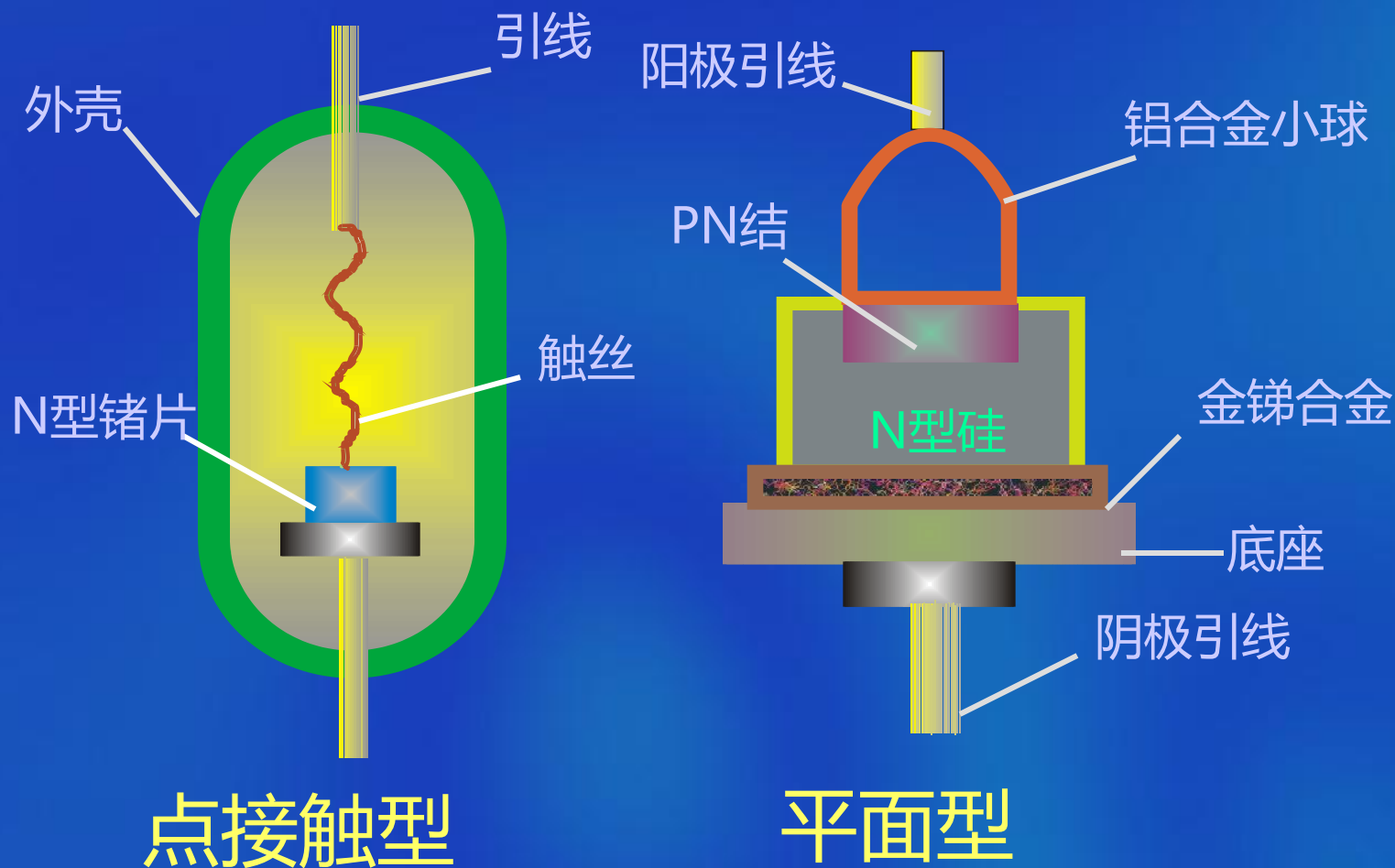


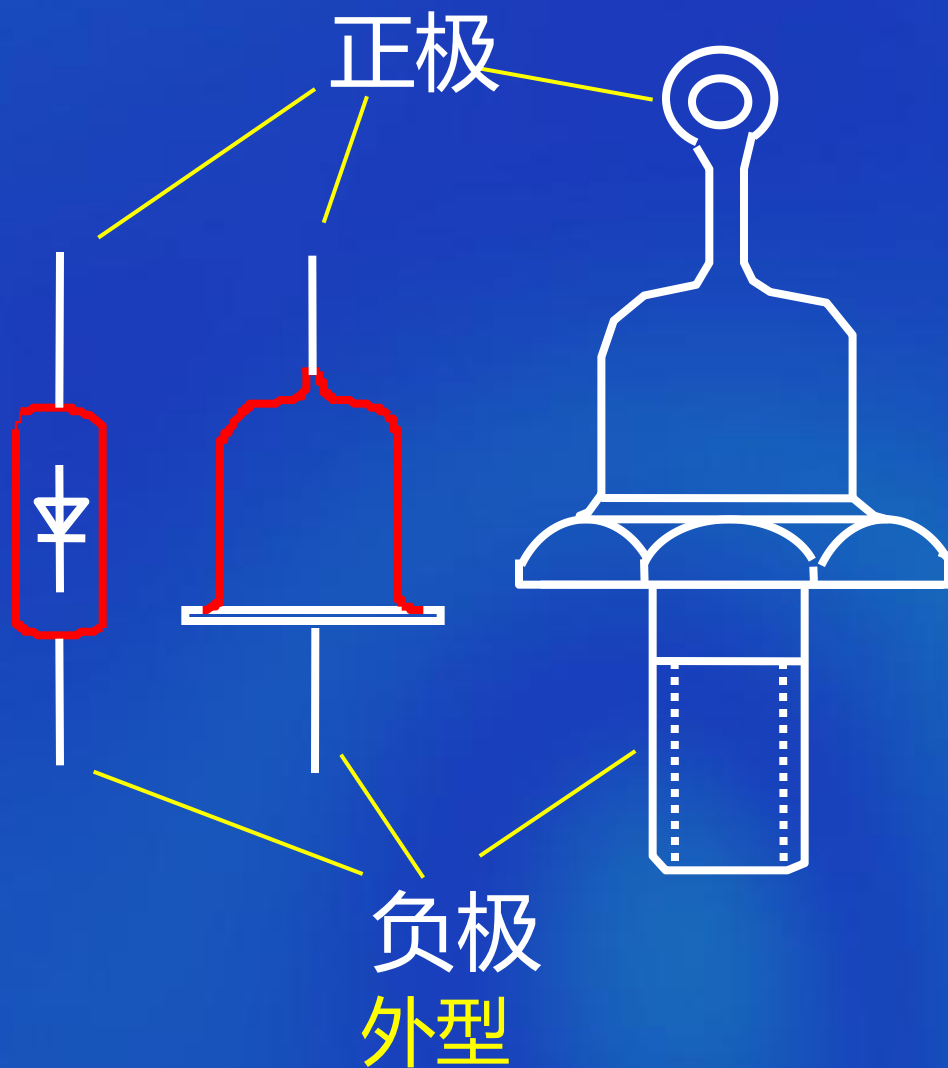
1.3 半导体二极管

1.3.1 半导体二极管的结构和类型

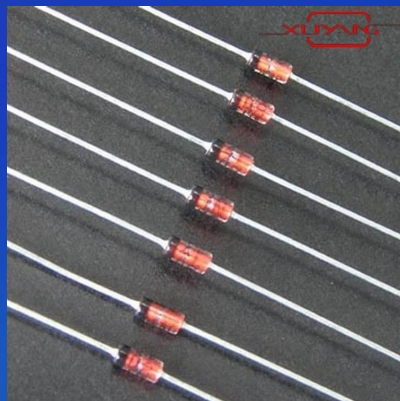
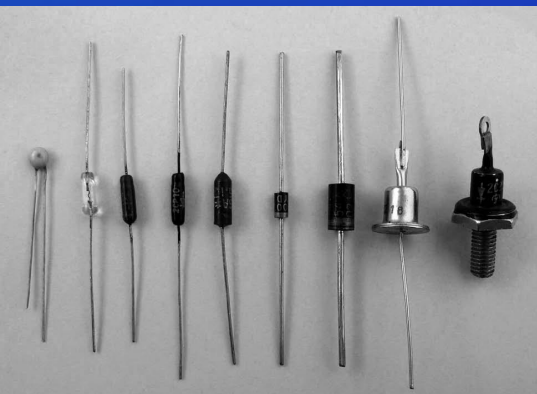


二极管就是一个封装的PN结

半导体二极管的外型和符号



半导体二极管的图片



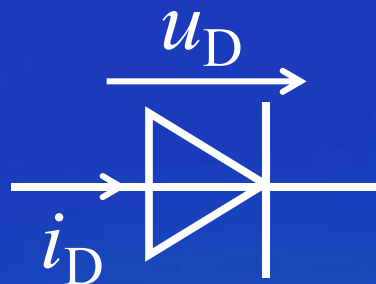
插件二极管是有引脚的，安装在PCB上需要PCB开孔，焊接穿过PCB；贴片二极管与PCB和之间接触面是平面，也需加锡焊接。

半导体二极管的类型

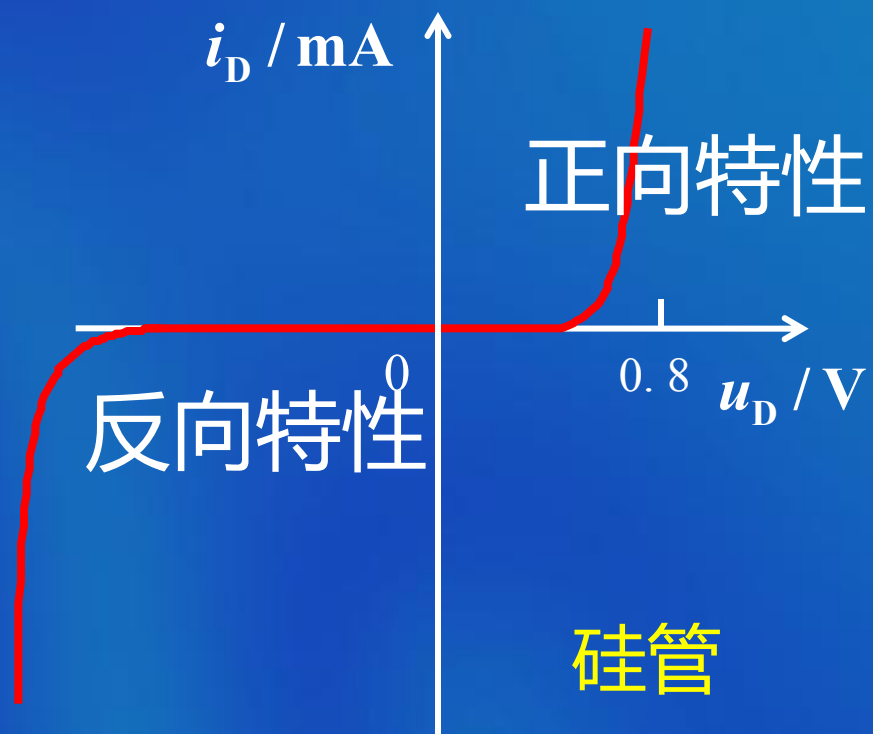
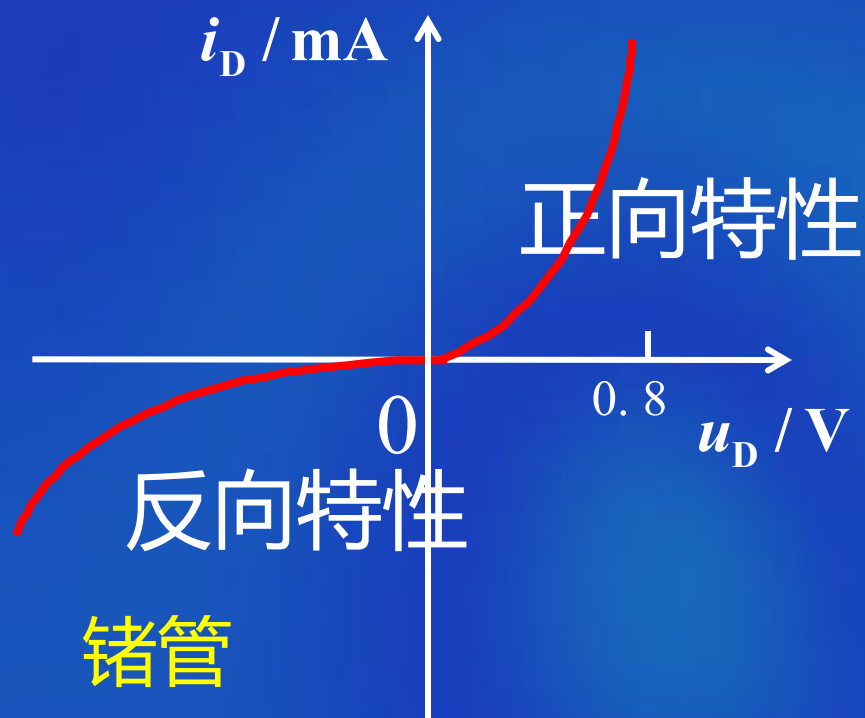
(1) 按使用的半导体材料不同分为 { 硅管
锗管

(2) 按结构形式不同分 { 平面型
点接触型

1.3.2 半导体二极管的伏安特性



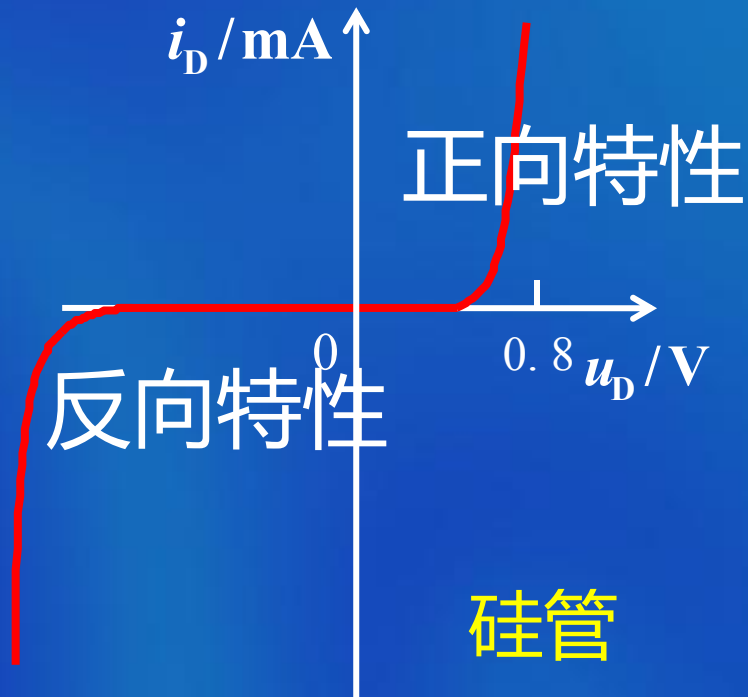
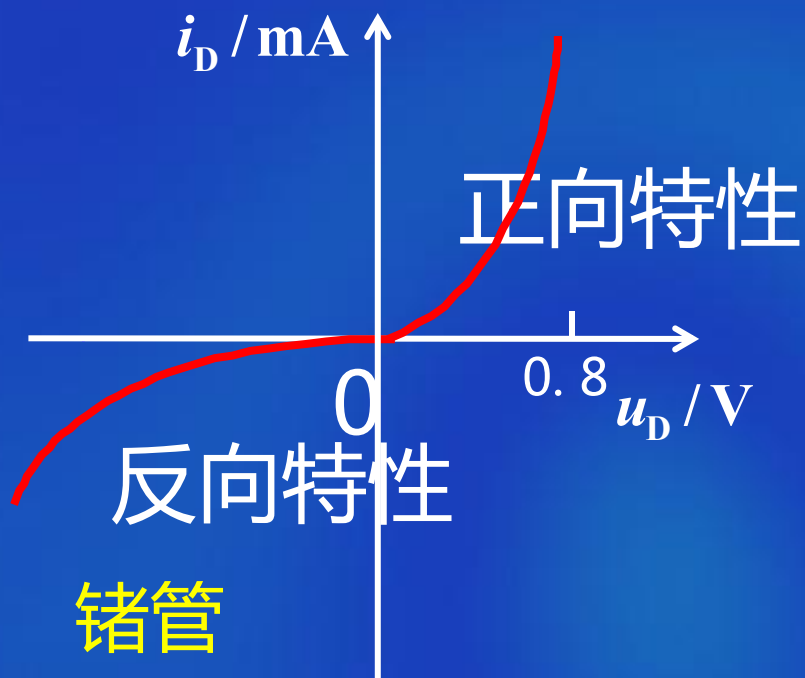
$$i_D = f(u_D)$$



1. 正向特性

(1) 非线性 整个正向特性曲线近似地呈现为指数形式。

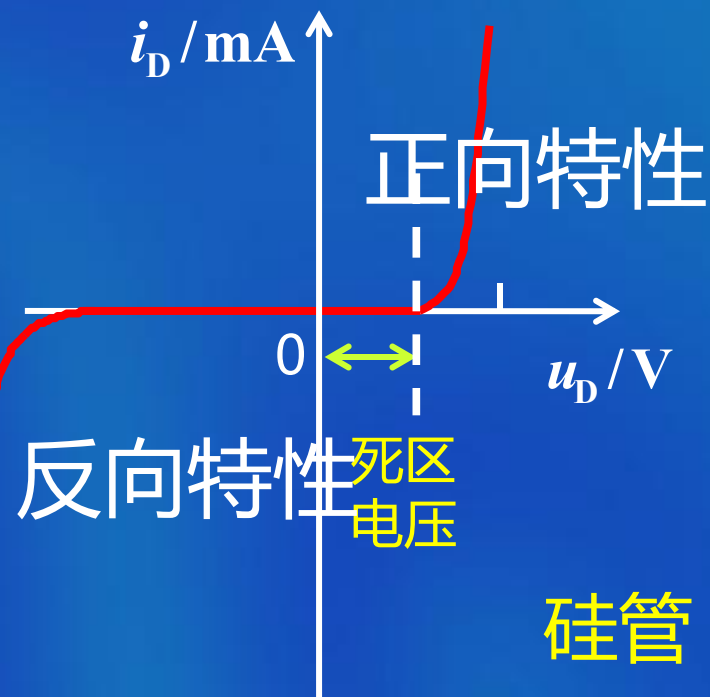
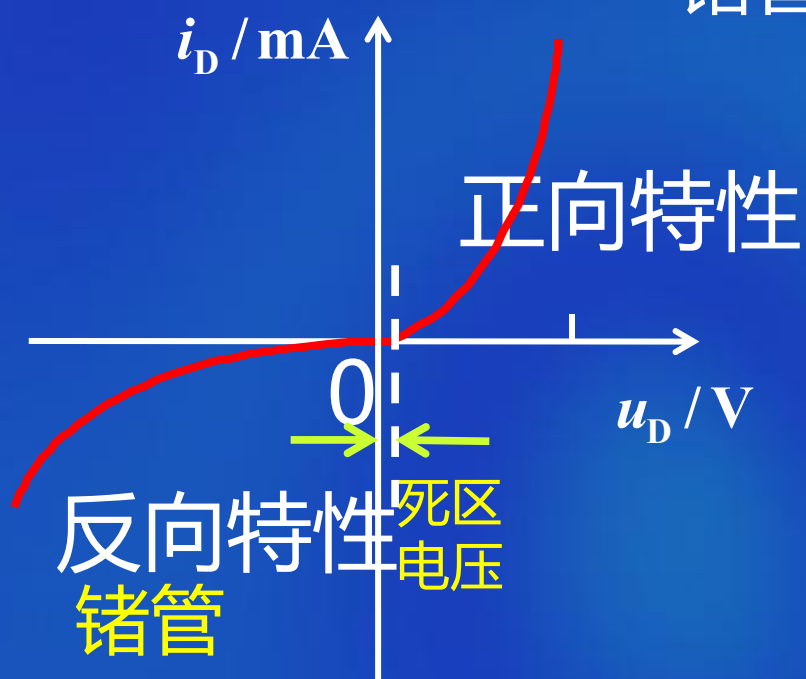
$$i_D \approx I_S e^{u_D / U_T}$$



1. 正向特性

(2) 有死区 ($i_D \approx 0$ 的区域)

死区电压约为 {
硅管 0.5V
锗管 0.1V



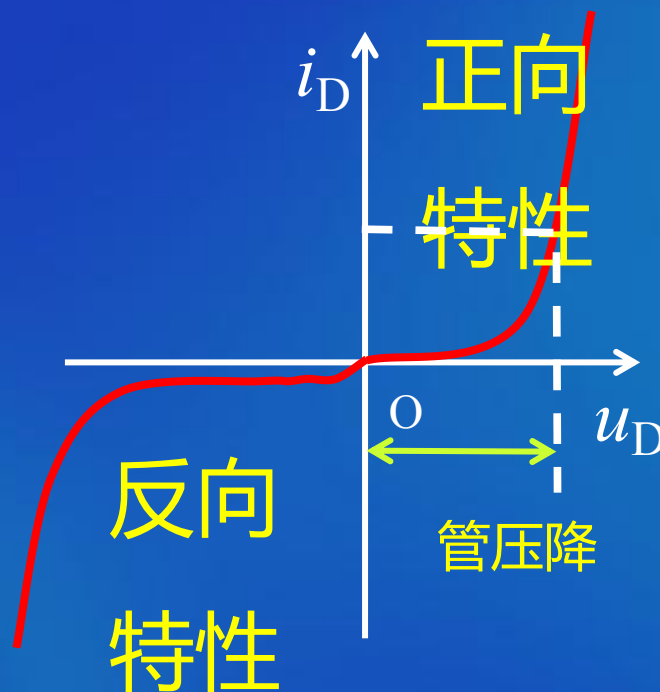
(3) 有压降 导通后 (即 u_D 大于死区电压后)

$$\frac{di_D}{du_D} \approx I_S e^{u_D/U_T} \frac{1}{U_T} \approx \frac{i_D}{U_T}$$

即 u_D 升高, i_D 急剧增大

管压降 u_D 约为 { 硅管0.6~0.8V
锗管0.2~0.3V

估算取管压降 u_D { 硅管0.7V
锗管0.3V

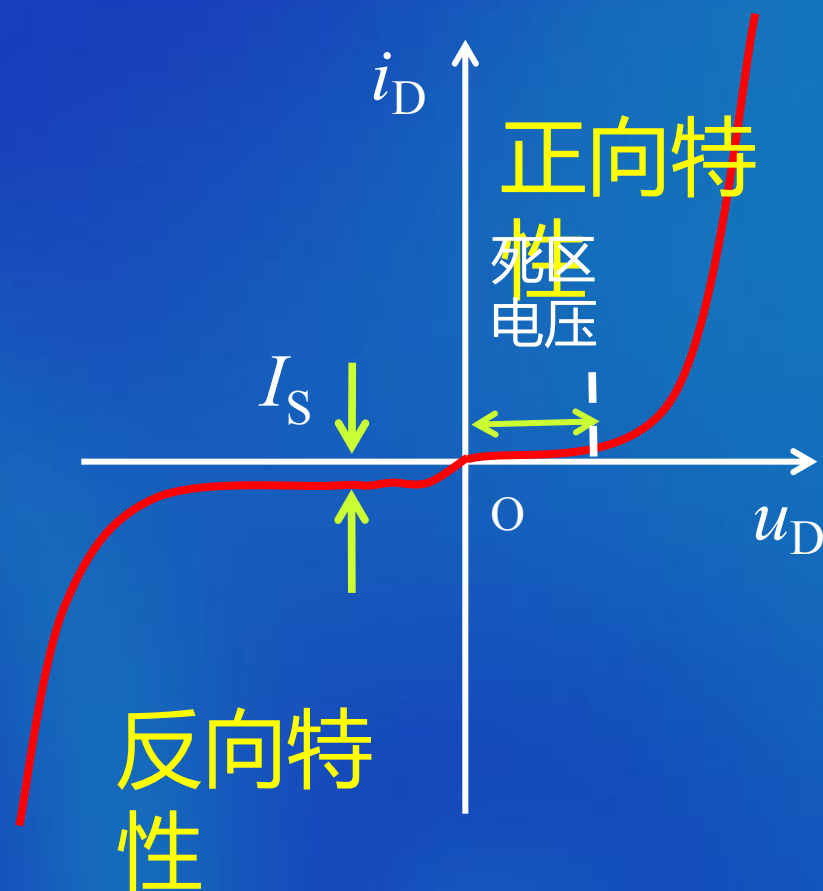


2. 反向特性

(1) 反偏区

当 $|u_D| < U_{(BR)}$ 时, $|i_D| \approx I_S$

I_S { 硅管 $< 0.1 \mu A$
锗管几十到几百 μA



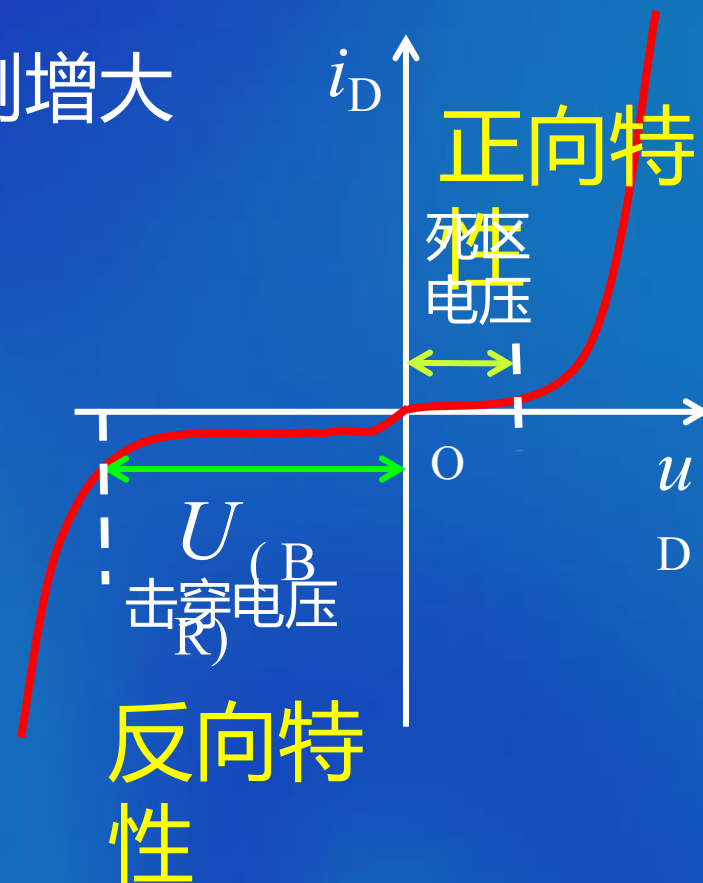
(2) 击穿区

当 $|u_D| > U_{(BR)}$ 时 反向电流急剧增大

二极管发生反向击穿

击穿的类型：

根据击穿可逆性分为 { 电击穿
热击穿



电击穿：

二极管发生反向击穿后，如果

- a. 功耗 $P_D (= |U_D I_D|)$ 不大。
 - b. PN结的温度小于允许的最高结温
 - c. 降低反向电压，二极管仍能正常工作。
- 硅管 $150 \sim 200^\circ\text{C}$
锗管 $75 \sim 100^\circ\text{C}$

热击穿：

PN结被烧坏，造成二极管的永久性损坏。

PN结反向击穿的机理

	掺杂 浓度	PN 结	击穿 电压	温度 系数	形成 原因
齐 纳	高	薄	$< 4V$	负	价电子受激发
雪 崩	低	厚	$> 6V$	正	少子加速 碰撞电离

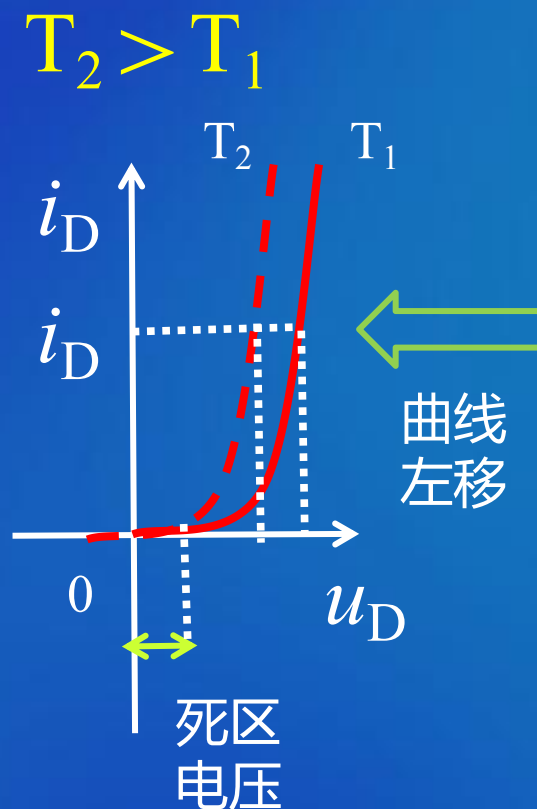
1.3.3 温度对半导体二极管特性的影响

1. 当温度上升时，
死区电压缩小，正向管压降降低。

$$\Delta u_D / \Delta T = - (2 \sim 2.5) \text{ mV}/^\circ\text{C}。$$

即 温度每升高 1°C ，

管压降降低 $(2 \sim 2.5) \text{ mV}$



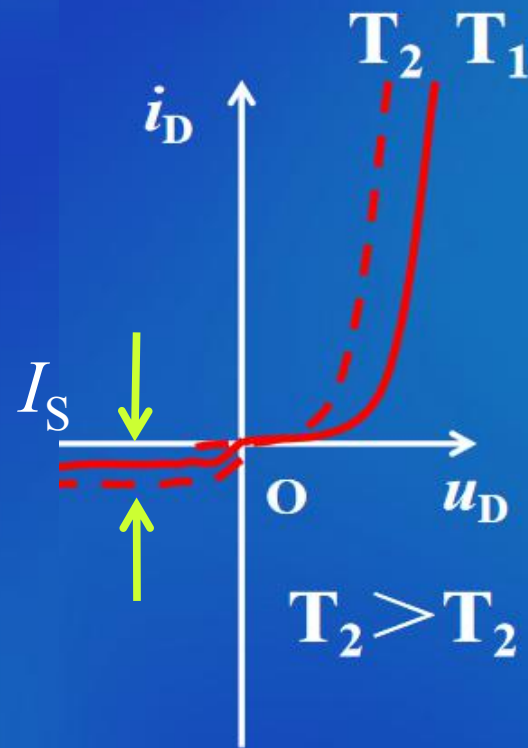
相同电流 i_D 下，管压降随温度升高而降低

2. 温度升高，反向饱和电流增大。

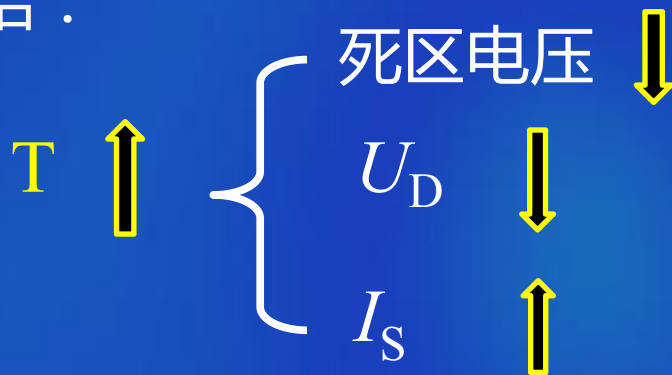
$$I_S(T) = 2^{\frac{T-T_0}{10}} I_S(T_0)$$

即 平均温度每升高 10°C ,

反向饱和电流增大一倍



小结：



二极管参数，两个升高一个下降

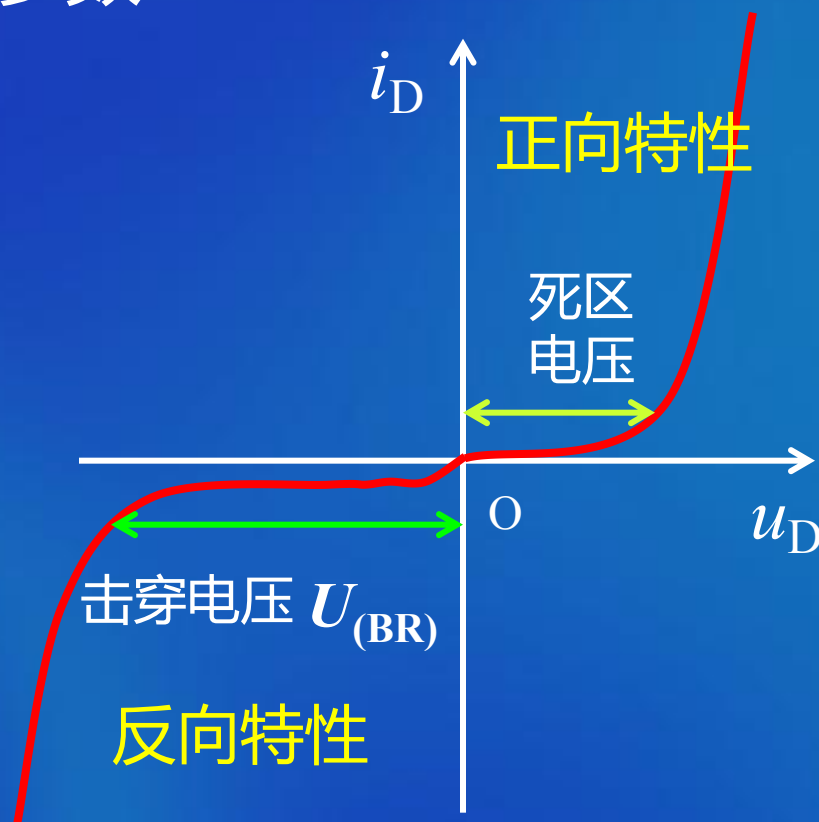
1.3.4 半导体二极管的主要电参数

1. 额定电流 I_F

管子长期运行所允许通过的电流平均值。

2. 反向击穿电压 $U_{(BR)}$

二极管能承受的最高反向电压。



普通二极管的最高反向电压一般在几十伏以上。

3. 最高允许反向工作电压 U_R

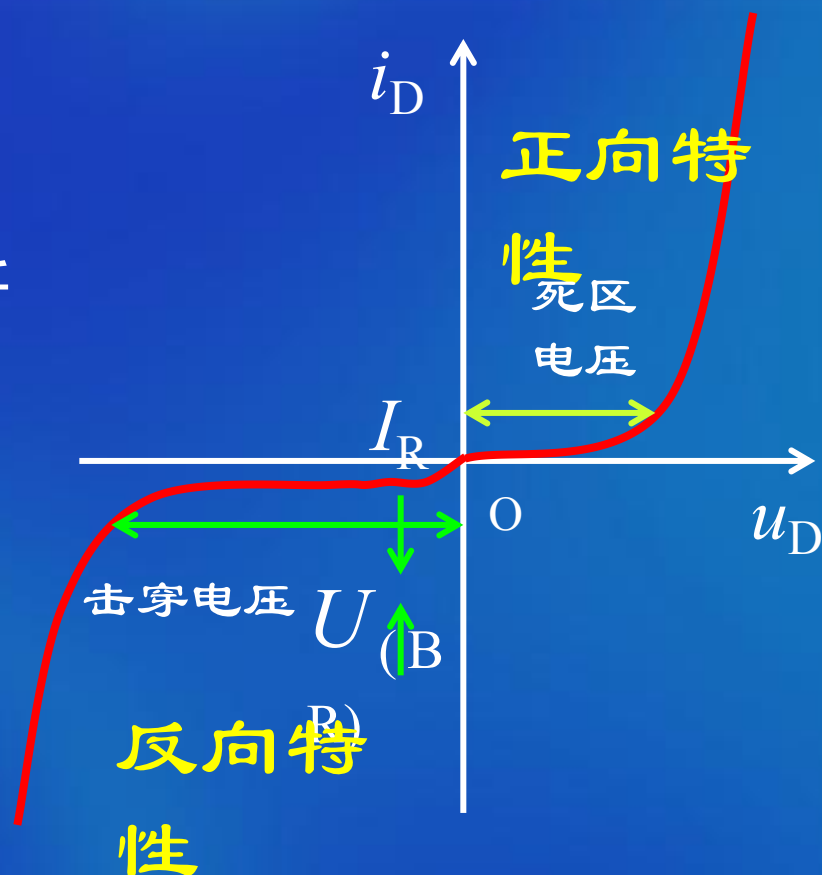
为了确保管子安全工作，所允许的最高反向电压。

$$U_R = (1/2 \sim 2/3) U_{(BR)}$$

4. 反向电流 I_R

室温下加上规定的反向电压测得的电流。

反向电流越小，管子的单向导电性越好。



硅管为 (nA) 级

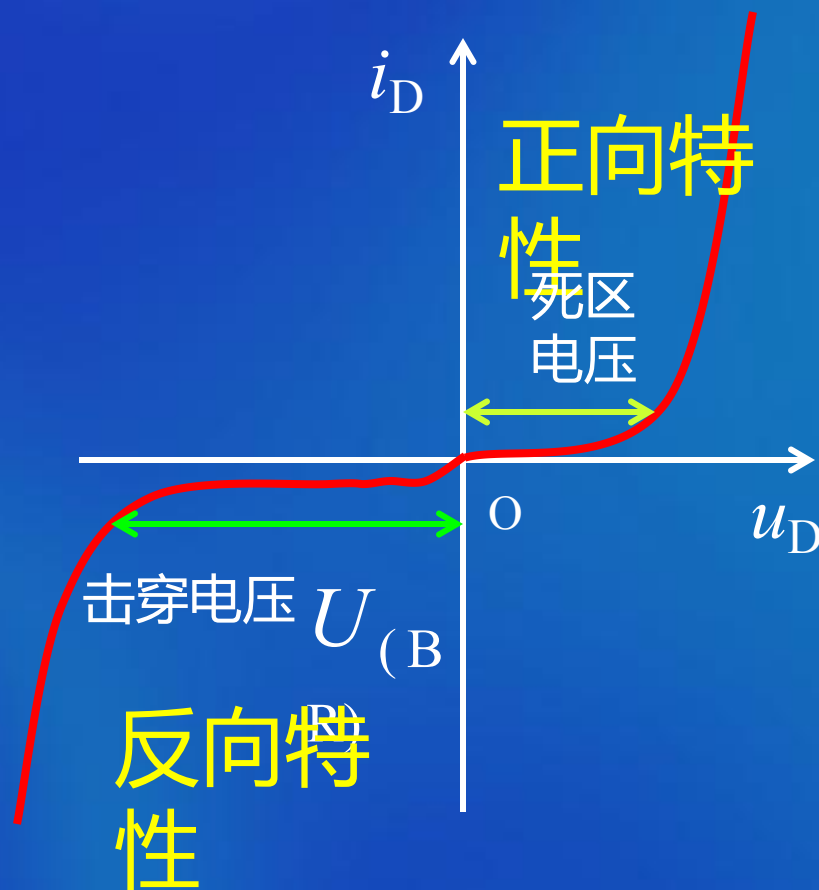
锗管为微安 (μA) 级

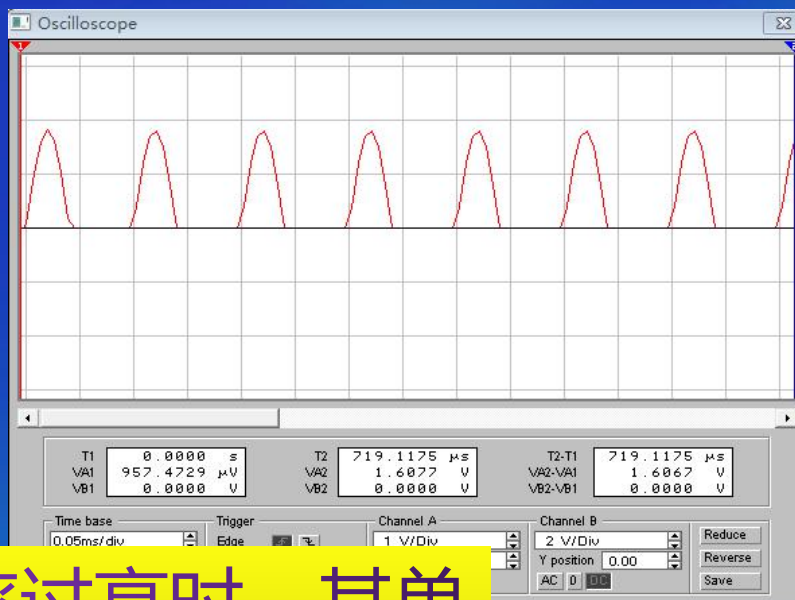
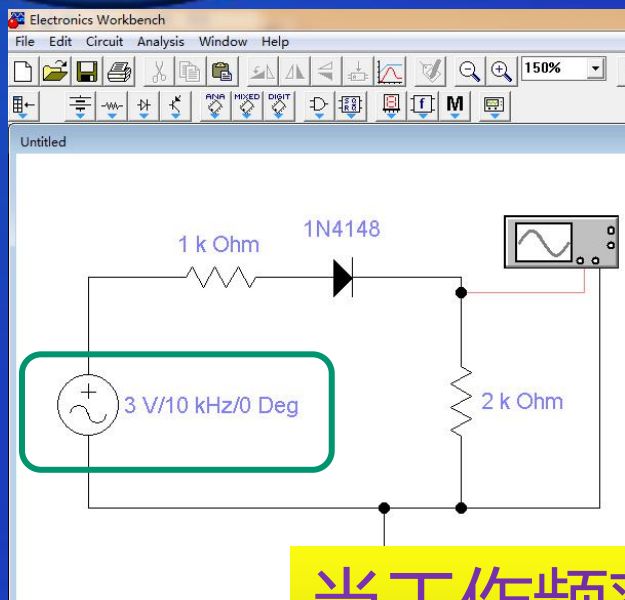
5. 正向电压降 U_F

指通过一定的直流测试电流时的管压降。

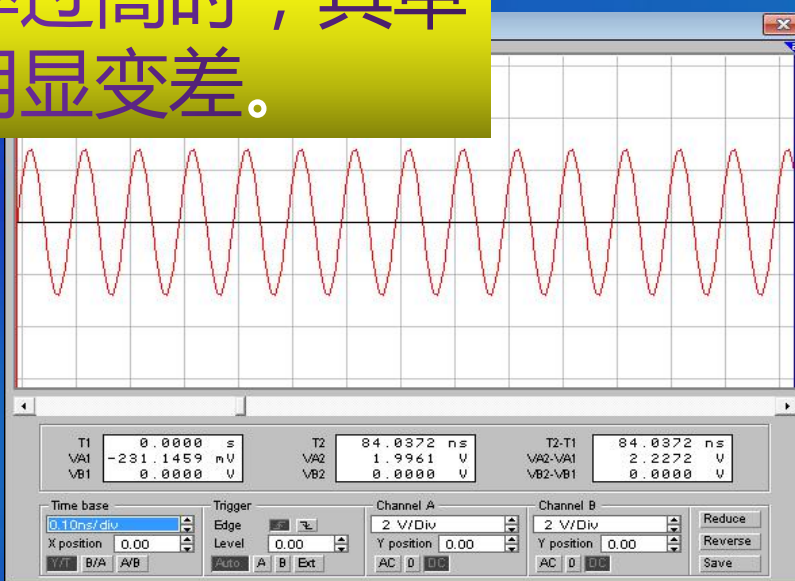
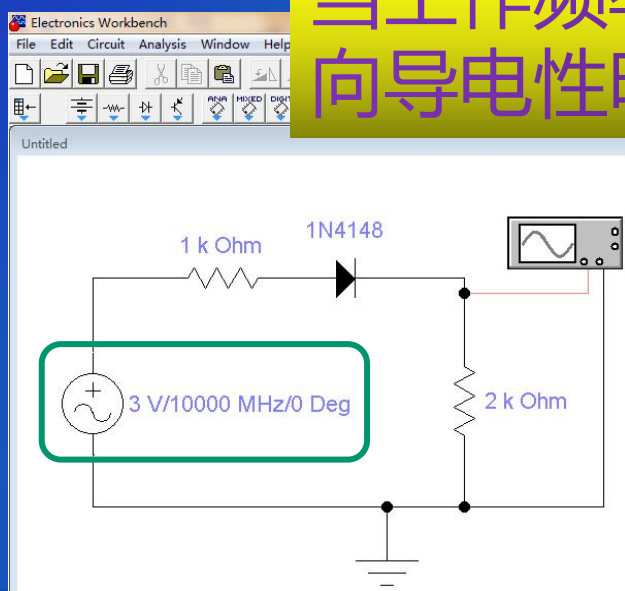
6. 最高工作频率 f_M

当工作频率过高时，其单向导电性明显变差。





当工作频率过高时，其单向导电性明显变差。



二极管失去单向导电性

1.3.5 半导体二极管的模型

建立的原因：

半导体二极管具有非线性的伏安特性，含二极管的电路是**非线性**电路，不能直接用分析线性电路的方法分析。

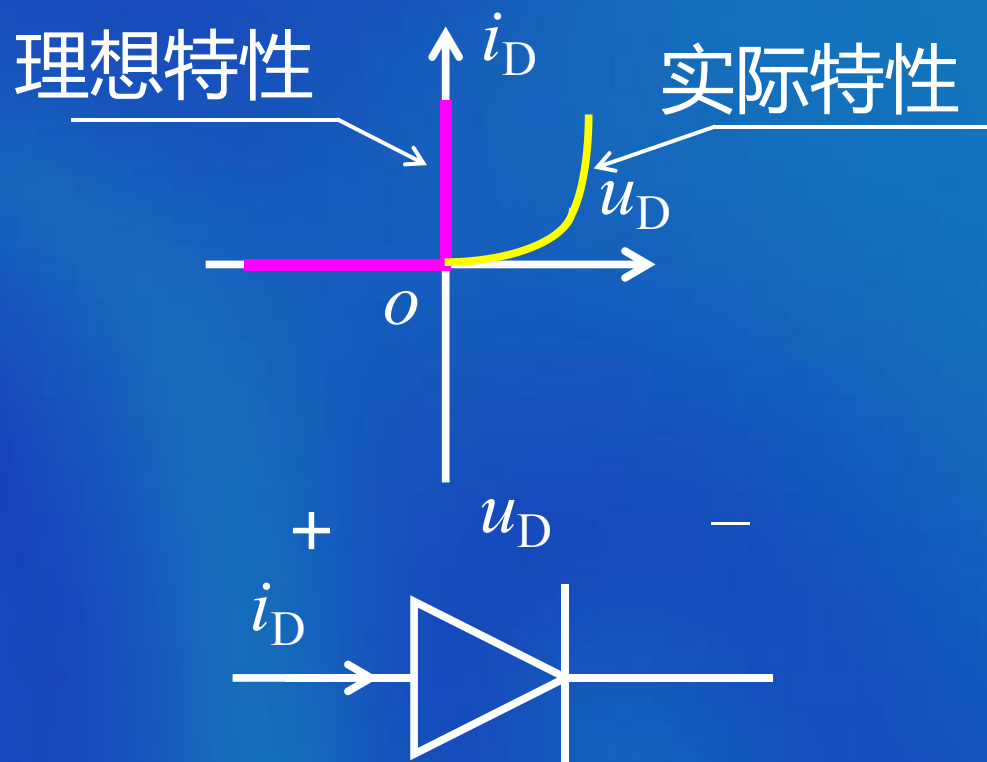
分析方法：通常在特定条件下，可以对二极管的非线性特性进行**线性化**处理，建立**线性模型**或**线性等效电路**，然后再用分析线性电路的方法来分析二极管电路。



工程应用中，根据二极管在实际电路中的工作状态和对分析精度的要求，常用几种线性模型进行分析。

1. 开关模型-理想二极管

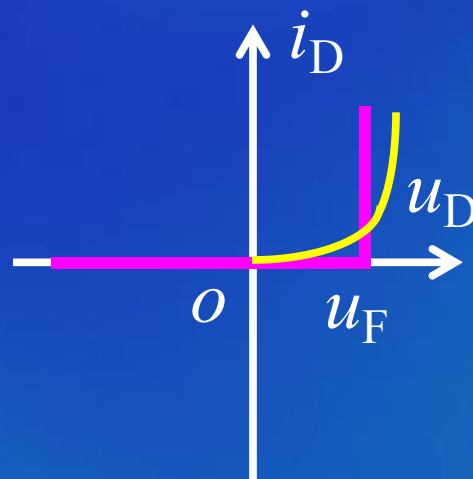
1) 伏安特性



2) 电路符号

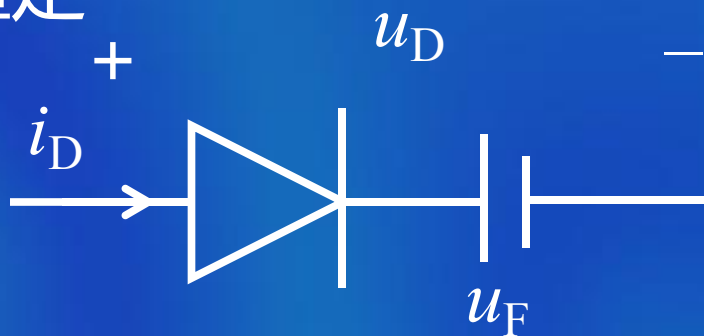
2. 恒压模型

1) 伏安特性



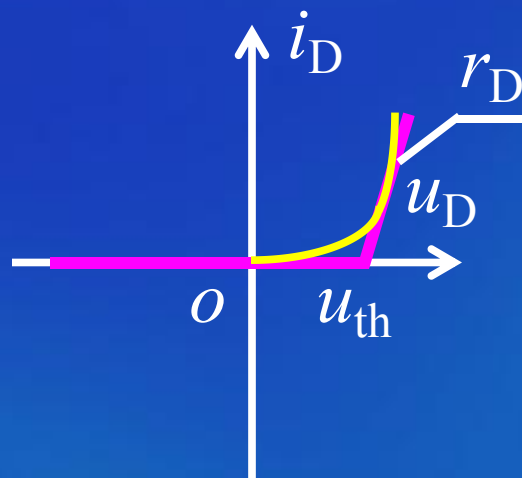
当信号幅度小时，估算认为导通后
二极管正向压降恒定

2) 电路模型



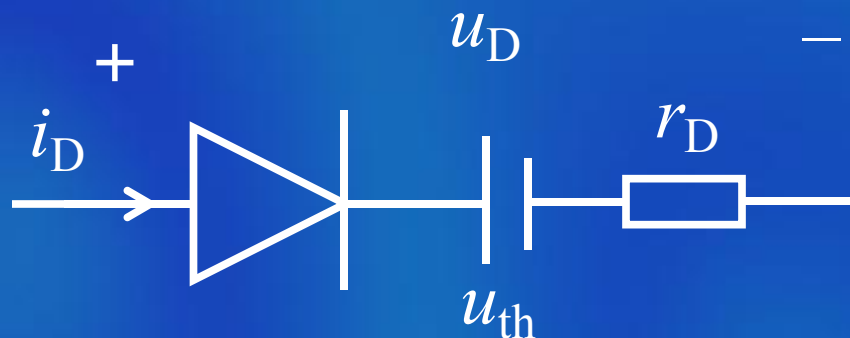
3. 折线模型

1) 伏安特性



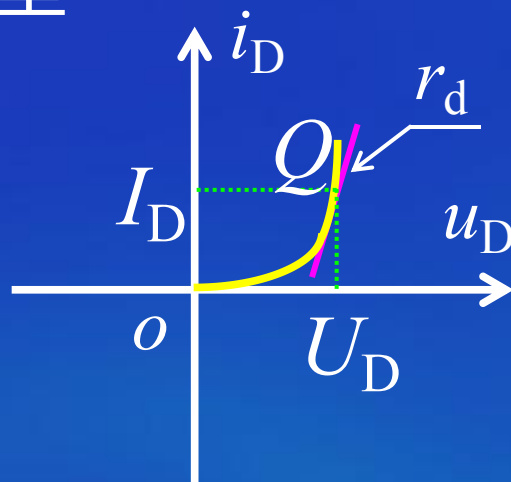
考虑二极管正向压降，又考虑正向电阻

2) 电路模型

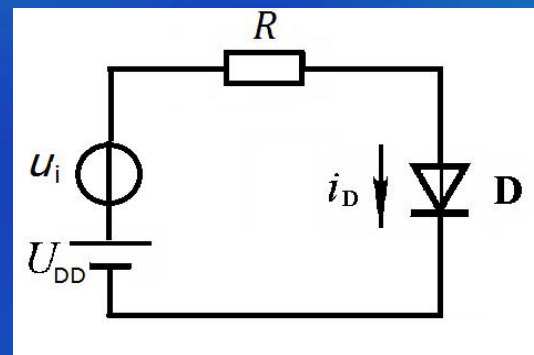


4. 小信号动态模型

1) 伏安特性

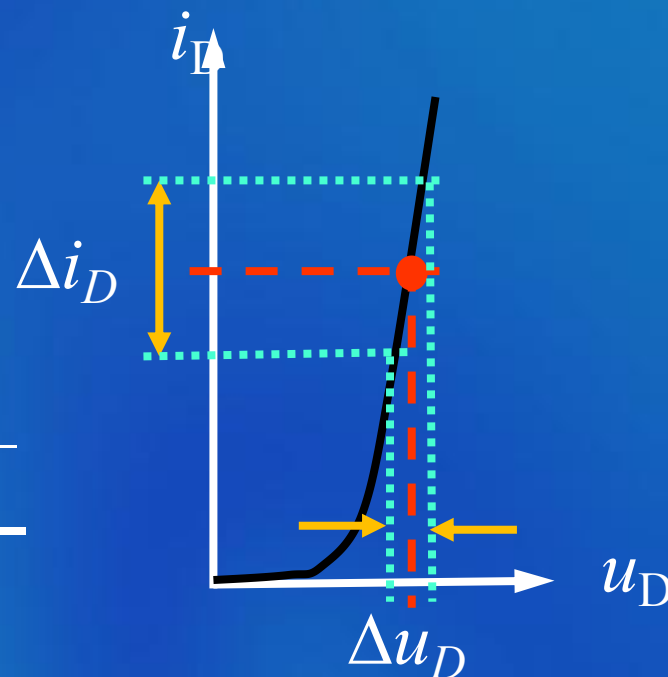
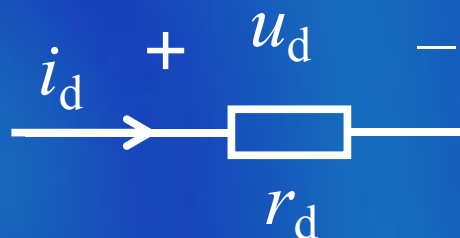


动态电阻
$$r_d = \left. \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \right|_{u_D=U_D, i_D=I_D}$$



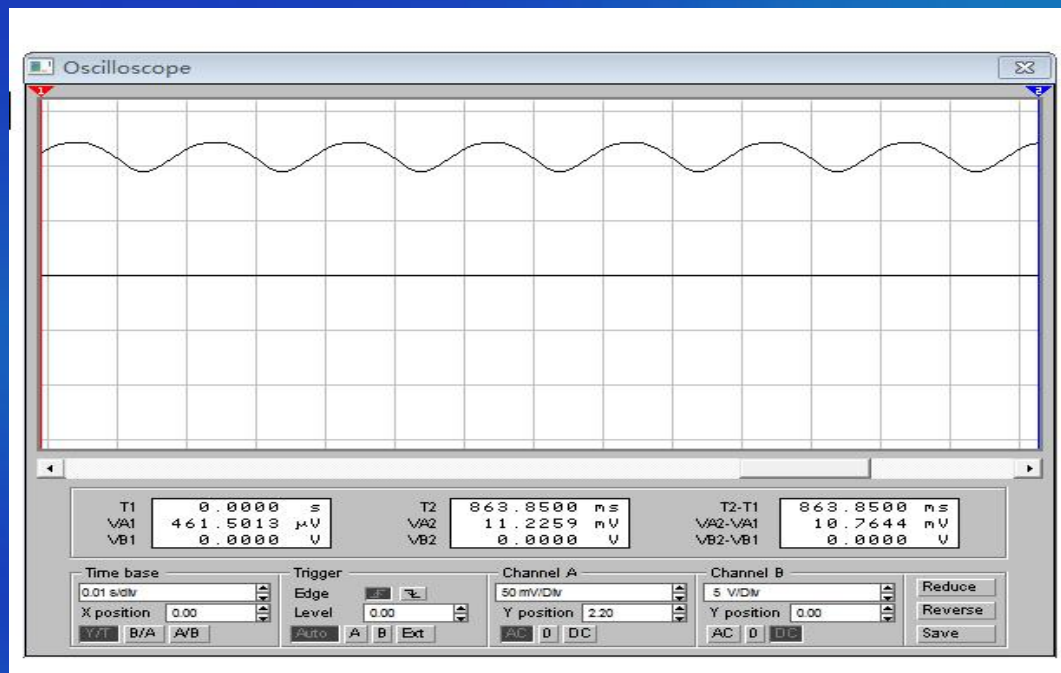
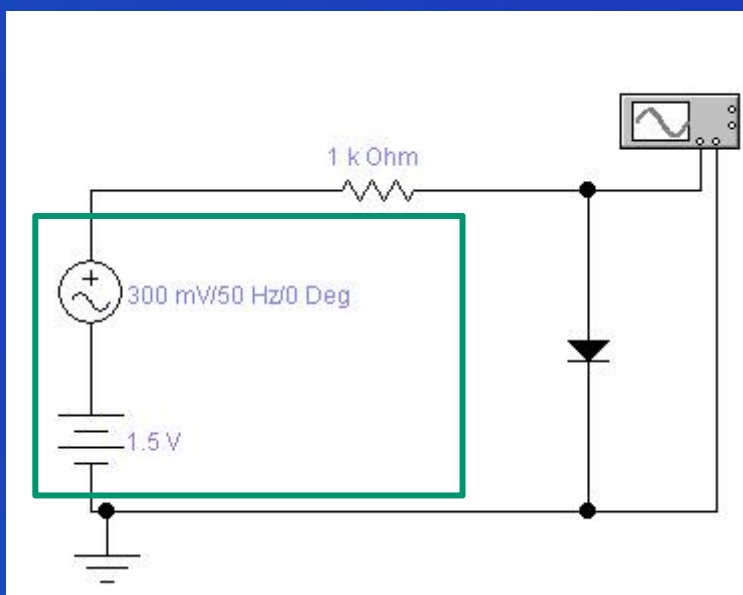
直流上叠加交流信号，
二极管始终导通

2) 电路模型

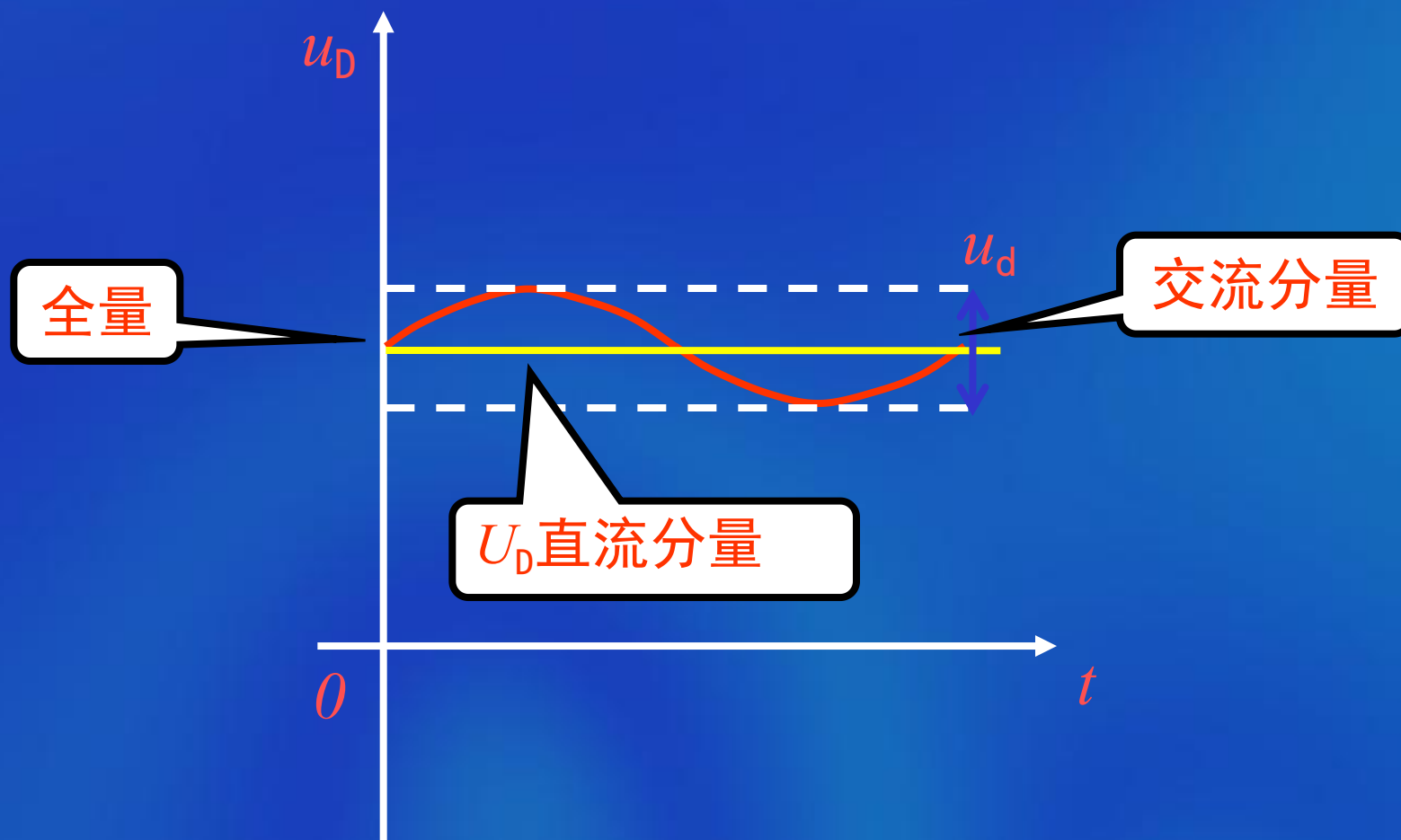


二极管电路仿真

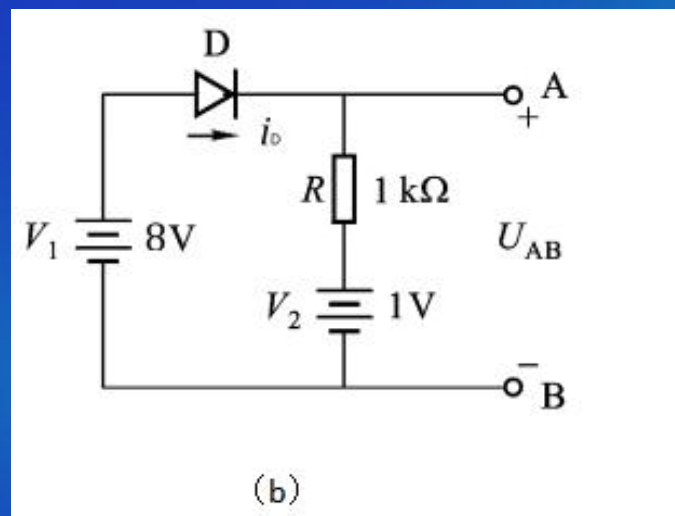
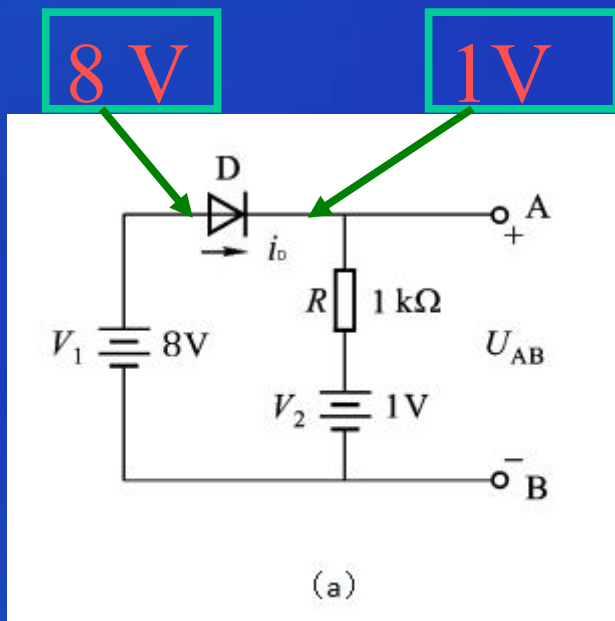
直流电压：1.5V，交流信号电压（幅值 300mV,频率50Hz）



二极管始终导通，但其两端电压是交流叠加直流



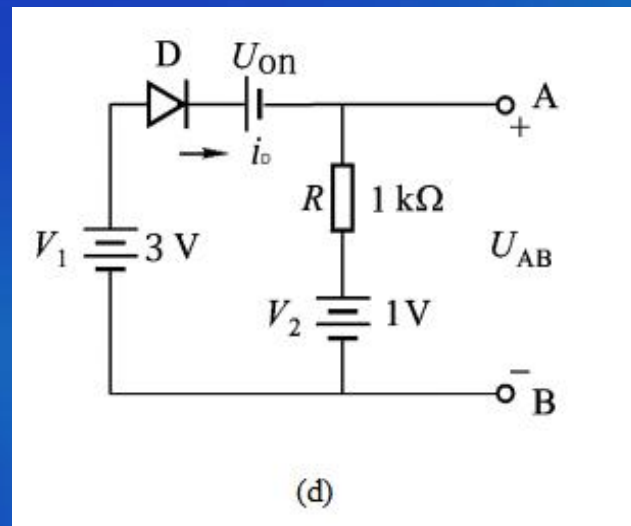
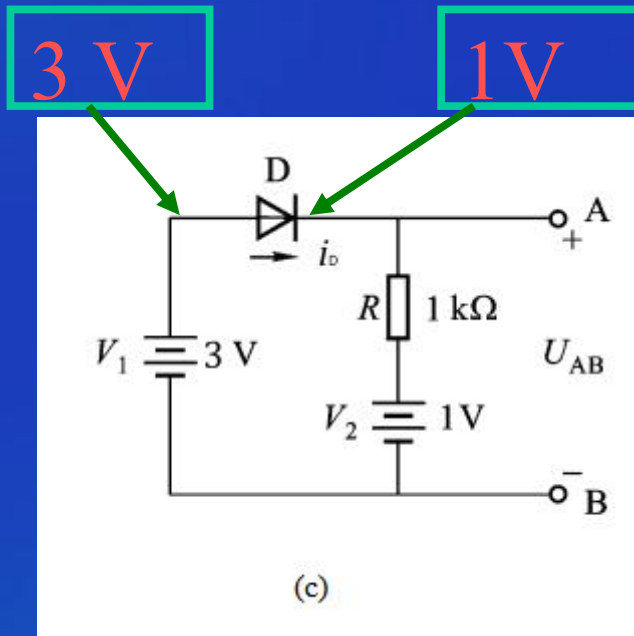
[例1.3.1题] 某硅二极管电路如图 (a) 所示。试分析两电路中的二极管是否导通？若二极管导通，试分别用合适的二极管模型计算电压 U_{AB} 的值。



[解] (1) 在图 (a) 所示电路中，将二极管开路，二极管两端的开路电压 $U_D = V_1 - V_2 = 7V$ ，大于硅管的死区电压 $0.5V$ ，硅二极管导通。

由于回路等效电源电压远大于硅二极管的管压降，故可以采用二极管理想模型来分析电路，如图 (b) 所示，A、B 两点之间的电压 $U_{AB} = V_1 = 8V$ 。

[例1.3.1题] 某硅二极管电路如图 (c) 所示。试分析两电路中的二极管是否导通？若二极管导通，试分别用合适的二极管模型计算电压 U_{AB} 的值。



[解] (2) 在图1.3.7 (c) 所示电路中，当二极管开路时，二极管两端的开路电压 $U_D = V_1 - V_2 = 2\text{V}$ ，大于硅管的死区电压 0.5V ，硅二极管导通。

但由于回路的等效电源电压大约是硅二极管管压降的3倍，采用二极管理想模型会出现较大的分析误差，故采用二极管的恒压模型，如图 (d) 所示，A、B两点之间的电压 $U_{AB} = V_1 - U_{th} = 3 - 0.7 = 2.3\text{V}$ 。