

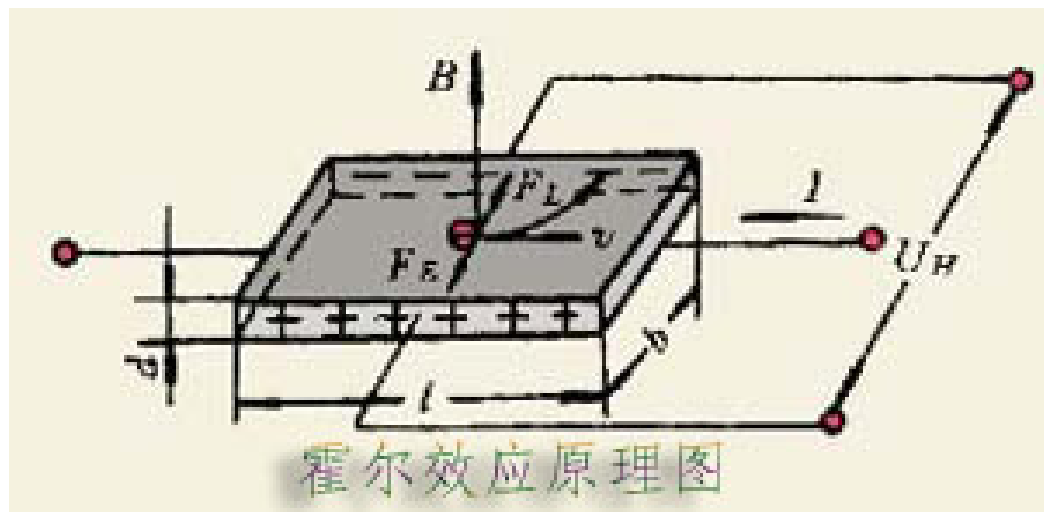
4.9 其他传感器和敏感元件

4.9.1 霍尔元件

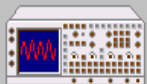
1. 工作原理

金属或半导体薄片置于磁场中，当有电流流过时，电子因为洛仑兹力而发生偏移，在垂直于电流和磁场的方向上将产生电动势，这种物理现象称为**霍尔效应**。

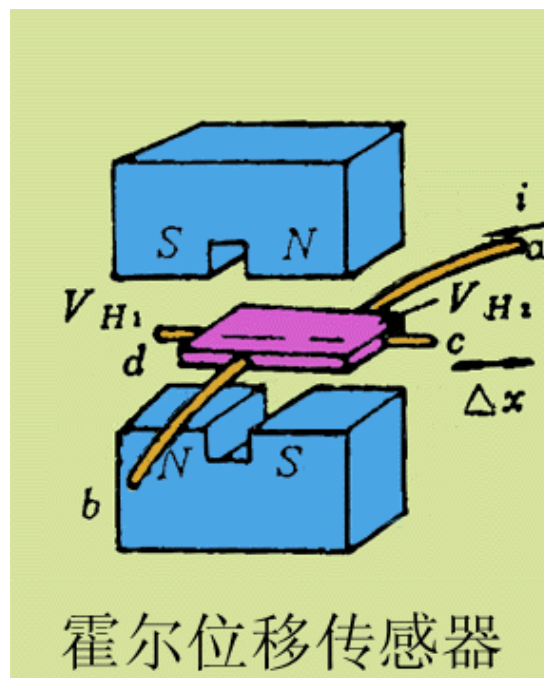
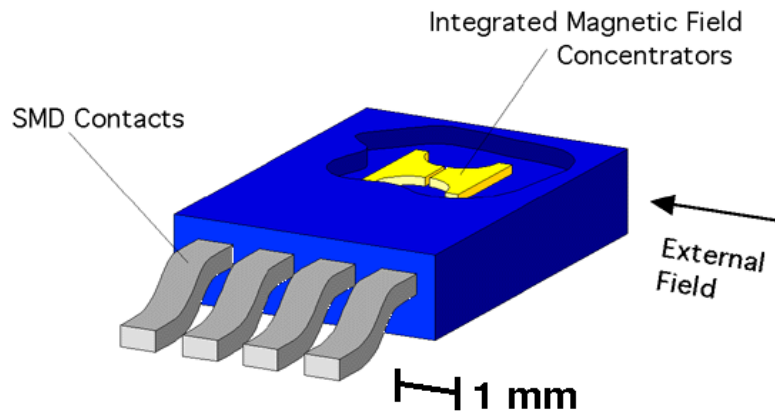
$$V_H = K_H I B \sin \alpha$$

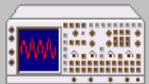


- V_H —霍尔电势
- K_H —霍尔常数，
决定于材质、温度、元件尺寸
- B —磁感应强度
- α —电流与磁场方向的夹角



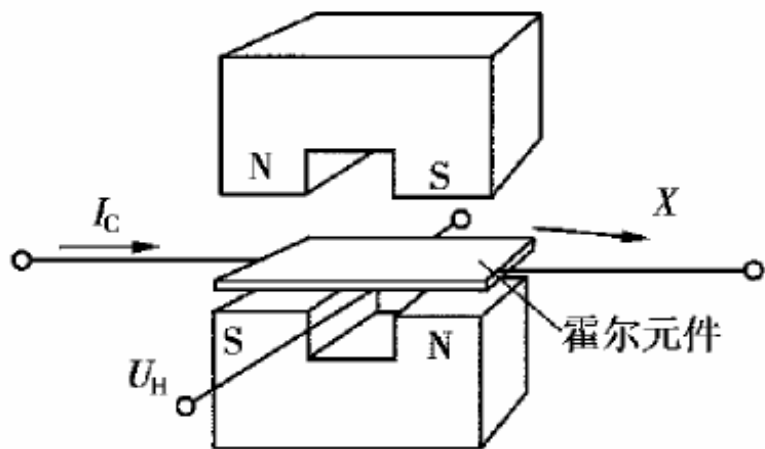
霍尔元件由霍尔片、四根引线和壳体组成，如图所示。两根线为电流输入端,两根线为电压输出端。



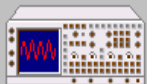


2. 应用

- (1) 保持控制电流不便，检测磁场变化，可以应用于磁场测量、磁场中的微小位移。
- (2) 保持磁感应强度不变，推动控制电流变化，可以应用于电流表、电压表。
- (3) 当磁感应强度和感应电流都变，可以同时检测两者的乘积，应用于乘法器、功率测量。



- (4) 位移的测量
处于中位时，对称输出为0；
当左右移动时，两个方向输出不对称，指示方向和位移；
测量范围1~2mm，惯性小、
响应快。



案例： 电流传感器



原理

磁场强度变化检测

案例： 管道裂纹检测
*材质的检测



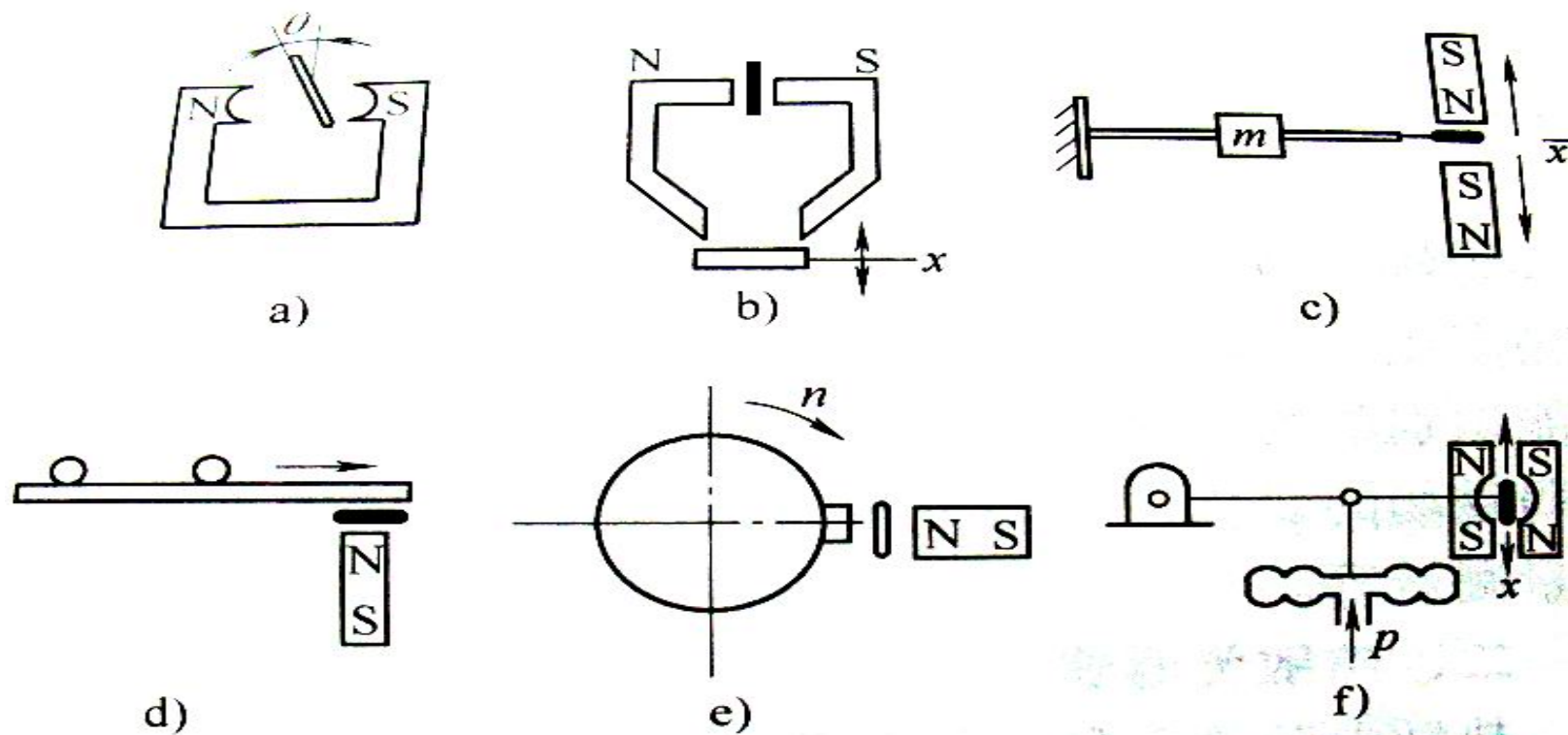
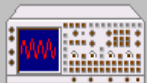
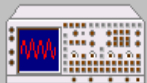


图 3-63 霍尔元件工程应用实例

- a) 测角位移 b) 测线位移 c) 测加速度
d) 零件计数 e) 测转速 f) 测压力



4.9.2 光栅式数字位移传感器

1. 光栅:

(1) 定义: 一种在基体(金属或玻璃)上刻制有等间距均匀分布线纹的光学元件。

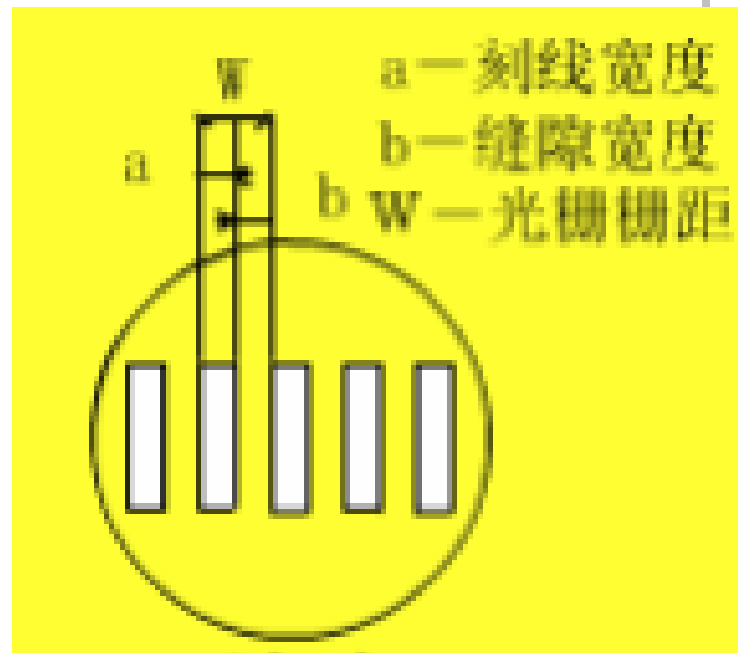
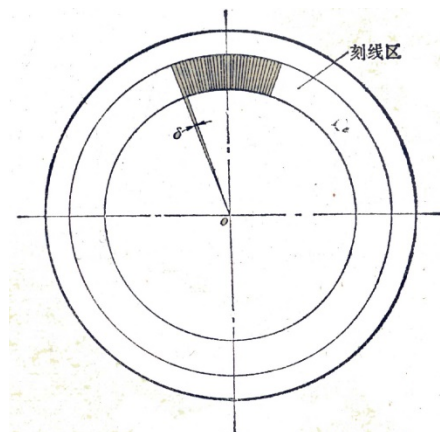
可分为直光栅和圆光栅。

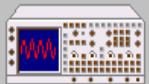


线纹密度:

每毫米长度上的刻线数。

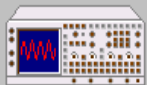
常见的有10、50、100、200





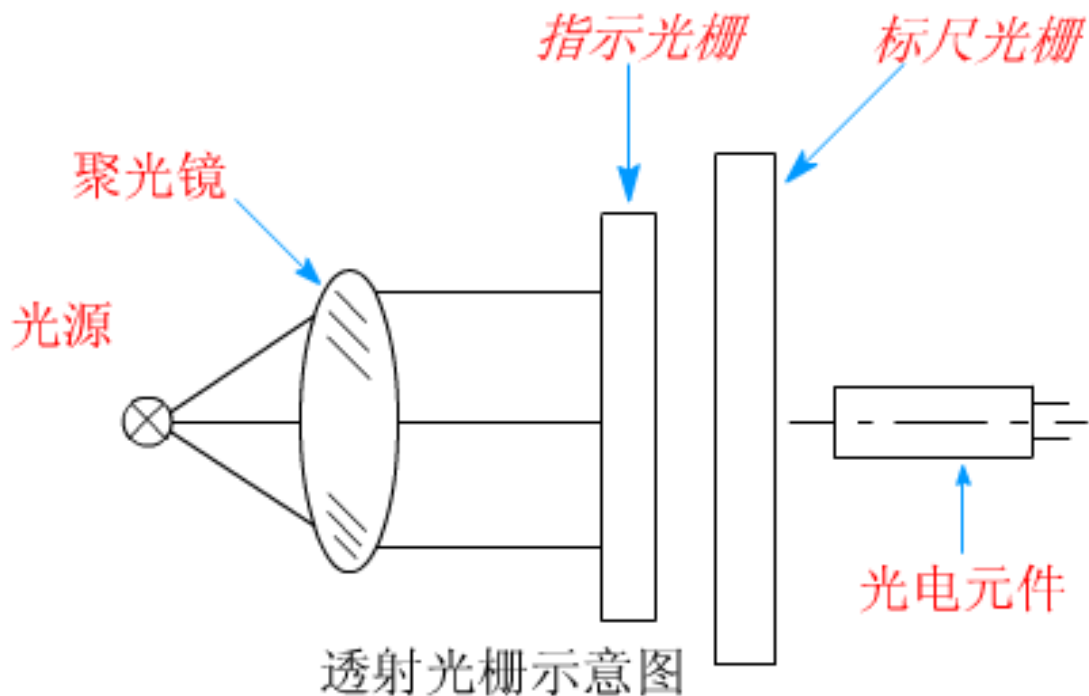
(2) 分类

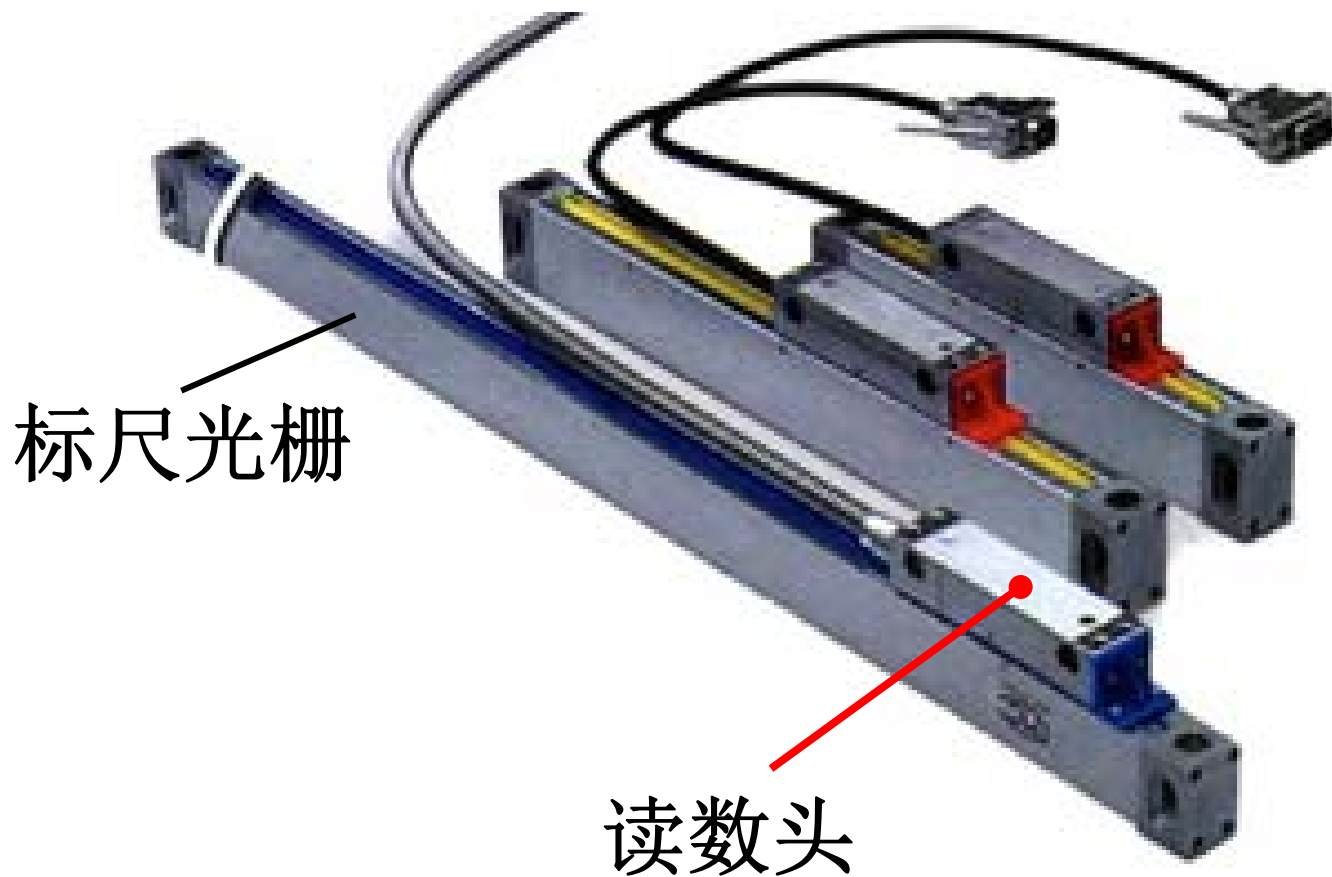
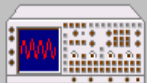
- **反射光栅：** 在金属镜面上刻制出全反射和漫反射间隔相等的条纹。
- **透射光栅：** 在玻璃表面上制出透光和不透光的黑白相间条纹。
 - a. 莫尔条纹式光栅
 - b. 透射直线式光栅



2.光栅位移传感器结构

主要由标尺光栅（长光栅）、指示光栅（短光栅）、光源、光电元件、聚光镜等组成。

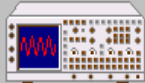




标尺光栅

读数头

(内有标尺光栅，光源，光电元件，聚光镜等)



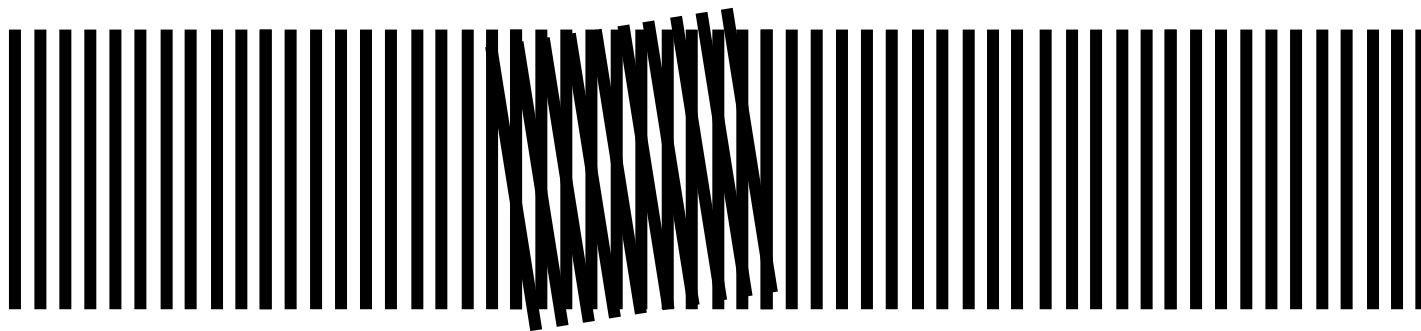
3. 光栅式数字位移传感器

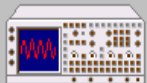
(1) 莫尔条纹的形成

两块栅距相同（刻线和缝隙宽度相等）、平行互相靠近且沿刻线方向保持一个很小的夹角的光栅在刻线的垂直方向上产生相对运动时，由于遮光效应形成的明暗相间的干涉条纹。

两光栅有一个夹角，形成莫尔条纹现象。

两光栅相对移动一个栅距，莫尔条纹移动一个条纹宽度某一个固定点的强度发生强-弱-强的周期变化。





(2) 莫尔条纹的宽度

$$B_H = \frac{W}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \approx \frac{W}{\theta}$$

将栅距放大了 $1/\theta$ 。

当 $\theta = 30'$ ，则 $K = 115$

(3) 莫尔条纹的特点：

- * 光栅移动一个栅距，莫尔条纹移动一个宽度；
- * 放大作用；
- * 平均效应：

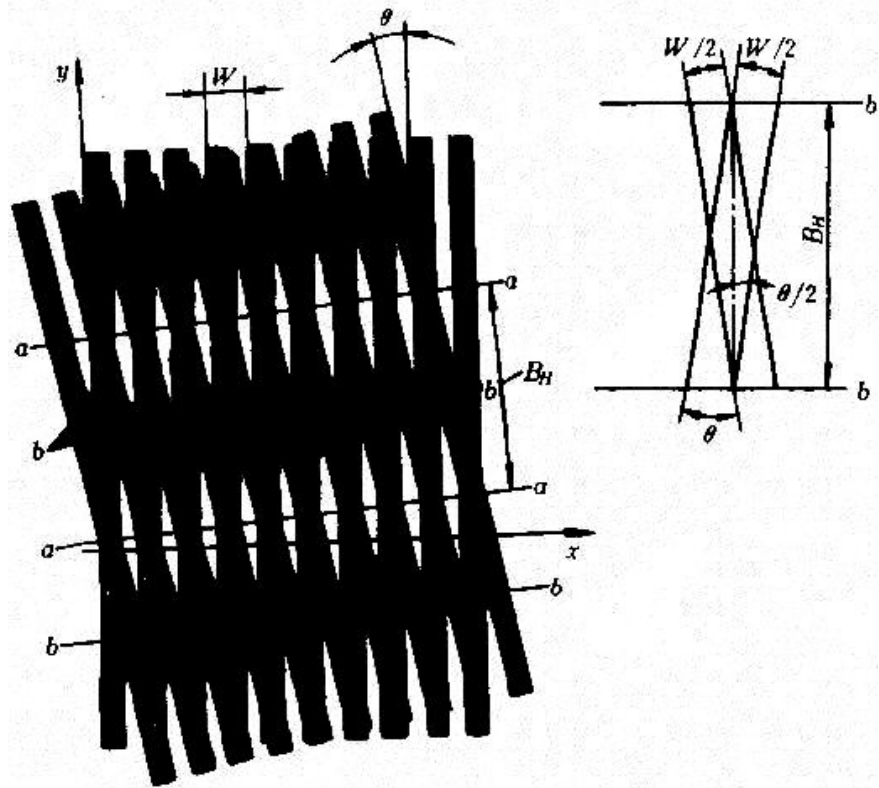
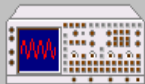


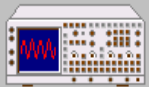
图 6-4 光栅莫尔条纹的形成
a-a—亮条纹 b-b—暗条纹



(4) 莫尔条纹式光栅的工作原理

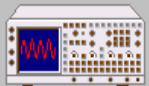
用光电元件接受莫尔条纹移动时光强的变化。

- 莫尔条纹连续移动时，光电元件的输出为正弦电压，移动一个栅距，光电元件输出的正弦电压变化一个周期；
 - 经电路整形放大、细分、微分、辨向和计数之后转换成脉冲信号，移动一个栅距，电路输出一个脉冲信号；
 - 位移量为脉冲数与栅距的乘积。
- * 采用细分技术提高分辨力，栅距除以细分倍数即是分辨率。



(5) 光栅传感器的应用

- 分辨力高 (**0.1 μm**)、测量范围大 (标尺光栅可接长)、动态测量范围宽, 易实现自动化和数字化;
- 光栅位移传感器的分辨率和精确度高, 仅次于激光系统, 在稳定性、经济性、可靠性上又高于后者;
- 广泛的应用于高精度的位置检测和控制环节, **80%**的闭环控制数控系统都采用光栅。
- 对使用要求高, 密封、防止污染。

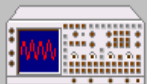


4.9.3 CCD 固态图像传感器

图像传感器是将光学图像转化成电信号的器件。可分为真空管图像和固态图像传感器。固态图像传感器是高度集成的半导体光电传感器，可实现光电信号的**转换、传输和处理**。

目前主要有电荷耦合器件**CCD**和互补型金属氧化物半导体**CMOS**。前者成像精度高，后者在速度上、成本、功耗、尺寸等方面有优势。

CCD用于高端数码相机等，**CMOS**用于手机摄像、网络摄像头等。



1. 电荷耦合器件(CCD)

CCD是由MOS 光敏元阵列、转移控制栅和读出移位控制其组成，构成具有自扫描功能的图像传感器。

(1) 电荷耦合器件——Charge-Coupled Devices

■ MOS光敏单元 ——在半导体基片上生长一种具有介质作用的氧化物（二氧化硅），又在其上沉积一层金属电极，形成金属-氧化物-半导体结构元（MOS）。人们称这样一个MOS结构元为MOS光敏元或叫做一个象素，把一个势阱所收集的若干光生电荷称为一个电荷包。

■ 势阱深度与电压呈正比，其将光电效应产生的光生空穴排出势阱，光电子被集中在势阱里。

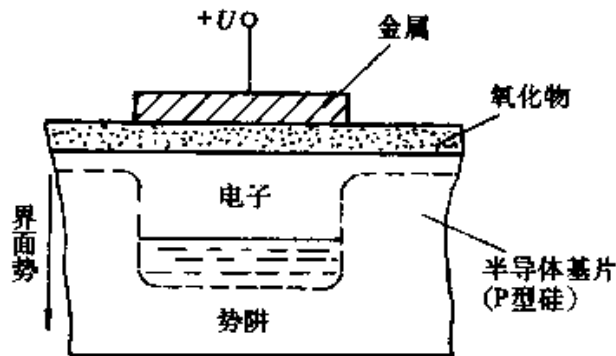
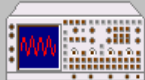


图 7-9 MOS 光敏元的结构原理图



(2) 移位寄存器

■ 实际上由不透光的MOS 电容器组成，接受光敏单元转移过来的电荷，并从输出端逐位串行输出。

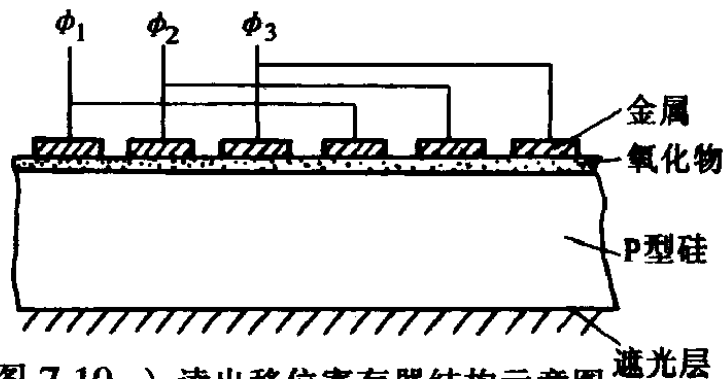


图 7-10 a) 读出移位寄存器结构示意图

■ 三个电极控制一个时钟周期，CCD的感应的电荷基于势能原理传递电荷，完成1级的转换。

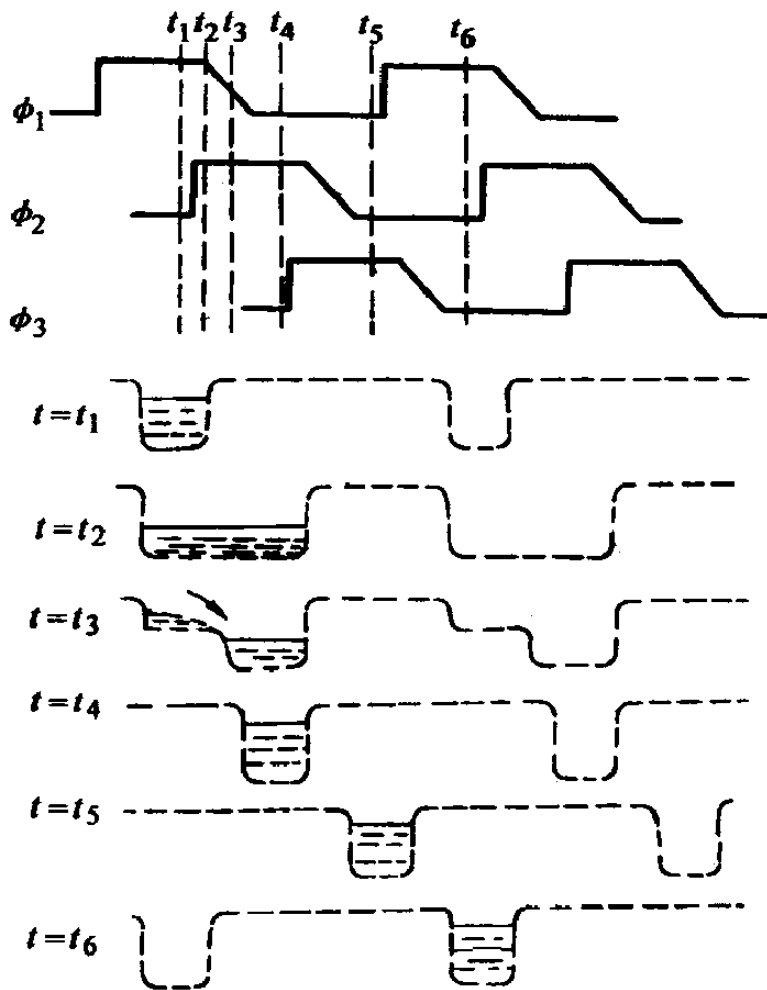
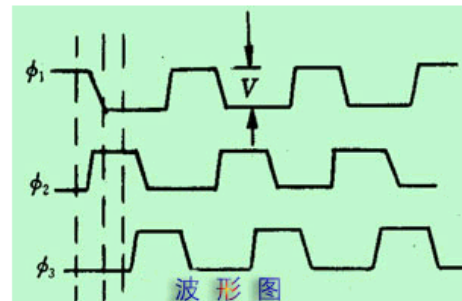
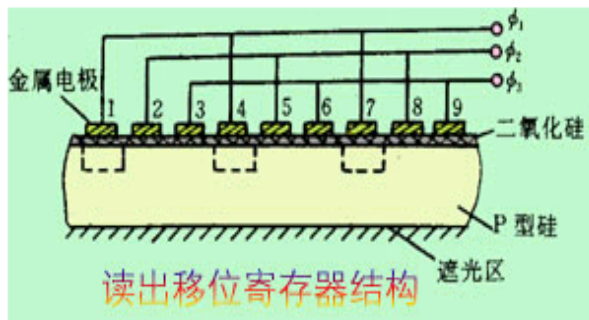
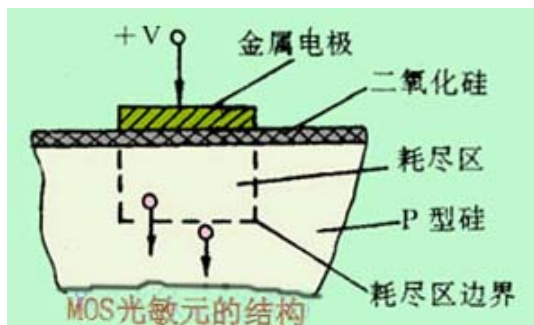
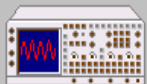
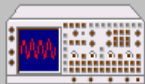


图 7-10 b) 信息电荷传输原理图



在半导体硅片上按线阵或面阵排列MOS单元，如果照射在这些光敏元上的是一幅明暗起伏的图像，则这些光敏元上就会感生出一幅与光照强度相对应的光生电荷图像。



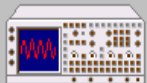
2. CCD固态图象传感器应用

(1) 特点:

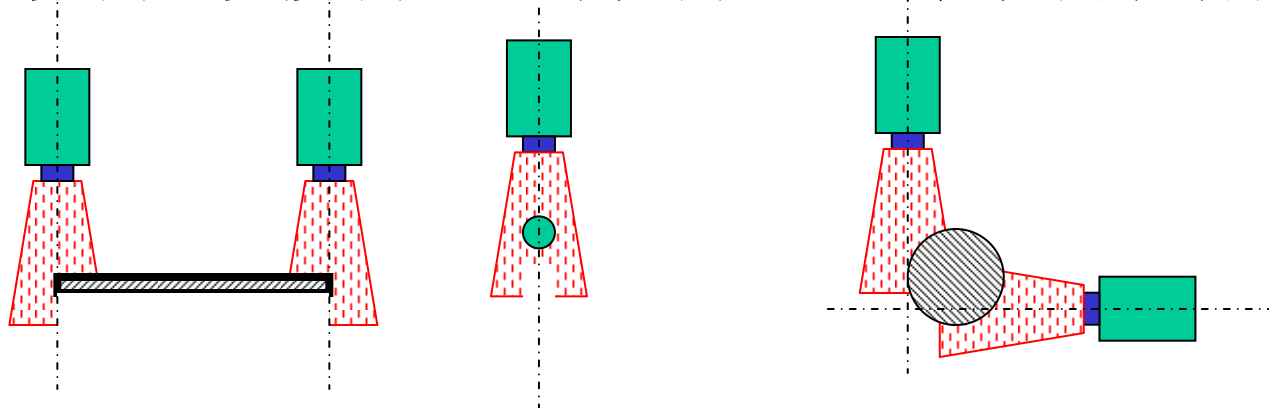
- 非接触检测；响应快；可靠性高，维修简便；测量精度高；
- 体积小，重量轻；容易与计算机连接；
- 对被测物体需要强光照射；受被测物体以外的光的影响。

(2) 应用:

- 物位、尺寸、形状、工件损伤等测量；
- 作为光学信息处理的输入装置，如摄影和电视摄像、传真技术、光学文字和图像识别技术中输入环节；
- 自动生产过程中的非接触测量元件。



- 实例：宽度测量；外径测量；主轴径向跳动测量。



- 实例：铝板宽度测量

根据几何光学，可以测出 l_1 和 l_2 ，对应着CCD中图像覆盖的光敏元的数目和像素间的距离。加上两个CCD的之间视距，得到宽度。

对于2m宽的板材，其测量精度可达 $\pm 0.25\%$ 。

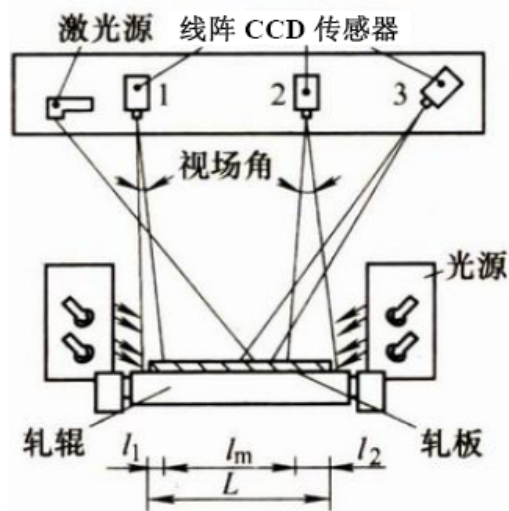
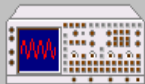


图 4.57 线阵 CCD 图像检测铝板宽度



4.9.4 超声波检测传感器

1. 超声波及其性质

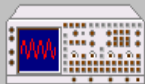
(1) 声波及其分类

- 次声波：振动频率低于20Hz的机械波。
- 音频声波：振动频率在20Hz—20KHz之间的机械波。
- 超声波：高于20KHz的机械波。
- 微波：300MHz~300GHz。

(2) 按照传播方向分类

超声波传播可分为纵波、横波和表面波等几种。

- 纵波：振动方向与传播方向相同，空气中传播声音。
- 横波：振动方向与传播方向相垂直，水波。
- 表面波：传播方向介于两者之间。



(3) 超声波的物理性质

纵波：可以在固体、气体和液体中传播。

横波：只能在固体中传播。

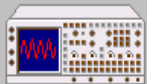
表面波：只能在固体的表面传播，随深度而迅速衰减。

通常横波传播速度是纵波的一半，表面波是横波90%。

(4) 超声波的特点

超声波与一般声波比较，振动频率高，波长短，因而具有束射特性，方向性强，可以定向传播，其能量远远大于振幅相同的一般声波，并具有很高的穿透能力。

超声波能够在界面处发生反射、折射和散射。



2. 超声波换能器

按原理分为压电式、磁致伸缩式、电磁式等。

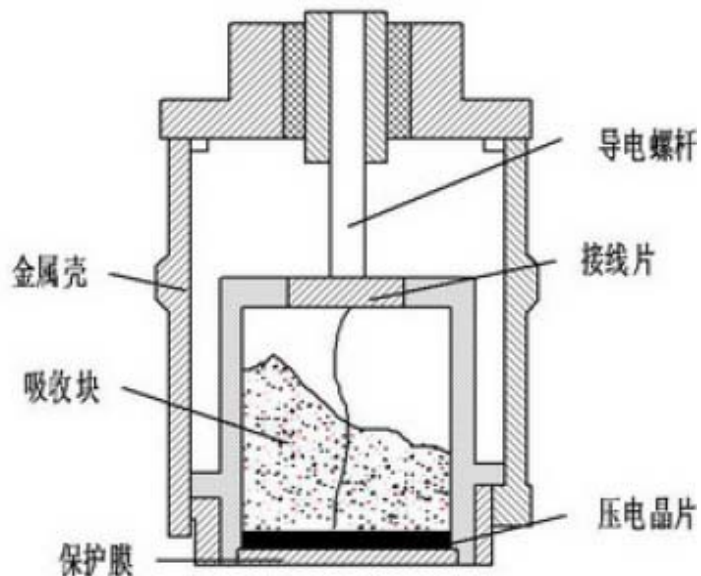
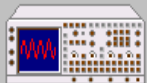


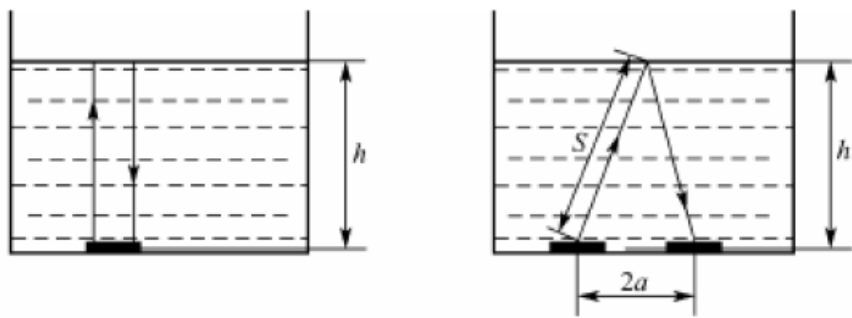
图 4.58 压电式超声波直探头



3. 超声波传感器及应用

*在工业领域主要用于物位检测、厚度检测和金属探伤；在医学上主要用于超声检查和超声清洗。

(1) 超声波测量物位



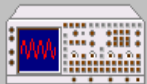
(a)



$$h = \frac{1}{2} ct$$

$$h = \sqrt{S^2 - a^2}$$

*超声物位传感器具有精度高和使用寿命长的特点，但若液体中有气泡或液面发生波动，便会产生较大的误差。在一般使用条件下，它的测量误差为±0.1%，物位检测的范围为 $10^{-2} \sim 10^4 \text{m}$ 。



(2) 超声波测量厚度

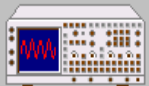
*超声波测厚主要有脉冲回波法、共振法、干涉法等几种。

脉冲回波法测量时换能器贴紧被测对象，利用发射和接收波的时间差来计算出厚度。

*测量金属零件、钢管等材料的厚度，具有测量精度高、操作简单、读数方便、易于实现连续自动监测等优点。

*不适合测量表面凹凸不平或形状很不规则的零件，以及声衰减很大的材料。

$$h = \frac{1}{2} ct$$

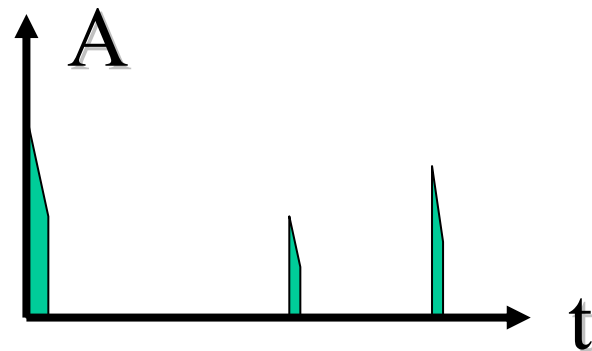
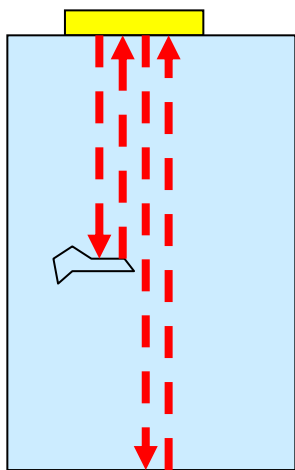


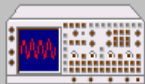
(3) 超声波探伤

* 超声波探伤是一种利用材料及其缺陷的声学性能差异对超声波传播的影响来检验材料内部缺陷的无损检验方法。

* 超声波会产生**折射、反射、散射或剧烈衰减**等。通过分析这些特性，就可以建立缺陷与超声波的**强度、相位、频率、传播时间、衰减特性**等之间的相关关系。

* 超声波探伤是目前金属、复合材料和焊接结构中应用的最为重要、最为广泛的无损检测方法，具有穿透能力强(探测深度可达数米)、灵敏度高、缺陷定位定量准确等优点。





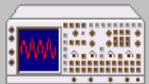
4.9.5 气敏电阻传感器

1. 气敏传感器的分类

(1) 气敏传感器是一种将检测到的气体成分和浓度转换为电信号的传感器，主要有半导体气敏传感器、接触燃烧式气敏传感器和电化学气敏传感器等几种。

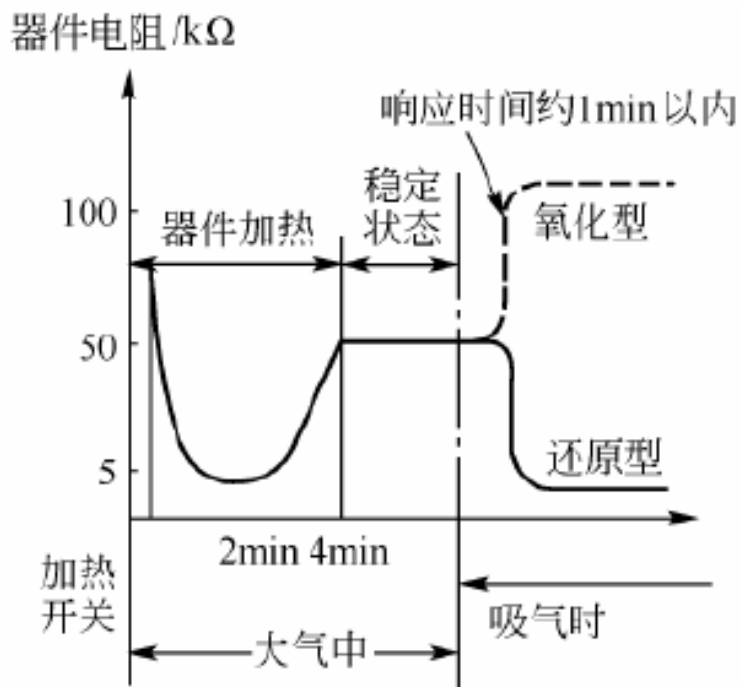
*半导体气敏传感器：半导体气敏传感器具有灵敏度高、响应快、使用寿命长和成本低等优点，应用最为广泛。

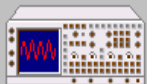
(2) 电阻式半导体气敏传感器：是利用气敏半导体材料，如氧化锡、氧化锰等金属氧化物制成敏感元件，当它们吸收了气体烟雾，如一氧化碳、醇等时，**电阻发生变化**。



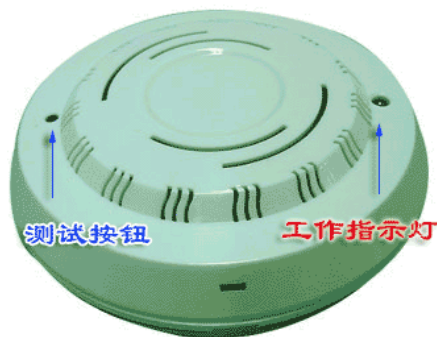
2. 电阻式气敏传感器的工作原理

金属氧化物半导体，当表面吸附有被测气体时，气敏元件表面的导电电子比例发生变化，从而随着气体浓度的变化气敏元件的电阻值发生变化。

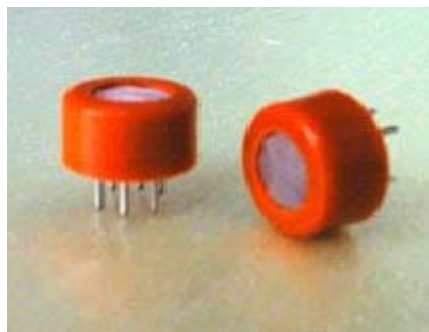




气敏传感器应用较广泛的是用于防灾报警，如煤气、或有毒气体报警，也可用于对大气污染监测、CO气体测量、酒精浓度探测等方面。



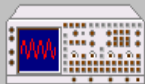
烟雾报警器



酒精传感器



二氧化碳传感器



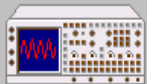
4.10 传感器选用原则

选择传感器主要考虑灵敏度、响应特性、线性范围、稳定性、精确度、测量方式等六个方面的问题。

1. 灵敏度

一般说来，传感器灵敏度越高越好，但在确定灵敏度时，要考虑以下几个问题：

- a) 灵敏度过高引起的干扰问题；
- b) 量程范围。过高的灵敏度会缩小其量程。
- c) 交叉灵敏度问题。被测量是矢量。



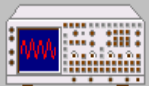
2. 精确度

传感器的精确度是表示传感器的输出与被测量的对应程度。对于定性分析，则精密度高即可，对于定量测量，则精确度要高。

3. 响应特性

传感器的响应特性是指在所测频率范围内，保持不失真的测量条件。

实际上传感器的响应总不可避免地有一定延迟，但总希望延迟的时间越短越好。



4. 可靠性

可靠性是指仪器、装置等在规定的条件下，在规定的时间内可完成规定功能的能力。

5. 测量方式

传感器工作方式，也是选择传感器时应考虑的重要因素。例如，接触与非接触测量、破坏与非破坏性测量、在线与非在线测量等。