$ 、 $1/100s$ 、 $1/250s$ 、 $1/500s$ 、 $1/1000s$ 、 $1/2000s$  。
- 使用电子快门时，由于电荷的有效积累时间短，电荷包内电荷的数量少，输出图像信号的幅度小，信噪比下降，即摄像机的灵敏度降低。为了保证输出信号有足够的信噪比，电子快门只有在高照度下才适宜应用，快门时间越短，需要景物的照度越高。

# *Electronic Shutter*

1/60sec.



1/1000sec.





## 二、CMOS摄像器件

CMOS互补性氧化金属半导体

(Complementary Metal-Oxide Semiconductor)

- 一般，最基本的**CMOS**图像传感器是以一块杂质浓度较低的**P**型硅片作衬底，用扩散的方法在其表面制作两个高掺杂的**N+**型区作为电极，即**场效应管的源极和漏极**，再在硅的表面用高温氧化的方法覆盖一层二氧化硅(**SiO<sub>2</sub>**)的绝缘层，并在源极和漏极之间的绝缘层的上方蒸镀一层金属铝，作为**场效应管的栅极**。最后，在金属铝的上方放置一光电二极管，这就构成了最基本的**CMOS**图像传感器。

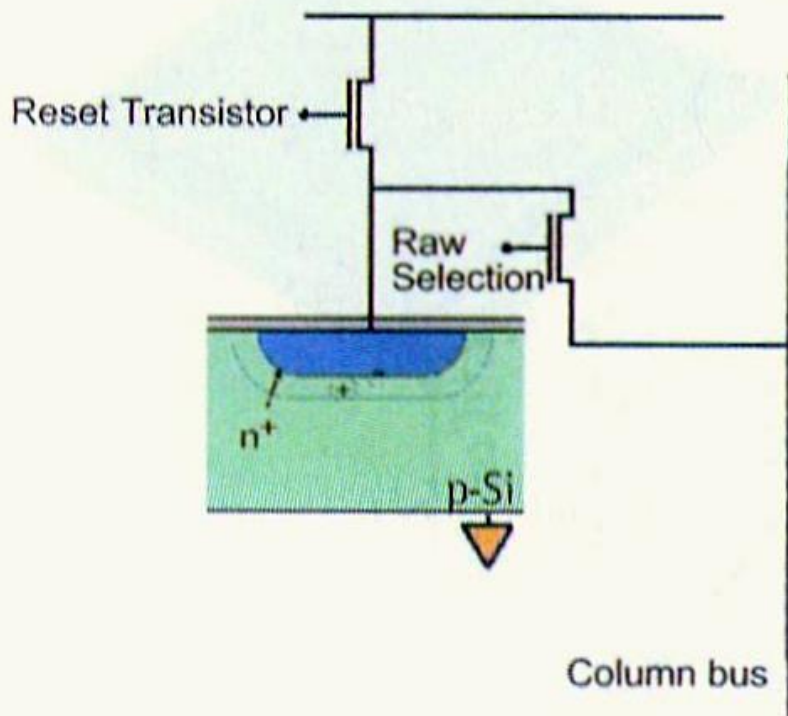
# CMOS电荷的产生

CMOS光电传感器工作时，p型硅衬底和源极接电源负极，漏极接电源正极。当没有光线照射时，源极和漏极之间无电流通路，输出节点无电压输出。当光线照射到金属铝上方放置的光敏元件上时，由于光子的激发，在源极和漏极之间的p型硅衬底上表面积累电荷，从而形成电流通路，在输出节点上产生电压。由于光生电荷的数量与光强度成正比，在输出节点产生的电压也与光强成正比。

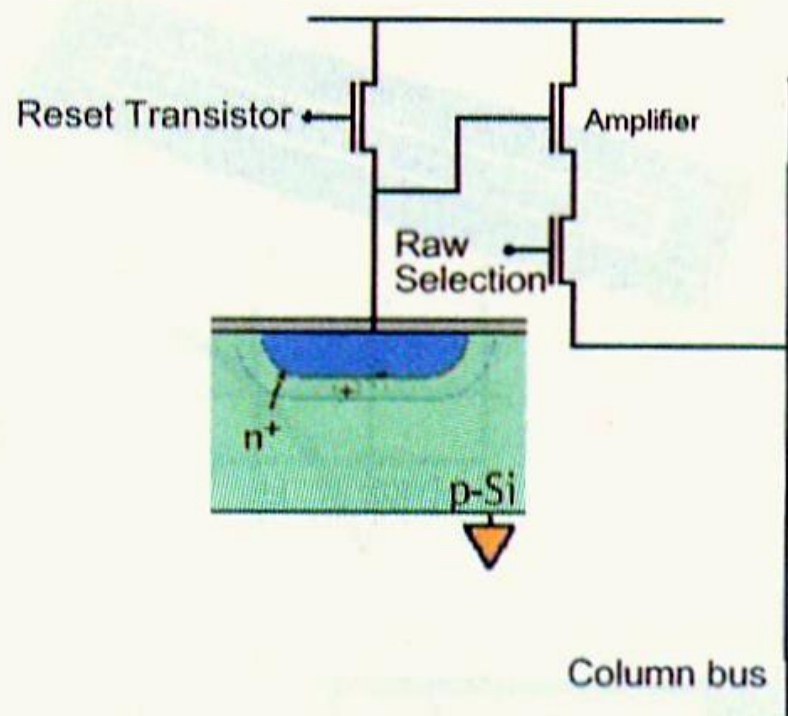
# CMOS信号的输出

- CMOS像元中产生的电荷信号在像元内部被直接转化为电压信号，当选通开关开启时直接输出，这也是CCD和CMOS之间最大的差别。

目前大多数的CMOS都采用有源像元，每个像元中都有三个晶体管，分别用以放大信号、地址选通和复位，因此也被称为3T CMOS。



无源光敏结构



3T有源光敏结构

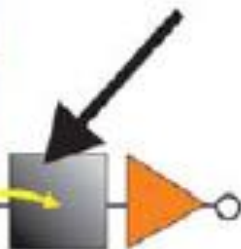
早期的CMOS芯片无法将放大器放在像素位置以内，称为无源光敏机构，CMOS像元主要由光电二极管和地址选通开关构成。

# CCD

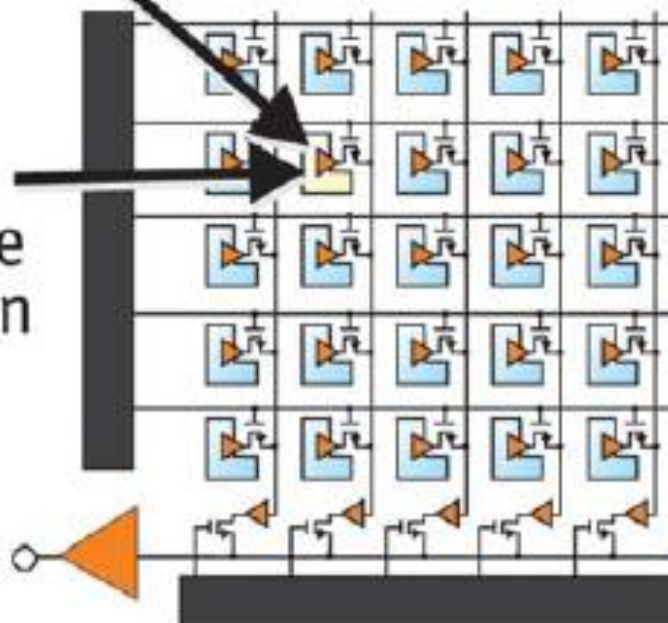


photon to electron  
conversion

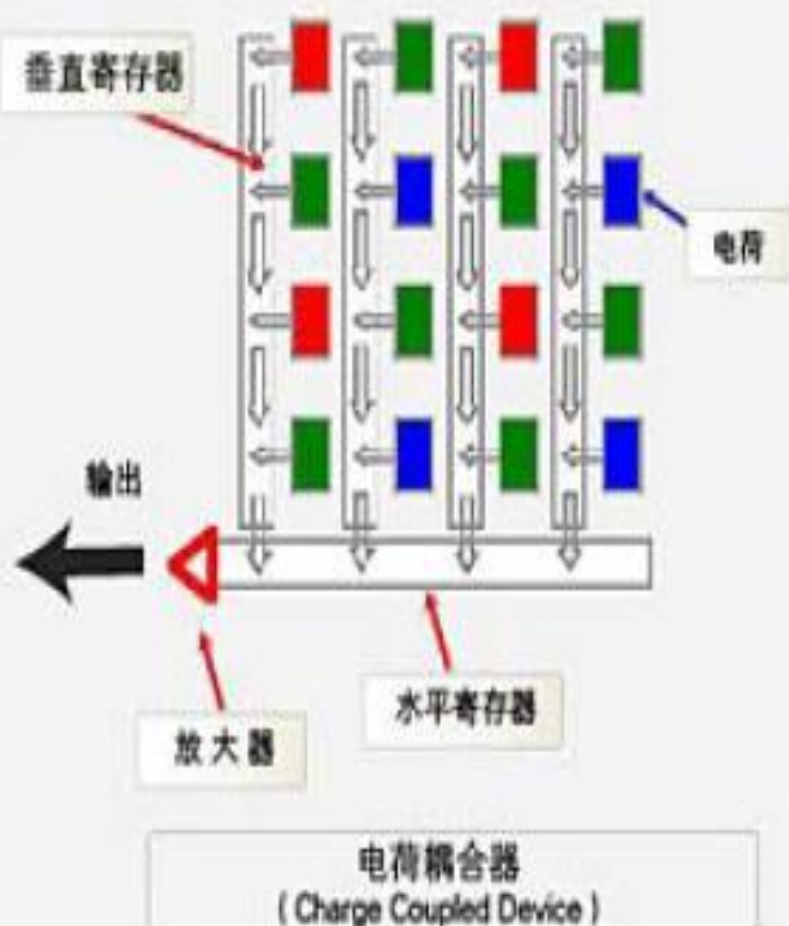
charge  
to voltage  
conversion



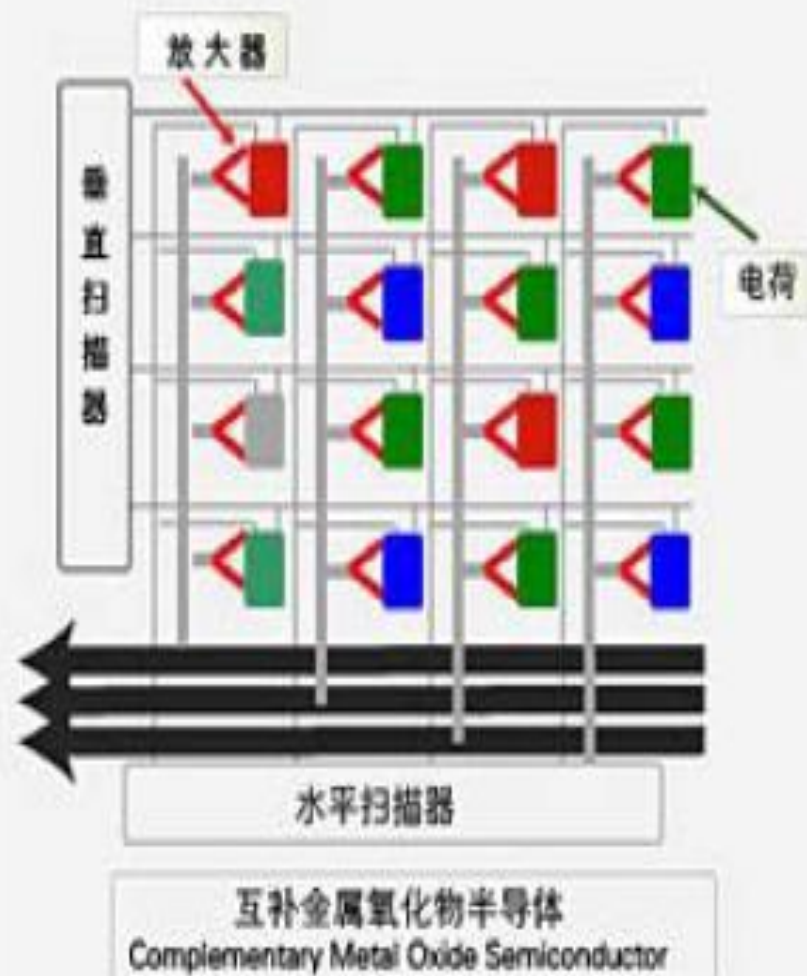
# CMOS



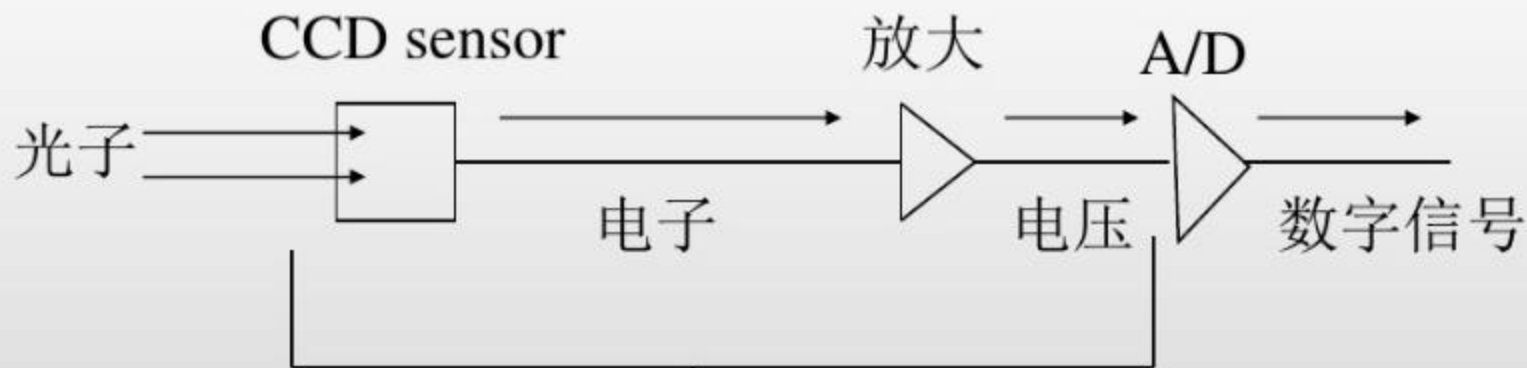
CCD影像传感器原理图



CMOS影像传感器原理图



## CCD与CMOS的光电转换示意图



CMOS 芯片可以在像素上同时完成这两个步骤

由上面两图可看出：CMOS和CCD最大的区别是 CMOS的电荷到电压转换过程是在每个像素上完成的



# CCD与CMOS芯片的异同点

- (1) 成像过程：两者的光电转换原理相同，主要差别在于信号的读出过程不同。CCD仅有一个(或少数几个)输出节点统一读出，其信号输出的一致性非常好；而CMOS中每个像素都有各自的信号放大器，各自进行电荷-电压转换，信号输出的一致性较差。CCD为了读出整幅图像信号，要求输出放大器的信号带宽较宽，而在CMOS中，每个像元中的放大器的带宽要求较低，大大降低了芯片的功耗，但数以百万的放大器的不一致性却带来了更高的固定噪声。



# CCD与CMOS芯片的异同点

- (2) 集成性：CCD中的电路和器件是集成在半导体单晶材料上，工艺较复杂。其仅能输出模拟电信号，需要后续的地址译码器、模数转换器、图像信号处理器处理，并且还需要提供三组不同电压的电源和同步时钟控制电路，集成度非常低。而CMOS能将图像信号放大器、信号读取电路、A/D转换电路、图像信号处理器及控制器等集成到一块芯片上，集成度高，芯片级相机的概念也是从这里产生的。

## CCD与CMOS芯片的异同点

- (3) 速度：CCD采用这个光敏元输出，只能按规定的程序输出，速度较慢。CMOS有多个电荷-电压转换器和行列开关控制，读出速度较快。此外，CMOS的地址选通开关可随机采样，实现子窗口输出，在仅输出子窗口图像时可获得更高的速度。

# CCD与CMOS芯片的异同点

- (4) 噪声：CCD采用PN结或二氧化硅隔离层隔离噪声，成像质量相对CMOS有一定的优势。而CMOS的集成度较高，各元件、电路之间距离很近，干扰较为严重，噪声对图片质量影响很大。
- (5) 功耗：CCD需要3路电源来满足特殊时钟的需求，功耗较大；CMOS只需一个电源供电，功耗仅为CCD的1/10。

# CCD与CMOS的比较

特点	CCD	CMOS	性能	CCD	CMOS
输出的像素信号	电荷包	电压	响应度	中	较高
芯片输出的信号	电压 (模拟)	数据位 (数字)	动态范围	高	中
相机输出的信号	数据位 (数字)	数据位 (数字)	一致性	高	中
填充因子	高	中	快门一致性	快速，一致	较差
放大器适配性	不涉及	中	速度	中到高	更高
系统噪声	低	中到高	图像开窗功能	有限	非常好
系统复杂度	高	低	抗拖影性能	高（可达到 无拖影）	高
芯片复杂度	低	高	时钟控制	多时钟	单时钟
相机组件	PCB + 多 芯片+镜头	单芯片 + 镜头	工作电压	较高	较低

# CCD与CMOS的比较

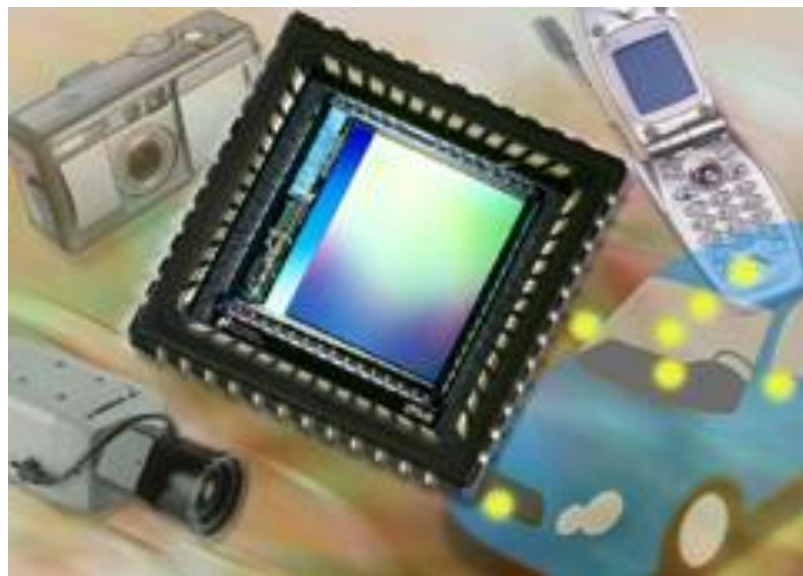
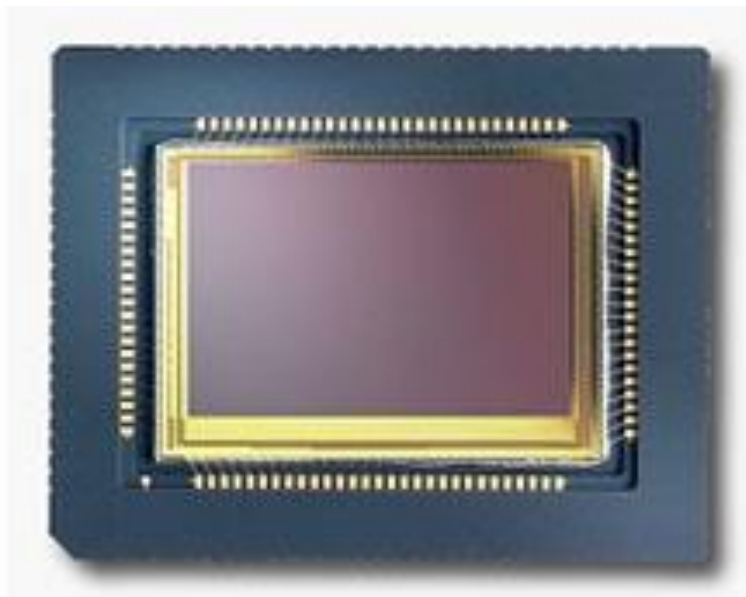
类别		CCD	CMOS
原理 相关	填充因子	高	中
	感光量体现	电荷	电压
	信号输出形式	（电压）模拟	位（数字）
	灵敏度	优	良
	动态范围	优	良
	一致性	高	低，中
	窗口选择	受限	可扩展
	抗光晕	高-无	高
	信号匹配程度	高	低
	快门一致性	快（FF除外）	差
	速度	中-高	较高

# CCD与CMOS的比较

类别		CCD	CMOS
生产相关	生产线	专用，技术复杂	通用，在存储器生产线基础上
	集成情况	低，需要外部多片芯片配合实现	高，单片高度集成
应用相关	相机开发难度	高	低
	系统功耗	高（1）	低（1/10~1/100）
	体积	大-中	小
	成本	高	低
	抗辐射能力	弱	强

# CMOS的特色:

- (1) 是单芯片成像系统。
- (2) 这种片上摄像机用标准逻辑电源电压工作，仅消耗几十毫瓦功率，功耗极低。
- (3) 可实现随机读取图像信息。



# CMOS摄像机的应用

由于CMOS摄像机节能、高度集成、成本低等独特优点，使CMOS摄像机具有很多应用领域：

- (1) 移动通信：与手机集成，成为移动可视电话；
- (2) 视频通信：视频聊天、可视电话、视频会议；
- (3) 保安监控：大量安装的电子眼，且CMOS摄像机可做到纽扣大小，用于隐型摄像；
- (4) 作数码相机；
- (5) 用于游戏市场；



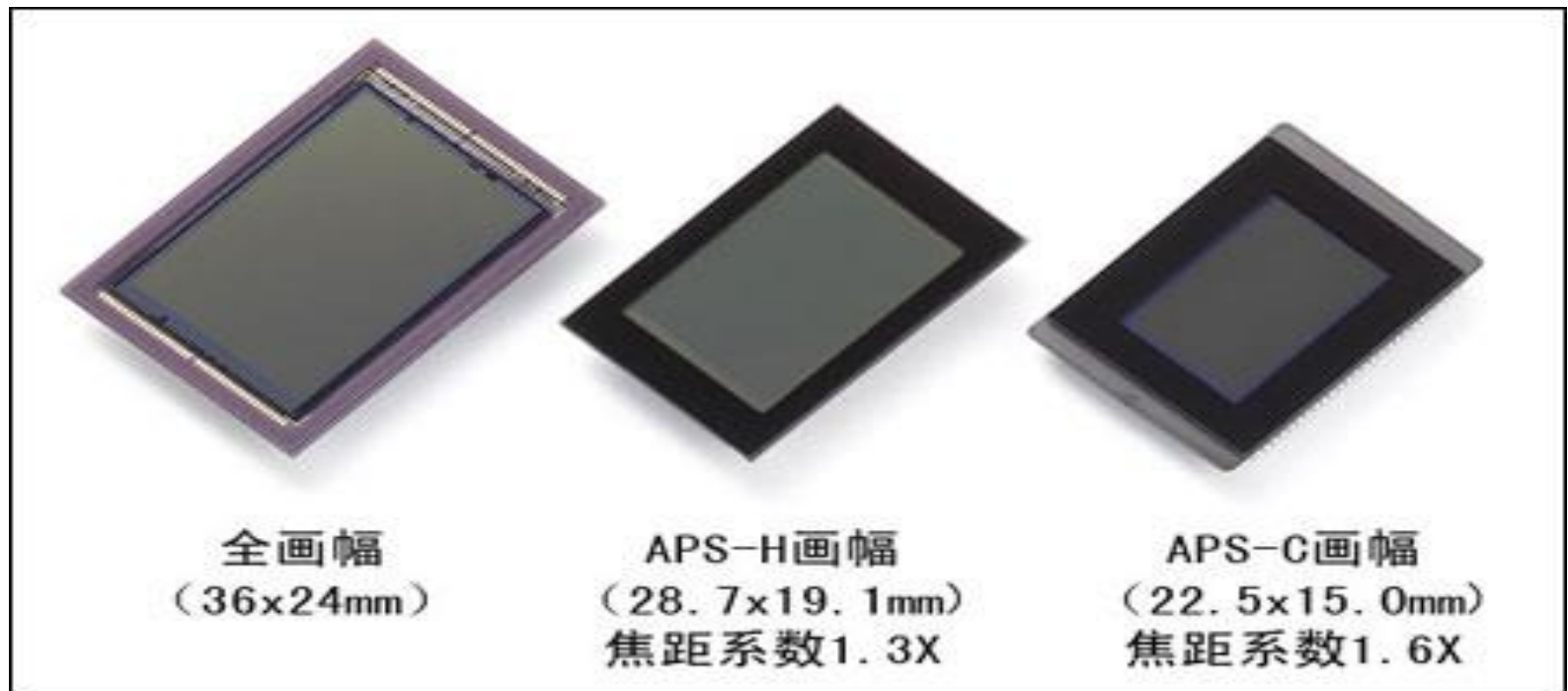
# CMOS摄像机的应用

- (6) 用在汽车上, 如可设计成汽车自动防撞系统、防出轨系统, 大大提高汽车运行的安全性;
- (7) 用于生物特征识别, 如指纹识别仪等;
- (8) CMOS摄像机在医学领域有很好的发展空间, 如可以在患者身体安装小“硅眼”, 应用药丸式摄像机等;
- (9) 用于需要高速更新的影像应用领域: 航天、核试验、快速运动、瞬态过程等。

## CCD与CMOS的尺寸

- 影像传感器尺寸大小的指标，比如1/2英寸、2/3英寸、3/4英寸等，这些都表示这台数码相机所用的CCD或CMOS影像传感器的对角线尺寸大小。
- 对于CCD或CMOS长宽比为4:3的消费型数码相机，业界通用的规范是1英寸大小 = 长12.8mm × 宽9.6mm = 对角线为16mm的4:3比例传感器所对应的面积。例如1/2英寸传感器的对角线就是1英寸的一半，为8mm，1/4英寸就是1英寸的1/4，对角线长度即为4mm。
- 对于数码单反相机来说，为了兼容传统相机镜头，CCD或CMOS的长宽比不是4:3，而是与传统135胶片相同的3:2，所以就不以英寸作为表达方式，而改为35mm相机全画幅（面积36 × 24mm）来直接称呼，比这小一号的称为 APS画幅（25.1 × 16.7mm）或APS-C画幅（23.7 × 15.6mm）。
- 感光器件的面积越大，也即CCD/CMOS面积越大，捕获的光子越多，感光性能越好，信噪比越低。

- 佳能的EOS-1D X Mark II的CMOS尺寸为36 x 24mm 达到全画幅感光，报价达到4万左右



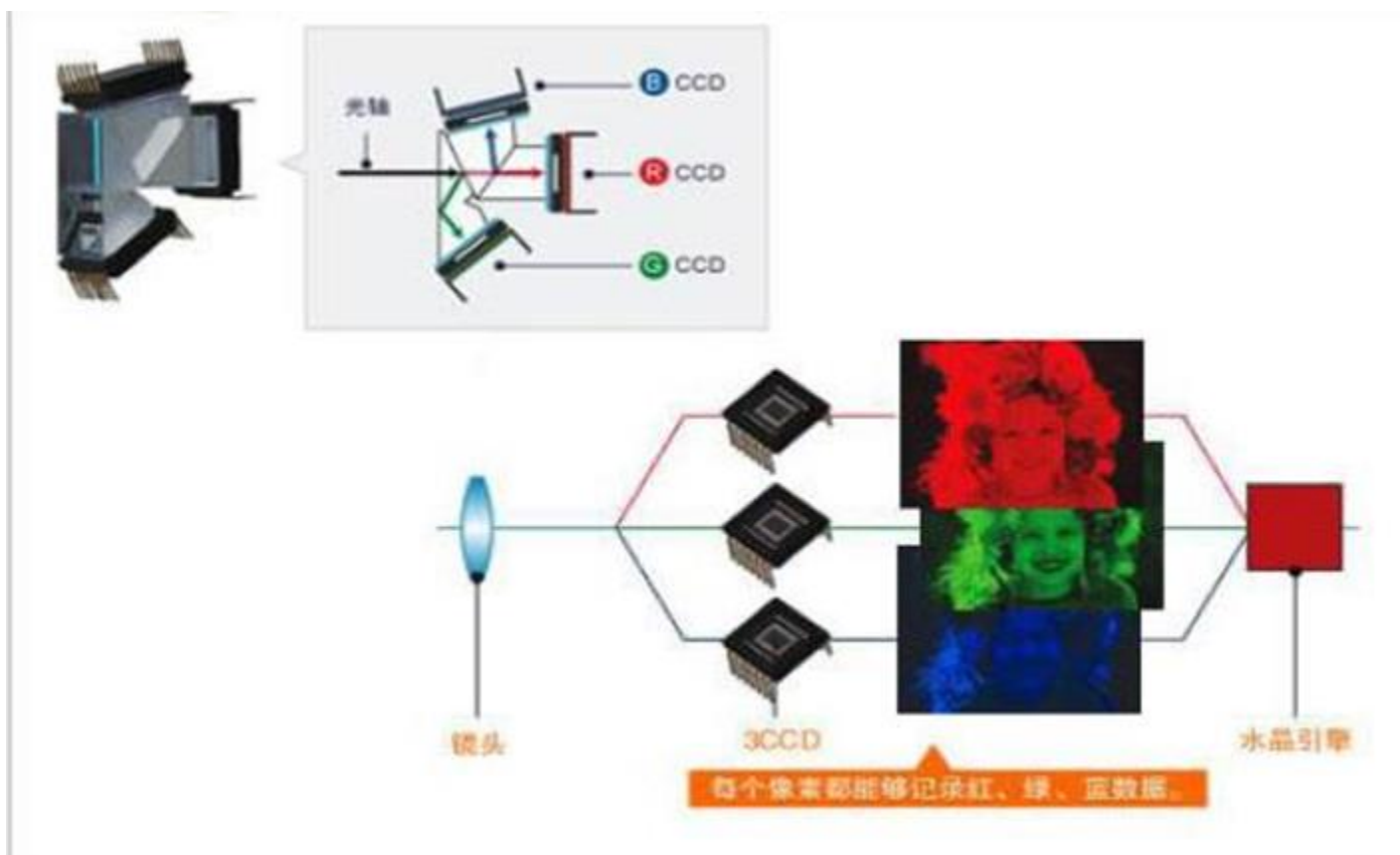
# 发展趋势

早期CMOS比CCD成像质量差，响应速度慢，人们主要采用CCD摄像机。近年来，采用有源像素结构等一系列技术措施，使CMOS的成像质量与CCD相接近，而在功能、功耗、尺寸和价格等方面优于CCD。

**CMOS成为摄像器件的主流！**

# 彩色CCD摄像机

- 广播电视中常用三片式彩色CCD摄像机



微型镜头

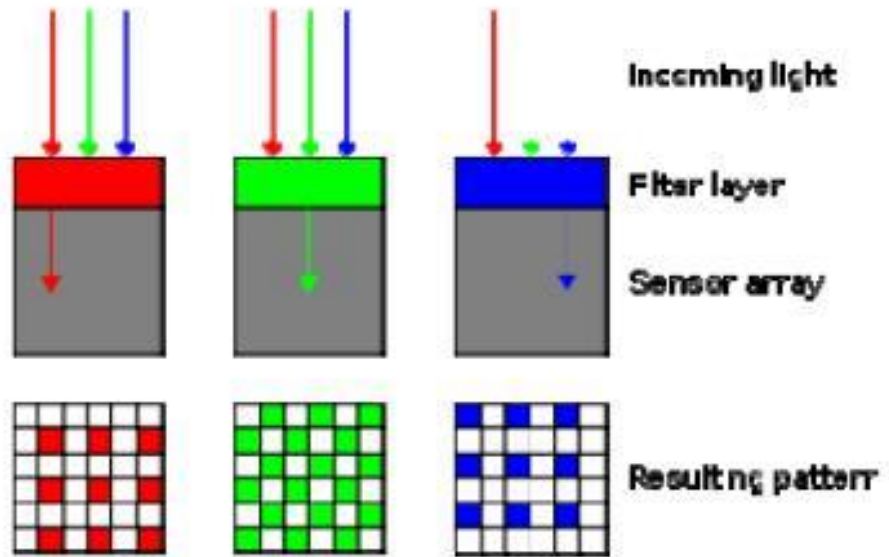
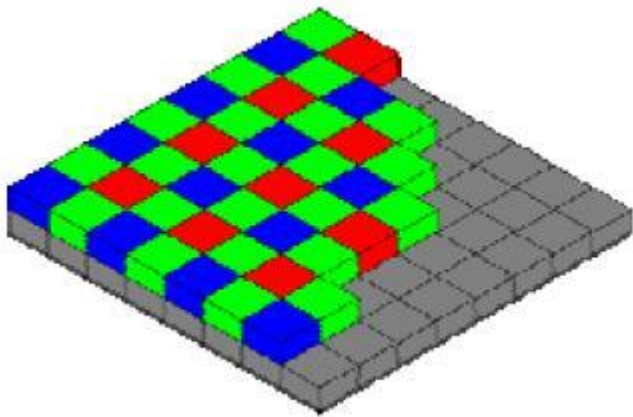
分色滤色片

感光层

www.IT168.com

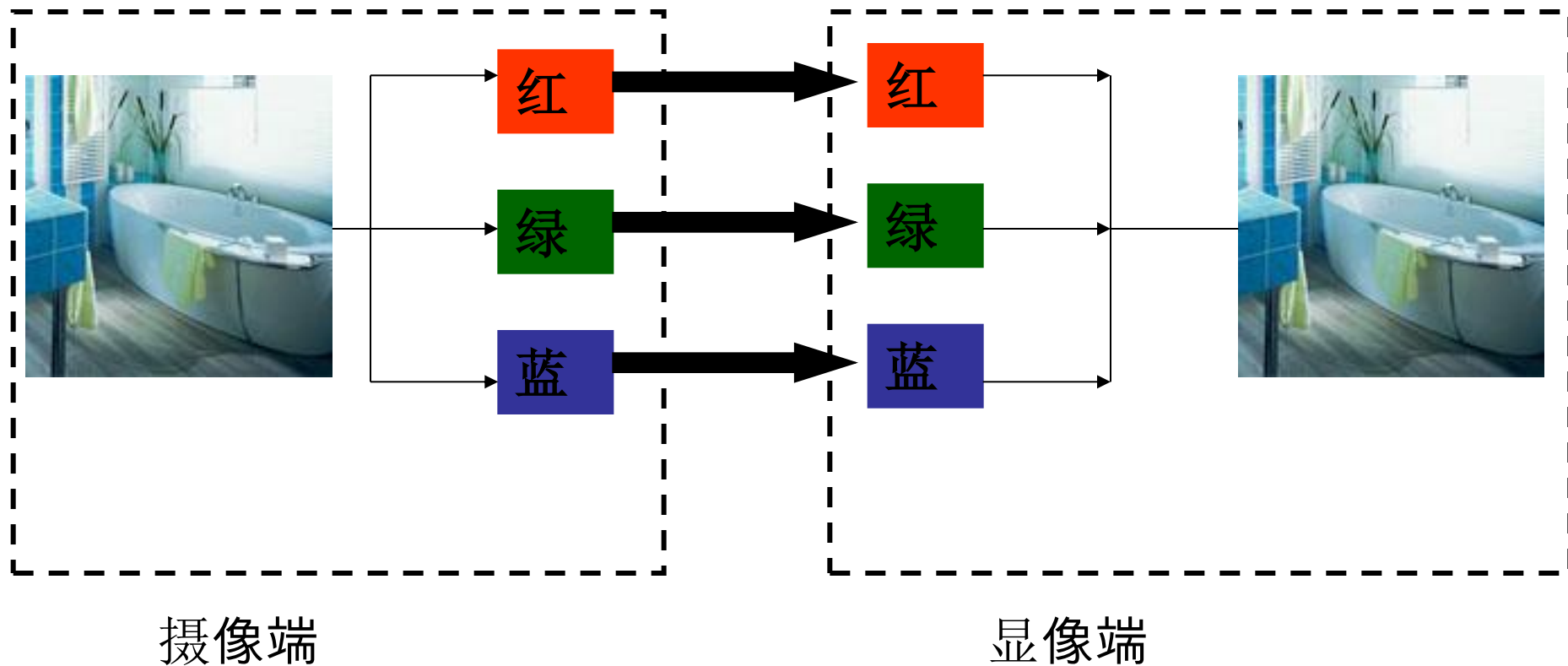
# 单片式彩色CCD

- 拜尔滤镜 (Bayer filter mosaic)  
由Eastman Kodak的博士Bryce E. Bayer提出
- 过滤的模式为50%绿色, 25%红色和25%蓝色, 所以也成为GRGB或者RGGB



- 绿色元件是红色或蓝色元件数的两倍, 是为了模仿人眼对绿色光更敏感的原理.

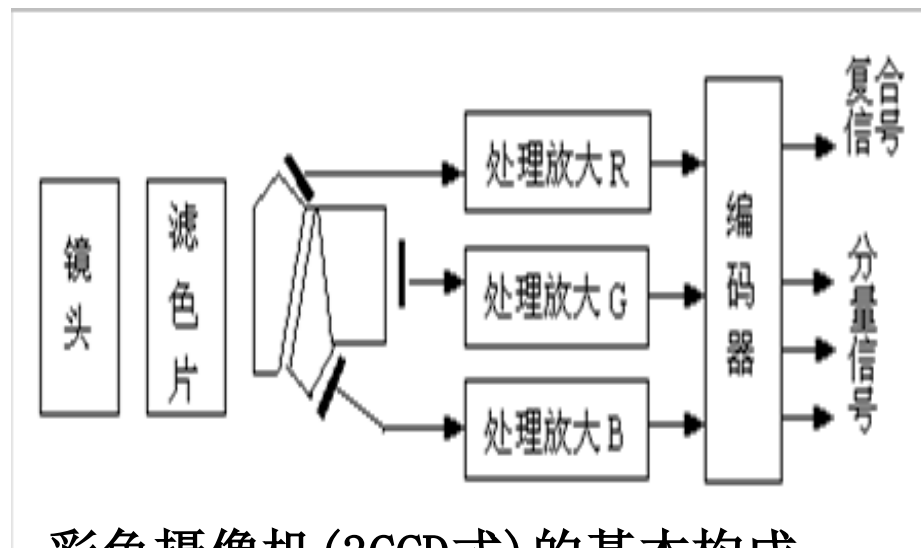
## 3.2 三基色信号的产生





### 3.2.1 彩色摄像机的基本构成

- 在彩色电视系统中, 由彩色电视摄像机完成将彩色光图转换成三基色信号的任务.

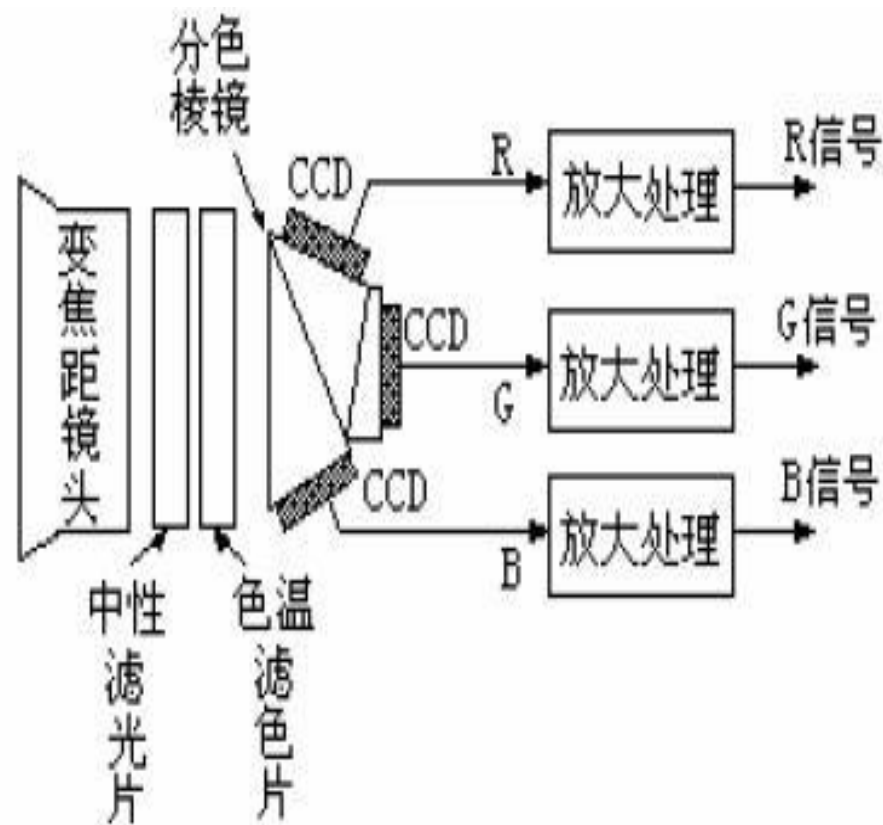


彩色摄像机(3CCD式)的基本构成

- 其中, 镜头、中性滤光片、色温滤色片和分色棱镜组成了摄像机的光学系统; CCD摄像器件及信号放大处理电路等则构成了信号系统。

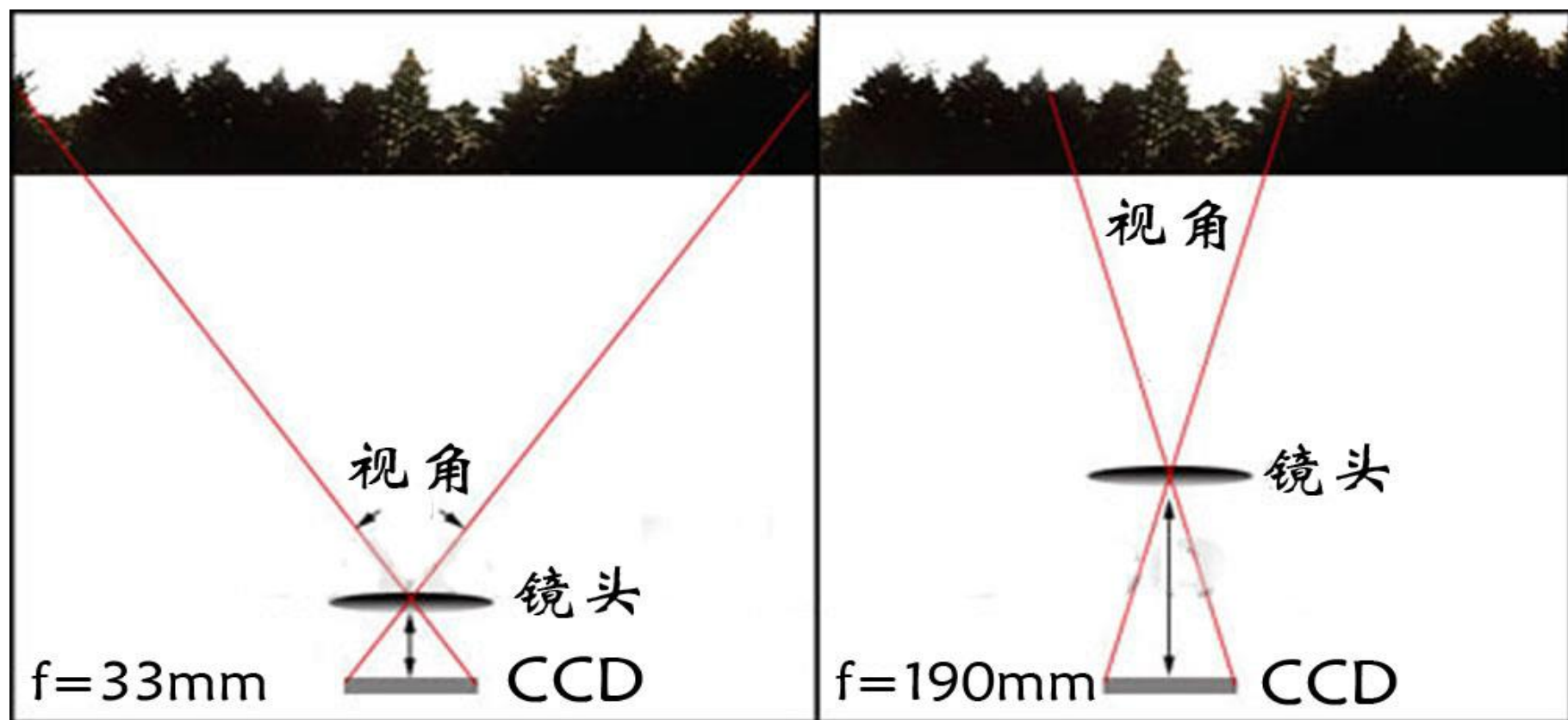
# 1. 镜头

- 在摄像机的光学系统，镜头通常采用变焦距镜头
- 其作用是将被摄景物的**反射光线聚焦成像**在CCD摄像器件的感光面上，并通过调节其焦距，从而改变视场角



# 焦距与视场角

- 焦距越短，视场角越大，取景范围越大
- 变焦距镜头的最长焦距与最短焦距的比称为**变焦比**。



# 【光圈】

---

光圈我们可以理解为相机镜头里面的一个洞（专业词语称为“孔径”），通过改变“洞口”的大小，我们可以控制射入镜头光线的多少——“洞口”越大，摄入镜头的光线越多；反之，“洞口”越小，摄入镜头的光线越少。

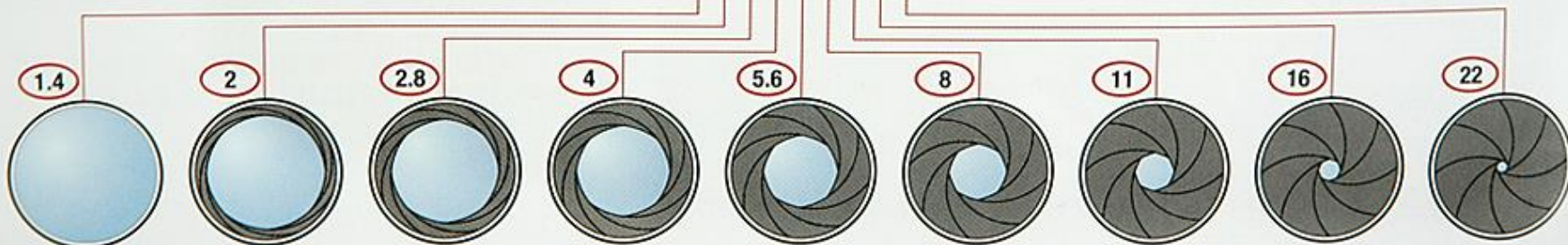
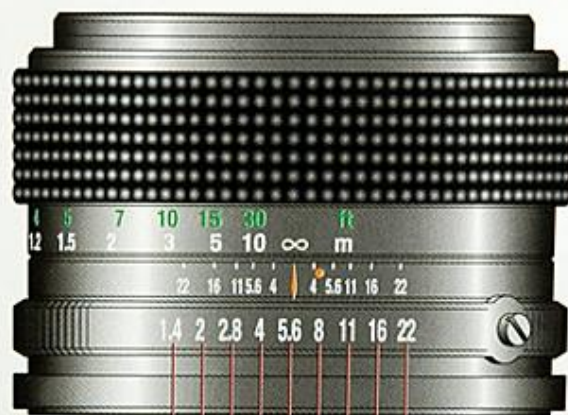
光圈孔径的大小可以用数值来表示，如F/1、F/1.4、F/2、F/2.8、F/4、F/5.6、F/8、F/11、F/16、F/22、F/32等。孔径越大，数值越小，它们成反比关系。

光圈的大小通常是通过镜头上的光圈调节环或机身上的光圈调节转盘来调节。若是通过机身上的光圈调节转盘来调节，光圈数值会在液晶屏幕上显示。

光圈不仅决定着通光量的大小，而且决定着画面的景深（虚实关系），对画面效果影响很大。

大光圈  
(大f档)

小光圈  
(小f档)

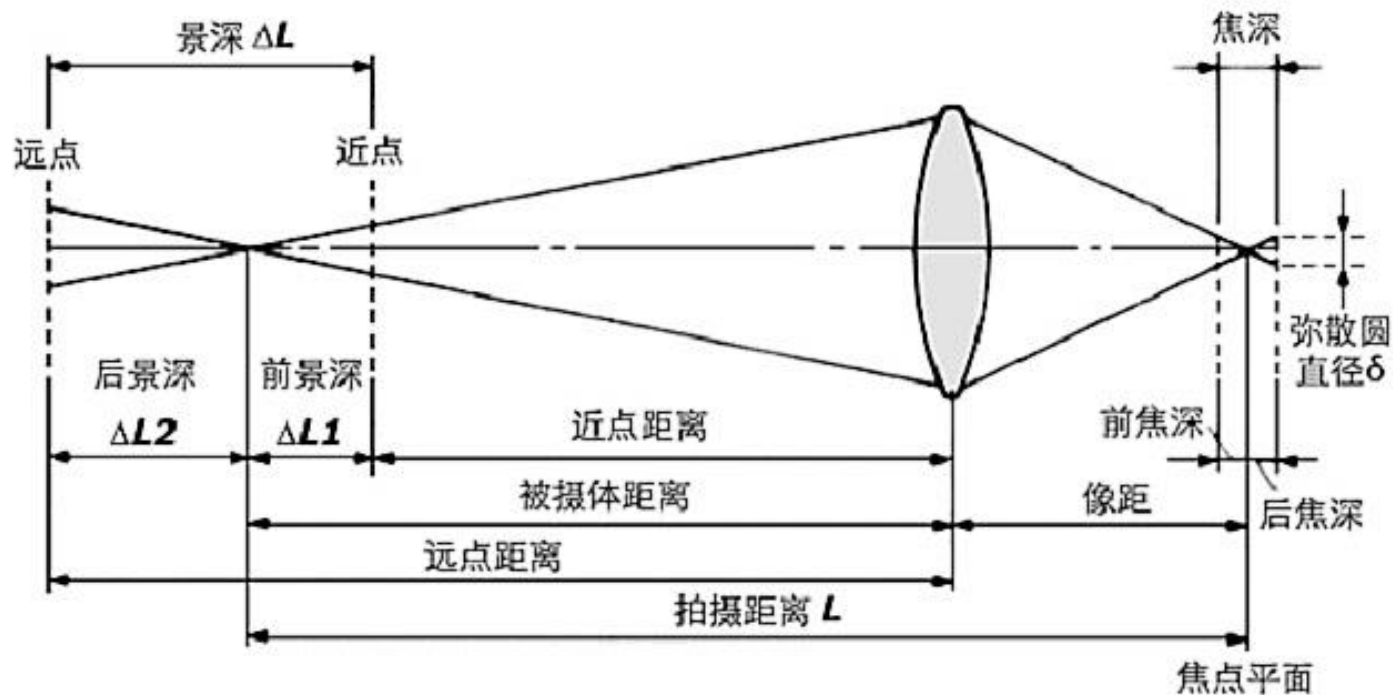


↑光圈图

# 景深

- ▶ 景深：景深是指在摄影机镜头或其他成像器前沿着能够取得清晰图像的成像器轴线所测定的物体距离范围。

# 景深及景深计算示意图



► 景深：景深是指在摄影机镜头或其他成像器前沿，能够取得清晰图像的成像器轴线所测定的物体距离范围。

下面是景深的计算公式。其中：

$$\text{前景深 } \Delta L_1 = \frac{F\delta L^2}{f^2 + F\delta L}$$

$$\text{后景深 } \Delta L_2 = \frac{F\delta L^2}{f^2 - F\delta L}$$

$$\text{景深 } \Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = \frac{2f^2 F\delta L^2}{f^4 - F^2 \delta^2 L^2}$$

- $\delta$  —— 容许弥散圆直径
- $f$  —— 镜头焦距
- $F$  —— 镜头的拍摄光圈值
- $L$  —— 对焦距离
- $\Delta L_1$  —— 前景深
- $\Delta L_2$  —— 后景深
- $\Delta L$  —— 景深

---

## 【影响景深的三个的因素】

●光圈改变景深——光圈越大，景深越小。光圈越小，景深越大。

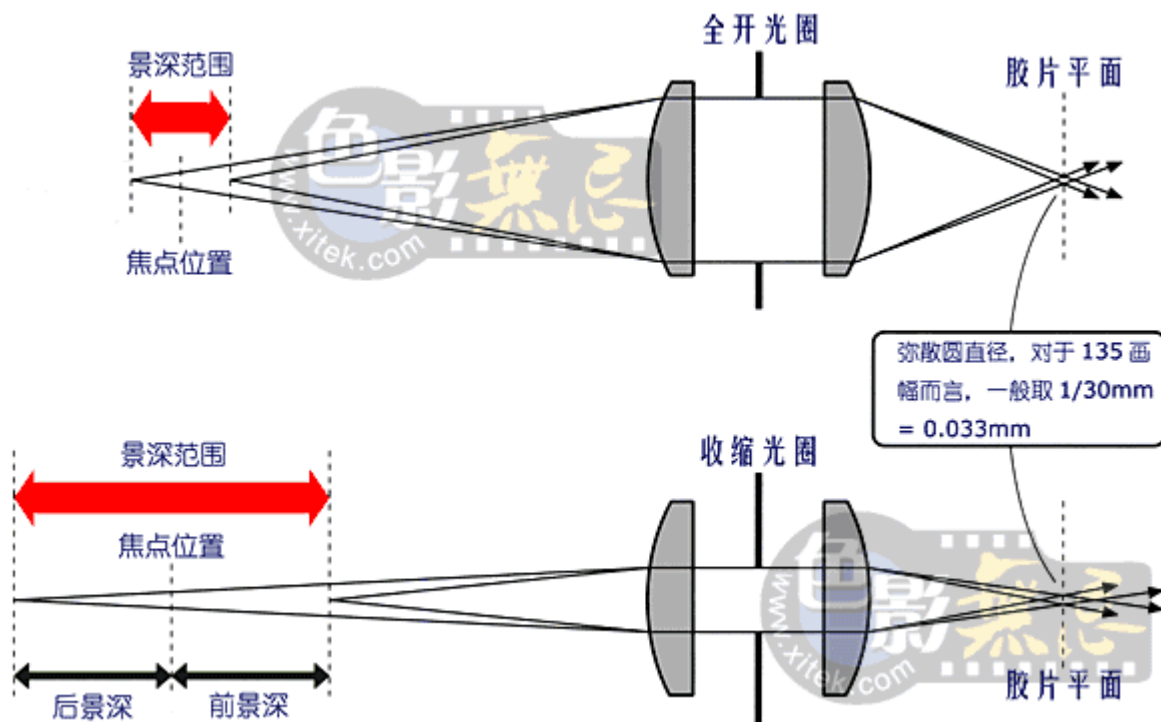
●焦距改变景深——焦距越长，景深越小。焦距越短，景深越大。

●摄距改变景深——摄距越近，景深越小。摄距越远，景深越大。



# 景深与光圈

- 光圈改变景深——光圈越大，景深越小。光圈越小，景深越大。



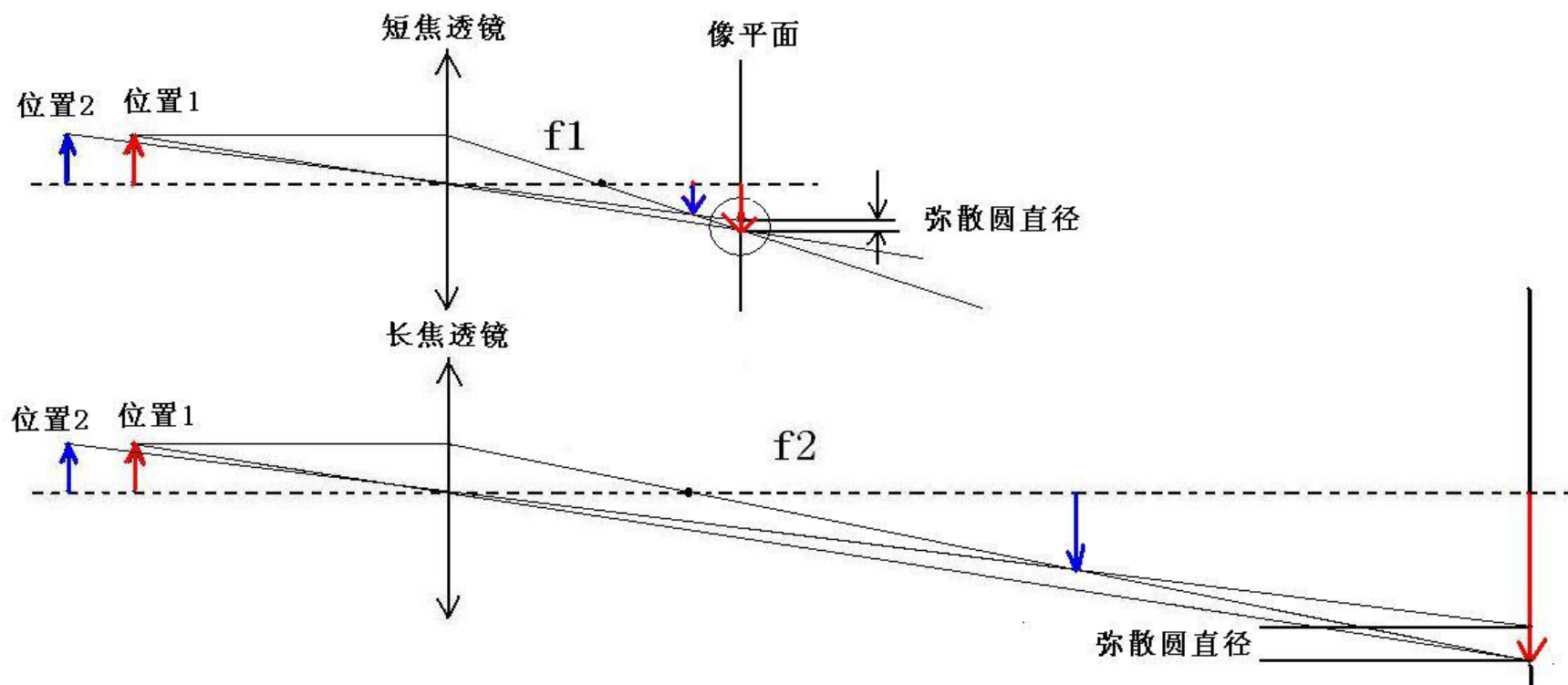


## 光圈与景深的关系

用50毫米镜头拍摄的，但左边的用到的是光圈16，而右边的用到的是光圈1.4。

# 景深与焦距

焦距改变景深——焦距越长，景深越小。焦距越短，景深越大。



## 2. 白平衡

- 摄像机在拍摄无色调的景物（如白色、灰色的物体）时要求输出的R、G、B三个基色信号的电平相同，称为**摄像机的白平衡**。



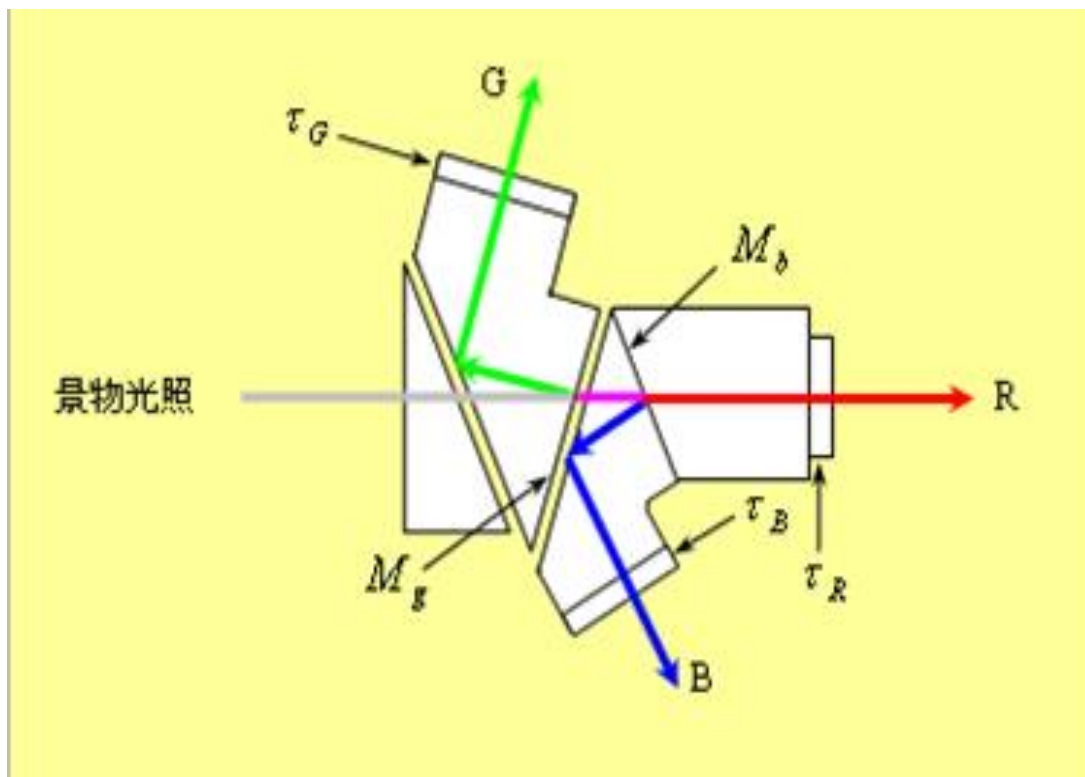
正常的图像

两种方式：

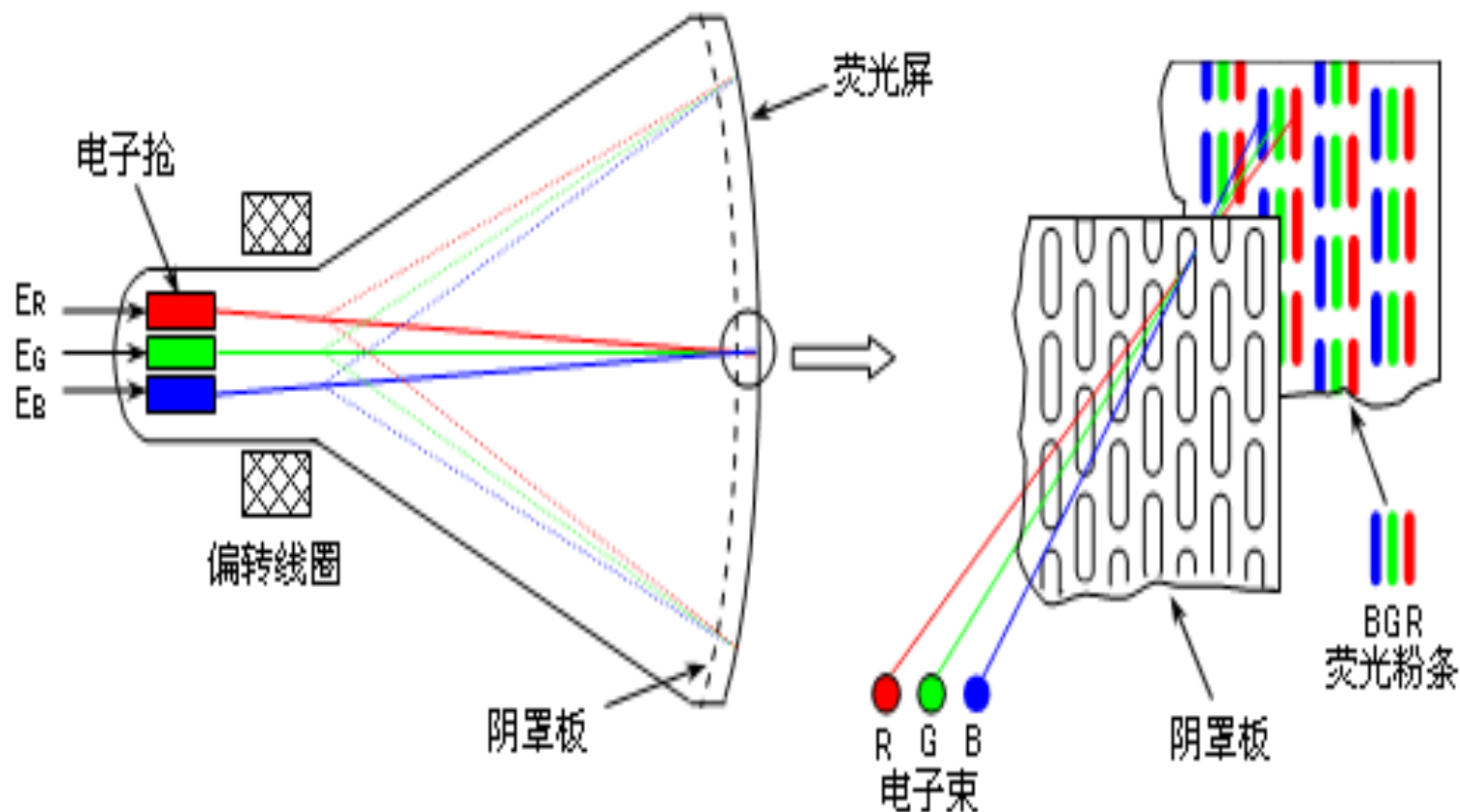
调整红、蓝基色信号放大器的增益  
色温滤色片

### 3. 分色棱镜

- 分色棱镜的作用是将景物成像的彩色光按照一定的光谱响应分解为三路基色光，或者说将彩色图像分解成为三个基色图像，然后分别投射到相应的摄像器件的光敏面上。



### 3.2.2 彩色显像管显像基本原理



显像管的阴极激励电压与电子束的强度呈指数曲线，因此显像管的电光转换特性是非线性的。

## 3.3色度匹配和彩色校正

- 3.3.1 色度匹配
- 彩色电视系统要求正确重现景物的彩色，即要求在显像端人眼感觉到的色调、饱和度和景物相同。

$$F = R_e(R_e) + G_e(G_e) + B_e(B_e)$$

# 3.3.1 色度匹配

显像端：

$P(\lambda)$  为光源的辐射功率谱， $\rho(\lambda)$  为被摄景物的反射特性， $P(\lambda)\rho(\lambda)$  为进入镜头的色光的功率谱。

为混配出外貌和功率谱为  $P(\lambda)\rho(\lambda)$  相同的色光，要求的三色系数为

$$R_e = \int_{380}^{780} P(\lambda)\rho(\lambda)\bar{r}_e(\lambda)d\lambda$$

$$G_e = \int_{380}^{780} P(\lambda)\rho(\lambda)\bar{g}_e(\lambda)d\lambda$$

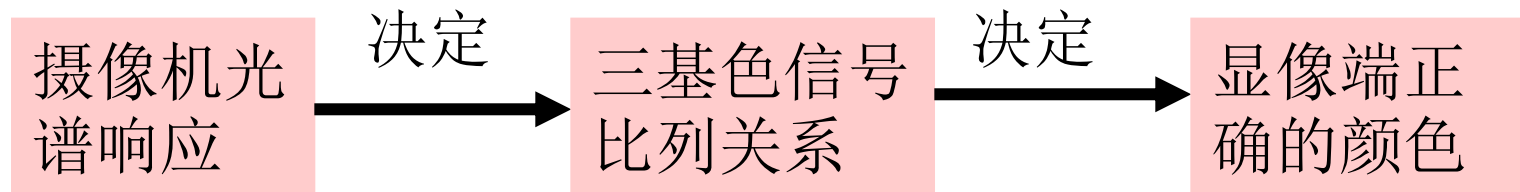
$$B_e = \int_{380}^{780} P(\lambda)\rho(\lambda)\bar{b}_e(\lambda)d\lambda$$

$\bar{r}_e(\lambda)$ 、 $\bar{g}_e(\lambda)$ 、 $\bar{b}_e(\lambda)$  为显像三基色的分布色系数。



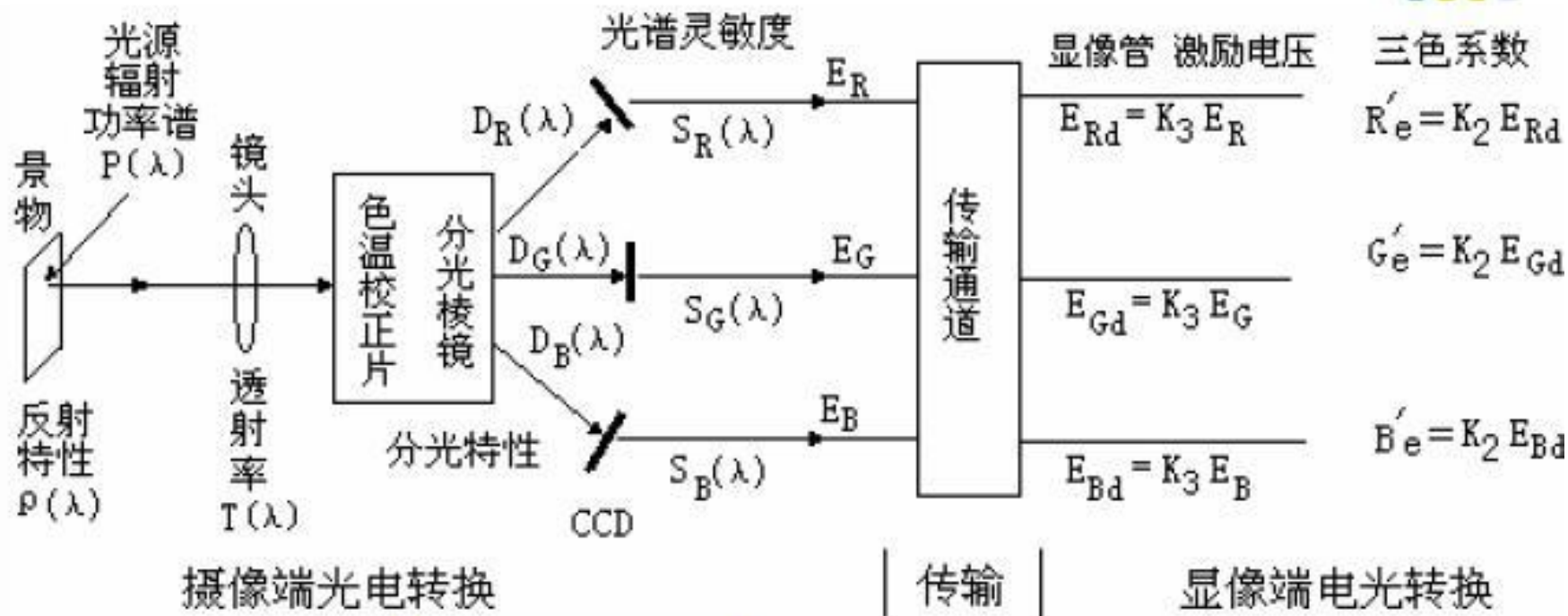
# 3.3.1色度匹配

- 彩色电视系统实现正确的彩色复现，关键是进入彩色摄像机的色光能够得到什么样比例关系的三基色信号。



- 在彩色电视系统中，将能达到正确彩色重现的分色光谱响称为理想摄像光谱响应特性。

# 3.3.1 色度匹配



$$E_R = K_R \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) T(\lambda) D_R(\lambda) S_R(\lambda) d\lambda$$

$$E_G = K_G \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) T(\lambda) D_G(\lambda) S_G(\lambda) d\lambda$$

$$E_B = K_B \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) T(\lambda) D_B(\lambda) S_B(\lambda) d\lambda$$

# 3.3.1 色度匹配

摄像机产生的三基色信号电压为：

$$E_R = K_R \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) T(\lambda) D_R(\lambda) S_R(\lambda) d\lambda$$

转换系数

照明光源的  
辐射功率谱

被摄景物的光  
谱反射特性

$$E_G = K_G \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) T(\lambda) D_G(\lambda) S_G(\lambda) d\lambda$$

摄像机镜头的  
光谱透射率

分光棱镜三路基色  
光的光谱特性

$$E_B = K_B \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) T(\lambda) D_B(\lambda) S_B(\lambda) d\lambda$$

三个摄像器件的  
光谱灵敏度

摄像机  
综合光谱  
响应特性

摄像机综合光谱响应特性为：

$$\bar{r}_0(\lambda) \text{ 、 } \bar{g}_0(\lambda) \text{ 、 } \bar{b}_0(\lambda)$$

摄像机产生的三个基色电压可简写为：

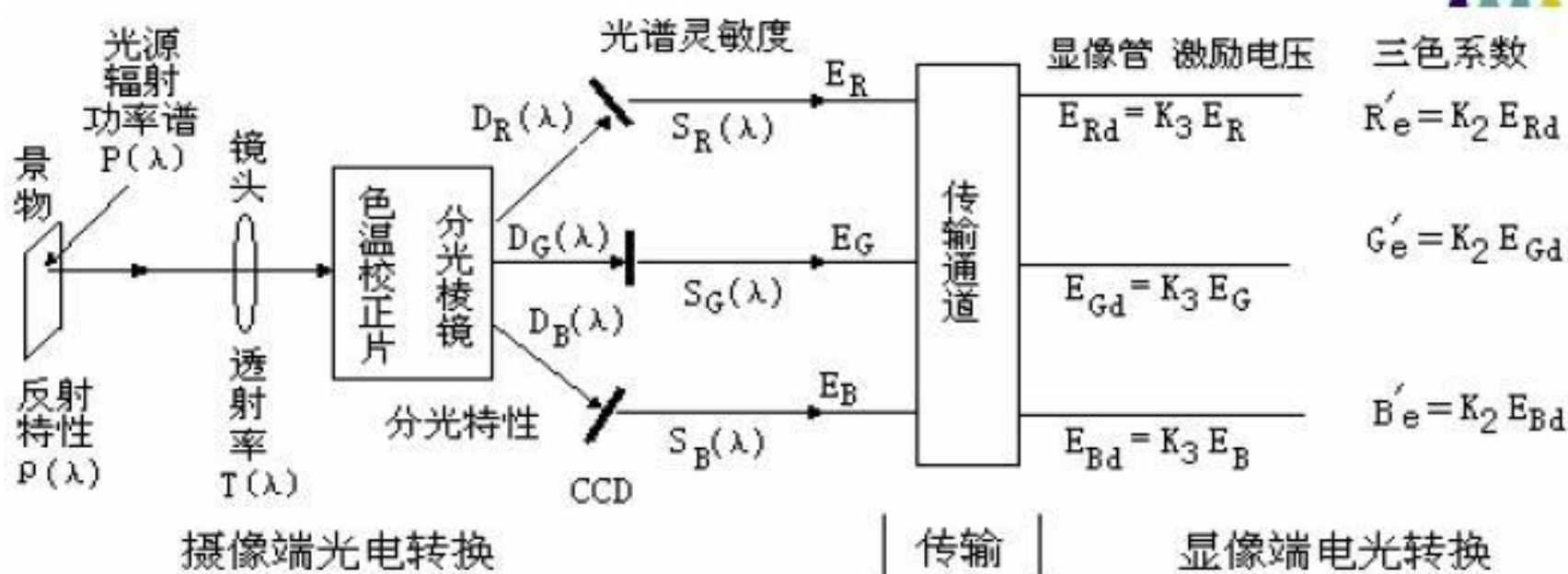
$$E_R = K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{r}_0(\lambda) d\lambda$$

$$E_G = K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{g}_0(\lambda) d\lambda$$

$$E_B = K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{b}_0(\lambda) d\lambda$$

- 其中：  $P(\lambda)$  为光源的辐射功率谱，  $K_R=K_B=K_G=K_1$
- $\rho(\lambda)$  为被摄景物的反射特性，
- $P(\lambda) \rho(\lambda)$  为进入镜头的色光的功率谱

# 实际的三系数



$$R'_e = K_2 E_{Rd} = K_2 K_3 E_R = K_2 K_3 K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{r}_0(\lambda) d\lambda$$

$$G'_e = K_2 E_{Gd} = K_2 K_3 E_G = K_2 K_3 K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{g}_0(\lambda) d\lambda$$

$$B'_e = K_2 E_{Bd} = K_2 K_3 E_B = K_2 K_3 K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{b}_0(\lambda) d\lambda$$

为了达到色度匹配, 实际的三色系数必须等于或正比于各自所要求的三色系数, 即

$$\begin{aligned} R'_e &= K_2 K_3 K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{r}_0(\lambda) d\lambda = R_e = \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{r}_e(\lambda) d\lambda \\ G'_e &= K_2 K_3 K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{g}_0(\lambda) d\lambda = G_e = \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{g}_e(\lambda) d\lambda \\ B'_e &= K_2 K_3 K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{b}_0(\lambda) d\lambda = B_e = \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{b}_e(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

# 3.3.1 色度匹配

- 摄像机的综合光谱响应特性（三条基色光分光响应曲线）与显像三基色相应的三条混色曲线成正比（形状一样），就称为彩色电视系统色度匹配

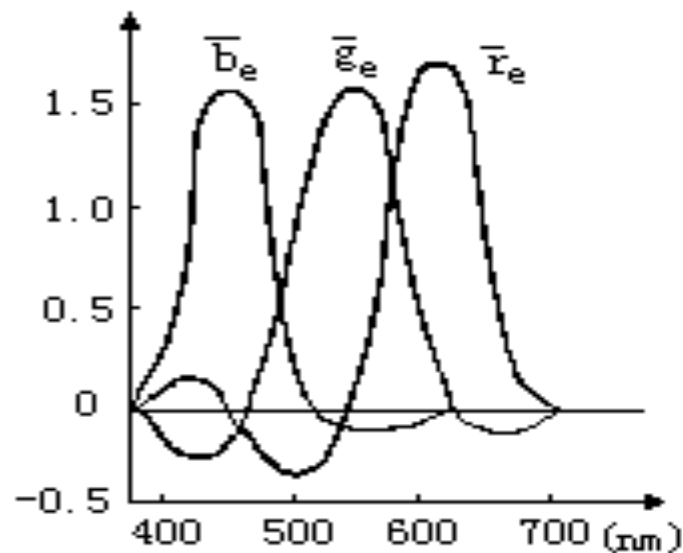
$$\bar{r}_0(\lambda) = K\bar{r}_e(\lambda)$$

$$\bar{g}_0(\lambda) = K\bar{g}_e(\lambda)$$

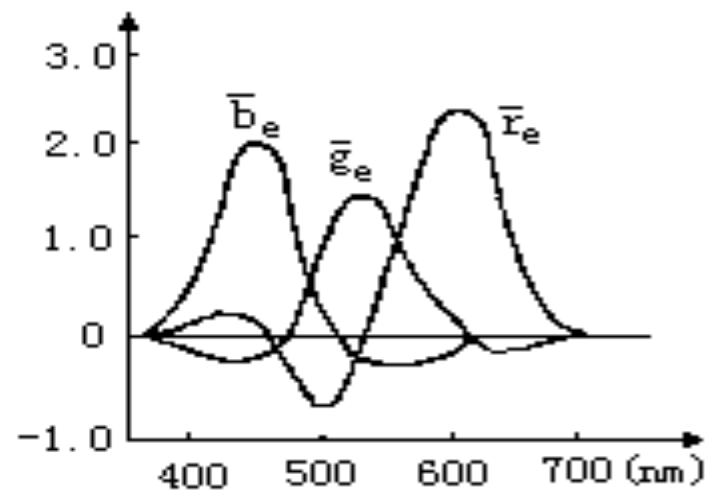
$$\bar{b}_0(\lambda) = K\bar{b}_e(\lambda)$$

# 说明:

- 镜头的透摄特性、摄像器件的光谱灵敏度基本平坦，综合光谱响应特性主要指分光棱镜的分光特性；
- 正主瓣和负次瓣、正次瓣
- 显像管的电光转换特性是非线性的，经校正后，上述满足色度匹配的结论仍是正确的。



NTSC制

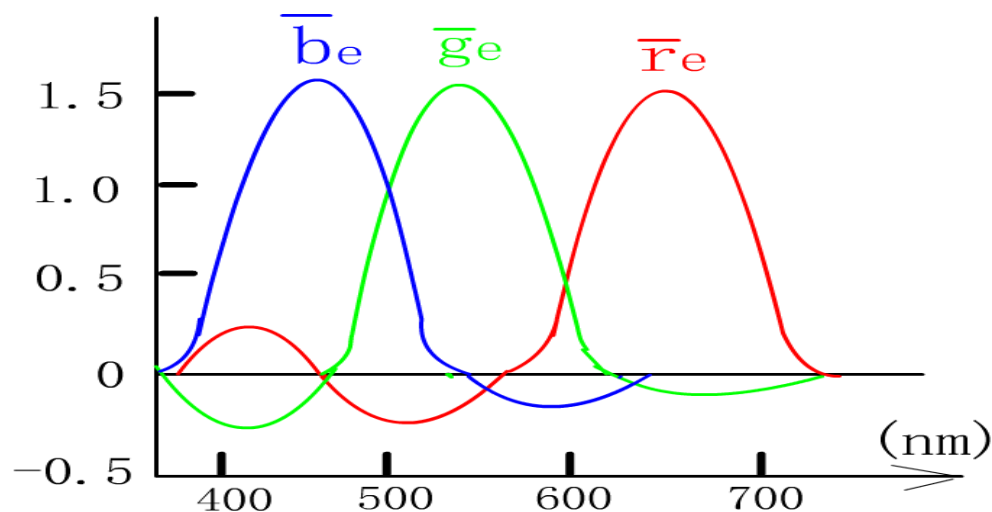


PAL制



## 3.3.2 彩色校正

- 显像三基色三条曲线除了有各自的正主瓣外，还都有负次瓣和正次瓣。
- 然而, 摄像机的分光特性只能给出正主瓣, 无法实现正次瓣, 更不可能给出负次瓣 (不存在负光)。因此无法实现准确的色度匹配. 为了解决这个问题, 通常采用彩色校正措施, 以提高彩色还原的准确度。

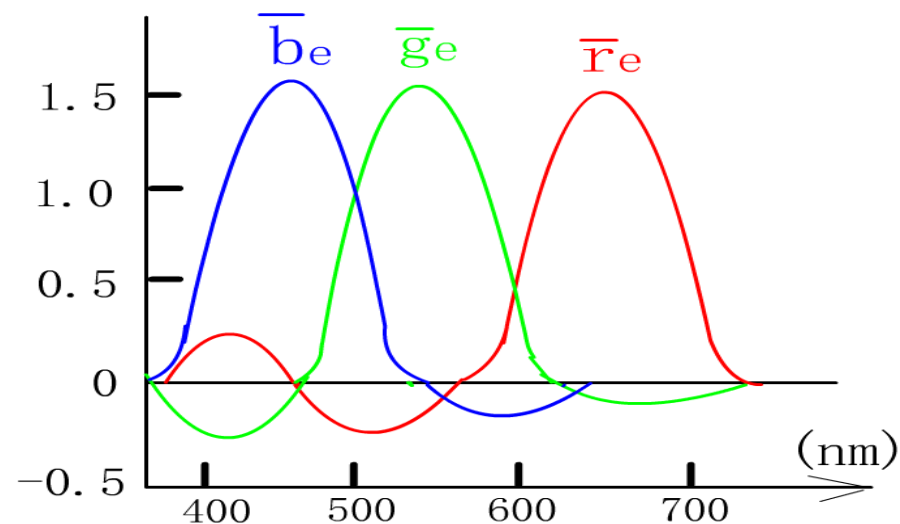


显像三基色混色曲线

## 10 彩色校正

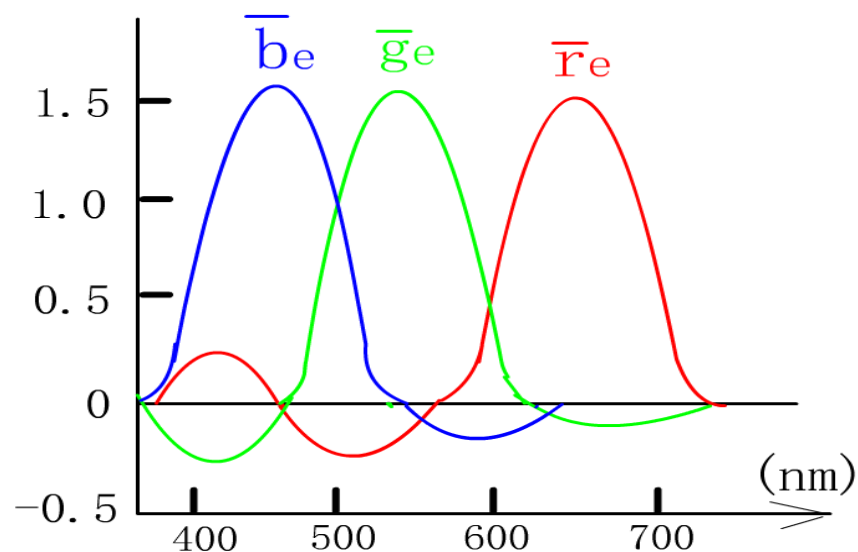
- **彩色校正**是通过对三个基色电信号的处理来弥补分光系统只取正主瓣的不足，以尽量达到色度匹配。
- 彩色校正原理（使用线性矩阵法）

（1）由于蓝色的负次瓣基本上在绿色的正主瓣的范围内，因此蓝路的负次瓣由绿色基色电压倒相再乘以合适的小于1的系数，加到兰色基色电压上加以补偿；



显像三基色混色曲线

- (2) 绿路有两个负次瓣，分别由红色和兰色基色电压倒相再乘以各自合适的小于1的系数，加到绿色基色电压上加以补偿；
- (3) 红路有负次瓣和正次瓣，负次瓣由绿色基色电压倒相再乘以合适的小于1的系数，加到红色基色电压上加以补偿；红色的正次瓣由兰色基色电压乘以合适的小于1的系数，加到红色基色电压上加以补偿。



显像三基色混色曲线

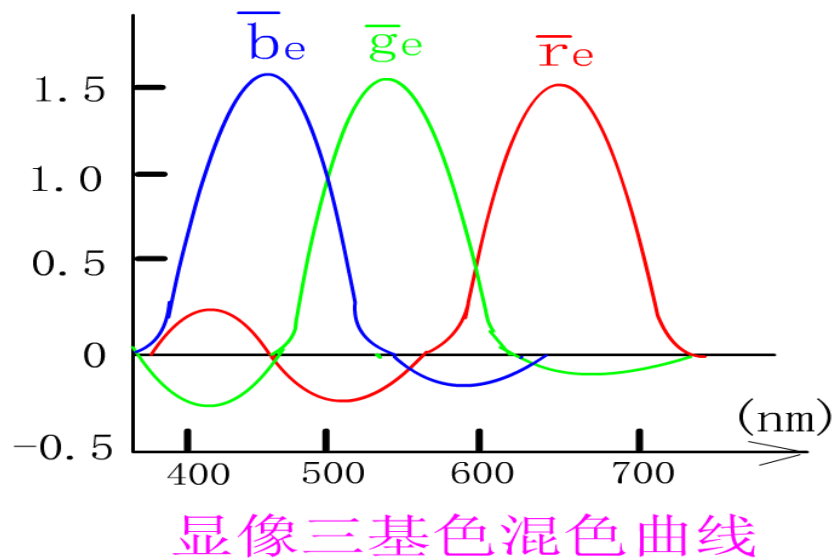
- 因此实际摄像机输出的三个基色电压是经过彩色校正后的，它和摄像器件输出的基色电压的关系为：

$$E_{R校} = a E_R - b E_G + c E_B$$

$$E_{G校} = -d E_R + e E_G - f E_B$$

$$E_{B校} = -g E_R - h E_G + i E_B$$

$$\begin{bmatrix} E_{R校} \\ E_{G校} \\ E_{B校} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}$$



- 彩色校正不可能达到完全的色度匹配。

# 总结

## • 色度匹配

摄像机的综合光谱响应特性与显像三基色相应的三条混色曲线成正比（形状一样），就称为彩色电视系统色度匹配。为了达到色度匹配,实际的三色系数必须等于或正比于各自所要求的三色系数

## • 彩色校正

摄像机的分光特性只能给出正主瓣，无法实现正次瓣，更不可能给出负次瓣（不存在负光）。因此无法实现准确的色度匹配。为了解决这个问题，通常采用彩色校正措施，以提高彩色还原的准确度。彩色校正通过对三个基色电信号的处理来弥补分光系统只取正主瓣的不足，以尽量达到色度匹配。

## 3.4 电视系统的 $\gamma$ 校正

- 为了无失真的传输图象, 电视系统的总传输特性应该是线性的, 即重现图象亮度 $B_p$ 正比于原始景物亮度 $B_s$ 。

$$B_p = K B_s$$

- 为其中 $K$ 为常数

# 电视系统包括三个环节：

(1) **摄像器件的光-电变换特性**：（景物亮度 $B_S$ 到摄像机输出图像信号电压 $U_S$ 的特性）：

$$U_S = K_1 B_S^{\gamma_1}$$

$K_1$ 为比例常数， $\gamma_1$ 为光-电变换的非线性系数。

对于CCD摄像器件 $\gamma_1 = 1$ ；

(2) **传输通道的电-电传输特性**：（摄像机输出图像信号电压 $U_S$ 到显像管的激励电压 $U_P$ 的传输特性）：

$$U_P = K_2 U_S^{\gamma_2}$$

$K_2$ 为比例常数， $\gamma_2$ 为传输通道的非线性系数，可以人为设计

(3) **显像管的电-光变换特性**：（重现图象亮度 $B_P$ 与显象管激励电压 $U_P$ 关系）

$$B_P = K_3 (U_P)^{\gamma_3}$$

$\gamma_3 \neq 1$

## 显像管的调制特性

-----电子束电流  $i_K$  和控制极(栅极)一阴极间电压  $u_{gk}$  的关系：

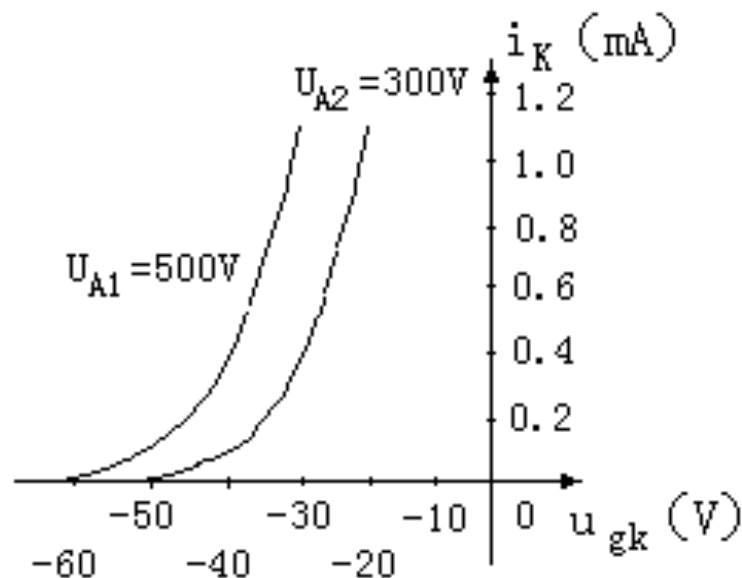
$$i_K = f(u_{gk})$$

说明 (1) 正常工作时,  $u_{gk}$  为负值,  
即控制极电压低于阴极电压;

(2)  $i_K$  随  $u_{gk}$  增大而增大;

(3) 加速极电压  $U_A$  增大,  
 $i_K$  也要增大;

(4) 通常  $U_A$  是固定值,



$$i_K = K(u_{gK} - u_{gK0})^\gamma$$

$u_{gk0}$  为截止电压 (和加速极电压有关),  $i_K$  和  $u_{gk}$  为指数关系。

黑白显像管的  $\gamma$  值为 2.2, 彩色显像管值为 2.8



- 电视系统的总传输特性：

$$B_P = K_3 K_2^{\gamma_3} K_1^{\gamma_2 \gamma_3} B_S^{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3} = K B_S^\gamma$$

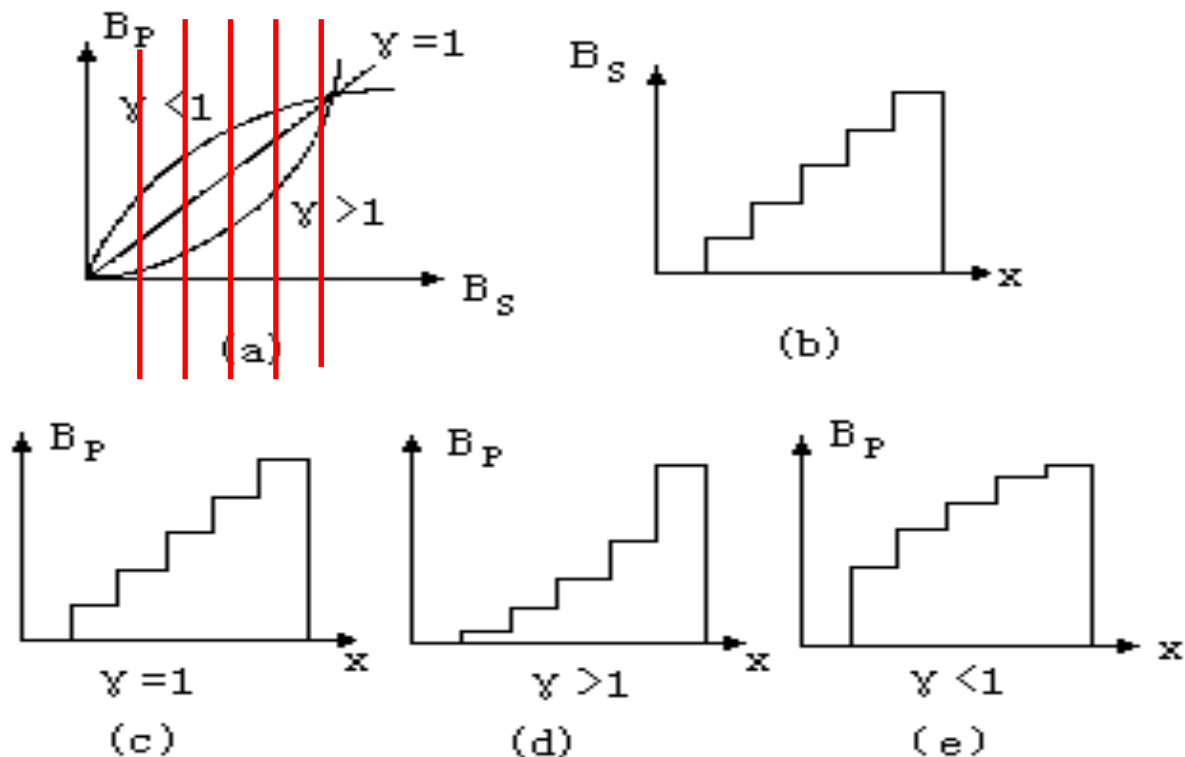
$$\gamma = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3$$

- $\gamma$  为电视系统的  $\gamma$  总值，反映了电视系统的非线性特性。

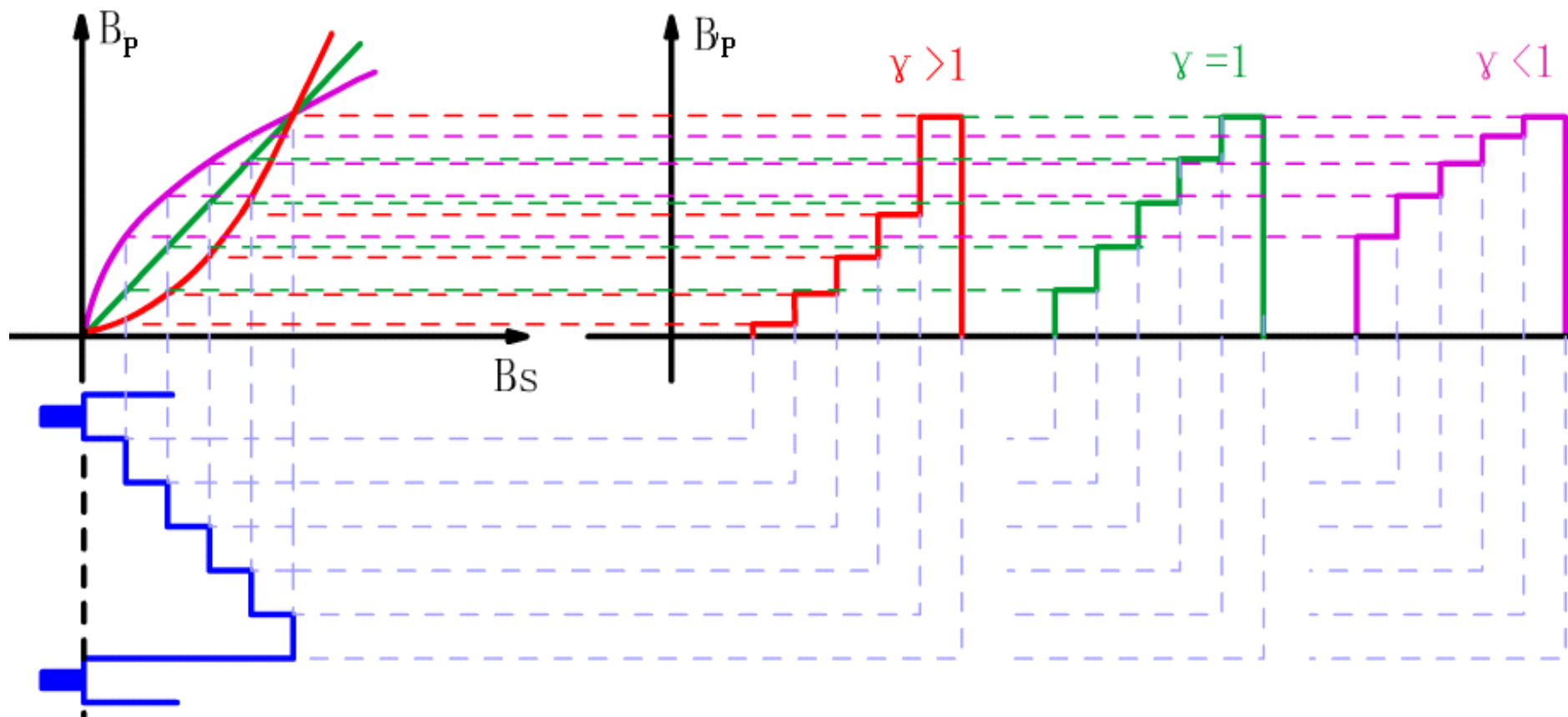
### 3.4.2 $\gamma$ 不等于1，对黑白电视的影响

- $\gamma = 1$ ，重现图像亮度和景物亮度成正比，无亮度层次失真。
- $\gamma < 1$ ——暗扩张，亮压缩失真，称为均匀性白压缩的失真；
- $\gamma > 1$ ——暗压缩，亮扩张失真，称均匀性白扩张的失真。

记住！！



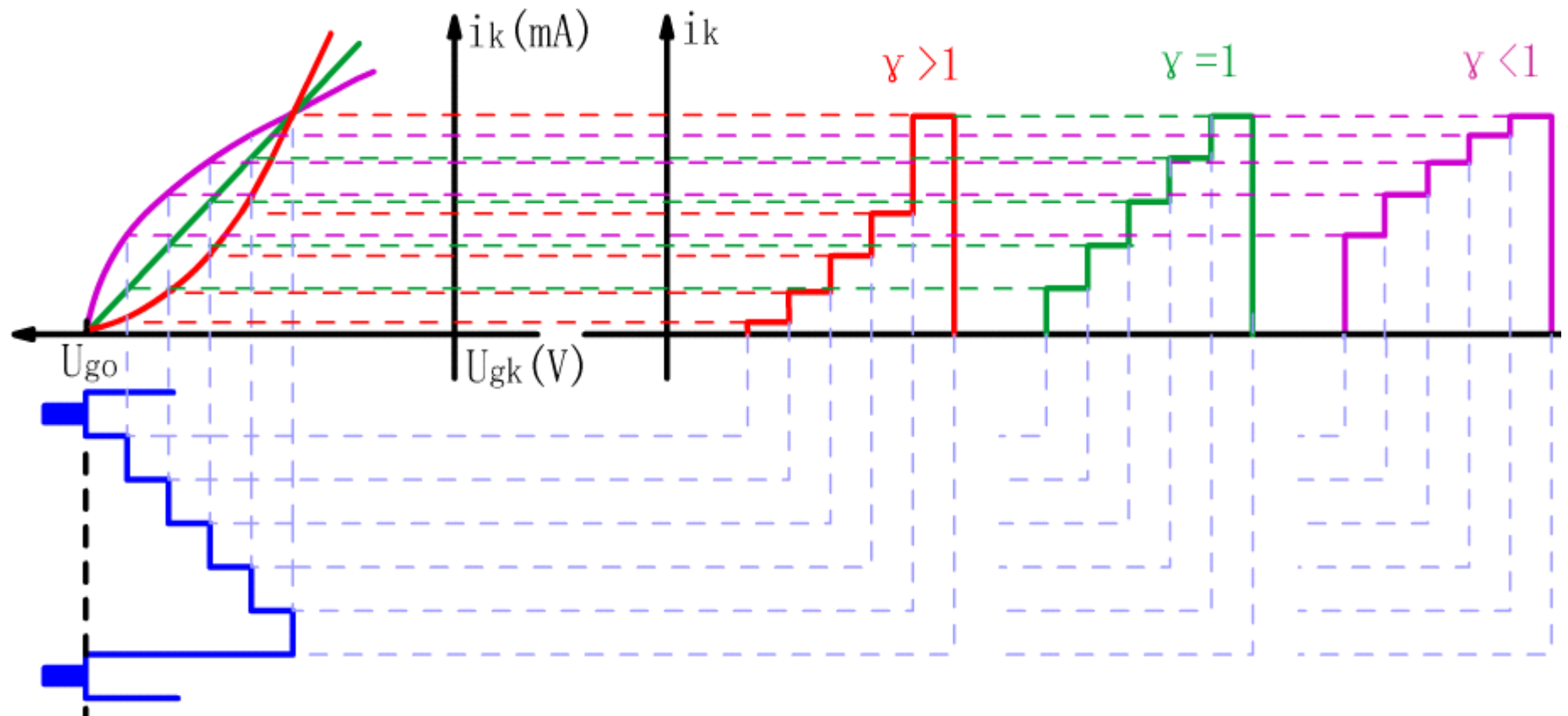
$$B_P = K(B_S)^\gamma$$



# 电视系统的 $\gamma$ 校正

- 为了使整个电视系统的总  $\gamma=1$ ，可改变  $\gamma_2$ ，因为摄像器件的  $\gamma_1$ 和显像器件的  $\gamma_3$ 是无法改变的。
- 可在传输通道中加一级非线性放大级，使其输出电压  $U_o$ 与输入电压  $U_i$ 之间满足关系式：
$$U_o = K' U_i^{\gamma_2}$$
- 这一级放大级称为  $\gamma$ 校正级。通常  $\gamma$ 校正级设在摄像机的图像信号处理电路中。
- 由于  $\gamma_1 \approx 1$ ，（摄像机CCD）， $\gamma_3=2.2$ （黑白显像管，彩色显像管为2.8），故  $\gamma_2 = 1/ \gamma_1 \gamma_3$
- 可得： $\gamma_2 = 0.45$ （黑白显像管）

◆ 实际电视接收机采用阴极激励方式：即控制栅极接固定电压0伏，阴极加负极性图像信号电压，当图像信号为消隐电平时，应使电子束刚好截止。

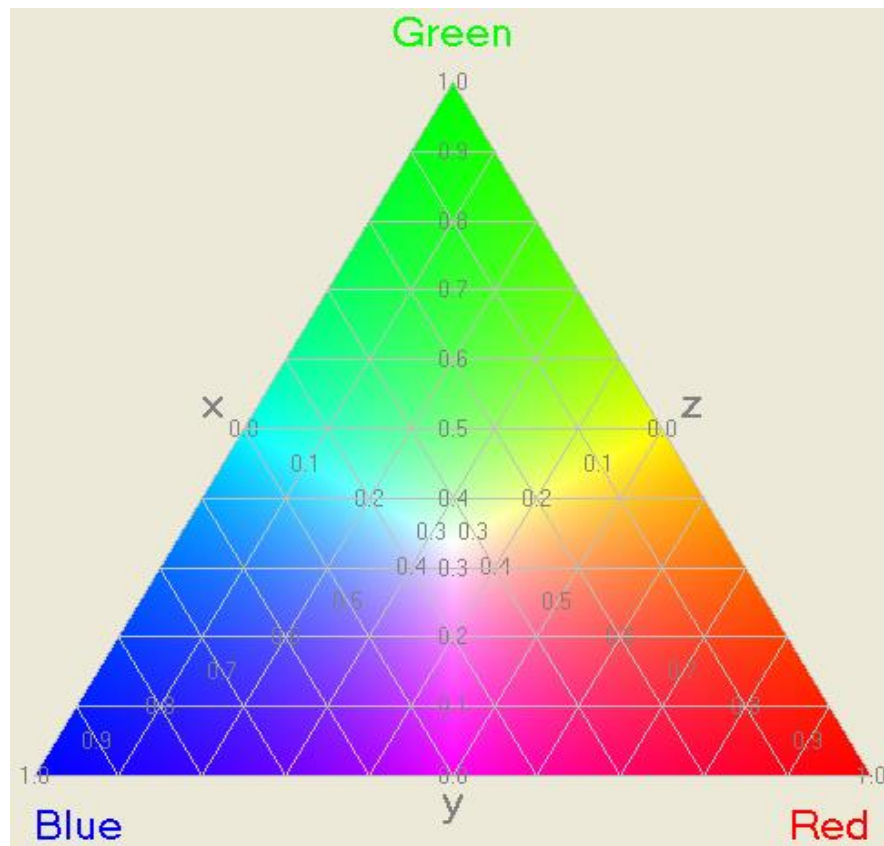
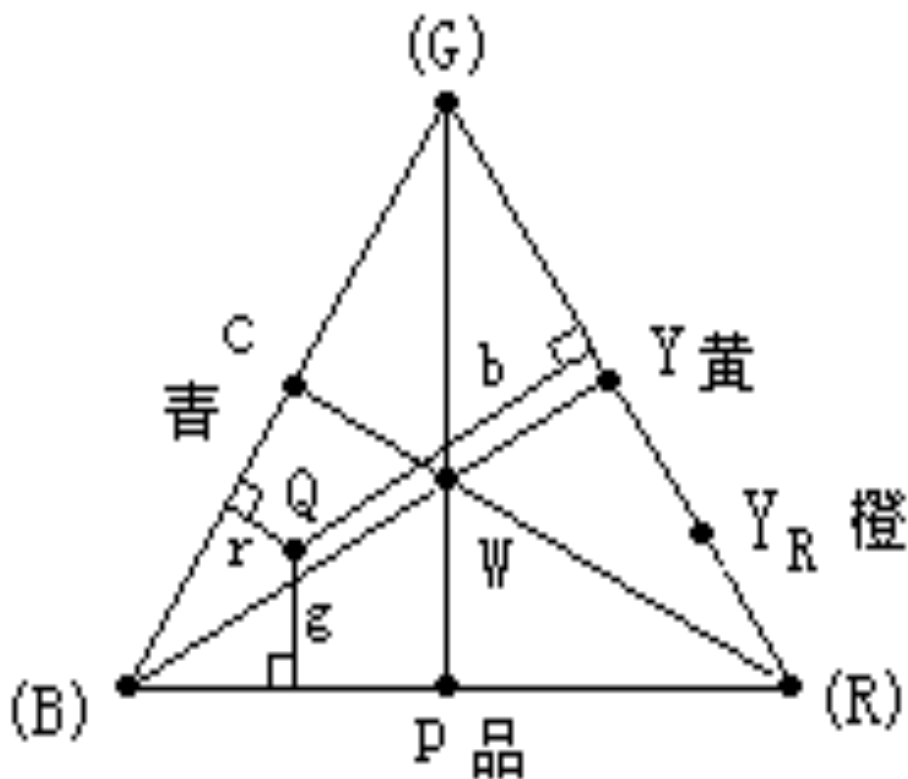


# 10 3.4.3 $\gamma$ 不等于1, 对彩色电视系统的影响

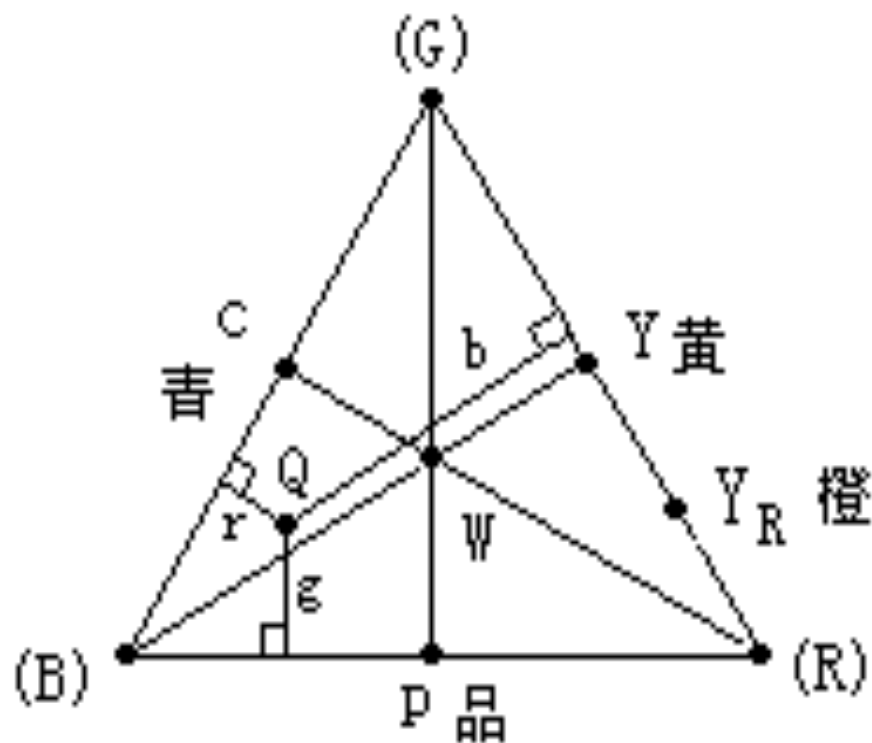
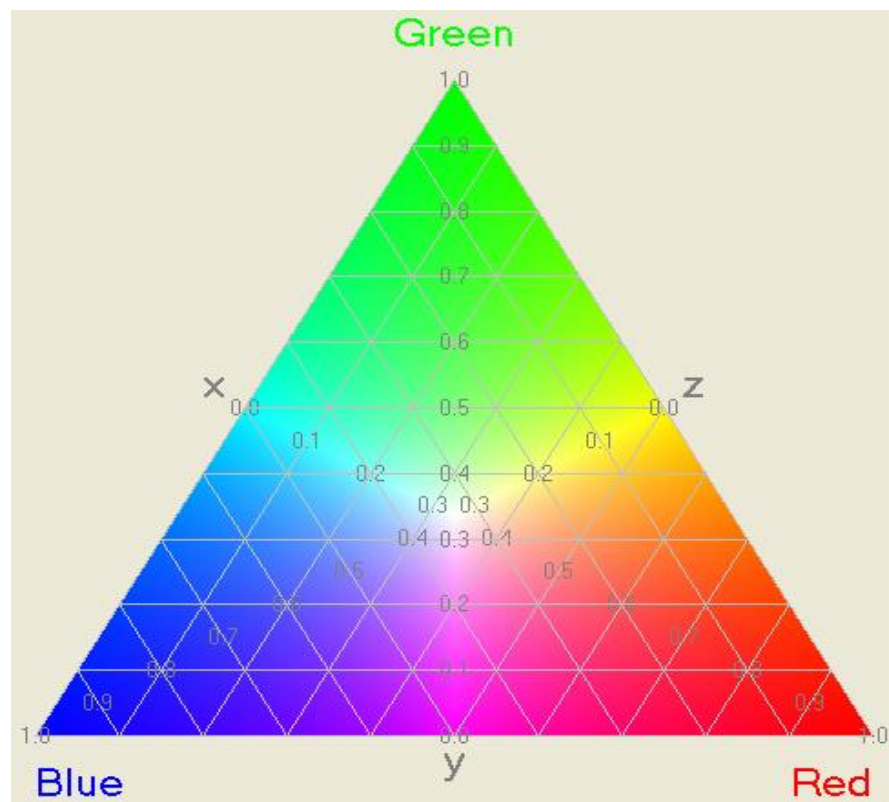
- 对于黑白电视系统, 如果系统的  $\gamma \neq 1$  会造成亮度层次失真, 即出现均匀的白扩张或黑扩张。
- 对彩色电视系统来说, 如果  $\gamma \neq 1$ , 则不但会产生图像的亮度失真, 并且会引起色度失真,
- 为了便于讨论, 假设系统的  $\gamma = 2$  进行分析。

# Maxwell Triangle 麦克斯韦彩色三角形(复习)

- (1) 等边三角形顶点为显像三基色单位 (R)、(G)、(B)
- (2) 三角形内任一彩色点与三角形对应边的距离分别为 $r$ 、 $g$ 、 $b$ ； 表示基色所能混配出色光的三个相对色数 ；



- (3) 显像三基色所能混配出的所有色光的色度坐标都在三角形之内，白色或灰色的位置在重心W, 坐标为： $r=g=b=1/3$ 。
- (4) 三角形周边的饱和度为100%，例如：C点为青色，它是红色的补色，为 $g=1/2$ ， $b=1/2$ 。





## 10 彩色系统的 $\gamma$ 特性对重现色度的影响 (假设 $\gamma=2$ )

- 假设景物色光的三色系数为  $R_0$ 、 $G_0$ 、 $B_0$  ,
- 重现的色光的三色系数为  $R_d$ 、 $G_d$ 、 $B_d$  ,
- 如果三个通道的放大量  $\gamma$  特性都相同,

$$R_d = kR_0^\gamma, \quad G_d = kG_0^\gamma, \quad B_d = kB_0^\gamma$$

- 原景物的色度取决于:  $R_0: G_0: B_0$
- 重显的色度取决于:  $R_d: G_d: B_d$

## (1) 传输白色时没有色度失真

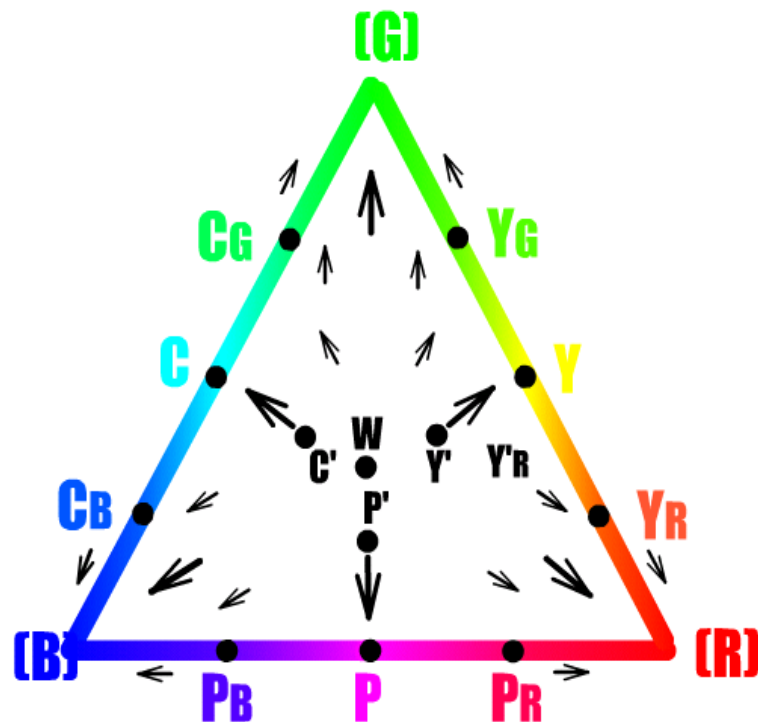
- 白色的三色系数坐标点在三角形重心W
- 传输前三色系数的比值为

$$R_0: G_0: B_0 = \frac{1}{3} : \frac{1}{3} : \frac{1}{3} = 1:1:1$$

- 传输后三色系数的比值为

$$R_d: G_d: B_d = \left(\frac{1}{3}\right)^2 : \left(\frac{1}{3}\right)^2 : \left(\frac{1}{3}\right)^2 = 1:1:1$$

- 比例不变，坐标点仍在三角形重心W。所以依然是白色色调。



(2) 传输100%饱和度的红. 绿. 蓝及其它们的补色（共6种色光）时，也没有色度失真

- 例如，100%饱和度的黄色（蓝基色的补色）

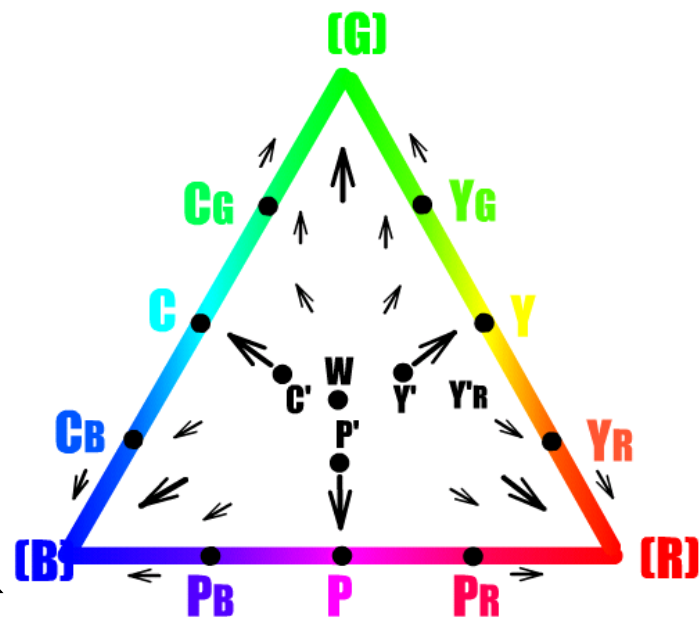
- 传输前三色系数的比值为

- $R_0:G_0:B_0 = 1/2:1/2:0 = 1:1:0$ ,

- 传输后三色系数比值为：

$$R_d: G_d: B_d = \left(\frac{1}{2}\right)^2: \left(\frac{1}{2}\right)^2: (0)^2 = 1:1:0$$

- 仍为100%饱和度的黄色，无色度失真。



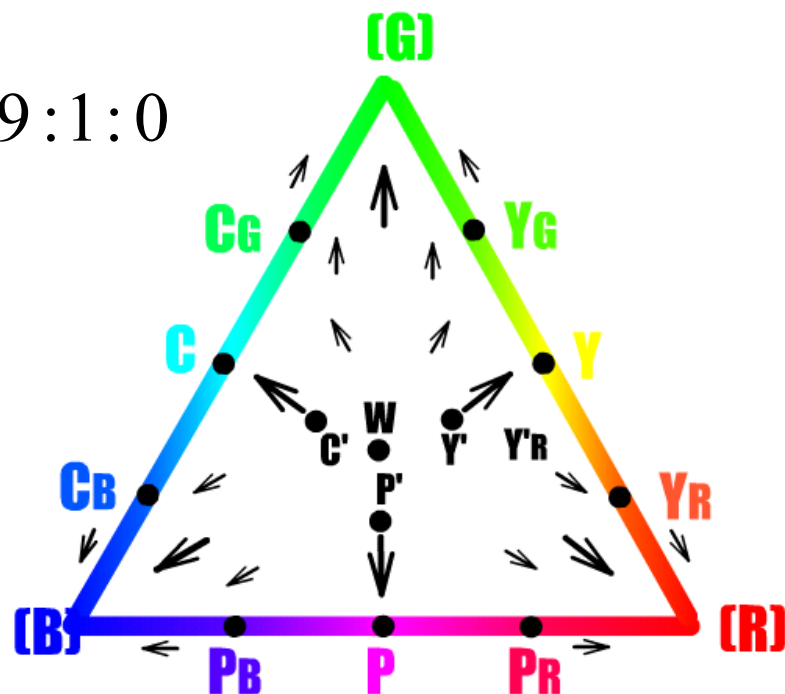
■ 例2传输饱和度为100%的橙色，传输前三色系数的比值为：

● 传输后三色系数的比值为：

$$R_0: G_0: B_0 = \frac{3}{4} : \frac{1}{4} : 0 = 3:1:0$$

$$R_d: G_d: B_d = \left(\frac{3}{4}\right)^2 : \left(\frac{1}{4}\right)^2 : (0)^2 = 9:1:0$$

- 红分量增大——色调变化偏红，
- 饱和度为100% 无变化；
- $Y_R$ 向三角形顶点(R)靠近



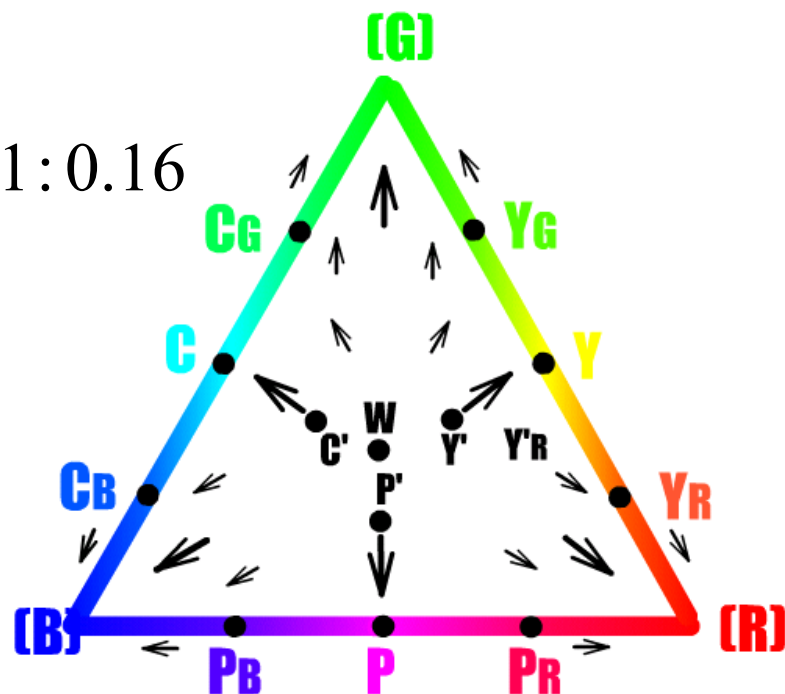
■ 例2传输饱和度为50%的黄色Y'，传输前三色系数的比值为：

- 传输后三色系数的比值为：

$$R_0: G_0: B_0 = \frac{5}{12} : \frac{5}{12} : \frac{1}{6} = 1:1:0.4$$

$$R_0: G_0: B_0 = \left(\frac{5}{12}\right)^2 : \left(\frac{5}{12}\right)^2 : \left(\frac{1}{6}\right)^2 = 1:1:0.16$$

- 色调无变化，饱和度增加了
- Y' 向边靠近



## 结论:

- 若彩色电视系统的  $\gamma \neq 1$ ，则除了传送白色、100%饱和度的三个基色及它们100%饱和度的补色以外，传送其它各色都将产生色度失真（色调失真、饱和度失真）。
- $\gamma > 1$ 时，亮度方面表现为均匀性白扩张，色度方面表现为各彩色向彩色三角形顶点和边方向移动，饱和度增加，彩色变得更鲜艳了；
- $\gamma < 1$ 时，亮度失真表现为均匀性白压缩，色度失真表现为各彩色向彩色三角形内的白色W方向移动，饱和度下降，彩色变淡了。

### 3.4.4 三基色信号的 $\gamma$ 校正

- 为了避免亮度失真和色度失真，应使彩色电视系统的总 $\gamma$ 值等于1。因此，一般在摄像机的各基色信号通路中都安排一级非线性放大器，以补偿彩色显像管电光转换的非线性失真，称为 $\gamma$ 校正器。
- 通常实际我们总是使彩色电视系统的总 $\gamma$ 值稍大于1， $\gamma = 1.26$ ，使彩色的饱和度更高、色调更鲜艳。
- 因为彩色显像管的 $\gamma$ 值约为2.8，所以 $\gamma_2 = 1.26/2.8 = 0.45$ 作为调定的标准值。
- 实际中为得到不同的艺术效果，摄像机的 $\gamma$ 校正电路都可以提供多种不同的 $\gamma$ 值供使用者选择。
- 一般 $\gamma$ 校正电路的位置应在彩色校正电路之后。
- 在以后谈到的基色信号均是指经 $\gamma$ 校正后的信号电压

# $\gamma$ 校正总结

- 为了避免亮度失真和色度失真，应使彩色电视系统的总  $\gamma$  值等于1。
- 因此，一般在摄像机的各基色信号通路中都安排一级非线性放大器，以补偿彩色显像管电光转换的非线性失真，称为  $\gamma$  校正器。



- 本章完