

# 第 11 章

## 智能集成传感器

### 11.1 智能传感器

- 传统传感器由**敏感元件**、**转换元件**和**转换电路**组成
- 技术发展和制造工艺水平提高，传感器日趋**小型化**、**集成化**
- 根据使用要求发展成为集**多种功能**的组合物

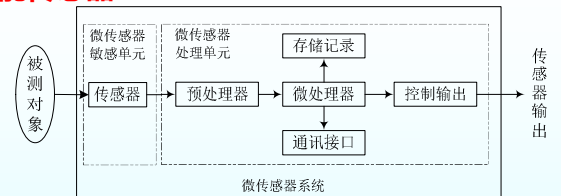
集**感知**、**信息处理**和**通信**于一体，能提供一定**知识级别**信息，具有**自诊断**、**自校正**、**自补偿**等功能

自带**微处理器**，除了**感知被测量**、**信号处理**和**记忆**、**通信**等功能外，还具有**逻辑推理**、**识别算法**和**判断**等能力

### 11.1 智能传感器

- 采用微电子和计算机技术，将**传感器**和**微处理器**结合，开发出各种功能的单片集成化智能传感器
- 半导体敏感材料**制成的传感器，将**敏感元件**、**调理电路**和**微型计算机**等集成在同一**芯片**，实现多敏感单元**阵列化**
  - 超大规模集成电路构成的**芯片式传感器**
- 利用**生物工艺**和**纳米技术**制成**功能材料**，开发**分子**和**原子**生物传感器，结合半导体工艺制作**信号采集与处理电路**、**模数转换电路**和**微处理器**
  - 完成**数据处理**、**智能算法**和**通信**等功能
- 关键：新型**敏感材料**、**半导体集成电路**和**制造技术**

### 11.1 智能传感器



- 由**敏感单元**和**处理单元**构成的微传感器系统
- 传感器：完成被测对象**信号获取**，为单个、多个不同类别传感器，或将多个功能相同的传感器按一定规律组成**集成阵列**
- 预处理器：**信号放大**、**滤波**和**模/数转换**等
- 微处理器：**信号分析**、**补偿**或**校正**的运算、**数据融合**、**逻辑算法**等
- 存储记录模块：**保存数据**信息
- 通讯接口：实现与上位机的**数据交换**
- 控制输出模块：**显示**、**报警**等

### 11.1 智能传感器

- 具有通信功能，网络化应用日益普及
  - 物联网、**网络化自动测控**、**智能柔性制造**和**无人化车间**等
- 以智能传感器在物联网中的应用为例
  - 物联网中的对象**节点**就是智能传感器，监测周边环境或自身状态
  - 汽车移动需要接入车辆**地理位置**信息和车辆**状态**信息
  - 大型桥梁和地质灾害的**网络化监控**需要多个不同类型物联网智能传感器，如**压力**、**温度**、**湿度**、**气压**等，**独立组网**或组成**局域网**后再联网。

### 11.1 智能传感器

#### 网络化智能传感器

- 使传感器由**独立检测**向**多点检测**、**单功能**向**多功能**发展
- 从**本地**测量向**远距离**、**实时**、**在线**检测发展
- 测控系统的**信号采集**、**数据处理**等方式产生质的飞跃
  - 各种**现场数据**直接在网络上传输、发布和共享
- 可以在网络任何节点对现场传感器进行**在线编程**和**组态**
  - 实现**实时远程**监测和控制

## 11.2 微型与集成化传感器

- 传感器微型化是传感器发展的重要方向之一
- 微机械电子系统 ( Micro Electro Mechanical System, MEMS ) 是传感器微型化基础
- 微传感器系统是实用的MEMS, 简称微机电系统
- 源于MEMS微电子和现代信息技术、硅与非硅微加工和精密机械加工等多种微加工技术, 将信号获取、处理和通信等功能集成于一个器件上
- MEMS可以制作微传感器、微执行器、微能源等微机械基本部分, 也可制作高性能电子集成电路组成的微机电器件和装置

## 11.2 微型与集成化传感器

### 微机电系统开发涉及的基础研究

#### 1. 基础理论研究

随着尺寸缩小, 物质宏观特性发生改变, 需要研究微机械学、微流体力学、微热力学、微摩擦学、微光学、微结构学、纳米生物学等。

#### 2. 技术基础研究

主要涉及微机电设计、微机电材料、微机电加工、集成与控制等技术。

##### 1) 微机电设计技术

MEMS依赖CAD系统, 包括版图设计、工艺模拟、性能分析等主要功能的MEMSCAD原型系统。

##### 2) 微机电材料技术

MEMS的材料既要保证性能要求, 又必须满足加工方法要求。MEMS中主要使用的材料包括硅、形状记忆合金、压电材料、磁致伸缩材料、电流凝胶等。

## 11.2 微型与集成化传感器

### 微机电系统开发涉及的基础研究

#### 2. 技术基础研究

##### 3) 微机电加工技术

微机电加工是MEMS核心技术, MEMS采用的众多材料中, 最常用的材料是硅, 微加工技术与集成电路制造技术基本通用

如: 氧化、参杂、光刻、腐蚀、外延、淀积、钝化等。新加工方法有: 键合、LIGA(光刻, 电铸和注模)、准分子激光加工和特种精密加工等

##### 4) 集成与控制技术

集成是MEMS制造的最后步骤, 包括微传感器、微执行器、微处理器、通信电路以及微能源的集成等, 运用控制技术组合, 构成微传感器系统

## 11.2 微型与集成化传感器

### 微机电系统开发涉及的基础研究

#### MEMS应用

- 在人工智能、生命科学、航空航天、智能制造、智慧医疗、智能家居和台区、汽车工业和物联网等领域——需求和应用广泛
- 硅敏感材料与半导体可以直接集成制造微传感器系统
- 敏感材料只有微型化制成微机电系统, 才能与处理电路、微处理器、通信电路等集成
- 传感部分的微型化是集成传感器的基础

## 11.3 集成压阻式传感器

### 11.3.1 压阻效应

对半导体材料施加应力时, 会产生形变, 材料电阻率也发生变化, 该变化由半导体材料特性决定、各向异性, 压阻效应的表达式:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_L \epsilon_L$$

式中,  $\rho$  — 半导体材料电阻率

$\Delta \rho$  — 受应力后的电阻率变化量

$\pi_L$  — 沿某晶向  $L$  的压阻系数

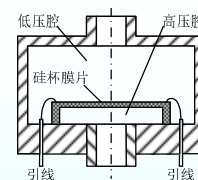
$\epsilon_L$  — 沿晶向  $L$  的应力

- 主要用于测量力、压力、加速度、载荷和扭矩等物理量。
- 硅晶体弹性形变性能好、压阻效应显著
- 扩散硅型压阻式传感器具有灵敏度高、动态响应快、测量精度高、稳定性好、工作温度范围宽、使用方便等特点, 应用广泛。

## 11.3 集成压阻式传感器

### 11.3.2 扩散硅型压阻式传感器原理

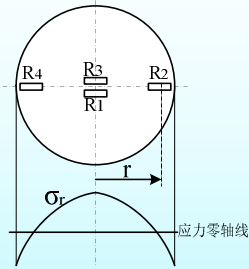
- 由外壳、硅膜片制成的硅杯和引线等组成, 核心部分是做成环状的硅杯, 用于感受被测压力。
- 硅膜片上, 用半导体工艺的扩散掺杂法在不同位置制作4个等值电阻, 经蒸镀铝电极及连线, 接成惠斯顿电桥, 再用压焊法与外引线相连。膜片的一侧是和被测系统连接的高压腔, 另一侧是低压腔, 通常与大气相通。
- 当膜片两边存在压力差而发生形变时, 膜片各点所产生的应力不同, 从而使处于不同位置的扩散电阻的阻值不再相等, 电桥失去平衡并输出相应的电压, 其电压大小反映膜片所受的压力差值。



### 11.3 集成压阻式传感器

#### 11.3.2 扩散硅型压阻式传感器原理

- 硅膜片受高、低压腔的压力差后发生变形，应力分布如右图所示。
- 由图可见，均布压力差在顶端圆形膜片上产生的应力不均匀，其径向应力的分布曲线是一个开口向下的抛物线，有正应力区和负应力区，膜片的中心位置受拉，硅杯的外缘部分受压。



### 11.3 集成压阻式传感器

#### 11.3.3 压阻式集成压力传感器

采用半导体集成技术将扩散硅型压阻式压力敏感元件与温度补偿网络、放大器等集成在同一基片，即构成压阻式集成压力传感器。

##### 1) 带温度补偿的集成压力传感器

- 环境温度对集成压力传感器的影响有二：  
零点漂移和灵敏度漂移。
- 提高传感器性能和精度，必须实施温度补偿
- 零点漂移：指传感器在不受压力时的输出变化量，由扩散电阻的阻值随温度变化引起。可通过在扩散电阻桥路的适当桥臂并联或串联电阻补偿
- 敏感元件自身输出电压较小，需后级放大并引入了相关电路的温度系数，所以对于零点漂移实施温度补偿应考虑电路系统

### 11.3 集成压阻式传感器

#### 11.3.3 压阻式集成压力传感器

##### 1) 带温度补偿的集成压力传感器

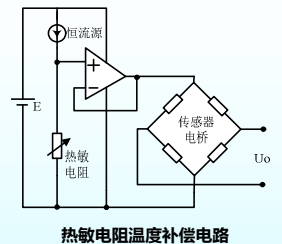
- 灵敏度漂移：灵敏度随温度变化而引起的传感器校准曲线斜率的变化（亦即传感器满量程输出的变化）
- 压阻式集成压力传感器输出电压的幅值随温度升高而降低
- 在任意固定压力下，传感器的输出电压与所加的激励电压成比例
- 补偿方法：设法使加于传感器的激励电压随温度升高而增大，反之亦然

### 11.3 集成压阻式传感器

#### 11.3.3 压阻式集成压力传感器

##### 1) 带温度补偿的集成压力传感器

- 用恒流源在热敏电阻上的压降作为电压基准（运放输出），供压传感器电桥，当温度变化时，热敏电阻的阻值变化，供桥电压上升，用于补偿传感器电桥输出的温度漂移
- 热敏电阻有正温度特性热敏电阻和负温度特性热敏电阻，热敏电阻的温度特性要与传感器的零点漂移、灵敏度漂移的综合温度特性相匹配

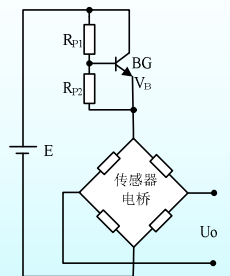


### 11.3 集成压阻式传感器

#### 11.3.3 压阻式集成压力传感器

##### 1) 带温度补偿的集成压力传感器

- 利用三极管的基极与发射极间PN结的温度敏感特性，使三极管的输出电流发生变化，改变其管压降，从而改变传感器桥路的激励电压，以此达到温度补偿目的。



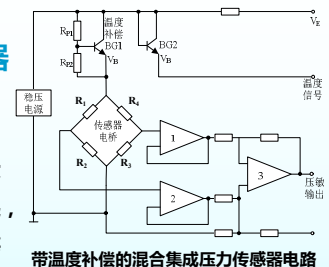
带温度补偿的集成压力传感器

### 11.3 集成压阻式传感器

#### 11.3.3 压阻式集成压力传感器

##### 2) 带放大器的混合集成压力传感器

- 把力敏半导体电阻、温度补偿、电压放大等电路采用集成电路制作工艺集成在一起，具有放大器的零点失调调节、温度信号等引脚输出，使用灵活方便
- 如右图， $R_1 \sim R_4$ 是制作在硅膜上的力敏电阻，构成桥路，内部自带稳压源，通过BG1进行温度补偿。电桥的输出信号经两个独立运放电压跟随后进行差分放大，由运放3输出与压力对应的电压信号，输出电压的零点通过引出端可调。BG2作为片内感温三极管得到片上的温度供外部补偿电路使用。



带温度补偿的混合集成压力传感器电路

## 11.4 集成霍尔式传感器

### 11.4.1 霍尔线性集成传感器

#### 工作原理

霍尔电势  $U_H$  与激励电流  $I$ 、磁感应强度  $B$  成正比，

即： $U_H \propto K_H IB$  其中： $K_H$  为灵敏度系数。

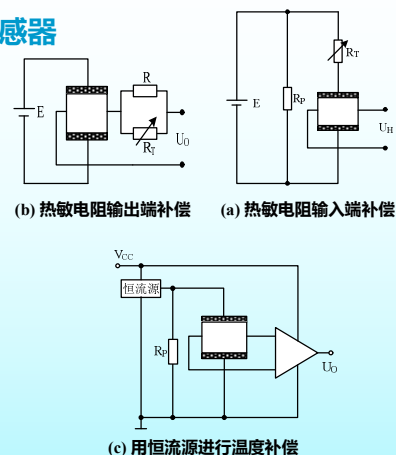
- 霍尔元件温度误差可用输入回路的恒流源及并联电阻方式供电，采用适当的并联电阻消除霍尔元件的温度误差
- 一般由霍尔元件、恒流源、温度补偿电路、线性放大器等组成
- 输出模拟电压信号，输出值与外加的磁感应强度呈线性比例关系，被测量是磁感应强度

## 11.4 集成霍尔式传感器

### 11.4.1 霍尔线性集成传感器

#### 工作原理

- 霍尔线性集成传感器的温度补偿电路可以用输入端或输出端的热敏电阻补偿，见(a)和(b)
- 也可以用恒流源及并联电阻  $R_p$  补偿，如图(c)所示
- 霍尔元件是半导体材料，恒流源、温度补偿电路、放大器等能够容易地集成在一个芯片上



## 11.4 集成霍尔式传感器

### 11.4.2 霍尔开关集成传感器

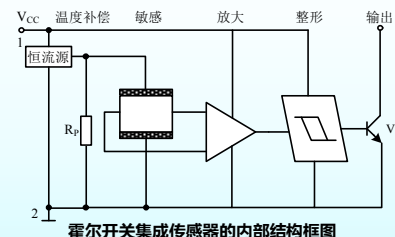
#### 工作原理

- 霍尔开关集成传感器根据应用需要设计成专门的开关型工作传感器
- 能感知一切与磁信息有关的物理量，以**开关信号**形式输出
- 具有**无触点磨损、无火花干扰、无转换抖动、工作频率高**等特点
- 以硅为材料、利用硅平面工艺制造，应用广泛
- N型硅的外延层材料很薄，可以提高霍尔电压  $U_H$
- 应用硅平面工艺技术集成差分放大器、施密特触发器及霍尔元件，可以大幅提高灵敏度

## 11.4 集成霍尔式传感器

### 11.4.2 霍尔开关集成传感器

#### 工作原理

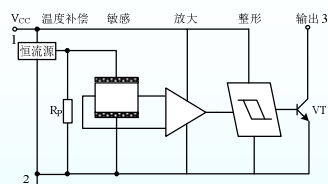


- 霍尔开关集成传感器主要由**稳压电路、霍尔元件、放大器、整形电路、开路输出**五部分组成，输出高、低电平数字式信号。
- 稳压电路可使传感器在较宽的电源电压范围内工作，开路输出可使传感器方便地与各种逻辑电路接口。

## 11.4 集成霍尔式传感器

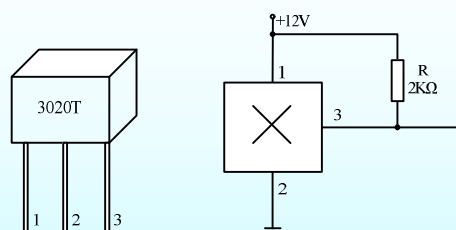
### 11.4.2 霍尔开关集成传感器

- 工作时，当磁场作用于传感器，根据霍尔效应输出霍尔电压  $U_H$ ，该电压经放大器放大后，送全施密特整形电路。
- 放大后的  $U_H$  大于“开启”阈值时，施密特整形电路翻转，输出高电平，使三极管 VT 导通，且具有吸收电流的负载能力（OC 门输出）。
- 当磁场减弱时， $U_H$  很小，经放大后也小于施密特整形电路的“关闭”阈值，施密特整形电路再次翻转，输出低电平，使三极管 VT 截止。
- 一次磁场强弱的变化就完成了—次开关动作，任何能影响到磁场、磁路变化的物理量，均可用霍尔开关集成传感器进行检测。



## 11.4 集成霍尔式传感器

### 11.4.2 霍尔开关集成传感器



霍尔开关集成传感器的外形及典型应用电路

- 由于3端输出是OC门（集电极开路，Open Collector），可外接中间继电器的线圈和供电电源。

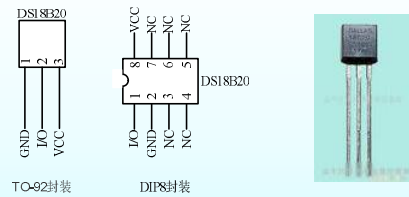


## 11.5 集成数字式温度传感器

- 依据半导体材料电阻温度特性，或PN结温度压降特性等，通过集成电路工艺开发的集成传感器
- 特点：使用简便，精度高
- 许多公司开发出了商用的集成温度传感器
- 美国模拟器件(ADI)、德州仪器(TI)、美信(MAXIM)和恩智浦(NXP)等
- 模拟输出类型的温度传感器仅包含温度感应部分，输出模拟电压信号，需配套外围电路使用
- 数字温度传感器集成了模拟-数字(温度-脉冲)信号转换器、补偿电路和微处理器等，其输出可直接提供给CPU或DSP等数字信号处理器处理

## 11.5 集成数字式温度传感器

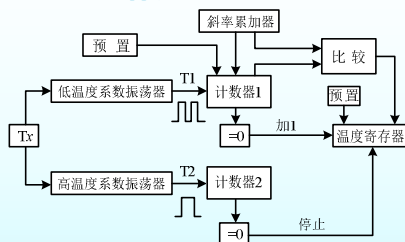
### 11.5.1 DS18B20工作原理



- DS18B20是常用的数字温度传感器，其输出的是数字信号，具有体积小，硬件开销低，抗干扰能力强，精度高的特点。
- 工作电压为3V~5.5V，静态功耗3μA，分辨率为9~12位可编程，转换为12位数字最大时间750ms。常见封装TO-92和DIP8。

## 11.5 集成数字式温度传感器

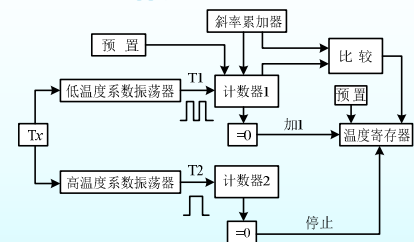
### 11.5.1 DS18B20工作原理



- 低温度系数晶振的振荡频率受温度影响小，用于产生固定频率的脉冲信号，发送给计数器1。
- 高温度系数晶振随温度变化，其振荡频率明显改变，产生的信号作为计数器2的脉冲输入。
- 计数器1和温度寄存器被预置在-55℃所对应的一个基数值。

## 11.5 集成数字式温度传感器

### 11.5.1 DS18B20工作原理



- 计数器1对低温度系数晶振产生的脉冲信号进行减法计数，当计数器1的预置值减到0时，温度寄存器的值将加1，计数器1的预置值将重新被装入，计数器1重新开始对低温度系数晶振产生的脉冲信号进行计数，如此循环直到计数器2计数到0时，停止温度寄存器值的累加，此时温度寄存器中的数值即为所测温度。
- 斜率累加器用于补偿和修正测温的非线性，其输出用于修正计数器1的预置值。

## 11.5 集成数字式温度传感器

### 11.5.1 DS18B20工作原理

- DS18B20的测温原理是通过计数时钟周期数来实现的，被测温度 $T_x$ 同时调制低温度系数振荡器和高温度系数振荡器，这两个振荡器输出的振荡周期分别被设计成被测温度 $T_x$ 的线性和平方关系，可简单表示为：

$$\begin{aligned} \varnothing_1 &= k_1 \varnothing T_x & \varnothing_1 & \text{是低温度系数振荡器输出脉冲的周期;} \\ \varnothing_2 &= k_2 \varnothing T_x^2 & \varnothing_2 & \text{是高温度系数振荡器输出脉冲的周期;} \end{aligned}$$

如果计数器1被预置一个与-55℃（测量温度下限）对应的某个基数值 $m$ ，计数器2就是对应125℃（测量温度上限）的值。计数器1是一个减法计数器，每输入一个周期为 $\varnothing_1$ 的脉冲后减1。当计数器减至0时，计数器1产生溢出脉冲并被重新置 $m$ 。

## 11.5 集成数字式温度传感器

### 11.5.1 DS18B20工作原理

- $\varnothing_2$  是门控信号，在开门的时限内，如果计数器1有溢出，表示 $T_x$ 高于-55℃。此后计数器1的每次溢出，温度寄存器值都加1，直到计数器2的门控信号关闭为止，于是温度寄存器中的内容将为：

$$N_x \varnothing \frac{\varnothing_2}{\varnothing_1} \varnothing \frac{k_2 \varnothing T_x^2}{m[k_1 \varnothing T_x]} \varnothing k \varnothing T_x$$

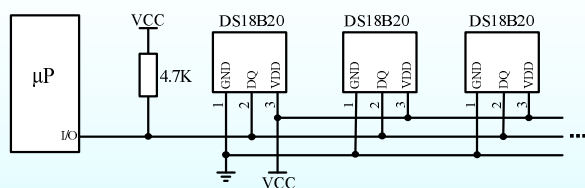
式中， $k \varnothing \frac{k_2}{m \varnothing T_x}$  为常数。当 $T_x = 125^\circ\text{C}$ 时， $N_x$ 就是温度寄存器的最高值

高、低温度系数振荡器函数关系设计是影响测温精度的关键，斜率累加器可适当补偿由于温度转换振荡器而产生的非线性误差。

计数结束后的转换值被存放到温度寄存器中，再由主机通过发送存储器命令读出。

## 11.5 集成数字式温度传感器

### 11.5.2 DS18B20的应用

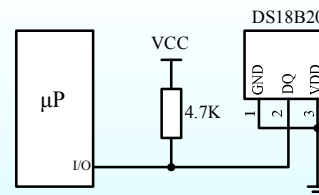


外部供电方式的多点测温电路图

- 如果要实现多点测温，组网数量大于一定的数量，线路压降将导致转换精度下降，此时需要在传感器的VDD端引入外接电源才能保证转换精度，且GND端不能悬空，需要接地。

## 11.5 集成数字式温度传感器

### 11.5.2 DS18B20的应用

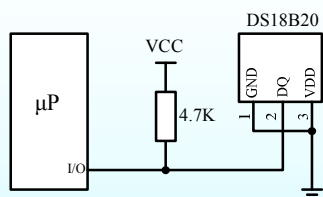


DS18B20的单点测温电路图

- 如果要实现多点测温，组网数量大于一定的数量，线路压降将导致转换精度下降，此时需要在传感器的VDD端引入外接电源才能保证转换精度，且GND端不能悬空，需要接地。

## 11.5 集成数字式温度传感器

### 11.5.2 DS18B20的应用



DS18B20的单点测温电路图

- 外部电源供电方式是DS18B20最佳的工作方式，工作稳定可靠，抗干扰能力强，而且电路简单，可以开发出稳定可靠的多点温度监控系统。
- 在外接电源方式下，可以充分发挥DS18B20宽电源电压范围的优点，即使电源电压VCC降到3V时，依然能够保证温度量精度。

## 11.5 集成数字式温度传感器

### 11.5.2 DS18B20的应用

#### 注意事项

- 进行读写编程时，应严格保证读写时序，否则将无法读取测温结果。
- 连接DS18B20的总线电缆有长度限制。当采用普通信号电缆传输长度超过50m时，读取的测温数据可能引发发生错误。
- 在用DS1820进行长距离测温系统设计时要充分考虑总线分布电容和阻抗匹配问题。
- 向DS1820发出温度转换命令后，程序要等待返回信号，一旦某个DS1820接触不好或断线，程序进入死循环。
- 测温电缆线建议采用屏蔽4芯双绞线，其中一对线接地线与信号线，另一组接VCC和地线，屏蔽层在源端单点接地。

# The End