

第5章 光电成像系统

[教学目的]

- 1、掌握CCD的结构和工作原理、光电成像原理、光电成像光学系统；
- 2、了解微光像增强器件和纤维光学成像原理。

[教学重点与难点]

重点：CCD的结构和工作原理、光电成像原理、光电成像光学系统的组成。

难点：CCD的结构和工作原理、调制传递函数的分析。

成像转换过程有四个方面的问题需要研究：

能量方面——物体、光学系统和接收器的光度学、辐射度学性质，

解决能否探测到目标的问题

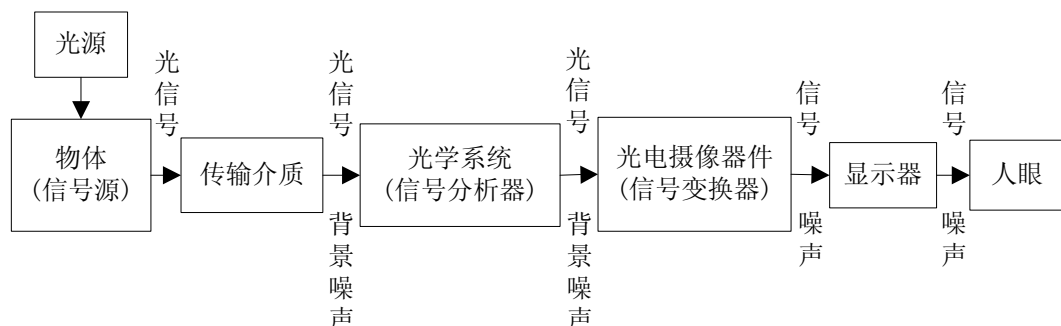
成像特性——能分辨的光信号在空间和时间方面的细致程度，对多

光谱成像还包括它的光谱分辨率

噪声方面——决定接收到的信号不稳定的程度或可靠性

信息传递速率方面

（成像特性、噪声——信息传递问题，决定能被传递的信息量大小）



光电成像器件是光电成像系统的核心。

§1 固体摄像器件

固体摄像器件的功能：把入射到传感器光敏面上按空间分布的光强信息（可见光、红外辐射等），转换为按时序串行输出的电信号——视频信号，而视频信号能再现入射的光辐射图像。

固体摄像器件主要有三大类：

电荷耦合器件（Charge Coupled Device，即CCD）

互补金属氧化物半导体图像传感器（即CMOS）

电荷注入器件（Charge Injention Device，即CID）

一、电荷耦合摄像器件

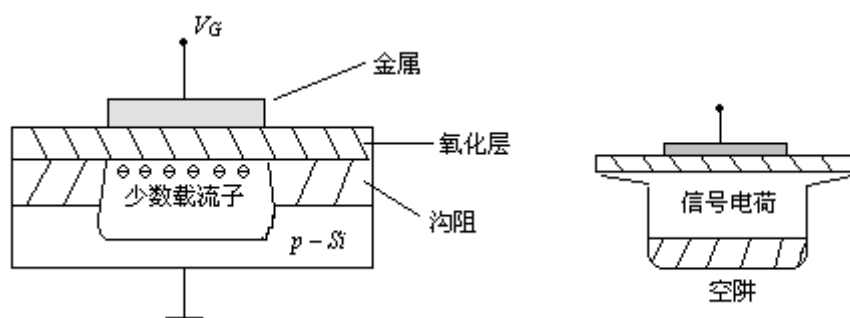
电荷耦合器件（CCD）特点）——以电荷作为信号

CCD的基本功能——电荷存储和电荷转移

CCD工作过程——信号电荷的产生、存储、传输和检测的过程

1. 电荷耦合器件的基本原理

（1）电荷存储



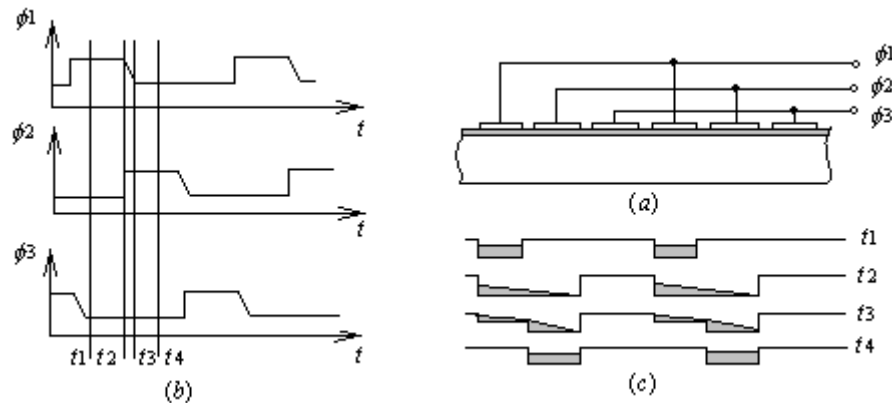
构成CCD的基本单元是MOS(金属-氧化物-半导体)电容器

电荷耦合器件必须工作在瞬态和深度耗尽状态

(2) 电荷转移

以三相表面沟道CCD为例

表面沟道器件, 即SCCD (Surface Channel CCD) ——转移沟道在界面的 CCD器件

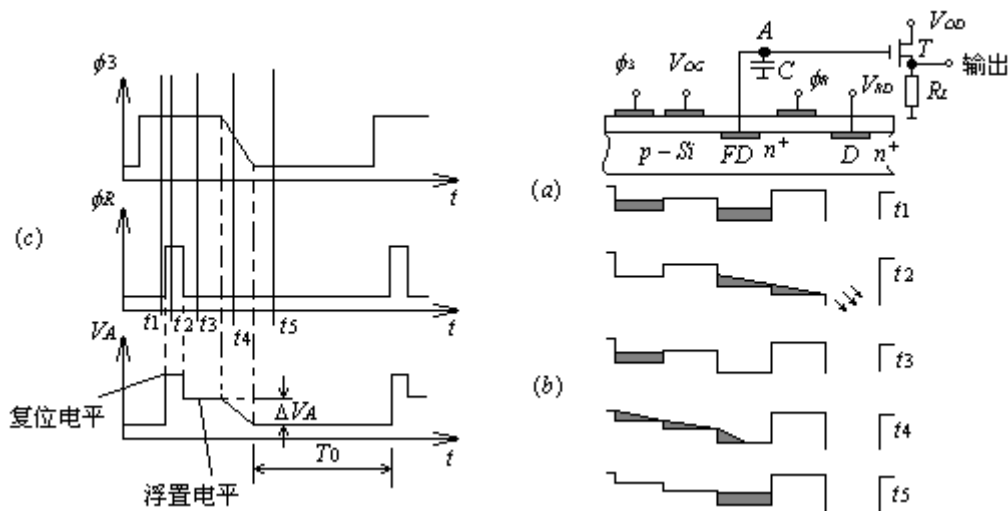


体内沟道 (或埋沟道CCD)

即 BCCD (Bulk or Buried Channel CCD) ——用离子注入方法改变转移沟道的结构, 从而使势能极小值脱离界面而进入衬底内部, 形成体内的转移沟道, 避免了表面态的影响, 使得该种器件的转移效率高达99.999%以上, 工作频率可高达100MHz, 且能做成大规模器件

(3) 电荷检测

浮置扩散输出



CCD输出信号的特点是：信号电压是在浮置电平基础上的负电压；每个电荷包的输出占有一定的时间长度 T 。；在输出信号中叠加有复位期间的高电平脉冲。

对CCD的输出信号进行处理时，较多地采用了取样技术，以去除浮置电平、复位高脉冲及抑制噪声。

2. 电荷耦合摄像器件的工作原理

CCD的电荷存储、转移的概念 + 半导体的光电性质——CCD摄像器件

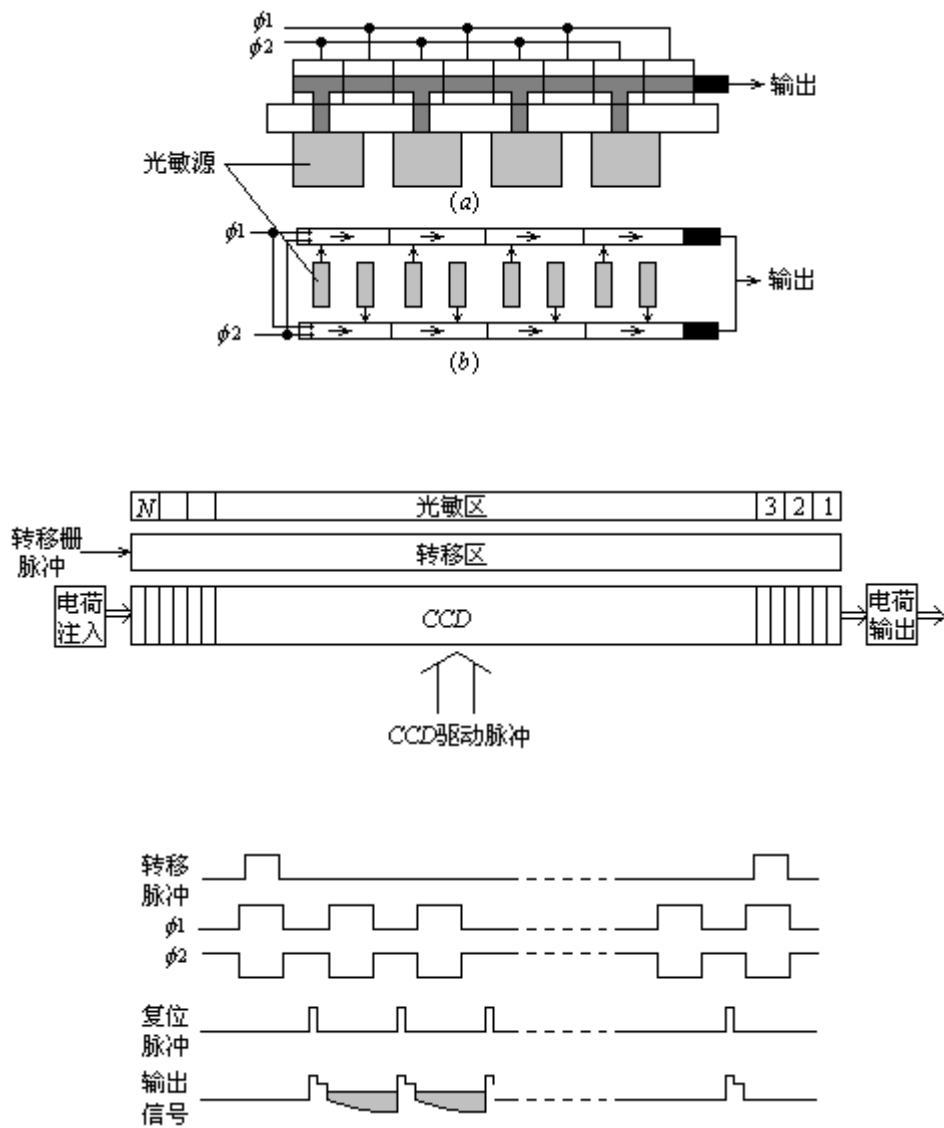
按结构可分为线阵CCD和面阵CCD

按光谱可分为可见光CCD、红外CCD、X光CCD和紫外CCD

可见光CCD又可分为黑白CCD、彩色CCD和微光CCD

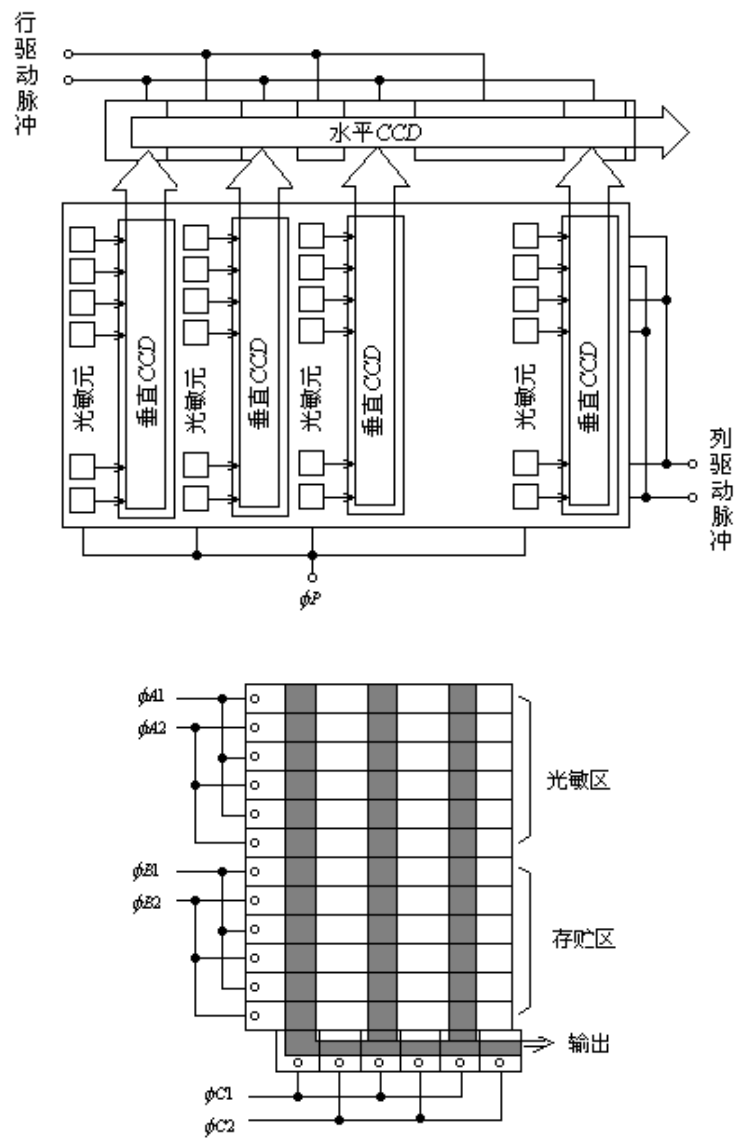
(1) 线阵CCD

线阵CCD可分为双沟道传输与单沟道传输两种结构



(2) 面阵CCD

常见的面阵CCD摄像器件有两种：行间转移结构与帧转移结构。



二、电荷耦合摄像器件的特性参数

1. 转移效率

电荷包从一个栅转移到下一个栅时, 有 η 部分的电荷转移过去, 余下 ε 部分没有被转移, ε 称转移损失率。

$$\eta = 1 - \varepsilon$$

一个电荷量为 Q_0 的电荷包, 经过 n 次转移后的输出电荷量应为:

$$Q_n = Q_0 \eta^n$$

总效率为:

$$Q_n/Q_o = \eta^n$$

2. 不均匀度

光敏元的不均匀与CCD的不均匀。

本节讨论光敏元的不均匀性, 认为CCD是近似均匀的, 即每次转移的效率是一样的。

光敏元响应的不均匀是由于工艺过程及材料不均匀引起的, 越是大规模的器件, 均匀性问题越是突出, 这往往是成品率下降的重要原因。

定义光敏元响应的均方根偏差对平均响应的比值为CCD的不均匀度 σ :

$$\sigma = \frac{1}{\bar{V}_o} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (V_{on} - \bar{V}_o)^2}$$

$$\bar{V}_o = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_{on}$$

式中 V_{on} 为第 n 个光敏元原始响应的等效电压, $\bar{V}_o$ 为平均原始响应等效电压; N 为线列CCD的总位数。

由于转移损失的存在, CCD的输出信号 V_n 与它所对应的光敏元的原始响应 V_{on} 并不相等。根据总损失公式, 在测得 V_n 后, 可求出 V_{on} :

$$V_{on} = \frac{V_n}{\eta^{np}} \quad \text{式中 } P \text{ 是CCD的相数}$$

3. 暗电流

CCD成像器件在既无光注入又无电注入情况下的输出信号称暗信号, 即暗电流。

暗电流的根本起因在于耗尽区产生复合中心的热激发。

由于工艺过程不完善及材料不均匀等因素的影响, CCD中暗电流密度的分布是不均匀的。

暗电流的危害有两个方面：限制器件的低频限、引起固定图像噪声

4. 灵敏度（响应度）

它是指在一定光谱范围内，单位曝光量的输出信号电压（电流）。

5. 光谱响应

CCD的光谱响应是指等能量相对光谱响应，最大响应值归一化为100%所对应的波长，称峰值波长 $\lambda_{\max}$ ，通常将10%（或更低）的响应点所对应的波长称截止波长。有长波端的截止波长与短波端的截止波长，两截止波长之间所包括的波长范围称光谱响应范围。

6. 噪声

CCD的噪声可归纳为三类：散粒噪声、转移噪声和热噪声。

7. 分辨率

分辨率是摄像器件最重要的参数之一，它是指摄像器件对物像中明暗细节的分辨能力。测试时用专门的测试卡。目前国际上一般用M T F（调制传递函数）来表示分辨率。

8. 动态范围与线性度

$$\text{动态范围} = \frac{\text{光敏元满阱信号}}{\text{等效噪声信号}}$$

线性度是指在动态范围内，输出信号与曝光量的关系是否成直线关系。

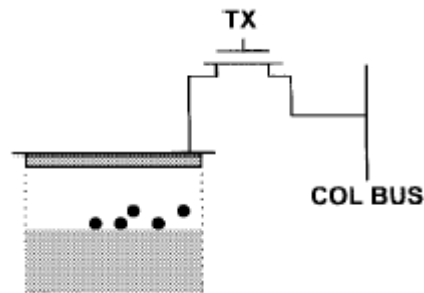
三、CMOS摄像器件

采用CMOS技术可以将光电摄像器件阵列、驱动和控制电路、信号处理电路、模 / 数转换器、全数字接口电路等完全集成在一起，可以实现单芯片成像系统。

1. CMOS像素结构

无源像素型（PPS）、有源像素型（APS）

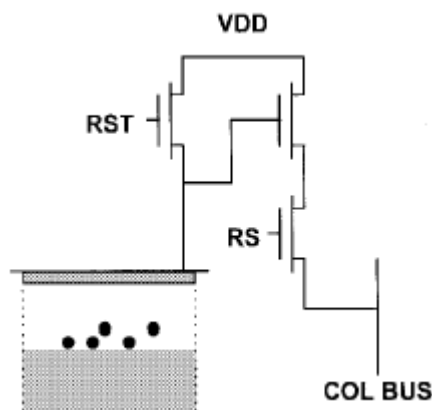
（1）无源像素结构



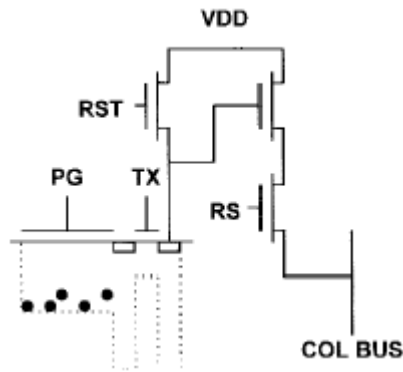
无源像素单元具有结构简单、像素填充率高及量子效率比较高的优点。但是，由于传输线电容较大，CMOS无源像素传感器的读出噪声较高，而且随着像素数目增加，读出速率加快，读出噪声变得更大。

（2）有源像素结构

光电二极管型有源像素（PP-APS）——大多数中低性能的应用



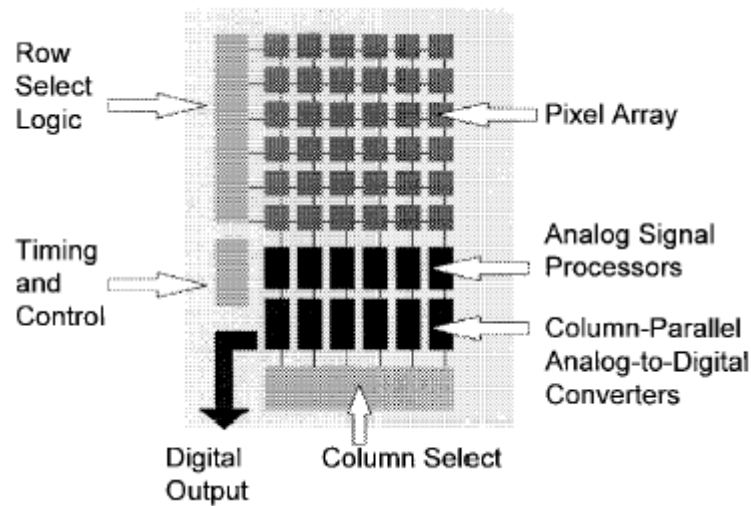
光栅型有源像素结构（PG-APS）——成像质量较高



CMOS有源像素传感器的功耗比较小。但与无源像素结构相比，有源像素结构的填充系数小，其设计填充系数典型值为20%–30%。在CMOS上制作微透镜阵列，可以等效提高填充系数。

2. CMOS摄像器件的总体结构

工作过程：首先，外界光照射像素阵列，产生信号电荷，行选通逻辑单元根据需要，选通相应的行像素单元，行像素内的信号电荷通过各自所在列的信号总线传输到对应的模拟信号处理器(ASP)及A/D变换器，转换成相应的数字图像信号输出。行选通单元可以对像素阵列逐行扫描，也可以隔行扫描。隔行扫描可以提高图像的场频，但会降低图像的清晰度。行选通逻辑单元和列选通逻辑单元配合，可以实现图像的窗口提取功能，读出感兴趣窗口内像元的图像信息。



3. CMOS与CCD器件的比较

CCD摄像器件——有光照灵敏度高、噪声低、像素面积小等优点。

但CCD光敏单元阵列难与驱动电路及信号处理电路单片集成，不易处理一些模拟和数字功能；CCD阵列驱动脉冲复杂，需要使用相对高的工作电压，不能与深亚微米超大规模集成（VLSI）技术兼容，制造成本比较高。

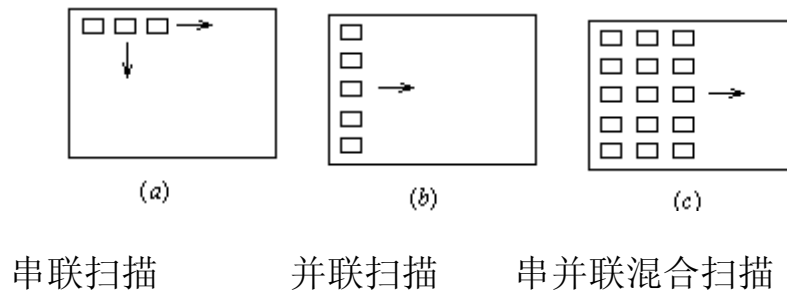
CMOS摄像器件——集成能力强、体积小、工作电压单一、功耗低、动态范围宽、抗辐射和制造成本低等优点。目前CMOS单元像素的面积已与CCD相当，CMOS已可以达到较高的分辨率。如果能进一步提高CMOS器件的信噪比和灵敏度，那么CMOS器件有可能在中低档摄像机、数码相机等产品中取代CCD器件。

作业：P204： 5.1.

§2 光电成像原理

一、光电成像系统的基本结构

1. 光机扫描方式



2. 电子束扫描方式

3. 固体自扫描方式

上述的分类方法不是绝对的，有的光电成像系统是不同扫描方式的结合。

从目前情况看，光机扫描及固体自扫描方式的光电成像系统占主导地位。

二、光电成像系统的基本技术参数

1. 光学系统的通光口径 D 和焦距 f

2. 瞬时视场角 α 、 β

3. 观察视场角 W_H 、 W_V

4. 帧时 T_f 和帧速 $\dot{F}$

5. 扫描效率 η

$$\eta = \frac{T_{fov}}{T_f}$$

6. 滞留时间 τ_d

对光机扫描系统而言，物空间一点扫过单元探测器所经历的时间称为滞留时间 τ_d ，探测器在观察视场中对应的分辨单元数为：

$$n = \frac{W_H W_V}{\alpha \beta}$$

由 τ_d 的定义，有：

$$\tau_d = \frac{T_f \eta}{n} = \frac{\alpha \beta \eta}{W_H W_V \dot{F}}$$

光电成像系统的综合性能参数是在以上各基本技术参数的基础上作进一步的综合分析得出的。

§3 红外成像光学系统

红外成像光学系统应满足以下几方面的基本要求：**物像共轭位置、成像放大率、一定的成像范围**，以及在像平面上有一定的**光能量**和反映物体细节的能力（即**分辨率**）。

一、理想光学系统模型

$$\text{牛顿公式: } x'x = f'f, \quad \beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}$$

$$\text{高斯公式: } \frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}, \quad \beta = \frac{l'}{l}$$

二、光学系统中的光阑

1. 孔径光阑
2. 视场光阑
3. 渐晕光阑
4. 消杂光光阑

三、红外成像光学系统的主要参数

1. 焦距 f'

决定光学系统的轴向尺寸， f' 越大，所成的像越大，光学系统一般也越大。

2. 相对孔径 D/f'

相对孔径定义为光学系统的入瞳直径 D 与焦距 f' 之比, 相对孔径的倒数叫 F

数, $F_{\text{数}} = \frac{f'}{D}$ 。

相对孔径决定红外成像光学系统的衍射分辨率及像面上的辐照度。

衍射分辨率:

$$\sigma = \frac{3.83}{\pi} \cdot \frac{f' \lambda}{D} = 1.22 \frac{\lambda}{D/f'}$$

像面中心处的辐照度计算公式为:

$$E' = K\pi L \cdot \sin^2 U' \cdot \frac{n'^2}{n^2}$$

3. 视场

四、光学系统的像差

光学系统近轴区具有理想光学系统的性质, 光学系统近轴区的成像被认为是理想像。

实际光学系统所成的像和近轴区所成的像的差异即为像差。

光学系统对单色光成像时产生单色像差, 分为五类: 球面像差(球差)、彗形像差(彗差)、像散差(像散)、像面弯曲(场曲)和畸变。

对多色光成像时, 光学系统除对各单色光成分有单色像差外, 还产生两种色差: 轴向色差和垂轴色差(亦称倍率色差)。

五、红外光学系统的特点

由于红外辐射的特有性能, 使得红外光学系统具有以下一些特点:

(1) 红外辐射源的辐射波段位于 $1\mu\text{m}$ 以上的不可见光区, 普通光学玻璃对 $2.5\mu\text{m}$ 以上的光波不透明, 而在所有有可能透过红外波段的材料中, 只有几种材

料有必需的机械性能,并能得到一定的尺寸,如锗、硅等,这就大大限制了透镜系统在红外光学系统设计中的应用,使反射式和折反射式光学系统占有比较重要的地位。

(2) 为了探测远距离的微弱目标,红外光学系统的孔径一般比较大。

(3) 在红外光学系统中广泛使用各类扫描器,如平面反射镜、多面反射镜、折射棱镜及光楔等。

(4) 8至14 μm 波段的红外光学系统必须考虑衍射效应的影响。

(5) 在各种气象条件下或在抖动和振动条件下,具有稳定的光学性能。

鉴于上述特点,设计红外光学系统时,应遵循下列原则:

(1) 光学系统应对所工作的波段有良好的透过性能。

(2) 光学系统在尺寸、像质和加工工艺许可的范围内,应具有尽可能大的相对孔径,以保证系统有高的灵敏度。

(3) 光学系统应对背景噪声有较强的抑制能力,提高输入信噪比。

(4) 光学系统的形式和组成应有利于充分发挥探测器的效能,如合理利用光敏元面积,保证高的光斑均匀性等。

(5) 光学系统及组成元件力求简单。

(6) 合理选择扫描方式及扫描器的类型。

六、典型的红外光学系统

红外光学系统主要由红外物镜系统和扫描系统组成。

1. 红外物镜系统

(1) 透射式红外光学系统

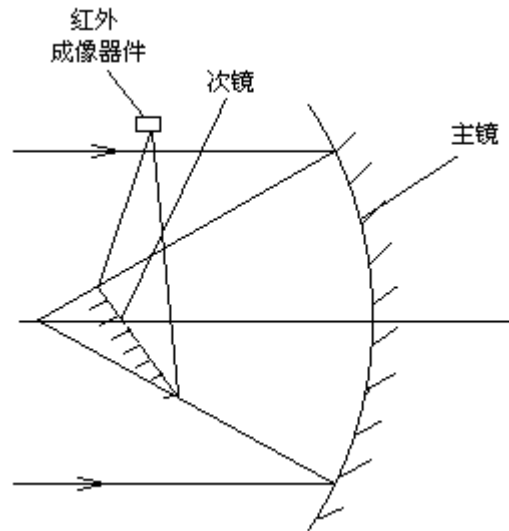
优点: 无挡光,加工球面透镜较容易,通过光学设计易消除各种像差。

缺点: 光能损失较大,装配调整比较困难。

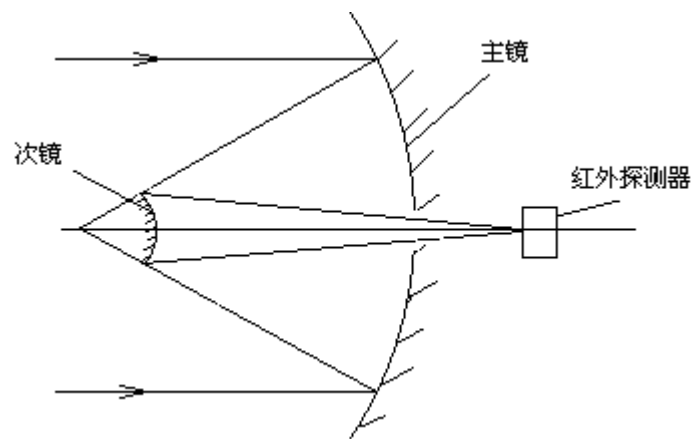
(2) 反射式红外光学系统

由于红外辐射的波长较长，能透过它的材料很少，因而大都采用反射式红外光学系统。按反射镜截面的形状不同，反射系统有球面形、抛物面形、双曲面形或椭球面形等几种。

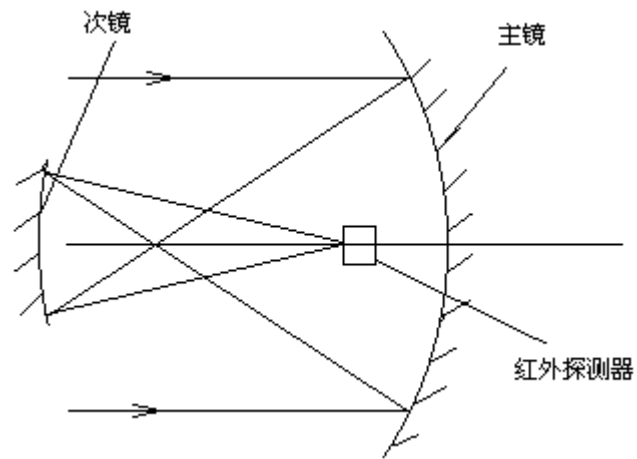
牛顿光学系统：



卡塞格伦系统：

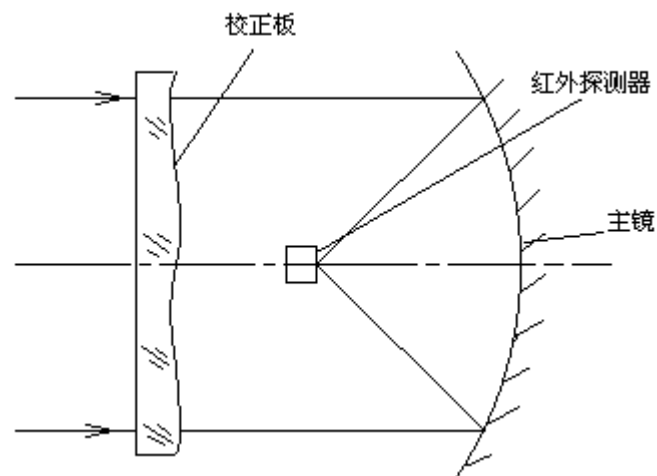


格利高利系统：

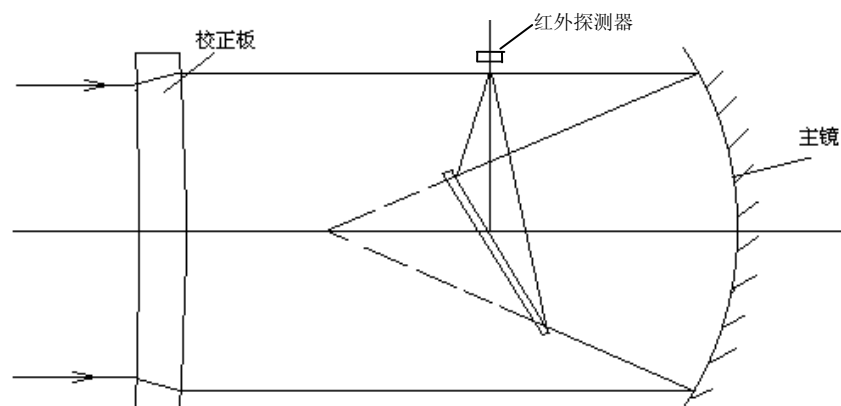


(3) 折反射组合式光学系统

施密特系统:



马克苏托夫系统:



2. 扫描系统

平行光束扫描

会聚光束扫描

作业：P204：5.4

§4 红外成像系统的综合特性

红外成像系统性能的综合量度指标——**空间分辨率、温度分辨率**

空间分辨率——调制传递函数（MTF）

温度分辨率——噪声等效温差（NETD）

最小可分辨温差（MRTD）

最小可探测温差（MDTD）

一、调制传递函数（MTF）

1. 基本概念

红外成像系统可以看作是一个低通线性滤波器，给红外成像系统输入一个正弦信号（即给出一个光强正弦分布的目标），输出仍然是同一频率的正弦信号（即目标成的像仍然是同一空间频率的正弦分布），只不过像的对比有所降低，位相发生移动。对比降低的程度和位相移动的大小是空间频率的函数，被称为红外成像系统的**对比传递函数（MTF）**和**位相传递函数（PTF）**，这个函数的具体形式则完全由红外成像系统的成像性能所决定，因此传递函数客观地反映了成像系统的成像质量，红外成像系统存在一个截止频率，对这个频率，正弦目标的像的对比降低到0。

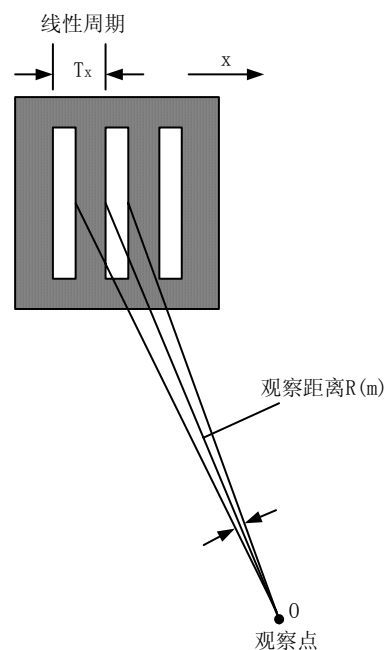
目标经系统成像后一般都是能量减少，对比降低和信息衰减。

通常所谓的分辨率，是将物体结构分解为线或点，这只是分解物体方法的

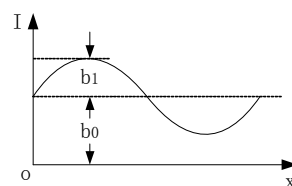
一种。另一种方法是将物体结构分解为各种频率的谱, 即认为物体是由各种不同的空间频率组合而成的。这样红外成像系统的特性就表现为它对各种物体结构频率的反应: 透过特性、对比变化和位相推移。

空间频率定义为周期量在单位空间上变化的周期数:

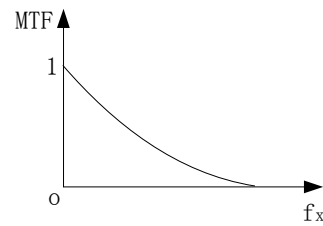
设有亮暗相间的等宽度条纹图案, 两相邻条形中心之间距离 T_x 称为空间周期 (mm), T_x 的倒数称为空间频率 (单位是线对/毫米, 即lp/mm)。在红外成像系统中通常用单位弧度中的周期数来表示 (c/mrad), 若观察点O与图案之间的距离为R (m), 则 $\theta_x = T_x / R$ (单位mrad) 称为角周期, 其倒数即为 (角) 空间频率 f_x : $f_x = 1 / \theta_x = R / T_x$



物体的调制度 (对比度) 定义: $M_o = \frac{b_1}{b_0}$



光学系统对某一频率的调制传递函数MTF为: $MTF(f_x) = \frac{M_i}{M_o}$



2. 红外成像过程中各个环节的调制传递函数

红外成像系统模型如前所述, 根据线性滤波理论, 对于由一系列具有一定频率特性 (空间的或时间的) 的分系统所组成的红外成像系统, 只要逐个求出分系统的传递函数, 其乘积就是整个系统的传递函数。

(1) 光学系统的调制传递函数 MTF_0

(2) 探测器的 MTF_d

(3) 电子线路的 MTF_e

(4) 显示器的 MTF_m

(5) 大气扰动的 MTF_{om}

(6) 人眼调制传递函数 MTF_{eye}

人眼能发现的能量起伏为0.05, 即最大能量为1, 最低能量是0.95时也能发现, 所以人眼能接收感知的极限调制度为0.026, 目视仪器各个环节的传递函数值可以以此作为考虑的出发点。

(7) 系统的传递函数 MTF

红外成像系统总的传递函数为各分系统传递函数的乘积:

$$MTF = MTF_0 \cdot MTF_d \cdot MTF_e \cdot MTF_m \cdot MTF_{om} \cdot MTF_{eye}$$

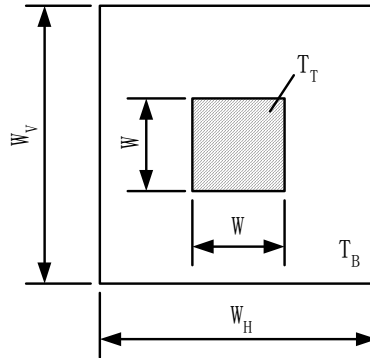
二、噪声等效温差 (NETD)

1. NETD的定义

用红外成像系统观察标准试验图案, 当红外成像系统输出端产生的峰值信号与均方根噪声电压之比为1时的目标与背景之间的温差, 称为噪声等效温差

(NETD)。NETD是表征红外成像系统受客观信噪比限制的温度分辨率的一种量度。

NETD测试图案



2. NETD的表达式及物理意义

假设目标与背景都是朗伯辐射体，先求出红外成像系统分辨单元接收到的辐射功率，再求出由于目标与背景温差引起的接收功率的差异，继而求得信号电压的变化量及信噪比，由定义可得到NETD的表达式。

对单元探测器光机扫描方式，其NETD表达式为：

$$NETD = \frac{\pi^{\frac{3}{2}} f' \sqrt{W_H W_V} \dot{F}}{2\sqrt{\eta} \alpha \beta A_o \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau(\lambda) D^*(\lambda) \frac{\partial M_\lambda(T_B)}{\partial T} d\lambda}$$

式中 f' 是光学系统的焦距， w_H 、 w_V 是观察视场角， $\dot{F}$ 是帧速， η 是扫描效率， α 、 β 是瞬时视场角， A_o 是入瞳面积， $\tau(\lambda)$ 是光学系统的光谱透过率， $D^*(\lambda)$ 是探测器的归一化探测度（比探测率）， $M_\lambda(T)$ 是目标的光谱辐射出射度， λ_1 — λ_2 是系统工作波段。

NETD、 $\dot{F}$ 及 $\alpha\beta$ 是表征一个红外成像系统性能的三个主要特征参数，分别反映了系统的温度分辨率、信息传递速率及空间分辨率：

$$NETD \propto \frac{\sqrt{\dot{F}}}{\alpha\beta}$$

这三个特征参数在性能要求上是相互矛盾的，即存在制约关系。

NETD的局限性：

(1) NETD反映的是客观信噪比限制的温度分辨率，没有考虑视觉特性的影响。

(2) 单纯追求低的NETD值并不意味着一定有很好的系统性能。例如，增大工作波段的宽度，显然会使NETD减小。但在实际应用场合，可能会由于所接收的日光反射成分的增加，使系统测出的温度与真实温度的差异增大。表明NETD公式未能保证与系统实际性能的一致性。

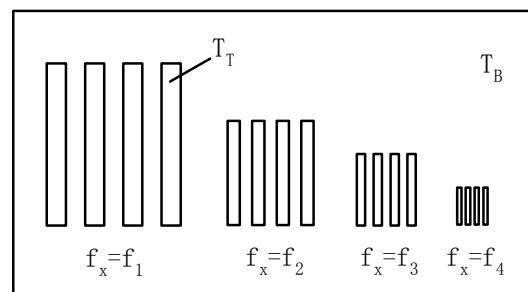
(3) NETD反映的是系统对低频景物（均匀大目标）的温度分辨率，不能表征系统用于观测较高空间频率景物时的温度分辨性能。

NETD具有概念明确、测量容易的优点，在系统设计阶段，采用NETD作为对系统诸参数进行选择的权衡标准是有用的。

三、最小可分辨温差（MRTD）

MRTD是景物空间频率的函数，是表征系统受视在信噪比限制的温度分辨率的量度。

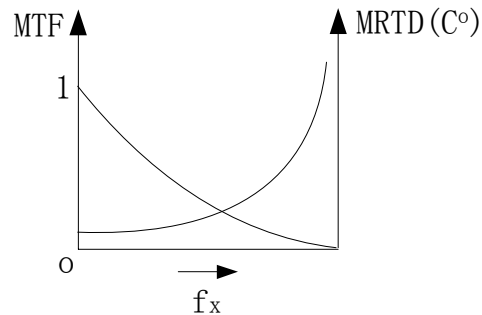
MRTD的测试图案：



由成像系统对某一组四条带图案成像，调节目标相对背景的温差，从零逐渐增大，直到在显示屏上刚能分辨出条带图案为止。此时的温差就是在该组目标空间频率下的最小可分辨温差。分别对不同空间频率的条带图案重复上述测

量过程, 可得到MRTD曲线。

MRTD曲线:



MRTD综合描述了在噪声中成像时, 红外成像系统对目标的空间及温度分辨能力。MRTD存在的问题主要是: 它是一种带有主观成分的量度, 测试结果会因人而异。此外, 未考虑人眼的调制传递函数对信号的影响也是其不足之处。

四、最小可探测温差 (MDTD)

最小可探测温差MDTD是将NETD与MRTD的概念在某些方面作了取舍后而得出的。具体地说, MDTD仍是采用MRTD的观测方式, 由在显示屏上刚能分辨出目标时所需的目標对背景的温差来定义。但MDTD采用的标准图案是位于均匀背景中的单个方形目标, 其尺寸 W 可调整, 这是对NETD与MRTD标准图案特点的一种综合。

MDTD用来估算点源目标的可探测性是有价值的。

§5 微光像增强器件

明朗夏天采光良好的室内照度大致在100至500lx之间

太阳直射时的地面照度可以达到10万lx

满月在天顶时的地面照度大约是0.2lx

夜间无月时的地面照度只有 10^{-4}l x 数量级

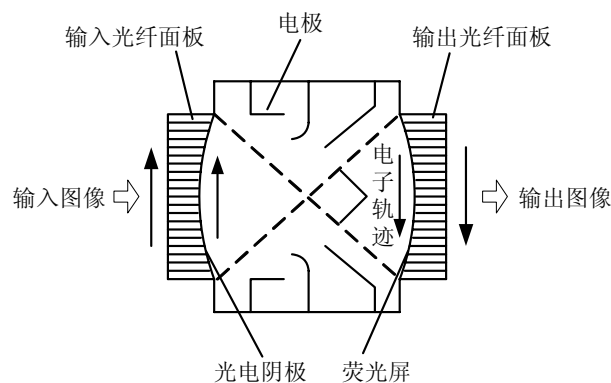
微光光电成像系统的工作条件就是环境照度低于 10^{-1}l x

微光光电成像系统的核心部分是微光像增强器件

一、微光像增强器

1. 基本原理

光电阴极将光学图像转换为电子图像，电子光学成像系统（电极系统）将电子图像传递到荧光屏，在传递过程中增强电子能量并完成电子图像几何尺寸的缩放，荧光屏完成电光转换，即将电子图像转换为可见光图像，图像的亮度已被增强到足以引起人眼视觉，在夜间或低照度下可以直接进行观察。



2. 微光像增强器的性能参数

(1) 光电阴极灵敏度

表征光电阴极发射（或转换）特性的参量是光电灵敏度，即像管光电阴极产生的光电流与入射辐射通量之比。对微光器件，光灵敏度是指用色温2856K士50K的标准钨丝白炽灯（CIE规定的标准“A”光源）照射光电阴极时，其上产生的光电流与入射光通量之比。

(2) 有效直径

有效光电阴极直径是在像管输入端上与光电轴同心、能完全成像于荧光屏

上的最大圆直径。有效荧光屏直径是在像管输出端上与光电轴同心, 并与有效光电阴极直径成物像关系的圆直径。一般将其表示为有效阴极直径 / 有效屏直径, 如18 / 18 (单位mm)。

(3) 增益

用色温为 $2856\text{K} \pm 50\text{K}$ 的钨丝白炽灯照射像管的光电阴极, 荧光屏输出的光通量与输入到光电阴极的光通量之比即为光通量增益。

(4) 暗背景光亮度 and 等效背景光照度

光电阴极无光照时, 处于工作状态的像管荧光屏上的输出光亮度称为暗背景光亮度。等效背景光照度是指产生和暗背景相等的输出光亮度在光电阴极上所需的输入光照度。

(5) 放大率、畸变

像管的放大率是指荧光屏上输出像的几何大小与光电阴极上输入像的几何大小之比。

像管的畸变是距离光电轴中心不同位置处各点放大率不同的表征:

$$D_r = \frac{\beta_r - \beta_c}{\beta_c} \times 100\%$$

式中 D_r 是与光电阴极中心距离为 r 处的畸变, β_r 是与光电阴极中心距离为 r 处的放大率, β_c 是光电阴极中心处的放大率。 D_r 为正值时产生枕形畸变, 为负值时产生桶形畸变。

(6) 分辨率和调制传递函数

分辨率是指像管分辨相邻两个物点或像点的能力。如果把矩形波空间频率图样投射到光电阴极上, 分辨率可用在荧光屏上能分辨的最高空间频率表示。调制传递函数MTF是荧光屏上输出的正弦波图样的调制度与光电阴极上输入的正

弦波图样的调制度之比。

(7) 光生背景

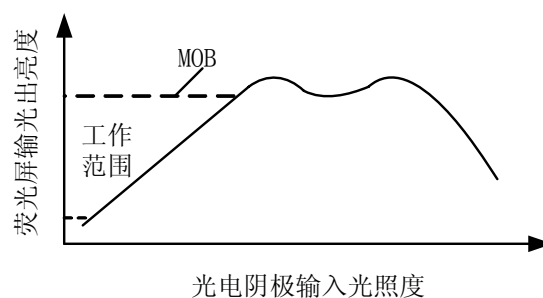
在有光输入时, 处于工作状态的像管荧光屏上存在的随入射光强弱而变化的那部分附加光亮度, 称为光生背景。当光电阴极的中心用一个不透明的圆片遮掩, 并均匀照明光电阴极, 荧光屏中心会出现一个暗斑, 暗斑处的输出光亮度与取掉不透明圆片、用同一光源均匀照明光电阴极时荧光屏中心处的输出光亮度之比, 即表示光生背景的大小。

(8) 信噪比

信噪比是评定像管成像质量的综合指标。像管在规定的工作条件下输出的信号与噪声之比即为信噪比。像管的噪声源主要是: 由暗背景引起的固定背景噪声; 由于光子、光电子的量子特性引起的涨落量子噪声; 由于微通道板等增益机构引起的增益噪声; 由于荧光屏颗粒结构引起的颗粒噪声。

(9) 自动光亮度控制 (ABC) 特性和最大输出光亮度 (MOB)

像管的自动光亮度控制是带电源的像管组件的特性。当输入光照度大于某一规定值时, 输出光亮度与输入光照度之间呈非线性关系, 输出光亮度曲线的最大值称为最大输出光亮度。



3. 三代像增强器

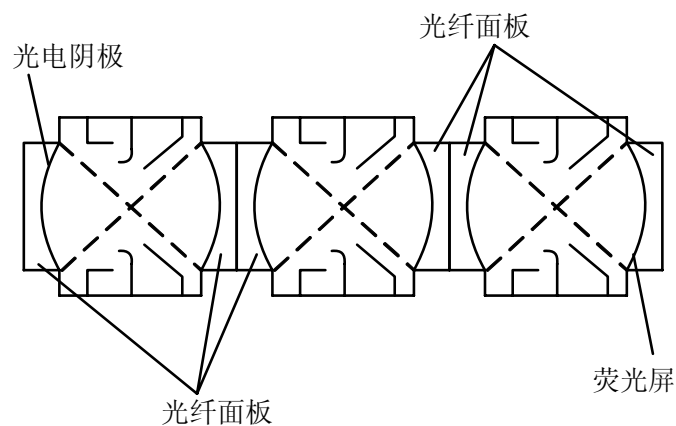
一代管以三级级联增强技术为特征, 增益高达几万倍, 但体积大, 重量重;

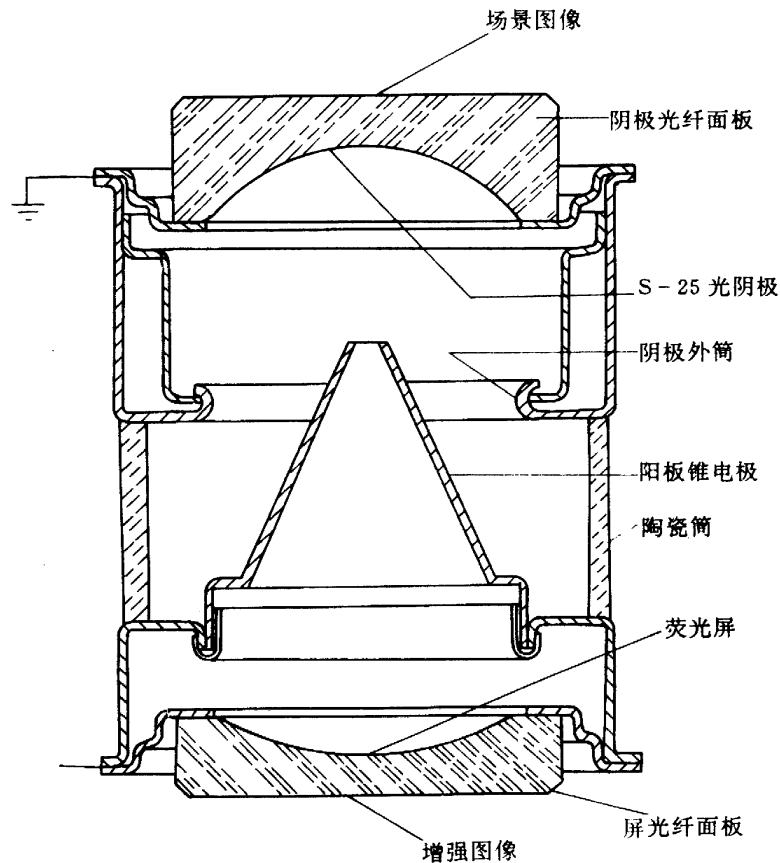
二代管以微通道板（MCP）增强技术为特征，体积小，重量轻，但夜视距离无明显突破；

三代管则采用了负电子亲和势（NEA）GaAs光电阴极，使夜视距离提高1.5–2倍以上。

（1）第一代像增强器

第一代像增强器是以纤维光学面板作为输入、输出窗三级级联耦合的像增强器。由于经过三级增强，因而第一代管具有很高的增益。





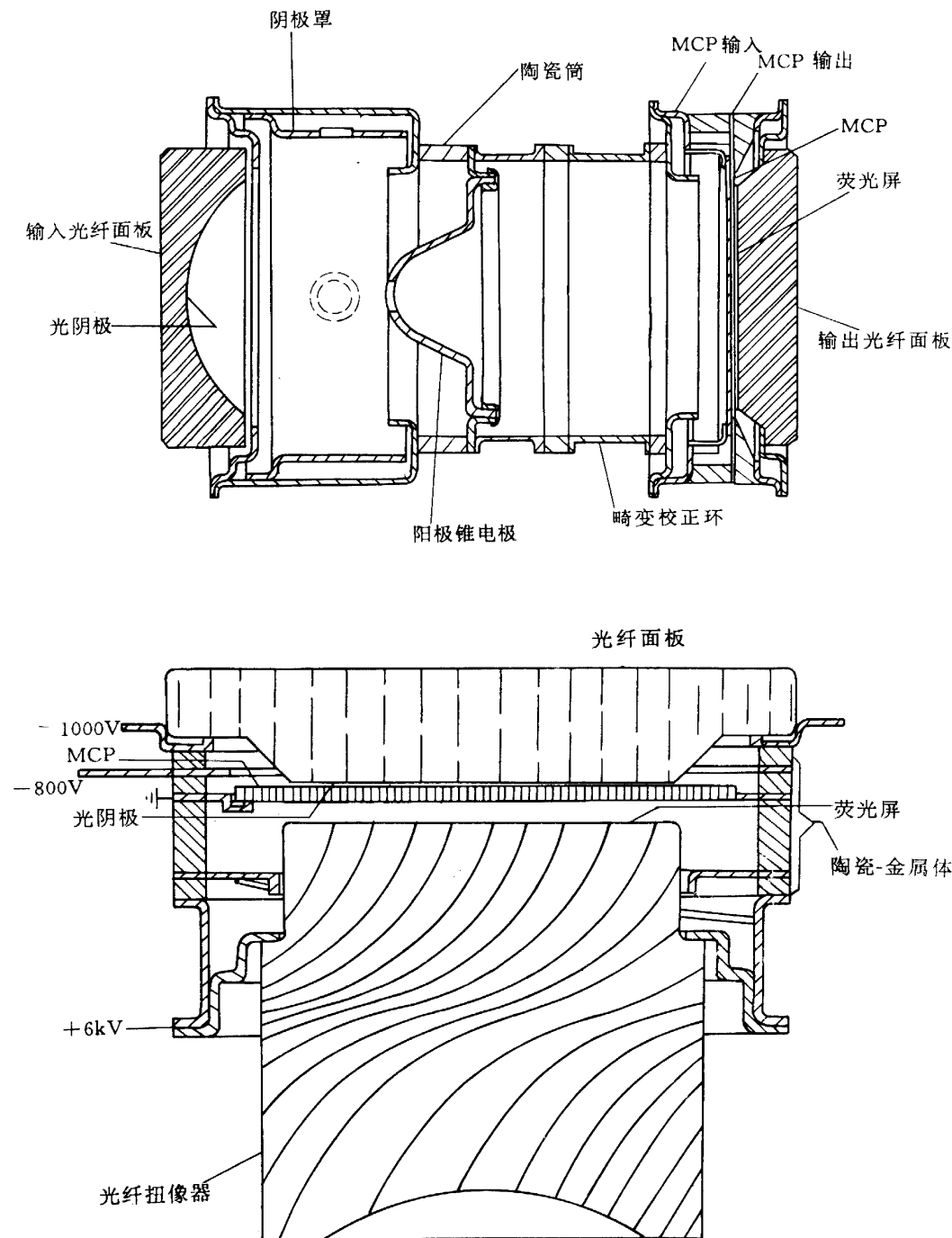
一代管的典型性能为：光灵敏度为 $300 \mu\text{A} \cdot \text{lm}^{-1}$ ，辐射灵敏度 ($0.85 \mu\text{m}$) 为 $20 \text{ mA} \cdot \text{W}^{-1}$ ，亮度增益为 2×10^4 至 $3 \times 10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ，分辨率为 $35 \text{ lp} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。一代管具有增益高、成像清晰的优点，但重量大，防强光能力差。

(2) 第二代像增强器

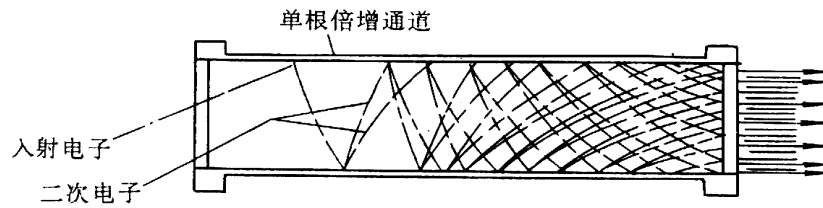
利用MCP的像管称为第二代像增强器（二代管）。

锐聚焦——类似单级一代管，但在管子的荧光屏前放置一MCP，称为二代倒像管；

近贴聚焦——在光阴极和荧光屏之间双近贴放置MCP，荧光屏配制在纤维光学面板或光纤扭像器上，称为二代近贴管。



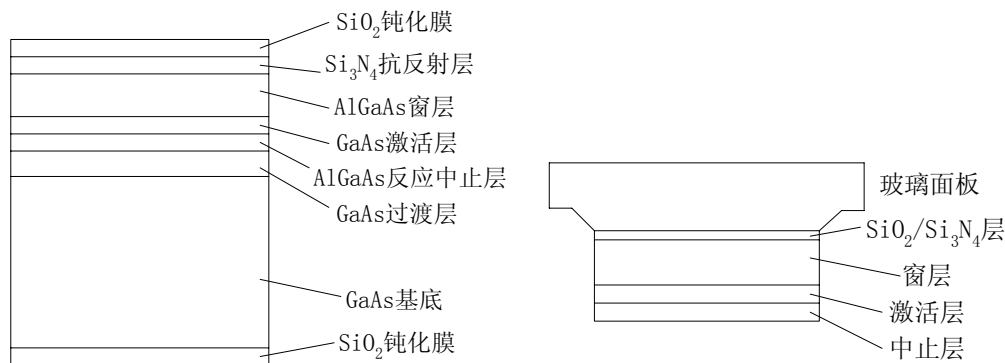
二代管采用了不同于一代管的增益机构——MCP，MCP由上百万个紧密排列的空芯通道管组成。通道芯径间距约 $12\ \mu\text{m}$ ，长径比为40—60。通道的内壁具有较高的二次电子发射特性，入射到通道的初始电子在电场作用下使激发出来的电子依次倍增，从而在输出端获得很高的增益。MCP的两个端面镀镍，构成输入和输出电极。



常用二代近贴管有 18 / 18, 25 / 25, 性能典型值为亮度增益约 $5 \times 10^3 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ (18/18)、 $1.7 \times 10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ (25/25), 分辨率约 $30 \text{ lp} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。二代倒像管有 18 / 18, 25 / 25, 20 / 30, 性能上较近贴管好些, 但重量较大。

(3) 第三代像增强器

第三代像增强器是在二代近贴管的基础上, 将三碱光电阴极置换为 GaAs NEA 光阴极。NEA 光电阴极的制作过程极为复杂。但光灵敏度性能较一、二代多碱光阴极提高 2-3 倍。光谱响应向红外延伸, 与夜天光辐射光谱更匹配, 视距增大 1.5-2 倍。

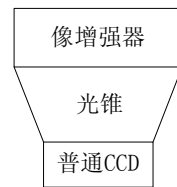


三代管的商品水平为: 光灵敏度为 $1000 \mu\text{A} \cdot \text{lm}^{-1}$, 辐射灵敏度 ($0.85 \mu\text{m}$) 为 $100 \text{ mA} \cdot \text{W}^{-1}$, 亮度增益为 $1 \times 10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, 分辨率为 $36 \text{ lp} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。三代管具有高灵敏度、高分辨力、宽光谱响应、高传递特性和长寿命等优点。

二、微光摄像 CCD 器件

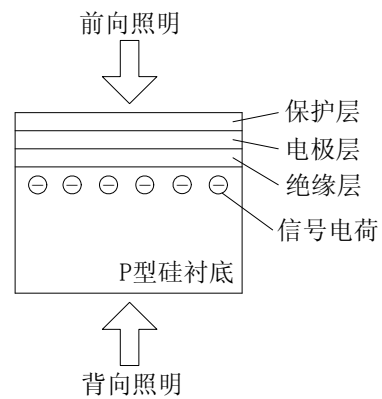
1. 带像增强器的 CCD 器件

灵敏度最高的 ICCD 摄像系统可工作在 10^{-6} lx 靶面照度下。

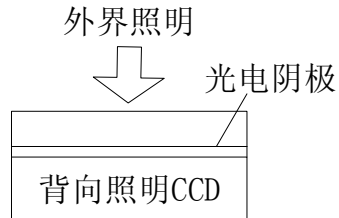


2. 薄型、背向照明CCD器件

可在 10^{-4}lx (靶面照度) 下工作。



3. 电子轰击型CCD器件



作业: P204: 5.7。