

# 电视原理

## 第三章 彩色电视摄像原理

石东新

[sdx@cuc.edu.cn](mailto:sdx@cuc.edu.cn)

**NEW**  
**AJ-HDC20A**  
2/3" FIT-3CCD摄录一体机





佳能S.C.单层镀膜



佳能S.C.C.多层镀膜





宾得SMC镀膜

你的·数码相机频道 dc.it168.com



富士EBC镀膜

你的·数码相机频道 dc.it168.com



富士SUPER EBC镀膜



## 蔡司T\*镀膜

宾得的SMC镀膜技术、富士的EBC镀膜技术和卡尔蔡司的T\*的镀膜技术---世界三大镀膜技术。

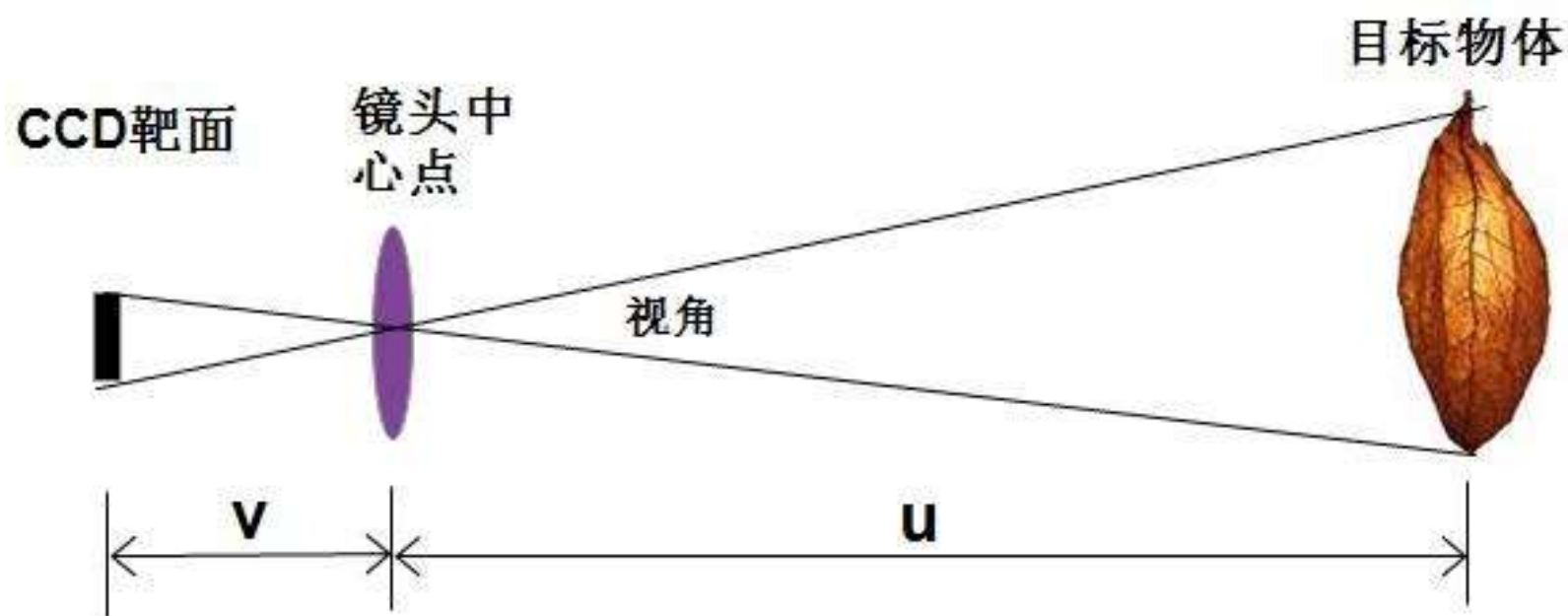


尼康纳米镀膜标识

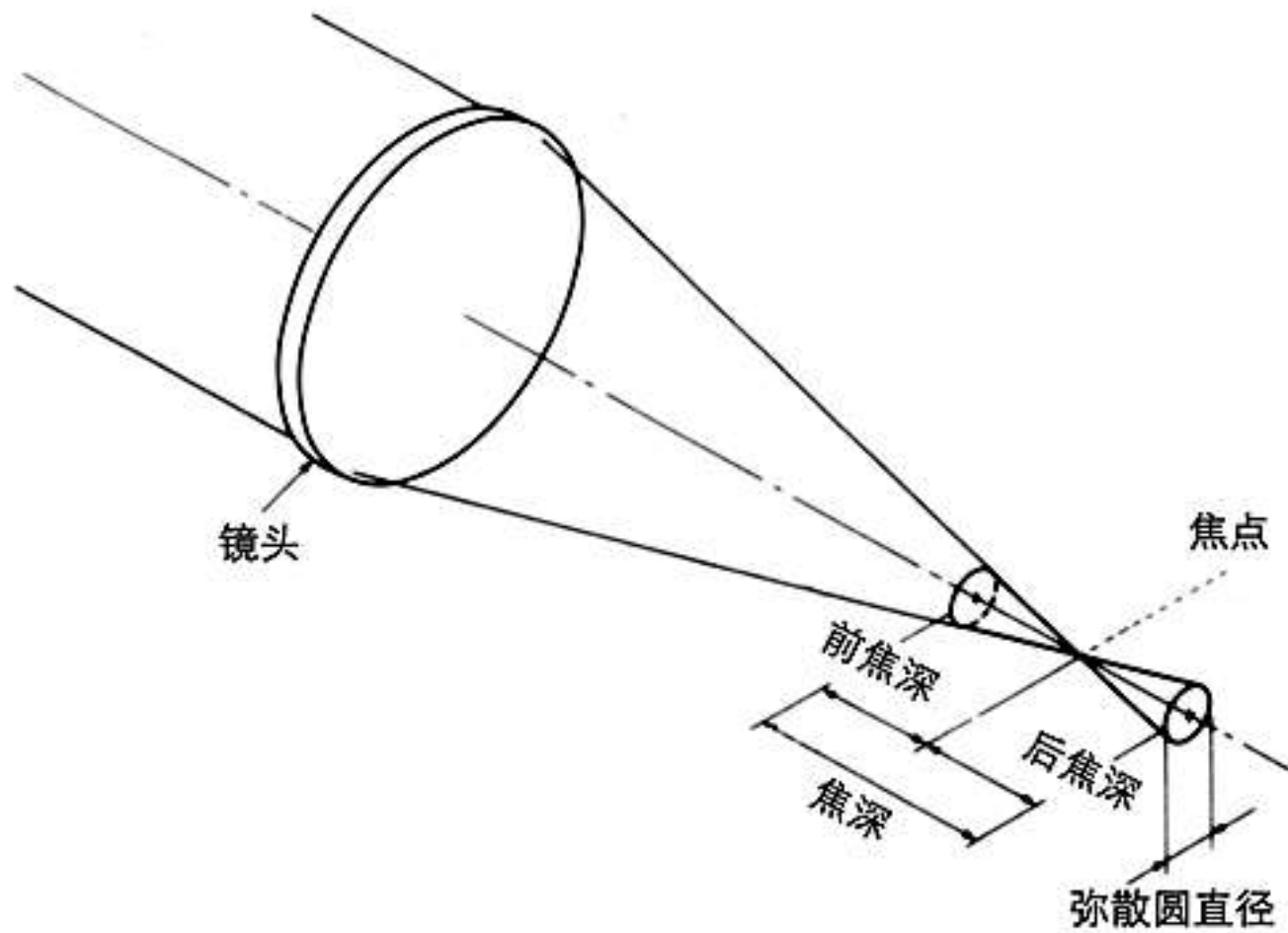


$$1/u + 1/v = 1/f$$

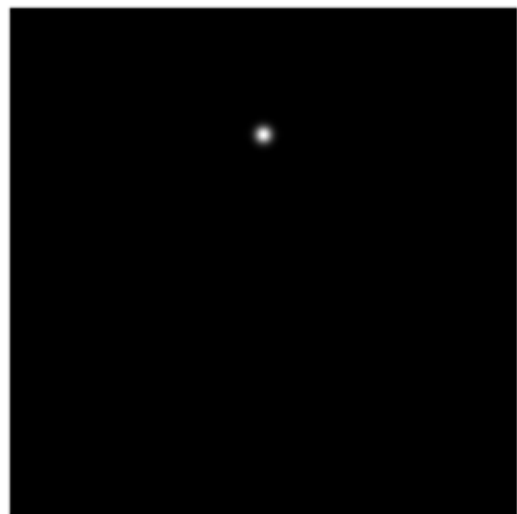
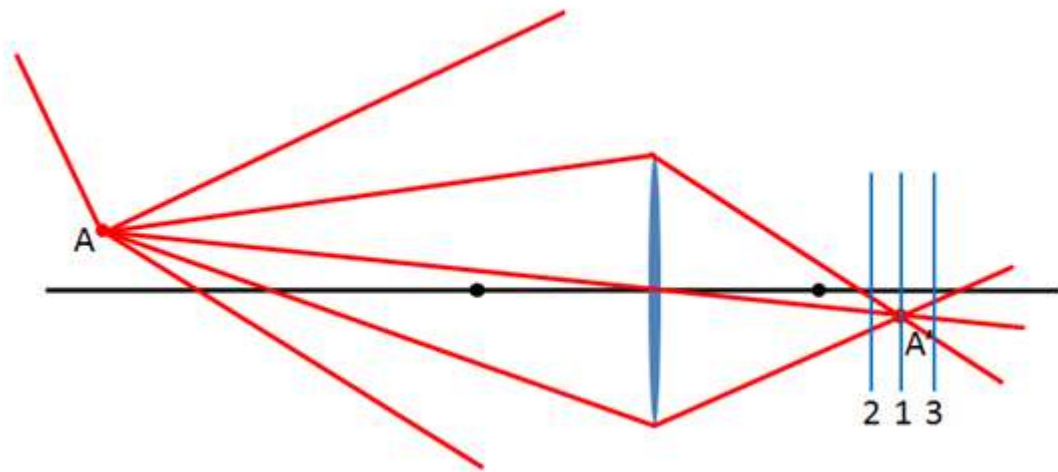
u:物距 v:像距 f: 焦距



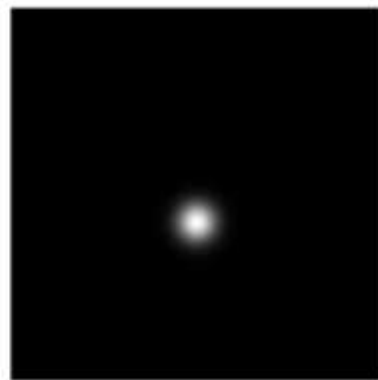
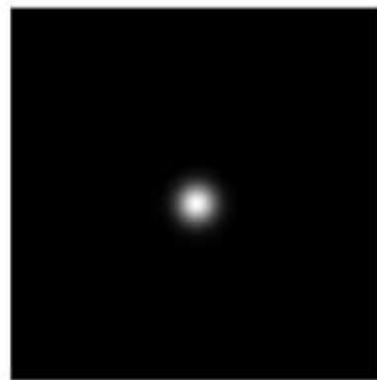




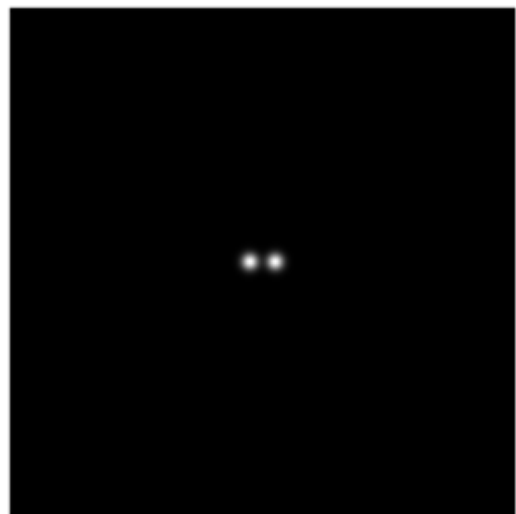
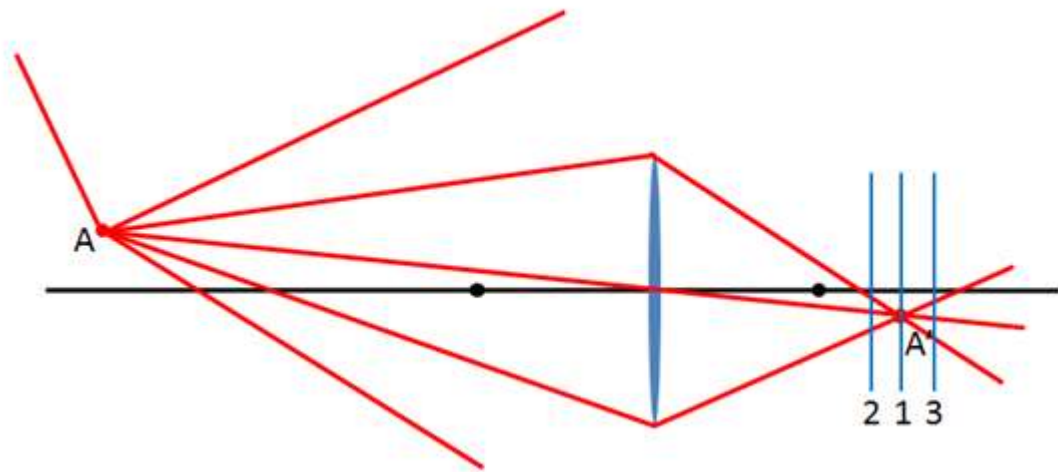
在焦点前后，光线开始聚集和扩散，点的影象变成模糊的，形成一个扩大的圆，这个圆就叫做**弥散圆/模糊圈**



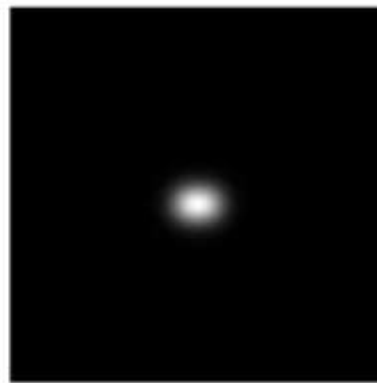
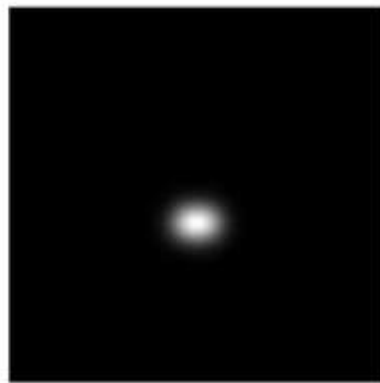
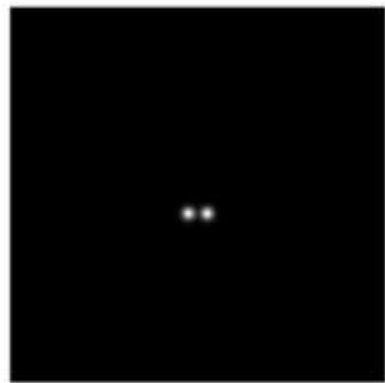
点A



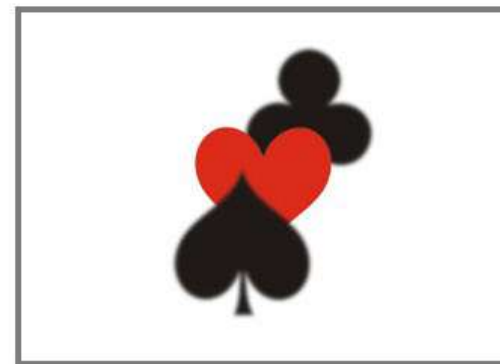
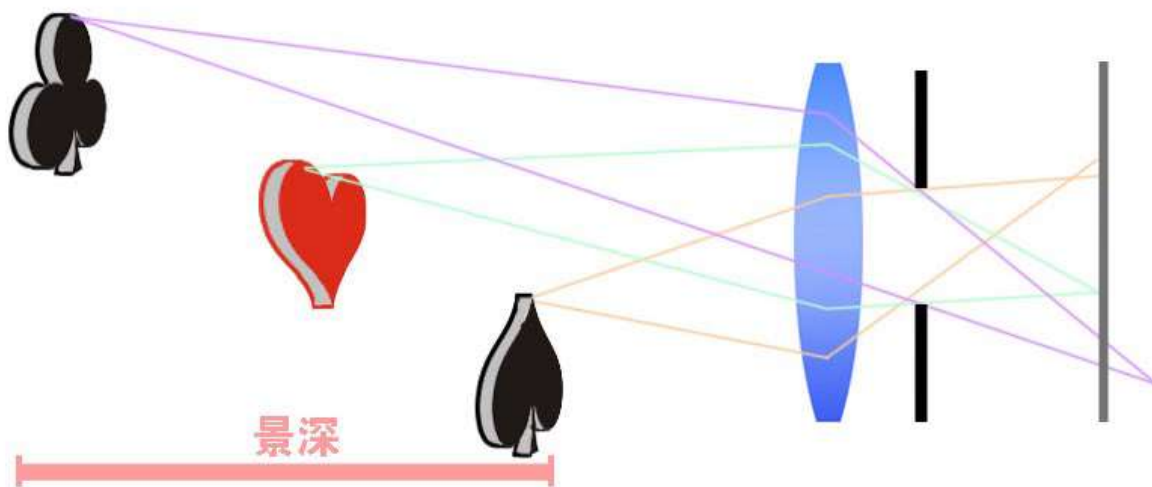
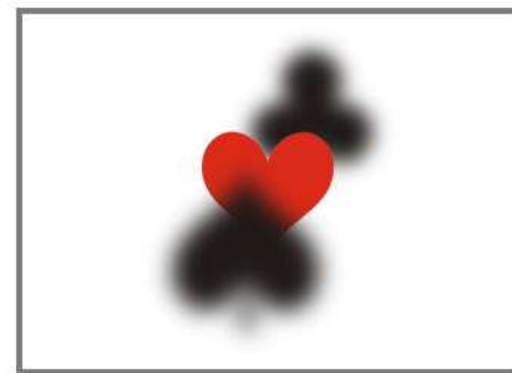
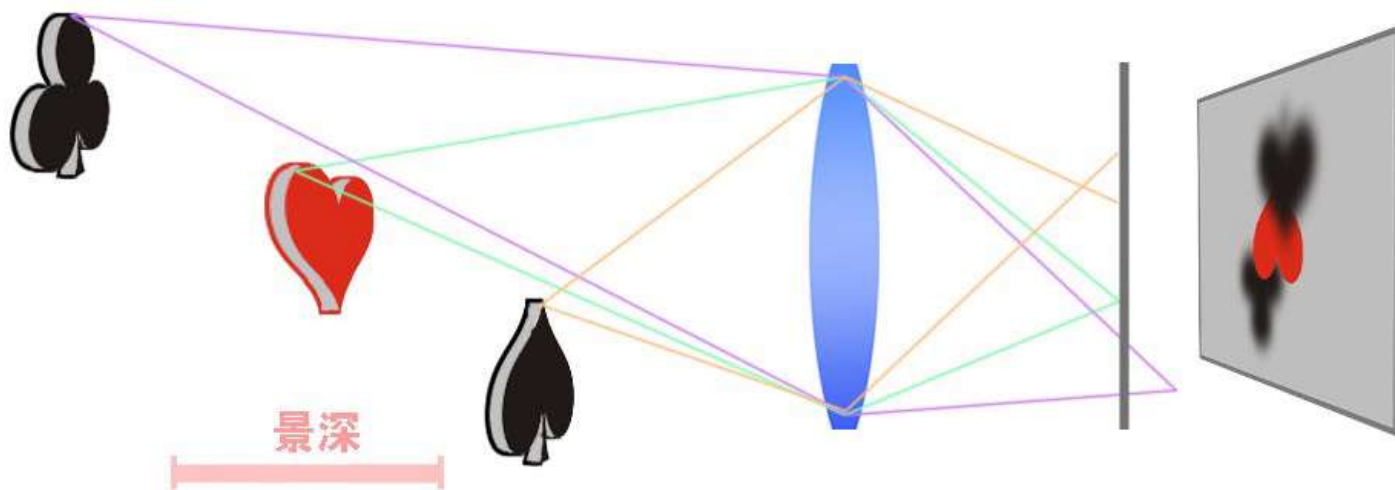
位置1、2和3



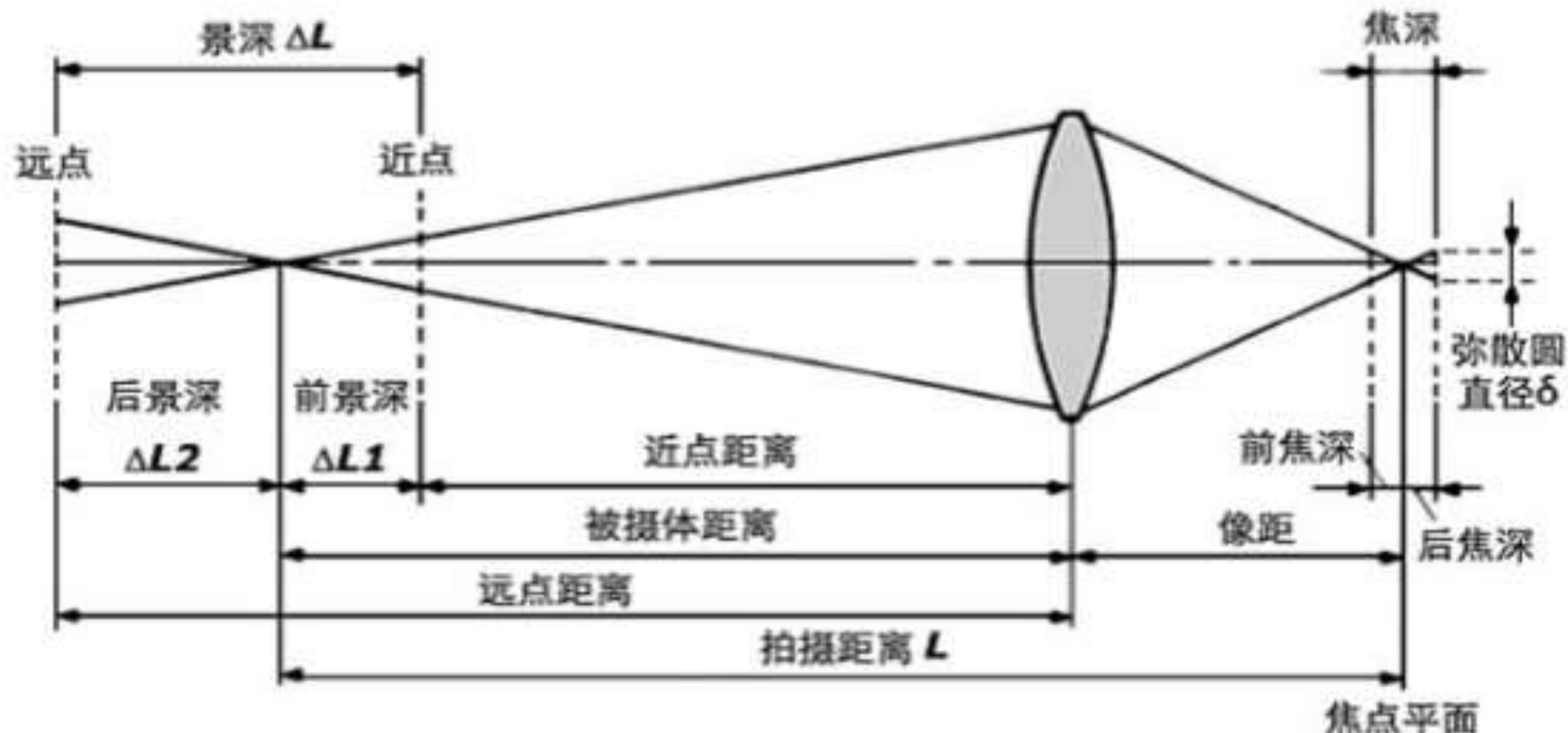
点A



位置1、2和3





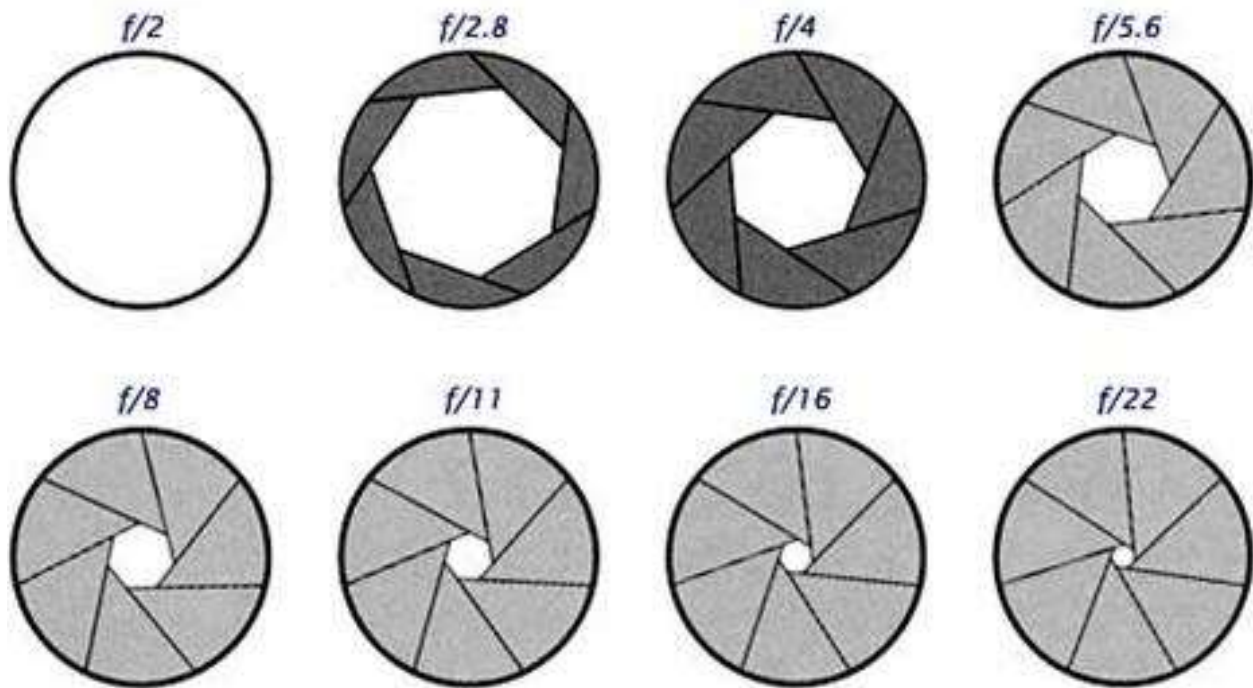


能同时被眼看清楚的空间深度称为眼的成像空间深度，即是**景深**

**景深大小受最小模糊圈的限制！**



(左 景深较短      右 景深较长)

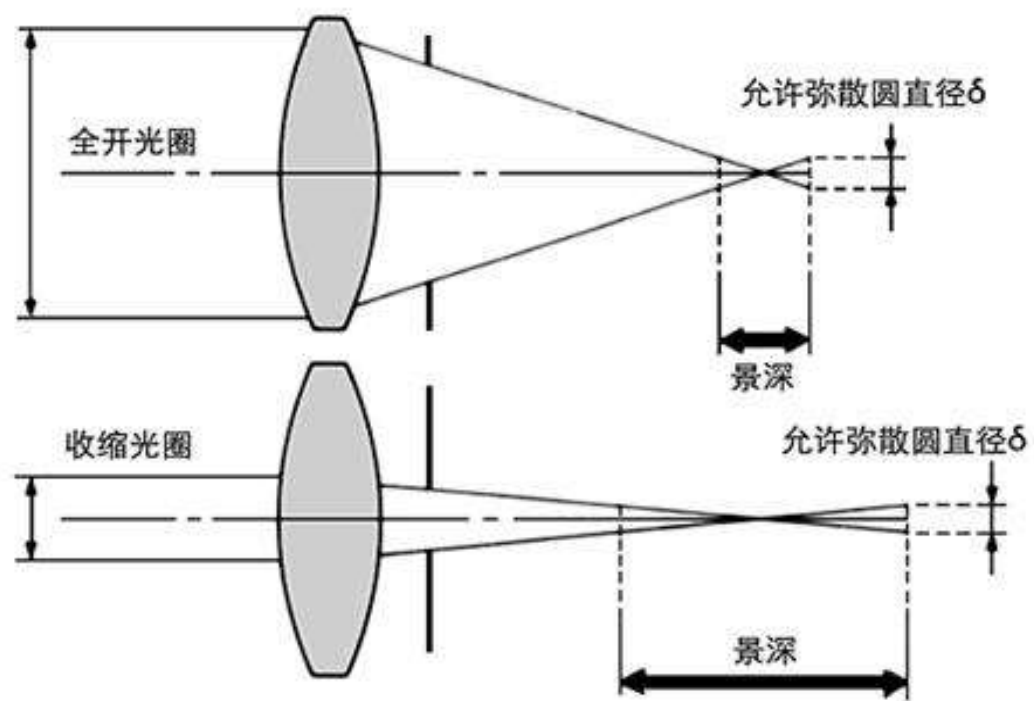


光圈F值 = 镜头的焦距 / 镜头口径的直径

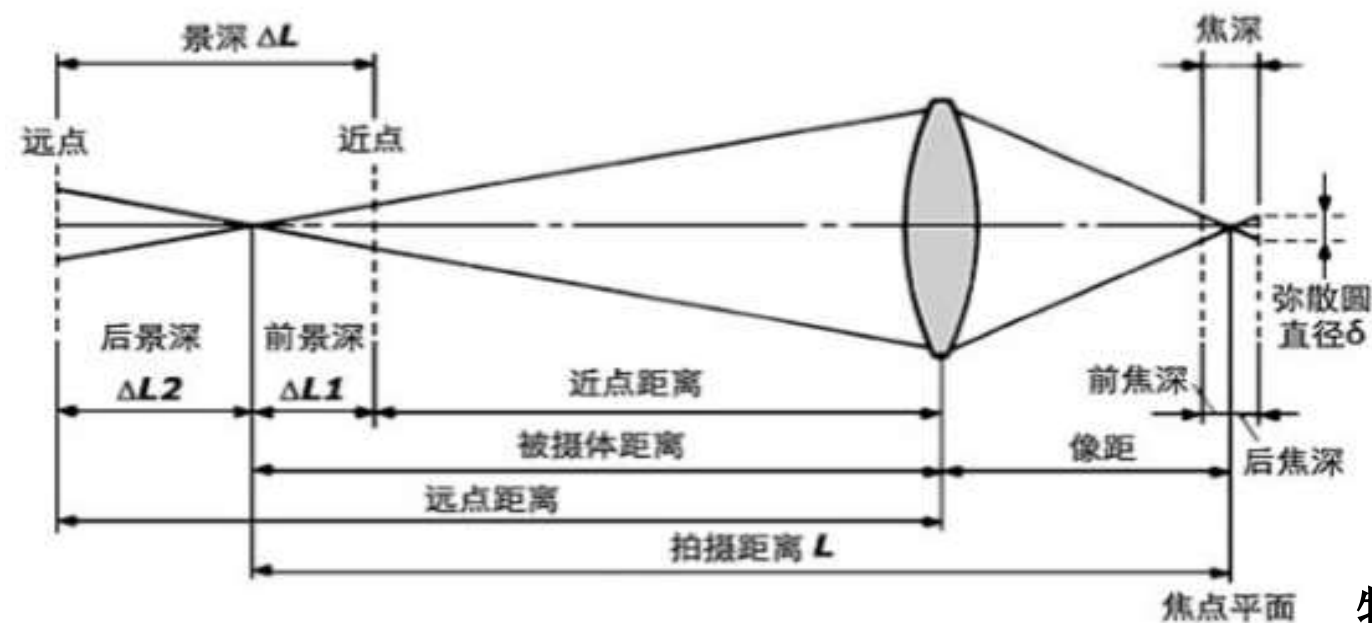
- 国际通用的光圈F值按等比级数分级：1、1.4、2、2.8、4、5.6、8、11、16、22
- 相邻两级光圈面积相差1倍，即曝光量相差一倍

焦距不变，光圈的F值越大，镜头口径的直径越小，即光圈越小！

光圈T值！







$$1/u + 1/v = 1/f$$

$u$ :物距  $v$ :像距  $f$ : 焦距

$$\text{放大倍数 } M = \frac{v}{u} = \frac{uf / (u - f)}{u} = \frac{f}{u - f}$$

物距固定，焦距越大，景物放大越大，模糊圈越大

- (1)镜头光圈：光圈越大，景深越小；光圈越小，景深越大；
- (2)镜头焦距：镜头焦距越长(视角窄)，景深越小；焦距越短，景深越大；
- (3)拍摄距离：距离越远，景深越大；距离越近，景深越小。

- 镜头焦距越长（例如长镜头）、光圈越大、摄影距离越近，景深就会越小；
- 镜头焦距越短（如广角镜头）、光圈越小、摄影距离越远，景深就会越大



# 指标： EV(Exposure Value, 曝光值)

本质反映环境照度大小，因此数值越低，表示光照较低，进光量要越大

当感光度为ISO 100、光圈系数F为1、曝光时间为1秒时，曝光量定义为0。

EV 值

EV 值													
ISO 400	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11	16	22	32	45	64	光圈	
ISO 200	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11	16	22	32	45	64	
ISO 100	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11	16	22	32	45	64
快门	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1/4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1/8	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1/16	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1/30	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1/60	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1/125	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1/250	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

$$EV = \frac{1}{\lg 2} \lg \frac{F^2}{t} = 3.32 \lg \frac{F^2}{t}$$

EV值与照度(Lux)一一对应

- 2.5lux 对应EV1,
- 5lux 对应EV2,
- 10lux 对应EV3,
- 20lux 对应EV4,
- .....
- 163840lux 对应EV16

$$EV = \frac{1}{\lg 2} \lg \frac{F^2}{t} = 3.32 \lg \frac{F^2}{t}$$

- **F**是光圈系数，**t**是曝光时间
- 实际操作中，光照强度由光圈大小控制，曝光时间由遮光器的开角大小或快门开启时间长短控制。
- 光圈值÷**1.4**、快门时间×**2**、**ISO**×**2**、**EV**值+**1.0**，这四者完全等效——使底片上的进光量增加一倍，照片明亮一倍。
- **注意**：**EV+1**或**EV-1**是曝光补偿，**EV+1**的结果使得实际的**EV**值减小

**ISO(International Standards Organization):** 对感光度做了量化规定

**感光度：胶片对光线的化学反应速度。**

- 在光线比较暗的情况下把**ISO**调高，相当于降低快门速度，使照片不模糊。
- 高的**ISO**使照片颗粒感很强的，低的**ISO**会是画面细腻。
- 数码相机的**ISO**通过调整感光器件的灵敏度或者合并感光点来实现。
- 一般情况下用**ISO100**。

**ISO**感光度的高低代表了在相同**EV**曝光值时，选择更高的**ISO**感光度，在光圈不变的情况下能够使用更快的快门速度获得同样的曝光量。

光圈值 $\div 1.4$ 、快门时间 $\times 2$ 、**ISO** $\times 2$ 、**EV**值 $+1.0$ ，这四者完全等效：使底片上的进光量增加一倍，照片明亮一倍。

黑白图像的采集和重现是借助于电视摄像器件和电视显示器件实现的。

电视摄像器件的任务—光电转换：

(1) 完成光/电转换图像——

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；

(2) 将电图像变换成相应的电信号——

依靠电子束的行场扫描或通过电荷转移的方法将电图像变换成相应的电信号输出。

电视显示器件的作用是：

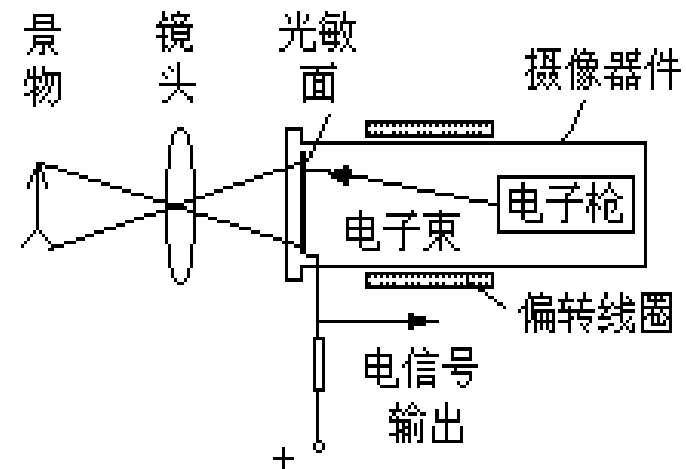
完成电光转换，并最终把电视信号在荧光屏上重现出图像。



# 电视摄像器件

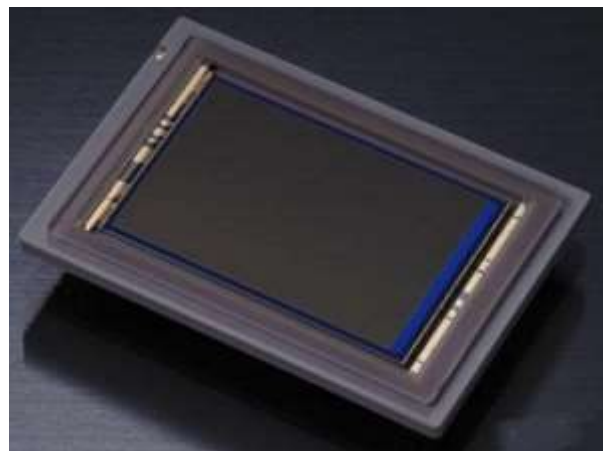
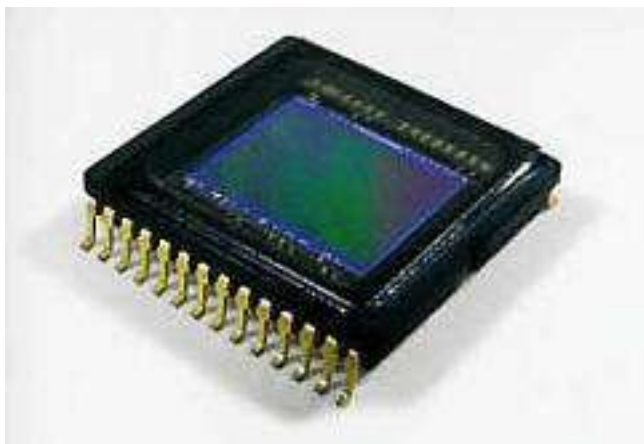
电视摄像器件的发展历史，三代产品：

- (1) 基于光敏材料外光电效应的摄像器件
- (2) 基于光敏材料内光电效应的摄像器件
- (3) 基于半导体集成电路技术的固体摄像器件-----CCD、CMOS。



**Charge Coupled Device——电荷耦合器件**

**Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Transistor 互补金属氧化物半导体**



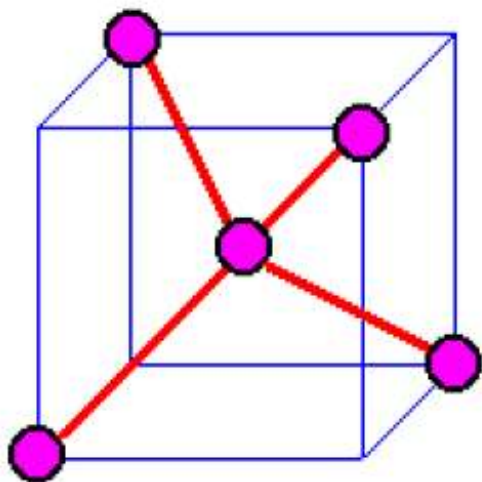
## 第一节 CCD固体摄像器件

1、 CCD属于MOS（金属-氧化物-半导体）器件。

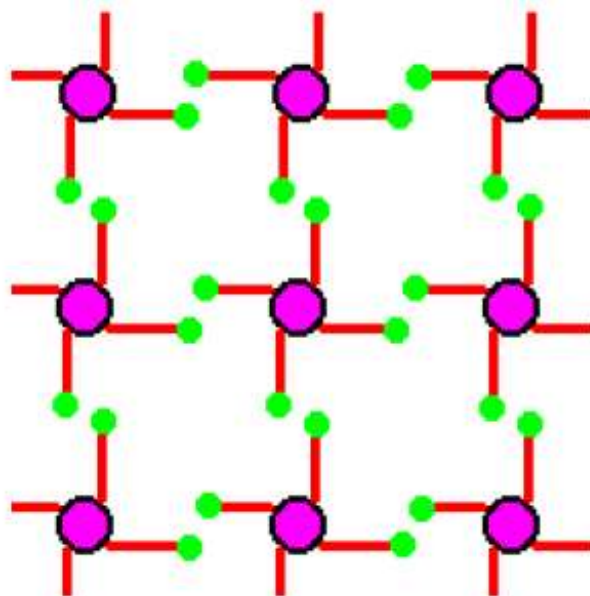
CCD由贝尔研究所W. S. Boyle和G. E. Smith于1969年发明，次年发表；FT-CCD亦由贝尔研究所于1971年发表。

关于半导体

半导体有**两种载流子**：**自由电子**（形成电子电流）和**空穴**（形成空穴电流）。



(a) 硅晶体的空间排列



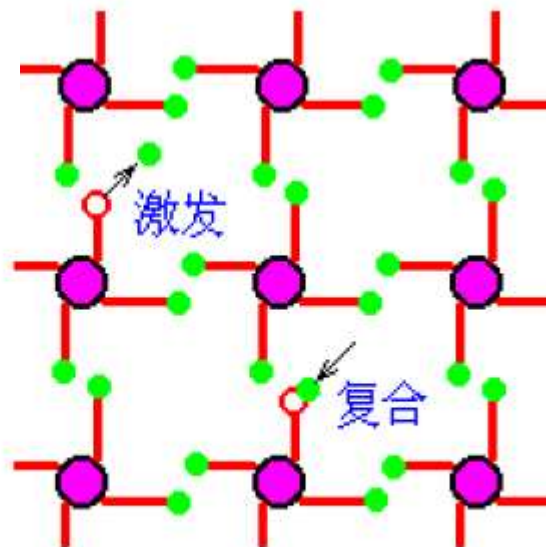
(b) 共价键结构平面示意图

硅原子空间排列及共价键结构平面示意图

## 电子空穴对

**本征激发**: 当温度升高或受到光照射时, 价电子能量增高, 有的价电子可以挣脱原子核的束缚, 而参与导电, 成为自由电子。

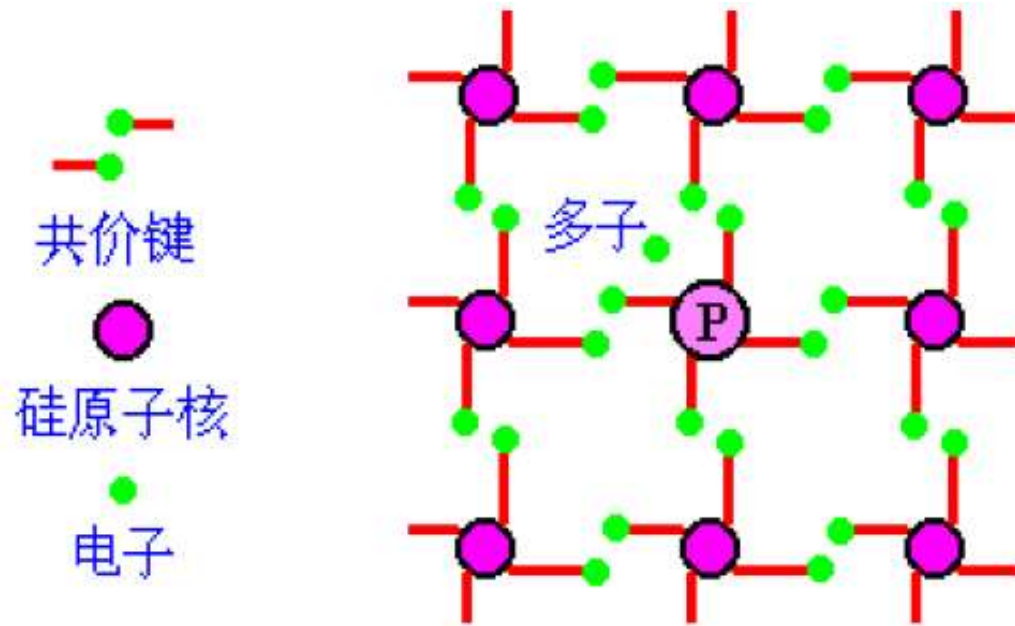
○ 空穴  
● 电子



本征激发和复合的过程

半导体有**两种类型**:

如硅单晶掺入磷、锑五价元素（自由电子为多数载流子，空穴为少数载流子）——**n型半导体**;



硅单晶掺入磷、锑  
五价元素

自由电子为多数载流子  
空穴为少数载流子

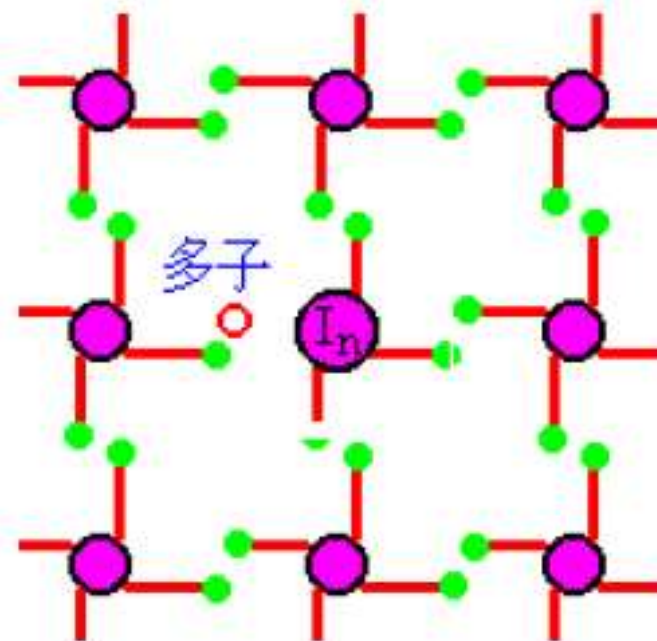
n型半导体的结构示意图



如硅单晶渗入硼三价元素（自由电子为少数载流子，空穴为多数载流子）——p型半导体。

硅单晶渗入硼、镓、  
铟三价元素

空穴为多数载流子  
自由电子为少数载流子



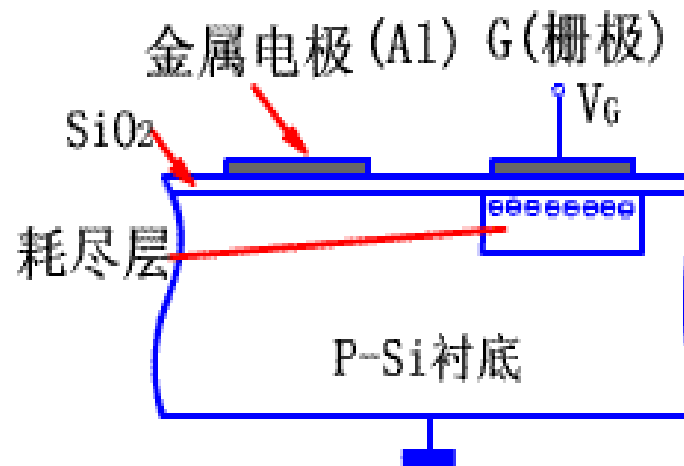
P 型半导体的结构示意图

## 2、CCD 固体摄像器件工作原理

### ❖ CCD摄像器件的基本结构

在具有光敏特性的P型半导体硅衬底上生长一层约100nm的 $\text{SiO}_2$ 绝缘层，其上按一定排列方式沉积一组（几十万个）金属铝电极，构成金属-氧化物-半导体（MOS）结构的有序排列。

每个电极为一个CCD单元。当电极加正电压时，便在电极下面的衬底内形成耗尽层（没有空穴的带负电荷的区域）。

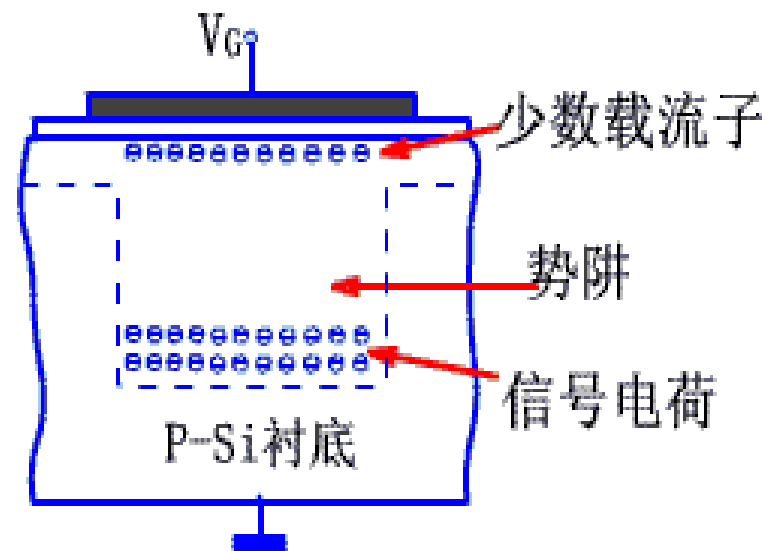


p型半导体----自由电子为少数载流子，空穴为多数载流子。

MOS结构单元构成

## ❖ 电子势阱

栅极电压越高，耗尽层越厚。耗尽层达到一定的深度，形成可吸收电子的势阱，称为电子势阱。



MOS结构单元的势阱及储存信号电荷

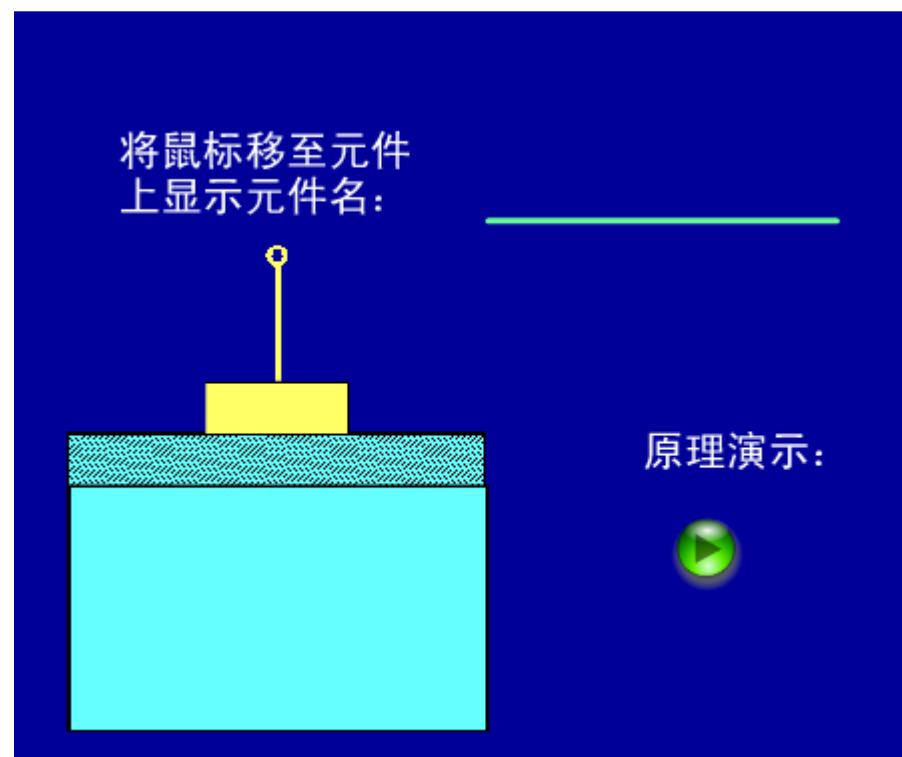
❖ 电子势阱内可存储外来（如通过光注入，衬底产生电子-空穴对）电子电荷----称为电荷包。

栅极电压越高，电子势阱越深，**可存储的电荷越多**。

但电荷包的大小只和外来的**进光量**有关。

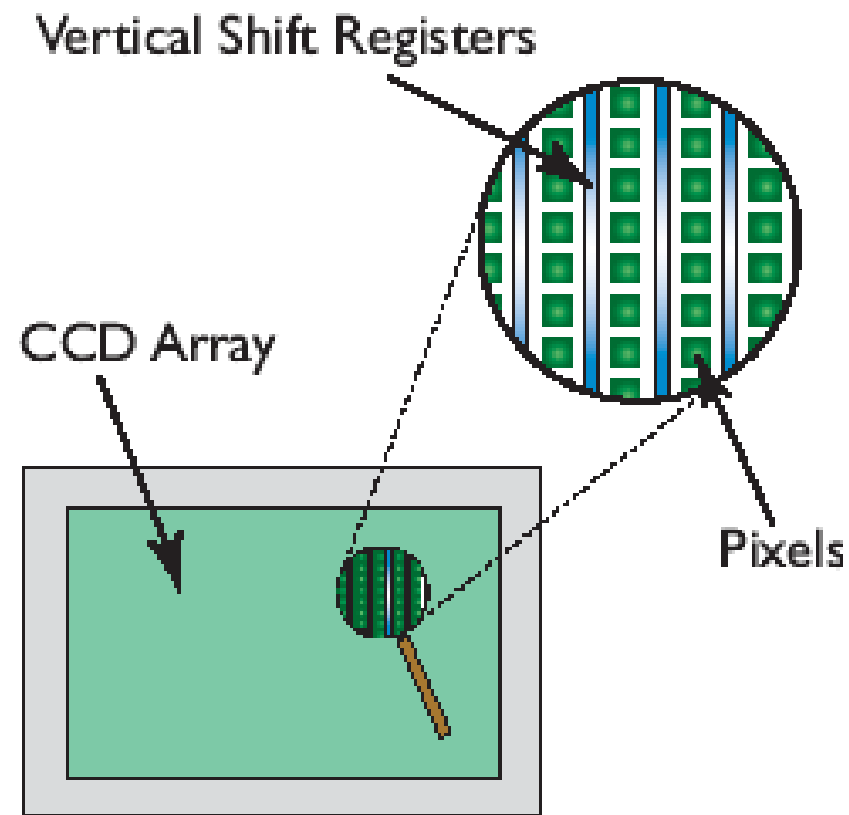
**进光量**由**光照时间**和**光照强度**共同决定。

## CCD工作原理

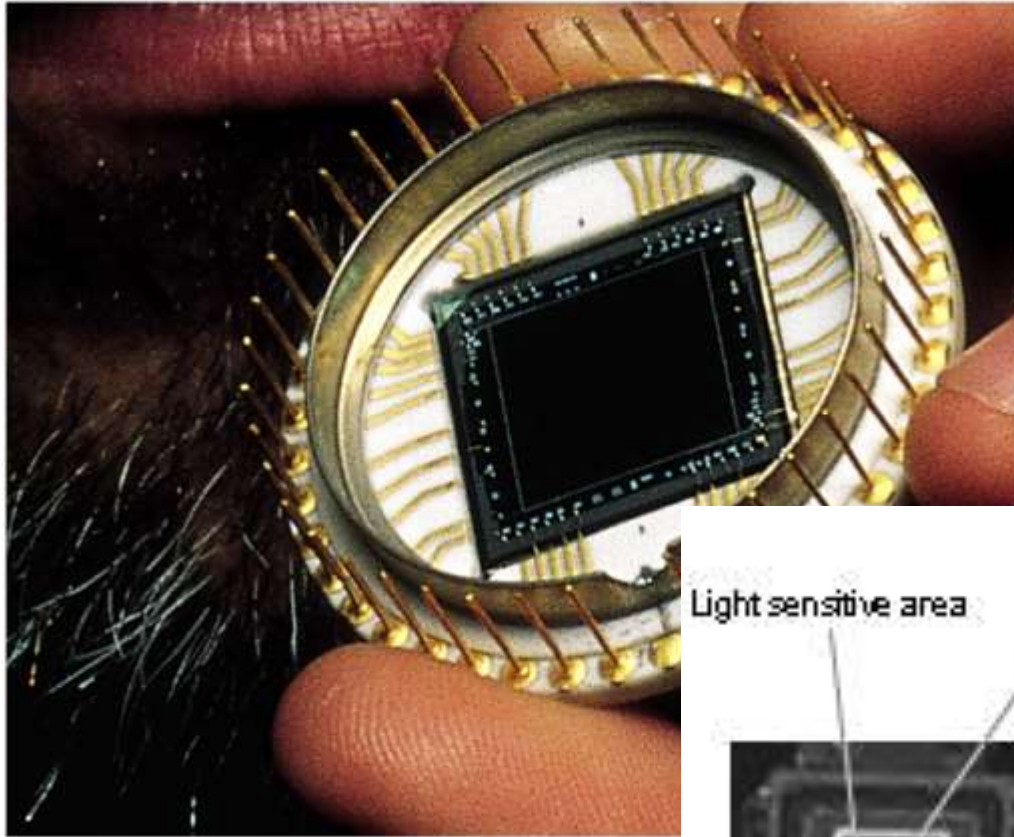


### 3、信号电荷的注入——电图像形成

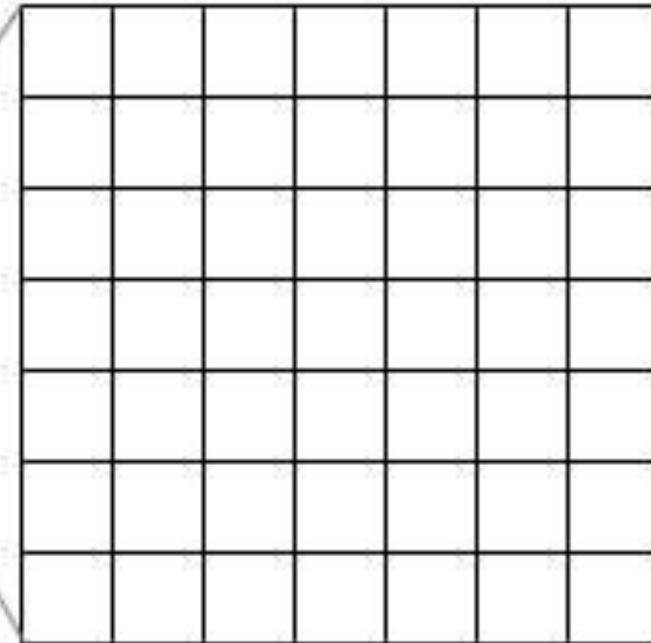
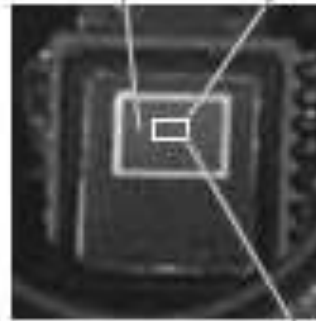
在CCD摄像器件感光面中，有序排列着百万、千万个电极（相当于像素），每个电极下都有一个相同深度的电子势阱。当景物成像在感光面时，每个电极对应的衬底在光激发下，出现数量和光强度成正比的电子-空穴对。多数载流子——空穴被排挤走，少数载流子——电子注入势阱，形成电荷包。实现光电转换，形成几十万个电荷包，得到电图像。







Light sensitive area



说明：

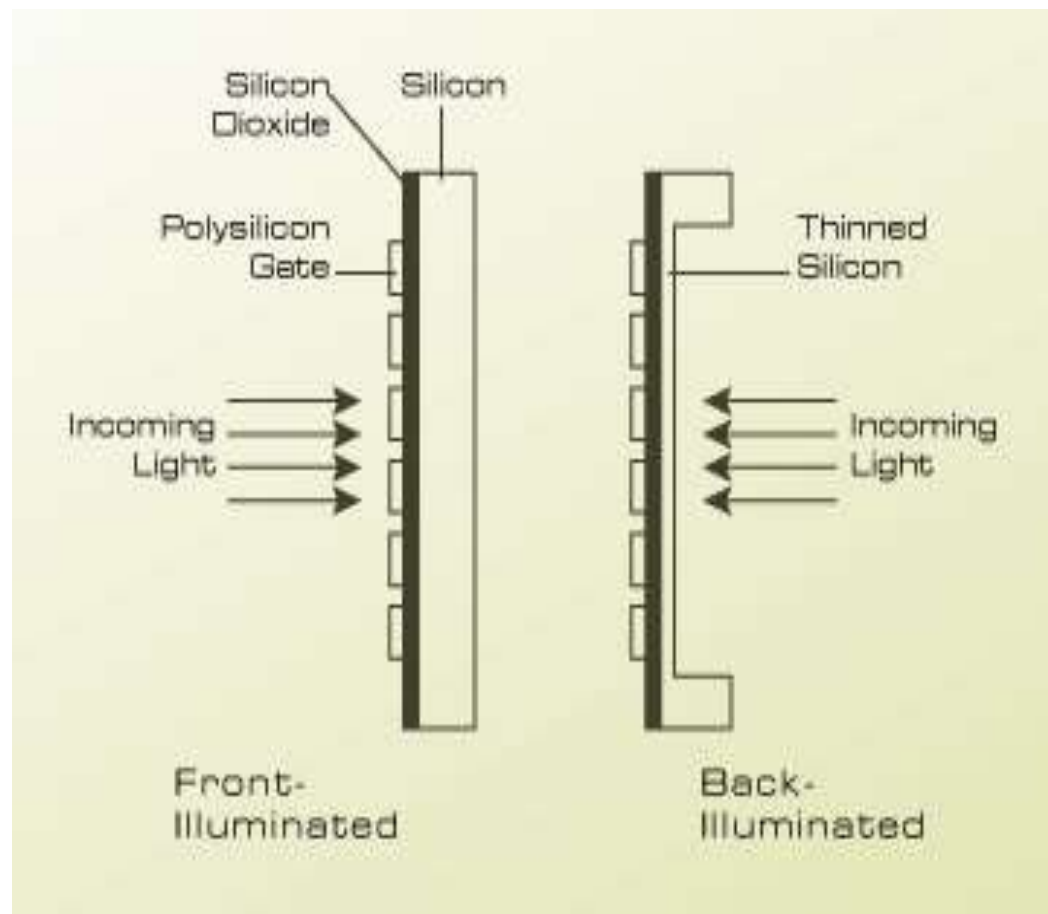
- 每个电荷包读出的时间很短，一场读一次。在前后两次读出的间隔（约20ms）期间，电荷包的电荷量一直在积累，提高了灵敏度。
- 光的照射方法有两种：前入射（只能由电极缝隙射入——效率30%），背面入射（要求衬底很薄，10微米，以便在可见光范围内，都有良好的光电响应特性——效率50%以上）。

前照式:

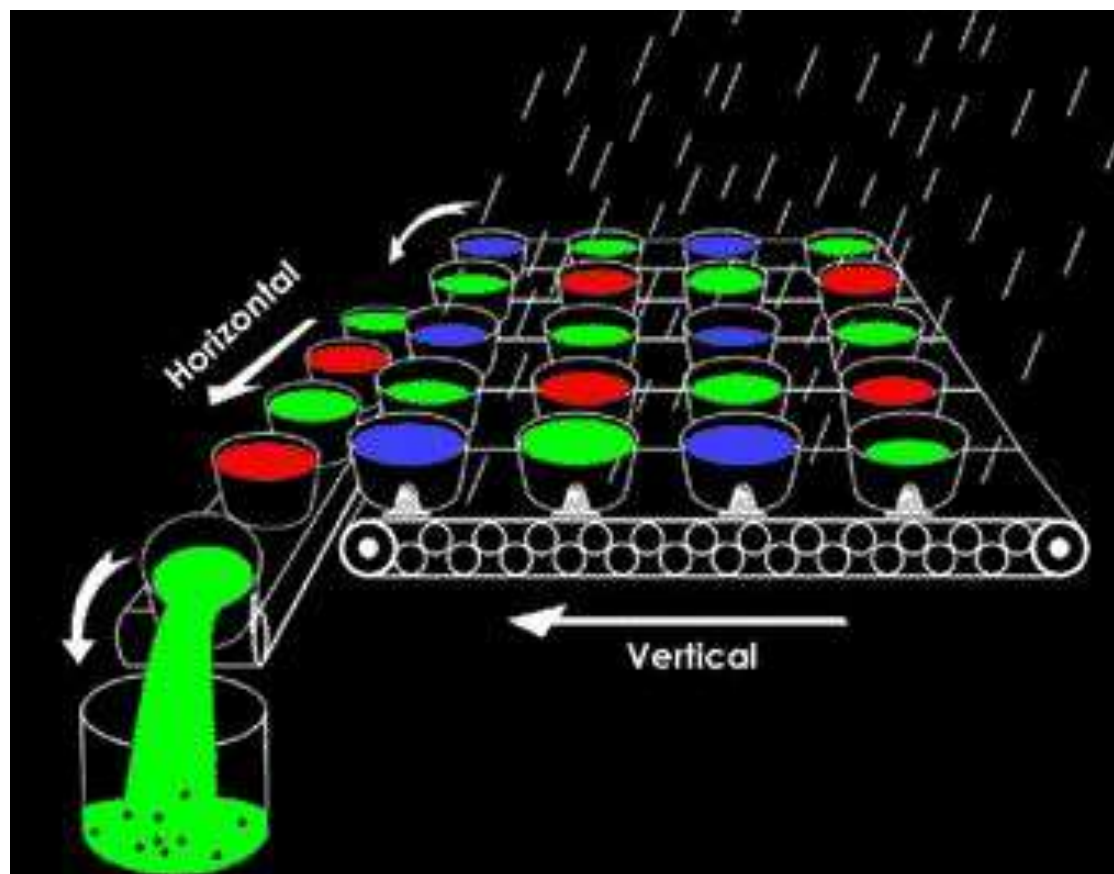
光从正面照射芯片形成电荷

背照式:

光从背面通过并直接进入光子效率可达到**80%**



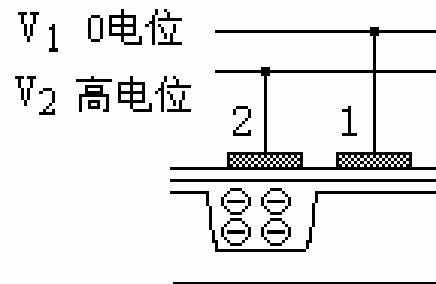
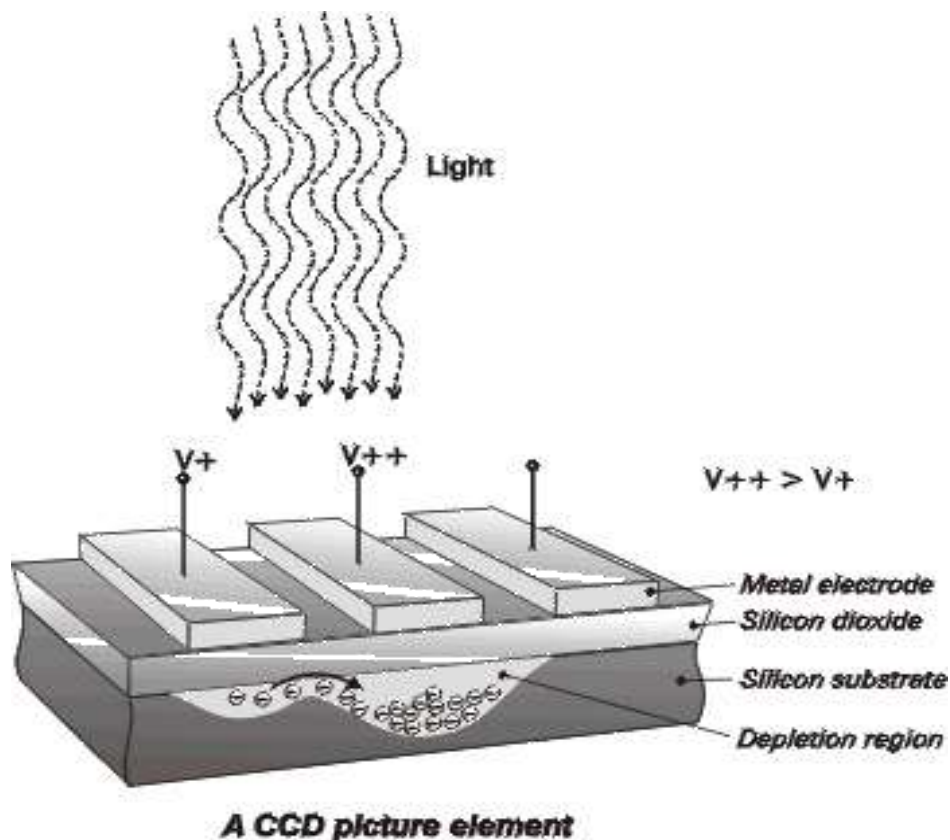
## 4、信号电荷的转移





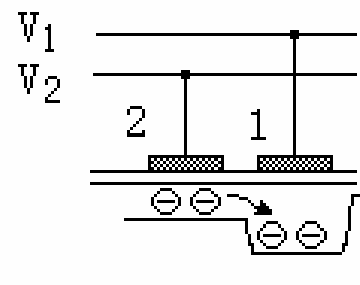
# 电荷包的转移方法:

加深相邻势阱的深度, 使电荷向相邻势阱转移。



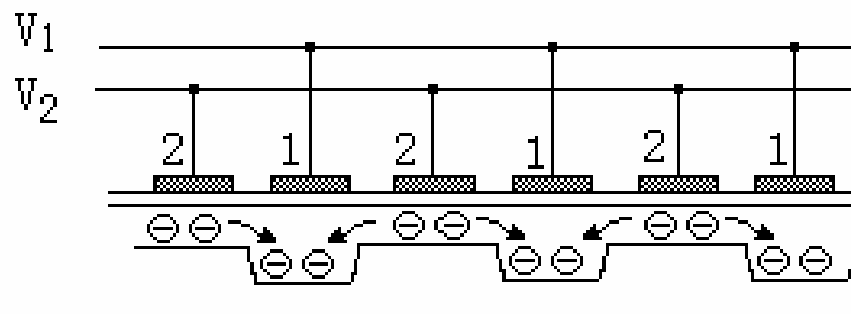
(a) 电荷积累期间

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

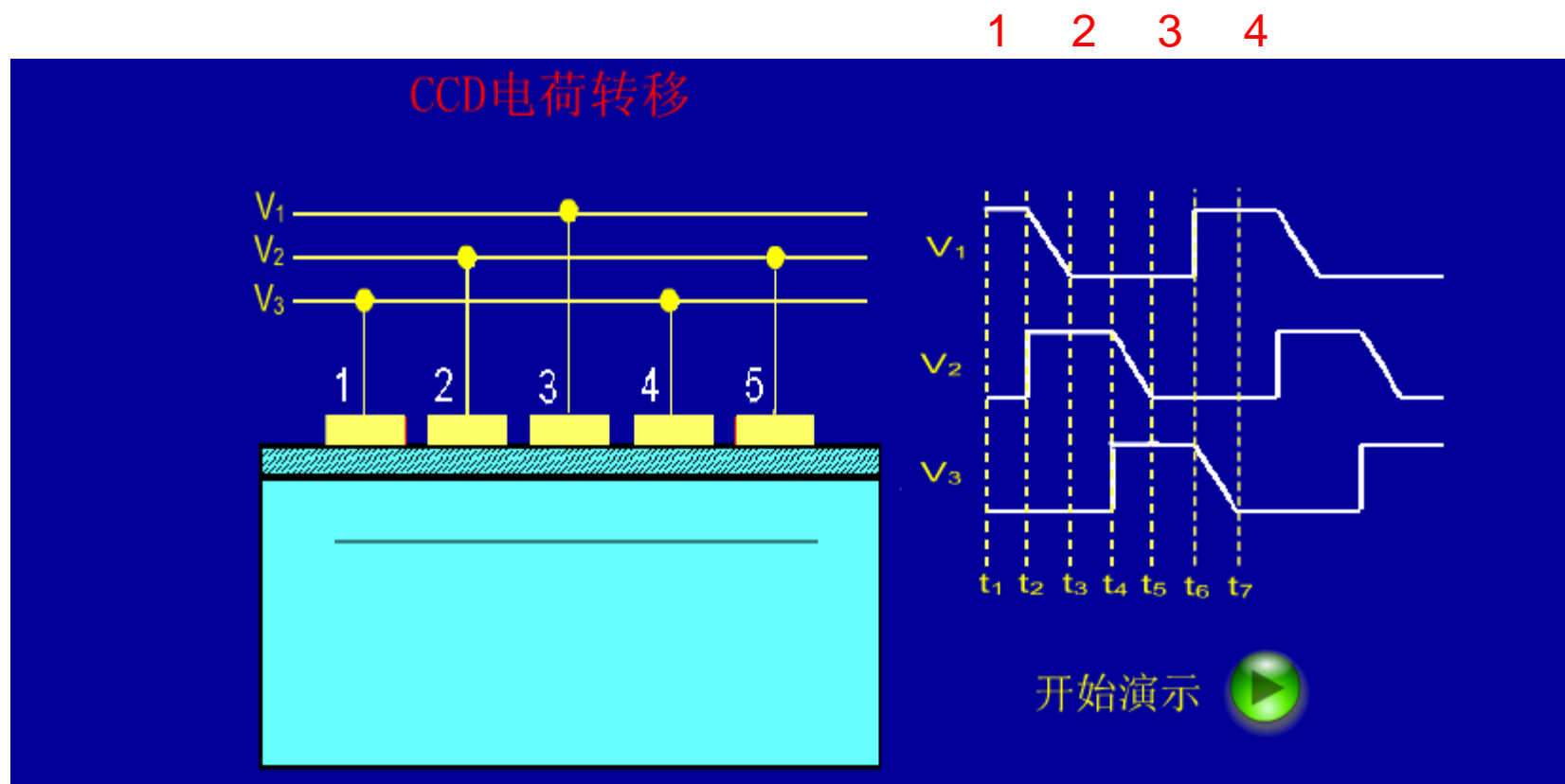


(c) 电荷不能单方向转移

为实现定向电荷转移, 有三相、二相、四相时钟驱动三种方式。

❖ 三相时钟驱动 实现双向转移。

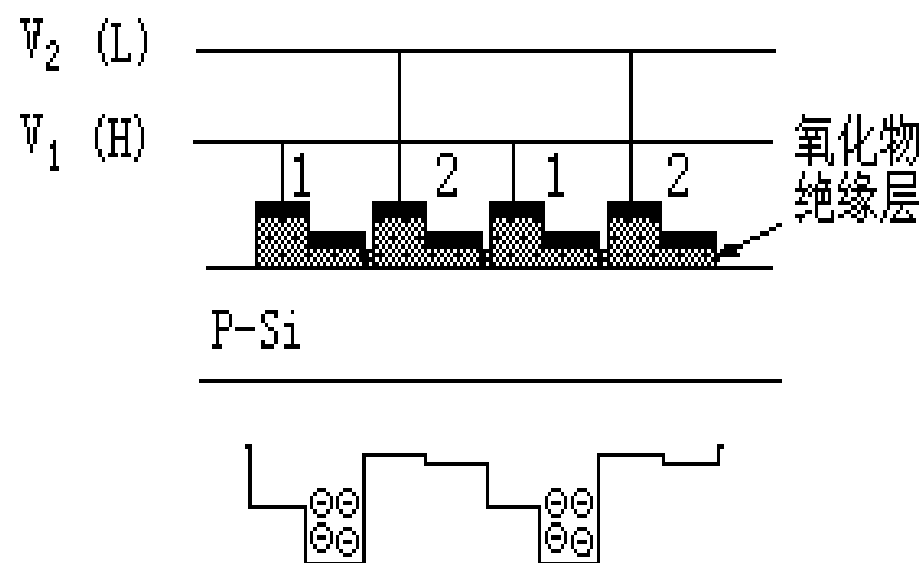
相邻势阱每三个为一组（为一个像素），三个势阱分别加三相时钟V1、V2、V3。相位各差 $120^\circ$ 。



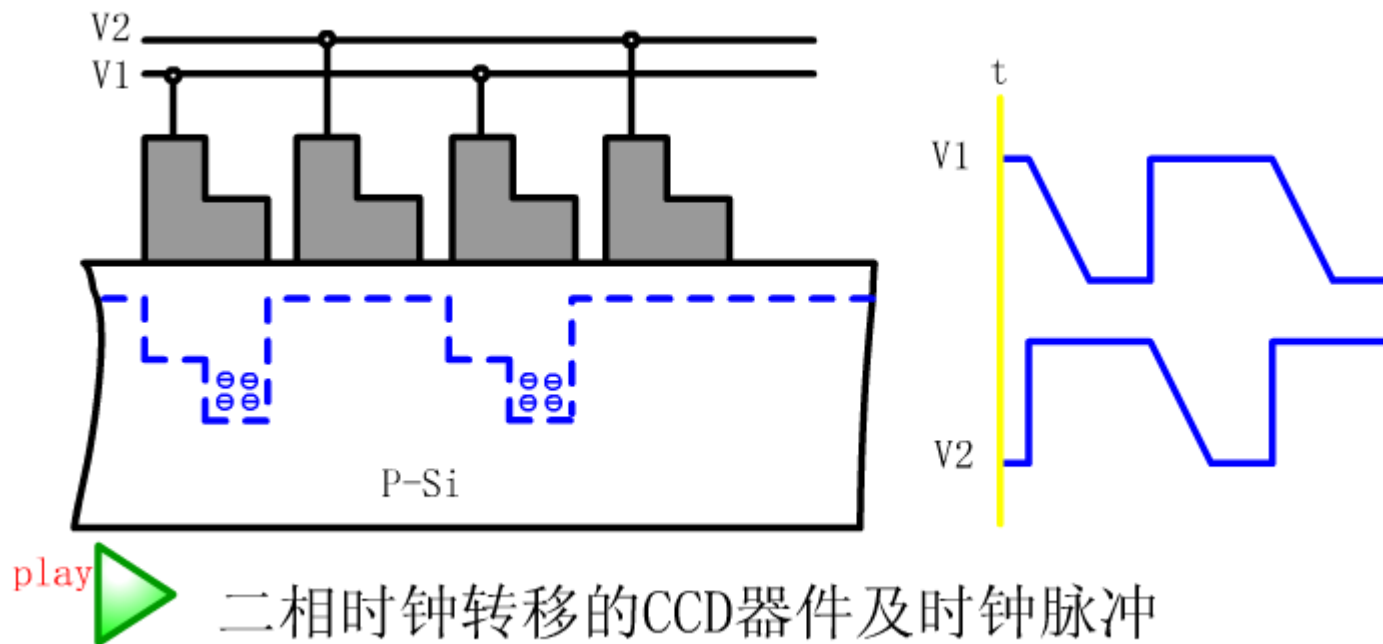
❖ 二相时钟驱动

• 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。



- 电荷转移原理  
由相位差 $180^\circ$  两个时钟驱动



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。

## ❖ 四相时钟驱动

### • 实现隔行扫描的方法

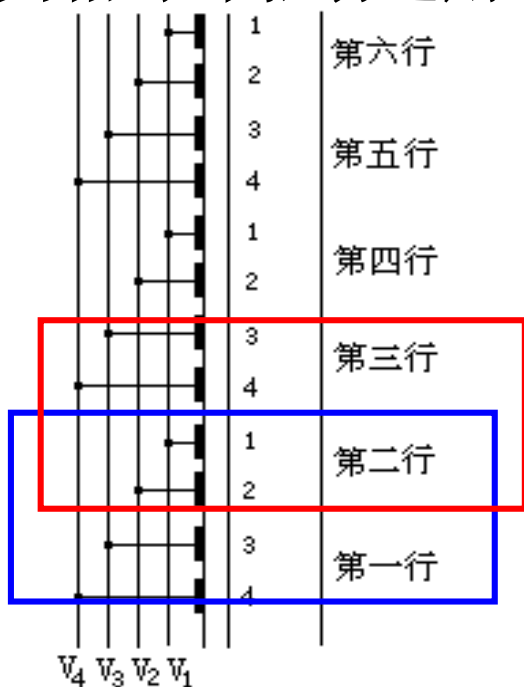
一片CCD光敏器件上有577行（比有效扫描行数575多两行）。

**奇数场**是将1、2行合并为第一行输出，3、4行合并为第二行输出；

**偶数场**是将2、3行合并为第一行输出，4、5行合并为第二行输出。

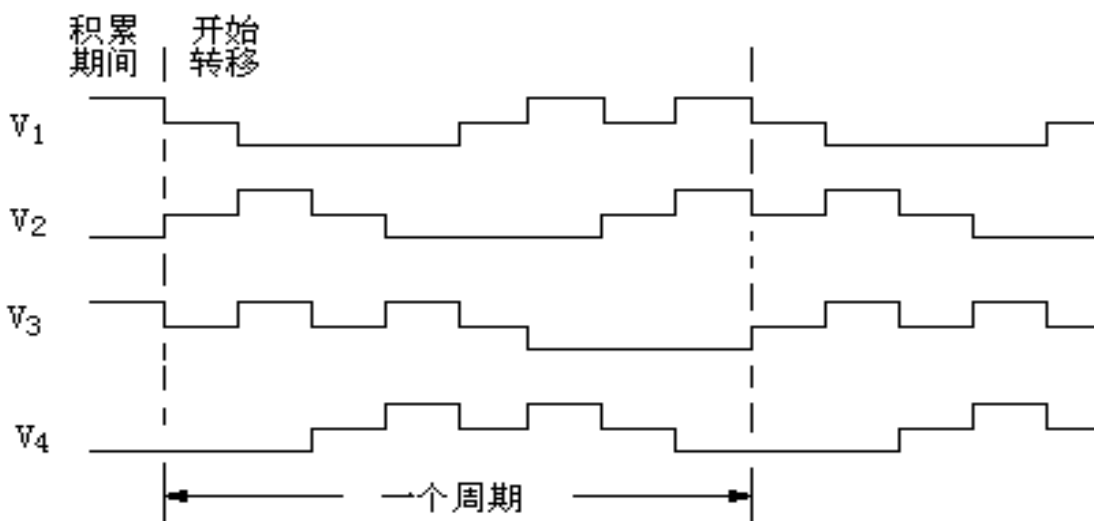
一场读一次,每一场288行。

四相时钟驱动适用于垂直方向的隔行读出。



(a) 结构示意图

(一列6个像素)



(b) 四相驱动脉冲波形



## 2、CCD摄像器件（面阵）

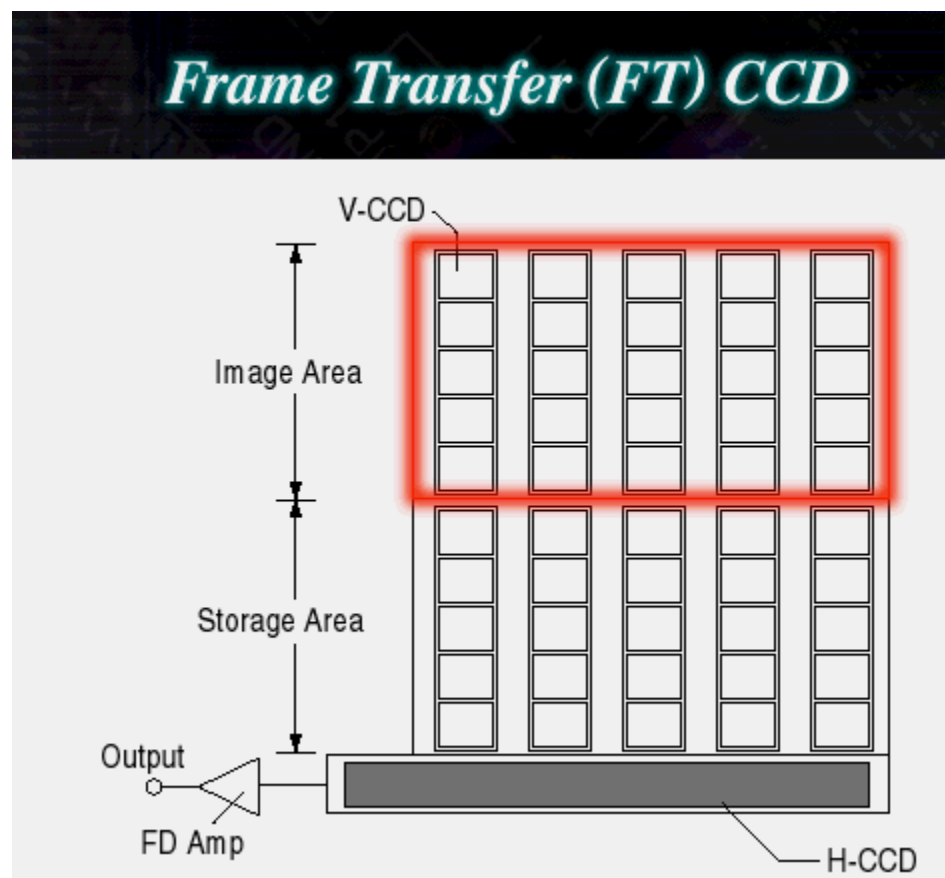
三种结构：

帧间转移式（FT）、行间转移式（IT）、帧行间转移式（FIT）

### （1）FT式CCD摄像器件

结构：分三部分

成像部分（感光部分）、存储部分（遮光的）、读出寄存器（水平移位寄存器，遮光的）。



工作原理:

**场正程期间:**

1. 成像部分进行光电荷积累, 每个像素形成电荷包。

**场消隐期间:**

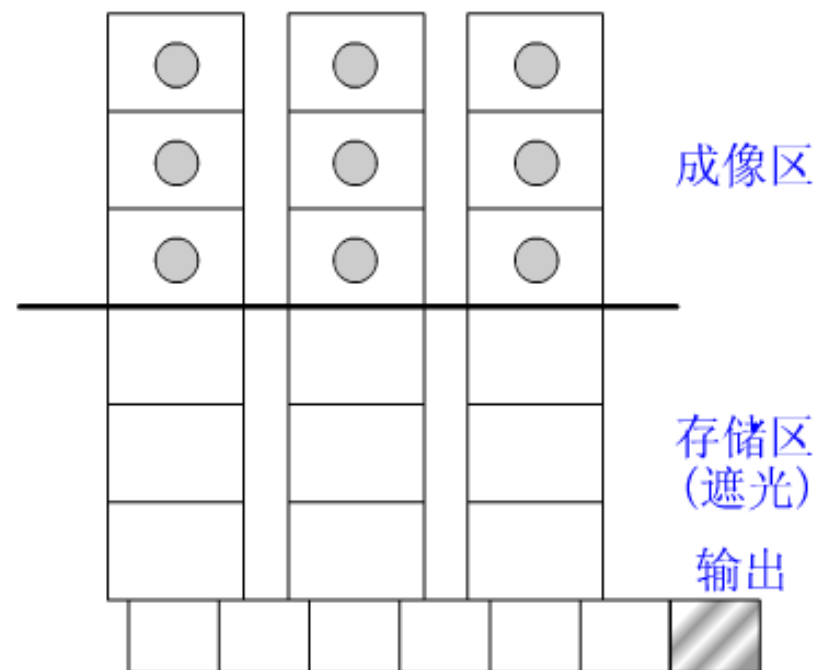
电荷包迅速 (约20微秒)

向下移入存储部分。

**场正程期间:**

2. **每个行消隐期间:** 每个垂直移位寄存器的电荷包, 在时钟脉冲驱动下, 逐行移入水平移位寄存器。

**在行正程期间:** 水平移位寄存器在时钟脉冲控制下输出图像信号。



▶ 帧间转移式 (FT) CCD 的结构

**优点：**分解力高---

成像部分电极结构  
简单，感光单元密。

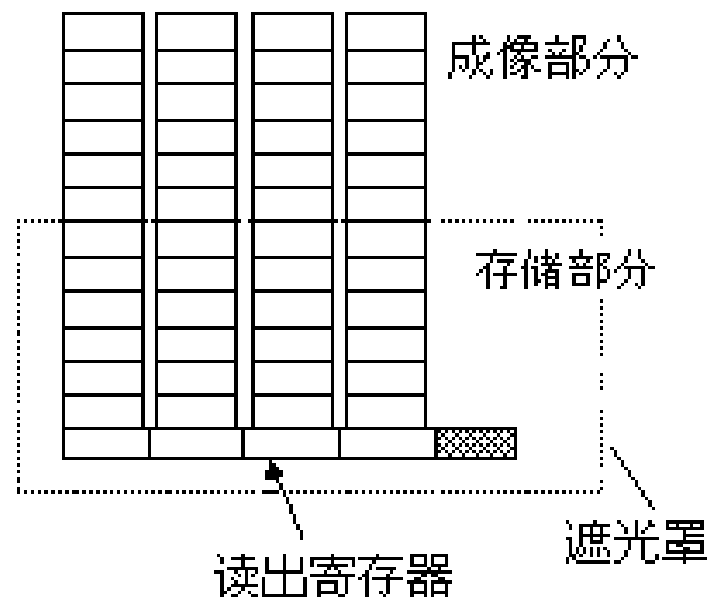
**缺点：**

(1) 器件总面积大；

(2) 要有机械快门

(场消隐期间用叶片挡住光) 才能防止出现垂直拖道

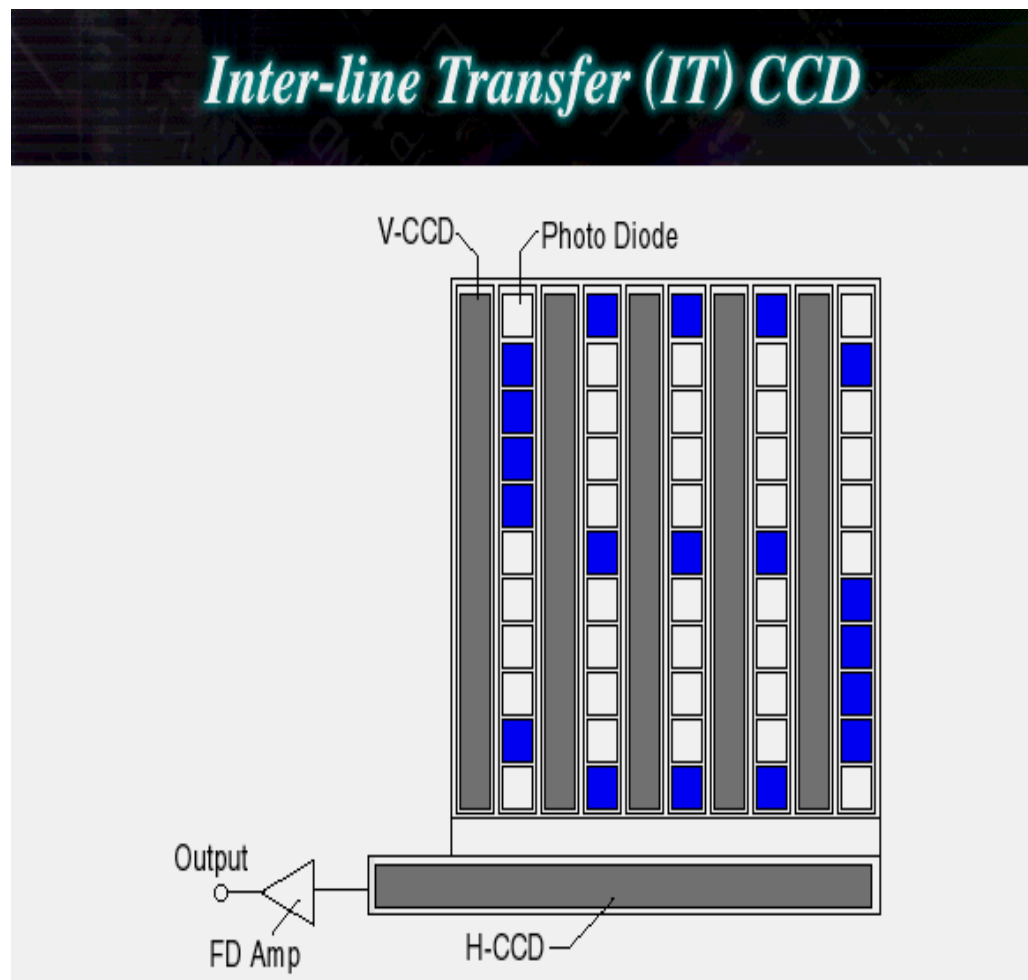
(因为场消隐期间在成像部分转移电荷包的时间长，如果有光照射成像部分会在垂直方向上造成模糊)；故整体机构复杂。



## (2) 行间转移式 (IT)

结构:

每一列的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。



工作过程:

**场正程期间:**

1. 每个感光单元积累光电荷  
电荷包;

**场消隐期间:**

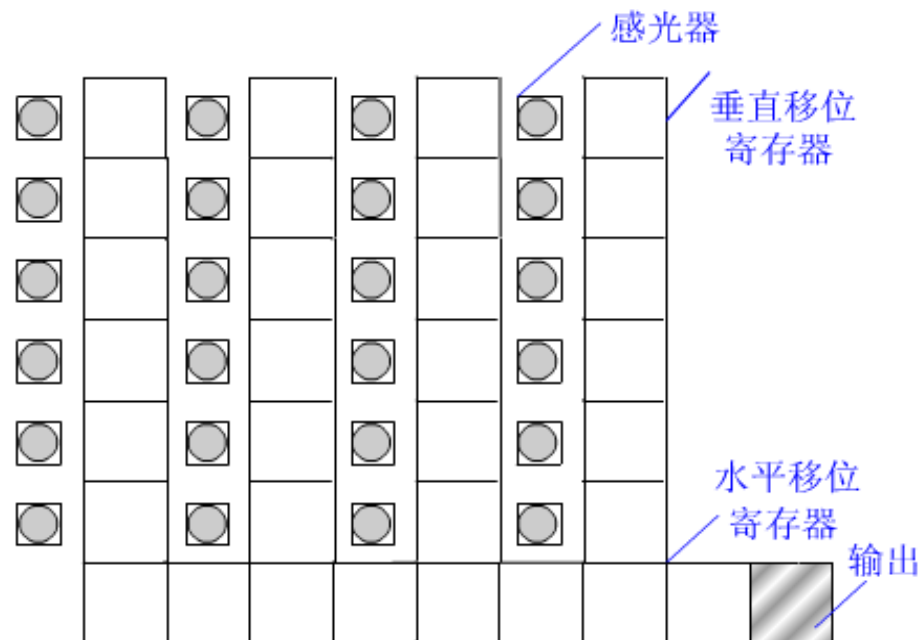
用1 $\mu$ s时间将电荷包  
转移到垂直移位寄存器;

**场正程期间:**

2. **每个行消隐期间:**

每个垂直移位寄存器的电荷包, 在时钟脉冲驱动下, 逐行移  
入水平移位寄存器。

**每个行正程期间:** 水平移位寄存器在时钟脉冲控制下输出  
图像信号。



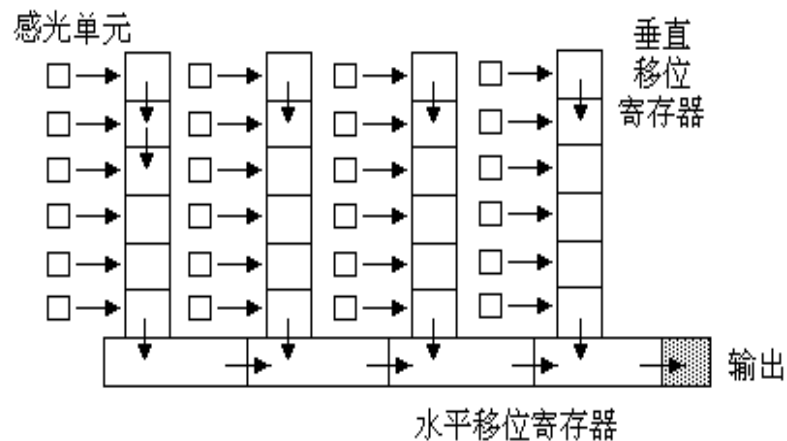
▶ 行间转移式(IT)CCD的结构



**优点：**结构简单。

**缺点：**

- 垂直分解力差---因为倾斜光线漏进垂直移位寄存器，而垂直转移时间长，要一场时间（约19ms），如果画面上有亮点，会有垂直拖道；
- 灵敏度低（器件的开口率只有40%）。



**说明：**

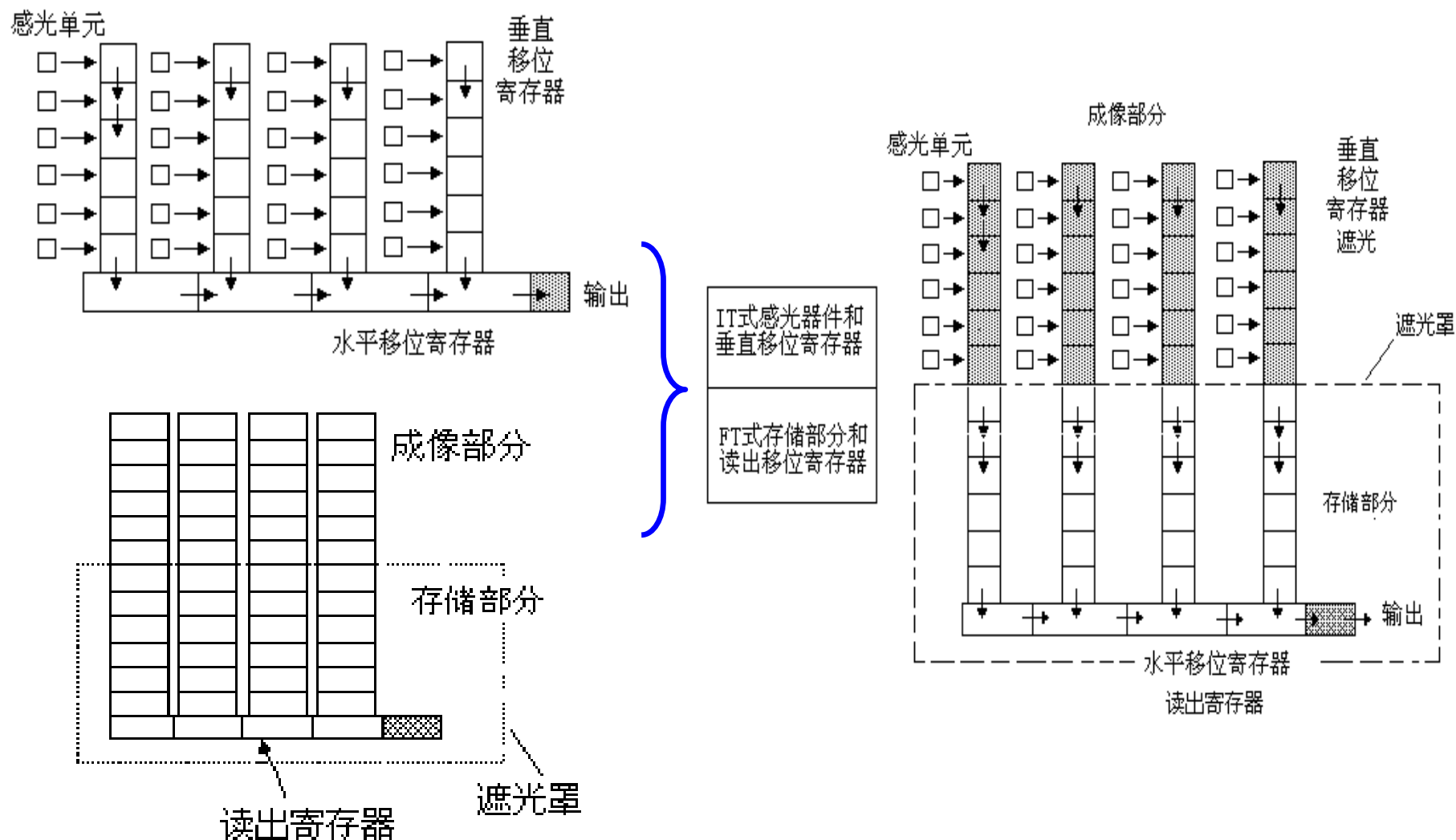
为防止“开花”，在各感光单元左侧有溢流控制门和溢流阱（溢流沟道），用来吸收图像过亮部分势阱中溢出的电子。

垂直移位寄存器采用四相时钟驱动，水平移位寄存器采用二相时钟驱动。

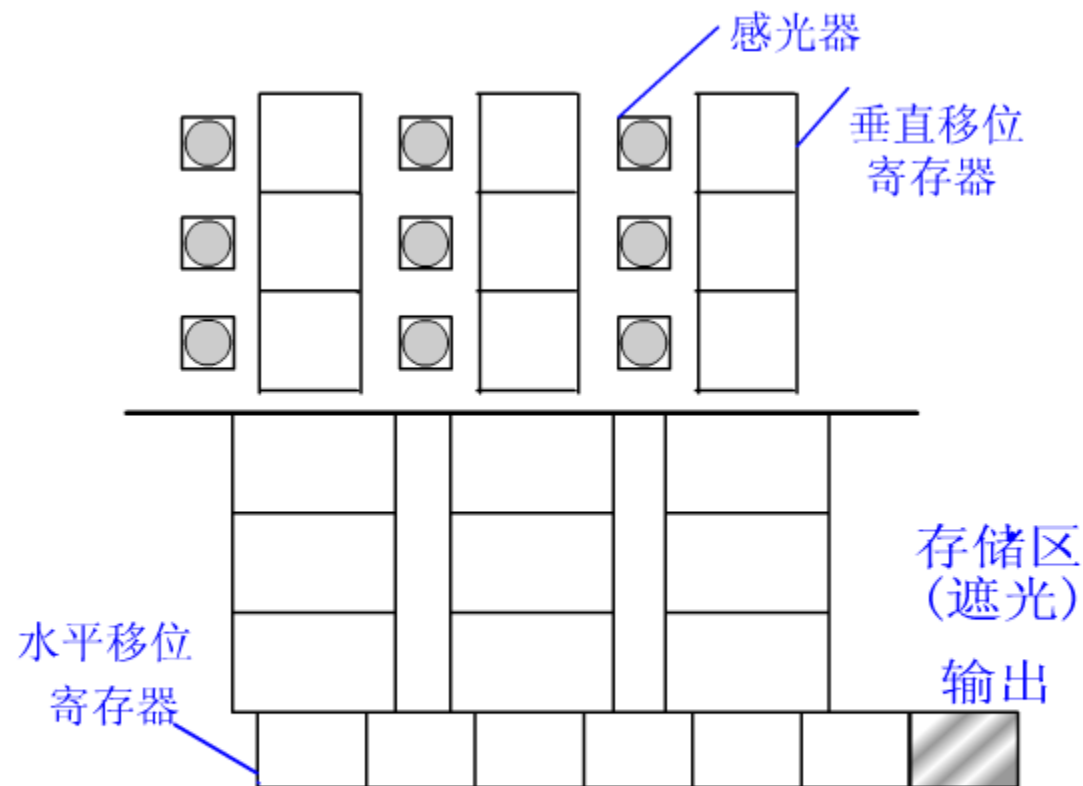


### (3) 帧行间转移 (FIT) 方式CCD摄像器件

结构：是行间转移和帧转移的结合。



工作原理：  
在场消隐期间，  
感光区的电荷包瞬间（1us）  
转移到垂直移位寄存器，  
然后又很快  
（20us）转  
移到存储部分。  
在场正程，  
感光区象IT一  
样重新积累电荷，  
存储部分又象FT一样一行一行输出图  
像信号。



帧行间转移式(FIT)CCD的结构

特点:

由于电荷包转移迅速（**1us**），勿需机械快门，另外，从垂直移位寄存器转移到存储部分时，不象IT那样在场正程一行一行慢慢转移（19 ms），而是在场消隐很快的转移（20微秒）垂直拖道比IT小得多(1/1000)。

性能最佳,但工艺复杂，价格高。

## *Features of the Each Transfer Method*

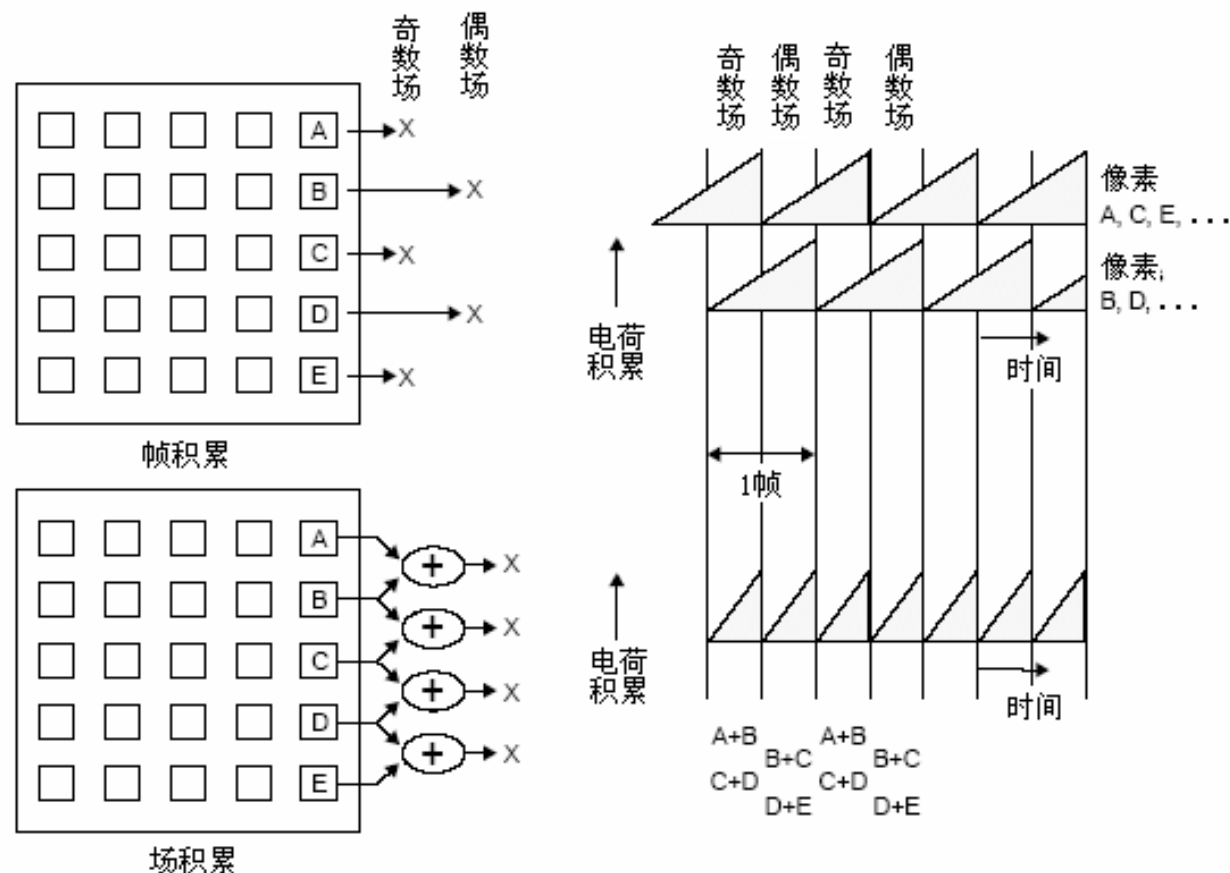
Transfer Method	Smear	Manufacture in complexity	Chip Area	High Speed Frame Shift	Optical aperture ratio
IT	middle	difficult	small	non-applicable	small
FT	high	easy	large	applicable	large
FIT	low	difficult	large	applicable	small



# 隔行读出

因为沿用真空摄像管的术语和叙述的方便，常常把面阵CCD的光生电荷隔行读出，说成隔行扫描。

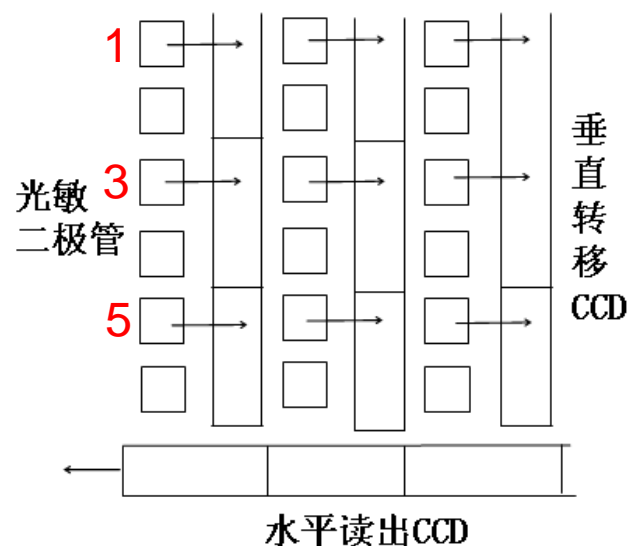
隔行读出有**帧积累方式**和**场积累方式**两种：



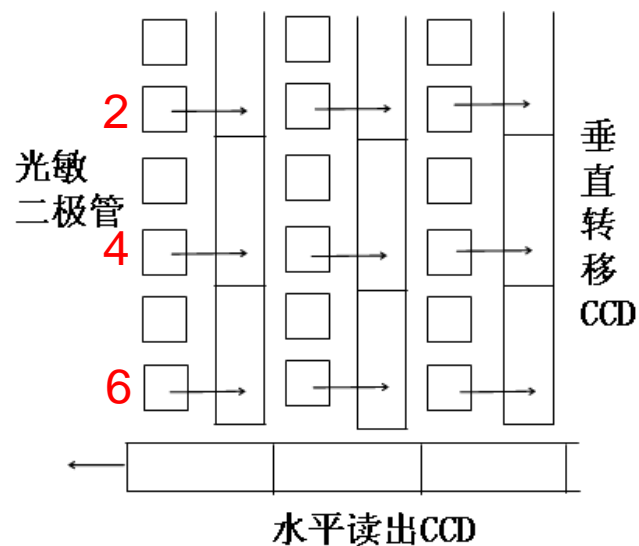
## 帧积累方式(Frame Integration Mode)

存储在**奇数行**各像素中的光生电荷在**奇数场**读出，  
存储在**偶数行**各像素中的光生电荷在**偶数场**读出，  
每个像素的光生电荷的积累时间是一**帧时间40ms** ( $1 / 25\text{s}$ )。

帧积累方式的光生电荷积累时间长，为两场时间。上一场的光生电荷保留在光敏区，出现在下一场中，所以有一场时间的延迟，即两场的存储有一场时间的重叠，故会引起**动态分辨率下降**。



(a) 奇场

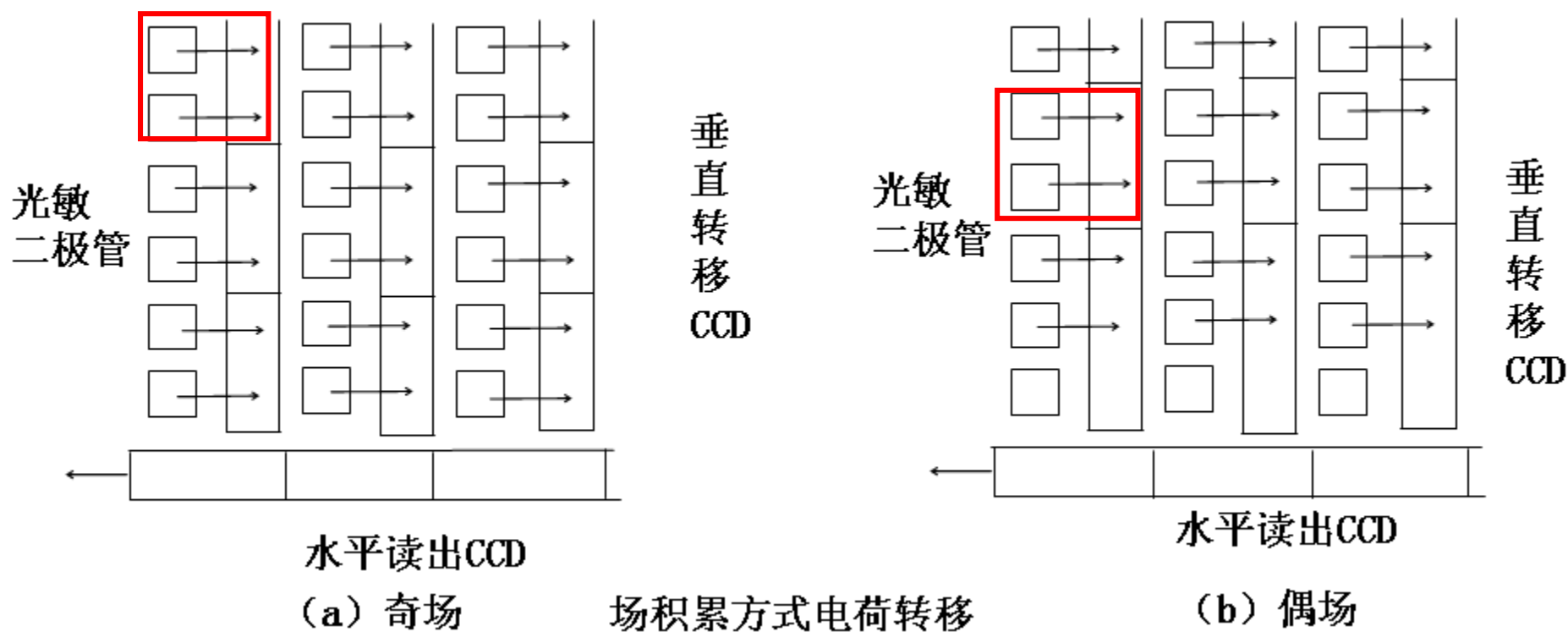


(b) 偶场

帧积累方式电荷转移

## 场积累方式(Field Integration Mode)

两个相邻行的电荷加起来同时转移到垂直CCD移位寄存器。隔行读出是由相加电荷的组合方式不同来实现的。每个像素的光生电荷积累时间是一场时间 $20\text{ms}$  ( $1 / 50\text{s}$ )。在四相时钟脉冲驱动下完成相邻行电荷的合并。由于混合上下相连两行的信号电荷，故会引起垂直分辨率下降。



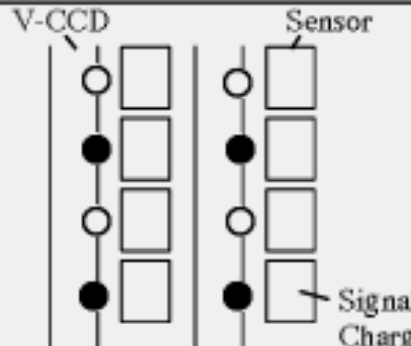
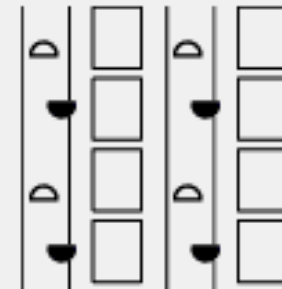
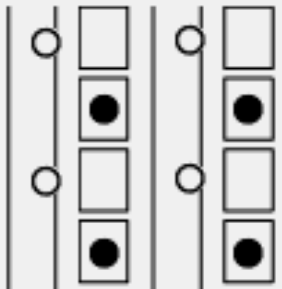
## 帧积累方式如下特点：

- (1) 垂直分解力高
- (2) 每一场都是一帧时间的电荷积累，拍摄活动图像时会变模糊，适合于拍摄静止图像。不过，在帧积累的基础上配合电子快门，就能解决模糊问题。

## 场积累方式有如下特点：

- (1) 每一场都是一场时间的电荷积累，比帧积累方式少50%
- (2) 图像垂直边缘的闪烁减少。
- (3) 宽的动态范围和抗弥散性好。（弥散也称光晕，开花。光敏区某一点被过曝光时，电荷从势阱中溢出，流入相邻的势阱内，出现一种像墨水发洩那样的现象，使画面变白。）
- (4) 垂直方向分辨率略有降低。

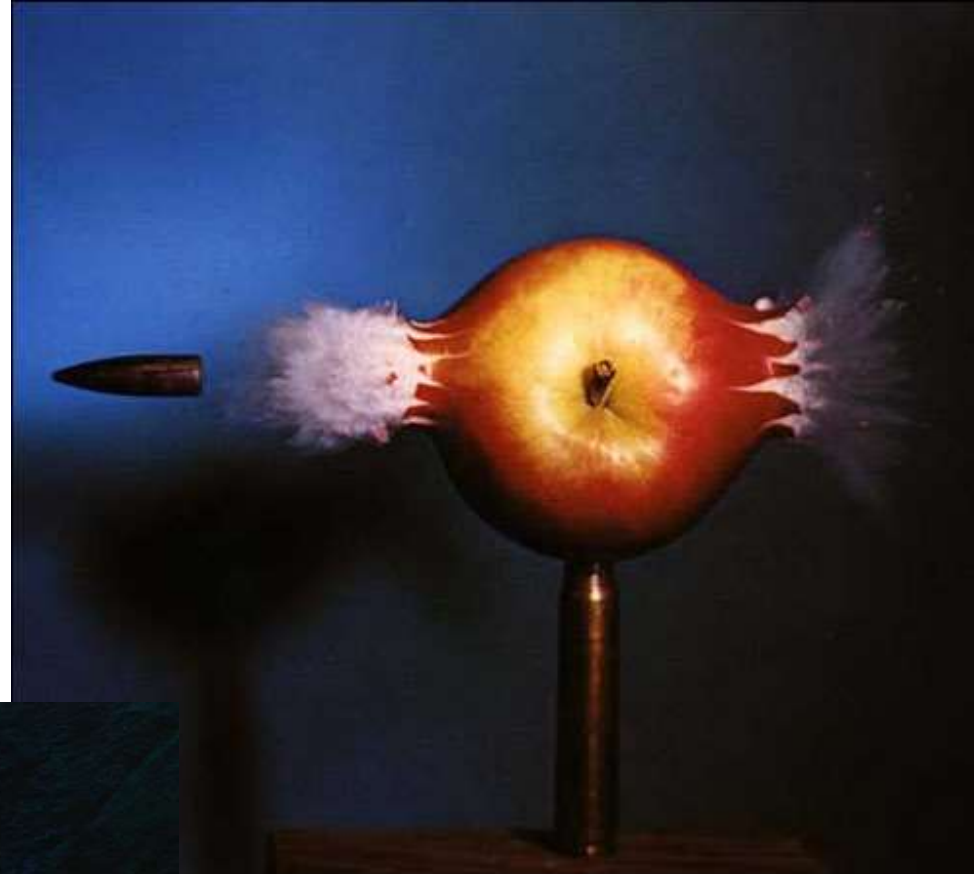
## *Differences between Progressive Scan CCD and Interlaced Scan CCD*

	Progressive Scan (Non-Interlaced Scan)	Interlaced Scan		
		Field Accumulation	Frame Accumulation	
1st Field				
Characteristic	Vertical Resolution	Good	Vertical Resolution	No Good
	Dynamic Resolution	Good	Dynamic Resolution	Good
			Vertical Resolution	Good
			Dynamic Resolution	No Good



### 3、CCD器件的工作特性

快门



## (1) 电子快门:

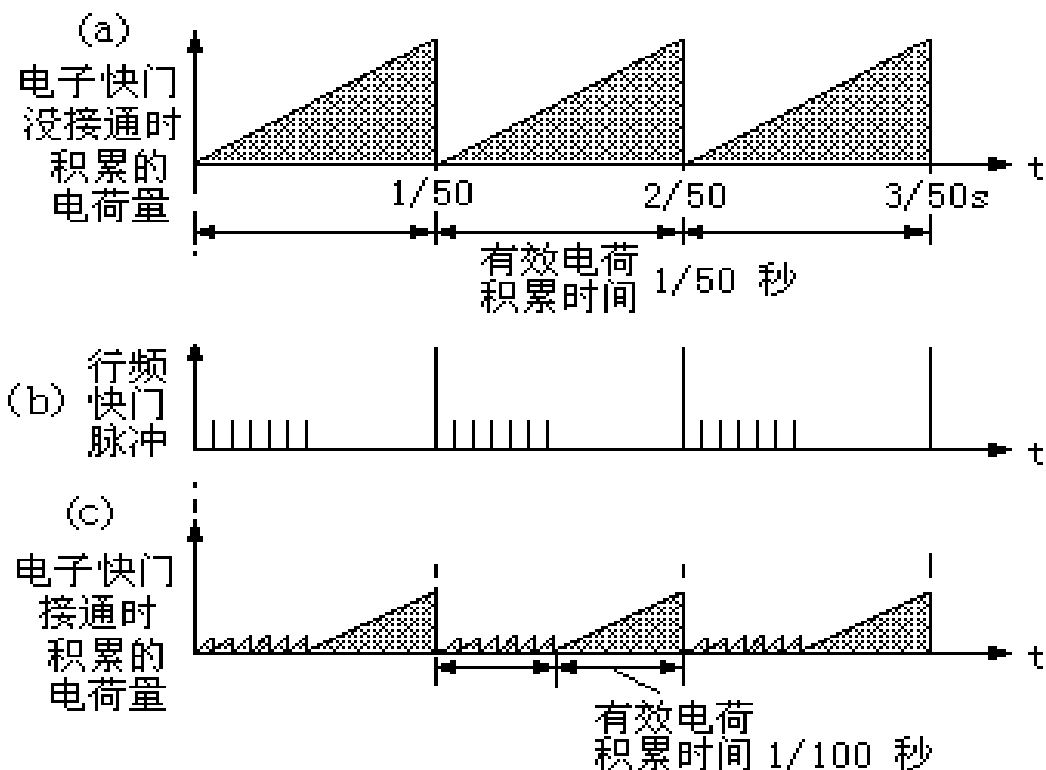
作用: 使摄像机在拍摄高速运动物体时, 重现图像不模糊。

如何实现电子快门:

缩短积累电荷的时间, 将极短时间积累的电荷读出。

### 具体实现方法:

将一场时间积累的电荷分两次读出, 第一次舍弃掉(通过溢流沟道上加高电位), 舍弃后重新积累, 到达场消隐时再读出作为图像信号。



电子快门时间：有效积累时间。有效积累时间越短，电子快门速度越快。

电子快门时间通常以行周期的整数倍来设定，如16H， $16/15625=1/976.56\approx 1/1000$ 秒

现在CCD摄像机可选择的电子快门速度档次一般为：

关、**1/50 s、 1/100 s、 1/250 s、 1/500 s、 1/1000 s、 1/2000 s**

**说明：**使用电子快门时，图像信号幅度小，信杂比低，景物有高照度时才用。

## *Electronic Shutter*

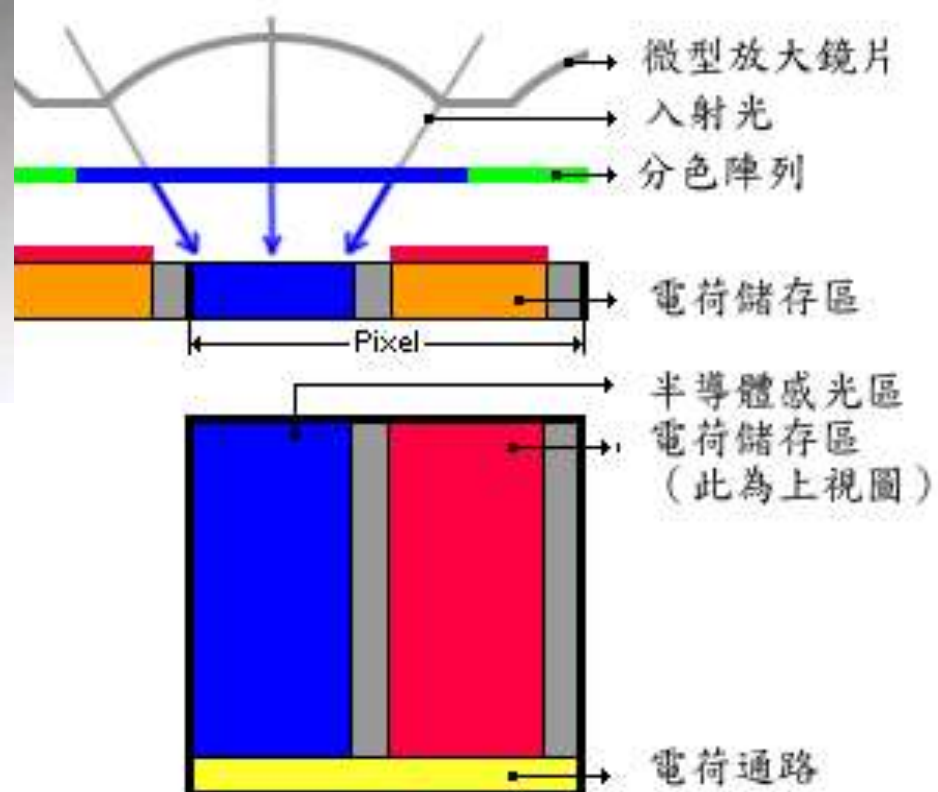
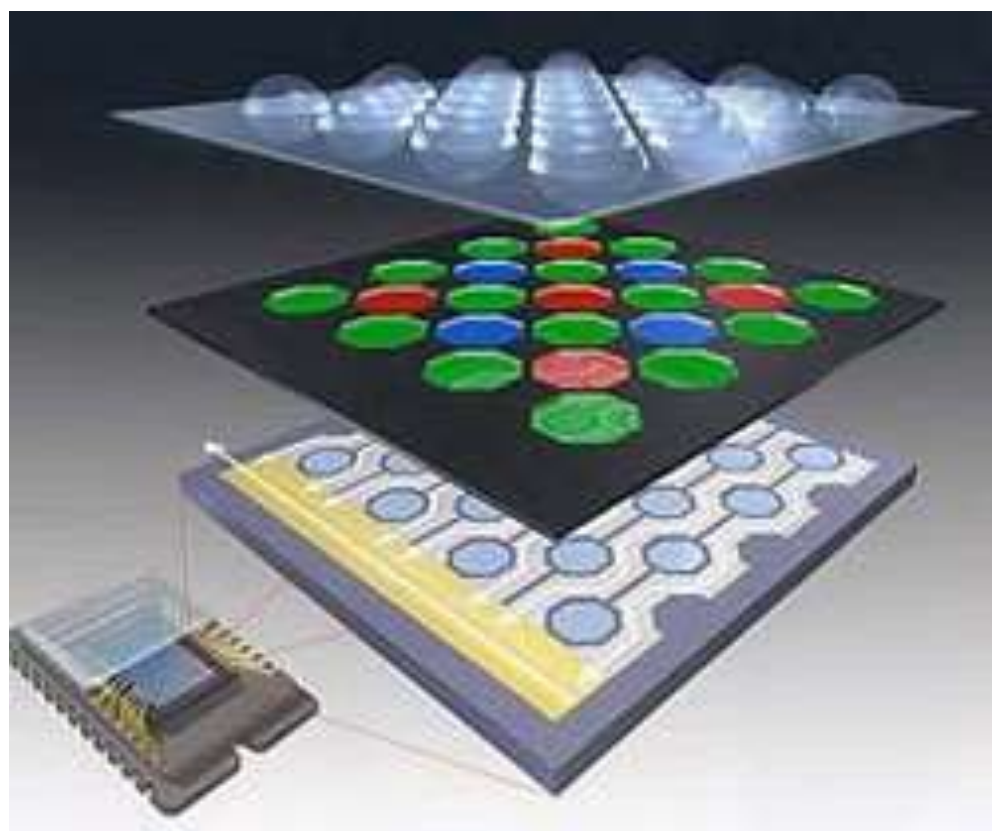
1/60sec.



1/1000sec.







## (2) CCD摄像机的特性:

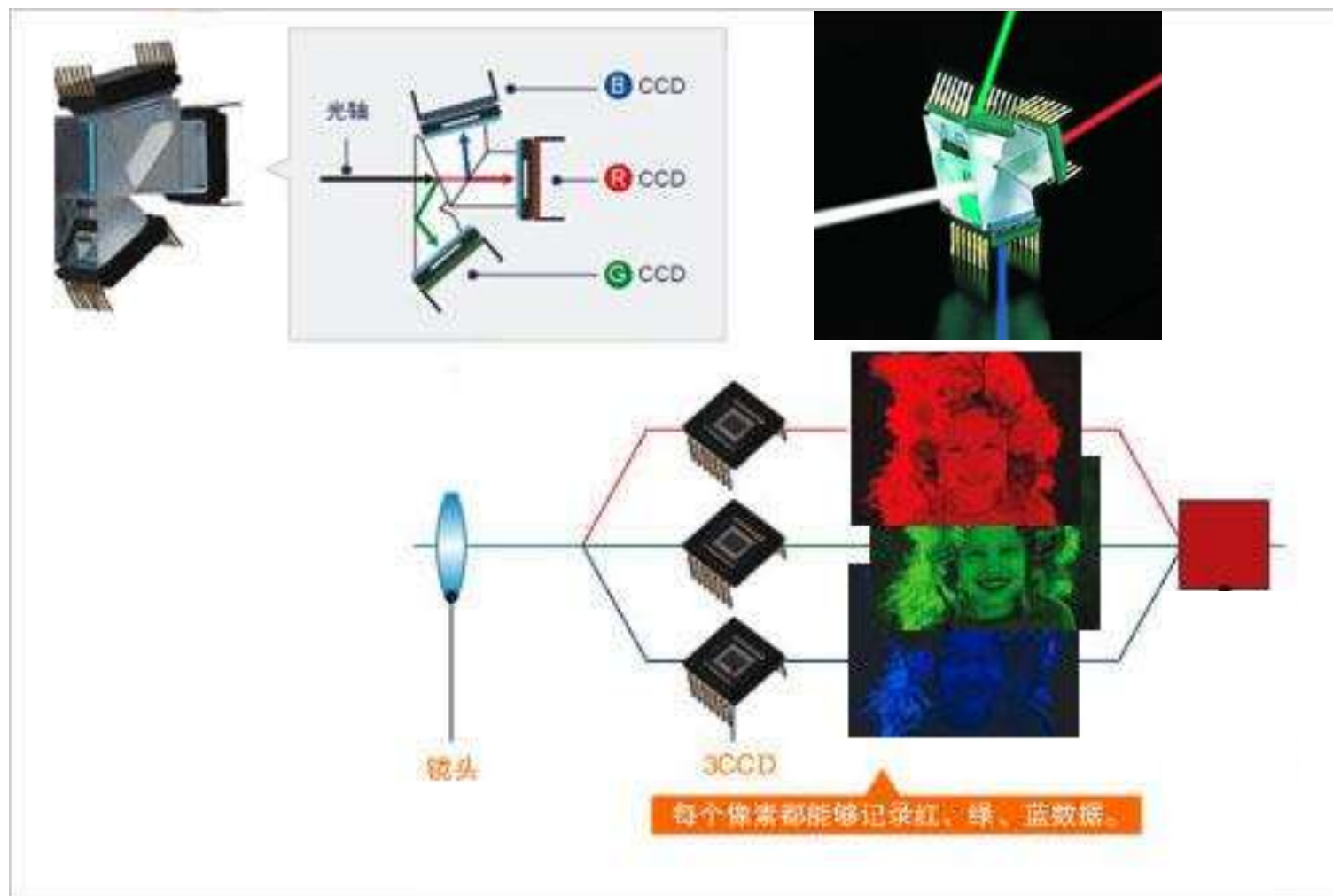
优点：寿命长、维护简单、灵敏度高、惰性轻（无高照度的拖彗尾、开花）、耐灼伤、无画面几何畸变、抗振性好、不受磁场干扰、耗电少、重量轻、可加电子快门等。

缺点：固定图形杂波大（CCD单元性能差异引起、低照度明显）、**IT CCD有垂直拖道**。



# 彩色CCD摄像机

广播电视中常用的是三片式彩色CCD摄像机。



## 3CCD缺点:

- 体积大，需要分光棱镜。分光棱镜尺寸随CCD尺寸增大，最大画幅受限（2/3寸）；
- 光学失真，成本大；
- 棱镜的存在影响镜头后焦距的空间，影响广角镜头的实现。

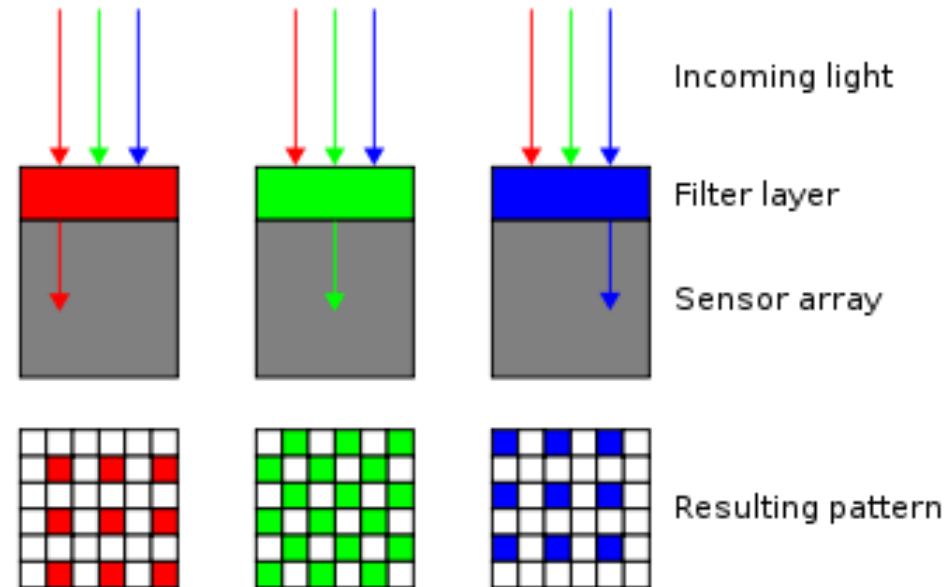
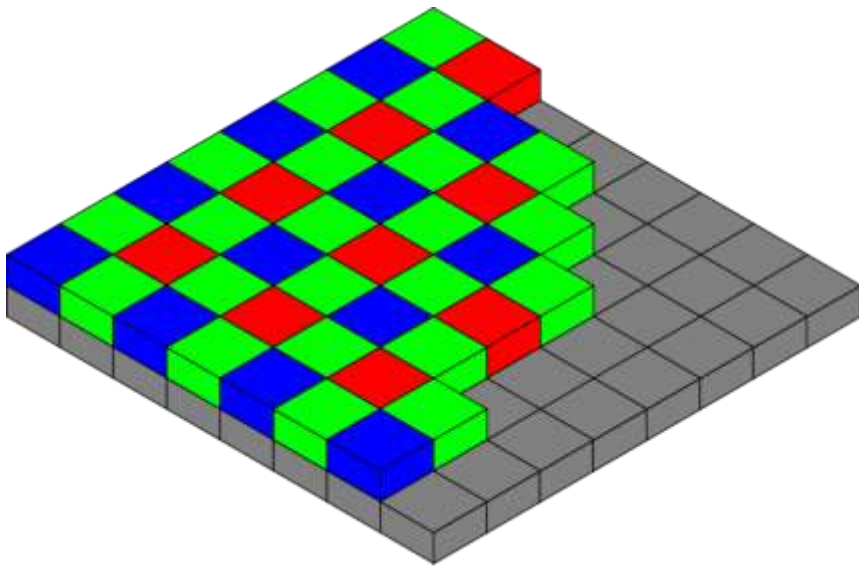
# 单片式彩色CCD

**方式1：**拜尔**CCD**方式，利用插值计算，每一个**CCD**单元都作为一个像素。

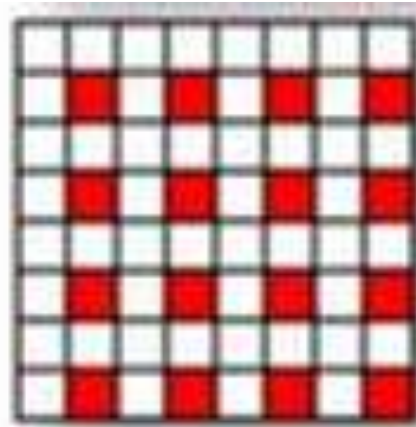
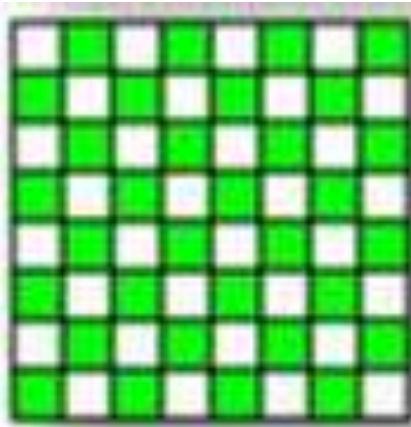
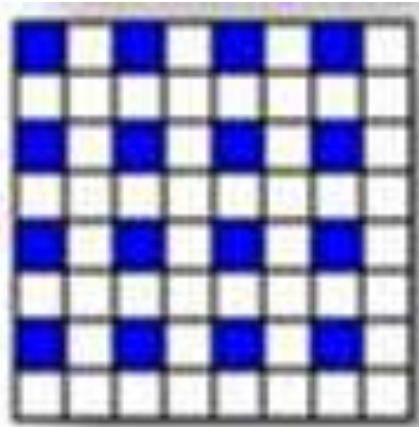
- 拜尔滤镜（Bayer filter mosaic）

由Eastman Kodak的博士Bryce E. Bayer提出

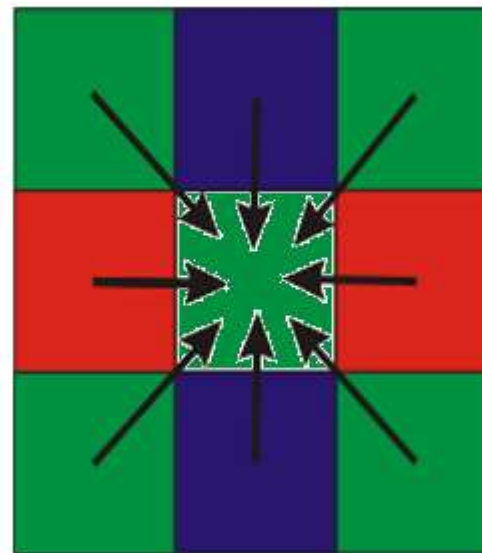
- 过滤的模式为50%绿色，25%红色和25%蓝色，所以也称为GRGB或RGGB。



绿色的元件是红色或蓝色元件数的两倍，是为了模仿人类的眼睛对绿光更敏感的原理。

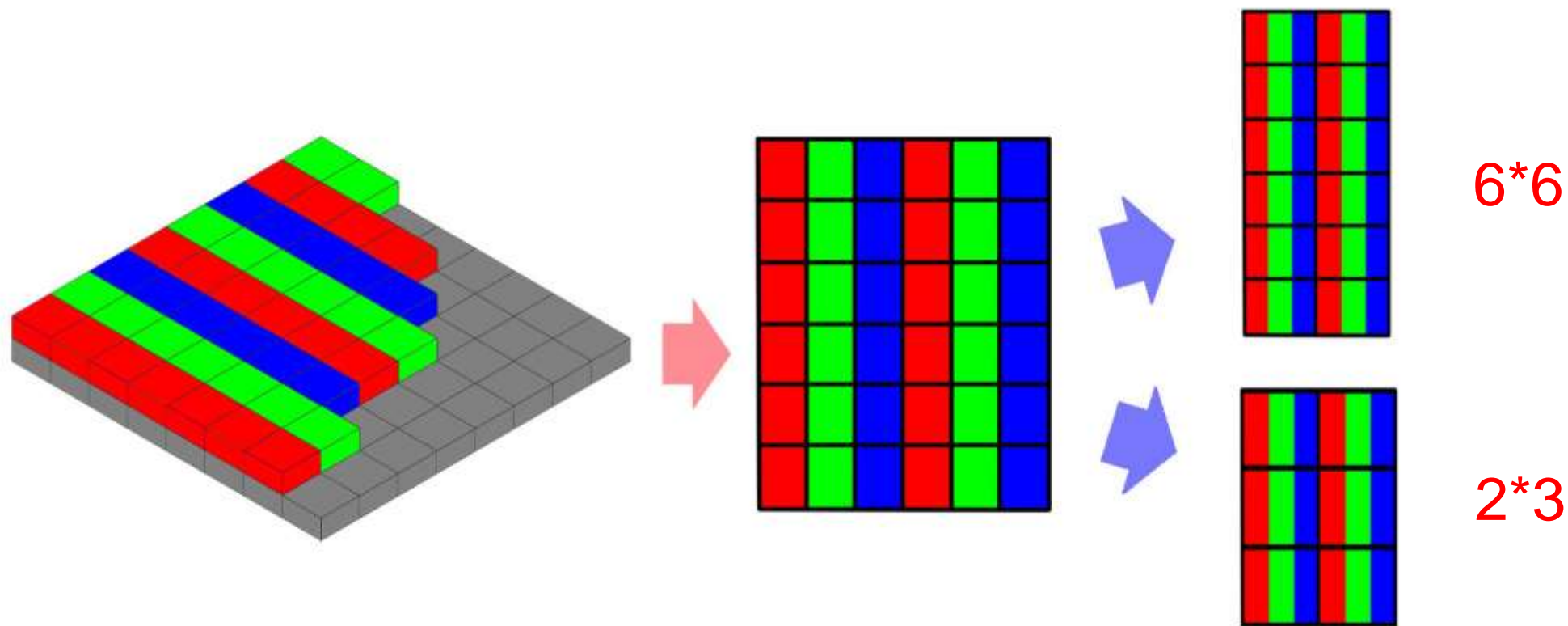


每一格基于周边**8**个色值，  
估计另外两个色值，得到完整的**RGB**，分辨率不下降！



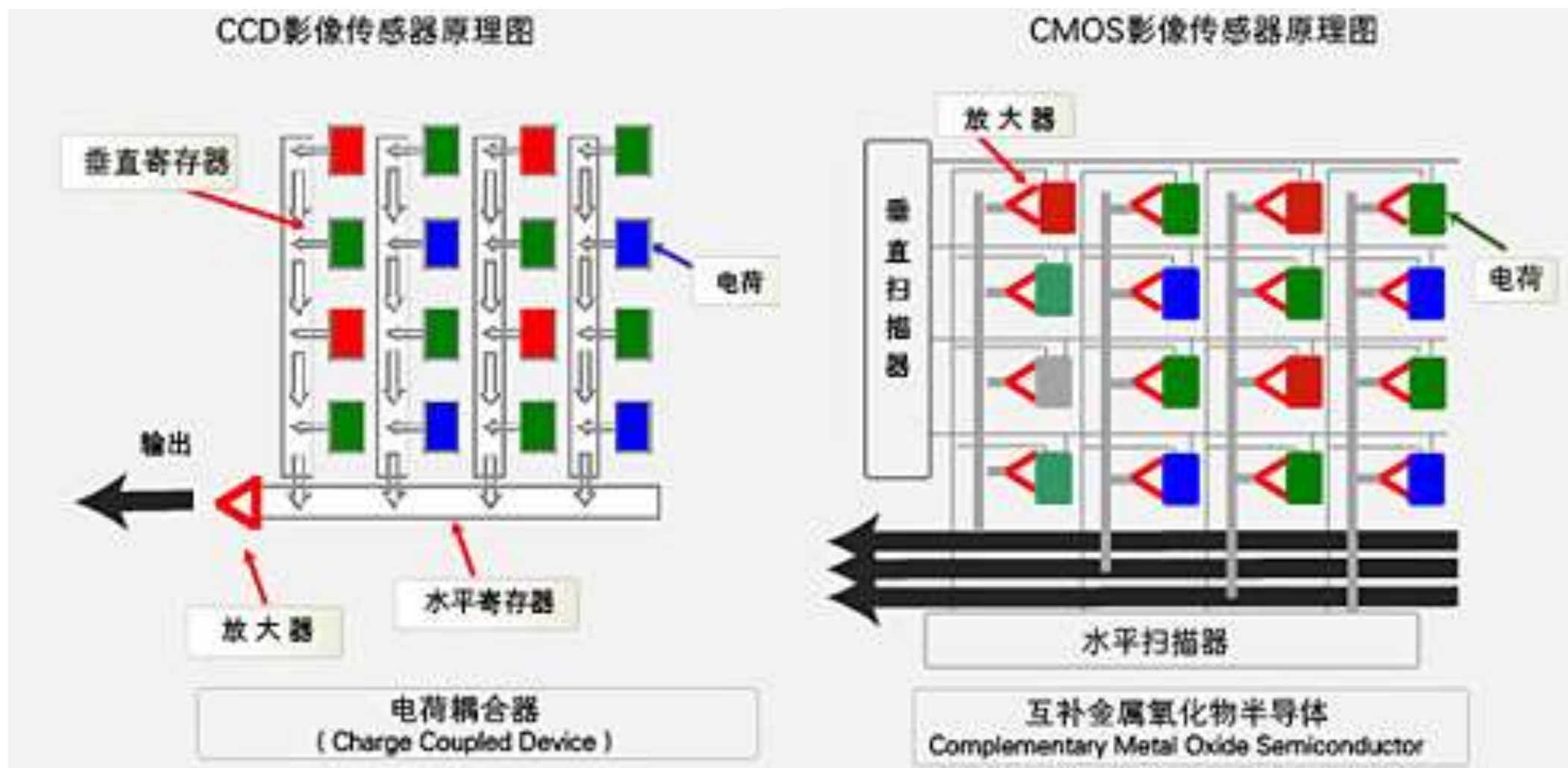
**方式2:** 子像素合成方式，所需的像点数量至少是拜尔**CCD**的**3**倍。

如：用5760X2160的CCD，生成1920X1080的高清画面，  
相当于6个红绿蓝像素点当1个像素点来用，如下图所示。





## 第一节2 CMOS图像传感器





CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor 互补金属氧化物半导体) 图像传感器也是目前最常见的数字图像传感器。

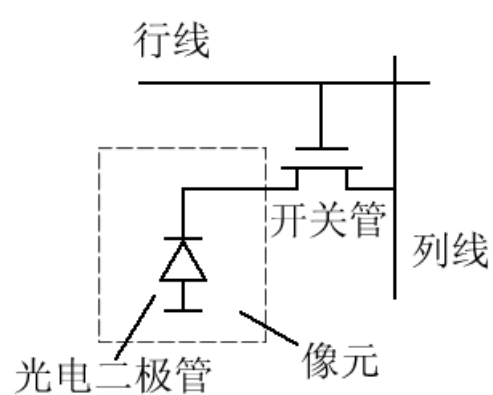
CMOS图像传感器和CCD的光电转换原理相同，都是利用了硅的光电效应，不同点在于数据传送的方式。

根据像素的不同结构， 图像传感器可以分为：

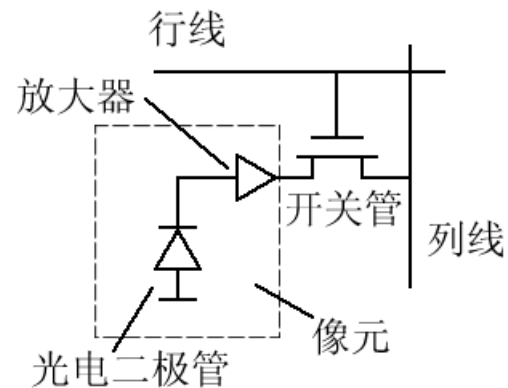
无源像素被动式传感器 (PPS: Passive Pixel Sensor )

有源像素主动式传感器 (APS: Active Pixel Sensor )

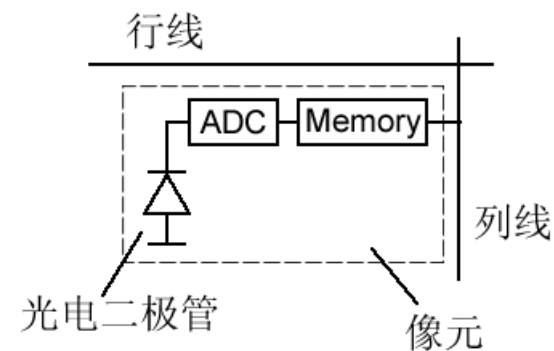
数字像素图像传感器 (DPS: Digital Pixel Sensor )



无源像素结构



有源像素结构



数字图像传感器结构

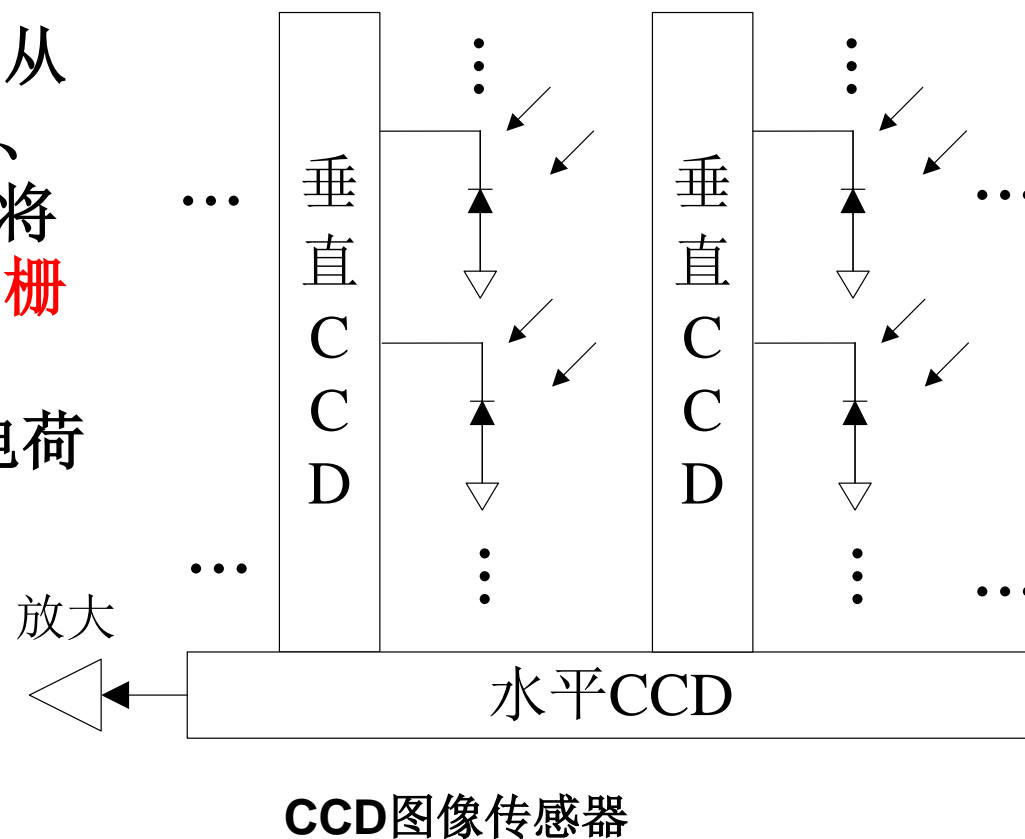
20世纪60年代后期，G.Weckler就提出了无源像素传感器结构的CMOS图像传感器。这种结构至今几乎没有发生变化，包括1个光电二极管和1个MOS开关管。

有源像素传感器就是在每个光敏像元内引入至少一个（一般为几个）有源晶体管的成像阵列，它具有像元内信号放大和缓冲作用。

美国斯坦福大学提出了一种新的CMOS图像传感器结构—数字像素传感器（DPS），在像素单元里集成了ADC（Analog-to-Digital Converter）和存储单元。目前这种传感器还处于研究阶段。

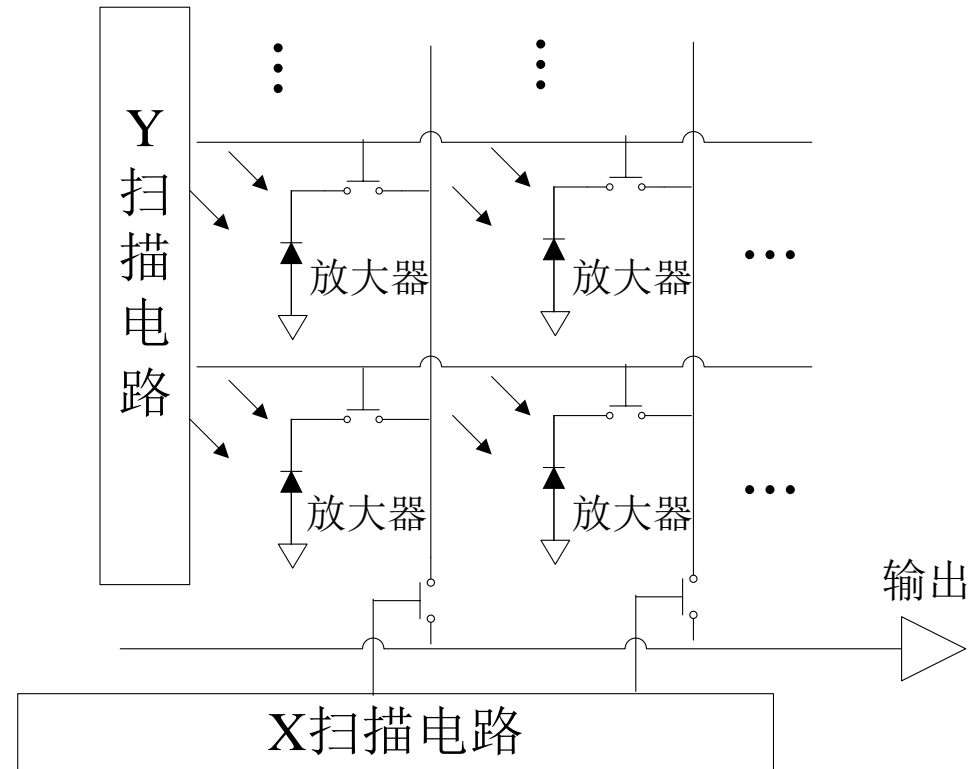
**CCD**图像传感器，入射光产生的信号电荷不经过放大，直接利用**CCD**具有的转移功能运送到输出电路，在**输出电路首次放大信号电压输出**。**CCD**图像传感器因为直接传达信号电荷，因此**容易受到漏光噪声的影响**。

**CCD**图像传感器的像素构造，从功能来看，是由进行光电转换、储存信号电荷的**光电二极管**、将信号电荷送至垂直**CCD**的**读出栅极**，以及转移信号电荷的**垂直CCD**构成，彼此间不分离的电荷连续形成。



**CMOS**图像传感器是通过使**各像素具有放大功能**将光电转换的信号电荷放大，然后**各像素再利用XY地址方式进行选择**，取出信号电压或电流。**CMOS**图像传感器在像素内放大信号电荷，所以不易在信号传达路径中受到噪声的影响。

**CMOS**图像传感器是由**光电二极管**与接收放大、选择与复位的**MOS晶体管**等个别的元件**所构成**。各功能元件，在**像素内绝缘分离**而利用配线进行连接，故可使用与**CMOS LSI**相同的电路符号表示像素的构造。



**CMOS**图像传感器

相对于**CCD**图像传感器将信号只能依照像素的排列顺序输出，**CMOS**图像传感器与开关和像素排列无关，容易控制。

## CCD与CMOS传感器的比较

从感光产生信号的基本动作来看，CMOS图像传感器与CCD图像传感器相同；

从像素取出信号的方式与构造来看，两者有很大的差异。

CCD制造工艺与LSI 相差甚远，CMOS图像传感器恰恰就是基于CMOS LSI 的制造工艺。

## 数字数据传送的方式

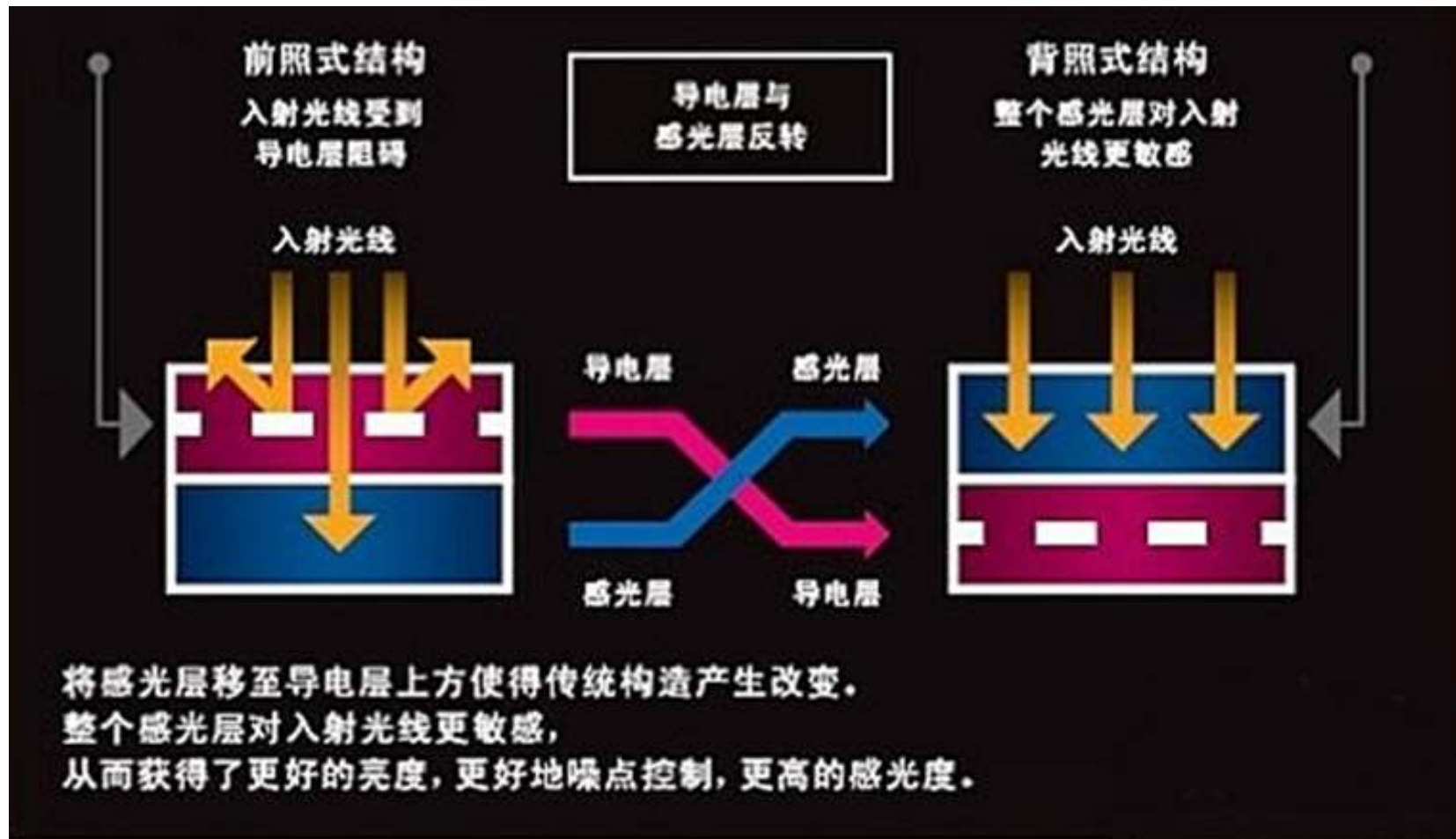
- CCD传感器中每一行中每一个像素的电荷数据都会依次传送到下一个像素中，由最底端部分输出，再经由传感器边缘的放大器进行放大输出；
- CMOS传感器，每个像素都会邻接一个放大传感器及A/D转换电路，用类似内存电路的方式将数据输出。
- 造成这种差异的原因在于：

CCD的特殊工艺可保证数据在传送时不会丢失，因此各个像素的数据可汇聚至边缘再进行放大处理；

而 CMOS工艺的数据在传送距离较长时会产生噪声，因此，必须先放大再整合各个像素的数据。

## 背照式CMOS:

在2008年的6月，索尼公司发布了背照式CMOS，以Exmor R命名，并且把这个背照式CMOS应用在索尼XR500/XR520两款DV产品上。从此，背照式CMOS迅速发展，并且随后多家厂商也都在数码相机中采用了索尼公司生产的背照式CMOS。





## 第二节 三基色信号的产生

根据三基色原理，彩色景物要分成三幅基色图像，然后形成三个基色电信号----

红基色信号

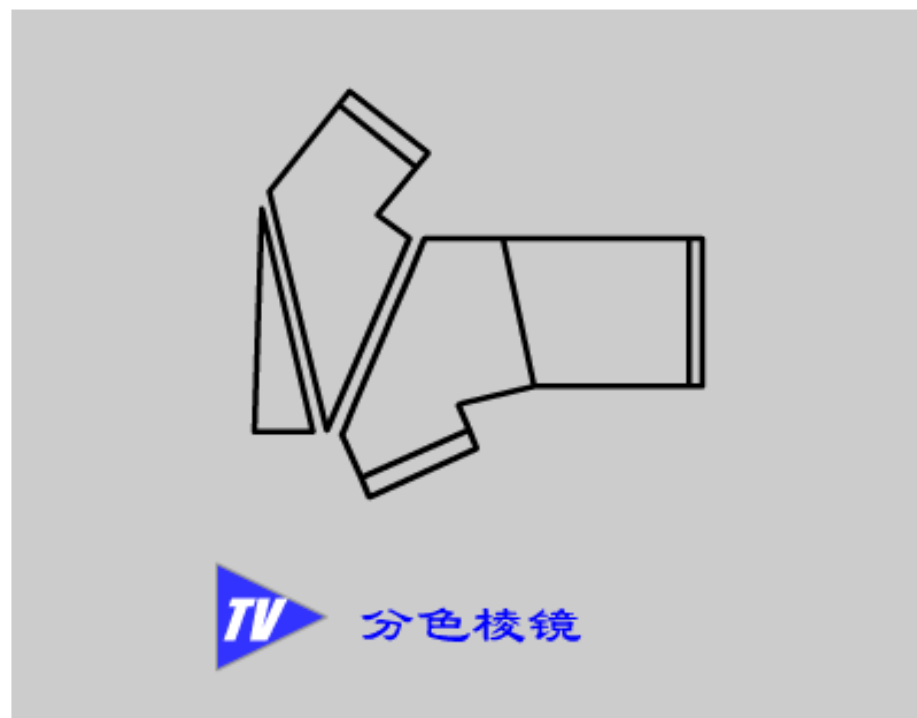
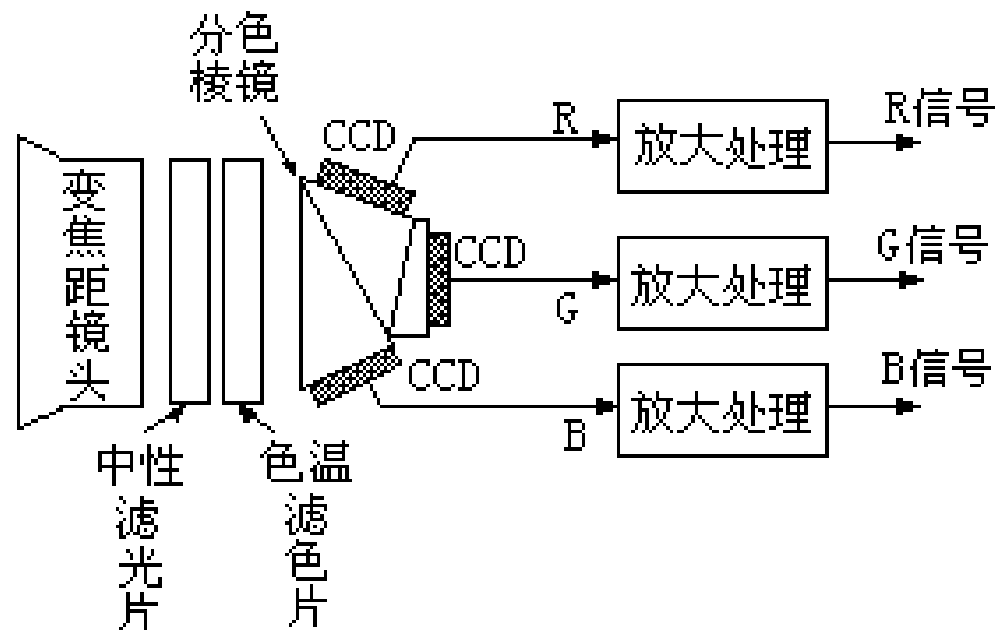
绿基色信号

蓝基色信号

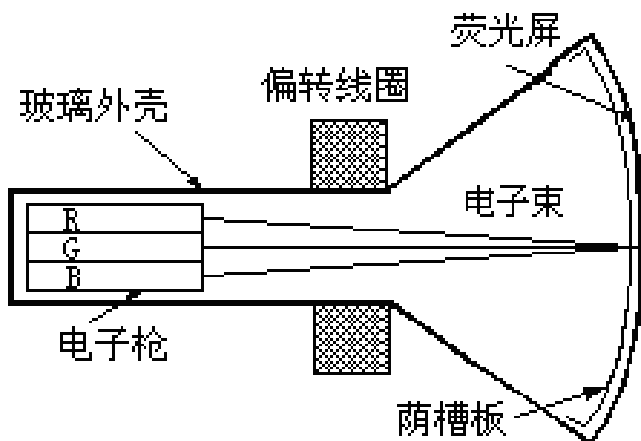
三基色信号由彩色摄像机产生。彩色摄像机首先由分光棱镜将彩色的光学图像按一定的分光特性分成红、绿、蓝三幅光图像，然后分别进行光电转换和电荷转移，得到三个基色视频电信号。

彩色（三CCD）摄像机的组成：

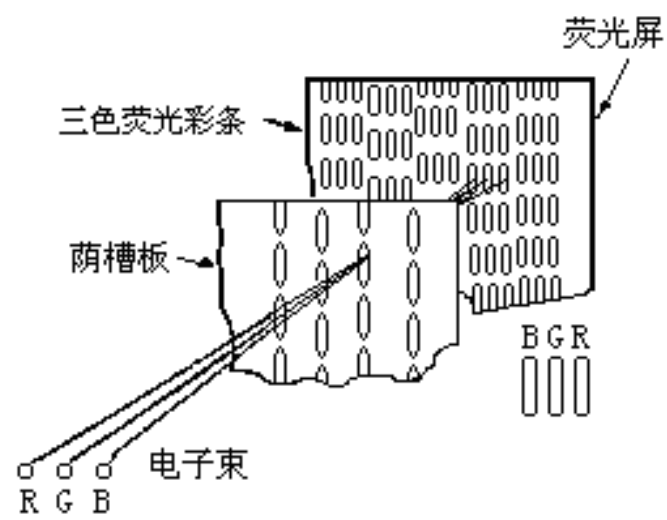
1. 变焦距镜头、
2. 滤色片（包括中性滤色片、色温校正片）、
3. 分光棱镜、
4. 三个摄像光敏器件、
5. 三个信号处理电路
6. 编码器。



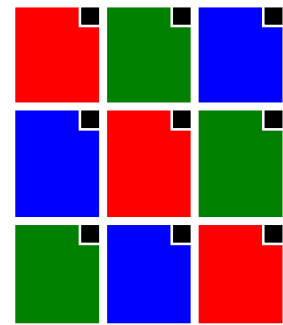
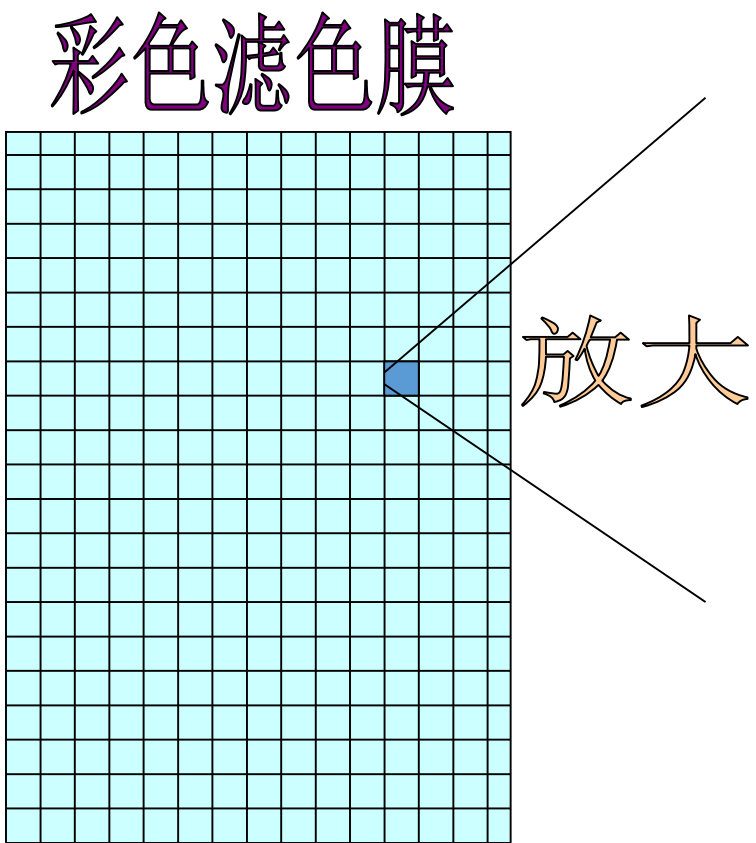
## 2、彩色显像基本原理



(a) 彩色显像管基本结构



(c) 荫槽板和荧光屏

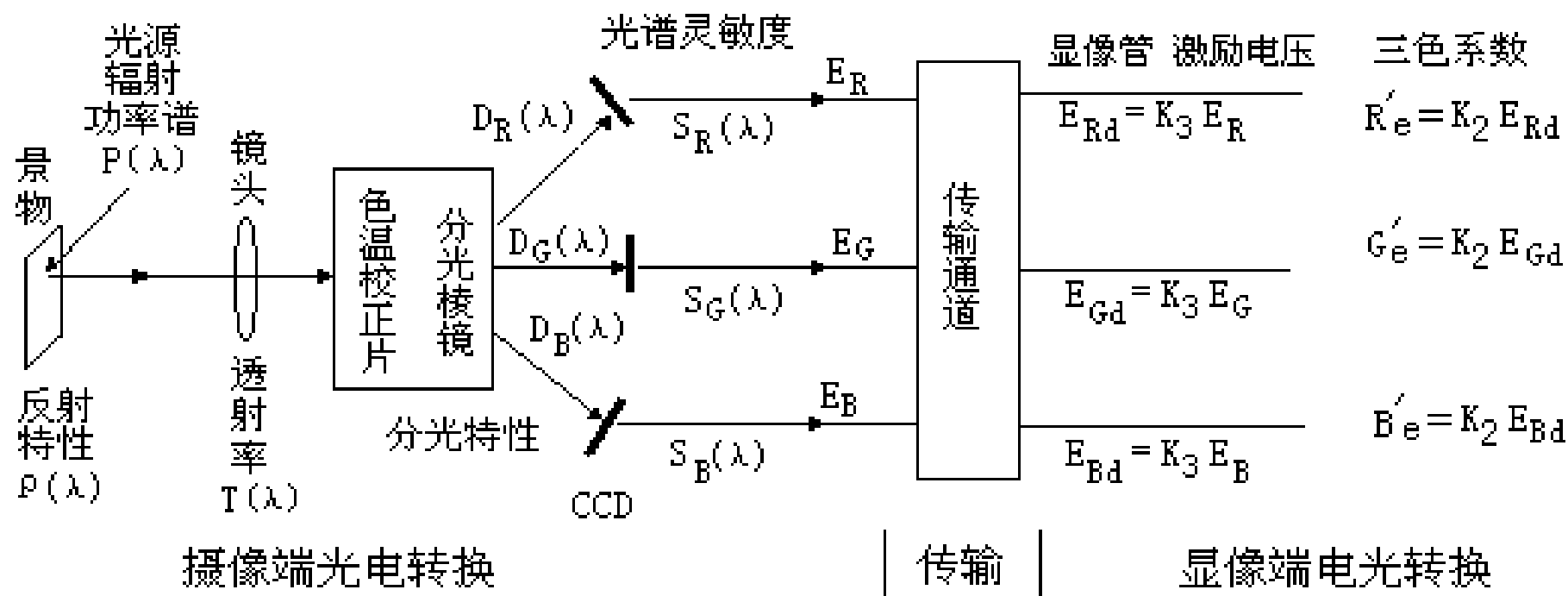


### 第三节 色度匹配和彩色校正

#### 1、色度匹配

显像端重现的色光和景物反射的色光（或者说和进入摄像机的色光）外貌相同（即色度坐标相同）。





$$E_R = K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) T(\lambda) D_R(\lambda) S_R(\lambda) d\lambda$$

$$E_G = K_1 \int_{380}^{780} \boxed{P(\lambda) \rho(\lambda)} T(\lambda) D_G(\lambda) S_G(\lambda) d\lambda$$

$$E_B = K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) T(\lambda) D_B(\lambda) S_B(\lambda) d\lambda$$

设 $T(\lambda)$ 、 $D(\lambda)$ 、 $S(\lambda)$

的乘积称为摄像机综合光谱响应特性（简称摄像特性），

分别表示为：

$$\bar{r}_0(\lambda) = T(\lambda) D_R(\lambda) S_R(\lambda)$$

$$\bar{g}_0(\lambda) = T(\lambda) D_G(\lambda) S_G(\lambda)$$

$$\bar{b}_0(\lambda) = T(\lambda) D_B(\lambda) S_B(\lambda)$$

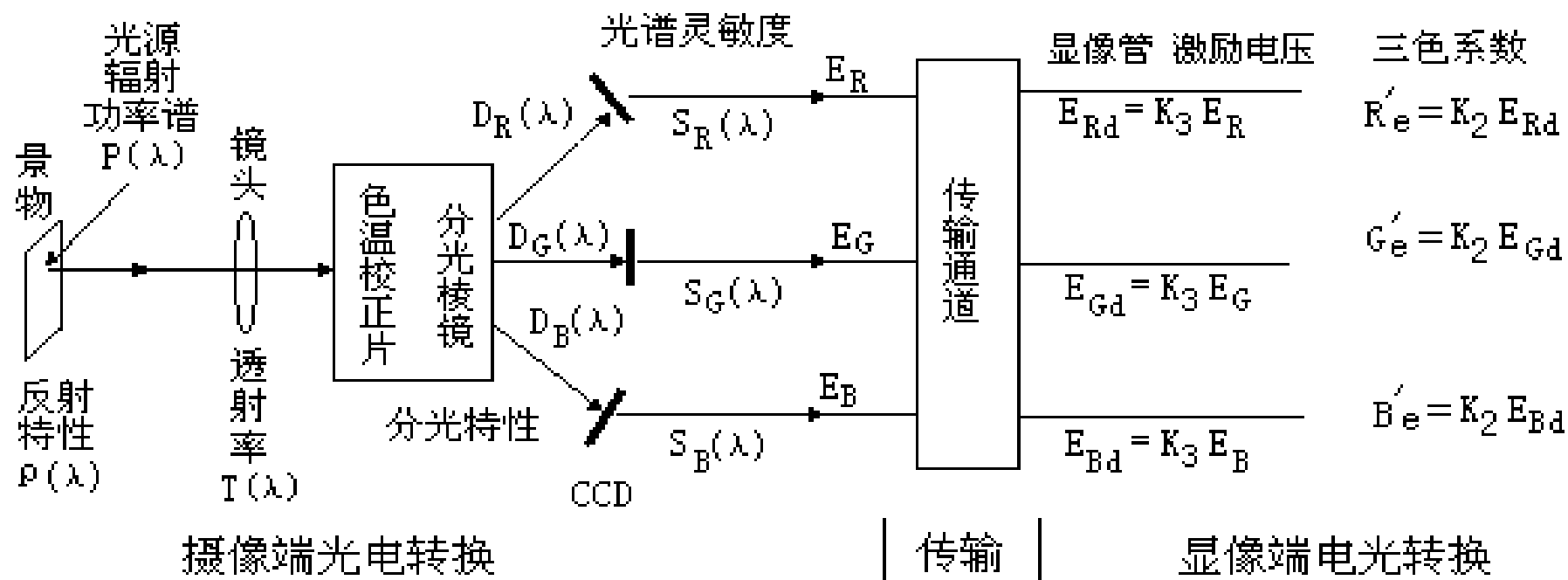
则摄像机产生的三个基色电压可简写为：

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

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

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

## (2) 实际的三系数



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

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

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



### (3) 显像端要求的理想三色系数

在显像端，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：

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

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

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

#### (4) 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理想三色系数，即

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

$$\boxed{G_e'} = K_2 K_3 K_1 \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{g}_0(\lambda) d\lambda = \boxed{G_e} = \int_{380}^{780} P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{g}_e(\lambda) d\lambda$$

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

也就是：

$$\bar{r}_0(\lambda) = \frac{1}{K_1 K_2 K_3} \bar{r}_e(\lambda) = K \bar{r}_e(\lambda)$$

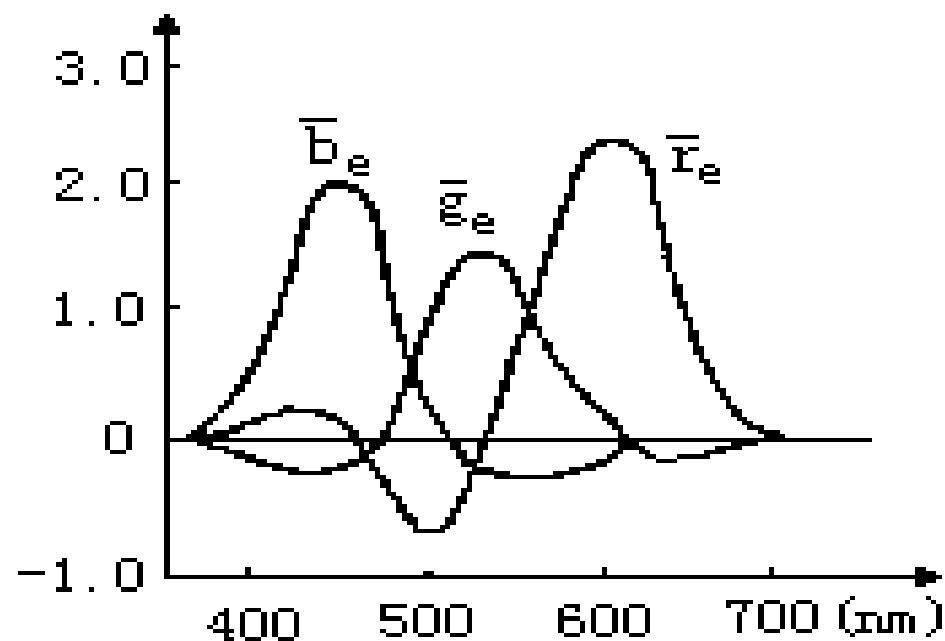
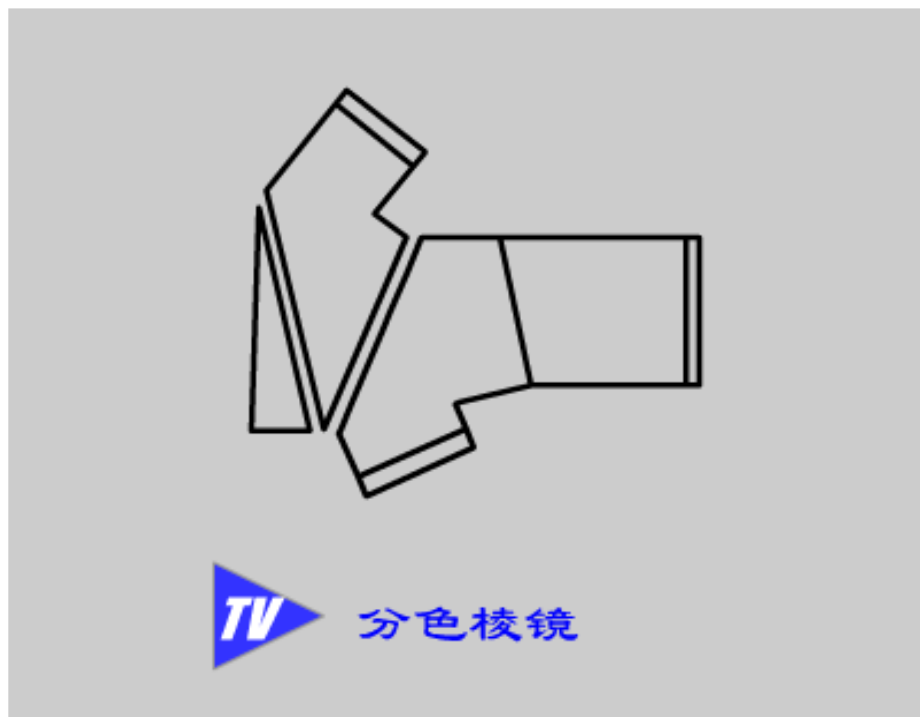
$$\bar{g}_0(\lambda) = \frac{1}{K_1 K_2 K_3} \bar{g}_e(\lambda) = K \bar{g}_e(\lambda)$$

$$\bar{b}_0(\lambda) = \frac{1}{K_1 K_2 K_3} \bar{b}_e(\lambda) = K \bar{b}_e(\lambda)$$

结论：为了色度匹配，摄像机红绿蓝三路综合光谱响应特性必须正比于显像三基色的混色曲线，也就是说，  
显像三基色的混色曲线就是理想的摄像光谱响应曲线。

说明：

- (1) 由于镜头的透光特性、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；
- (2) 正主瓣和负次瓣；
- (3) 显像管的电光转换特性是非线性，经校正后，上述满足色度匹配的结论仍是正确的。



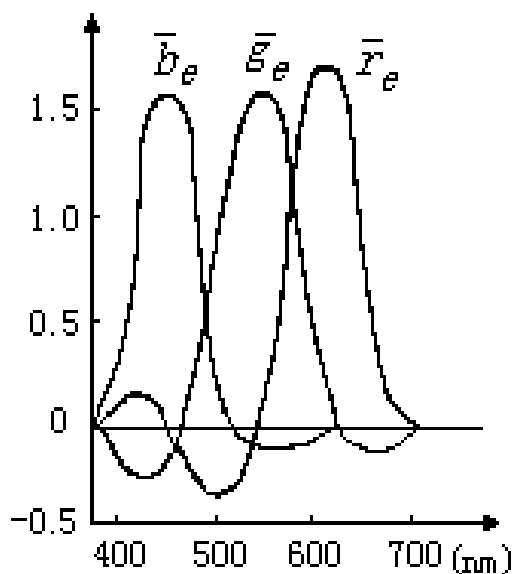
PAL制 显像三基色混色曲线

## 2、彩色校正

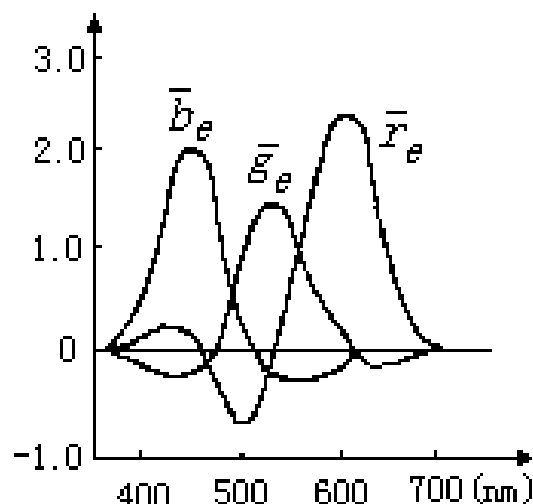
### (1) 为什么要进行彩色校正？

彩色校正正是通过对三个基色电信号的处理来弥补分光系统的不足，以尽量达到色度匹配。

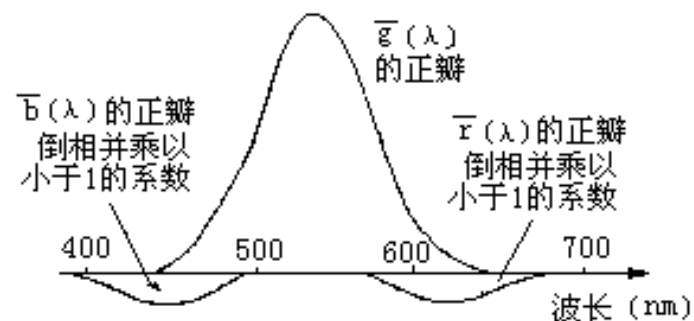
### (2) 彩色校正原理



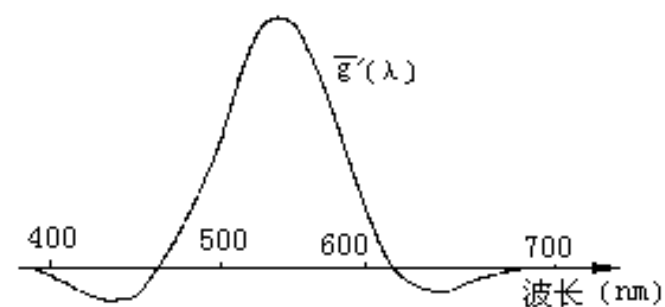
(a) NTSC (53)制



(b) PAL 制



(a)



(b)

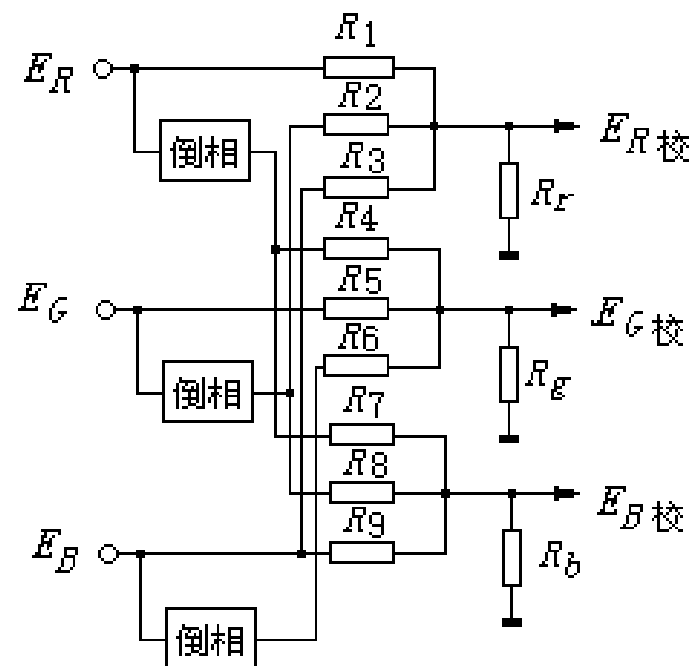
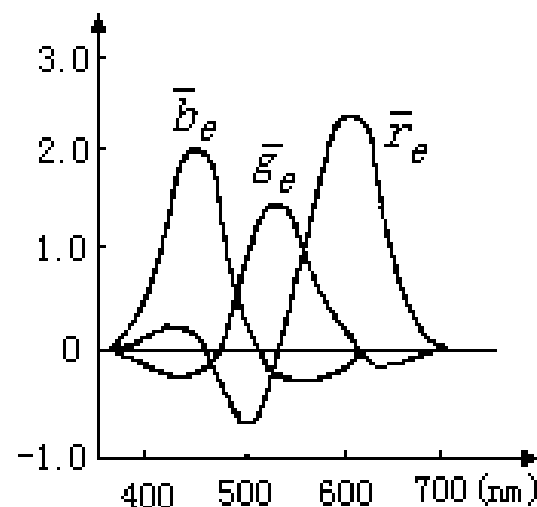
实际摄像机输出的三个基色电压是经过彩色校正后的，它和摄像器件输出的基色电压的关系为：

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

在摄像机拍摄白色物体时， $E_R=E_G=E_B$ —称为白平衡，为了不破坏白平衡，要求 $a+b+c=1$ ， $d+e+f=1$ ， $g+h+i=1$ 。

根据显像三基色混色曲线可知：

矩阵系数 $a$ 、 $e$ 、 $i$ 是正值且大于1，  
其余六个系数必小于1，  
 $b$ 、 $d$ 、 $f$ 、 $h$ 四个必为负值，  
 $c$ 必为正值，  
 $g$ 一般也为负值(视设计而定)。





结论：

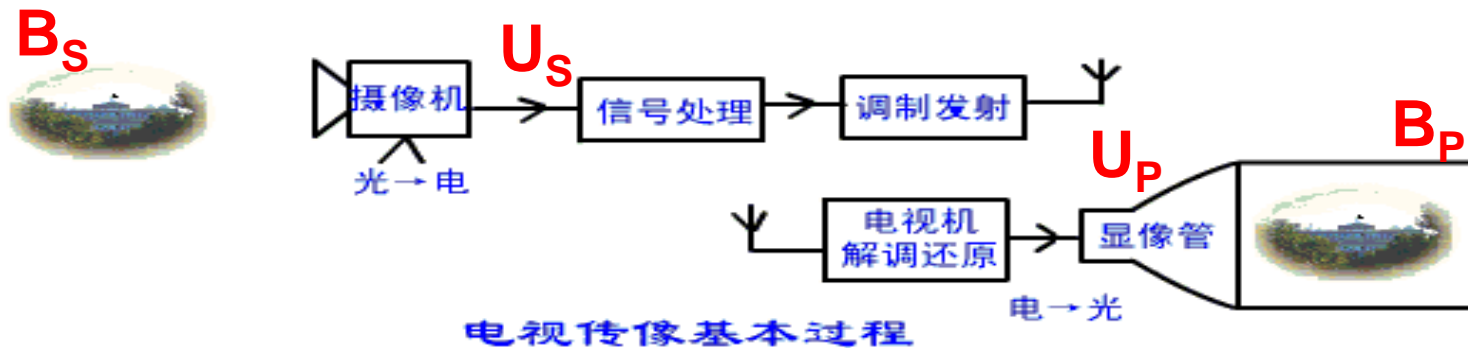
- (1) 彩色校正的目的是使摄像装置的分光特性和显像三基色混色曲线接近一致，以尽量达到色度匹配；
- (2) 彩色校正采用线性矩阵电路；
- (3) 彩色校正不可能得到理想的光谱曲线，即不可能达到完全的色度匹配。

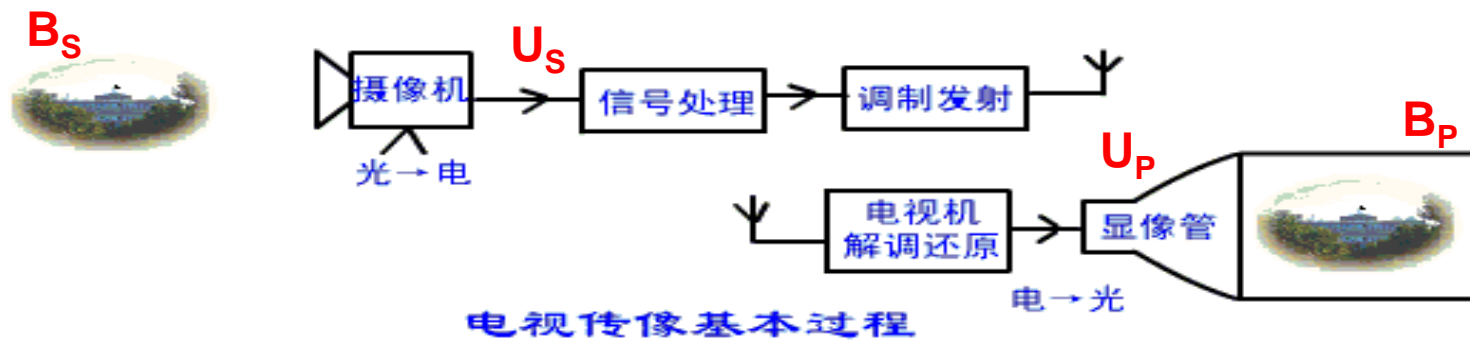
## 第四节 电视系统的 $\gamma$ 校正

### 1、电视系统的总传输 ( $\gamma$ ) 特性

总传输特性是指从景物亮度 $B_s$ 到重现亮度 $B_p$ 的光-电-光特性要求为线性，即：

$$B_p = K B_s^\gamma$$



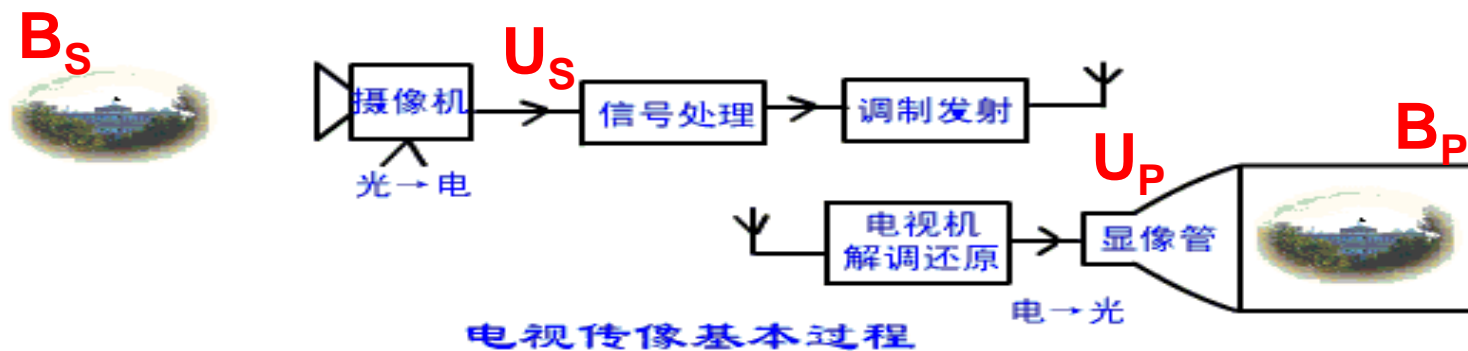


电视系统包括三个环节：

### (1) 摄像器件的光-电变换

景物亮度  $B_s$  到图像信号电压  $U_s$ ，即摄像器件的光-电变换特性：

$$U_s = K_1 B_s^{\gamma_1} \quad (\gamma_1 = 1)$$

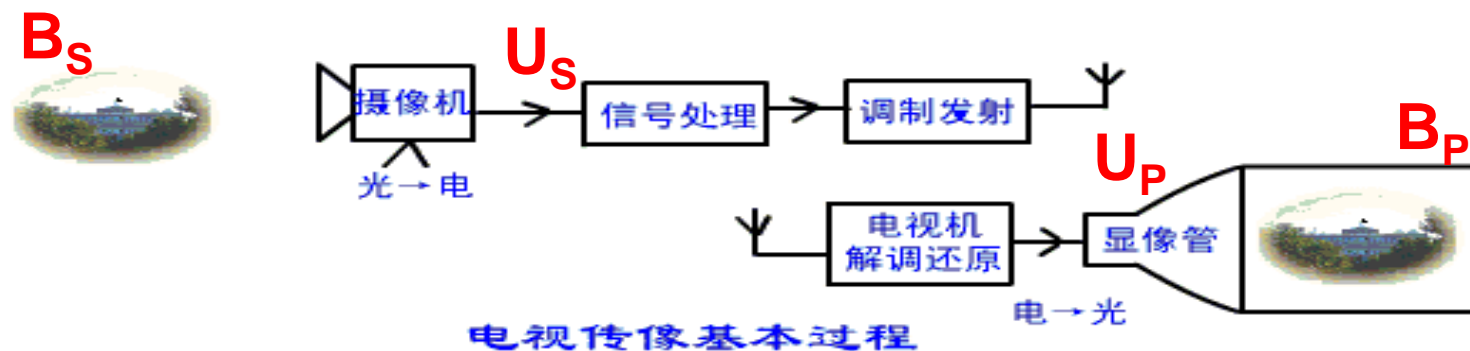


## (2) 电信号的传输

图像信号电压 $U_s$ 到显像管的激励电压 $U_p$ ，即传输通道的电-电传输特性：

$$| U_p = K_2 U_s^{\gamma_2} \quad , \gamma_2 \text{ 为通道的}\gamma\text{值,}$$

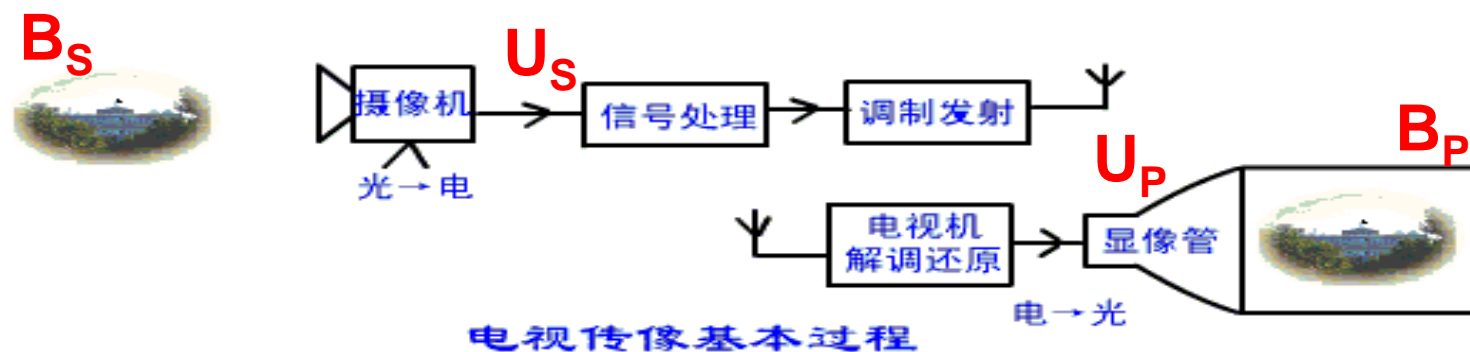
它可以人为的设计和调整，使整个系统为线性。



### (3) 显像管的电-光变换特性

显像管的激励电压 $U_p$ 到重现亮度 $B_p$ 。

$$B_p = K_3 U_p^{\gamma_3}$$



电视系统的总传输特性：

重现图像亮度 $B_p$ 和景物亮度 $B_s$ 的关系。

$$B_p = K_3 K_2^{\gamma_3} K_1^{\gamma_2 \gamma_3} B_s^{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3} = K B_s^{\gamma} \quad \gamma = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3$$

$\gamma$ 为电视系统的非线性系数， $\gamma = 1$ ，重现图像亮度和景物亮度成正比，无亮度层次失真。



## 2、 $\gamma$ 对黑白图像的影响

若 $\gamma \neq 1$ ，会产生  $B_P = K B_S^\gamma$

若 $\gamma \neq 1$ 的恒定值，出现的亮度失真称为**均匀性亮度失真**。

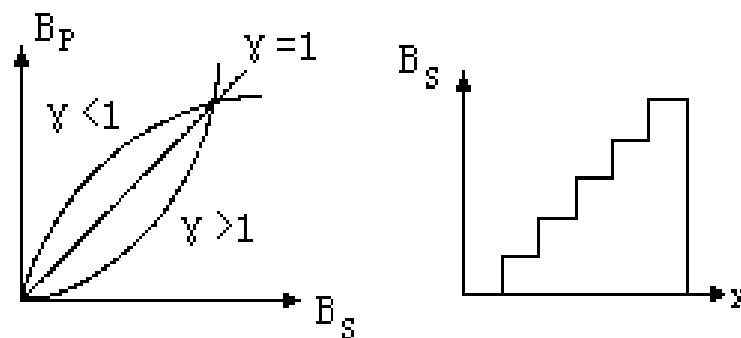
其中：

$\gamma < 1$ ----暗扩张，亮压缩失真，称均匀性白压缩；

$\gamma > 1$ ----暗压缩，亮扩张失真，称均匀性白扩张。

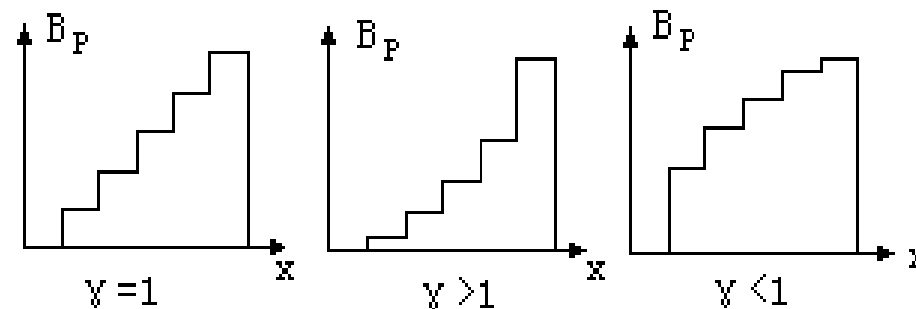
**$\gamma > 1$ :**

暗区域对比度减小---亮度层次减少；  
亮区域对比度增加---亮度层次增加；  
总对比度增加---总量度层次增加。



**$\gamma < 1$ :**

暗区域对比度增加---亮度层次增加；  
亮区域对比度减少---亮度层次减少；  
总对比度减少---总量度层次减少。

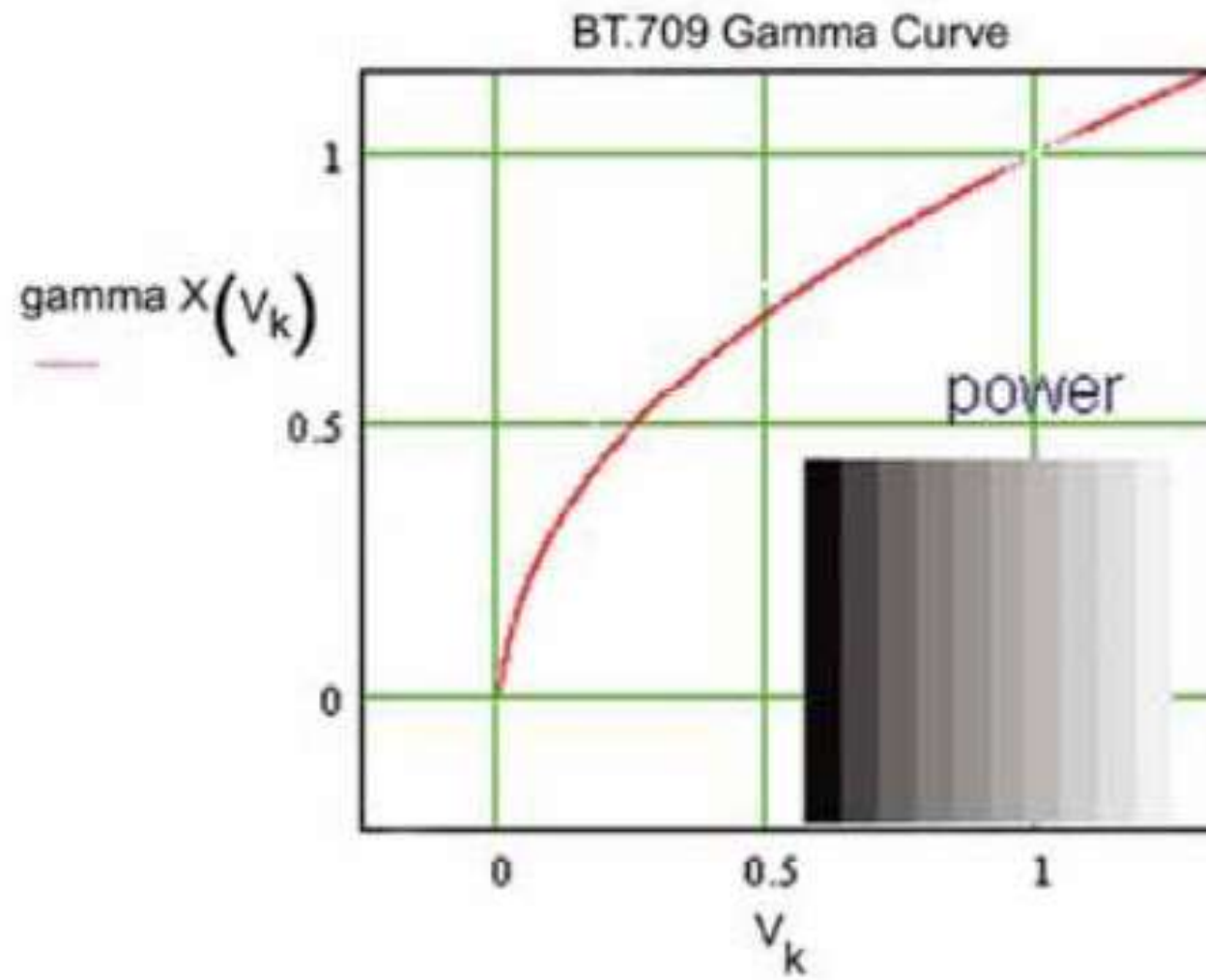


电视系统的 $\gamma$ 校正目的：

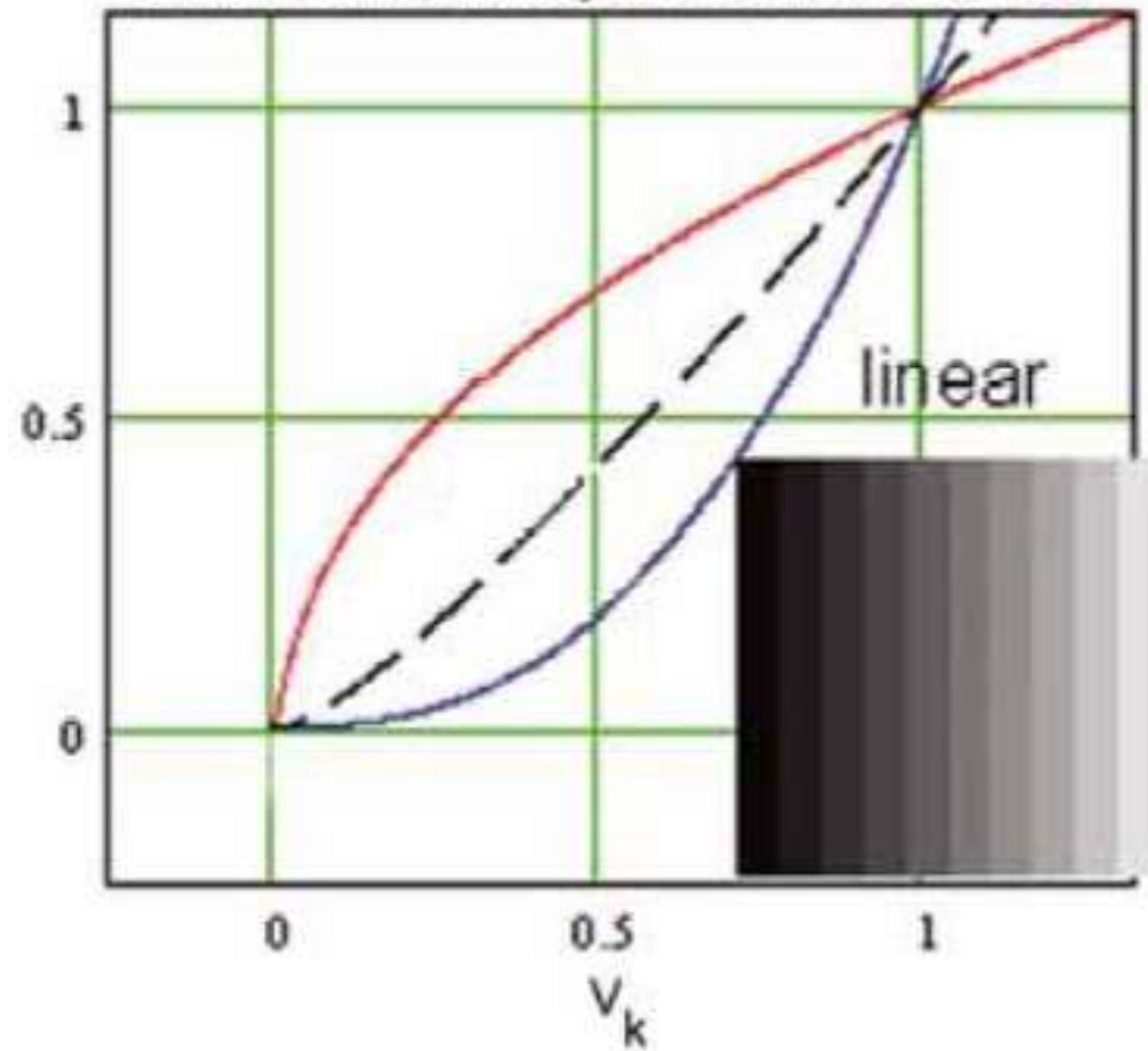
使整个系统的 $\gamma=1$ ，通常在摄像机里设置非线性放大器实现。

$\gamma_1=1$  ，  $\gamma_3=2.2$  （黑白显像管）  
或2.8 （彩色显像管）

$\gamma_2=0.45$  （黑白摄像机）  
或0.35 （彩色摄像机）



BT.709, CRT, and System Gamma Curves



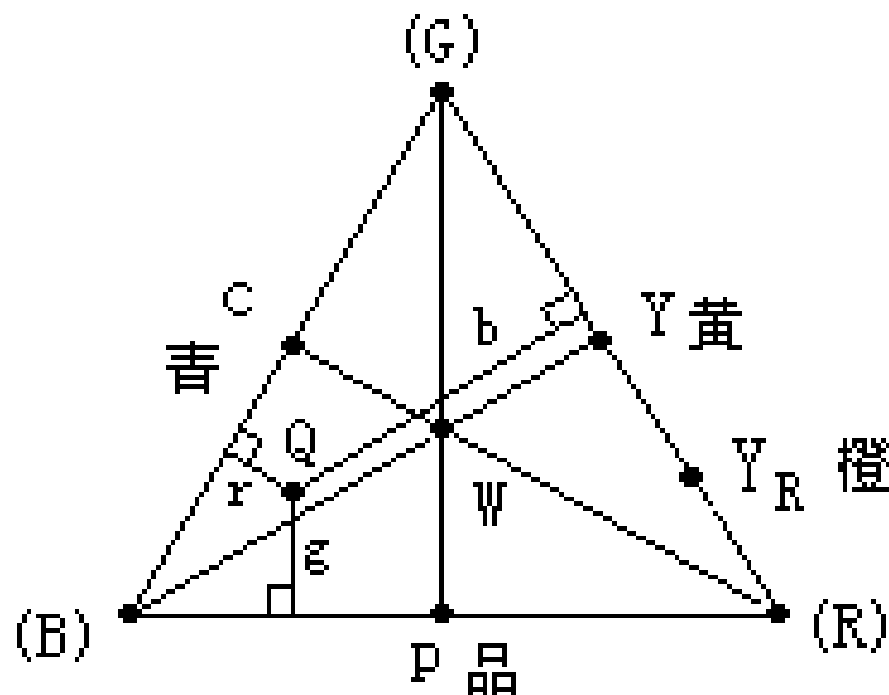
### 3、 $\gamma$ 对彩色图像的影响

彩色电视系统，如果 $\gamma \neq 1$ ，不仅有亮度失真（均匀性亮扩张均匀性暗扩张），而且会有色度失真（饱和度、色调失真）。

为了分析饱和度、色调失真情况，采用麦克斯韦彩色三角形。

## 麦克斯韦彩色三角形计色系统的特点：

- 等边三角形，顶点：(R)、(G)、(B)；
- $r+g+b=1$ ， $r$ 、 $g$ 、 $b$ 相对色系数；
- 谱色、补色、白色



## ❖ 彩色系统的 $\gamma$ 特性对重现色度的影响

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，

$$R_d = k R_0^\gamma, \quad G_d = k G_0^\gamma, \quad B_d = k B_0^\gamma$$

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



$$R_d = R_0^2, \quad G_d = G_0^2, \quad B_d = B_0^2$$

假设  $\gamma=2$  ,  $K=1$ 。

(1) 白色

-----无影响!

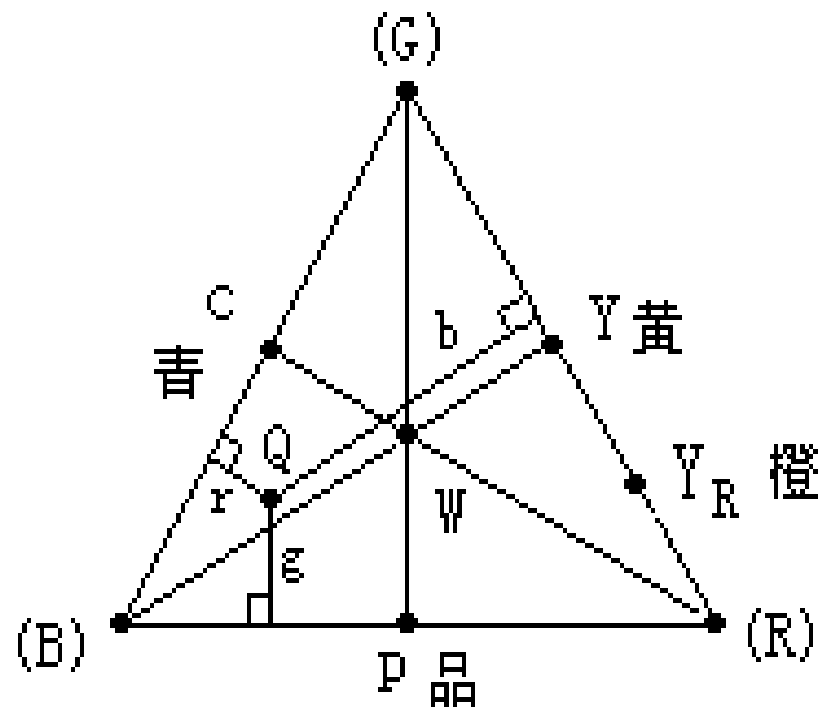
原景物为白色，它的色度坐标在三角形的重心，

$$F_w = \frac{1}{3}(R) + \frac{1}{3}(G) + \frac{1}{3}(B)$$

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

$$R_d: G_d: B_d = R_0^2: G_0^2: B_0^2 = \left(\frac{1}{3}\right)^2: \left(\frac{1}{3}\right)^2: \left(\frac{1}{3}\right)^2 = 1:1:1$$

(2) 对三个基色和基色的补色--无影响  
比如红色，原景物三个  
基色光分量的亮度  
(三色系数) 之比为  
 $1 : 0 : 0$ ,  
显示的三基色的亮度比  
为 $1 : 0 : 0$



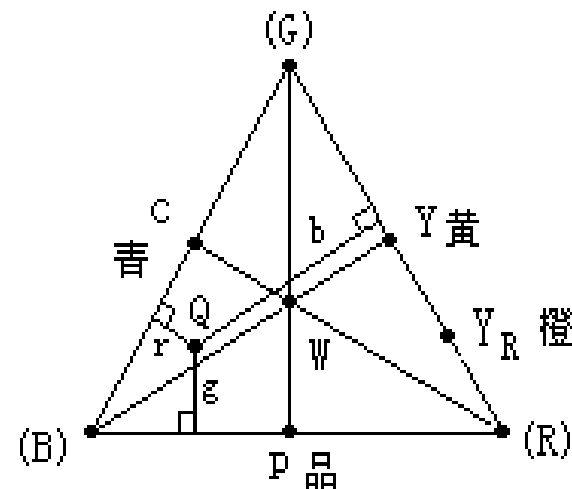
(3) 非饱和的黄色 ---色调没变，饱和度加大

原色光

$$R_0: G_0: B_0 = \frac{5}{12} : \frac{5}{12} : \frac{1}{6} = 1:1:\frac{2}{5}$$

重显色光

$$R_d: G_d: B_d = \left(\frac{5}{12}\right)^2 : \left(\frac{5}{12}\right)^2 : \left(\frac{1}{6}\right)^2 = 1:1:\frac{4}{25}$$



蓝色分量相对减小了，红、绿比例没变-----色调没变，饱和度加大。色度坐标向三角形边线移动。

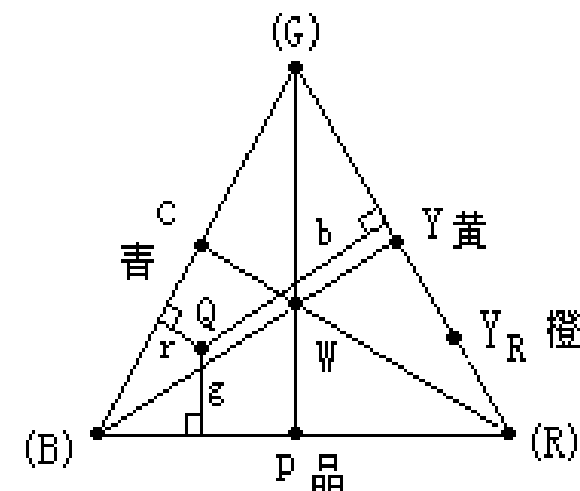
(4) 饱和度为100%的橙色 ( $Y_R$ )      --色调变化, 饱和度不变

$$(Y_R) : g=1/4, \quad r=3/4, \quad b=0,$$

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

重显色光  $R_d : G_d : B_d$ 

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



蓝分量为0-----饱和度为100%， 没变。  
红分量增大--- 色调变化---偏红 坐标向顶点移动。

## 结论:

(1)  $\gamma$ 不等于1, 对于白色、饱和度100%的三基色以及它们的补色, 无色度失真。

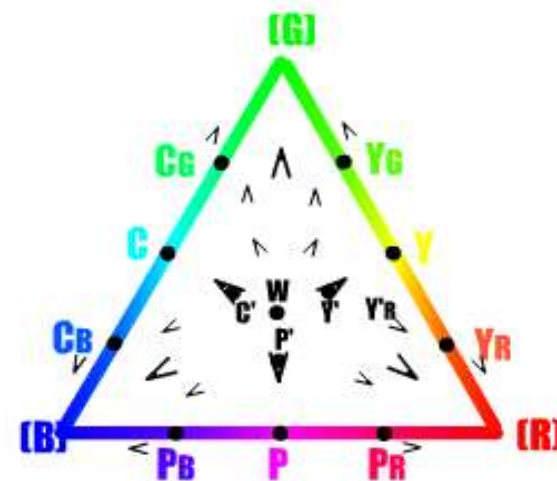
(2)  $\gamma$ 不等于1, 对于其它颜色都有色度失真,

$\gamma > 1$ , 对于亮度将出现均匀性白扩张,

对于色度, 其坐标的位置向彩色三角形的最近的顶点和边线移动;

$\gamma < 1$ , 对于亮度将出现均匀性白压缩,

对于色度, 其坐标的位置向白色点和偏离顶点方向移动。



$\gamma > 1$ 时重现彩色失真趋势

## 4、三基色信号 $\gamma$ 的校正

由于现代彩色显像管的  $\gamma$  值约为2.8，所以  $\gamma$  校正级的  $\gamma$  值大致为  $1/2.80 \approx 0.36$ 。

当彩色电视系统的总  $\gamma$  值稍大于1时，引入的色度失真会使重现的彩色向色调变鲜艳、饱和度更高的方向偏移，更让人喜欢。

因此实际上彩色电视系统的总值稍大于1，实验证明  $\gamma = 1.26$  时效果较好，所以现在摄像机中的  $\gamma$  校正级常以  $1.26/2.8 = 0.45$  作为调定的标准值（同黑白电视一致  $1/2.2$ ）。

为了运用灵活和方便，彩色摄像机中  $\gamma$  校正级的非线性系数（即  $\gamma$  值）是可以在一定的范围内由操作人员自己调整的。

已知彩色F的三系数R、G、B，如何求色调和饱和度.

$$F = R[R_e] + G[G_e] + B[B_e]$$

不失一般性假设： $R \geq B$ 、 $G \geq B$

$$= (R - B)[R_e] + (G - B)[G_e] + 3B(1/3[R_e] + 1/3[G_e] + 1/3[B_e])$$

$$= (R + G - 2B) \left( \frac{R - B}{R + G - 2B} [R_e] + \frac{G - B}{R + G - 2B} [G_e] \right) + 3BC_w$$

$$= (R + G - 2B)F_h + 3BC_w$$

$$= (R + G + B) \left( \frac{R + G - 2B}{R + G + B} F_h + \frac{3B}{R + G + B} C_w \right) = m[S_F F_h + (1 - S_F)C_w]$$

色调：

$$F_h = \frac{R - B}{R + G - 2B} [R_e] + \frac{G - B}{R + G - 2B} [G_e]$$

饱和度：

$$S = \frac{R + G - 2B}{R + G + B} = \frac{R + G + B - 3B}{R + G + B}$$



## 实验中摄像机调节白平衡的步骤：

- (1) 使用**ND FILTER**控件以光线条件为基础选择滤镜。
- (2) 设置**GAIN**选择器开关，通常设置为**0 dB**，如果太暗，则根据需要调节增益。
- (3) **OUTPUT**选择器开关，设置为**CAM**。
- (4) **WHITE BAL**开关，设置为**A**或者**B**。
- (5) 与被拍摄物的照明条件相同的场所放置白板，变焦使白板充满整个画面（可以被拍摄物附近的白色物体代替）。
- (6) 调整光圈，使中央标记显示**70%**的程度。
- (7) 将**AUTO W/B BAL**开关拨至“**AWB**”，然后松开开关。（开关回到中央，执行白平衡自动调整）
- (8) 调整时，寻像器画面上显示如下所示信息。

AWB Ach ACTIVE

- (9) 几秒钟后调整技术，显示下图所示信息。（调整值将自动保存到所选的存储器**A**或**B**中）

AWB Ach OK 3.2K

## 实验中摄像机 $\gamma$ 校正步骤:

- (1) 摄像机**OUTPUT**选择器开关, 设置为**CAM**。
- (2) 拍摄灰度卡, 观看波形线性及图像灰度层次。
- (3) 调整伽马曲线参数: **menu->场景文件->伽马曲线**, 分别选择**HD标准、低、SD标准、高、黑压缩**, 观察波形线性及图像灰度层次的变化。

作业：

- 8、9
- 13、（15、18合为一道题作）、16、19