

# 1. 半导体二极管及其应用

## 1.1: 半导体基本知识

### 1.1.1:

1. 半导体电阻率 ( $10^{-2} \sim 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ )

常用  $\begin{cases} \text{Si} \\ \text{Ge} \end{cases}$

### 2. 主要特性:

- (1) 热敏特性:  $T \uparrow, \rho \downarrow$
- (2) 光敏特性: 受光能辐射时,  $\rho \downarrow$
- (3) 掺杂特性: 掺杂后,  $\rho$  增加极大

### 1.1.2: 本征半导体

1. 完全纯净的半导体
2. 绝对零度时: 只有价电子(共价键中)
3.  $n_i = p_i = A \cdot T^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{E_g}{2kT}}$ 
  - (1)  $T=0K$  时, 为绝缘体
  - (2)  $T=300K$  时:  $n_i = p_i = 1.43 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$  (Si)  
 $n_i = p_i = 2.38 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$  (Ge)
  - (3)  $n_p \times n_n = k(T)$  - 与  $T$  有关的常数

4. 半导体与金属导电区别: 前者有空穴

5. 本征半导体特点  $\begin{cases} \text{电阻率大} \\ \text{导电性能随 } T \text{ 变化大} \end{cases}$

$\Rightarrow$  Can't be used directly

### 1.1.3: 掺杂半导体

定义: 在本征半导体中 (Si/Ge) 中掺入微量其他适当元素, 根据掺杂不同分为:


1. N型: (5价: e.g. P, As)

(1)  多出一个电子

 出现一个正离子

(2) 掺入的少量杂质称为施主杂质

2. P型: (3价)

(1)  出现一个空穴 (吸引其他价电子来填补)  
因此产生一个空穴 + 一个负离子

(2) 受主杂质 (因其接受电子)

3. 杂质半导体的转型:

$N \xrightleftharpoons[\text{五价}]{\text{三价}} P$

齐纳

高

薄

$< 4V$

负

(PN结中) 价电子受激

雪崩  
①

低

厚

$> 6V$

正

对加速碰撞PN结中价电子, 使其电离 (与杂质浓度有关)

4. 小结:  $\begin{cases} N: \text{多子 - 电子} \\ \text{少子 - 空穴} \end{cases}$

$\begin{cases} P: \text{多子 - 空穴} \\ \text{少子 - 电子} \end{cases}$

(2):  $n$  多 - 主要取决于掺杂多少

$p$  少 - 主要取决于温度

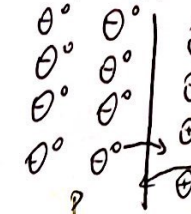
(3): 半导体中正负电荷总数相等, 宏观呈电中性

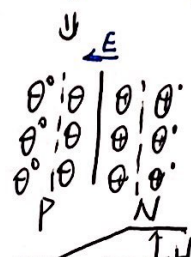
## 1.2: PN结的形成与特点

### 1.2.1 形成:

1. 以N型半导体为基片, 由半导体打散工艺

Ct. 半导体一边为N, 一边为P

2:  (1) 在浓度差作用下, 电子从  $N \rightarrow P$ , 空穴从  $P \rightarrow N$ .  
(2) 在P区、N区交界面上多一层不能运动的正、负离子

 (3) 当打散 = 漂移时, 流过PN结的净电流 = 0  
PN结厚度一定 (约几个  $\mu m$ )  
接触电势一定 (约0.6V)

### 1.2.2: PN结的单向导电性

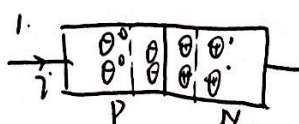
1. 正向:  $P+, N-$ :

此时:  $\begin{cases} \text{PN结变窄} \\ \text{低阻导通} \end{cases}$

2. 反向:  $P-, N+$ :

此时:  $\begin{cases} \text{PN结变宽} \\ \text{高阻截止} \end{cases}$ ; 反向饱和电流  $I_s$  (少)  
 $\downarrow$   
与  $T$  有关, 与反向电压几乎无关

### 1.2.3: PN结电压与电流关系

1.   $i = I_s (e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$   
 $U_T \approx 26mV$  ( $T=300K$  即室温下)

(1) 当  $U=0$  时:  $i=0$  (打散 = 漂移)

(2)  $U > 0$  且  $U \gg U_T$  时:  $i \approx I_s e^{\frac{U}{U_T}}$

(3)  $U < 0$  且  $|U| \gg U_T$  时:  $i \approx -I_s$

### 1.2.4: PN结反向击穿

当反向电压超过一定值时, 反向电流急剧增大, PN结被击穿  
掺杂浓度  $\rightarrow$  PN结 击穿电压 温度系数 成因



扫描全能王 创建



## 1.2.5. PN结的电容效应

1. 扩散电容  $C_D = \frac{dQ}{dU}$

PN结正偏电压 $\uparrow$ , 积累的非平衡少数载流子越多.

2. 势垒电容  $C_B$ .

PN结的偏置电压能使空间电荷层中电荷量变化.

3. 结电容  $C_j = C_D + C_B$ .

反偏时:  $C_B \gg C_D$ ,  $C_j \approx C_B$

正偏时:  $C_D \gg C_B$ ,  $C_j \approx C_D$

4.  $C_j$ 是非线性电容,  $\propto$  PF量级

当信号为中低频时, 结电容容抗较大, 可忽略.

## 1.3. 半导体二极管

### 1.3.1. 半导体二极管的结构与类型

1.  $\begin{cases} Si管 \\ Ge管 \end{cases} \begin{cases} 平面型 \\ 点接触型 \end{cases}$

2. 二极管就是一个封装的PN结

### 1.3.2. 伏安特性

$i_D = f(u_D)$

1. 正向特性:  $\begin{cases} 非线性 \\ 有死区 \\ 有压降 \end{cases} \begin{cases} Si: 0.5 \\ Ge: 0.1 \\ Si: 0.7 \\ Ge: 0.3 \end{cases}$

2. 反向特性

1) 反偏区:  $I_S \begin{cases} Si: < 0.1\mu A \\ Ge: n \sim \mu n A \end{cases}$

2) 击穿区:  $\begin{cases} 电击穿 \\ 热击穿: 结温 \end{cases} \begin{cases} Si: 150 \sim 200^\circ C \\ Ge: 75 \sim 100^\circ C \end{cases}$

### 1.3.3 温度对半导体二极管的影响

1.  $T \uparrow$  时:  $\frac{\Delta U_D}{\Delta T} = -(2 \sim 2.5) mV/^\circ C$

死区电压 $\downarrow$   
 $U_C \downarrow$   
 $I_S \uparrow$

### 1.3.4. 主要电参数:

$I_F$ : 额定电流.

$U_{(BR)}$ .

$U_R$ :  $(= \frac{1}{2} \sim \frac{2}{3} U_{(BR)})$ : 反向工作电压

$I_R$ : C 反向电流

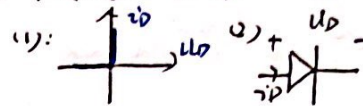
$U_F$ : 正向电压降

$f_M$ : 最高工作频率

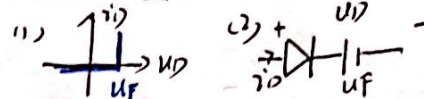
## 1.3.5. 半导体二极管的模型

(线性化处理)

1. 开关模型 - 理想二极管

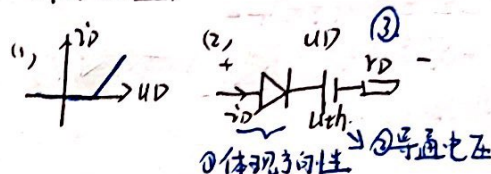


2. 恒压模型.

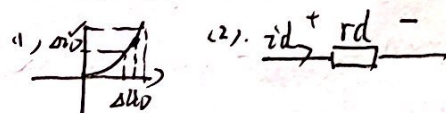


当信号幅度小时, 仍可认为导通后正向压降恒定

3. 折线模型



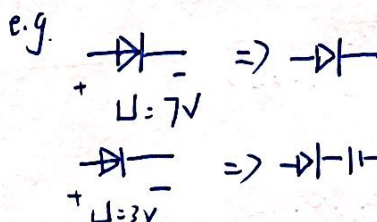
4. 小信号动态模型



$$r_d = \frac{\Delta U_D}{\Delta i_D} \bigg|_{u_D = U_D, i_D = I_D}$$

3)  $u_i$  交流信号  
 $U_{D0}$  直流信号  
二极管始终导通.

注:  $i_D$  直流信号



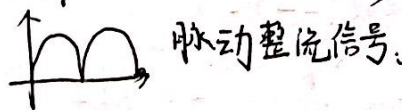
## 1.4. 半导体二极管的应用

1.4.1. 在整流电路中的应用 (把交流变直流)

半波 全波 桥式整流电路

一. 桥式整流电路

(在分析交流信号时要分正负半周)




扫描全能王 创建



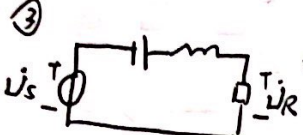
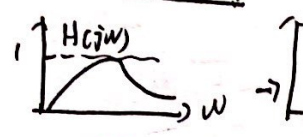
## 1.4.2. 在滤波电路中的应用

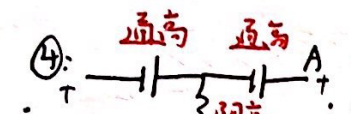
见 PPT 14

review. ①:  高通滤波器

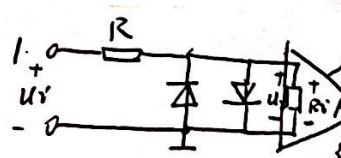
②:  低通

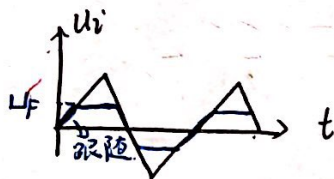
1.5.2 结果相反, 因为输出响左不同

③:  带通  
 通带  
阻带

④:  高通  
阻带

## 1.4.3. 限幅电路

 同相端  
运放



## 1.5 特种二极管

### 1.5.1. Si 稳压二极管

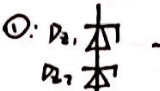
$I_C$  小且陡

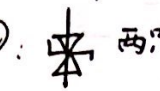
1. 本: 工作于反偏且击穿  
的直流电压下

2. 主要电参数:

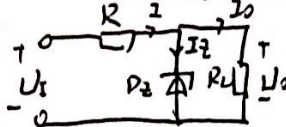
①, 稳定电压:  $U_Z$   
 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$   
 $I_{ZM}$   
 $P_{ZM}$   
 $U_Z > 6V$ , 为正  
 $U_Z < 4V$ , 为负

(2) 具有温度补偿的稳压管

①:  一只  $U_{D1}$  为正, 一只为负

②:  两只为正  $\therefore T \uparrow$ , 正向导通二极管有负向  $U_{D1}$

### 3. Si 稳压管稳压电路



①, 稳压原理:  $U_I \uparrow \rightarrow U_D \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow I \uparrow \rightarrow ZR \uparrow \rightarrow U_D \downarrow$   
 $R_L \downarrow \rightarrow U_D \downarrow \rightarrow U_Z \downarrow \rightarrow I_Z \downarrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow ZR \downarrow \rightarrow U_D \uparrow$

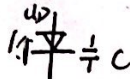
②, 限流电阻的计算, 保护

$$\frac{U_{I(max)} - U_Z}{I_{O(max)} + I_{ZM}} \leq R \leq \frac{U_{I(max)} - U_Z}{I_{O(max)} + I_{Z(min)}}$$

$$\frac{R_L U_Z}{R_L + R} > U_Z$$

e.g. 见 PPT 1.5

### 1.5.2. 变容二极管






2. 特点: 当二极管反偏时, 因反向电阻很大, 可作电容使用  
电容值与所加的反向偏置电压大小有关

2. 应用: 见 PPT 1.5

3. 其他特种二极管:

①, LED: 

②, 光敏二极管 

③, OLED:

