



# 集成化智能传感器



武汉理工大学 机电工程学院





# 集成化智能传感器

## 一、概述

智能传感器系统是一门现代综合技术，是当今世界正在迅速发展的高新技术，至今还没有形成规范的定义。早期，人们简单、机械地强调在工艺上将传感器和微处理器两者紧密结合，认为“传感器的敏感元件及其信号调理电路与微处理器集成在一块芯片上就是智能传感器”，显然，这种定义过于狭义。

智能传感器的中、英文称谓很多，目前尚未统一。一般认为“intelligent Sensor”是英国人对智能传感器的称谓，而“Smart Sensor”是美国人对智能传感器的俗称。Johan H. Huijsing 在“Integrated Smart Sensor”一文中按集成化程度的不同，分别称为“Smart Sensor”，“Integrated Smart Sensor”。“Smart Sensor”的中文译名有的译为“灵巧传感器”，也有译为“智能传感器”。目前国内大多数采用集成智能传感器（Integrated Smart Sensor）的称谓，简称智能传感器（intelligent Sensor），并且认为：“传感器与微处理器赋予智能的结合，兼有信息检测和信息处理的传感器是智能传感器（系统）”；将传感器与微处理器集成在一块芯片上只是构成智能传感器（系统）的一种方式。



## 二、集成化智能传感器的功能与特点

### 1. 集成化智能传感器的功能

集成化智能传感器的功能是通过比较人的感官和大脑的协调动作，总结长期以来传感器测量的实际经验而提出的。概括而言，主要功能如下：

#### (1) 自补偿和计算

智能传感器的自补偿和计算功能为传感器的温度漂移和非线性补偿开辟了新的道路。即使传感器的加工不太精密，只要能保证其重复性好，通过传感器的计算功能也能获得较精确的测量结果。



# 集成化智能传感器

## (2) 自检、自诊断和自校正

普通传感器需要定期检验和标定，以保证其精确度。检验和标定时一般要求将传感器从使用现场拆卸下来拿到实验室进行，很不方便。而集成化智能传感器的检验校正可以在线进行。一般所要调整的参数主要是零位和增益。将校正功能软件存储在智能传感器的存储器中，操作者只要输入零位和一些已知参数，智能传感器的微处理器就能自动将随时间变化了的零位和增益校正过来。

## (3) 复合敏感功能

集成化智能传感器能够同时测量多种物理量和化学量，具有复合敏感功能，能够给出全面反映物质和变化规律的信息。如压力、真空度，温度梯度、热量和熵，浓度、pH值等分别反映物质的力、热、化学特性。



## (4) 接口功能

由于传感器中使用了微处理器，其接口容易实现数字化与标准化，可方便地与一个网络系统或上一级计算机进行接口，这样就可以由远程中心计算机控制整个系统工作。

## (5) 显示报警功能

集成化智能传感器通过接口与数码管或其他显示器结合起来，可选点显示或定时循环显示各种测量值及相关参数。测量结果也可以由打印机输出。此外，通过与预设上下限值的比较还可实现超限值的声光报警功能。



## (6) 数字通讯功能

集成化智能传感器可利用接口或智能现场通讯器（SFC）来交换信息。SFC可挂在传感器两信号输出线的任何位置，通过键盘的简单操作进行远程设定或变更传感器的参数，如测量范围、线性输出或平方根输出等。这样，无需把传感器从危险区取下来，极大地节省了维护时间和费用。

综上所述，集成化智能传感器功能模块可分为两部分：基本传感器部分和信号处理单元部分。基本传感器的功能主要是用传感器测量被测参数，并将传感器的识别特性和计量特性存在可编程的只读存储器（PROM）中，以便校准计算。信号处理单元部分主要是由微处理器计算和处理被测量，并滤除传感器感知的非被测量。这两个部分通常是集成在一起，形成一个整体，封装在一个壳体内。两个部分也可以远距离实现，特别是在测量现场环境较差的情况下，这有利于电子元件和微处理器的保护，也便于远程控制和操作。



## 2. 集成化智能传感器的特点

集成化智能传感器与传统传感器相比具有以下特点：

### (1) 精度高

集成化智能传感器有多项功能来保证它的高精度，如自动校零以去除零点误差；与标准参考基准实时对比以自动进行整体系统校定；自动进行整体系统的非线性等系统误差的校正；通过对采集的大量数据的统计处理以消除偶然误差的影响。这些措施保证了智能传感器有很高的测量精度。





## (2) 可靠性与稳定性高

集成化智能传感器可以自动补偿因工作条件与环境参数发生变化后引起的系统特性的漂移，如温度补偿；自动转换量程以适应被测参数的变化；自我检验、分析、判断所采集数据的合理性，并给出异常情况的应急处理（报警或故障提示）等。因此集成化智能传感器具有高可靠性与高稳定性。

## (3) 信噪比与分辨力高

由于集成化智能传感器具有数据存储、记忆与信息处理功能，通过软件进行数字滤波、相关分析等处理，可以去除输入数据中的噪声，取出有用信号；通过数据融合、神经网络等技术，可以消除多参数状态下交叉灵敏度的影响，从而保证在多参数状态下对特定参数测量的分辨力。因此集成化智能传感器具有高信噪比和高分辨力。





## (4) 自适应性强

由于集成化智能传感器具有判断、分析与处理功能，它能根据系统工作情况决策各部分供电情况、与上位计算机的数据传输速率，使系统工作在最低功耗状态和优化传送效率。

## (5) 性能价格比高

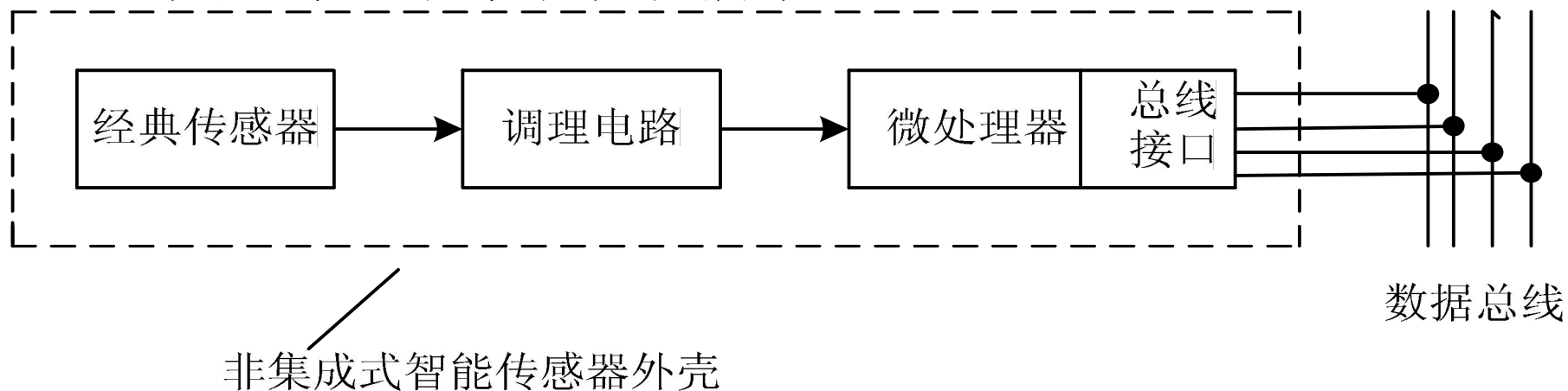
集成化智能传感器所具有的上述高性能，不是像传统传感器技术追求传感器本身的完善、对传感器的各个环节进行精心设计与调试、进行“手工艺品”式的精雕细琢来获得，而是通过与微处理器/微计算机相结合，采用廉价的集成电路工艺和芯片以及强大的软件来实现的，所以其性能价格比高。

## 三、智能传感器的实现

目前，智能传感器主要有如下三条实现途径：

### 1. 非集成化实现

非集成化智能传感器是将传统的经典传感器（采用非集成化工艺制作的传感器，仅具有获取信息的功能）、信号调理电路、带数字总线接口的微处理器组合为一整体而构成的一个智能传感器系统。其组成框图如图所示。





# 集成化智能传感器

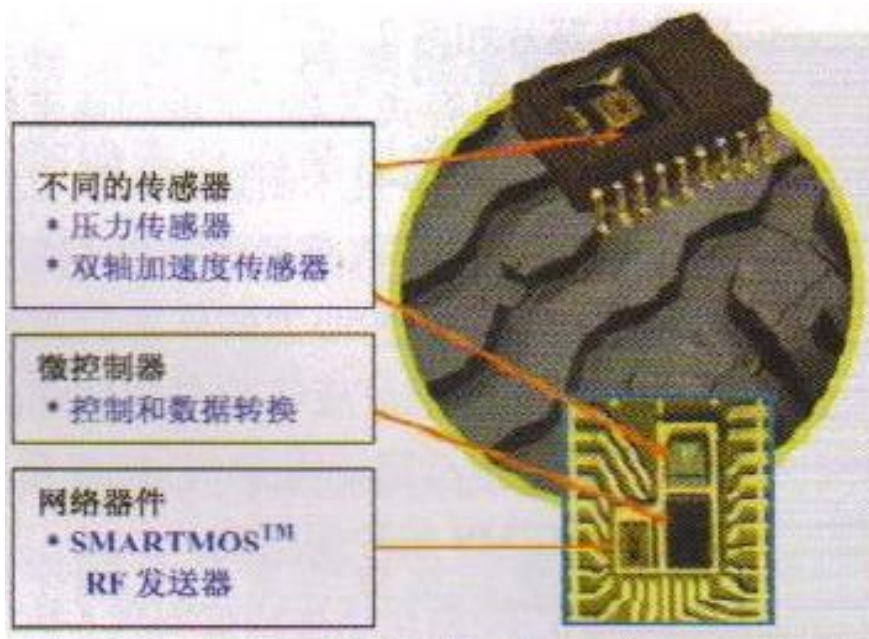
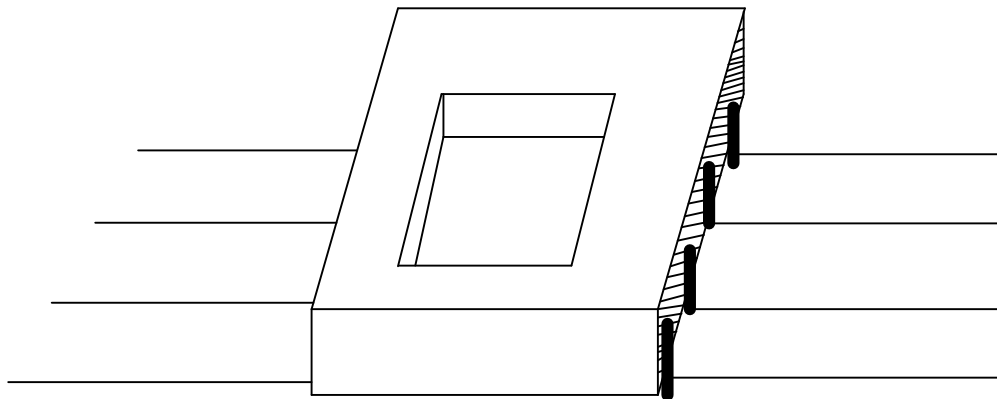


图5. MPXY8300 新一代电容传感器



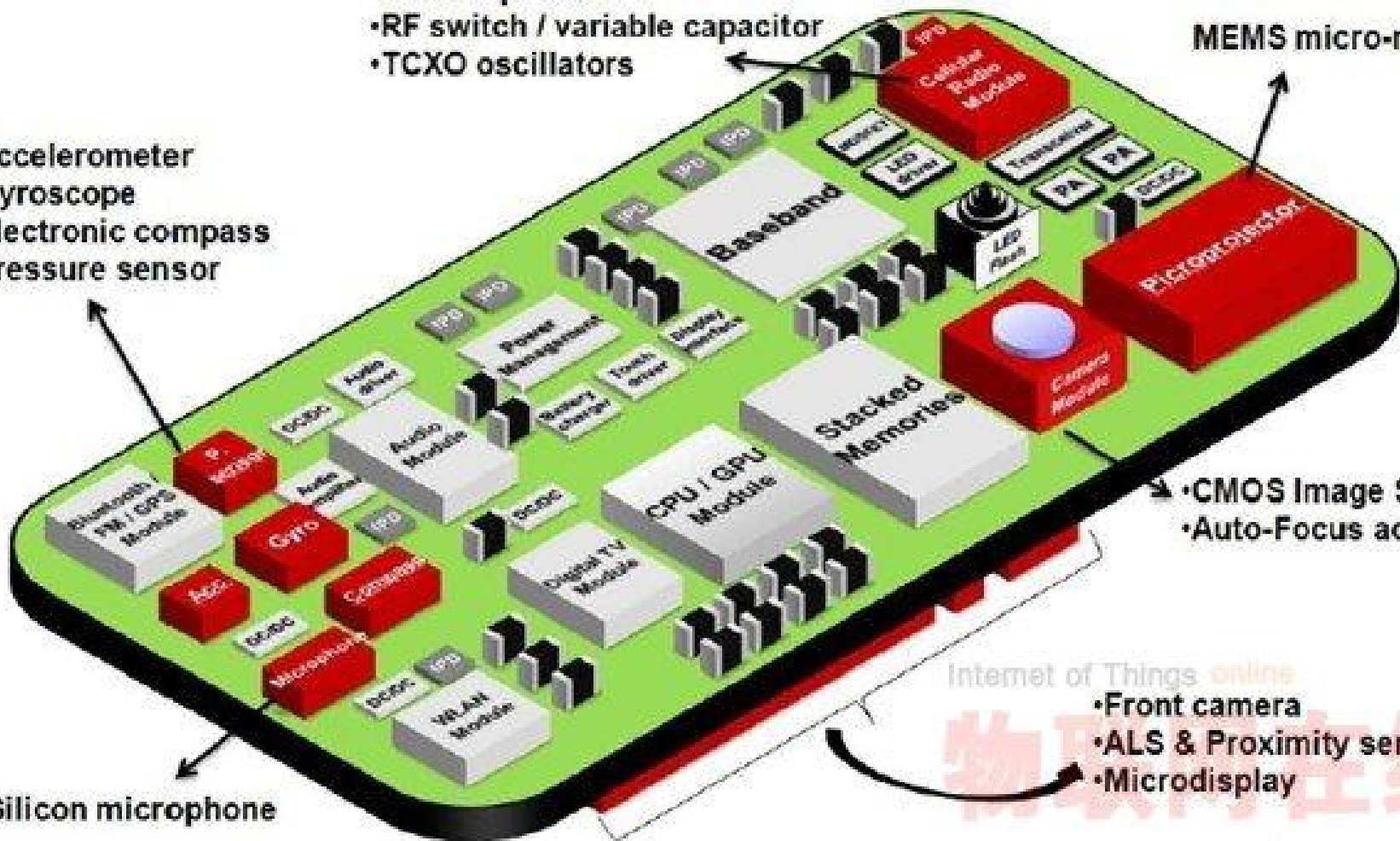


# 集成化智能传感器

- BAW filters
- BAW duplexers
- RF switch / variable capacitor
- TCXO oscillators

MEMS micro-mirror

- Accelerometer
- Gyroscope
- Electronic compass
- Pressure sensor

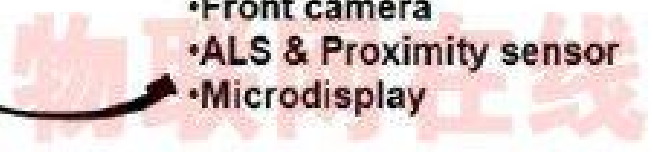


- CMOS Image Sensor
- Auto-Focus actuator

Internet of Things online

- Front camera
- ALS & Proximity sensor
- Microdisplay

Silicon microphone





www.newmaker.com



## 无线药丸式内窥镜

### 1 图像采集、处理与控制部分

胶丸式内窥镜这部分包括带数字图像输出的CMOS图像传感器、图像压缩模块、MEMS 微电机、发白光与具有两种不同红外波长的LED光源（采集三维深度图像数据）等。

### 2 无线传输部分

胶丸式内窥镜无线传输部分包括信道编码、无线收发器、射频功放和天线等

### 3 能量供给部分

对于无线药丸式内窥镜系统，能量供给包括电池和能源管理电路，它是整个体内部分硬件电路最关键的部分之一，为保证实现全消化道检查，必须采用低功耗设计以延长电池寿命。

### 4. 无线接收与数据传输部分

体外的便携式无线接收和数据传输装置的功能主要是把天线接收阵列接收的内窥图像数据分成两路，一路送给胶囊定位模块获得胶囊的定位信息，另一路送入相连接的无线接收器，然后把定位信息和图像一起存入便携式存储体上或转发给计算机控制与处理装置。



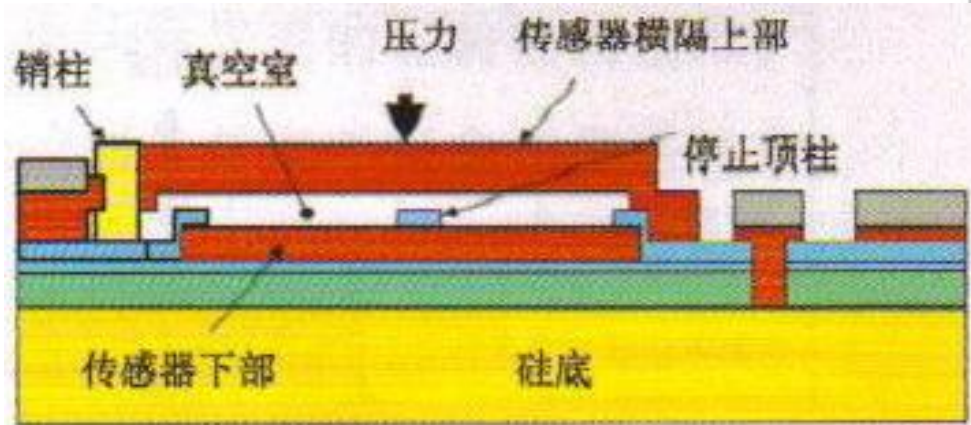
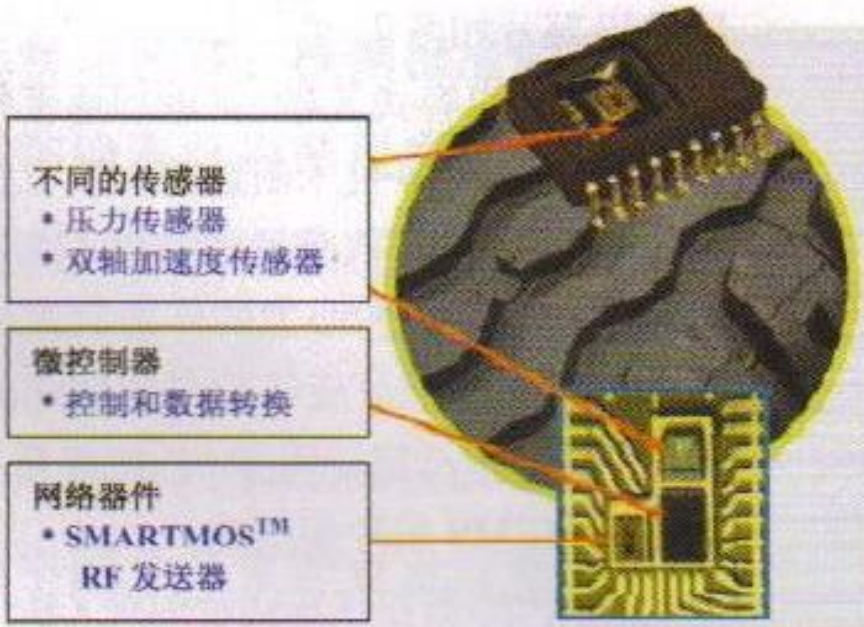
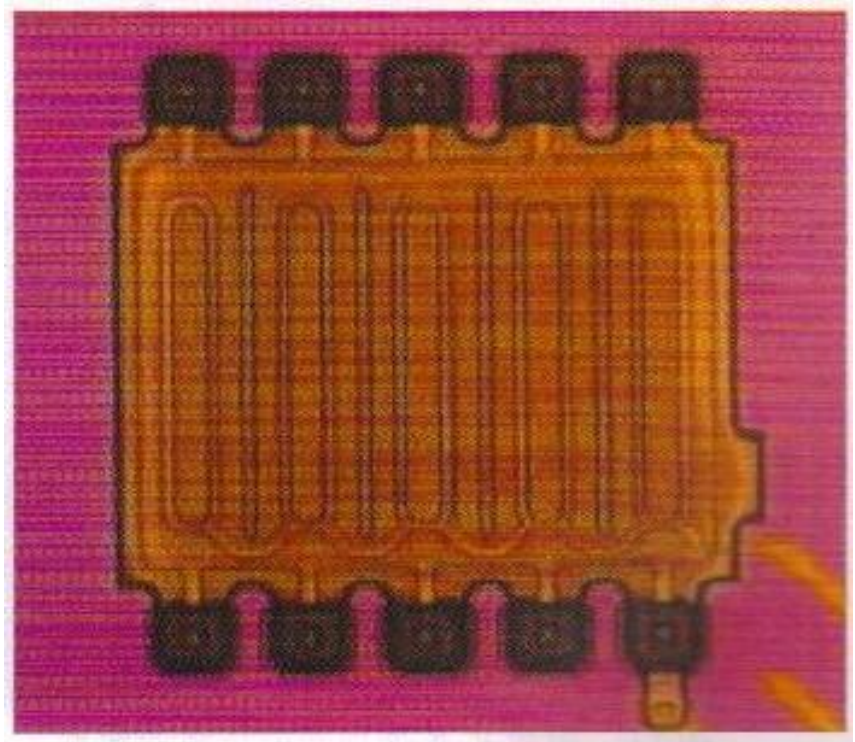


图5. MPXY8300 新一代电容传感器



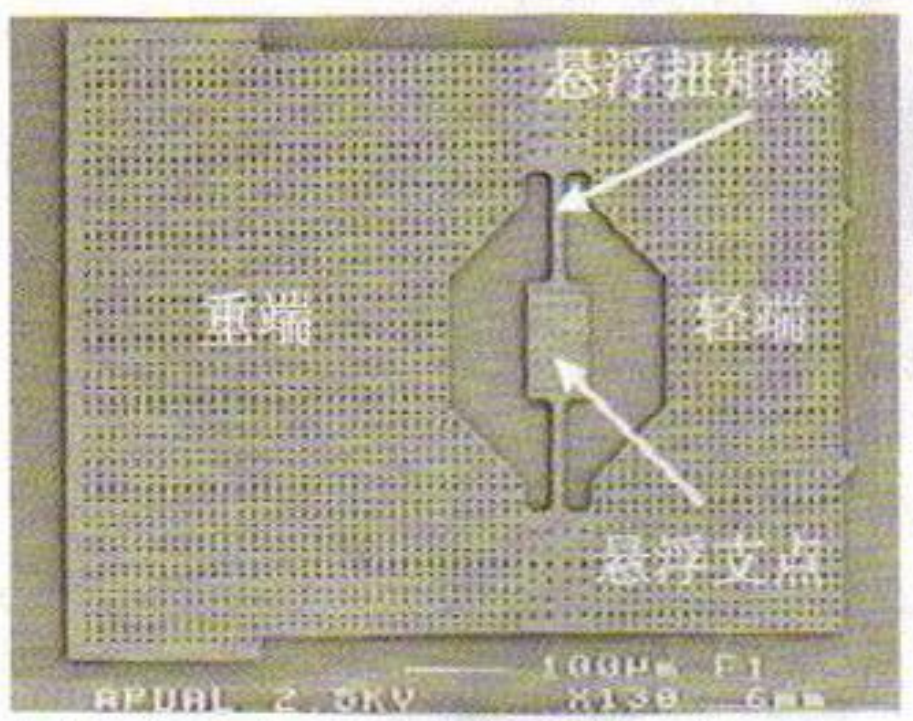
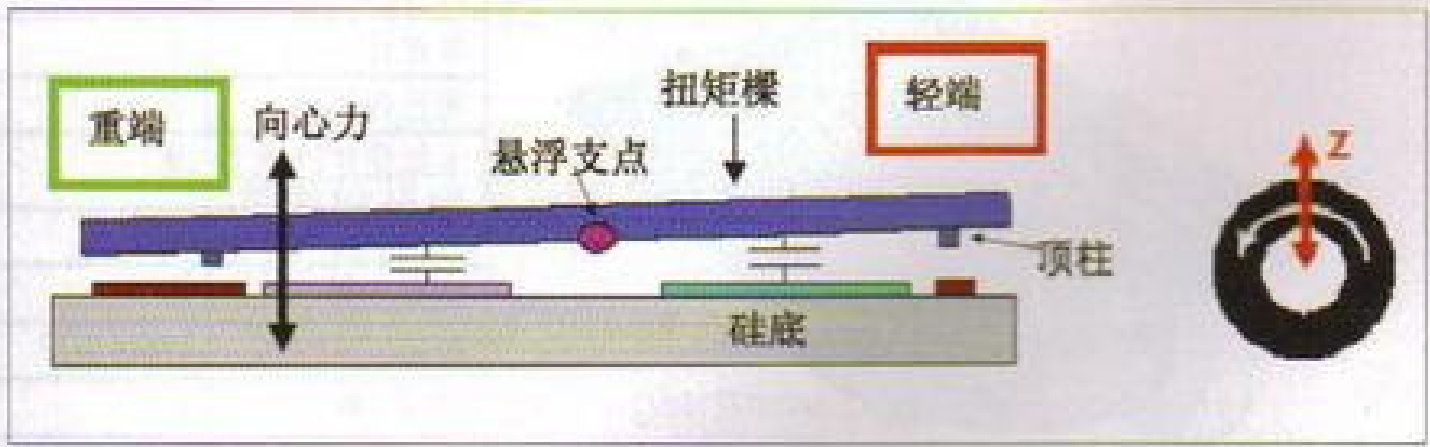


图9、电容式Z轴加速度传感器照片

### Z轴加速度传感器：

汽车运动时使Z轴传感器悬浮扭矩梁因向心力的作用而发生旋转，旋转引起了可旋转梁与硅底间的电容量变化，即 $\Delta$ 旋转速度= $\Delta$ 电容量。

其MEMS照片如左图。



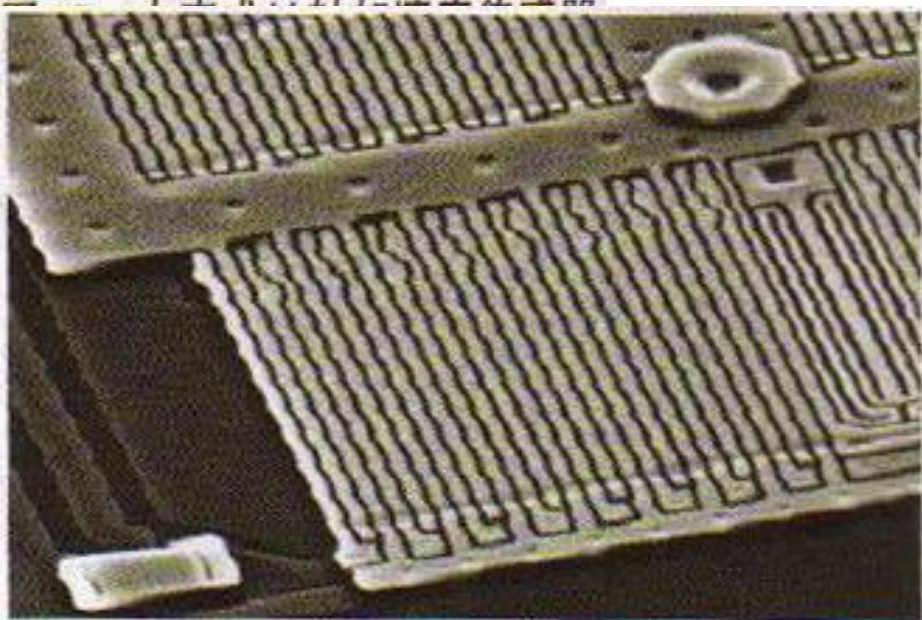
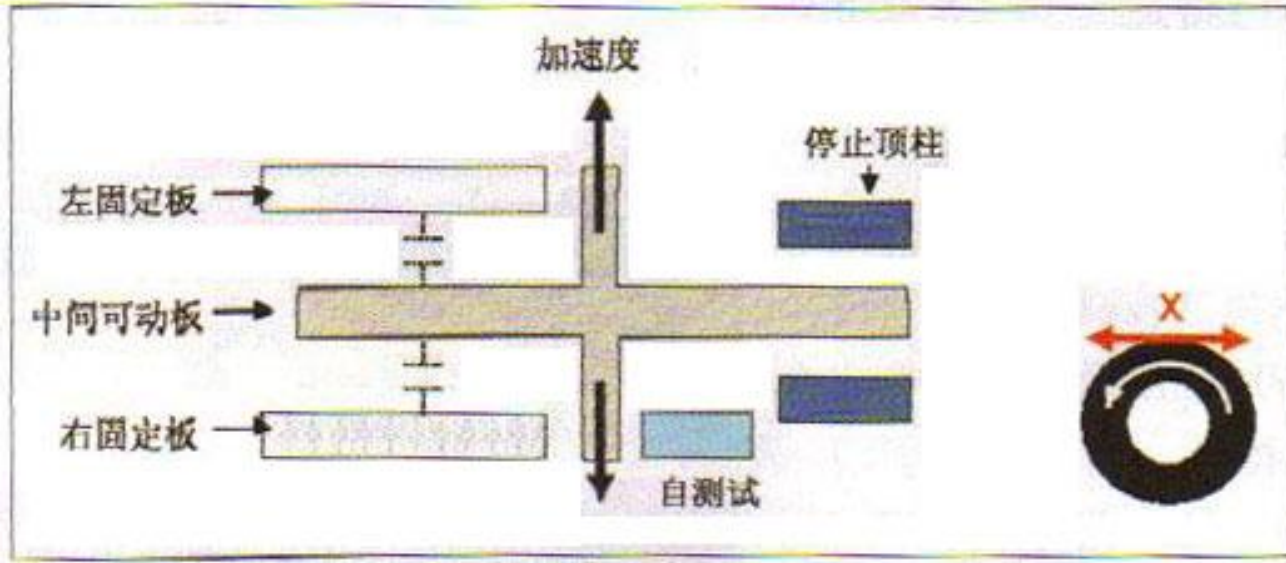


图11、电容式X轴加速度传感器照片

### X轴加速度传感器：

X轴加速度传感器在汽车运动时使传感器中间悬浮可动板因加速度的作用而发生左右位移，左右位移引起中间可动板与左右固定板间的电容量变化，即 $\Delta$ 加速度= $\Delta$ 电容量。其MEMS照片如左图。



## 集成化智能传感器

(2) 结构一体化。压阻式压力（差）传感器是最早实现一体化结构的。传统的应变式压力（差）传感器的做法是先分别由宏观机械加工金属圆膜片与圆柱状环，然后将两者粘贴形成周边固支结构的“金属环”，再在圆膜片上粘贴电阻应变片而构成压力（差）传感器，这就不可避免的存在蠕变、迟滞、非线性等误差。采用微机械加工和集成化工艺，不仅弹性敏感元件“硅杯”一次整体成型，而且电阻应变片（转换元件）和硅杯是完全一体化的。进而可在硅杯非受力区制作调理电路、微处理器单元，甚至微执行器，从而实现不同程度乃至整个系统的一体化。



## 集成化智能传感器

(3) 高精度。传感器结构一体化后，迟滞、重复性指标将大大改善，时间漂移大大减小，精度提高。后续信号调理电路与敏感元件一体化后还可大大减小由引线长度带来的寄生参量的影响，这对电容式传感器更有特别重要的意义。

(4) 多功能。由于敏感元件结构的微型化（微米级），这有利于在同一片硅片上制作不同功能的多个传感器，实现多功能测量。如20世纪80年代初期Honeywell 公司生产的S T-3 0 0 0型智能压力（差）和温度变送器，就是在一块硅片上制作了感受压力、压差及温度三个参量的、具有三种功能（测压力、压差、温差）的敏感元件结构的传感器。这样，不仅增加了传感器的功能，而且可以通过采用数据融合技术消除交叉灵敏度影响，提高传感器的稳定性和精度。



## 集成化智能传感器

(5) 阵列化。传感器的微加工技术（微米级）已可以在 $1\text{cm}^2$ 大小的硅片上制作含有几千个压力传感器阵列，如集成化应变计式面阵列触觉传感器，在 $8\text{mm}\times 8\text{mm}$ 的硅片上制作了1024个（ $32\times 32$ ）敏感触点（桥），基片四周还制作了信号处理电路，其元件总数约16000个。敏感元件阵列化后，配合相应图像处理软件，可以实现图像成像且构成多维图像传感器。这时的智能传感器就达到了它的最高级形式。

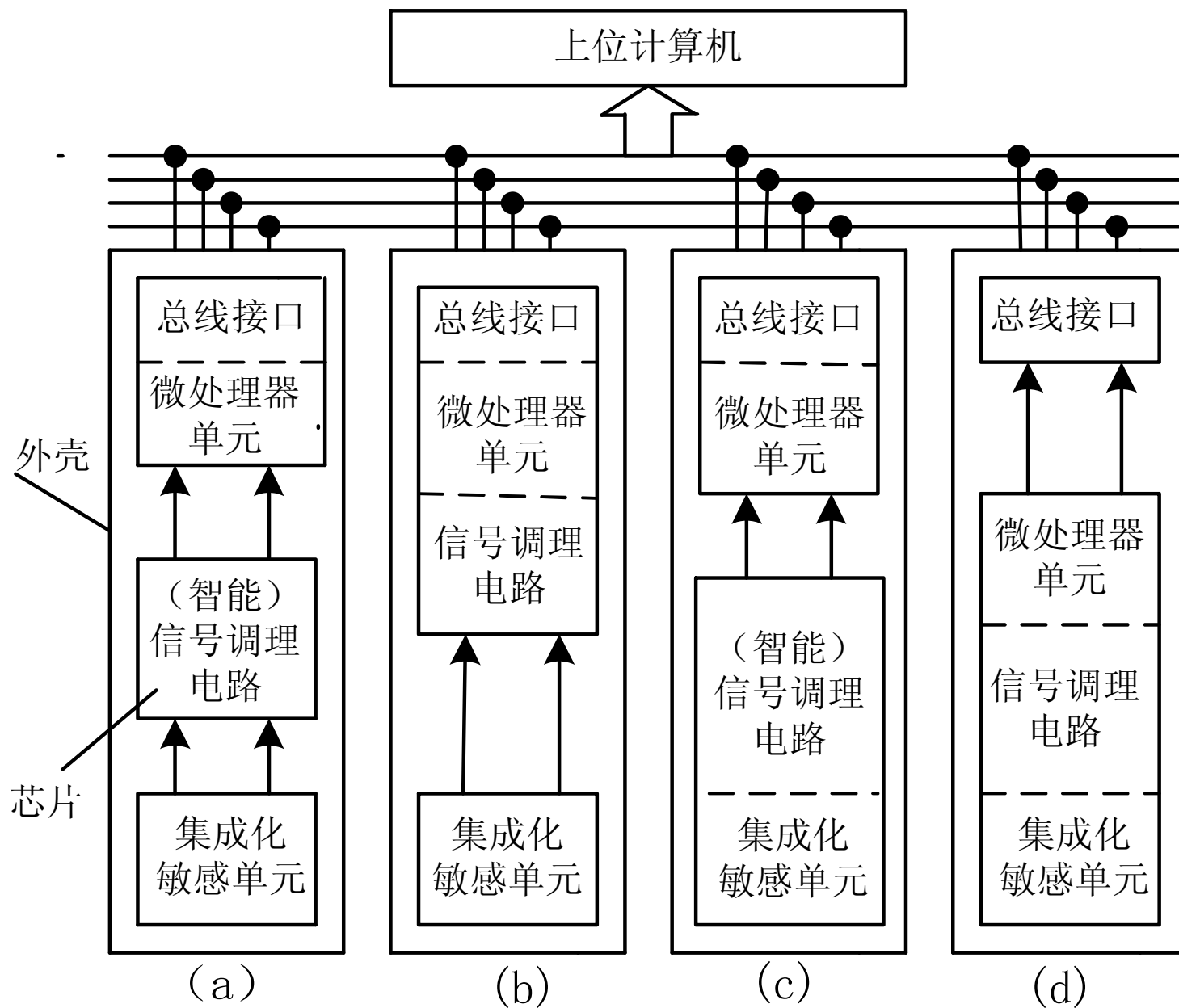
敏感元件组成阵列后，通过计算机/微处理器解耦运算、模式识别、神经网络技术的应用，有利于消除传感器的时变误差和交叉灵敏度的不利影响，可提高传感器的可靠性、稳定性与分辨能力。



(6)全数字化。微机械加工技术可以制作各种形式的微结构，其固有谐振频率可以设计成某种物理参量（如温度或压力等）的单值函数，因此，可以通过检测其谐振频率来检测被测物理量。这种谐振式传感器，直接输出数字量（频率）。其性能极为稳定，精度高，不需A/D转换器便能与微处理器方便的接口。省去A/D转换器后，对于节省芯片面积、简化集成化工艺均十分有利。



# 集成化智能传感器







## 四、几种单片智能传感器介绍

### 1. SHT11/15型单片智能传感器

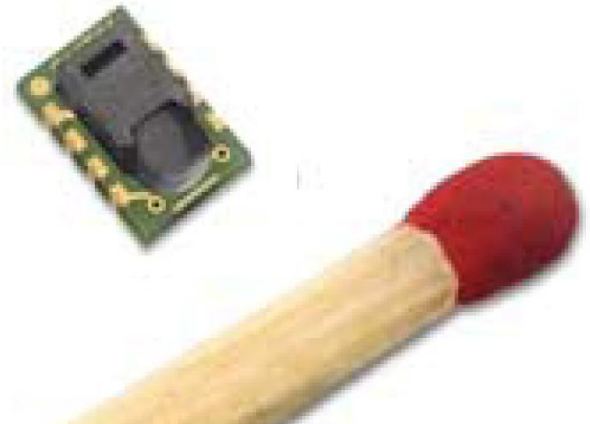
SHT11和SHT15是瑞士森士瑞 (Sensirion) 公司于2002年推出的两种超小型、高精度、自校准、多功能式智能传感器，可以用来测量相对湿度、温度和露点等参数。SHT11/15的外形尺寸仅为  $7.62 \text{ mm} \times 5.08 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$ ，质量只有  $0.1 \text{ g}$ ，其体积与一个大火柴头相近，如图所示。

SHT11/15的测量参数指标如下：

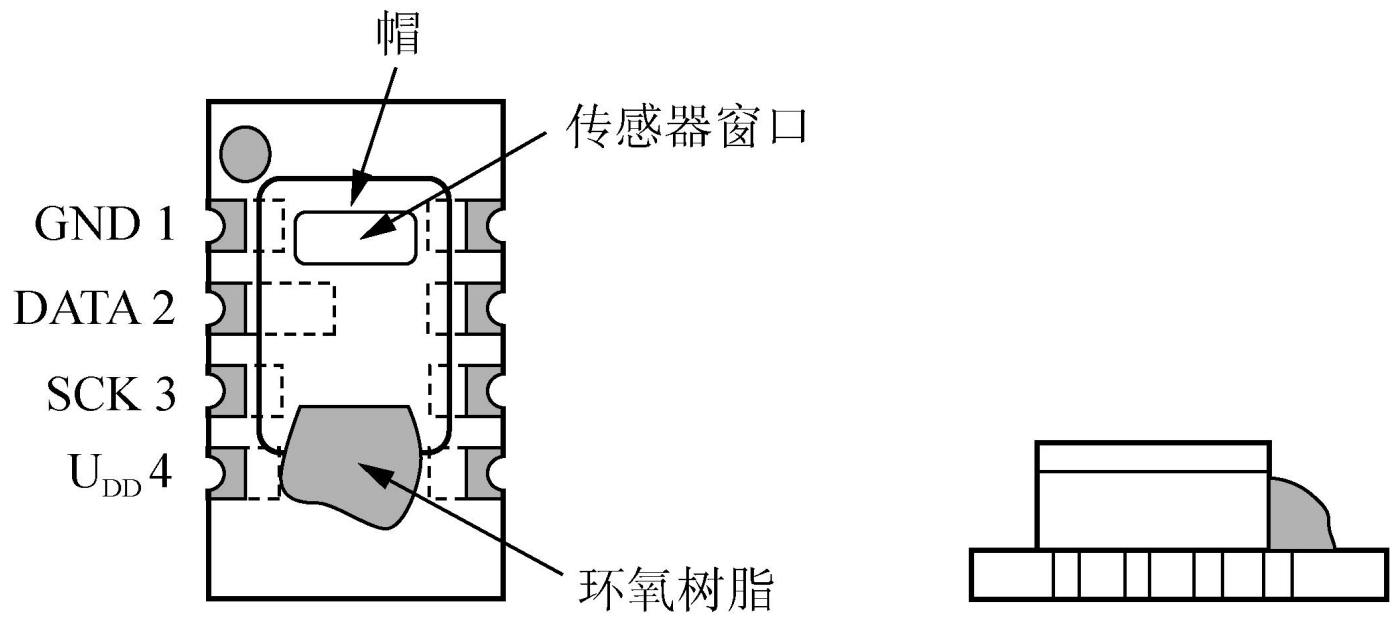
(1) **相对湿度**。测量范围： $0\% \sim 100\% \text{RH}$ ；  
测量精度： $\pm 2\% \text{RH}$ ；分辨力： $0.01\% \text{RH}$ 。

(2) **温度**。测量范围： $-40 \sim +123.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ；  
测量精度： $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ；分辨力： $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(3) **露点**。测量精度： $< \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ；分辨力：  
 $\pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ 。



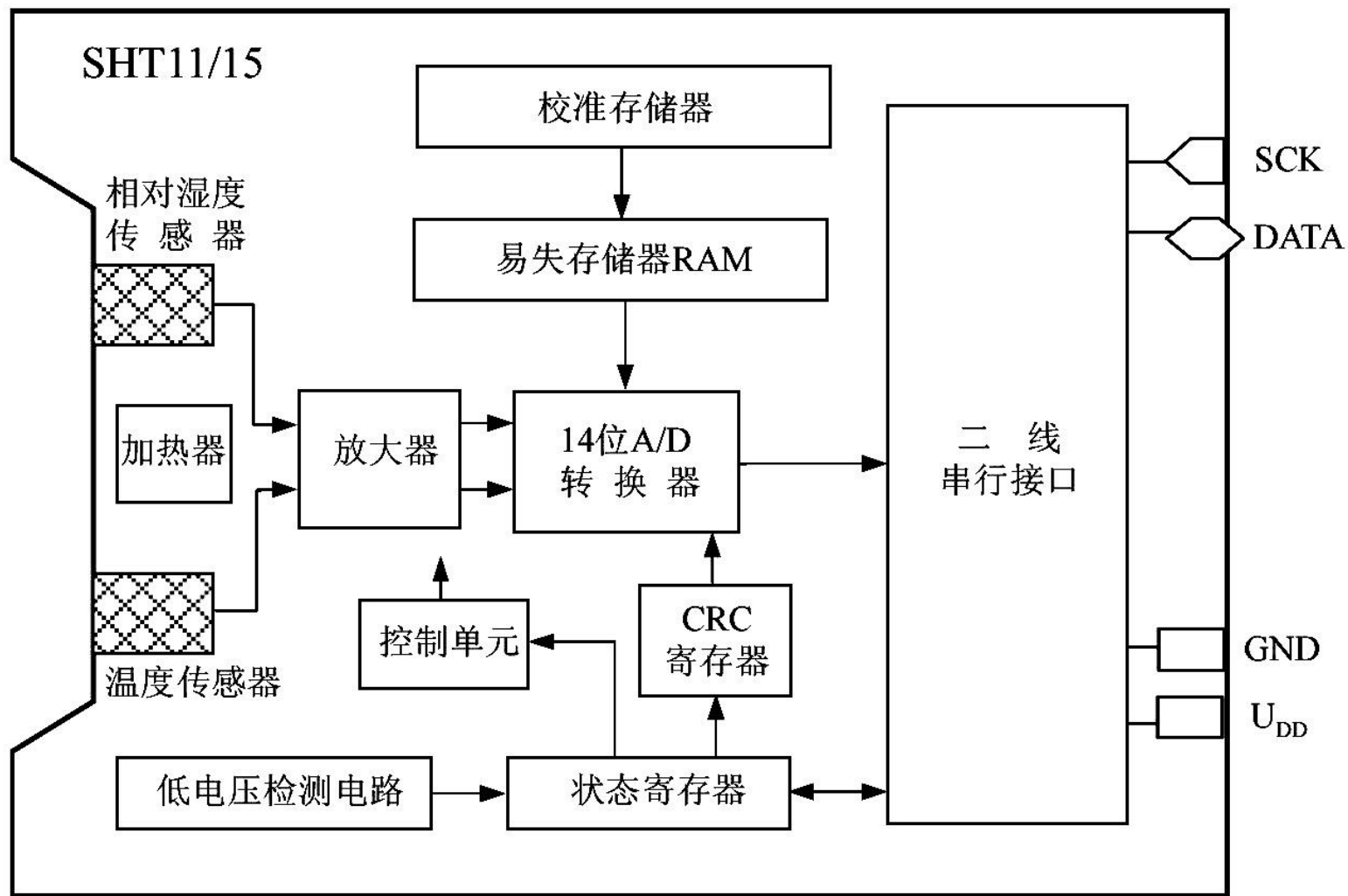




SHT11/15采用表面安装式LCC-8封装，引脚排列如图所示。在0.8 mm厚的基座上有一个用液晶聚合物(LCP)制成的帽，上面开着传感器窗口，以便与空气接触。另外有一块环氧树脂起到粘接作用。 $U_{DD}$ 、GND端分别接电源和公共地。DATA为串行数据输入/输出端(I/O)。SCK为串行时钟输入端，当 $U_{DD} > +4.5$  V时，最高时钟频率为10 MHz；当 $U_{DD} < 4.5$  V时，最高时钟频率为1 MHz。

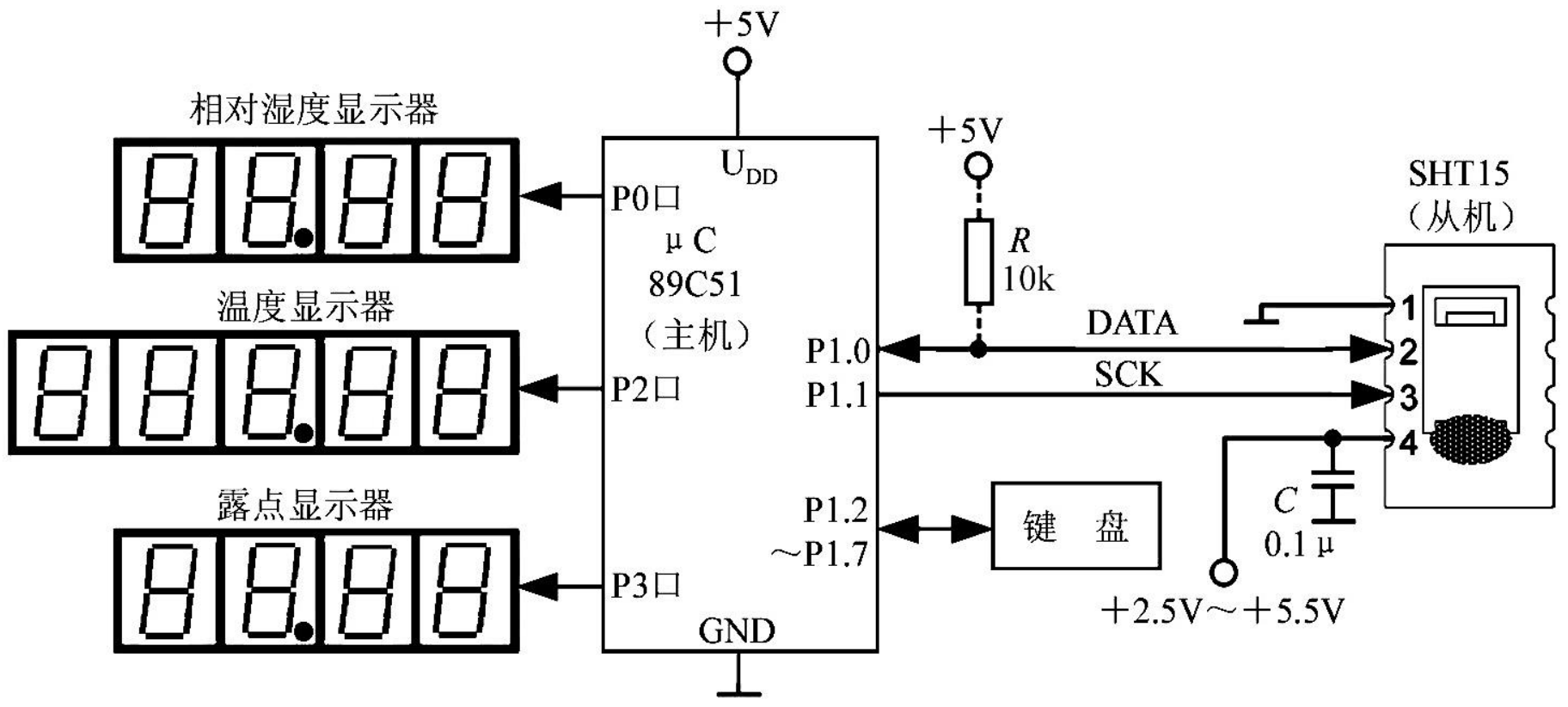


## SHT11/15型湿度/温度传感器的内部电路框图





# SHT15智能传感器的应用





# 集成化智能传感器

微处理器对SHT11/15的控制是通过5个5位命令代码实现的：

命令代码	含义
00011	测量温度
00101	测量湿度
00111	读内部状态寄存器
00110	写内部状态寄存器
11110	复位命令，使内部状态寄存器恢复默认值，下一次命令前至少等待11ms
其它	保留

测量温度和相对湿度的顺序如下：上电后SHT15经过10 ms时间就进入休眠模式，在此之前不应传输任何命令。在发出测量命令(测温命令为00000011，测湿度为00000101)后，芯片即被“唤醒”，89C51就启动SCK直至完成测量；然后将数据线拉成低电平，89C51又重新启动SCK，接着传输温/湿度两个测量数据字节和一个循环冗余检验码数据的字节。传输数据的顺序是从最高位(MSB)到最低位(LSB)。



## 2. MPX5100系列集成硅压力传感器

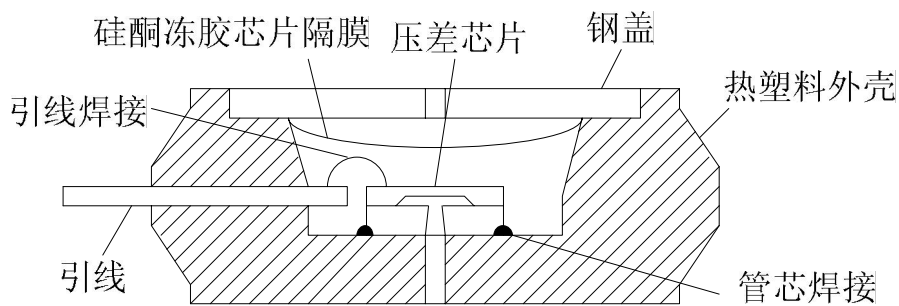
MPX5100系列压阻式传感器是一种高集成度、大信号输出的硅压力传感器，它不仅能构成各种性能优良的压力计，而且还能优化单片机输入通道的设计。由于采用了先进激光微调技术，薄膜金属化、双极型半导体和各种补偿功能（如温度补偿、失调和增益校准、信号调理等），所以它具有精度高、输出电压大、线性好、功能多、易与A/D转换器和单片机接口等特点。

MPX5100系列有很多型号，常用的有MPX5100D和MPX5100A两种，它们的压力测量范围分别是0~100kPa和15~115kPa，过压力能力均为700kPa，满量程输出信号为4V，偏差为0.5V，温度系数为1%/°C。

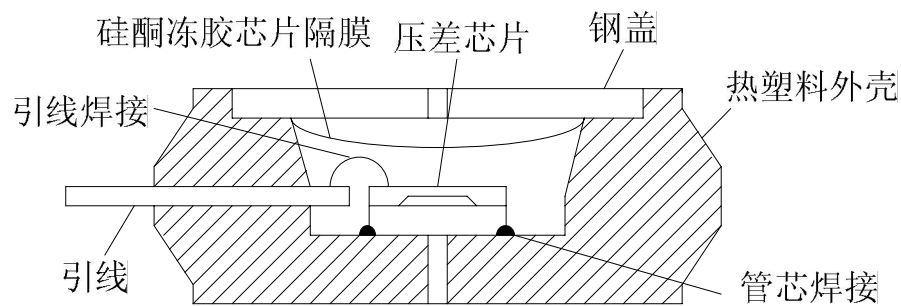


# 集成化智能传感器

MPX5100压力传感器剖面图如图所示，图中的敏感元件是硅半导体应变片。



(a) 压差式



(b) 绝压式

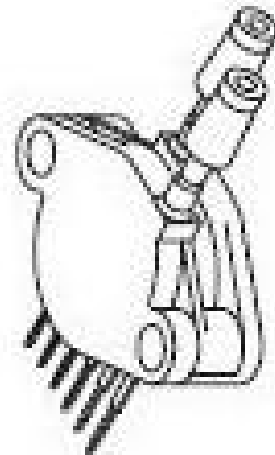
## 主要性能指标

- 压力测试范围：0~100kPa (MPX5100D)；15~115kPa (MPX5100A)；
- 输出电压大：0.2~4.8V；
- 温度补偿范围宽：-40~+125℃；
- 灵敏度：4.5mv/kPa；
- 稳定性：±0.5% FS。

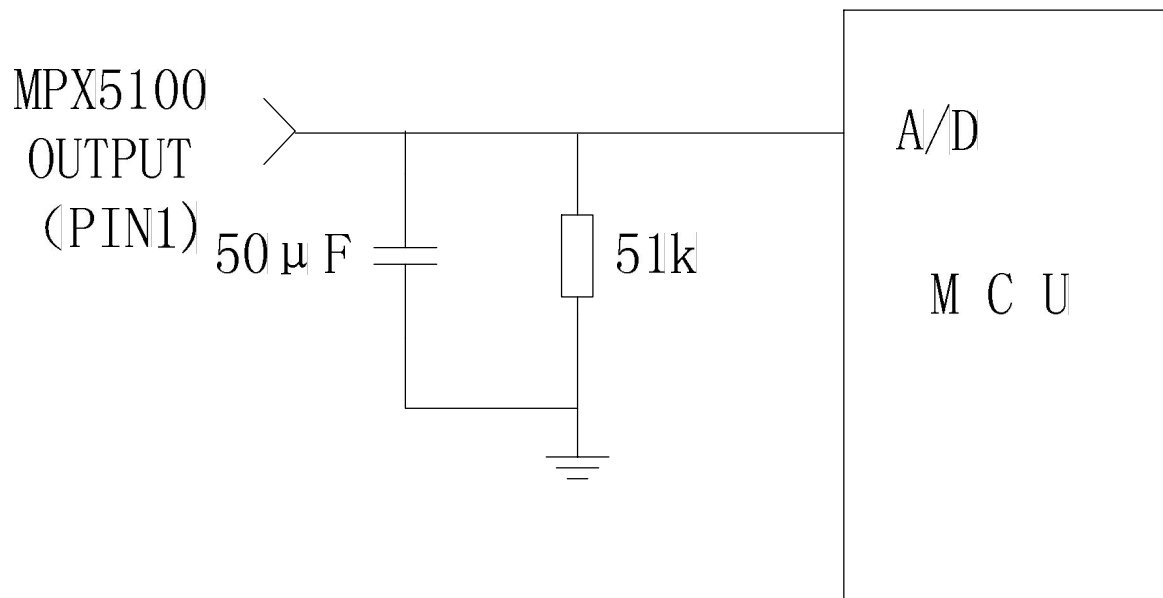


# 集成化智能传感器

MPX5100的6个引脚中实际应用的只有3个，其中VOUT（引脚1）为输出，而VS（引脚3）为电源电压正输入端。另外GND（引脚2）为地线。



## MPX5100和单片机（MCU）的典型接口电路









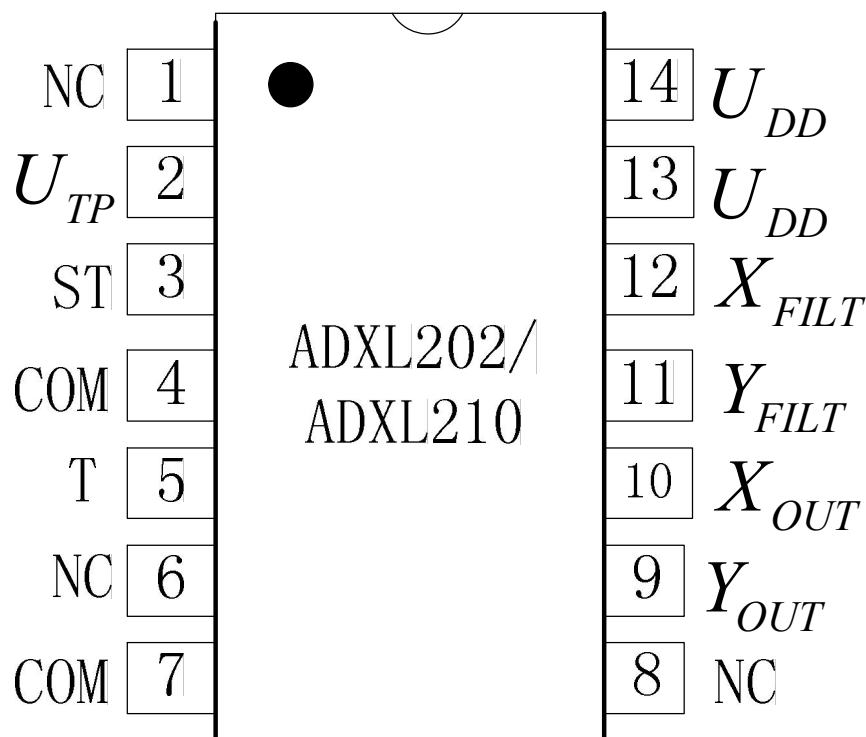
## 3. 单片双轴加速度传感器ADXL202

ADXL202是一款低成本、低功耗、功能完善的双轴加速度传感器，其功能特点如下：

- (1) 将敏感元件和调理电路集成在一个芯片上，小巧紧凑，提高了可靠性，可广泛地应用在斜度测量、惯性导航、地震监测装置和交通安全系统等领域；
- (2) 既能测量动态加速度（如振动加速度），又能测量静态加速度（如重力加速度）；
- (3) 在3dB带宽情况下的频率响应达5kHz；
- (4) 与电解质型、水银型、热敏型等加速度传感器相比，ADXL202响应速度更快；
- (5) 耐冲击性好，可耐高达1000g的冲击。

# 集成化智能传感器

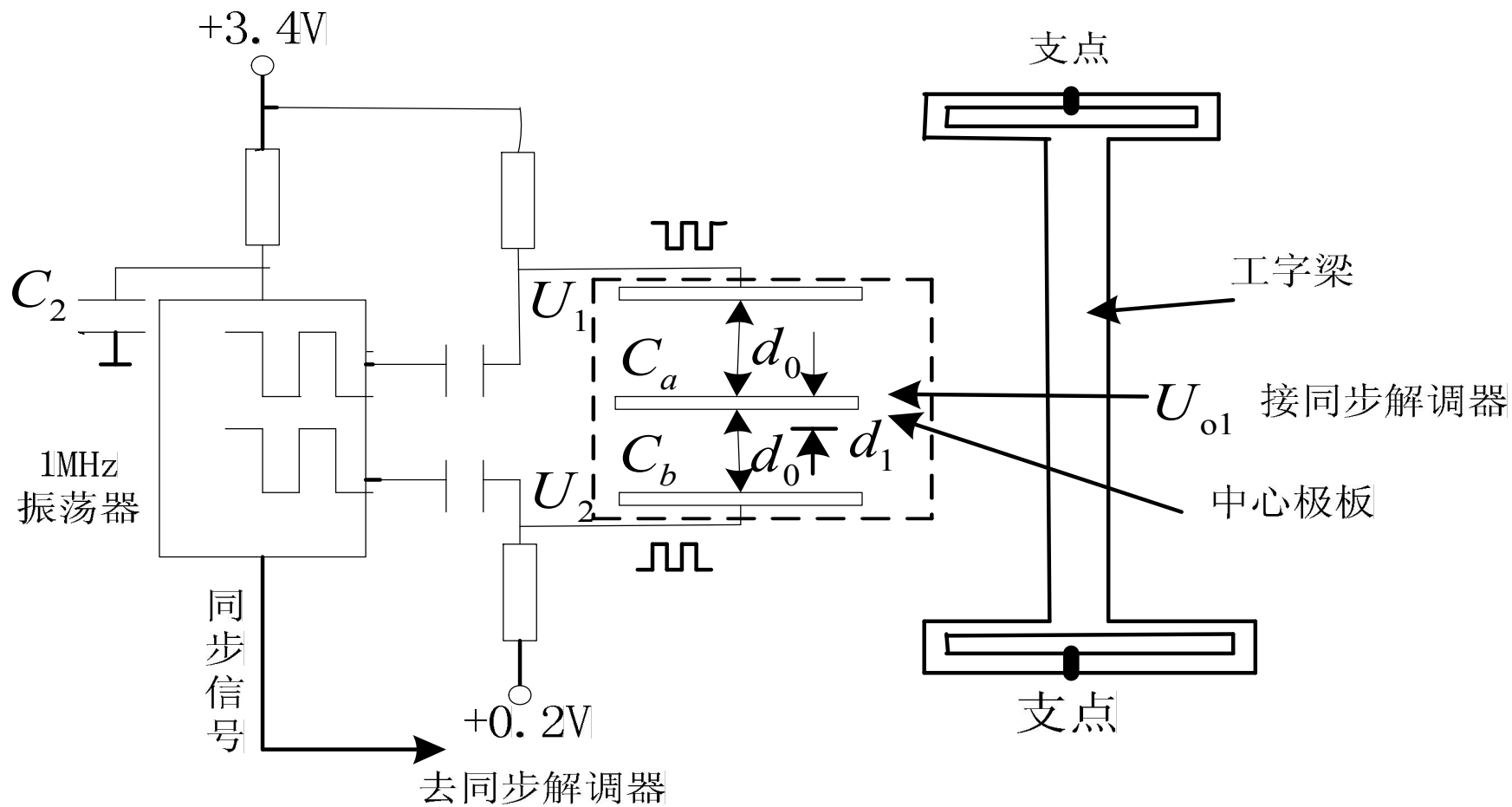
ADXL202采用QC-14封装，引脚排列如图所示。 $U_{DD}$ 和COM分别为两个电源端和两个接地端； $U_{TP}$ 为测试端，供厂家测试芯片用；ST是自检测端，可进行功能自检；T端接电阻 $R_{SET}$ ，用于设定输出脉冲的周期； $X_{FILT}$ 、 $Y_{FILT}$ 端分别接X通道、Y通道的滤波电容 $C_X$ 、 $C_Y$ 。 $X_{OUT}$ 、 $Y_{OUT}$ 为传感器X轴、Y轴的输出端；NC为空脚。





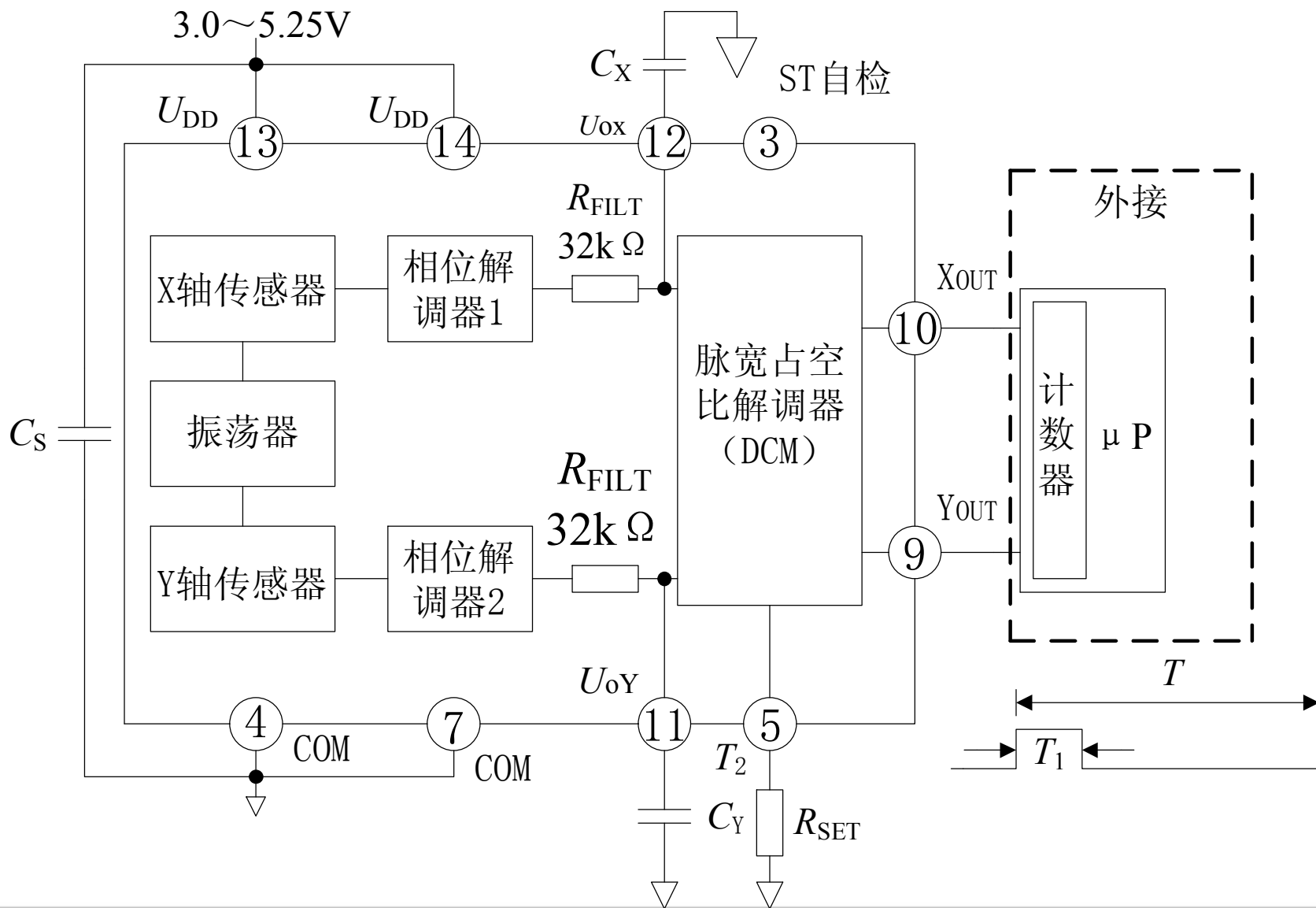
# 集成化智能传感器

## ADXL202工作原理



# 集成化智能传感器

## ADXL202的电路原理





# 集成化智能传感器

X或Y向的加速度为

$$a_{X(Y)} = \frac{(T_1 / T) - 50\%}{12.5\%} = \frac{D_{X(Y)} - 50\%}{12.5\%}$$

占空比信号的周期  $T = \frac{R_{RET}}{R}$

式中， $R=125M\Omega$ ， $T$ 的单位为秒。

利用 $\mu P$ 中的计数器可分别测出 $T_1$ 、 $T$ 值，进而求出沿X轴和Y轴方向的加速度 $\alpha_X$ 、 $\alpha_Y$ 值。