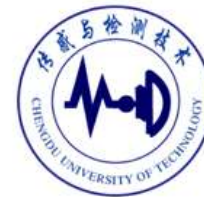


## 第10章 半导体式化学传感器



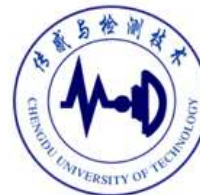
### 主要内容:

10.1 气敏传感器

10.2 湿敏传感器

10.3 离子敏传感器

## 第10章 半导体式化学传感器



### 概述

本章主要介绍半导体型的**电化学传感器**，**半导体式化学传感器**是上世纪70年代后期诞生起来的新型传感器，主要是以**半导体**作为敏感材料，通过物理特性变化实现信号转换。如：**气敏传感器**、**湿敏传感器**、**离子敏传感器**。

### 优点：

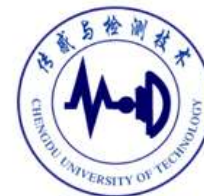
传感器器件采用半导体加工工艺，因而没有相对运动部件，结构简单；

半导体材料容易实现集成化、智能化，低功耗，可用于便携式仪器的现场测试；

### 缺点：

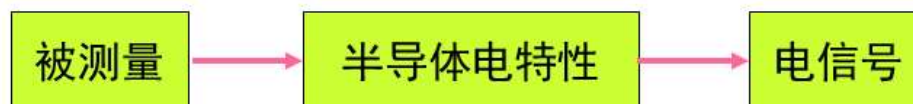
受温度影响，需采用补偿措施；  
线性范围窄，性能参数离散性大。

## 第10章 半导体式化学传感器



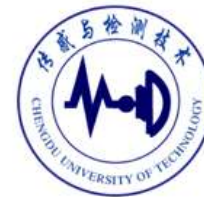
### 概述

- 凡是用半导体材料制作的传感器都属于半导体传感器。
- 半导体式传感器种类很多，其中包括：**压阻元件、集成温度传感器、磁敏元件、光敏电阻、霍尔元件**等。
- 半导体传感器是典型的**物理型**传感器，它是利用某些材料的**电特征**的变化实现被测量的直接转换，如改变半导体内载流子的数目或改变PN结特性。

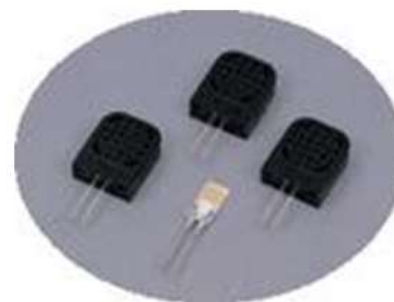


由于化学传感器转换机理复杂，目前**半导体式化学传感器**远不及电参数式物理量和其它传感器成熟。

## 第10章 半导体式化学传感器



半导体电化学传感器



湿敏元件



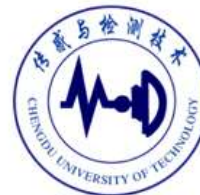
气敏元件



湿敏传感器



# 第10章 半导体式化学传感器



## 10.1 气敏传感器

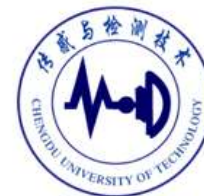
气敏传感器用于检测工业现场、环境气体浓度和成份

- 工业天然气、煤气等易燃易爆的安全监测；
- 容器或管道泄漏的检漏；
- 酒后驾车的乙醇浓度检测；
- 环境中的有害、有毒气体监测；
- 空气净化、家电用品、宇宙探测；
- 牙医口臭检查。

气敏传感器特点

灵敏度较高，达 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 数量级，无需放大；  
可检测到可燃气体爆炸下限的1/10，用于泄漏报警；  
响应速度较慢。

## 第10章 半导体式化学传感器



### 气敏传感器

测量

一氧化碳 ( CO )  
二氧化碳 ( CO<sub>2</sub> )  
二氧化硫 ( SO<sub>2</sub> )



### 湿度测试仪



嘉兴中宝检测仪器有限公司

### 纯水测试仪 测量水质



甲烷、可燃气体  
报警器



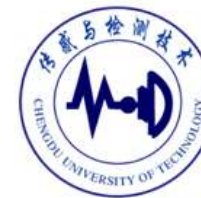
便携式酒精  
含量测试仪



酸  
度  
计

离子敏传感器

## 第10章 半导体式化学传感器



### 不同气体需采用各种不同气敏传感器的检测仪器

天然气、煤气等易燃易爆的安全监测



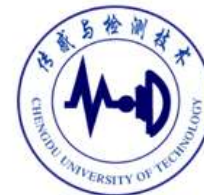
酒后驾车的乙醇浓度检测



一氧化碳 ( CO )  
矿用气体检测仪



## 第10章 半导体式化学传感器



### 环境中的有害、有毒气体监测



甲烷遥距  
测试仪



便携式甲  
醛检测仪



智能型甲烷  
检测报警仪

可燃气体  
检测仪

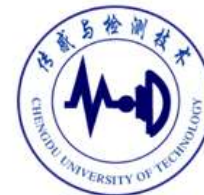


空气质量  
检测仪





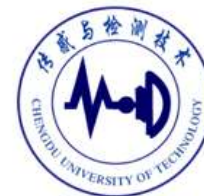
# 第10章 半导体式化学传感器



## 半导体气体传感器按检测对象分类

分类	检测对象气体	应用场所
<u>爆炸性气体</u>	液化石油气、城市用煤气 甲烷 可燃性煤气	家庭 煤矿 办事处
<u>有毒气体</u>	一氧化碳(不完全燃烧的煤气) 硫化氢、含硫的有机化合物 卤素、卤化物、氨气等	煤气灶 (特殊场所) (特殊场所)
<u>环境气体</u>	氧气(防止缺氧) 二氧化碳(防止缺氧) 水蒸气(调节温度、防止结露) 大气污染(SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> 等)	家庭、办公室 家庭、办公室 电子设备、汽车 温室
<u>工业气体</u>	氧气(控制燃烧、调节空气燃料比) 一氧化碳(防止不完全燃烧) 水蒸气(食品加工)	发电机、锅炉 发电机、锅炉 电炊灶
<u>其它</u>	呼出气体中的酒精、烟等	

# 第10章 半导体式化学传感器



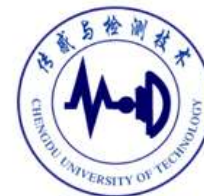
## 10.1 气敏传感器

- ✓ 由于气体种类很多，性质各不相同，不可能用同一种气体传感器测量所有气体；
- ✓ 所以检测不同气体需要选用不同型号的气敏传感器。
- ✓ 按半导体的物理特性，可分为电阻型和非电阻型

### 半导体气敏传感器按工作原理分类

	主要物理特性	类 型	检测气体	气敏元件
电阻型	电阻	表面控制型	可燃性气体	$\text{SnO}_2$ 、 $\text{ZnO}$ 等的烧结体、薄膜、厚膜
		体控制型	酒精 可燃性气体 氧气	氧化镁， $\text{SnO}_2$ 氧化钛(烧结体) $\text{Ti-Fe}_2\text{O}_3$
非电阻型	二极管整流特性	表面控制型	氢气 一氧化碳 酒精	铂-硫化镉 铂-氧化钛 (金属-半导体结型二极管)
	晶体管特性		氢气、硫化氢	铂栅、钨栅 MOS 场效应管

## 第10章 半导体式化学传感器



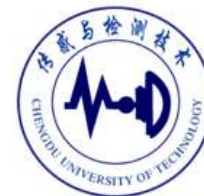
### 10.1.1 电阻型半导体气敏传感器

- 电阻型气敏传感器是利用**气体在半导体表面的氧化和还原反应**，导致敏感元件阻值变化。
- **氧气**是具有**负离子吸附**倾向的气体，被称为**氧化型气体**——**电子接收性**气体；
- **氢、碳氧化合物、醇类**等是具有**正离子吸附**倾向的气体，被称为**还原型气体**——**电子供给性**气体。





## 第10章 半导体式化学传感器

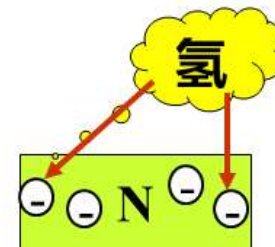
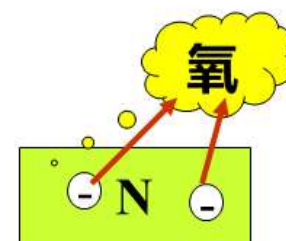


### 10.1.1 电阻型半导体气敏传感器

#### 气体与 ( N、P 型 ) 半导体接触时情况

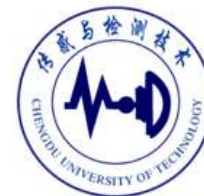
- 当**氧化型**气体吸附到**N型**半导体上，使载流子减少，电阻率**上升**；
- 当**还原型**气体吸附到**N型**半导体上，载流子增多，电阻率**下降**；
- 当**氧化型**气体吸附到**P型**半导体上，载流子增多，电阻率**下降**；
- 当**还原型**气体吸附到**P型**半导体上，载流子减少，电阻率**上升**；

➤ **N型**半导体多电子； **P型**半导体多空穴  
➤ **氧化型**气体接收电子； **还原型**气体供给电子





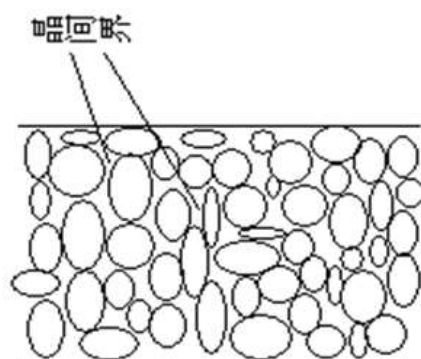
## 第10章 半导体式化学传感器



### (1) 电阻型半导体气敏传感器工作原理

半导体是一种多晶材料，晶粒大小约为 $10^{-6}cm$ ，一个器件是由许许多多小颗粒组成，在晶粒连接处形成许多晶粒间界；

正是这些晶粒间界的性质决定着多晶材料的导电特性，整个半导体块的电导由这些间界的导电性能决定的。

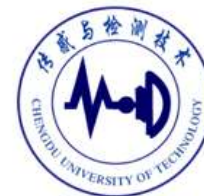


气敏材料敏感机理



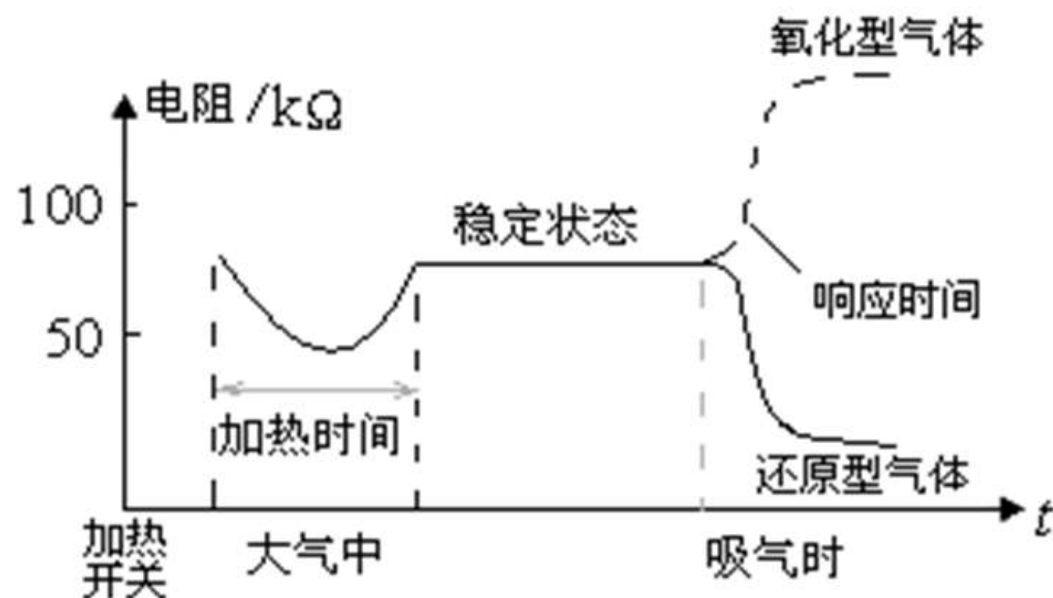
$n\text{-SnO}_2$ 气敏传感器是目前工艺最成熟的气敏器件，这种传感器以多孔质 $\text{SnO}_2$ 陶瓷为基本材料，添加不同催化剂，采用传统制陶方法进行烧结。

## 第10章 半导体式化学传感器



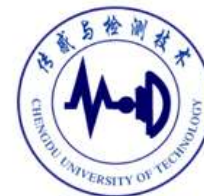
### 10.1.1 电阻型半导体气敏传感器

气体与N型半导体接触时情况



N型半导体与气体接触时的  
氧化还原响应

## 第10章 半导体式化学传感器



### 以N型半导体为例：通常气敏器件工作在空气中

#### ➤ 空气中—高阻状态

由于空气中的氧化的作用，半导体（N型）材料的电子电荷被氧吸附，结果使传导电子减少，电阻增加，使器件处于高阻状态；

空气中—氧化作用—氧吸附半导体电子—电阻增加。

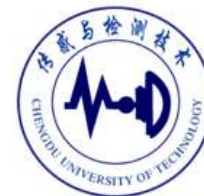
#### ➤ 气敏器件与被测器体接触—电阻减小

当气敏元件与被测气体接触时，会与传感器表面吸附的氧发生反应，将束缚的电子释放出来，敏感膜表面电导增加，使元件电阻减小。

与气体接触时—吸附的气体与氧发生反应—电子释放—电导增加，电阻减小。



## 第10章 半导体式化学传感器



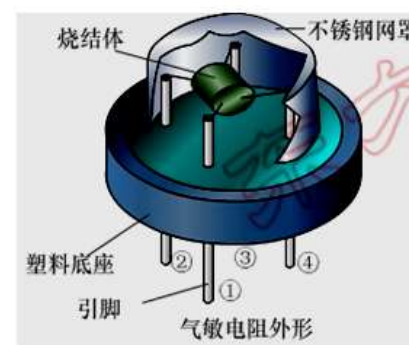
### (1) 电阻型半导体气敏传感器工作机理

电阻型半导体气敏传感器的导电机理用一句话描述：

利用半导体表面因吸附气体引起半导体元件电阻值变化，根据这一特性，从阻值的变化检测出气体的种类和浓度。

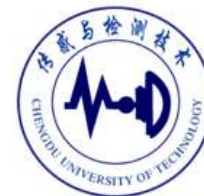
电阻型气敏传感器是目前使用较广泛的一种气敏元件。

电阻式气敏传感器可用于检测可燃气体，所以又称热效率探测器





## 第10章 半导体式化学传感器



### (2) 电阻型半导体气敏传感器结构特征

电阻型传感器主要由敏感元件、加热器、外壳三部分组成。

按制造工艺分为烧结型、薄膜型、厚膜型；

气敏电阻的材料是金属氧化物；

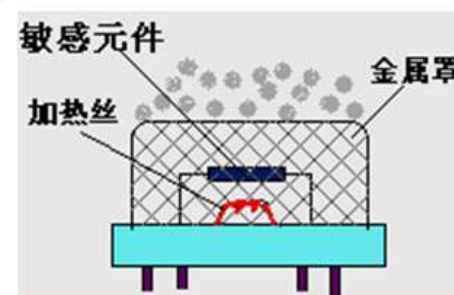
合成时加敏感材料和催化剂烧结，

金属氧化物有：

N型半导体  $\text{SnO}_2$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $\text{ZnO}$   $\text{TiO}$

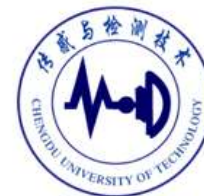
P型半导体  $\text{CoO}_2$   $\text{PbO}$   $\text{MnO}_2$   $\text{CrO}_3$

这些金属氧化物在常温下是绝缘的，制成半导体后才显示气敏特性。



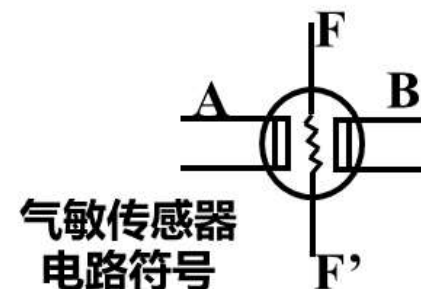
电阻型气敏传感器封装

## 第10章 半导体式化学传感器

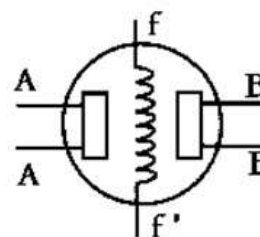
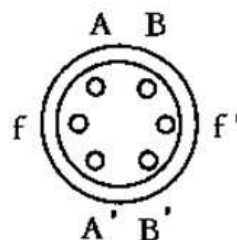


### (2) 电阻型半导体气敏传感器结构特征

电阻式气敏传感器可以等效为电阻

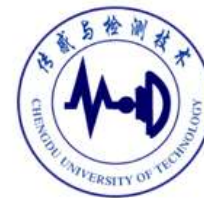


在常温下，电导率变化并不大，达不到检测目的，因此，电阻型结构的气敏元件都有**电阻丝加热器**。



电阻型气敏元件及符号

## 第10章 半导体式化学传感器



加热方式分为直热式和旁热式

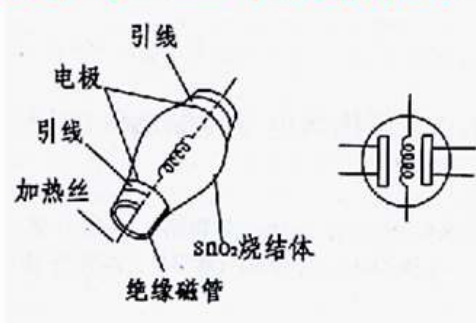
**直热式** (加热丝与测量丝埋入氧化物中烧结), 特点是成本低, 但受气流影响, 稳定性差.

**旁热式** (加热丝放在陶瓷管内, 管外金属电极涂上氧化物), 加热丝与气敏材料不接触, 避免测量回路与加热回路的相互影响, 减小环境温度的影响.

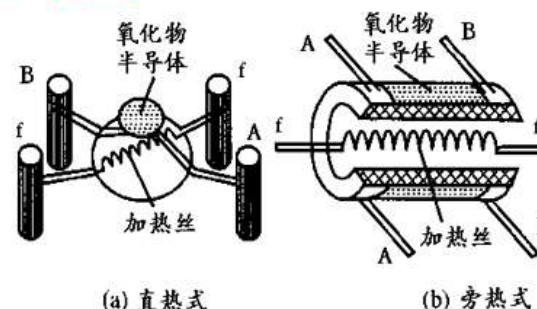
国产同类产品：**直热式-QN型**；**旁热式-MQ型**.



直热式



旁热式



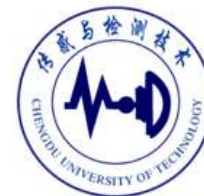
(a) 直热式

(b) 旁热式

气敏电阻结构



## 第10章 半导体式化学传感器

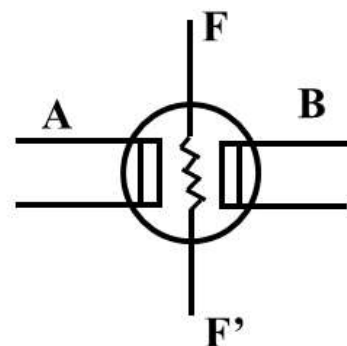
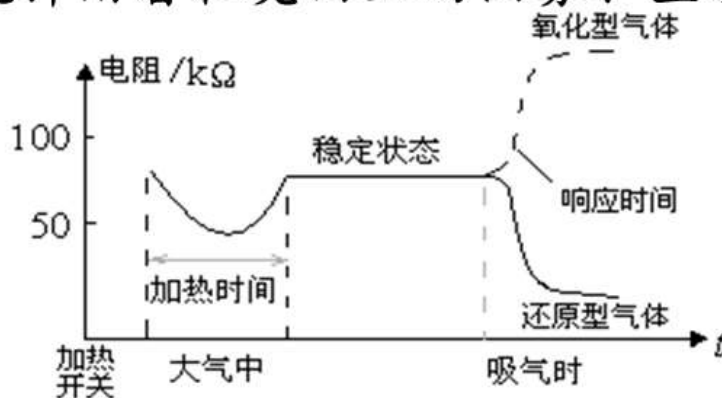


### 电阻型气敏元件在加热状态下工作

**加热时间** 2~3分钟；**加热电源**一般为5V；**加热温度**200~450℃。

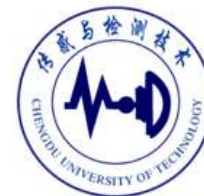
气敏元件**加热作用**有两个：

- 一是可以加速气体吸附和氧化还原反应，提高传感器的灵敏度和响应速度；
- 二是烧掉附着在壳面上的油雾、尘埃。





## 第10章 半导体式化学传感器



### (3) 电阻型半导体气敏传感器特性参数

#### a. 固有电阻 $R_a$

气敏元件在洁净空气中的电阻值称为固有电阻 $R_a$ ，固有电阻值一般在几十 $k\Omega$ 到数百 $k\Omega$ 范围内。

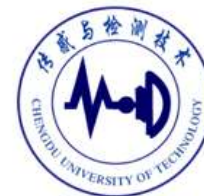
#### b. 分辨率

气敏传感器的分辨率反映气体元件对被测气体的识别以及对干扰气体的抑制能力，即

$$S = \frac{U_g - U_a}{U_{gi} - U_a}$$

式中， $U_{gi}$ 在规定浓度下，元件在第 $i$ 种气体中负载电阻上电压。

## 第10章 半导体式化学传感器



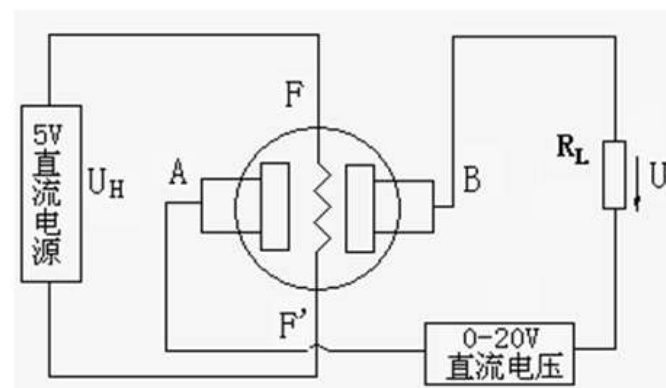
### (4) 电阻型半导体气敏传感器基本测量电路特性

- 测量电路是将元件电阻的变化转化成电压电流的变化。
- 测量电路包括加热回路和测试回路两部分： $A$ 、 $B$ 端为传感器测量电极回路， $F$ 、 $F'$ 引脚为加热回路。
- 加热电极 $F$ 、 $F'$ 电压 $U_H = 5V$ ， $A$ - $B$ 之间电极端等效为电阻 $R_S$ ，负载电阻 $R_L$ 兼做取样电阻；

负载电阻上输出电压为：

$$U_0 = \frac{R_L}{R_S + R_L} U$$

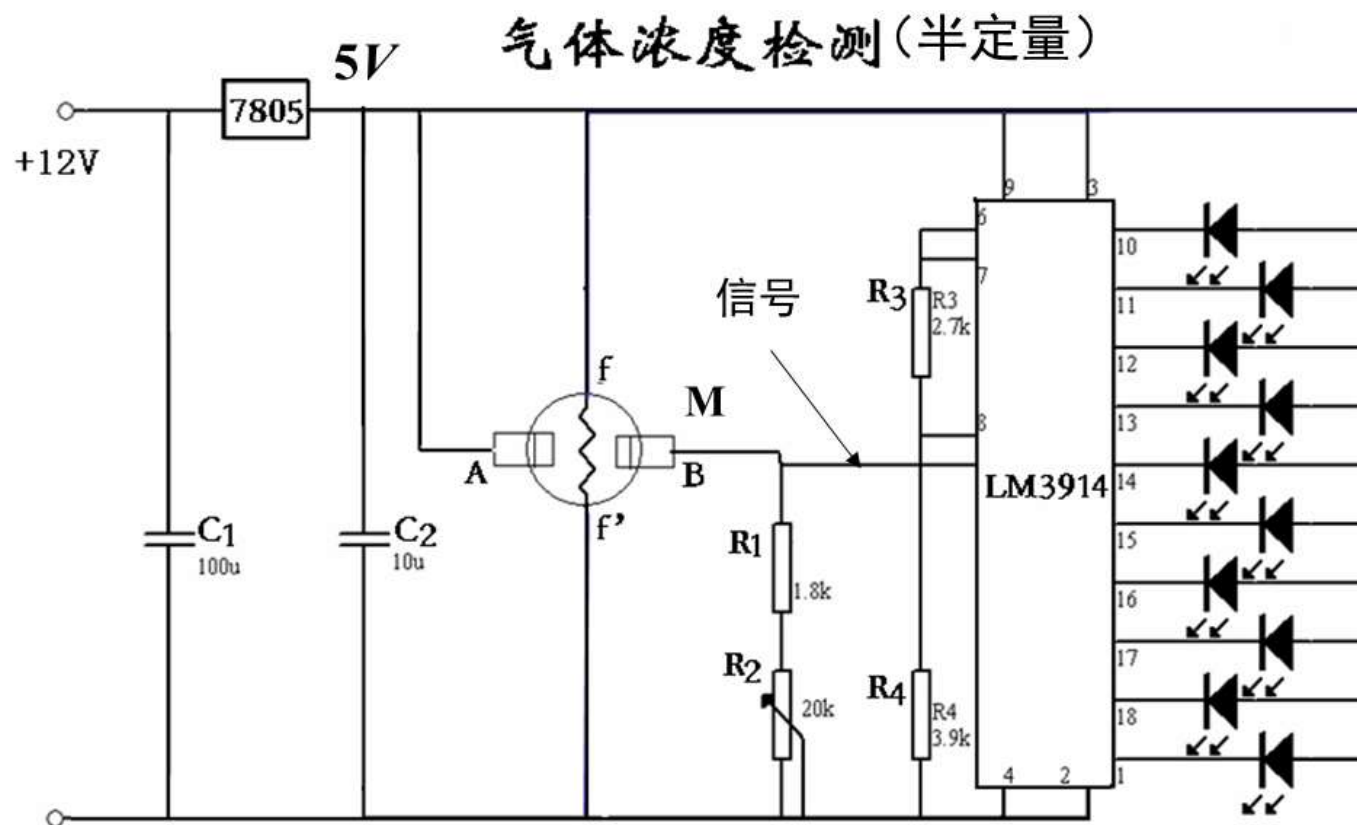
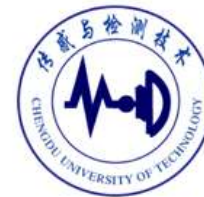
可见输出电压与气敏电阻有对应关系



气敏传感器测量电路

## 第10章 半导体式化学传感器

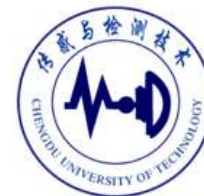
### (5) 应用



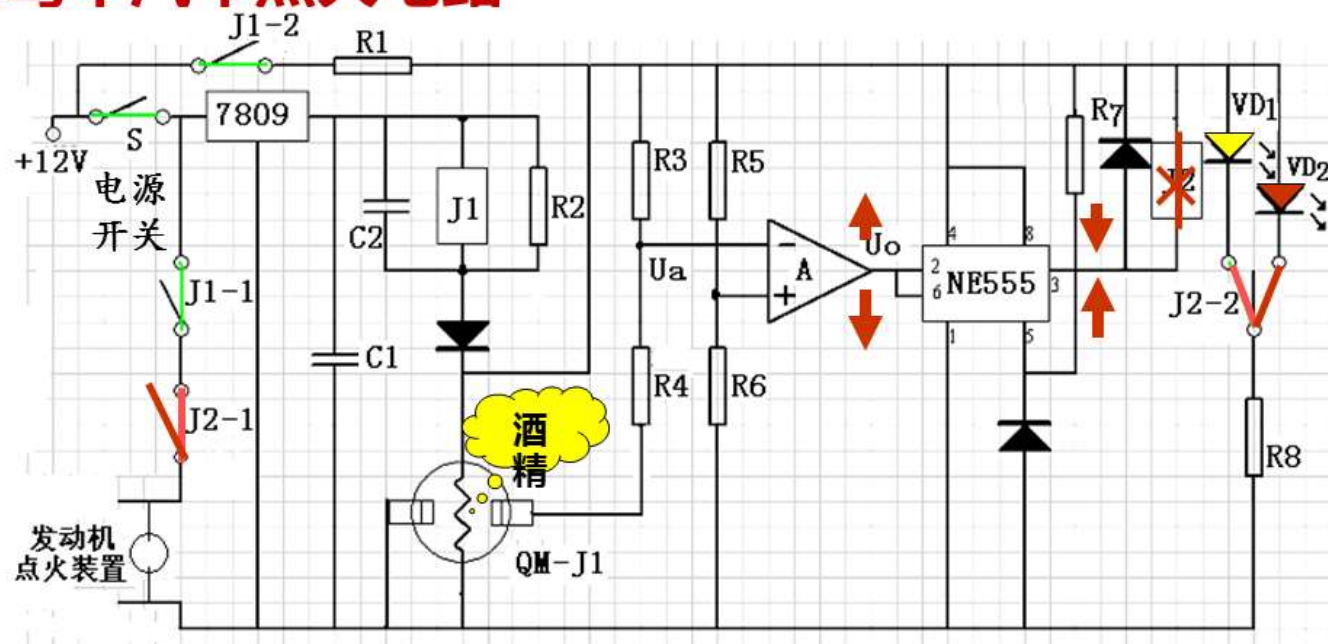




## 第10章 半导体式化学传感器

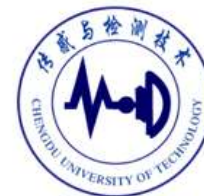


### 防酒后驾车汽车点火电路



继电器 $J_{1-1}$ 、 $J_{1-2}$ 常开结点,  $J_{2-1}$ 常闭结点,  $J_{2-2}$ 常接 $V_{D1}$  (绿灯),  $V_{D2}$  (红灯)  
S闭合, 无酒精时,  $J_1$ 闭合点火; 气敏电阻高,  $U_a$ 高 $U_o$ 低, 555输出高,  $J_2$ 无电流;  
有酒精时, 气敏电阻下降,  $U_a$ 低 $U_o$ 高, 555输出低,  $J_2$ 吸合,  $J_{2-1}$ 断开, 不启动;  
若司机拔出气敏传感器,  $J_1$ 断电 $J_{1-1}$ 断开无法启动。 $J_{1-2}$ 气敏元件加热回路

# 第10章 半导体式化学传感器



## 10.1 气敏传感器

### 10.1.2 非电阻型半导体气敏传感器

非电阻型半导体气敏传感器利用**晶体管参数**进行气体检测，多为**氢敏（氢气敏感）**传感器。

特点是：用特定材料对某些气体敏感。

工艺成熟、易集成、价格便宜，

非电阻型半导体气敏传感器主要类型：

利用**MOS二极管的电容—电压**特性变化；

利用**MOS场效应管的阈值电压**的变化；

利用肖特基金属半导体二极管的**势垒变化**。