



江苏大学测控系

《机电光仪一体化技术》



第3章 传感与光电检测技术-1

2014年7月17日星期四





第3章 传感与光电检测技术

知识点：

传感器的组成和分类

常见传感器及其工作原理

传感器的发展趋势

检测数据的处理方法

光电检测电路

传感器的计算机接口





- ◆ **传感器技术**是现代检测和自动化技术的重要基础之一，机电光仪一体化系统的自动化程度越高，对传感器的依赖性也就越大。
- ◆ 能将各种非电物理量转换成电量的**传感器**(换能器)及其应用技术便成为机电光仪一体化技术系统中不可缺少的组成部分。





3.1 传感器的组成与分类

3.1.1 传感器的组成

通常传感器有**敏感元件**、**转换元件**和**转换电路**三部分组成。

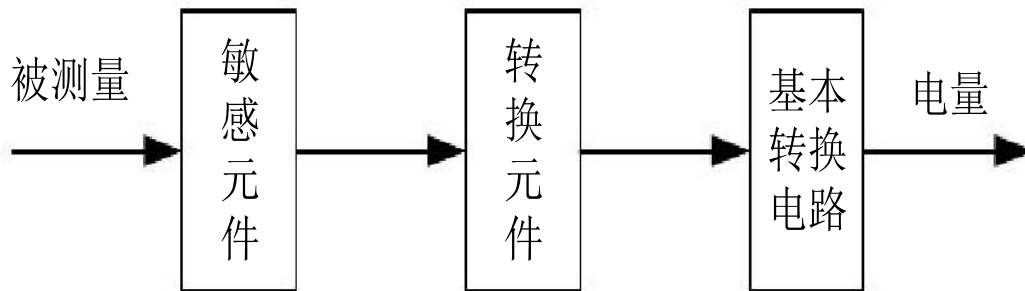


图3-1 传感器的组成



3.1 传感器的组成与分类

3.1.2 传感器的分类

1) 按被测物理量分类 常见的被测物理量

机械量: 长度, 厚度, 位移, 速度, 加速度,
旋转角, 转数, 质量, 重量, 力,
压力, 真空度, 力矩, 风速, 流速,
流量;

声: 声压, 噪声.

磁: 磁通, 磁场.

温度: 温度, 热量, 比热.

光: 亮度, 色彩



3.1 传感器的组成与分类

2) 按工作的物理基础分类:

机械式, 电气式, 光学式, 流体式等.

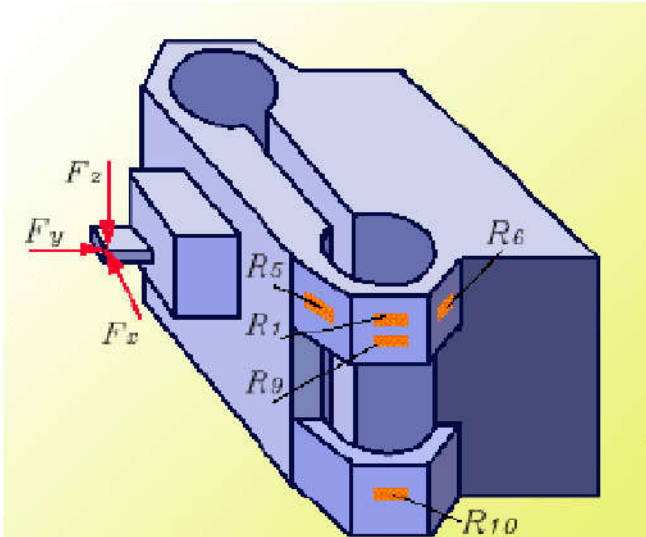
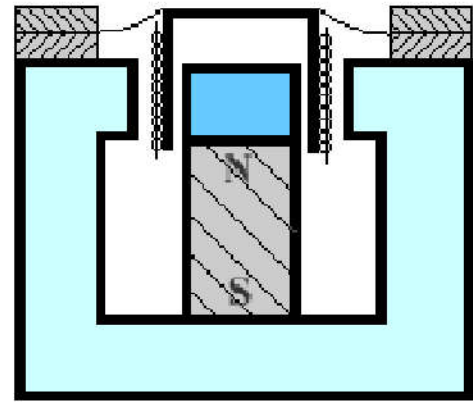


图3-2



动圈式磁电传感器工作原理
线速度型

图3-3



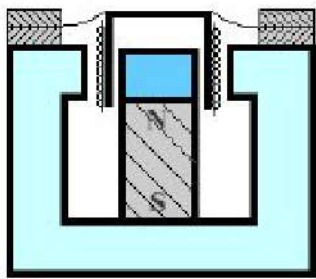
3.1 传感器的组成与分类

3) 按信号变换特征： 能量转换型和能量控制型.

能量转换型：直接由被测对象输入能量使其工作.

例如：热电偶温度计，压电式加速度计.

能量控制型：从外部供给能量并由被测量控制外部供给能量的变化. 例如：电阻应变片.



动圈式磁电传感器工作原理
线速度型

图3-4

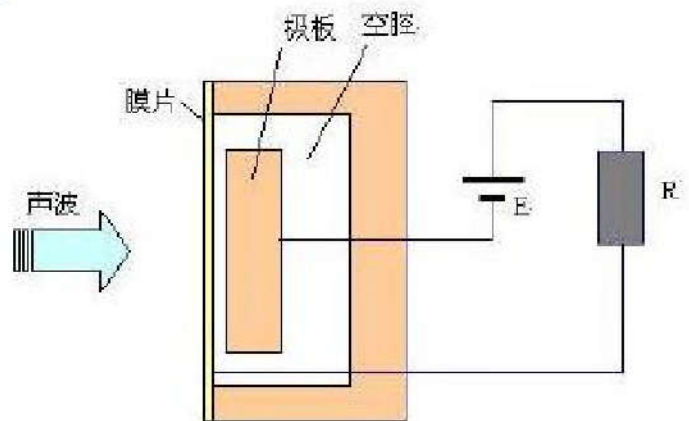


图3-5



3.1 传感器的组成与分类

4) 按敏感元件与被测对象之间的能量关系:

物性型: 依靠敏感元件材料本身物理性质的变化来实现信号变换. 如: 水银温度计.

结构型: 依靠传感器结构参数的变化实现信号转变. 例如: 电容式和电感式传感器.

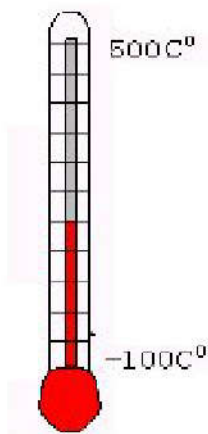


图3-6

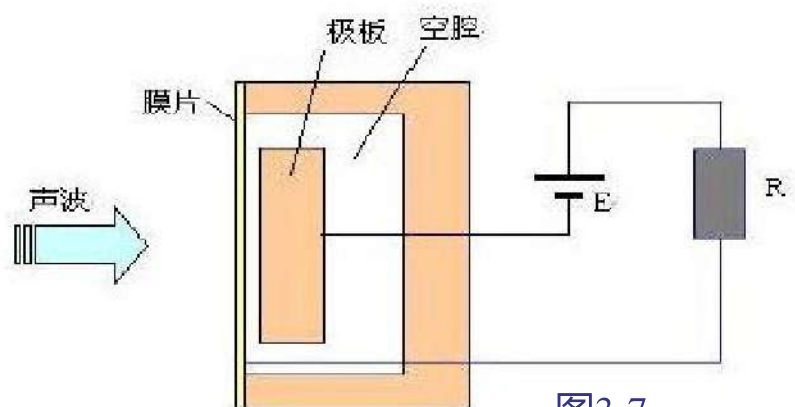


图3-7



3.2 常见传感器及其工作原理

3.2.1 光电编码器

- ◆ **编码器**是将机械传动的模拟量转换成旋转角度的数字信号，进行角位移检测的传感器。
- ◆ 编码器的种类很多，根据检测原理，它可分为电磁式、电刷式、电磁感应式及光电式等。
- ◆ 光电编码器根据其刻度方法及信号输出形式，分为**增量式编码器**和**绝对式编码器**。





3.2 常见传感器及其工作原理

1、增量式光电编码器

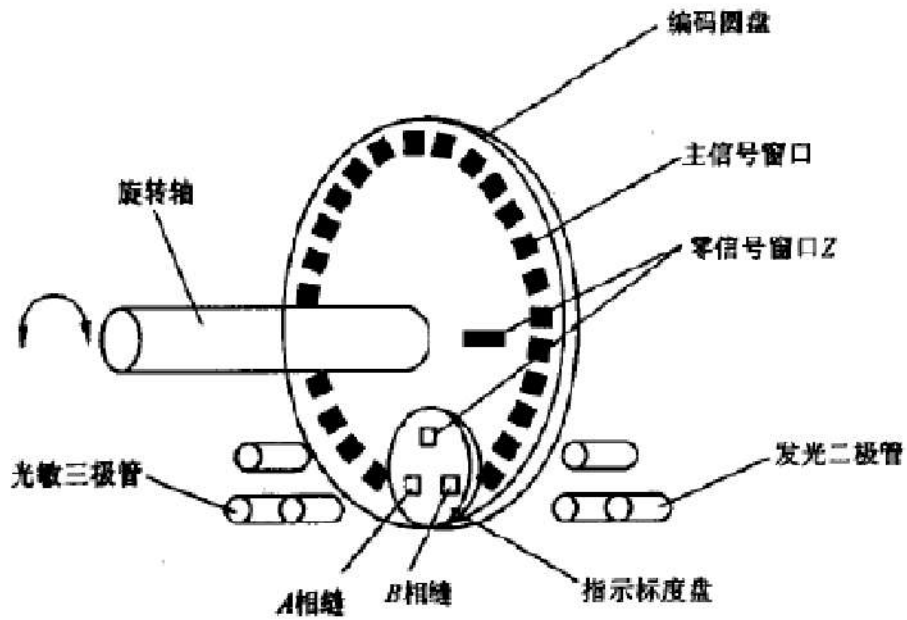


图3-8 增量式光电编码器

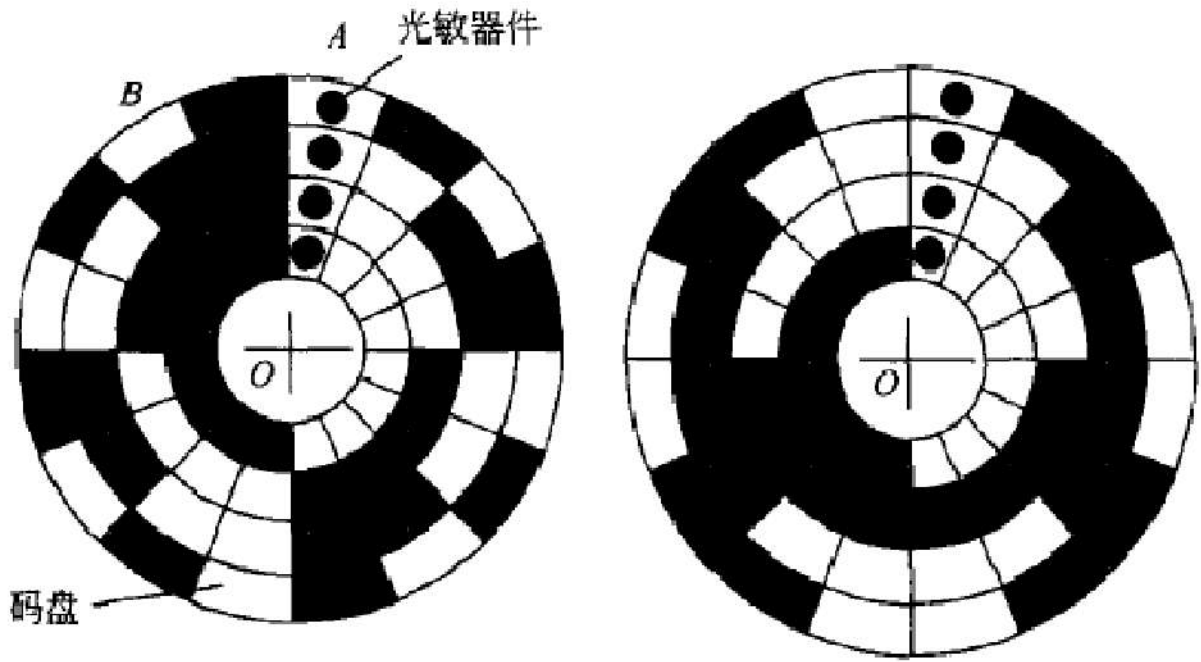


3.2 常见传感器及其工作原理

2、绝对式光电编码器

绝对式光电编码器的编码盘由透明及不透明区组成，这些透明及不透明区按一定编码构成，编码盘上码道的条数就是数码的位数。绝对式编码器能够直接给出对应于每个转角位置的二进制数码，便于计算机处理。





(a) 4位二进制绝对式编码器的编码盘

(b) 4位格雷码盘示意图

图3-9 绝对式光电编码器的编码盘



3.2 常见传感器及其工作原理

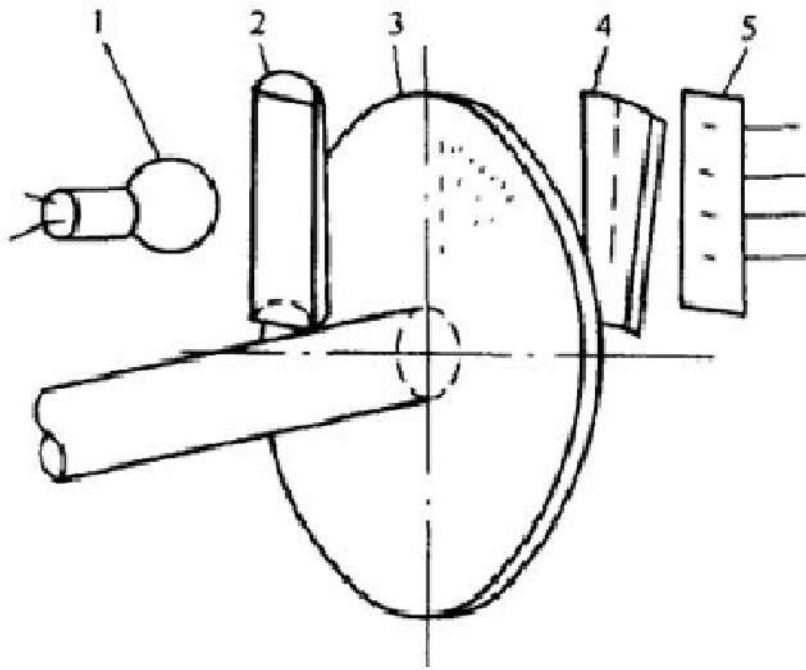


图3-10 绝对式光电编码器的结构示意

1—光源； 2—透镜； 3—编码盘； 4—狭缝； 5—光电元件



3.2 常见传感器及其工作原理

光电编码器的应用——转速测量

转速可由编码器发出的脉冲频率或周期来测量。

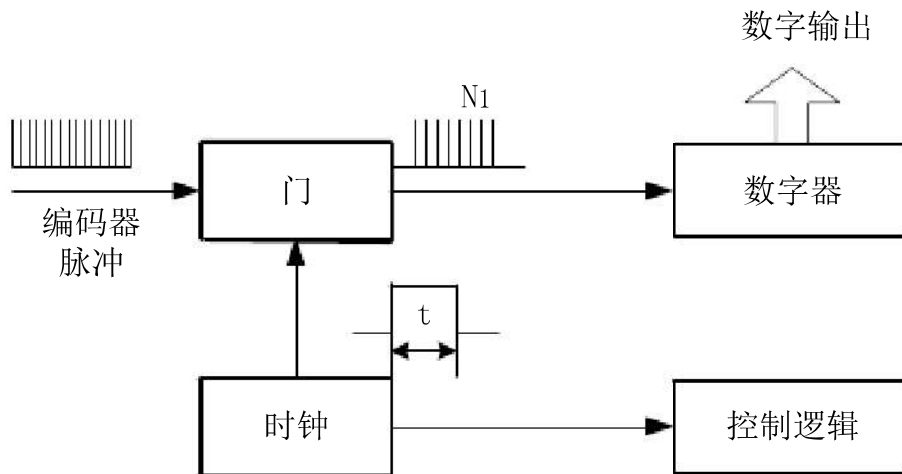


图3-11(a) 脉冲频率法测转速



3.2 常见传感器及其工作原理

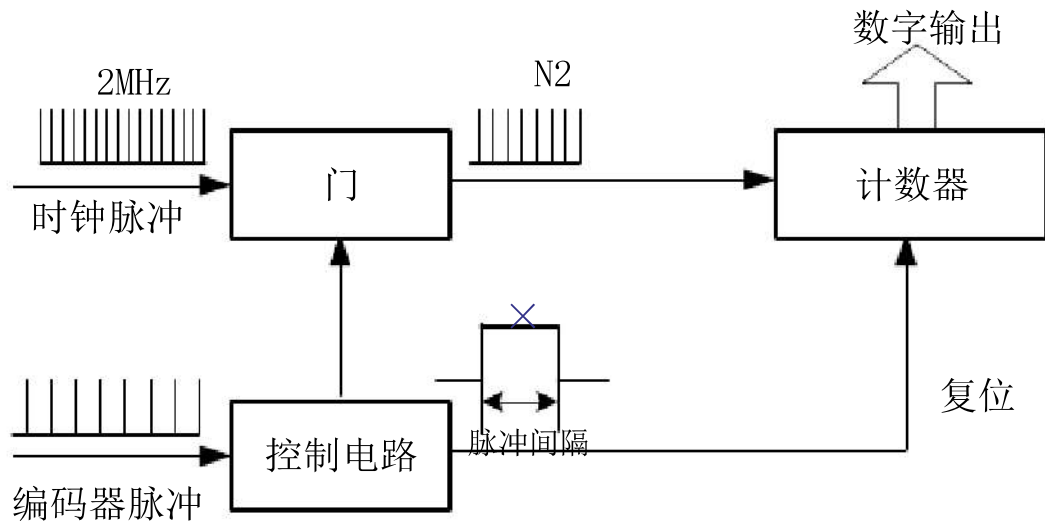


图3-11(b) 脉冲周期法测转速



3.2 常见传感器及其工作原理

3.2.2 电阻应变计

电阻应变计是根据应变—**电阻效应**，将给测试件的应变变量转换成电阻变化量的敏感元件。它不仅直接作为应力、应变测量的传感器而且可以与弹性元件组合构成力、压力、称重、位移、扭矩、振动、加速度等多种专用式传感器，广泛应用于机械、交通、建筑、化工和电力等行业。





3.2 常见传感器及其工作原理

电阻应变计的结构

电阻应变计主要由电阻敏感栅、基底和面胶（或覆盖层）、粘结剂、引出线五部分组成。电阻应变计的结构如图所示。

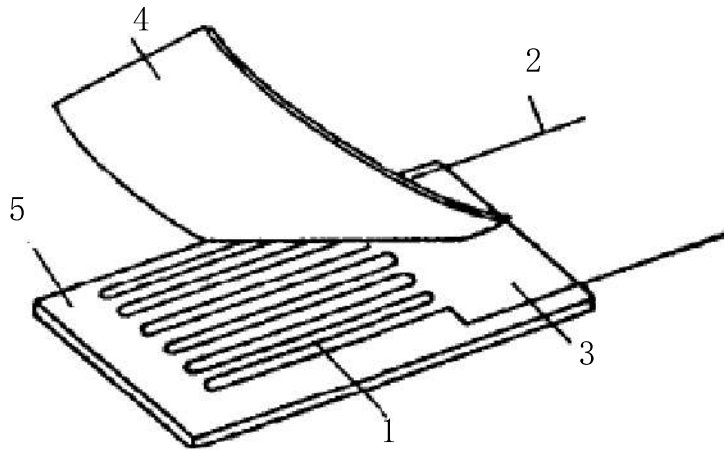


图3-12 电阻应变计的构造

1—敏感栅； 2—引出线； 3—粘结剂（未示出）； 4—覆盖层； 5—基底



3.2 常见传感器及其工作原理

3、应变计的类型

电阻应变计的分类方法很多，常用的是按应变计的制造材料、温度以及用途的不同来分类。

(1) 按敏感栅的制造方法分类

1) 金属丝式应变计

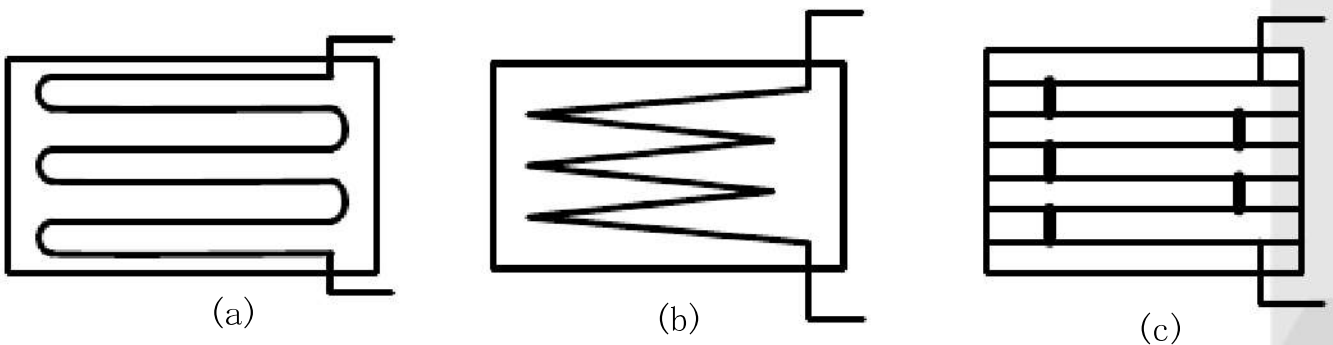


图3-13



3.2 常见传感器及其工作原理

◆ 箔式应变计

箔式应变计的敏感栅是利用照相制版或光刻腐蚀技术制成的，箔栅厚度一般为 $0.002\text{mm} \sim 0.005\text{mm}$ ，最薄的达 0.00035mm 。箔式应变计，工艺上能保证敏感栅尺寸的准确，线条均匀，适应不同的测量要求，传递试件应变性能好、横向效应小和散热性能好，因此得到了广泛的应用，现在已经基本上取代金属丝应变计。

◆ 金属薄膜应变计

所谓薄膜是指厚度在 $0.1\mu\text{m}$ 以下的膜，它是采用真空的溅射或真空沉积等方法制成的。通过按规定的图形制成的掩膜版，在基底材料上溅射或沉积一层电阻材料的薄膜，从而制成金属薄膜应变计。



3.2 常见传感器及其工作原理

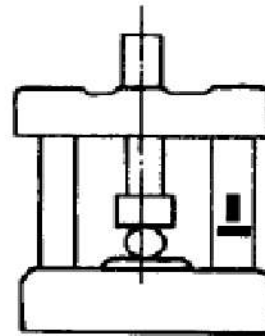
4、电阻应变计的应用

电阻应变计主要有以下两种应用方式：

(1) 应变片直接粘贴在试件上，用来测量工程结构受力后的应力分析或所产生的应变，为结构设计、应力校正或分析结构在使用中产生破坏的原因提供试验数据，如电阻应变仪。在测量齿轮轮齿弯矩或立柱应力时，也常在被测位置处直接粘贴应变片进行测量，如图所示。



(a) 齿轮轮齿弯矩



(b) 立柱应力

图3-14 构件应力测定的应用



3.2 常见传感器及其工作原理

(2) 将应变片粘贴在弹性元件上，进行标定后作为测量力、压力、位移等物理量的传感器。

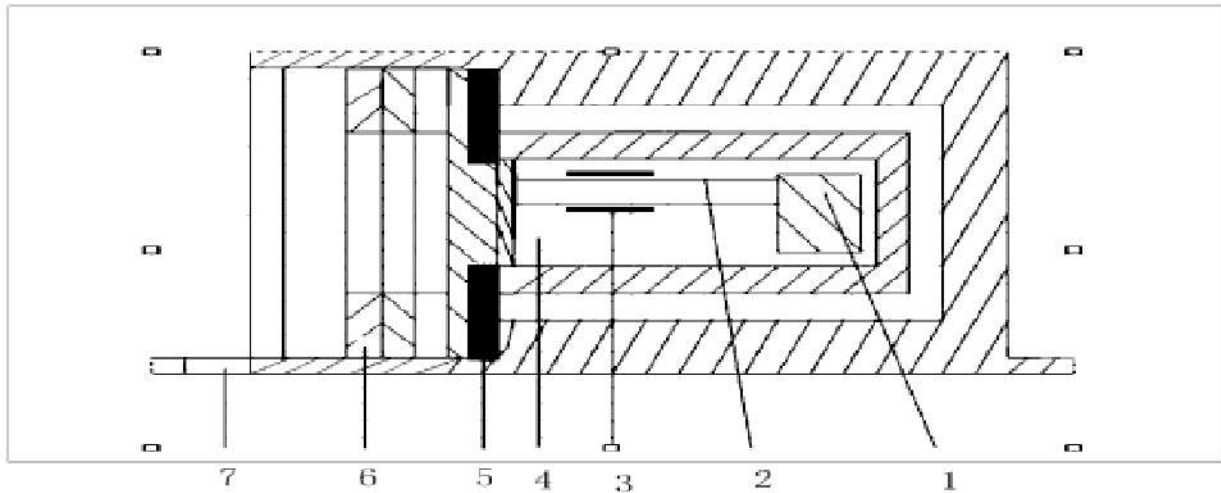


图 3-15 应变式加速度传感器

1—质量块；2—应变梁；3—应变片；4—阻尼液；

5—密封圈；6—接线板；7—底座



3.2 常见传感器及其工作原理

3.2.3 温度传感器

- ◆ **温度传感器是一种将温度变化转换为电学量变化的装置，用于检测温度和热量，因此也叫做**热电式传感器**。**
- ◆ **温度传感器一般分为接触式和非接触式两大类**





3.2 常见传感器及其工作原理

1、热电效应

热电偶测温是基于**热电效应**。在两种不同的导体（或半导体）A和B组成的闭合回路中，如果它们两个结点的温度不同，则回路中产生一个电动势，通常我们称这种电动势为**热电势**，这种现象就是**热电效应**

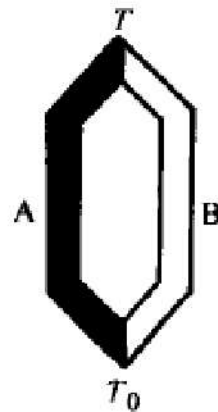


图3-16 热电效应



3.2 常见传感器及其工作原理

3、热电偶的种类

热电偶是目前应用广泛、发展比较完善的温度传感器，它在很多方面都具备一种理想温度传感器的条件。

◆（1）标准化和非标准化热电偶

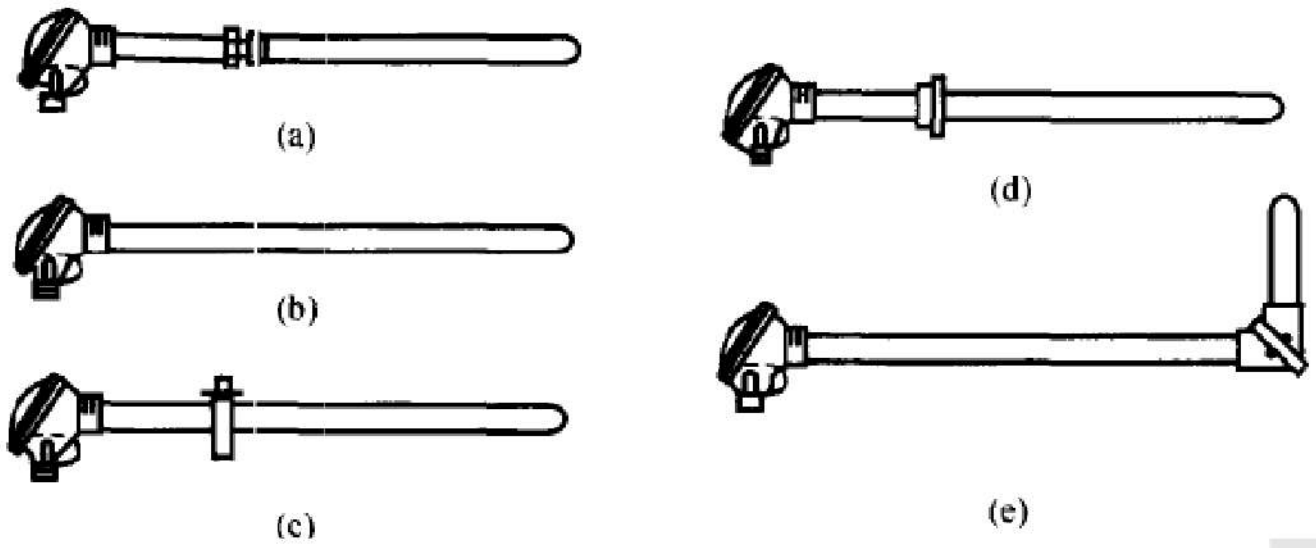
标准化热电偶的工艺比较成熟，应用广泛，性能优良稳定，能成批生产

◆（2）普通型热电偶。

这种类型的热电偶主要用于测量气体、蒸气和液体气体、蒸汽和液体介质的温度。



3.2 常见传感器及其工作原理



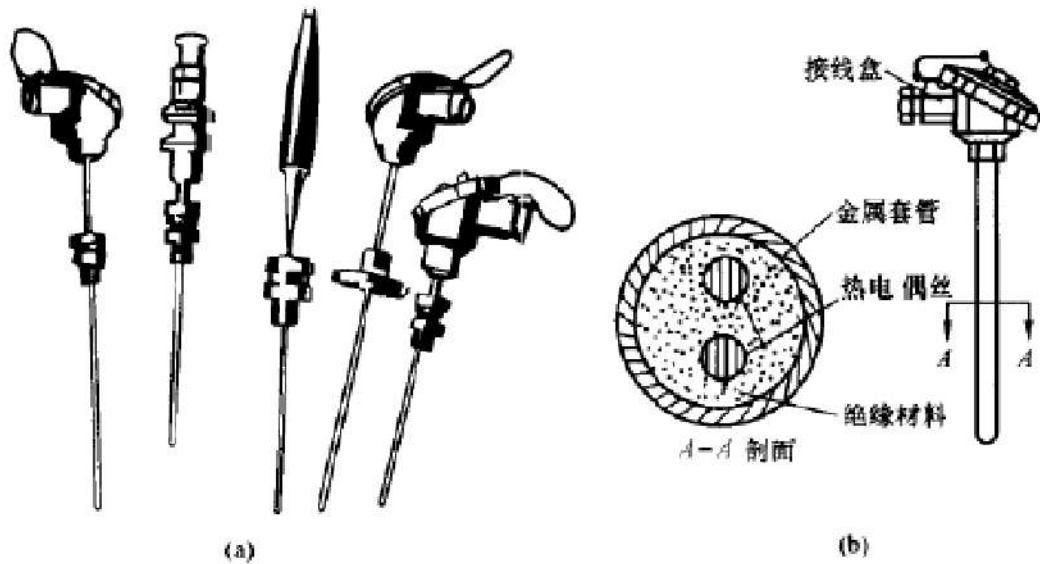
(a) 固定螺纹形 (b) 无固定装置形 (c) 固定法兰形 (d) 活动法兰形 (e) 角形

图3-17 普通型热电偶外形



3.2 常见传感器及其工作原理

(3) 铠装热电偶 铠装热电偶的外形像电缆，也称缆式热电偶。



(a) 外形 (b) 结构
图3-18 铠装热电偶外形及结构



3.2 常见传感器及其工作原理

4、热电偶的特点

- (1) 温度测量范围宽
- (2) 性能稳定、准确可靠
- (3) 信号可以远传和记录

5、热电阻传感器

利用**热敏电阻**可以制成温度传感器。所谓热敏电阻即是对热量敏感的电阻体，其电阻值随温度的变化而显著改变。





3.2 常见传感器及其工作原理

6、温度传感器的应用

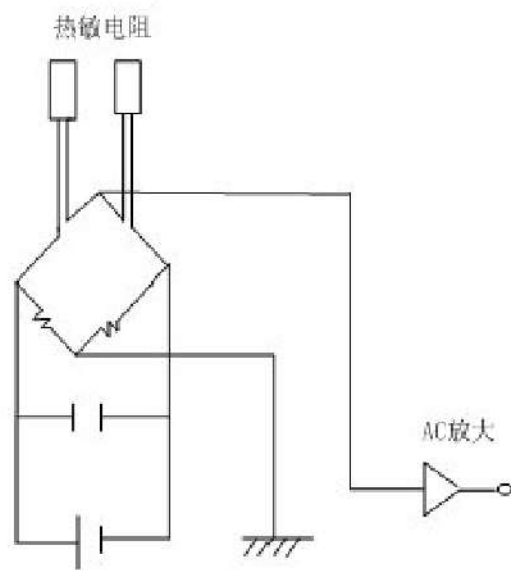


图3-19 热电偶检测电路





3.2 常见传感器及其工作原理

3.2.4 霍尔效应式线位移传感器

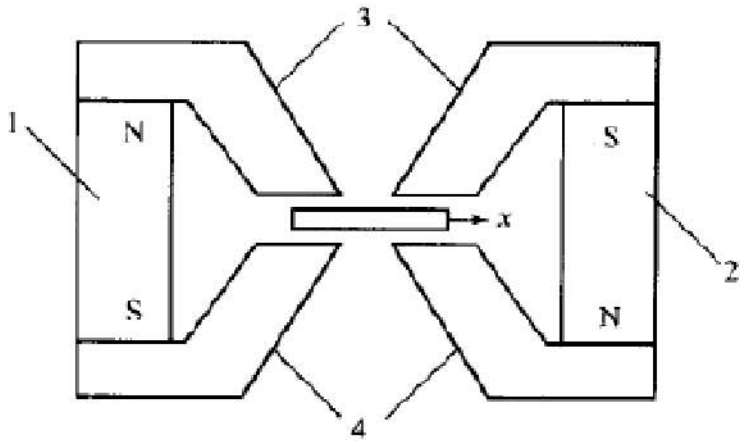


图 3-20 霍尔效应线位移传感器工作原理

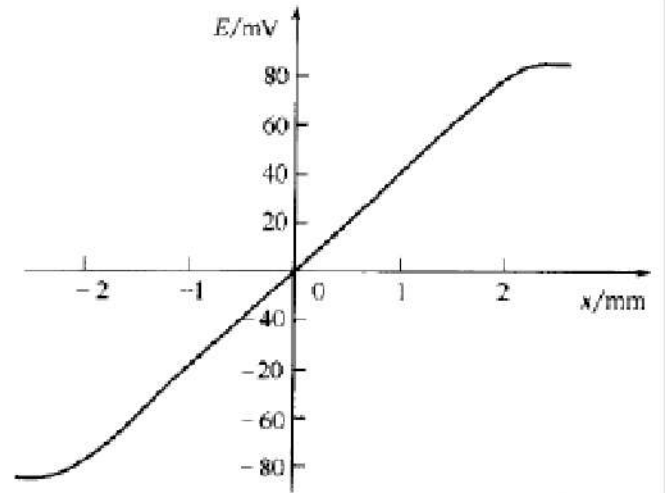


图 3-21 霍尔效应线位移传感器输出特性



3.2 常见传感器及其工作原理

3.2.5 超声波传感器

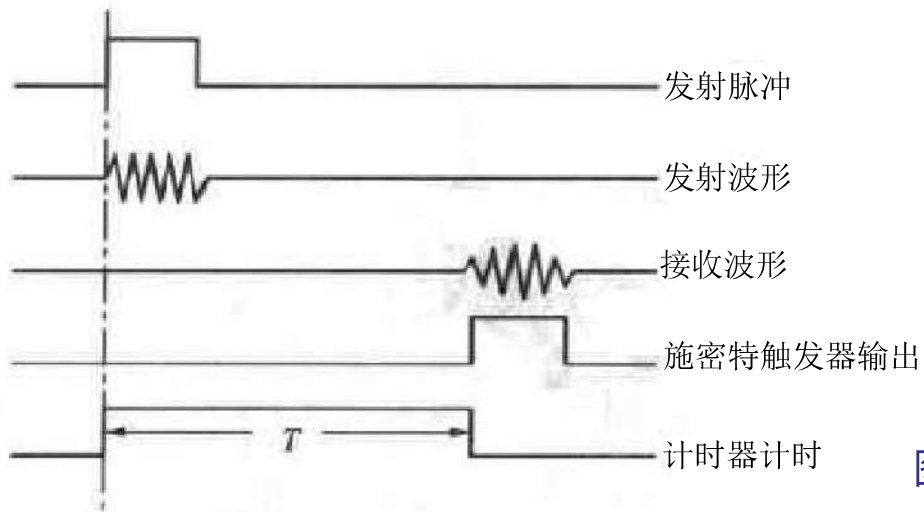
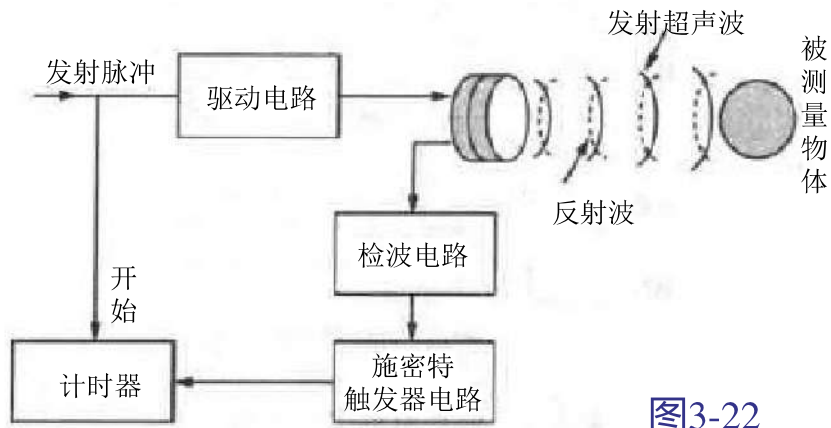
超声波传感器用超声波来测量距离，在机器人上用来检测障碍物。其原理与蝙蝠通过感觉自己所发出的超声波来测定距离的道理相同。

发射脉冲导通时，开始发射超声波。反射回来的超声波接收后，经过放大和检波得到的波形上升沿由施密特触发器提取。





3.2 常见传感器及其工作原理





3.2.6 光电导器件

利用具有光电导效应的材料（如硅、锗等本征半导体与杂质半导体，硫化镉、硒化镉、氧化铅等）可以制成电导随入射光度量变化的器件，成为光电导器件或光敏电阻。

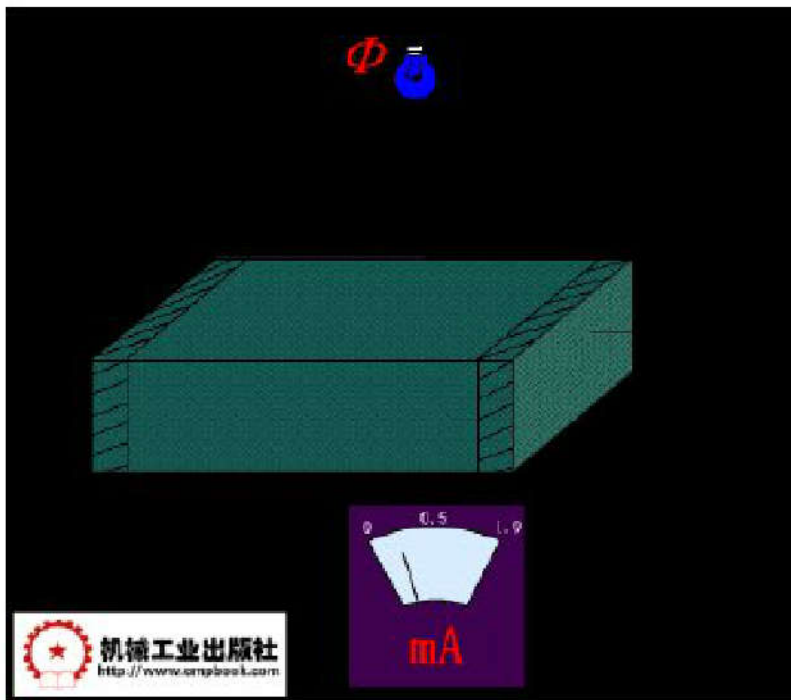
具有体积小、坚固耐用、价格低廉、光谱响应范围宽等优点，广泛应用于微弱辐射信号的探测领域。



图3-24

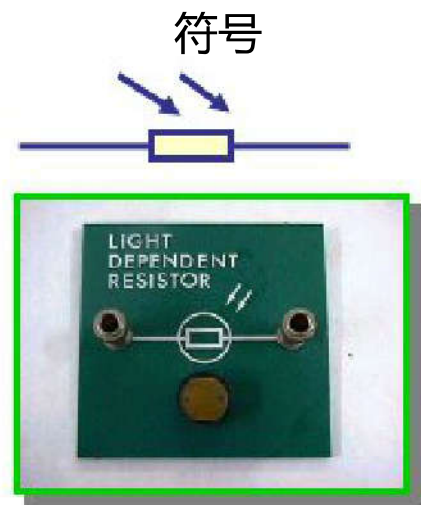


1、光敏电阻的原理与结构



暗电流 (越小越好) 图3-25

当光敏电阻受到光照时，光生电子—空穴对增加，阻值减小，电流增大。





3.

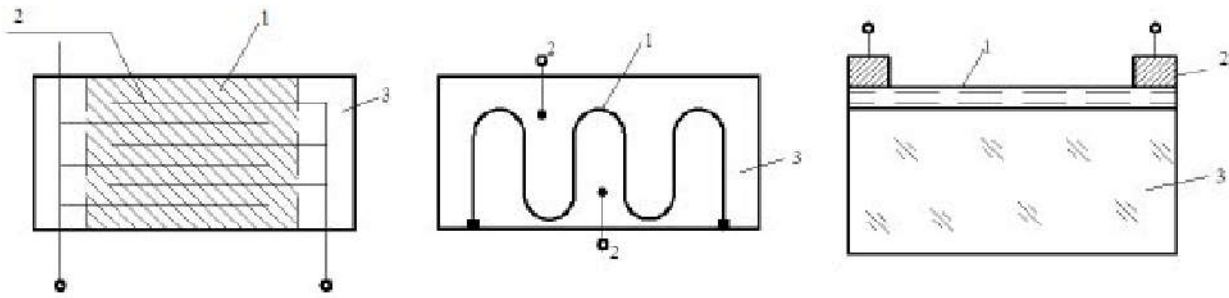
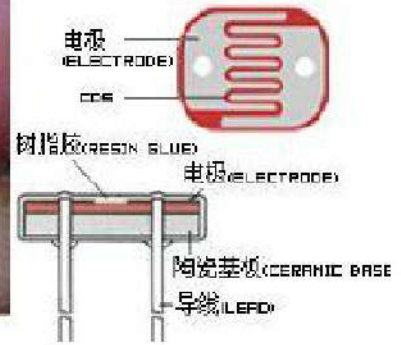
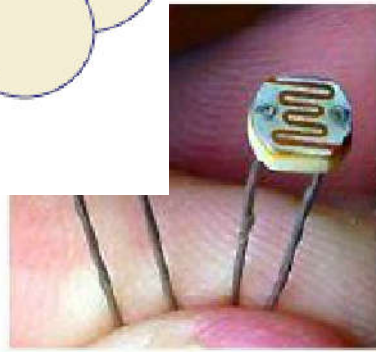
类 光
本 位十寸
杂质型半

常用于红
外波段甚至于
远红外波段辐
射的探测。

工作原理

3.2.6 光电导器件

基本结构：



a) 梳状结构

b) 蛇形结构

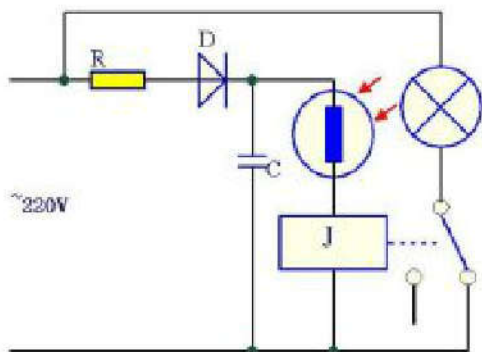
c) 刻线结构

1—光电导材料 2—电极 3—衬底材料

图3-26

2、典型光敏电阻

CdS光敏电阻：是最常见的光谱响应特性最接近人眼光谱光视效率 $v(\lambda)$ 的光电器件，CdS光敏电阻的峰值波长为 $0.52\mu\text{m}$ ，在可见光波段范围内最灵敏。它广泛地应用于灯光的自动控制，照相机的自动调光等。



晚上，CdS光敏电阻阻值大，J的电流小，不能工作而关闭，灯亮。白天，阻值小，J工作，常闭触头断开，灯灭。

图3-27



PbS光敏电阻：近红外波段最灵敏的光电导器件。由于在 $2\mu\text{m}$ 附近的红外辐射的探测灵敏度很高，因此，常用于火灾的探测、红外报警系统等领域。室温下的PbS光敏电阻的光谱响应范围为 $1 \sim 3.5\mu\text{m}$ ，峰值波长为 $2.4\mu\text{m}$ 。

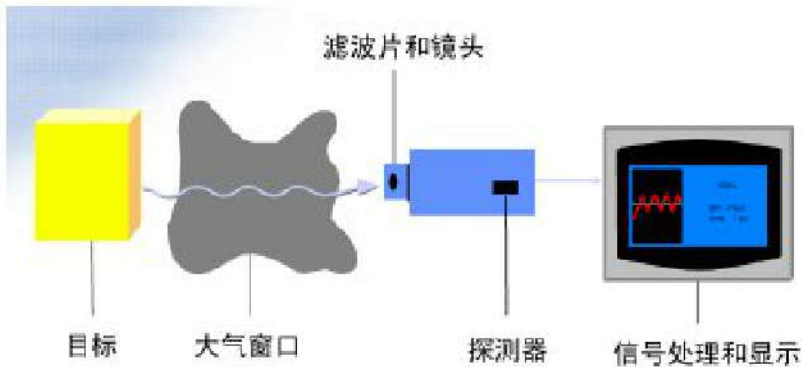


图3-28

将PbS光敏电阻放在光学系统的焦点上，使进入接收系统的红外线能全部会聚到探测器上。报警装置与放大器相连接，它可输出报警信号。



3.2.6 光生伏特器件

1、光敏二极管

光敏二极管可分为以P型硅为衬底的2DU型与以N型硅为衬底的2CU型两种结构形式。

将光敏二极管的PN结设置在透明管壳顶部的正下方，光照射到光敏二极管的PN结时，电子-空穴对数量增加，光电流与照度成正比。



图3-29

结构和工作原理

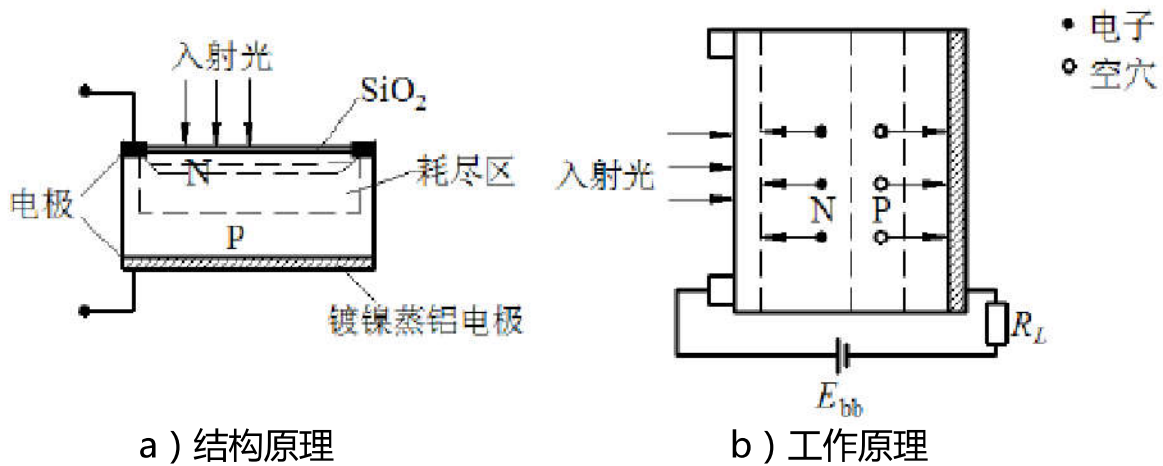


图3-30

当光子入射到PN结形成的耗尽层内时，PN结中的原子吸收了光子能量，并产生本征吸收，激发出电子—空穴对，在耗尽区内建电场的作用下，空穴被拉到P区，电子被拉到N区，形成反向电流即光电流。光电流在负载电阻 R_L 上产生与入射辐射相关的信号输出。



2、硅光电池

不需加偏置电压就能把光能直接转换成电能的PN结光电器件。

太阳能硅光电池：因此成为航天工业中的重要电源，而且还被广泛地应用于供电困难的场所和一些日用便携电器中。

测量硅光电池：应用在光度、色度、光学精密计量和测试设备中。

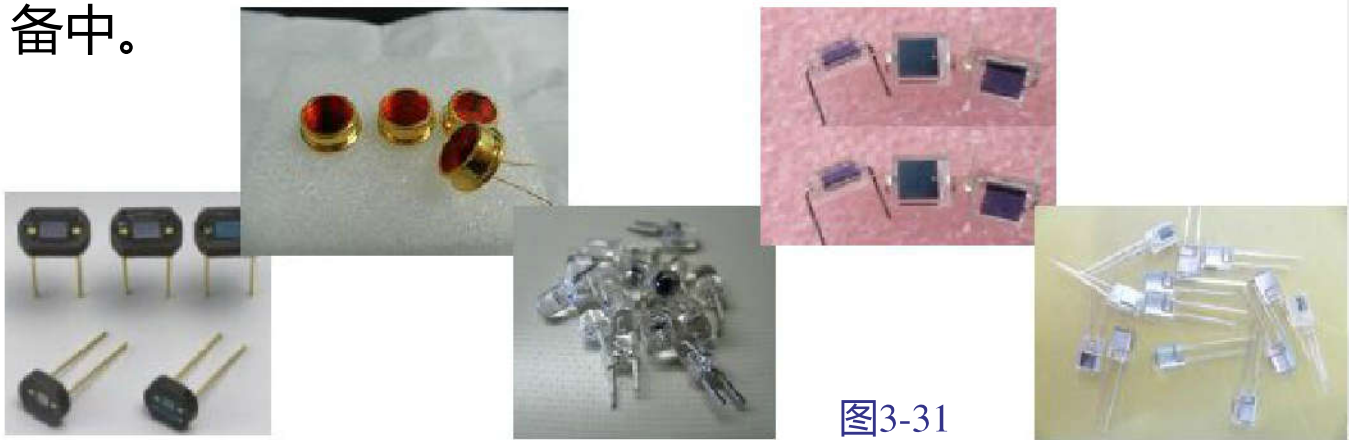


图3-31

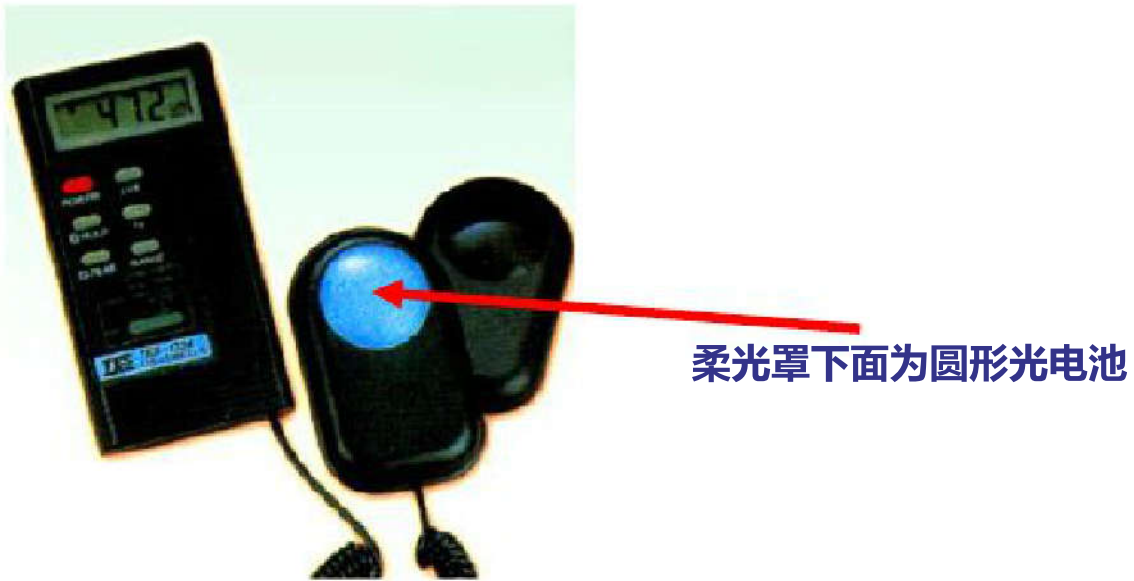


图3-32





太阳能赛车

太阳能
硅光电池板

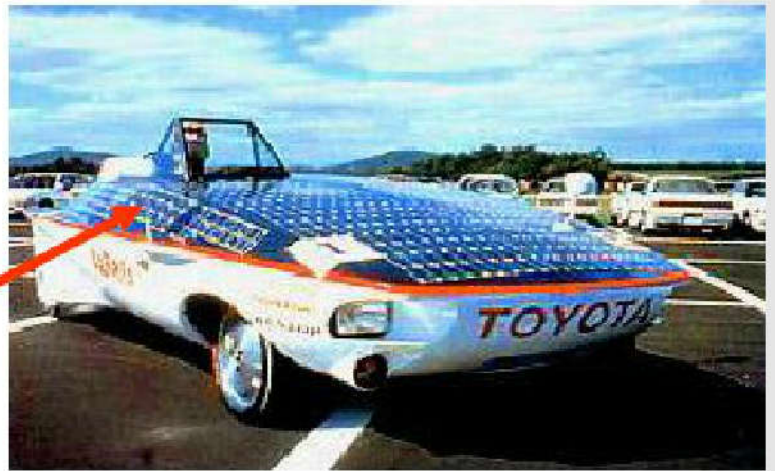


图3-33

太阳能电动机模型



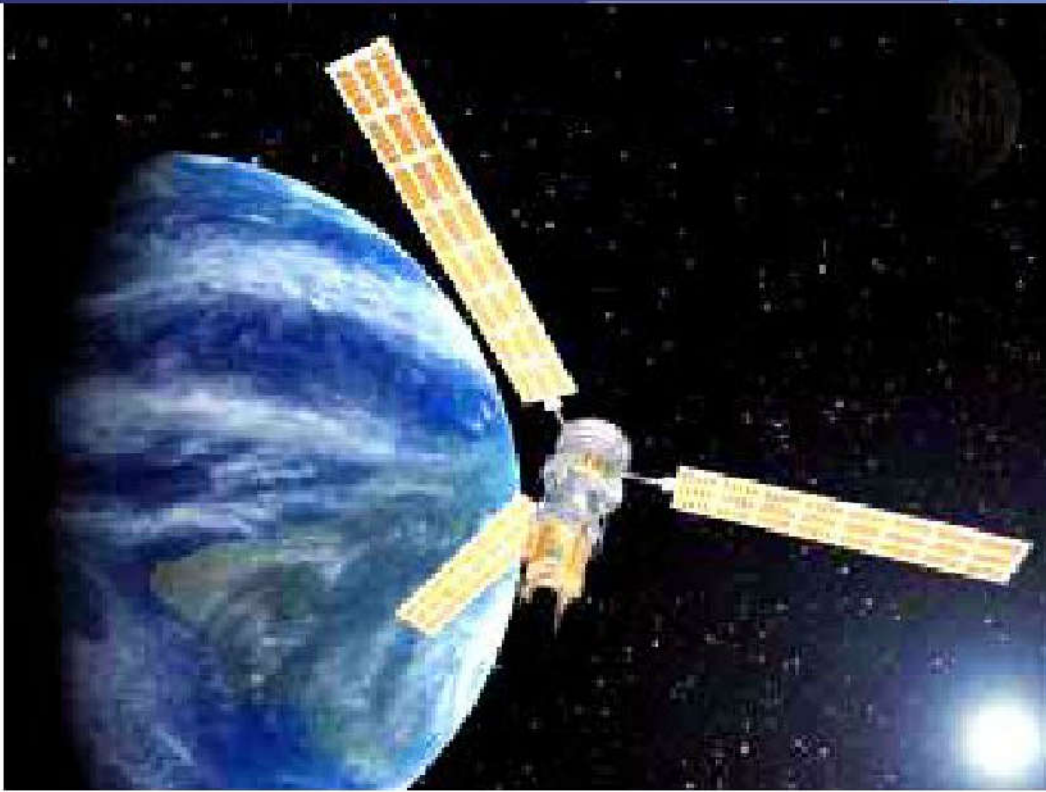
图3-34



太阳能发电



图3-35



光电池在人造卫星上的应用

图3-36



基本结构

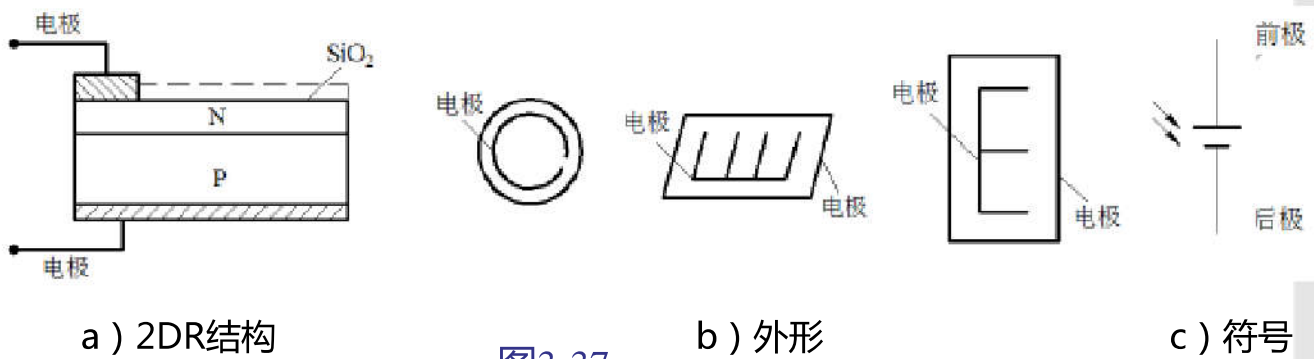


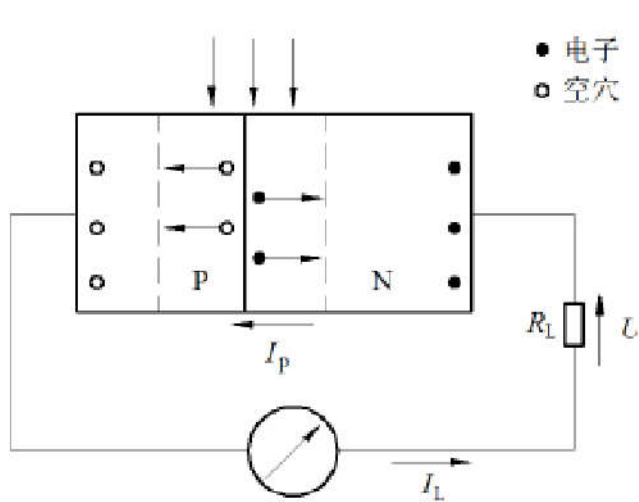
图3-37

硅光电池按衬底材料的不同可分为2DR型和2CR型。

硅光电池的受光面的输出电极多做成梳齿状或“E”字形电极，其目的是减小硅光电池的内电阻。另外，在光敏面上涂一层极薄的二氧化硅透明膜，它既可以起到防潮、防尘等保护作用，又可以减小硅光电池的表面对入射光的反射，增强对入射光的吸收。

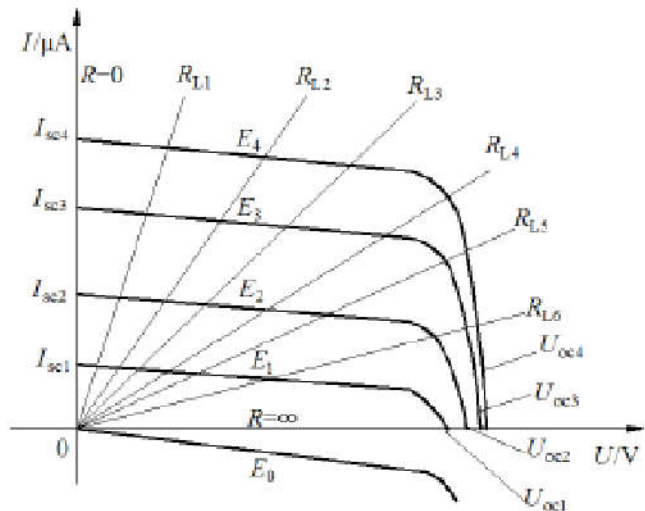
工作原理

根据光生伏特效应制成的PN结型器件，一般作成面积大的薄片状，来接收更多的入射光。



硅光电池的工作原理示意图

图3-38



硅光电池的伏安特性曲线

图3-39



3、光敏晶体管

两种基本结构：

NPN结构

PNP结构

•用N型硅材料为衬底制作的光敏晶体管为NPN结构，称为3DU型；

•用P型硅材料为衬底制作的光敏晶体管为PNP结构，称为3CU型。



图3-40

光敏(电)三极管



型号：
3DU5B
(NPN)

符号：



或

光敏三极管具有两个PN结，其基本原理与二极管相同；但它把光信号变成电信号的同时，还放大了信号电流，因此具有更高的灵敏度。一般光敏三极管的基极已在管内连接，只有C和E两根引出线（也有将基极线引出的）。

光敏管也分有硅管和锗管，如：2AU（二极管）、3AU等是锗管；2CU、2DU、3CU、3DU等是硅管。

在使用光敏管时，不能从外型来区别是二极管还是三极管，只能由型号来判定。

工作原理

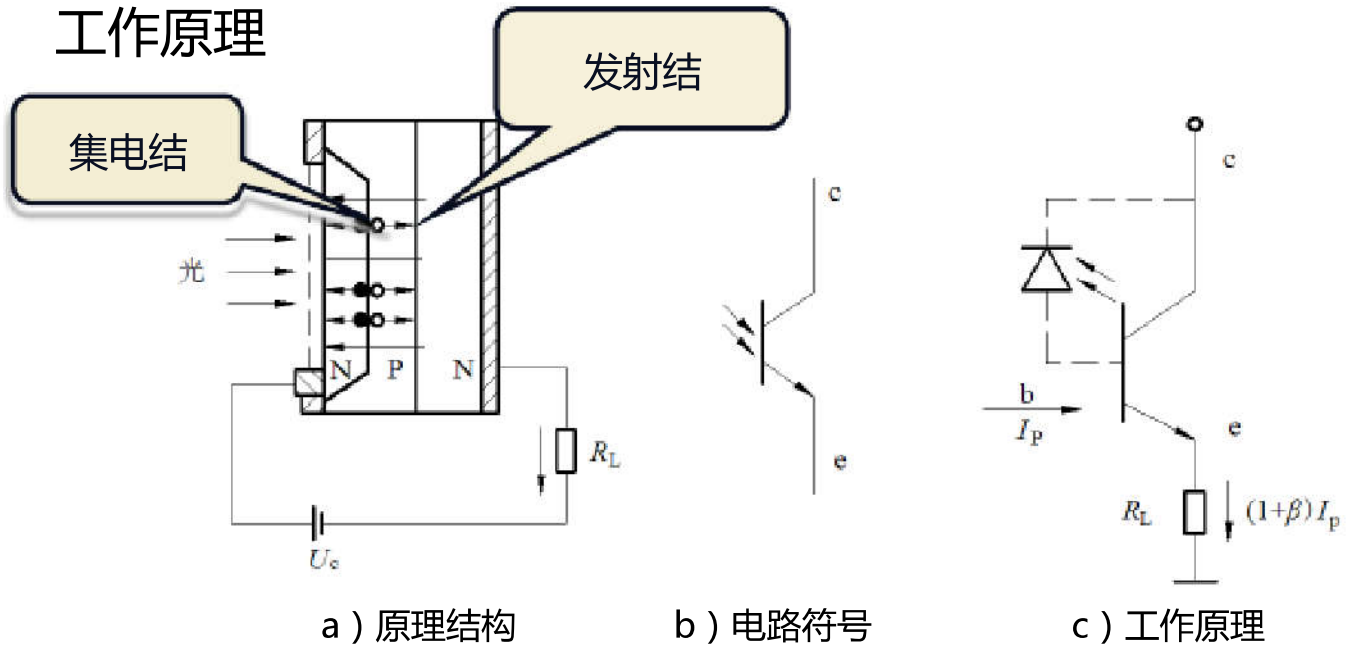
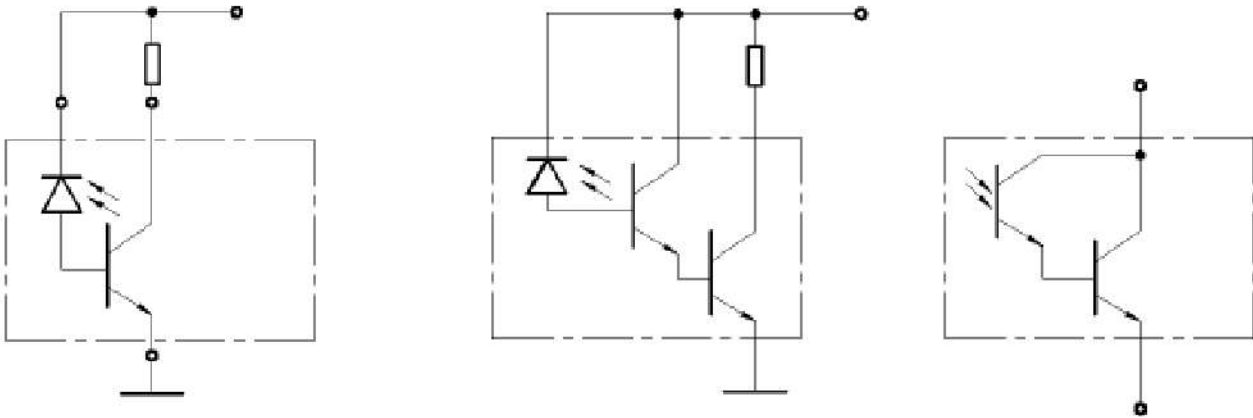


图3-41 3DU型硅光敏晶体管

光电转换：集电结
光的放大：发射结

$$I_c = \beta I_P = \beta \frac{\eta q}{h\nu} (1 - e^{-\alpha d}) \Phi_{e,\lambda}$$



a) 光敏二极管-三极管集成器件 b) 光敏晶体管-三极管集成器件 c) 达林顿光敏晶体管

图3-42 集成光电器件





3.2.8 光电发射器件

基于外光电效应做成的器件，如：真空光敏二极管、光电倍增管、变像管、像增强器和真空电子束摄像管等。

在许多应用领域，真空光电发射器件已被性价比更高的半导体光电器件所占领。

但由于真空光电发射器件具有极高的灵敏度、快速响应等特点，它在微弱辐射的探测和快速弱辐射脉冲信息的捕捉等方面应用很多，如在天文观测快速运动的星体或飞行器，材料工程、生物医学工程和地质地理分析等领域的应用。

1、光电倍增管

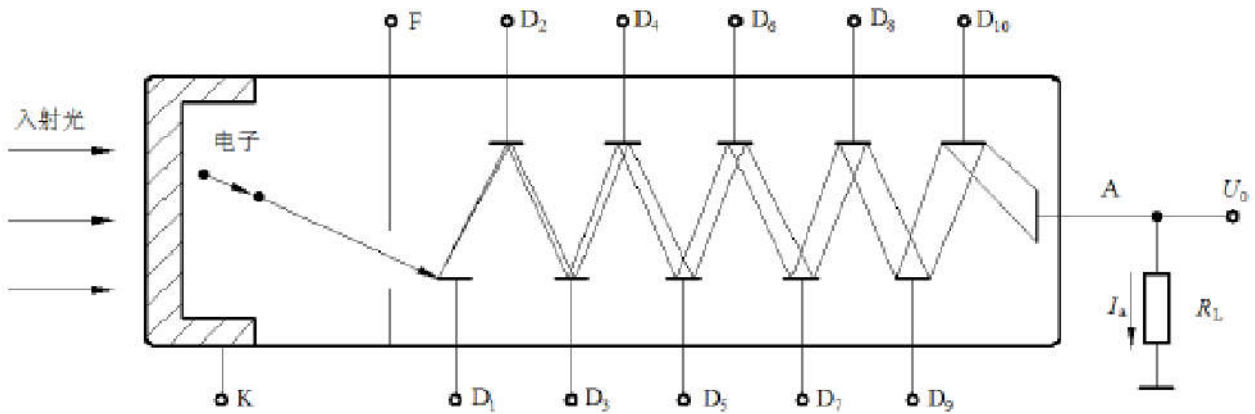


图3-43 光电倍增管工作原理示意图

由光入射窗、光电阴极、电子光学系统、倍增极和阳极等部分组成。光子入射经过光入射窗到达光电阴极，产生电子发射，电子在电场和电子光学系统的作用下加速运动到第一倍增级，倍增的电子在电场作用下高速运动到第二倍增级，依此类推，N次倍增后被阳极收集。



端窗式和侧窗式

端窗式：百叶窗倍增极结构、盒栅倍增极结构、瓦片静电聚焦结构；

侧窗式：圆形鼠笼结构



图3-44 光电倍增管(R928)

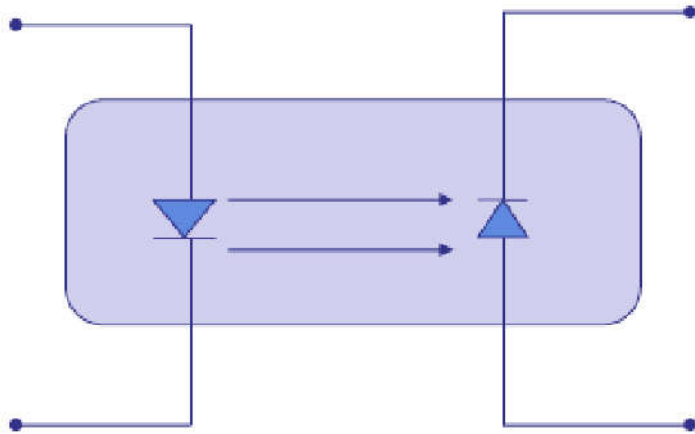


图3-45 光电倍增管BB49-CR162



3.2.9 光耦合器件

1、结构与电路符号



发光器件：白炽灯、LED、激光器

光敏元件：光敏电阻、光电二极管、光电三极管

图3-46

把发光器件与光敏元件封装在一起构成光电耦合器件。这种器件在信息的传输过程中用光作为媒介把输入边&输出边的电信号耦合在一起的，具有线性变化关系，且在电性能上是完全隔离的。所以，我们把利用光耦合做成的电信号传输器件，一般称为光电耦合器件。



发光器件和光接收器件封装一体，但不接触，具有很强的电气绝缘性，信号通过光传输。



图3-47

用途：用于隔离线路、开关、数模转换、逻辑电路、过流保护、电平匹配等。



特点：

- 具有电隔离功能；绝缘电阻高达 $10^{10} \sim 10^{12}$ 欧姆，击穿电压高达25 ~ 100千伏，耦合电容小到零点几个皮法；
- 信号传输是单向性的，不论脉冲、直流都可以，模拟、数字信号都适用；
- 具有抗干扰&噪声的能力，可作为继电器&变压器等使用；
- 响应速度快，一般可达微秒数量级，甚至纳秒数量级；
- 使用方便，具有一般固体器件的可靠性，体积小，重量轻，抗震，密封防水，性价比高，工作温度范围在 - 55到100摄氏度之间。
- 即具有耦合特性又具有隔离特性，很容易把不同电位的两组电路互连起来，圆满的完成电平匹配、电平转移等功能。



- 抗干扰特性

输入阻抗很低，而干扰源的内阻很大，从而能馈入器件输入端的干扰噪声就变得很小；

虽然有较大的干扰电压，但干扰源的内阻很大，只能形成微弱电流，不足以使发光二极管发光，从而避免干扰；

器件的输入 - 输出边是用光耦合的，且密封在管壳中进行，避免了外界光的干扰；

器件的输入 - 输出间的寄生电容很小，绝缘电阻又非常大，故输出系统的各种干扰很难通过器件反馈到输入系统中去。

2、应用

工业控制系统使用的集成电路的电源电压和信号脉冲的幅度不同，如TTL为5V，HTL为12V，PMOS为-22V，CMOS为5-20V，如在系统中采用两种集成电路芯片，就需要电平转换电路，以便逻辑控制的实现。

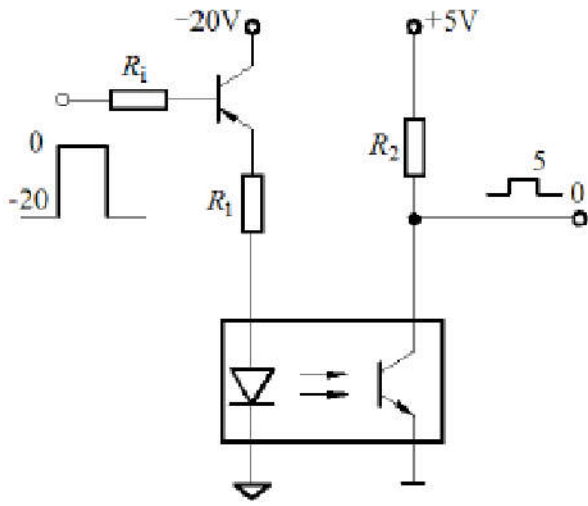


图3-48 电平转换

利用光电耦合器件可以构成各种逻辑电路。如下图所示的与门电路：如果输入端同时输入高电平，则两个发光二极管都发光， VT_1 和 VT_2 两个三极管都导通，即输出为1。

思考：如何设计与非门。

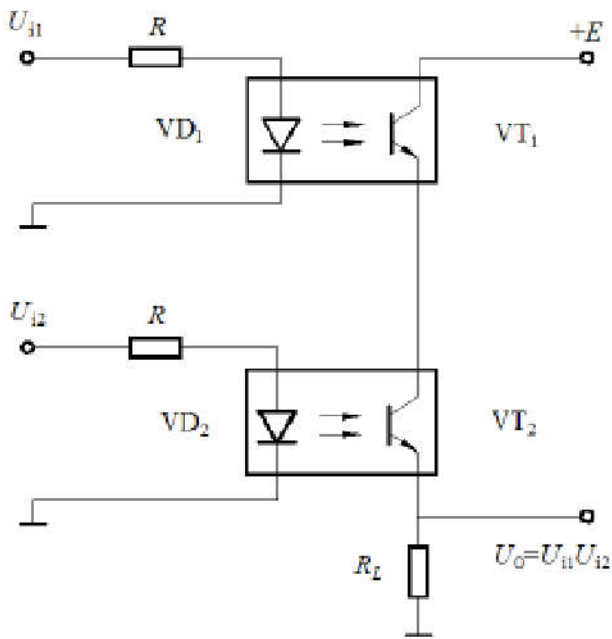


图3-49 与门电路



隔离方面的应用

- 输入与输出在电方面是绝缘的，可很好地解决互连问题，即可方便地实现不同电源或不同电平的电路之间的互连。电路之间不仅可以电源不同(极性和大小)，而且接地点也可分开。
- 有时为隔离干扰或者为使高压电路与低压信号分开，可采用光电耦合器件。
- 为提高计算机工作的可靠性，亦可采用光电耦合器件把计算机与外围设备隔离开来。



晶闸管控制电路中的应用

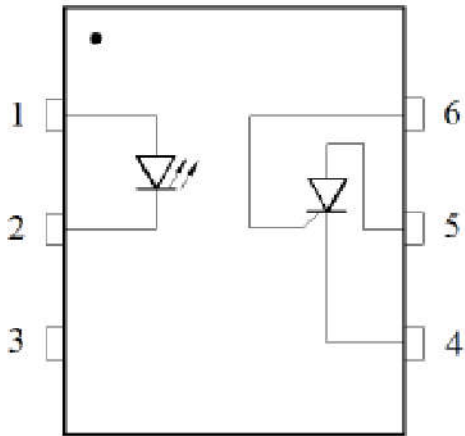


图3-50 典型光耦合晶闸管

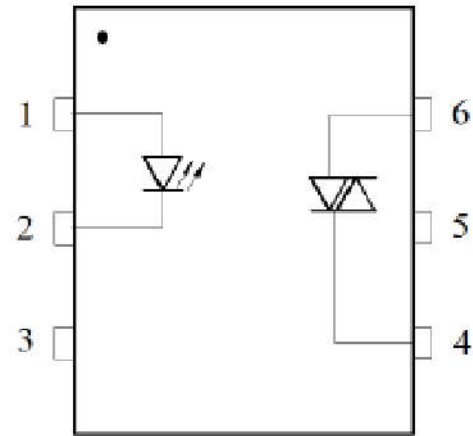


图3-51 典型光耦合双向晶闸管



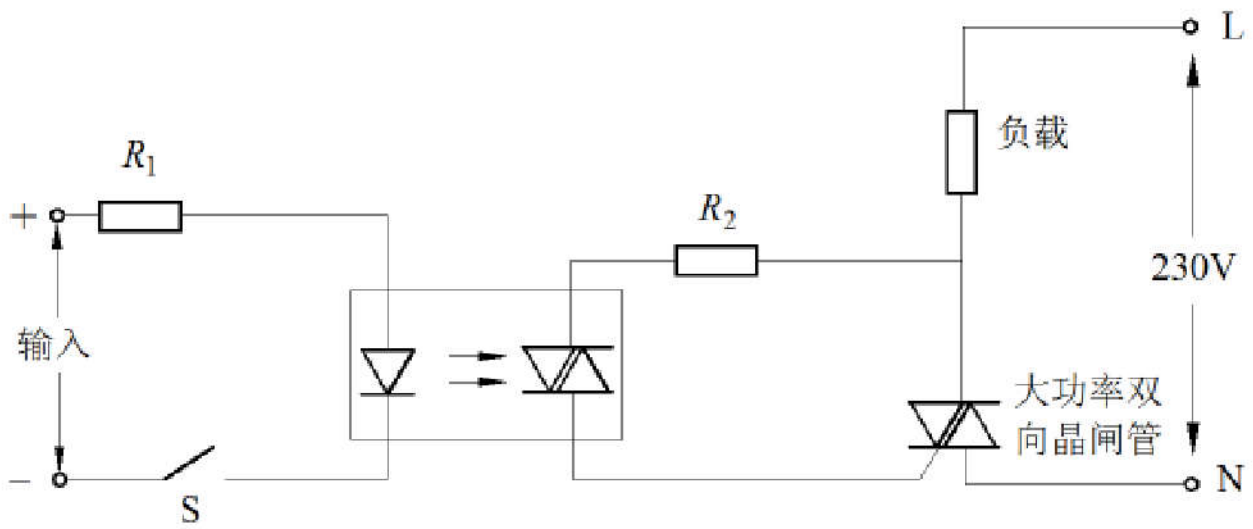


图3-52 光电耦合双向晶闸管大功率负载控制电路



3.2.10 图像传感器

1、分类

扫描型

- 通过电子束扫描或数字电路的自扫描方式，将二维光学图像转换成一维时序视频信号输出。视频信号通过信号放大和同步控制等处理后，通过相应的显示设备(如监视器)还原成二维光学图像信号。或者将视频信号通过A/D转换器输出具有某种规范的数字图像信号，经数字传输后，通过显示设备(如数字电视)还原成二维光学图像。

直视型

- 用于图像的转换和增强。它的工作原理是，将入射辐射图像通过外光电效应转化为电子图像，再由电场或电磁场的加速与聚焦进行能量的增强，并利用二次电子的发射作用进行电子倍增，最后将增强的电子图像激发荧光屏产生可见光图像。

2、真空摄像管

- 外光电效应：析像管、超正析像管、分流通管、二次电子导电摄像管
- 内光电效应：硫化锑摄像管、氧化铅摄像管

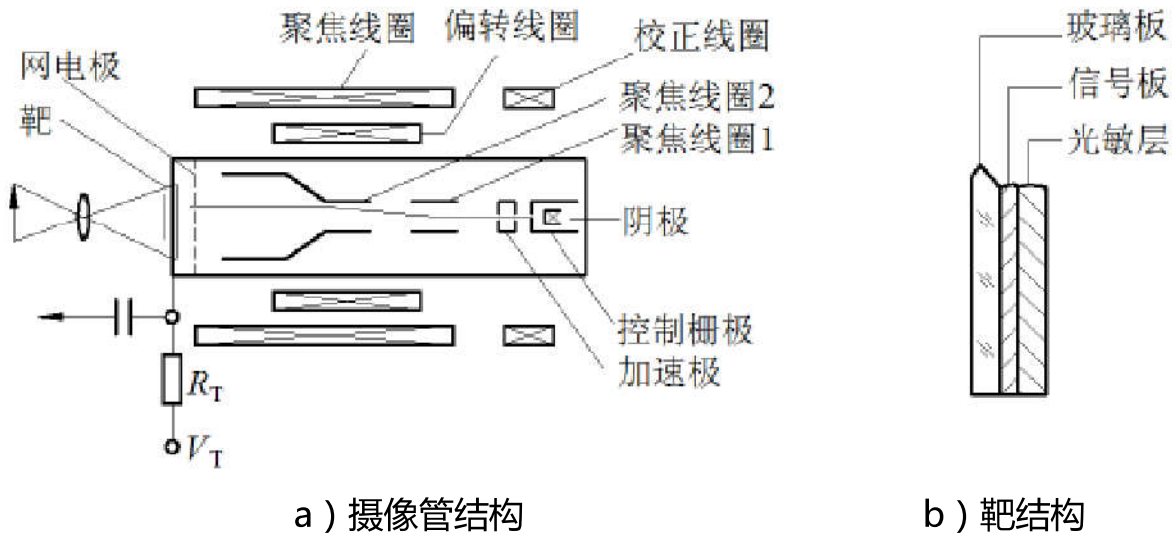


图3-53 氧化铅摄像管结构示意图

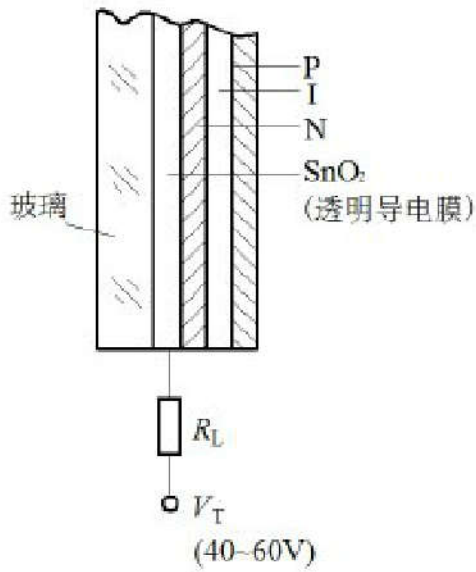


图3-54 氧化铅靶结构

光学图像直接投射在靶面上，入射光子大部分被本征层吸，产生光生载流子。光生载流子被内电场拉开，电子被拉向N区，空穴被拉向P区。这样，若假定把曝光前本征型层两端所加的强电场看做是对电容的充电，则此刻由于光生载流子漂移运动的结果就相当于电容的放电。

因此，在一帧的时间内，靶面上便获得与输入图像光照分布相对应的电位分布，从而实现图像的变换和记载。

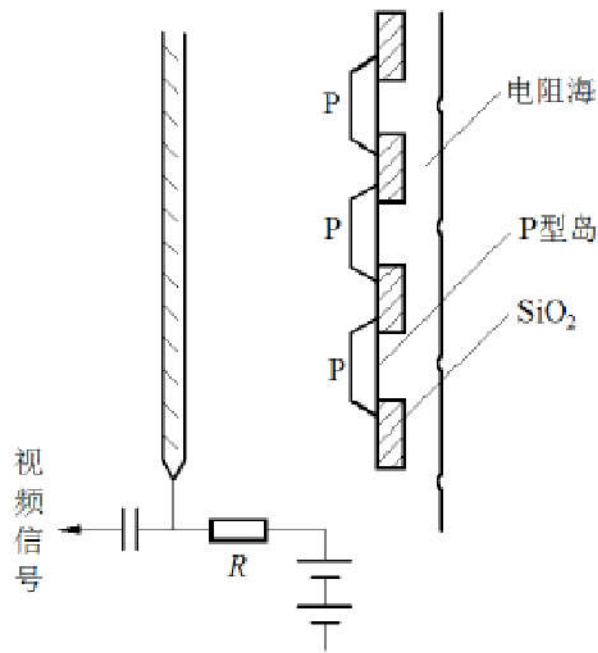


图3-55 硅靶的结构

当有光学图像输入时，N型硅将吸收光子产生电子空穴对。这些电子空穴对将在电场的作用下经过PN结漂移到P型岛。空穴的漂移在一帧的周期内连续进行，从而提高了P型岛的电位。并且，其电位升高的数值正比于该点的曝光量。其结果是在靶面P型岛上形成了积累的电荷图像。此时通过电子束扫描，即可得到视频信号。

3、电荷耦合器件

线阵CCD图像传感器

表面沟道CCD器件 (SCCD) : 信号电荷包存储在半导体与绝缘体之间的界面, 并沿界面进行转移的器件。

体沟道或埋沟道CCD器件 (BCCD) : 信号电荷包存储在距离半导体表面一定深度的半导体体内, 并在体内沿一定方向转移的器件。

电
荷
存
储

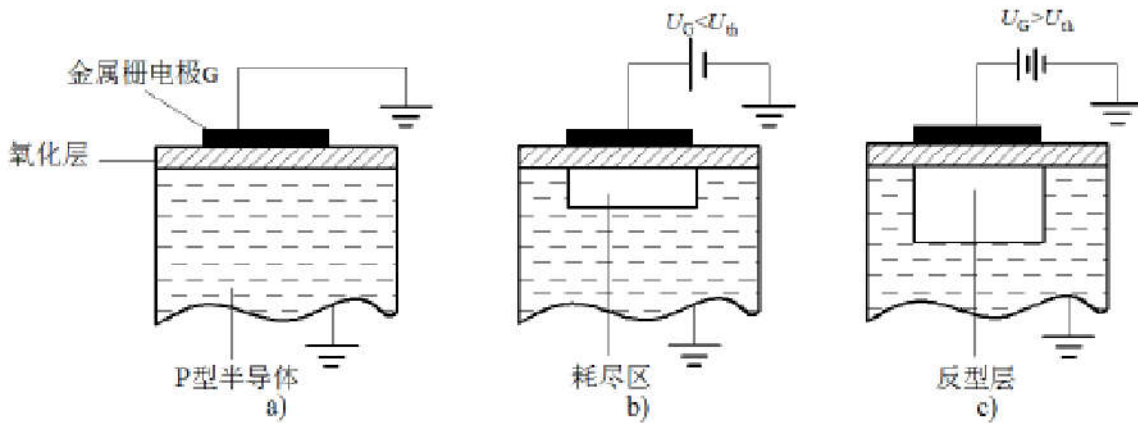


图3-56 CCD 栅极电压变化对耗尽区的影响

线阵CCD摄像器件的两种基本形式

- 单沟道线阵CCD

由元件构成。在控制脉冲移至寄存器内电荷在三相交叠脉冲的作用下一位一位地移出器件，经输出放大器形成时序信号(或称视频信号)。

转移时间

光积分时间

放大器等单

光积分时间要远远超过转移时间。

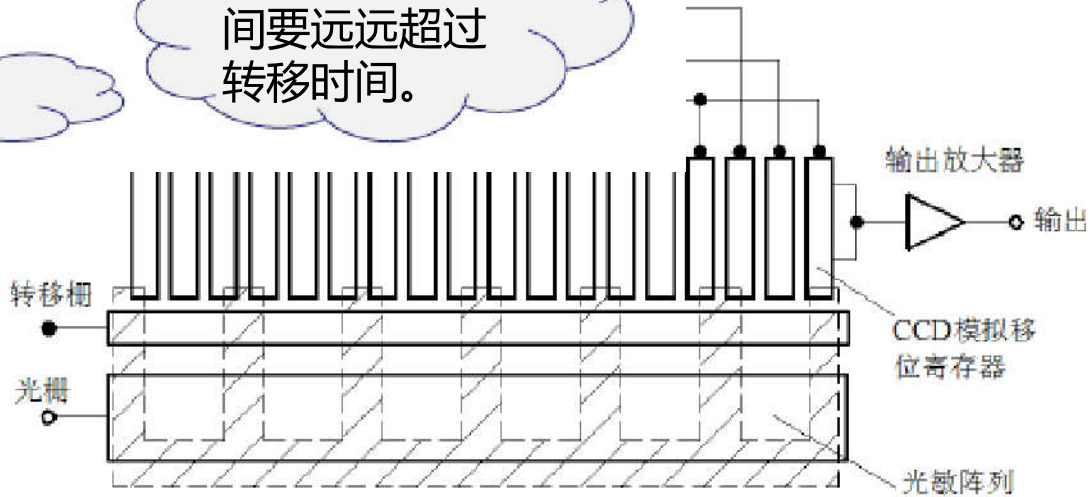


图3-57 三相单沟道线阵CCD的结构图

• 双沟道线阵CCD

具有两列CCD模拟移位寄存器A和B，分列在像敏阵列的两边。当转移栅A和B为高电位(对于N沟道器件)时，光敏阵列势阱里积存的信号电荷，将同时按箭头指定的方向分别转移到对应的模拟移位寄存器内，然后在驱动脉冲的作用下分别向外转移，最后经输出放大器以视频信号方式输出。

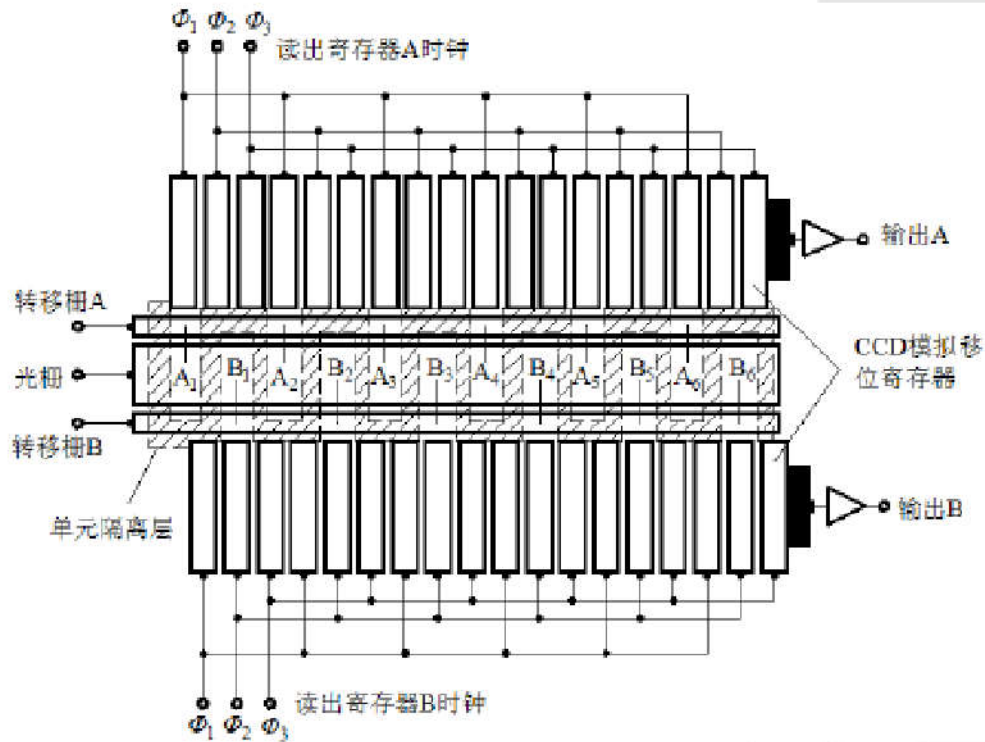


图3-58 双道线阵CCD的结构图



- 单沟道线阵CCD

这种结构的线阵CCD的转移次数多、效率低，只适用于像敏单元较少的摄像器件。

- 双沟道线阵CCD

转移次数少一半，转移时间缩短一半，总转移效率大大提高。因此，在需要提高CCD的工作速度和转移效率的情况下，常采用双沟道的方式。

双沟道器件的奇、偶信号电荷分别通过A、B两个模拟移位寄存器和两个输出放大器输出，由于两个模拟移位寄存器和两个输出放大器的参数不可能完全一致，就必然会造成奇、偶输出信号的不均匀性。所以，有时为了确保各像敏单元参数的一致性，在像敏单元较多的情况下也采用单沟道的结构。

面阵CCD图像传感器

- 帧转移面阵CCD

图像经物镜成像到像敏区，在光积分期间(场正程)，光生电荷将被收集到这些电极下方的势阱里，形成电荷包图像，存储于成像区。

场逆程期间，成像区和存储区电极上的时钟脉冲将成像区所积累的信号电荷迅速转移到暂存区。

在场正程期间，水平移位寄存器输出一场图像信号。当第一场读出的同时，第二场信息通过光积分又收集到光敏区的势阱中。一旦第一场的信号被全部读出，第二场信号马上就传送给寄存器，使之连续地读出。

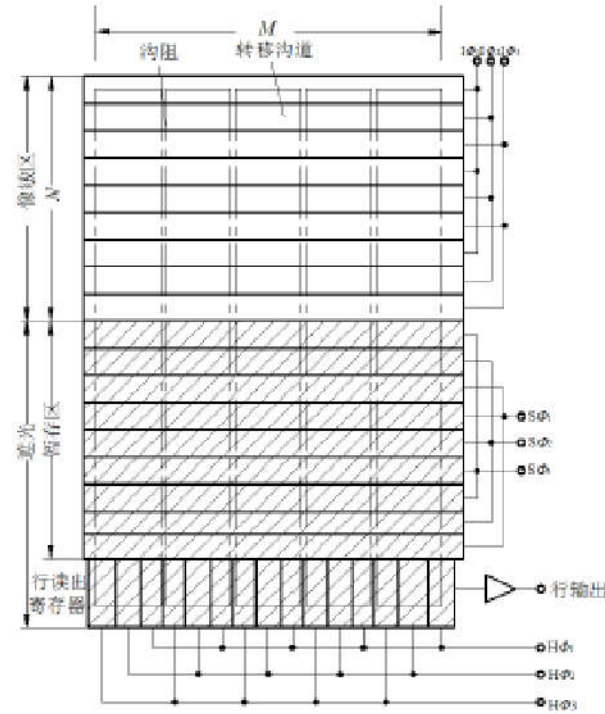


图3-59 帧转移三相面阵CCD的原理结构图

• 隔列转移性面阵CCD

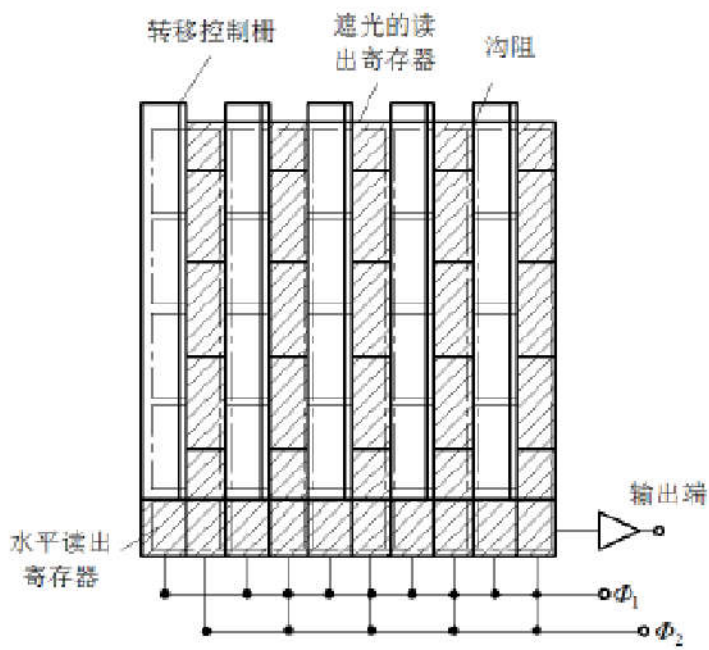


图3-60 结构图

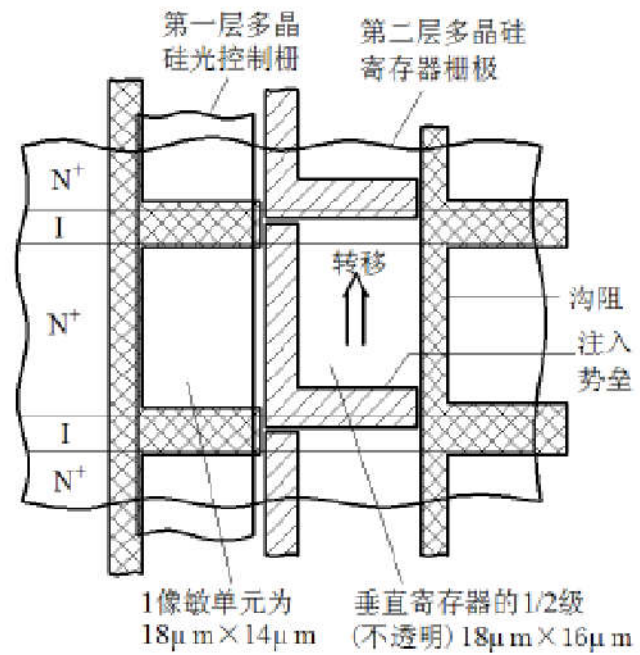


图3-61 相敏单元与寄存器单元



4、CMOS图像传感器

用传统的芯片工艺方法将光敏元件、放大器、A/D转换器、存储器、数字信号处理器和计算机接口电路等集成在一块硅片上的图像传感器件，这种器件的结构简单、处理功能多、成品率高且价格低廉，有着广泛的应用前景。

- “被动像元”（无源）结构：每个像敏单元主要由一个光敏元件和一个像元寻址开关构成，无信号放大和处理电路。
- “主动像元”（有源）结构：不仅有光敏元件和像元寻址开关，而且还有信号放大和处理电路，提高了光电灵敏度，减小了噪声，扩大了动态范围，使它的一些性能参数与CCD图像传感器相接近，而在功能、功耗、尺寸和价格等方面要优于CCD图像传感器。

• 结构原理

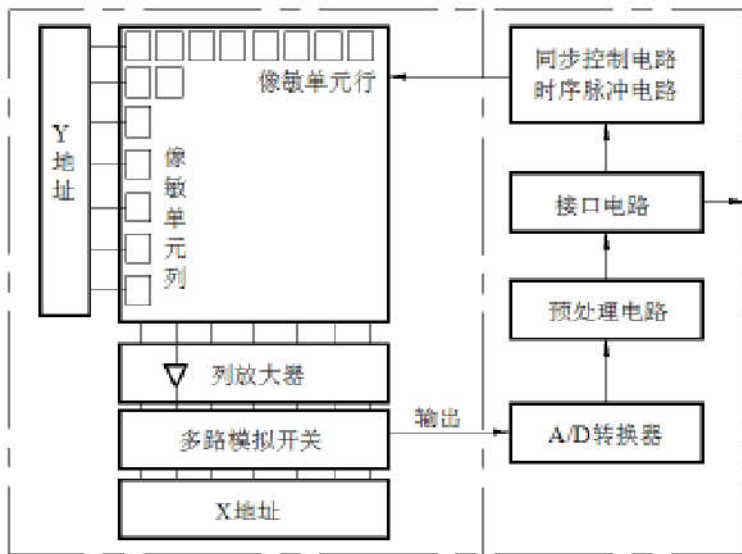


图3-62 CMOS成像器件的组成原理框图

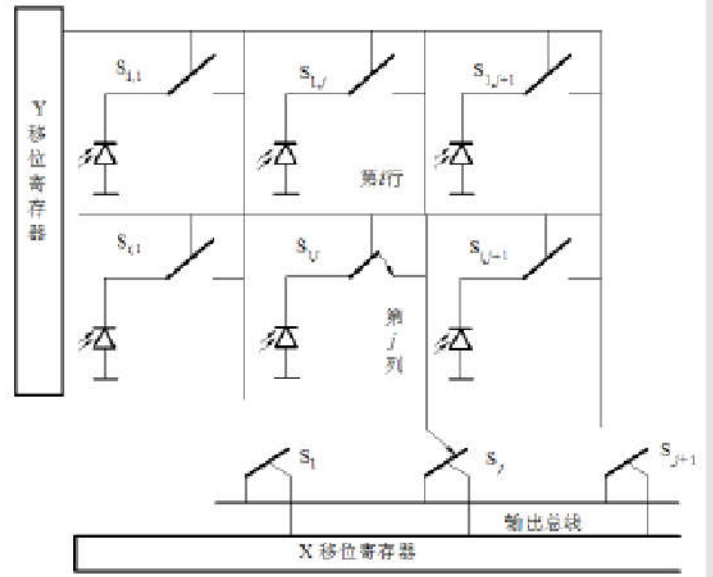


图3-63 CMOS图像传感器阵列原理示意图



5、红外热成像

利用物体或景物发出的红外热辐射而形成可见图像的方法称为红外热成像技术。如WP-95 型热释电红外热像仪。

采用碲镉汞(HgCdTe)热释电器件为热电传感器，采用单点扫描方式，扫描一帧图像的时间为 5s，不能直接用监视器观测，只能将其采集到计算机中，用显示器观测。一幅图像的分辨率为 256×256 ，图像灰度分辨率为 8 bit(256 灰度阶)。热像仪的探测距离为 0.3m至无限远距离。热像仪视角范围大于 12° ，空间角分辨率为 1.5mrad。工作温度为液氮制冷温度 77K，在这样低的温度下，它对温度的响应非常灵敏，可以检测 0.08°C 的温度变化。常被用于医疗、科研、国防及航天等领域。

- 热释电摄像管的基本结构

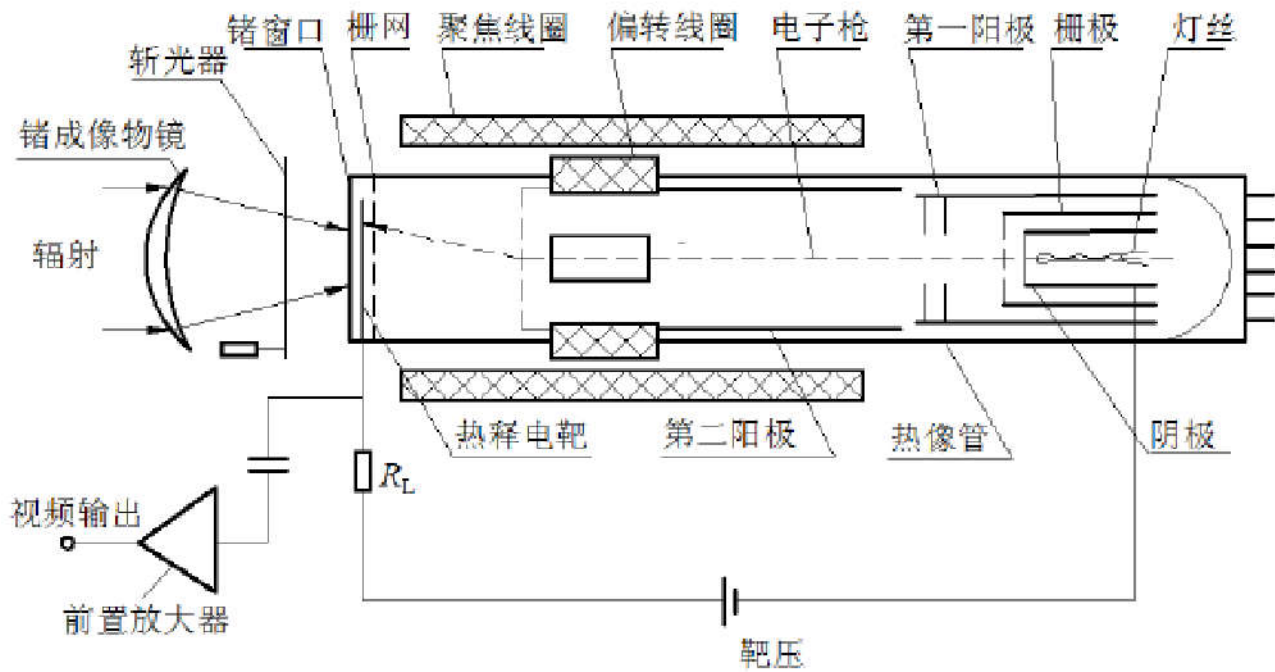


图3-64 TGS 热释电摄像管的结构



3.2.11 半导体激光器

发光：

物体向外发射出可见光、不可见光（红外、紫外等）

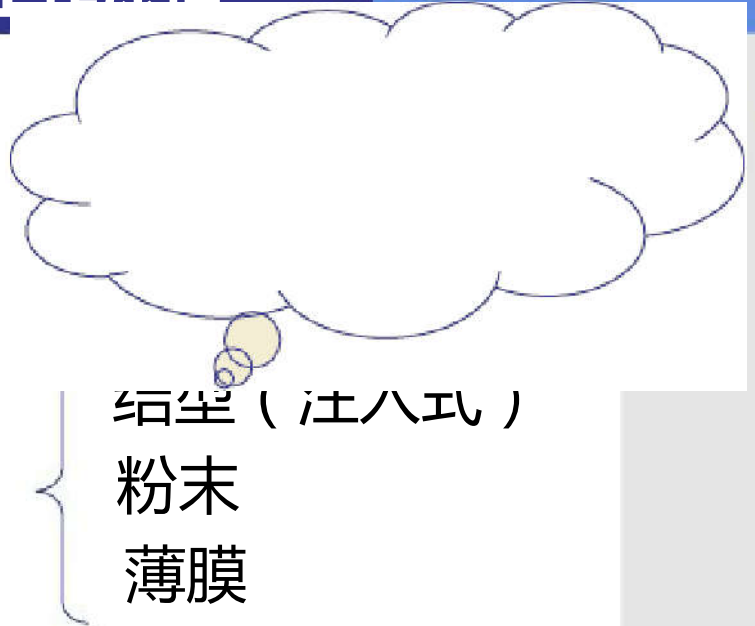
分类

热辐射：物体温度高于绝对零度而产生的物体热辐射。

激发辐射：物体在待定温度下受外界能量激发的辐射，激发辐射光源为冷光源。



冷光源：
光致发光
化学发光
摩擦发光
阴极射线发光
电致发光



电致发光：

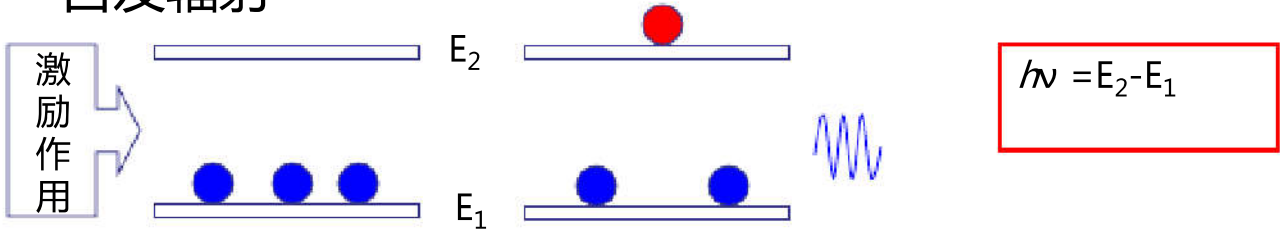
固体发光材料在电场激发下产生的发光现象称为电致发光，它是将电能直接转换成光能的过程。如发光二极管、半导体激光器和电致发光屏等。



1、发光机理

由某原因激励到高能级的粒子，没有外刺激的情况下，自己跃迁到低能级，发出光的现象。

• 自发辐射



特征

- 不可能控制
- 频率(波长), 相位, 偏振, 传播方向是随机的

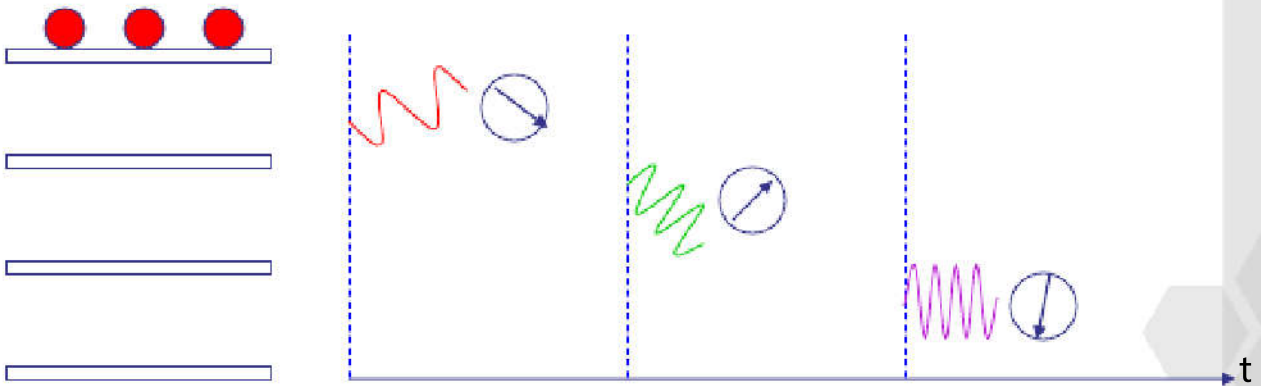
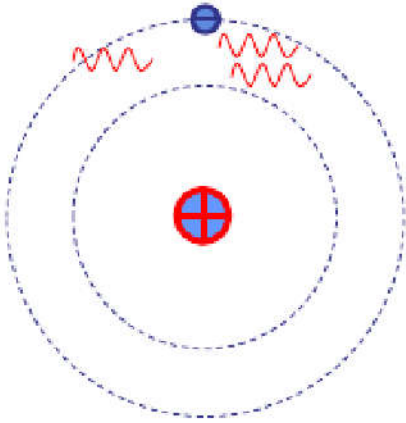


图3-65

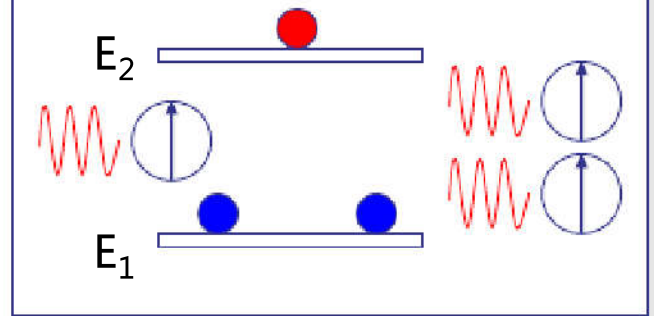
受激辐射

受到入射光的刺激的粒子发出具有跟入射光一样的性质的光的现象。

原子模型



能级模型



特征

- 可以控制
- 跟入射光频率(波长)、相位、偏振、传播方向一致

激光和普通光的根本差异

激光:受激被放大的光
普通光:自发辐射光

图3-66



吸收

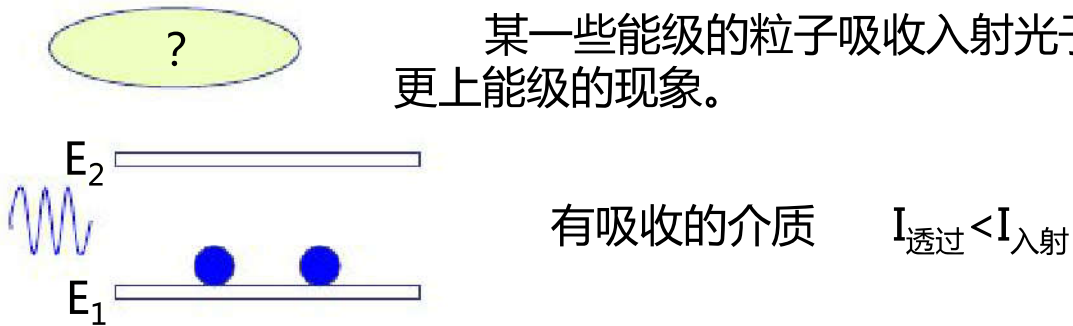


图3-67

产生激光的必要条件之一是受激辐射占主导地位。

要让激发态的载流子数远远大于处于基态的载流子数。



• 粒子数反转

使处于激发态的载流子数远大于处于基态的载流子数，也就是把载流子的正常分布倒转过来，称为粒子数的反转或称粒子分布的反转状态。

产生粒子数反转的方法：

固体激光器---光谱适当的强光灯；

气体激光器----气体电离-；

半导体激光器---注入载流子。

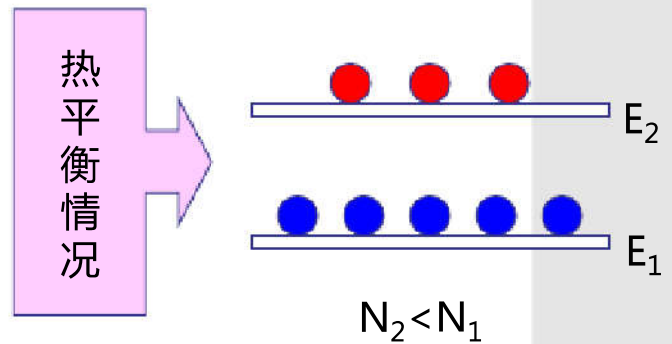


图3-68

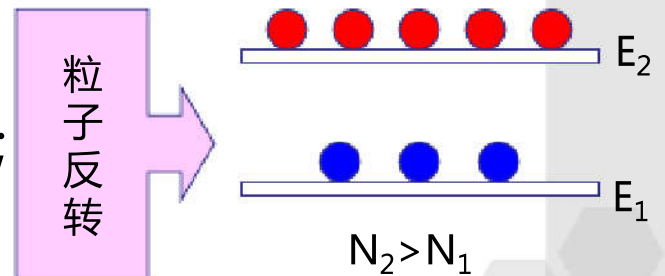


图3-69

形成谐振的条件： $\text{增益} > \text{损耗}$

• 谐振腔

平行于腔轴的光子在腔内的两个反射面上来回反射，反复通过工作物质，依靠受激辐射，光子每通过一次工作物质便得到一次增强，使光子数不断增长。

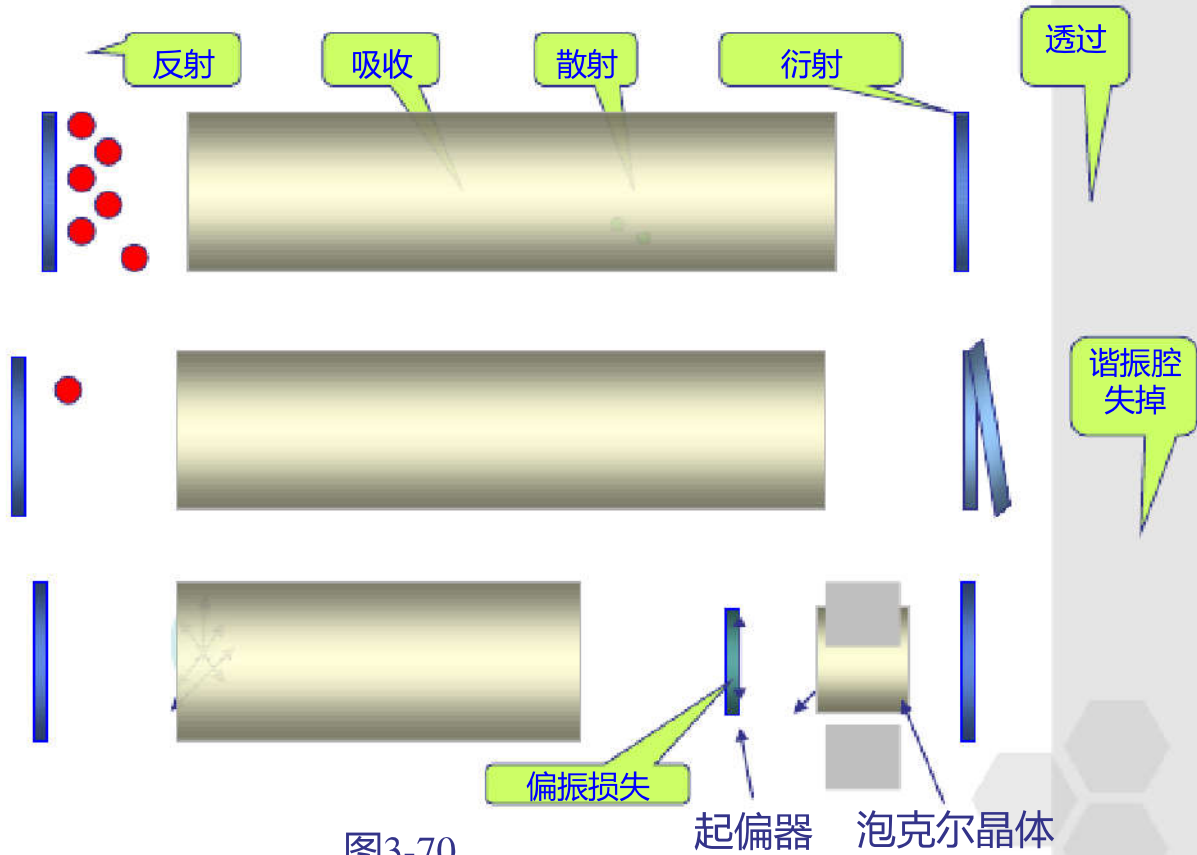


图3-70

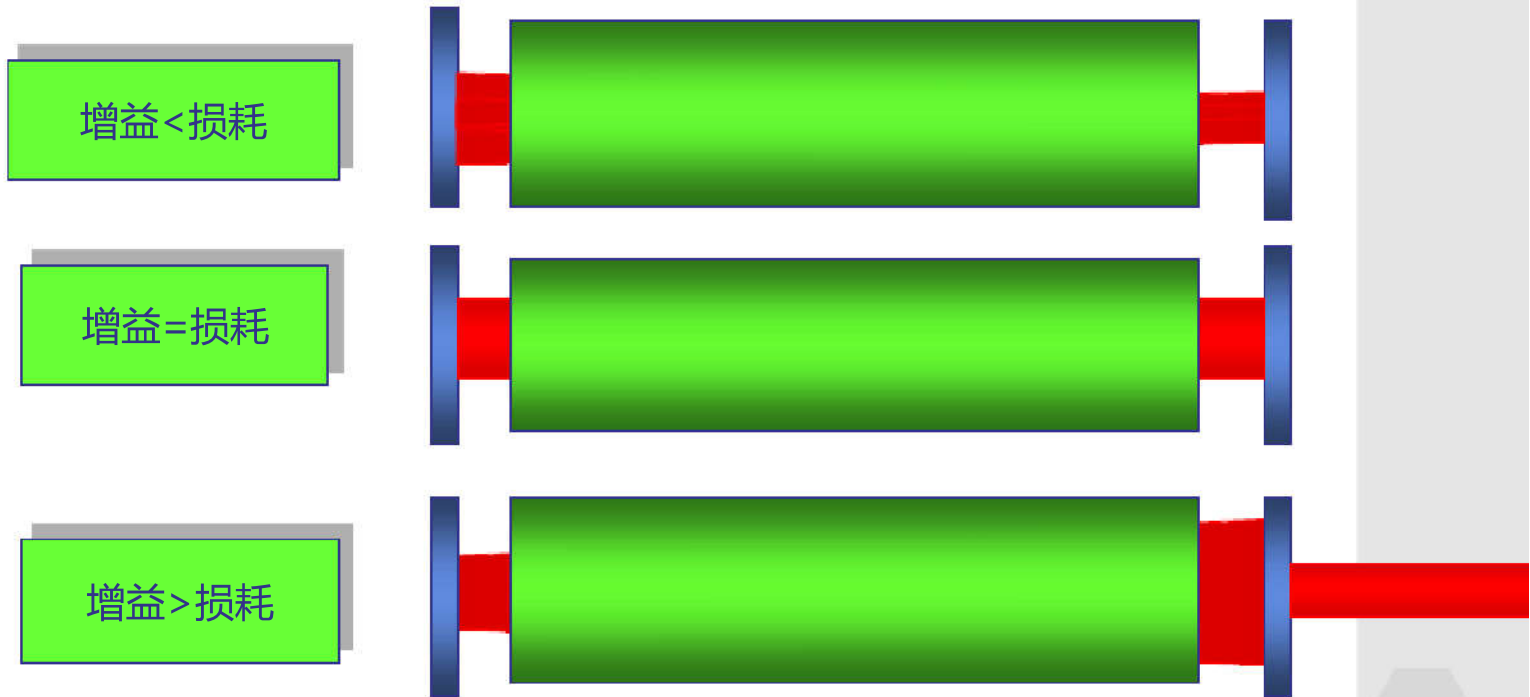


图3-71



形成稳定的振荡的条件：

$$L = m \frac{\lambda}{2n}$$

谐振频率或纵模频率：

$$\nu = \frac{mc}{2nL}$$

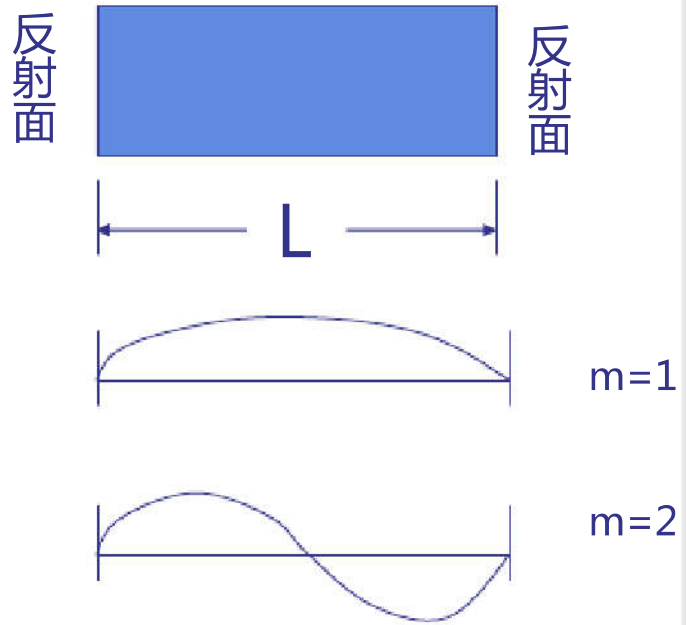


图3-72

激光器的一般组成

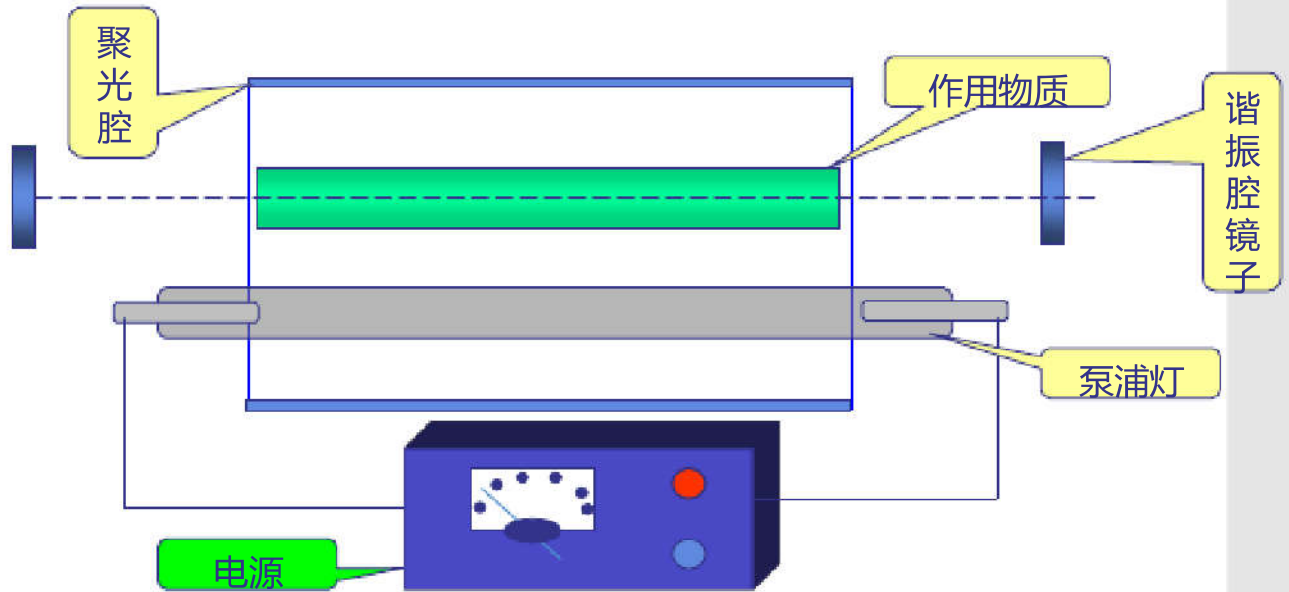


图3-73



3.2 常见传感器及其工作原理

3.2.11 半导体激光器

能量转换

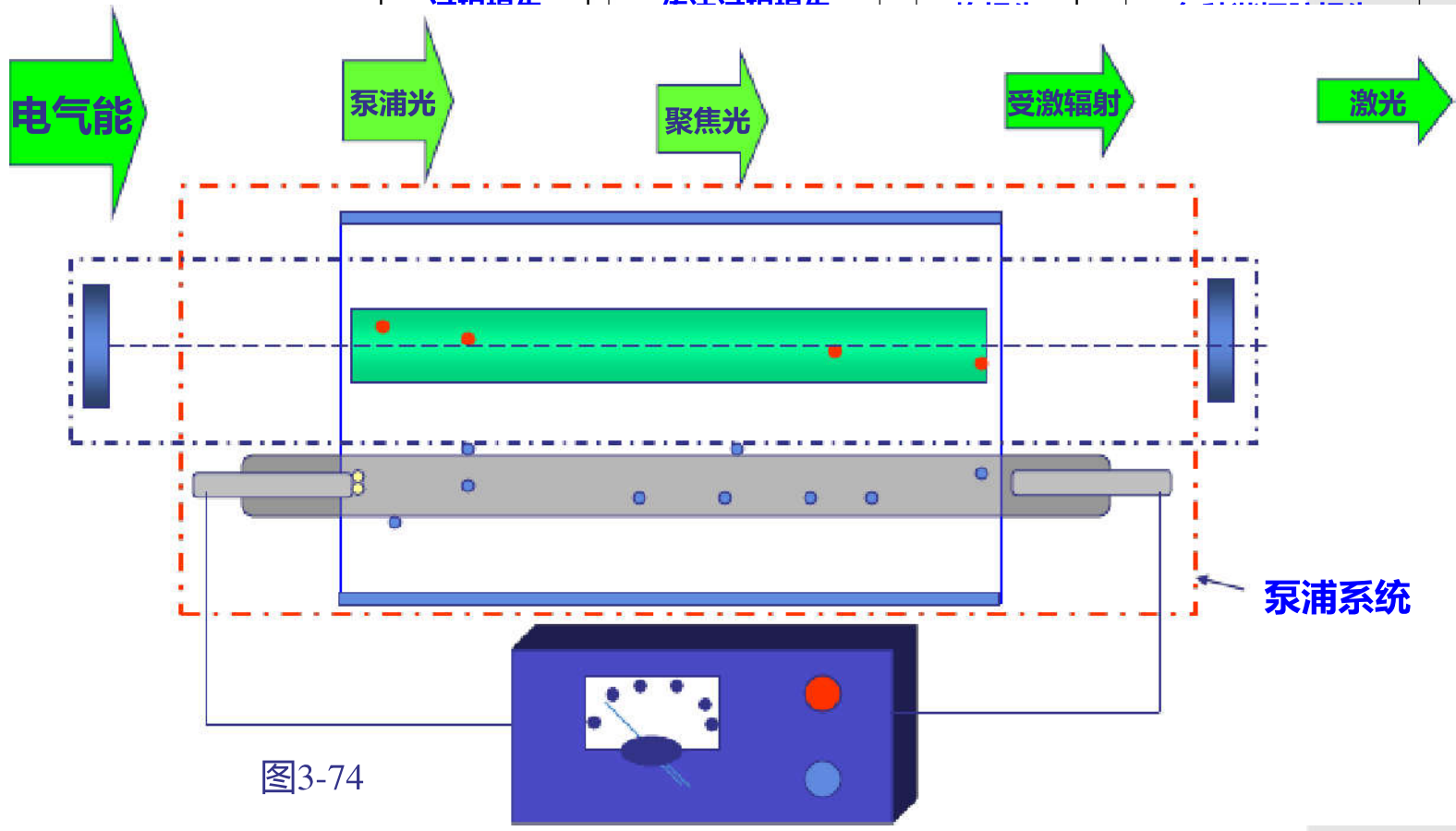
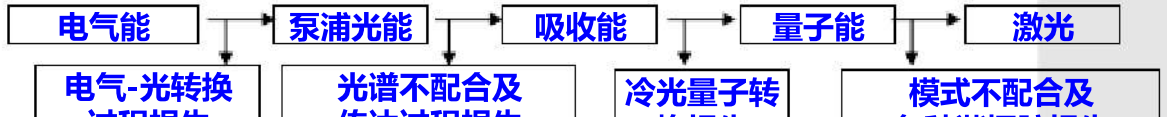
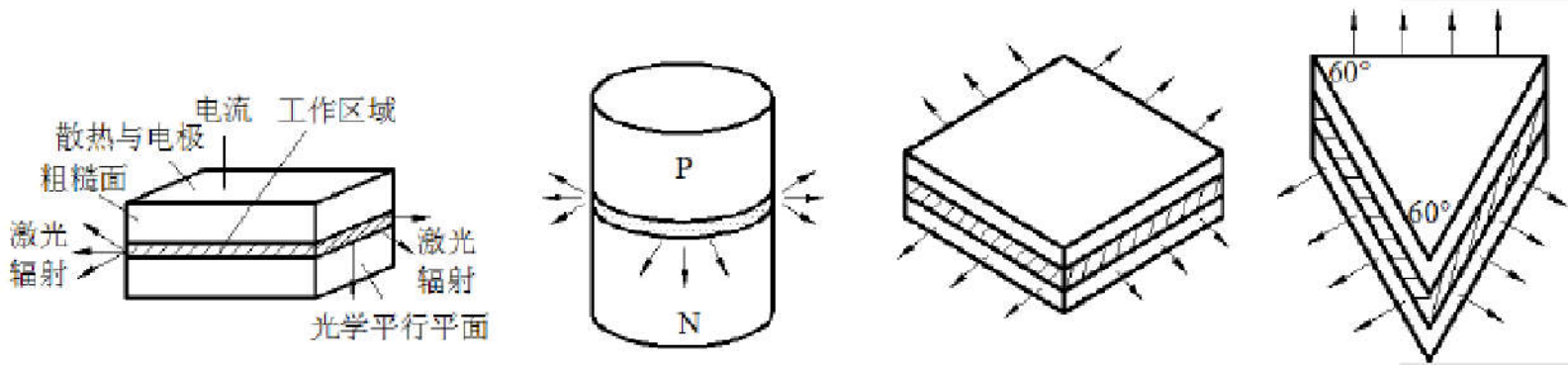


图3-74



2、结构



a)法布里-珀罗谐振腔

b)圆柱形谐振腔

c)矩形谐振腔

d)三角形谐振腔

图3-75 结型半导体激光器的结构

激光器工作物质种类很多，其中GaAs是第一种有激光作用的半导体材料。适当选择这些材料，可以获得不同频率的半导体激光器。



分类：

按工作波段分类--红外和远红外激光器、可见光激光器、紫外和真空紫外激光器、X射线激光器。

按输出方式分类--连续激光器、脉冲激光器、超短脉冲激光器。

按工作物质分类--气体激光器、固体激光器、半导体激光器和染料激光器。



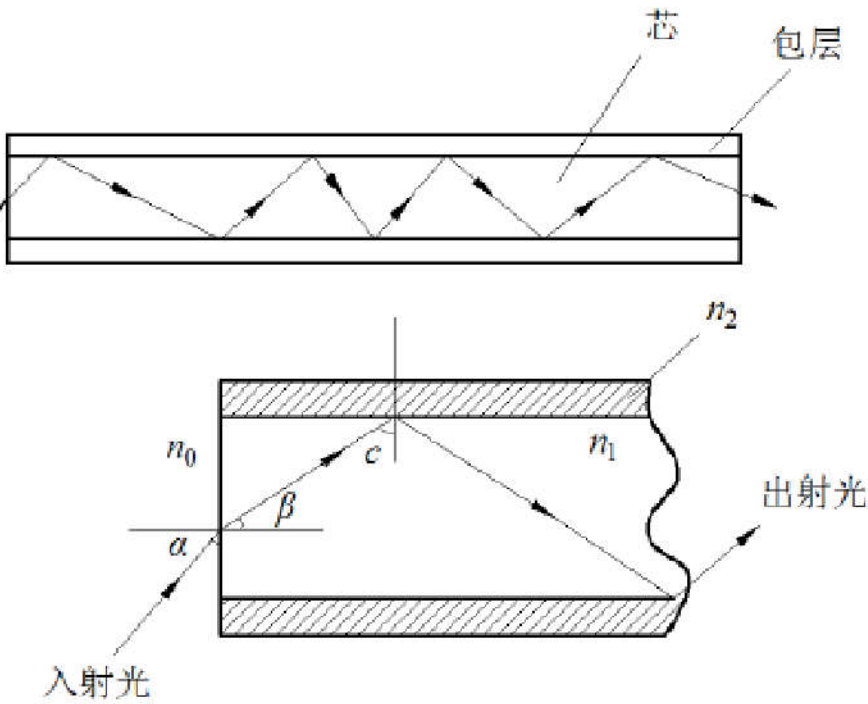


- 固体激光器：
一般采用光激励，功率大，但效率低，多模输出，光的相干性较差，常用于工业加工，如打孔，焊接等；
- 气体激光器：
一般采用电激发，效率高，寿命长，单模输出，光的相干性较高，常用于精密测量，全息照相等；
- 液体激光器：
可调谐，用在光谱学中；
- 半导体激光器：
小巧，耐用，简单，常用于光通信，光信息存储等。



3.2.11 光纤传感器

1、光纤传光原理



光纤传光原理

$$\angle c \geq \frac{\pi}{2} - \beta$$

$$n_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \geq n_2 \sin 90^\circ$$

$$n_1 \sin \beta = n_0 \sin \alpha$$

图3-76

$$n_0 \sin \alpha \leq n_1 (1 - \cos^2 \beta)^{1/2} = n_1 \left[1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right]^{1/2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

2、光纤的分类

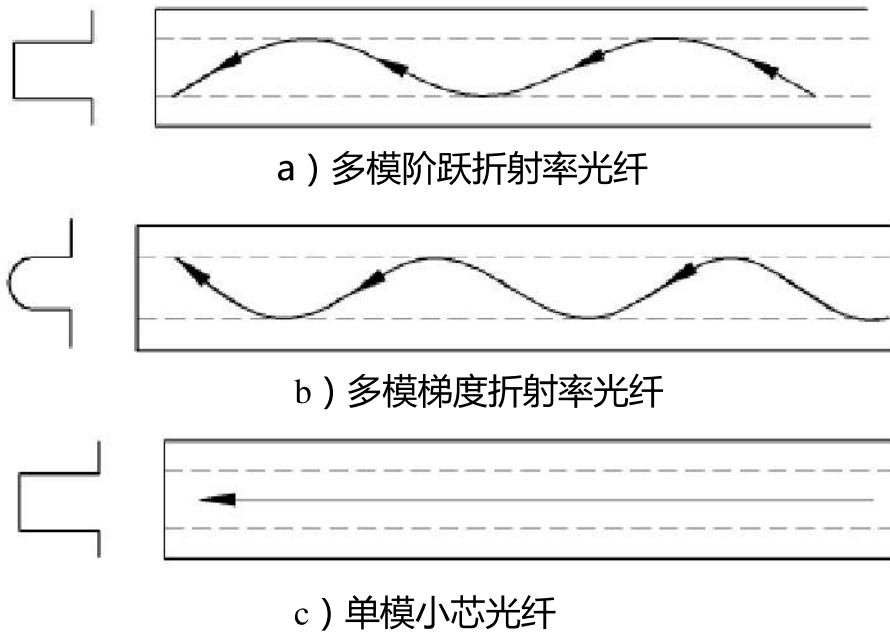


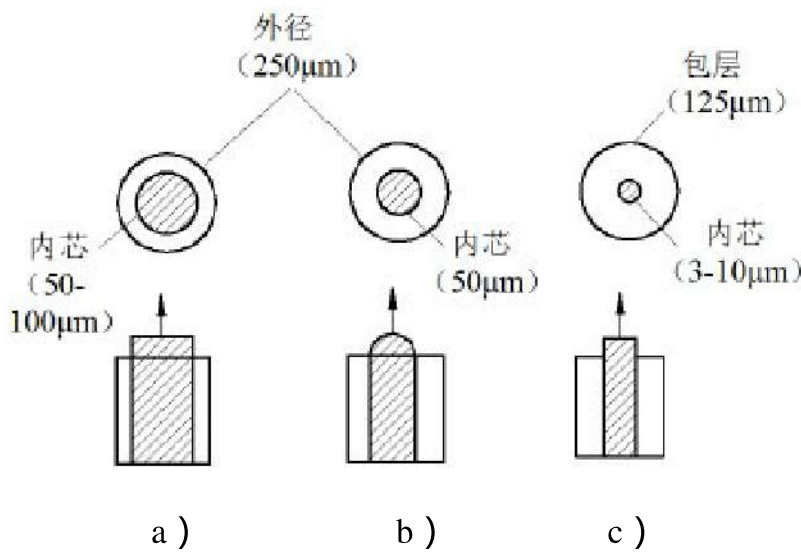
图3-77 芯皮型光纤结构

光纤按结构分，大体上有芯皮型光纤和自聚焦型光纤。芯皮型光纤又分为阶跃折射率光纤和梯度折射率光纤。阶跃折射率光纤是指径向折射率分布从折射率高的纤芯直接变到折射率低的包层，即芯和包层的界面分明。梯度型光纤，其断面径向的折射率分布是从中心的高折射率逐渐变到包层的低折射率，光纤外面的包层既作为光学绝缘介质，又起到内芯的保护层的作用。



光纤按其传输模式分有单模和多模之分。单模光纤细，芯径一般小于 $10\mu\text{m}$ ，其断面结构芯细、包层厚。多模光纤芯径大于 $50\mu\text{m}$ ，断面结构芯粗、包层薄，在光传输时有多种空间电磁场模式存在。相比之下单模光纤波形失真小，损耗小，近年来更加受到重视。

在传输光信息时，多采用光缆。光缆是将若干根光纤单丝集聚一束，然后再包覆一层尼龙或聚乙烯塑料，最外层为包层。



a) 多模阶跃折射率光纤 b) 多模梯度折射率光纤 c) 单模小芯光纤

图3-78 三类主要光纤的几何形状



3、光纤的基本特性

• 衰减

光在光纤传输时其衰减主要由吸收损耗和散射损耗造成。吸收损耗有玻璃材料的本征吸收和杂质吸收，散射损耗主要有本征散射和结构不完善引起的散射。

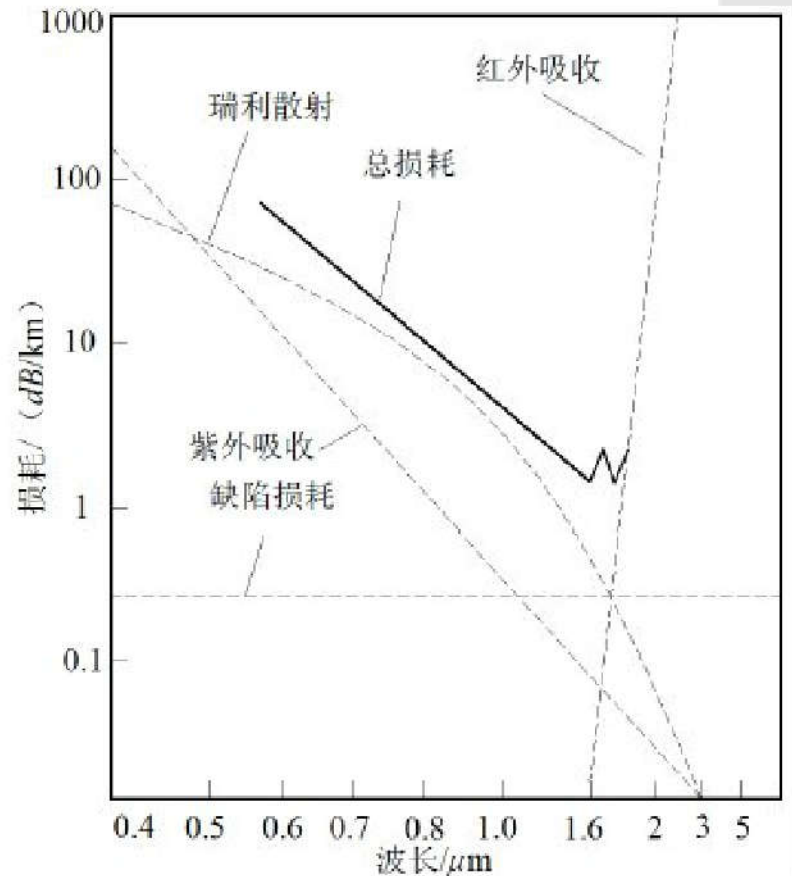


图3-79 高硅氧 ($\text{GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$) 光纤的损耗曲线



- 带宽

脉冲光在光纤传输时，导致脉冲展宽的三个主要原因是模式色散、颜色（或材料）色散和波导（或结构）色散。色散是指折射率及其他物理参数随光的波长变化而变化的现象，光纤的传输带宽又受这些参数的限制，为方便起见，采用色散一词来描述这些参数的变化。

(1)不同的脉冲模式的激光在光纤传输时，它们将以不同的时间传输到光纤的另一端，其结果是使激光脉冲加宽。

(2)光纤玻璃材料的折射率随入射光的波长的改变而导致“颜色”或“材料”的色散。

(3)与光纤结构的波导效应相联系的色散称为波导色散。



- 光纤作为传输介质的优缺点

- 1) 现代光纤具有极低的传输损耗，低的为 0.2dB/km 。
- 2) 具有较大的频带宽度。
- 3) 抗电磁干扰和避免接地回路问题，防止光纤间串扰，并可增大电磁的安全性。
- 4) 可利用丰富的硅、磷、锗、硼等物质来制造。
- 5) 光纤是高强度抗断裂材料，具有体积小、重量轻及韧性好等优点。

缺点是应变的效果还不很清楚；核辐射可使传输损耗增加，这将使有关的防御系统受到损害；小尺寸的光纤在加工和相互连接方面也增加了机械加工的难度。



1、分类与特点

光纤本身是传感介质，被检测的物理参数影响光纤，而使其传输特性产生适当的变化；

光纤作为光导介质，利用光纤把光引导到变换器或从其中引出，该变换器能使物理参数改变两种长度纤维之间的耦合特性，或物理参数可引起光发射，发射的光由光纤收集并引向远距离探测器。

抗电磁干扰、安全性高、高电气绝缘、无电源工作、可以用于各种高温场合。具有低损耗的特点，可使用很长的分布式传感器。在已经出现的基本光学数据传输的地方，光学纤维兼容传感器可产生许多附加的光学/电气接口。



2、光纤传感器

- 相位调制传感器

光纤中传输的相干光与直接从光源来的光或通过隔离光纤传导的光合成便产生干涉，构成了一个灵敏的光学干涉仪，干涉信号再用现代化的光电路处理就能检测温度、压力及旋转速率等参量。

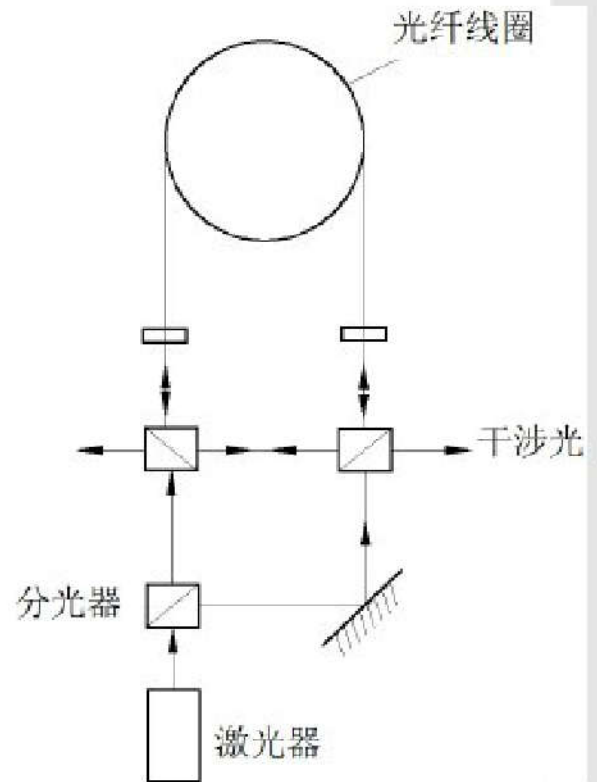


图3-80 光纤陀螺仪的原理示意图

激光由分光器分为两路光束：一路光束经驱动频率为 Δy 的布拉格盒使激光产生分频移 $\Delta y'$ ；另一路光束输入光纤声

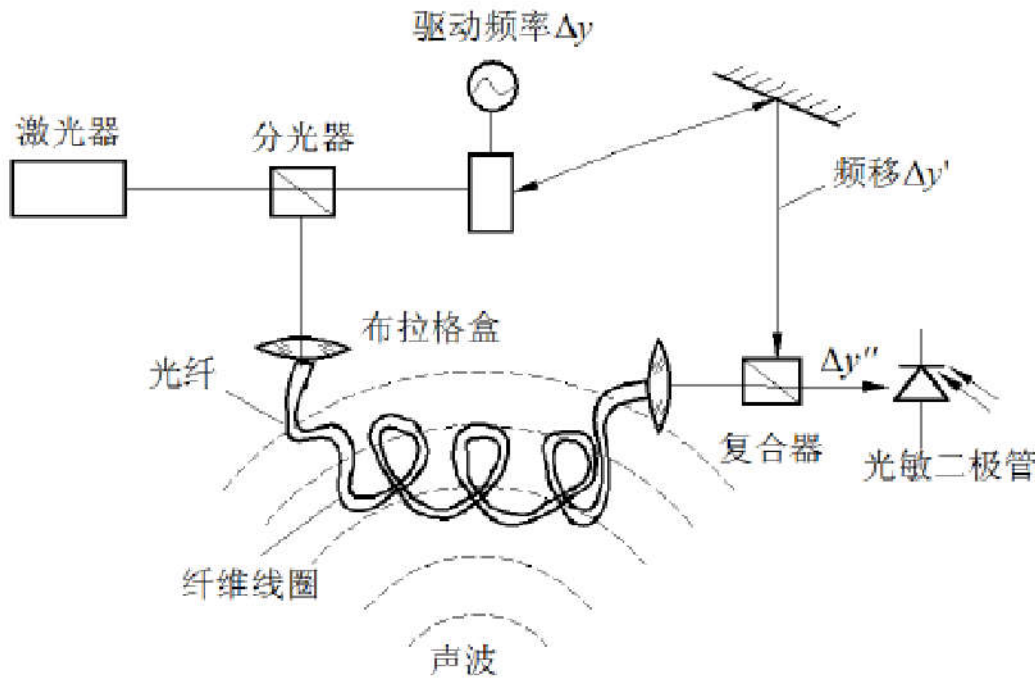


图3-81 光纤外差水听器原理图

传感器被声波相位调制，两路光束在复合器进行外差，得频率为 $\Delta y''$ 的声信息相位调制信号。相位调制信号由光敏二极管探测，再由电子学处理得到声信息。



- 振幅调制传感器

振幅调制传感器是基于光纤传输的光功率被物理量所调制的原理。

如果变形是由被检测的压力、振动、位移及声等参量引起的，那么对于微小变形来说，在芯或包层内的光强波动将与信号成正比。可通过检测纤芯或包层的光强度大小来确定被测量。

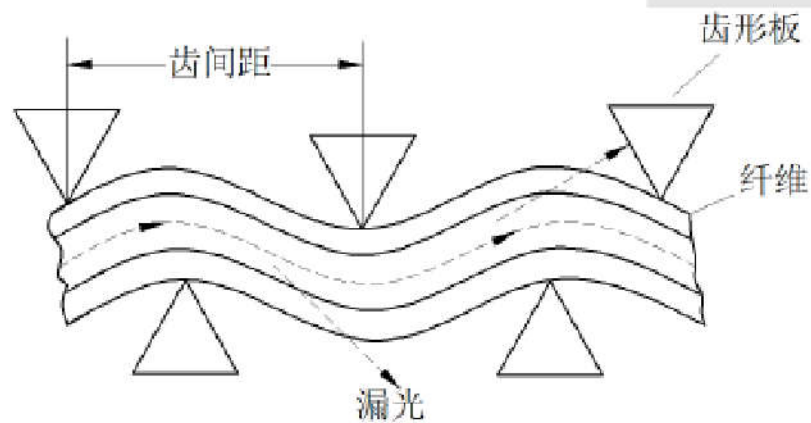


图3-82 微弯调制光纤传感器示意图

抽头纤芯直接与源纤维包层耦合。将强度为 I_0 的光引进变形器，使源纤芯的光强减小了 ΔI ，变形器后面的源纤芯内所剩下的光强为 $I_0 - \Delta I$ ，离开源纤芯的光强变量被引入纤维包层。

利用包层—纤维抽头将包层的部分光由源纤维包层通入纤维探测器内，通过监视源纤维射出的光（亮场）或探测器纤维射出的光（暗场）即可检测信号。在探测器纤维芯中的光强大小是 $K\Delta I$ 。

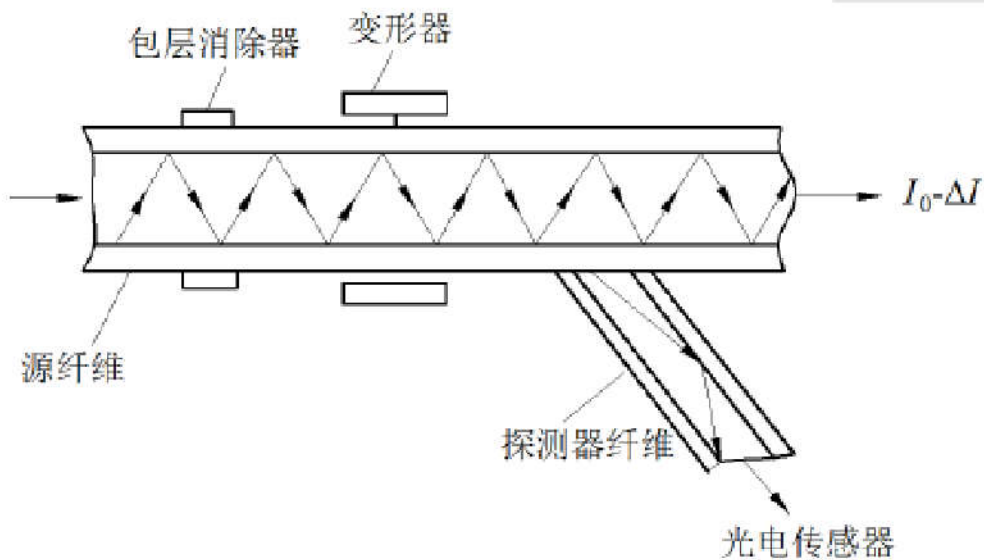


图3-83 微弯调制光纤传感器示意图

3、光变换器与光纤兼容

光纤传感器是光学变换器与光纤组合而成。这类传感器分为两种类型：一种是物理效应导致光发射，另一种是光变换器对两纤维间耦合的光进行调制。

- 聚光纤维传感器

入射能量对材料激励而引起荧光或磷光材料的再发射，其发射的光谱成分与被检材料的温度或浓度有关。

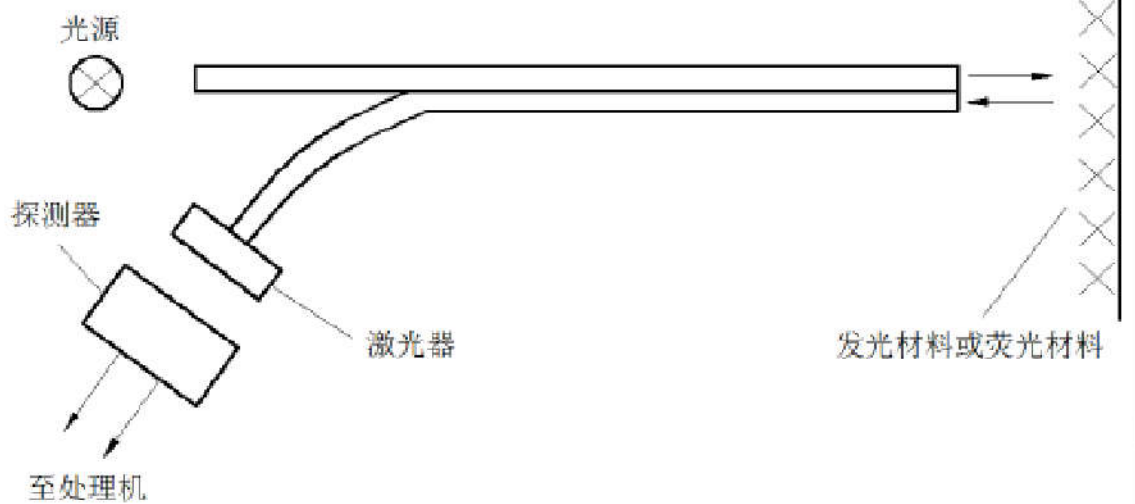


图3-84 光能级传感器检测原理



- 光束调制传感器

这种传感器用两纤维间耦合的部分光进行调制，因为调制器容易改变，所以能适应特殊场合的应用。这种传感器的主要缺点是有不可避免的光损耗，通常需要使用高灵敏度的光接收器。

基于光束断续或使一纤维偏转而中断两条纤维之间的光束。这种传感器可用来检测光栅调制器的旋转速度、方向、相位及位移量等。

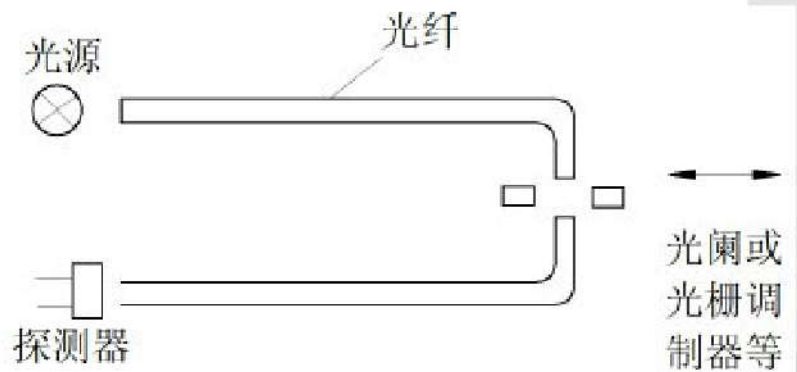


图3-85 光束调制（或通断）传感器

再见!

