

- Chapter 6 物理效应传感器
 - 弹性效应与元件及特性
 - 电阻应变效应与器件
 - 金属应变片
 - 半导体应变片
 - 固态压阻器件
 - 压电效应与器件
 - 压电元件的电路
 - 等效电路
 - 测量电路
 - 压电式传感器
 - 压电式压力传感器
 - 压电式加速度传感器
 - 光电效应与器件
 - 内光电效应主要器件及特性
 - 光电传感器的构成及类型
 - 红外传感原理与探测器
 - 光纤传感原理及类型
 - 光纤
 - 光纤传感器原理及组成
 - 与磁相关的效应与器件
 - 磁电效应与传感器件结构
 - 霍尔效应与半导体器件
 - 磁电阻效应与元件
 - 热阻、热电和热释电效应与器件
 - 热阻效应与热敏器件
 - 热电效应及器件
 - 热释电效应及器件
 - 与声波有关的效应及器件
 - 超声波及超声波换能器
 - 声表面波原理与器件

Chapter 6 物理效应传感器

- 压阻式传感器
- 光电式传感器
- 压电传感器
- 电磁式传感器
- 光纤传感器

弹性效应与元件及特性

📁 传感原理

- 弹性元件**基于弹性效应**把许多种形式的**非电量**转换为**便于转换为电量的应变或位移量**
- 弹性元件的**敏感性能**是决定结构型传感器性能的首要因素

☞ 理想弹性元件的特性

- 输入-输出特性
 - x 为输入量, y 为输出量, a 为与弹性元件相关的常数, a_0 为零位输出
 - $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots$
- 刚度
 - 弹性元件产生单位位移所需的力
 - 它反映弹性元件受外力作用时抵抗变形的能力
 - $k = \frac{dF}{d\omega}$
- 灵敏度
 - 在弹性元件上作用**单位力**所产生的形变
 - 刚度的倒数
 - $K = \frac{d\omega}{dF}$

☞ 其他特性及重要因素

- 固有频率
 - 弹性元件的动态特性很大程度由固有频率决定, 因此减少动态误差应该提高固有频率
 - 下式为最低固有频率
 - $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_e}}$
- 其他重要因素
 - 材料性能影响弹性元件的特性
 - 元件结构对其功能和性能有影响
 - 温度变化会改变材料的弹性模量

电阻应变效应与器件

☞ 电阻应变是力作用的结果 与以下概念有关

- 应力
 - 力/受力面积
 - 应力为正, 物体受拉力; 应力为负, 物体受压
 - 应力作用的结果是物体产生应变
- 应变 ε
 - 应力所致长度变化/未加应力时的原长
- 弹性模量 E
 - 应力/应变
 - 对于线性拉伸或压缩, 弹性模量称为杨氏模量
- 泊松比 μ
 - 材料本身决定

☞ 应变效应——元件受力作用产生应变时, 其**电阻值发生变化**, 此效应工作的元件称为应变片

☞ 应变片和应变式传感器的特点及应用

- 应变片应用
 - 结构应力
 - 应变分析
 - 转换元件

- 应变电阻测量
 - 电桥法
 - 为了提高灵敏度、克服非线性，常用**半桥差动或全桥差动**
- 应变式传感器特点
 - 测量范围广
 - 线性度好、精度较高
 - 频响好
 - 性能稳定、工作可靠、性价比高
 - 适应恶劣环境、大加速度和振动条件

金属应变片

🔗 金属应变片的组成

- 保护片
- 敏感栅
- 基底
- 引线

🔗 金属应变片的应变效应

- 电阻的相对变化
 - μ 是泊松比 ε_L 是纵向应变 ρ 是电阻率
 - $\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu)\varepsilon_L + \frac{\Delta \rho}{\rho}$
- 应变材料的灵敏系数(k)
 - 电阻的相对变化与应变之比
 - $k = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\varepsilon_L}$
 - 电阻的相对变化可表示为 $\frac{\Delta R}{R_0} = k\varepsilon_L$
- 金属应变片的应变效应主要由**结构尺寸变化**造成，灵敏系数由 $1 + 2\mu$ 决定

半导体应变片

- 压阻效应
 - 半导体晶体受力作用后阻值变化
- 半导体应变片的应变效应基于**压阻效应**(电阻率变化),相对于金属应变片，灵敏系数高，但温度稳定性和重复性差
- 测压力和速度的固态硅压阻式传感器最普遍
- 压阻系数
 - $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \pi\sigma$
 - 上式中 ρ 为电阻率 π 是压阻系数 σ 为应力
 - 影响因素
 - 半导体材料中**扩散杂质的表面浓度**
 - 所切割材料的晶向

固态压阻器件

🔗 器件原理、结构

- 利用**固体扩散技术**，把P型杂质掺杂到N型硅底层上，形成一薄层导电P型层，即制成**扩散型半导体应变片**
- 压阻器件的阻值和灵敏系数受温度影响较大
 - 温度变化导致零位温漂(零位电压随温度变化)和灵敏系数温漂，减少温度影响，用**恒流源**供电
 - 补偿灵敏系数温漂——电源回路中**串联二极管**
 - 补偿零点温漂——串、并联电阻
 - 并联电阻起补偿作用
 - 串联电阻起调零作用

压电效应与器件

☞ 定义 (压电效应可逆)

- 正压电效应
 - 外力沿压电材料特定的晶向作用使晶体变形，使得**相对的晶面上产生电荷**，去掉外力后压电材料重回不带电状态
 - $Q = dF$ d 是压电常数
 - 这种由外力作用而使材料产生电极化的现象
- 逆压电效应
 - 在压电材料特定晶向施加电场，不仅有极化现象发生，还产生机械形变，去掉电场，应力和形变随之消失

☞ 常用压电材料

- 石英晶体
 - 振荡器、谐振器、窄带滤波器的压电材料
- 压电陶瓷
 - 利用**电致伸缩效应**

压电元件的电路

☞ 压电元件

- 在**压电材料垂直于极化方向**的表面镀上金属电极、接上引线

等效电路

☞ 压电元件可视为**电荷发生器**

☞ 压电元件可等效为一个**电荷源**和一个**电容**并联 或一个**电压源**和一个**电容**串联

测量电路

☞ 阻抗变换器

- 压电元件输出信号非常微弱，需要放大才能测量
- 但压电元件内阻抗很高，难以直接使用放大器放大
- 一般都要前置放大，这种电压前置放大器即为阻抗变换器
- 两种形式
 - 电压放大器

- 适用于快变信号
- 突出优点——传感器的输出灵敏度与电缆电容无关
- 电荷放大器
 - 适用于慢变信号

压电式传感器

压电式压力传感器

📁 基本结构

- 引线
- 壳体
- 基座
- 压电晶片
- 受压膜片
- 导电片

压电式加速度传感器

📁 基本结构

- 质量块
- 压电元件
- 基座

光电效应与器件

📁 概念

- 光电效应
 - 物质在光照作用下释放电子
 - 按照光电子是否逸出，分为**外光电效应**和**内光电效应**
- 外光电效应
 - 光照射使电子逸出金属表面的现象
- 内光电效应
 - 物质受到光照时其内部原子释放的电子留在体内，使物质的电导率变化或产生光生电动势的现象
 - 内光电效应器件
 - 光敏电阻
 - 反偏工作的光敏二极管
 - 分为光电导效应和光生伏特效应
 - 光电导效应
 - 入射光强改变物质电导率的物理现象
 - 光生伏特效应
 - 半导体受光照缠身一定方向电动势的现象
 - 器件
 - 光敏二极管
 - 光敏三极管
 - 光电池

内光电效应主要器件及特性

☞ 光电池

- 分类
 - PN结光伏效应的电池
 - 利用丹培效应的电池
 - 利用金属与半导体接触光伏效应的光电池
- 特点
 - 体积小
 - 结构简单
 - 质量轻
 - 光电转换效率高

☞ 光敏二极管——既有PN结又有光电转化功能

☞ 光敏三极管——灵敏度高于光敏二极管

☞ 光敏电阻——又称光导管

- 把掺杂的半导体薄膜沉积在**绝缘基体**上即可制成光敏电阻
- 暗电阻
 - 无光照时的阻值，此时电流称为暗电流
- 亮电阻
 - 有光照射时的阻值，此时电流称为亮电流
- 光电流
 - 亮电流与暗电流之差

☞ 主要特性

- 光照特性
 - 反映器件的**输入光量与输出光电流之间的关系**
 - 灵敏度可由光照特性表征
 - 响应率 R
 - 光生电流器件 电流响应率 R_i 为输出电流 I_p 与光输入功率 P_i 之比
 - 光生伏特器件 电压响应率 R_u 为输出电压 U_p 与光输入功率 P_i 之比
- 光谱特性
 - 器件的相对灵敏度与入射光波长的关系
- 响应时间
 - 反映动态特性
- 温度特性
 - 既影响灵敏度 也影响光谱特性
 - 光谱相应的峰值随温度升高向短波方向移动
- 峰值探测率

☞ 集成光电检测器件

- 一维光位敏探测器(PSD)
- 二维光位敏探测器
- 光敏对管

光电传感器的构成及类型

☞ **光源和光敏元件**是基本单元

☞ 常见光源

- 气体放电光源
 - 高、低压水银弧、钠弧
- 发光二极管(LED)
 - 属于电致发器件
- 激光器
 - 属于相干光源

☞ 光源重要特性

- 辐射特性
- 光谱特性
- 光电转换特性
- 环境特性

☞ 光电传感器类型

- 模拟式光电传感器
 - 将被测量转换成连续变化的光电流
- 开关式光电传感器

红外传感原理与探测器

☞ 红外光最大特点——**存在光热效应、辐射热量**

☞ 测温原理——红外辐射

- 基尔霍夫定律
- 普朗克定律
- 维恩位移定律
 - 黑体发生辐射功率的波长与其自身的热力学温度成反比
- 斯蒂芬-玻尔兹曼定律

☞ 红外探测器分类

- 基于热效应的热探测器
 - 是无选择探测器
 - 在室温下工作不需制冷
 - 在整个红外波段有平坦的光谱响应
- 基于光电效应的光子探测器
 - 是选择性探测器
 - 比热探测器反映灵敏，相应快很多
 - 在很低温度下，需配致冷器

☞ 红外探测器参数

- 响应率 R
 - $R = \frac{U_0}{P}$ 输出电压 U_0 与入射到其上的辐射功率之比
 - 反映了探测器的灵敏度
- 光谱响应
 - 探测器响应率与入射光波长的关系
 - 热探测器的响应率与波长无关
 - 光子探测器的响应率是波长的函数
- 噪声等效功率NEP
 - $NEP = \frac{U_N}{R}$
- 探测率D
 - 探测率表明能探测到最小功率大小
 - $D = \frac{1}{NEP}$
- 响应时间

光纤传感原理及类型

🔗 传感机理

- 在传光过程中，光纤易受外界因素变化影响，使光纤中的光波参数
- 光波参数
 - 光强 E_0^2
 - 频率 ω
 - 波长 $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$
 - 相位 $\omega + \phi$
 - 偏振态

🔗 改变光波参数的一种 即可得到一种光纤传感器 故有5种**调制型光纤传感器**

🔗 光纤传感器优点

- 灵敏度高
- 抗电磁干扰能力强
- 耐腐蚀

光纤

🔗 种类

- 按材料分
 - 多组分
 - 石英系列
 - 液芯
 - 塑料
- 按纤芯折射率分布
 - 阶跃型(SIF)
 - 锯齿型轨迹
 - 带宽窄 适用于小容量 短距离
 - 渐变型(GIF),又称自聚焦光纤
 - 轨迹类似正弦波

- 带宽较宽，适于中容量、中距离
- 传输模式
 - 单模(SMF)
 - 多模(MMF)

📖 传光原理

- Snell定律
- 光纤的NA值代表光纤的集光能力
 - $NA = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$

📖 特性

- 光纤损耗
 - 随传输距离增加，功率逐渐减小 用损耗系数 α 表示
 - $\alpha = \frac{10}{L} \log\left(\frac{P_i}{P_o}\right)$
 - P_i 和 P_o 分别表示光纤入射端和出射端的光功率
 - 损耗的原因
 - 光纤材料吸收能量
 - 散射作用
 - 光纤使用中由于连接、弯曲导致附加光功率损失
- 色散
 - 随着传输距离增加，不同成分的光传输时延不同引起的脉冲展宽效应
 - 类型
 - 模式色散
 - 材料色散
 - 波导色散

光纤传感器原理及组成

📖 工作原理即为**光纤传感原理**

📖 分类

- 按光纤所起作用分类
 - 功能(FE)型
 - 光纤既传光又作敏感元件
 - 非功能(NFE)型
 - 光纤只传光，入射和出射光纤之间有敏感元件
- 按光纤中的光被调制的原理分类
 - 强度调制
 - 相位调制
 - 频率调制
 - 偏振调制
- 按测量对象分类
 - 压力、位移、温度、流量

📖 组成

- 光源
- 光纤耦合器
- 光纤
- 光探测器

与磁相关的效应与器件

磁电效应与传感器件结构

☞ 磁电效应原理——法拉第电磁感应定律 $e = -W \frac{d\Phi}{dt}$

- 改变线圈匝数 W 或磁通变化率，都可使电势变化，可以得到不同结构的磁电式传感器

☞ 分类

- 动圈式
- 动磁铁式
- 磁阻式

霍尔效应与半导体器件

☞ 霍尔效应

- 置于均匀磁场中的导体或半导体薄片沿长度方向通电流时，在宽度方向上产生一个横向电场，称为**霍尔电场**，产生的电势称为**霍尔电势**，此现象称为**霍尔效应**
- 霍尔电势 $U_H = \frac{R_H IB}{d}$ d 是霍尔元件的厚度 R_H 是霍尔系数，它是载流体电阻率 ρ 和载流子迁移率 μ 之积
- 半导体材料电阻率大且载流子迁移率高 适合制造霍尔元件

☞ 霍尔元件的主要参数与特征

- 输入输出电阻
- 额定控制电流 I_c
 - 使元件在空气中温升10摄氏度的电流值
- 灵敏度 $K_H = \frac{f_H R_H}{d}$
 - f_H 为形状系数
- 磁通密度灵敏度 $K_B = \frac{f_H R_H I}{d}$
- 磁场的线性
 - 霍尔元件的负载电阻影响 U_H 与磁场的相互关系
 - $U_H = \frac{U_{HO} R_L}{r + R_L}$
 - U_{HO} 是无负载时的霍尔电势
- 不平衡电压
 - 无磁场作用时有微小输出电压
- 温度特性
 - 霍尔元件受温度影响大
 - 补偿
 - 输入端并联电阻
 - 热敏电阻法

☞ 霍尔元件种类

- InAs霍尔元件
- InAsP
- GaAs
- 硅

磁电阻效应与元件

☞ 非磁体的磁电阻效应(MR)

- 在通电流的非磁体上施加磁场，其电阻值发生变化
- 产生该现象的原因
 - 磁场改变了载流子的漂移路径
- 分类
 - 物理磁阻效应
 - 弱磁场中材料电阻率随磁场增大的效应
 - 几何磁阻效应
 - 由半导体形状改变引起的阻值变化效应

☞ 强磁性金属的磁电阻效应

- 强磁性金属
 - 高磁导率的金属
- 定向磁电阻效应(AMR)
 - 在弱磁场中，当磁场强度大于某一值时，强磁性金属的电阻率与磁场强度无关，只与磁场和电流的方向夹角有关

☞ 巨磁电阻(GMR)效应

☞ 磁阻元件

☞ 磁致伸缩效应 压磁效应

- 压磁效应是磁致伸缩效应的逆效应

热阻、热电和热释电效应与器件

热阻效应与热敏器件

☞ 热阻效应

- 电阻率随温度变化的现象
 - 金属电阻
 - 半导体热敏电阻

热电效应及器件

☞ 热电效应

- 两种不同金属或半导体串接成闭合回路，当两个结点处的温度不同时，回路中将产生**热电势**的现象
- 热电势的组成
 - 不同材料的接触电势

- 同种材料的温差电势

☞ 帕尔贴效应——热电效应的逆效应

- 利用该原理可制作制冷器

热释电效应及器件

☞ 热释电效应

- 由于环境温度变化，晶体的热膨胀和热振动状态发生变化，在晶面上产生电荷，表现出的自发极化现象
- 利用该原理做**红外敏感器件**

☞ 热释电探测器

与声波有关的效应及器件

超声波及超声波换能器

☞ 超声波

- 频率很高的机械波
- 特征
 - 方向性好
 - 在固体、液体中衰减很小
- 应用
 - 超声测距
 - 物位测量

☞ 超声波传感器

- 通过测量媒质的声学特性来检测各种非声量
 - 声学特性
 - 声速
 - 声阻抗率
 - 声衰减

☞ 超声波换能器

- 超声的发射和接受部分称为超声波换能器
- 分类
 - 按结构
 - 直式换能器
 - 斜式换能器
 - 按作用原理
 - 压电式
 - 磁致伸缩式
 - 电磁式

声表面波原理与器件

📁 声表面波

- 一种能量集中于表面传播的声波

📁 声表面波叉指换能器

📁 声表面波谐振器