

# 第十一章 电流、电阻和电压

## 电流

- 电流的大小称电流强度或电流
- 用字母  $I$  表示
- 单位是安培(ampere), 符号是 A
- 在一个完整电路 (或称闭合电路) 中, 电流会流经电路, 电器便开始操作

## 生物体内的电流

- 人体的心脏跳动是由体内微弱的脉冲电流来触发和控制的
- 这些电流会经身体组织传到皮肤
- 在人的胸部和四肢连上电极, 可以在仪器上看到控制心脏跳动的电流时间变化曲线, 简称心电图, 以了解心脏是否正常

## 测谎仪

- 人体许多部位都有微弱的电流产生
- 当人脑受到刺激时, 会使脑产生出不同形式的脑电流
- 这些脑电流可以推断出人脑的思维或情绪状态

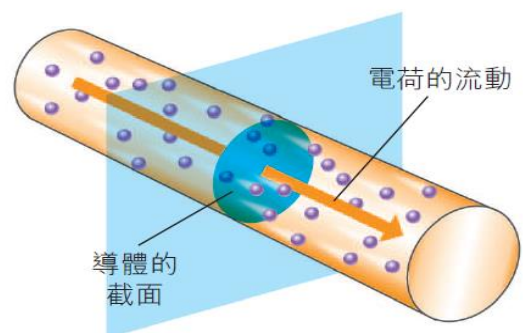


## 人体对电流强度的反应

- 一般下, 能引起人体感觉的最小电流约 1mA
- 15mA 的电流会使人的肌肉失去控制
- 100mA 的电流可能导致死亡

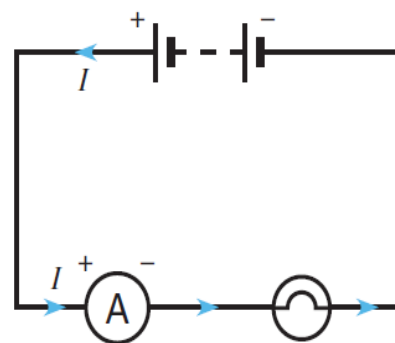
## 电流

- 电流是由电荷定向流动所形成的, 电流是电荷的流动率
- 当量值为  $Q$  的电荷在时间  $t$  内通过截面  $A$  时, 我们可定义通过导体的平均电流  $I$  为  $I = \frac{Q}{t}$
- 电流的大小可以用安培计测量
- 每个安培计都有一定的测量范围称量程
- 电流流动的方向不会改变



## 安培计的使用

- 正确选择量程
- 必须使电流从安培计的+接线柱流入，从-接线柱流出
- 安培计必须与被测的电器**串联**



## 电压

- 电源对**自由电子的推动作用**，电路产生的电流原因
- 以字母  $V$  表示
- 单位是伏特，符号  $V$

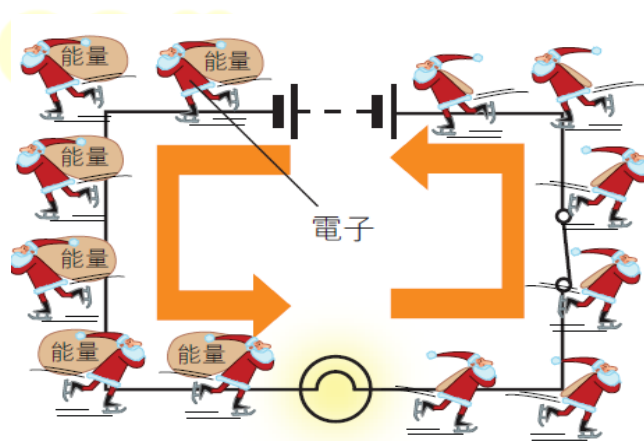
## 干电池

- 对自由电子的推动是有方向
- 当多个电池同方向顺次连接，电磁对自由电子的推动作用互相叠加，电压增大
- 当电池反向连接式，电池对自由电子的推动互相抵消，电压间歇

## 电子是能量的载体

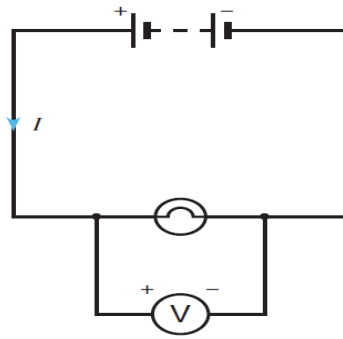
### 电动势和电势差

- 电动势
  - 一个电源的电动势(e.m.f.) 为每单位电荷通过该电源时所获得的电能
- 电势差
  - 电路中两点的电势差，为每单位电荷通过该两点时，从电能转换为其他形式的能量
- 电压
  - 可以是指电动势或电势差



## 伏特计的使用

- 测量电压的大小
- 正确选择伏特计量程
- 必须把伏特计与被测的用电器**并联**



## 电鳗

- 电鳗是鱼类中放电能力最强的淡水鱼类，输出的电压 300 ~ 800 伏，因此电鳗有水中的"高压线"之称
- 电鳗的发电器的基本构造与电鳐相类似，也是由许多电板组成的。它的发电机分布在身体两侧的肌肉内，身体的尾端为正极，头部为负极，电流是从尾部流向头部
- 当电鳗的头和尾触及敌体，或受到刺激影响时即可发生强大的电流。电鳗的放电主要是出于生存的需要
- 因为电鳗要捕获其他鱼类和水生生物，放电就是获取猎物的一种手段。它所释放的电量，能够轻而易举地把比它小的动物击死，有时还会击毙比它大的动物，如正在河里涉水的马和游泳的牛也会被电鳗击昏



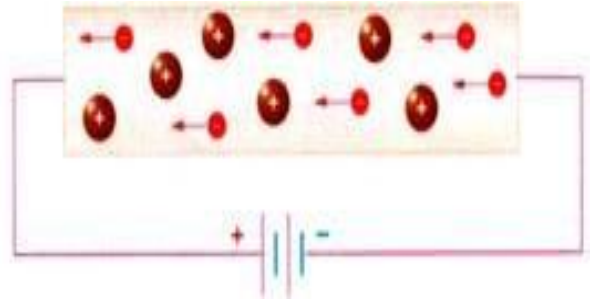
## 物质与导电性

- 导体：导电性良好，如铜、铝。其原因是原子的外层价电子所受束缚力非常微弱，故电子可在原子间的空隙自由移动(即**自由电子**)
- 绝缘体：导电性很差，如玻璃、石蜡。其原因是外层电子受到原子内部**束缚**，不易挣脱
- 半导体(semiconductor)：其导电性介於导体与绝缘体之间，其原子内部的价电子，虽然受到相当的束缚力，但是由於热运动或外加的电场，均可使部分的价电子脱离原子的束缚，而形成相当的导电能力

## 导电的原因

- 物体的导电性能取决於最外层轨道的价电子活动能力上，自由电子，若受到外加电场作用，即受电力而运动，呈现良好的导电性

- 因热运动，有少数价电子会挣脱束缚形成自由电子，而电子脱离後，在原来键上留下空位，称为电洞，会使其他位置的价电子被吸引过来填补此空位，其结果好像是电洞会移动，可视电洞是带正电而能移动的粒子



### 导体和绝缘体不是绝对的

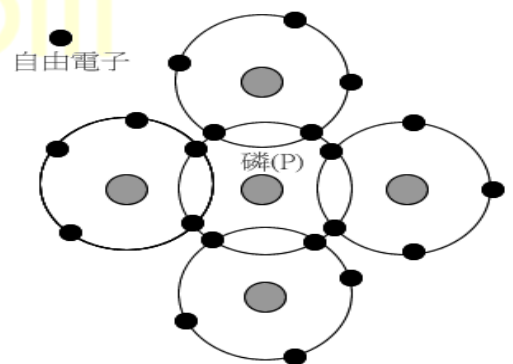
- 有些绝缘体在条件改变时会变成导体
- 导体的表面在氧化后或腐蚀后，导电能力会下降或不导电
- 人造卫星电路的接触点镀上金，防止腐蚀，确保电路导电的可靠性

### 掺杂半导体

- 掺杂(Doping)是增加半导体导电性的一种方法
- 就是在本质晶体内加入一些杂质原子而改变其电特性，所以掺杂半导体又被称为外质半导体(extrinsic semiconductor)，常见的外质半导体有 p-type 半导体及 n-type 半导体

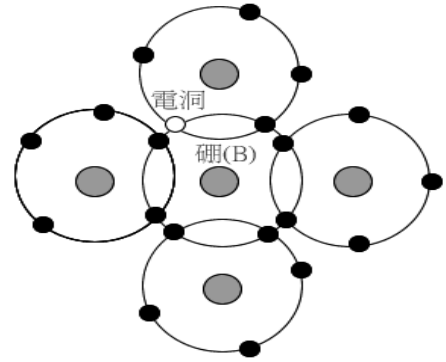
### n 型半导体(n-type Semiconductor)

- 被五价原子掺杂的矽晶体称为 n 型半导体，在 n 型半导体中，自由电子数远大于电洞数，故自由电子称为多数载子(majority carriers)，而电洞称为少数载子(minority carriers)
- 将五价原子(如砷、磷、锑)加到本质矽晶体。五价原子被 4 个矽原子所包围，将共有电子而形成晶体结构。由於每一个五价原子的价轨道上有五个价电子，所以会留下一个多馀的电子，此多馀电子就形成自由电子，可增加电子浓度
- 由於掺杂的物质(五价原子)会产生过剩的自由电子给矽晶体，故称此五价原子为施体(Donor)杂质，此掺杂的半导体就形成 n-型(n-type)半导体
- 每一个五价(施体)原子，会在矽晶体中产生一个自由电子，所以五价原子加的愈多，产生的自由电子也愈多，导电性也愈好



## p 型半导体(p-type Semiconductor)

- 被三价原子掺杂的砷晶体称为 p 型半导体，在 p 型半导体中，电洞数远大于自由电子数，故电洞称为多数载子(majority carriers)，而自由电子称为少数载子(minority carriers)
- 将三价原子(如铝、硼、镓)加到本质砷晶体。三价原子被 4 个砷原子所包围，由于三价原子的价轨道上只有三个价电子，但要和 4 个砷原子结合，因此会形成一个不完整的共价键，所以在价轨道上必定会产生一个电洞
- 由于掺杂的物质(三价原子)会产生多余的电洞给砷晶体，故称此三价原子为受体(Acceptor)杂质，此掺杂的半导体就形成 p-型(p-type)半导体
- 每一个三价(受体)原子，会在砷晶体中产生一个电洞，所以三价原子加的愈多，产生的电洞也愈多，导电性也愈好



## 光敏电阻

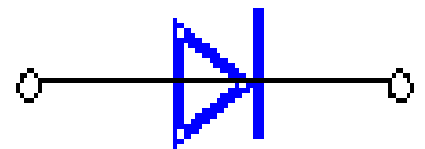
- 半导体的电阻随着光的改变，制造成自动控制电阻
- 当光敏电阻受到**光照射**时，它的**电阻器会降低**，因为光能使材料里的电阻脱离原子成为自由电子，增加材料的导电性
- 当光的强度很高时，电阻值降低

## 热敏电阻

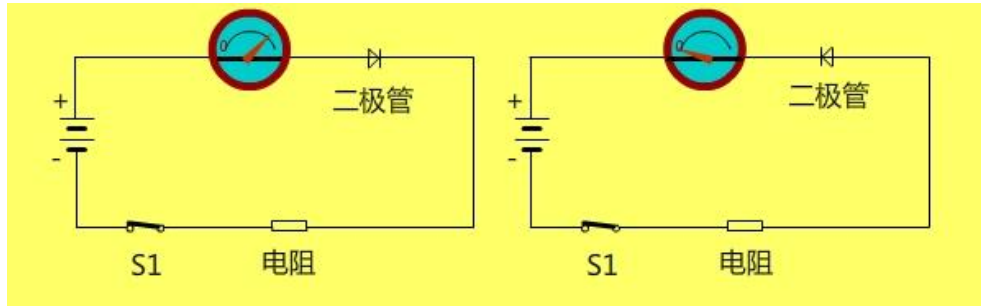
- 半导体随温度升高改变电阻
- 当热敏电阻感应到**温度升高**时，**电阻变小**，电流增大

## 半导体二极管

- 半导体二极管的结构
- 在 PN 结上加上引线和封装，就成为一个二极管。
- 二极管在现代电子电路中有着广泛的用途，其制造的材料和工艺都有很多种。
- 所有的二极管都有一个共同的特性：只允许电流向一个方向流动。

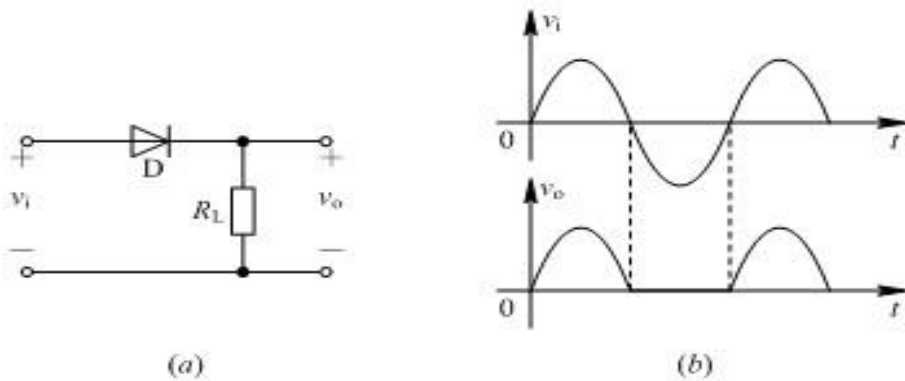






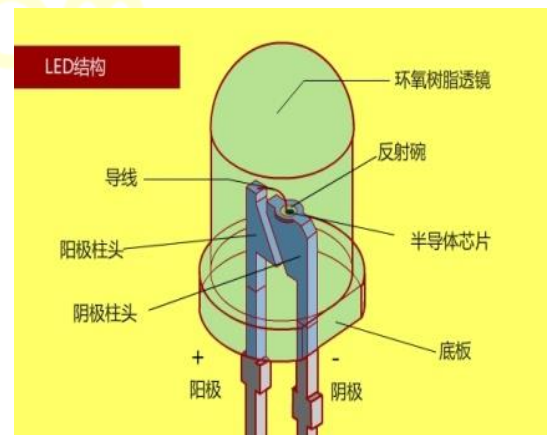
## 整流（利用单向导电性）

- 将交流电变为单极性电压，称为整流。
- 图为二极管半波整流电路。若二极管为理想二极管，当输入一正弦波，正半周时，二极管导通(相当开关闭合)， $v_o=v_i$ ；负半周时，二极管截止(相当开关打开)， $v_o=0$ 。



## 发光二极管

- LED 是发光二极管的英文缩写（Light Emitting Diode）
- 当电子与空穴复合时能辐射出可见光，因而可以用来制成发光二极管
- 磷砷化镓二极管发红光，磷化镓二极管发绿光，碳化硅二极管发黄光，铟镓氮二极管发蓝光
- 发光二极管与普通二极管一样是由一个 PN 结组成，也具有单向导电性
- N 区的电子和 P 区的空穴复合，产生自发辐射的荧光

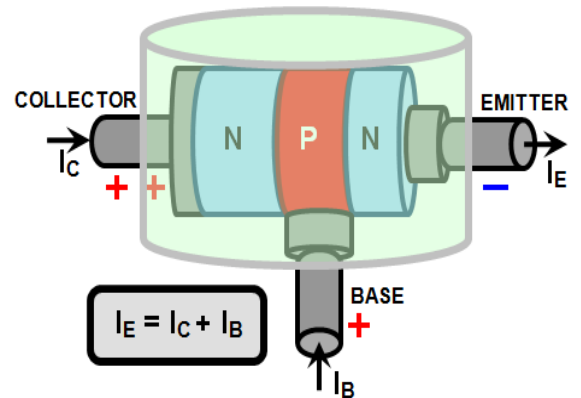


## 晶体管

- 它由两个背对背的PN结构成
  - 通常有NPN型和PNP型两种
- 双极型三极管对外提供三条连接线与其他线路连接，分别称为集电极、基极和发射极

## 用途

- 放大微小的讯号，只要有微小电流变化，控制很大的电流变化
- 形成多种放大器
- 收音机、电视机



## 电阻

- 导体对**电流阻碍**作用的大小
- 阻碍作用越大，电阻值就越大
- 用字母 R 表示
- 单位欧姆，符号  $\Omega$

## 影响电阻大小的因素

- 导体的电阻大小和本身的材料性质有关
  - 例：金、银、铜是电的良导体，有较低的电阻；而玻璃、橡胶等是电的绝缘体，有很高的电阻
- 相同材料的导体
  - 其截面积越大，电阻就越小
  - 导线越长，电阻就越大
- 金属导线温度升高时，导电能力下降，即：
  - 金属导线内温度越高，则电阻越大

## 固定电阻器

- **阻值不能改变**的电阻器
- 对电路的电流有效控制

## 光敏电阻器

- 利用半导体的特殊性质造成电阻器
- 入射光越强，电阻越小，入射光越弱，电阻越大



## 超导

- 荷兰物理学家昂纳斯将水银逐渐冷却到 $-40$ 摄氏度时，水银的电阻逐渐减小，当温度降到 $4.153\text{K}$ 时，电阻突然消失了
- 超导现象：金属或合金在温度降到某一数值时，电阻会突然消失
- 超导体：把电阻为零的材料
- 在工业、交通、医疗、航天、国防、科学应用如核磁共振仪和高能加速器提供很大的电流



## 变阻器

- 电阻的阻值能被人改变
- 将漆包电阻丝绕在陶瓷圆筒上，通过滑动套在滑杆上滑动头来改变电路电阻丝的长度，改变电路的电阻
- 例子：音响调音台，利用一组可变电阻来改变各种音调声音、成分、响度、改变声音品质
- 例子：舞台灯光调节、电风扇调速、收音机、电视机音量等

## 电流、电压、电阻

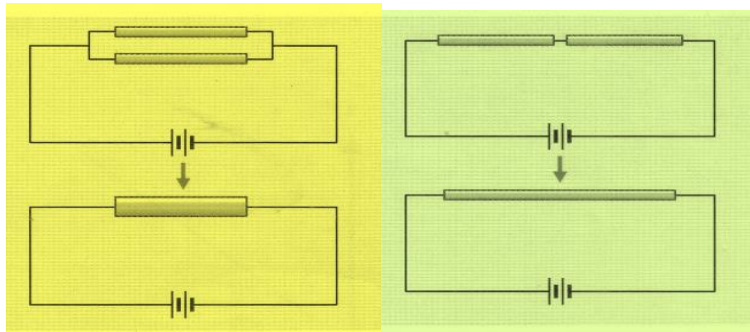
- 在串联电路中，流经所有元件的电流是相同的。
- 在并联电路中，流经所有分支的电流的总和相等於流经电源的电流
- 在串联电路中，所有负荷两端的电势差的总和相等於电源的电动势
- 在并联电路中，任何分支两端的电势差都是相同的。



## 电阻串联或并联

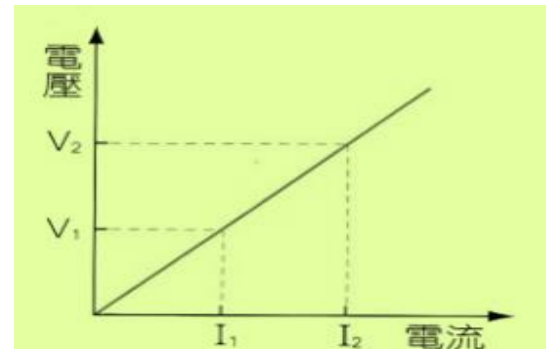
- 当两条导线并联在一起时，就相当於增加导线的面积，电阻会变小
- 当两条导线串联在一起时，就相当於增加导线的长度，电阻会变大





## 欧姆定律

- 电流强度、电压和电阻的关系
- 导体中的电流强度与导体两端的电压成正比
- $V/I = R$



## 电阻的串联

- 串联电路中各处电流强度相等
  - $I_1 = I_2 = I_3$
- 串联电路两段的总电压等于各部分电路两端的电压之和
  - $V = V_1 + V_2$
- 串联电路的总电阻等于各串联电阻之和
  - $R = R_1 + R_2$

## 电阻的并联

- 并联电路中总电流强度等于各支路中的电流强度之和
  - $I = I_1 + I_2$
- 并联电路中，各支路两端的电压都相等
  - $V = V_1 = V_2$
- 并联电路的总电阻的倒数，等于各并联电阻的倒数之和
  - $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$