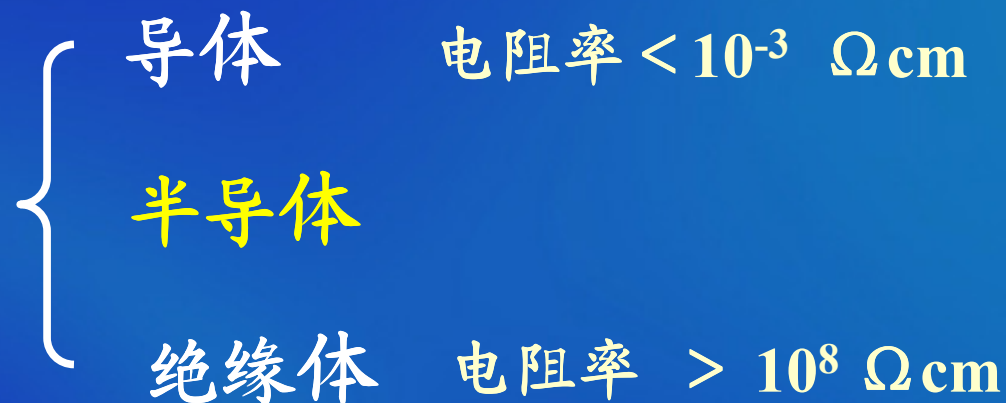


1 半导体二极管及其应用

1.1 PN结

1.1.1 PN结的形成

物体根据其导电能力（电阻率）分



半导体：导电能力介于导体和绝缘体之间。

最常用的半导体材料：

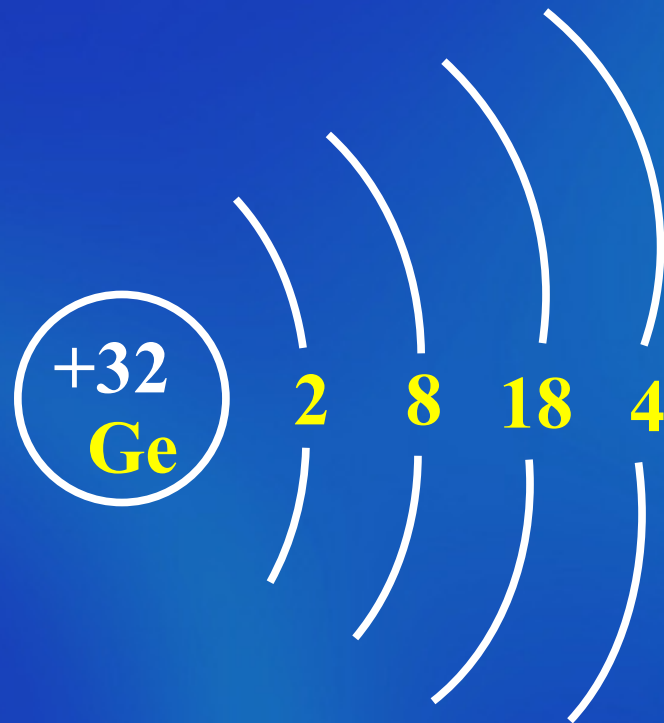
硅

锗

原子结构示意图



硅原子结构示意图

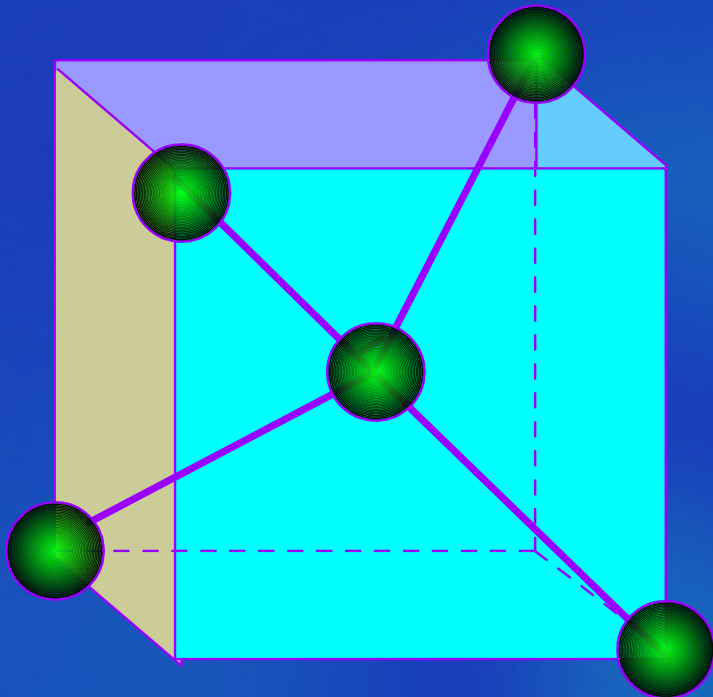


锗原子结构示意图

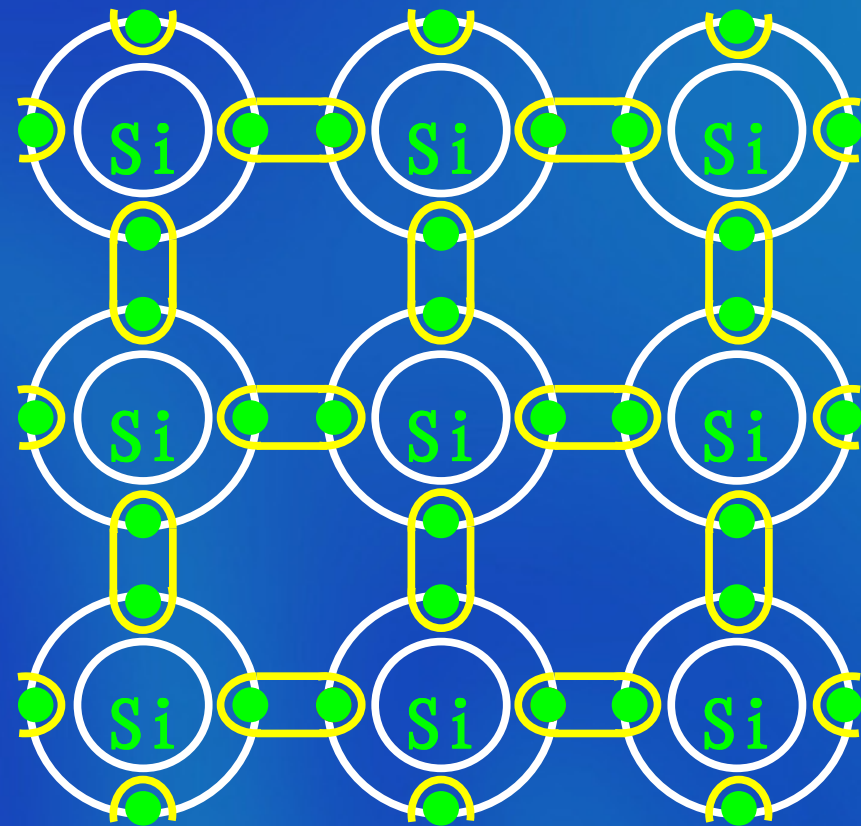
1. 本征半导体

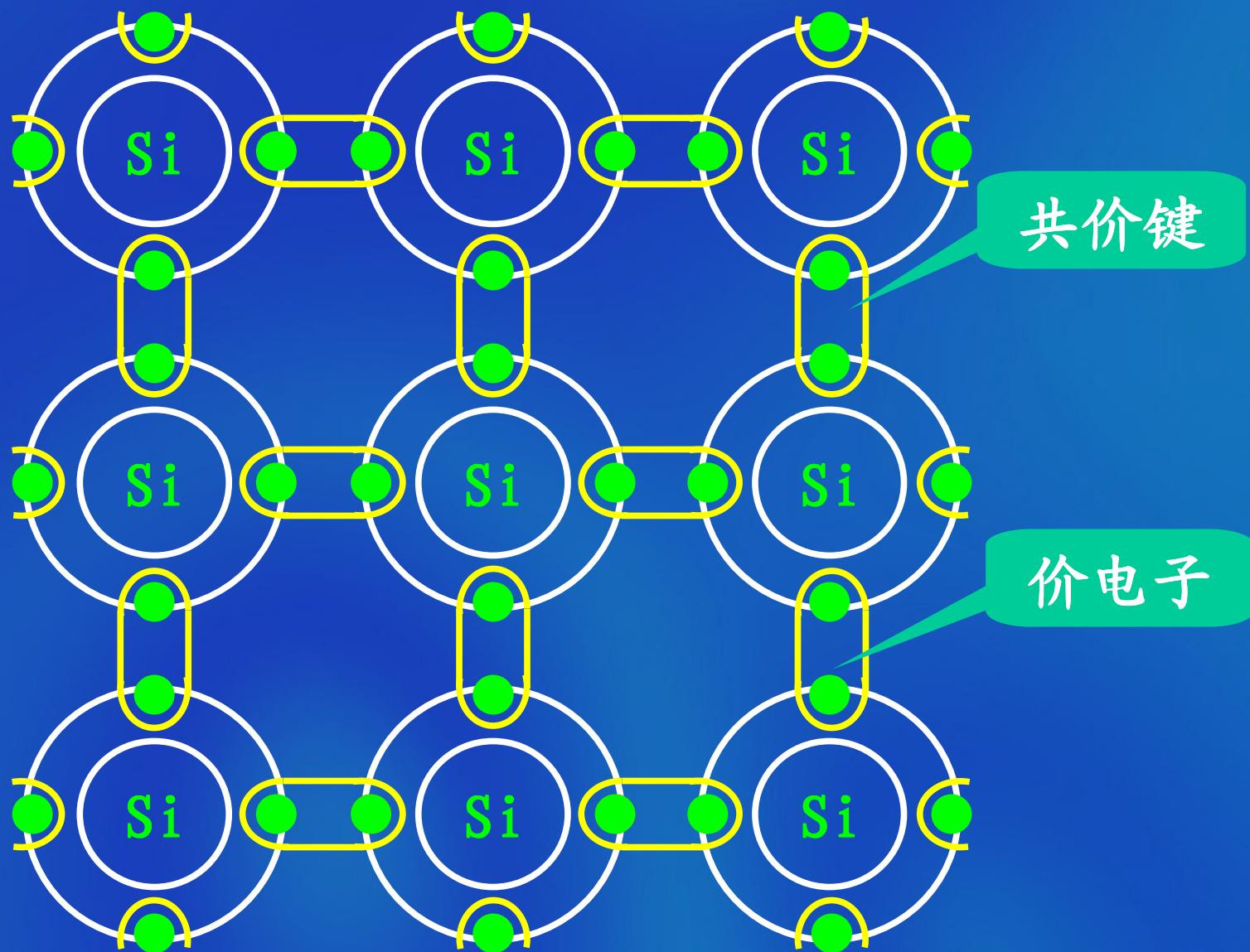
本征半导体就是**完全纯净的**半导体。

立体结构

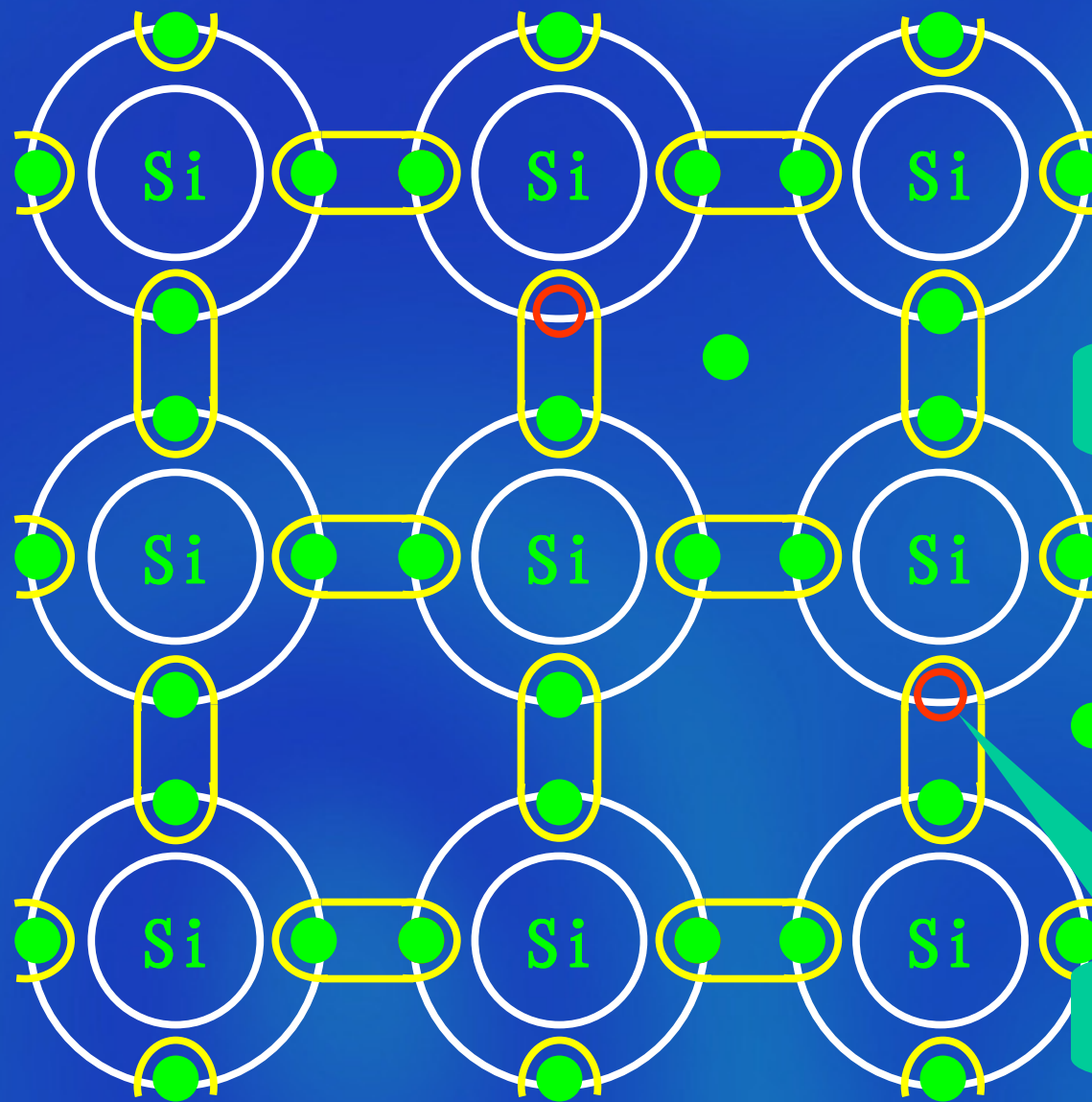


平面结构





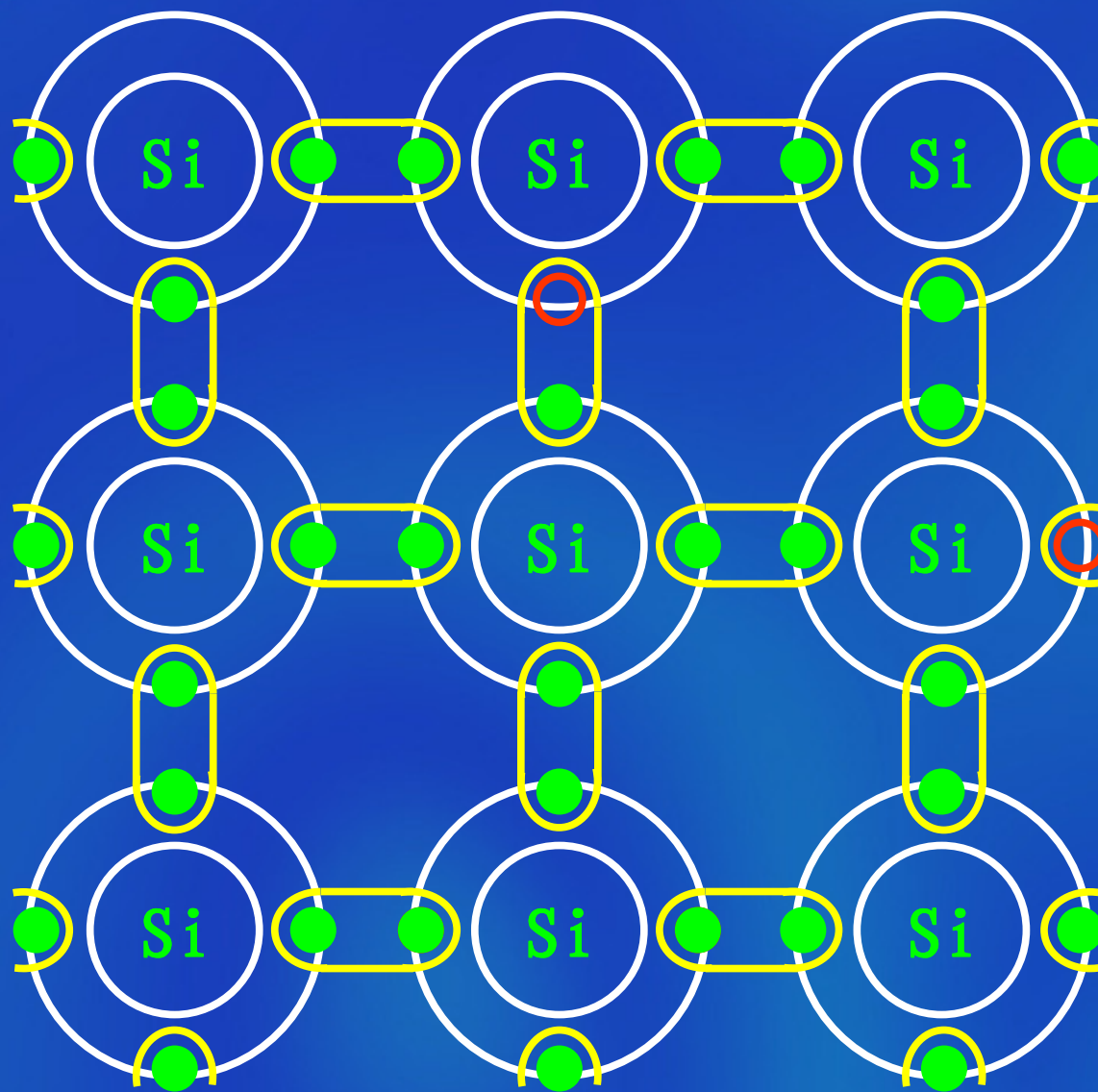
本征激发产生电子和空穴



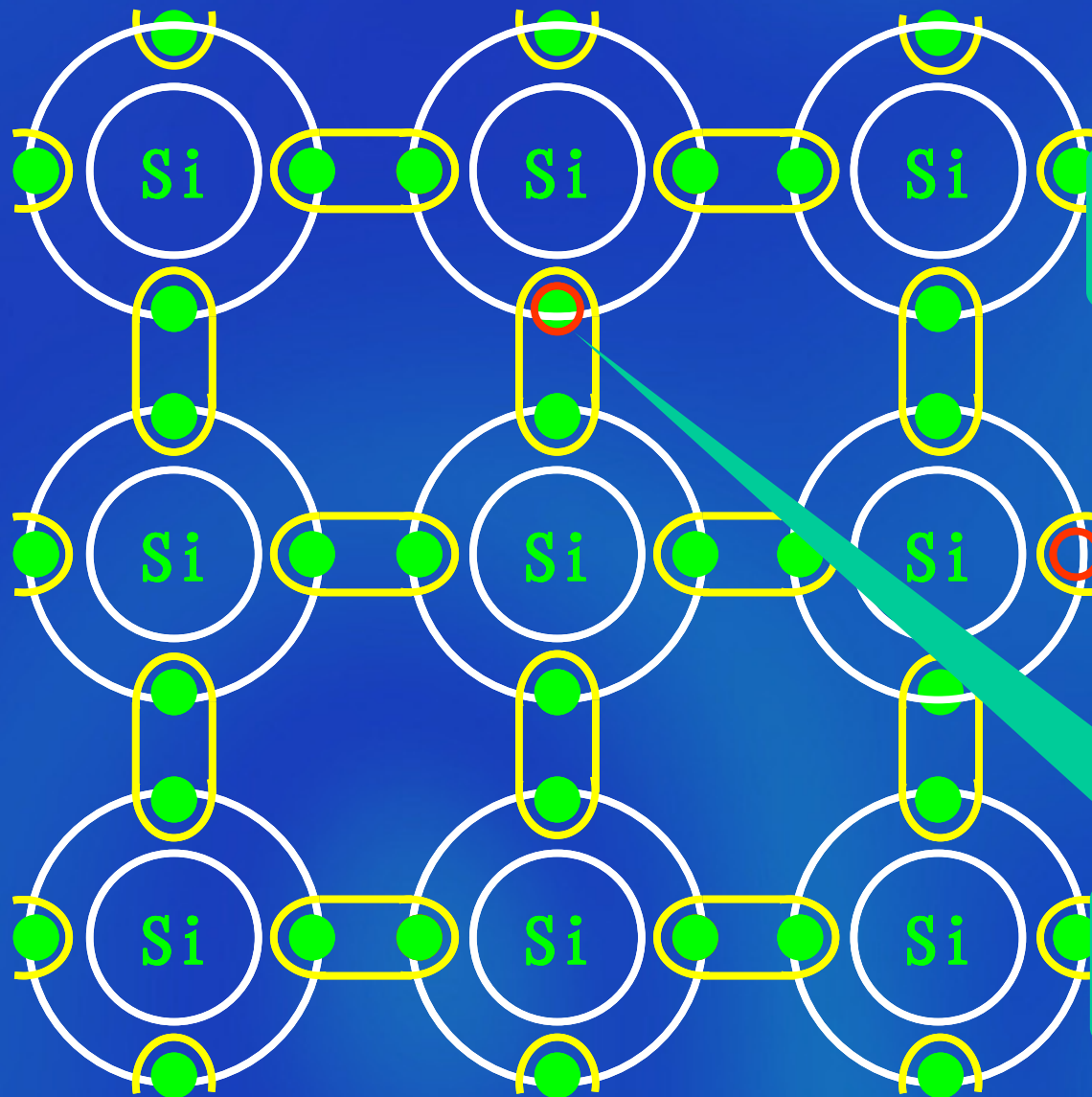
上页

下页

后退



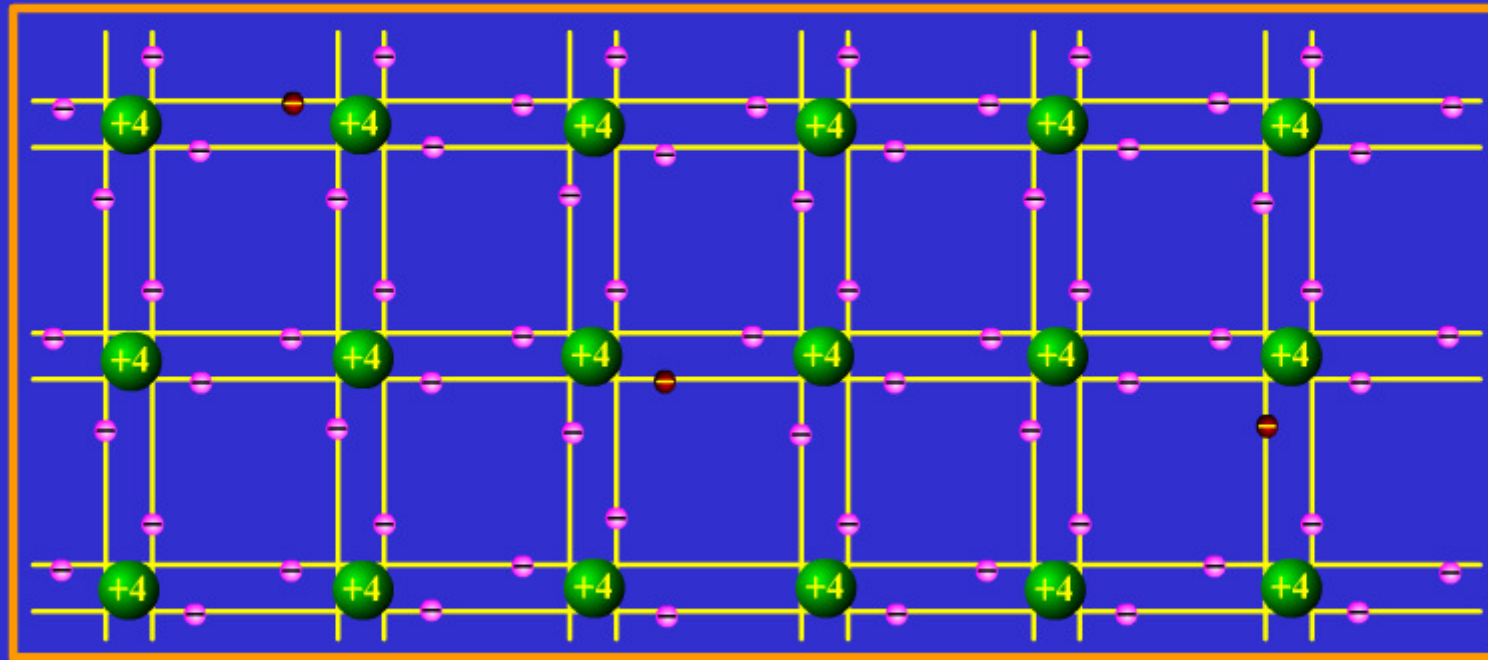
电子、空穴
成对产生



电子、空穴
成对产生

电子、空穴
成对复合

电子和空穴的产生过程动画演示



上页

下页

后退

本征半导体中
的载流子浓度: $n_i = p_i = A \cdot T^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{E_G}{2KT}}$

n_i : 自由电子的浓度 T : 绝对温度

p_i : 空穴的浓度 K : 波尔兹曼常数

A : 系数 (与半导体材料有关)

E_G : 价电子挣脱共价键所需能量, 又叫禁带宽度

结论: 半导体材料一定, 载流子浓度随温度
按指数规律增大。

小结:

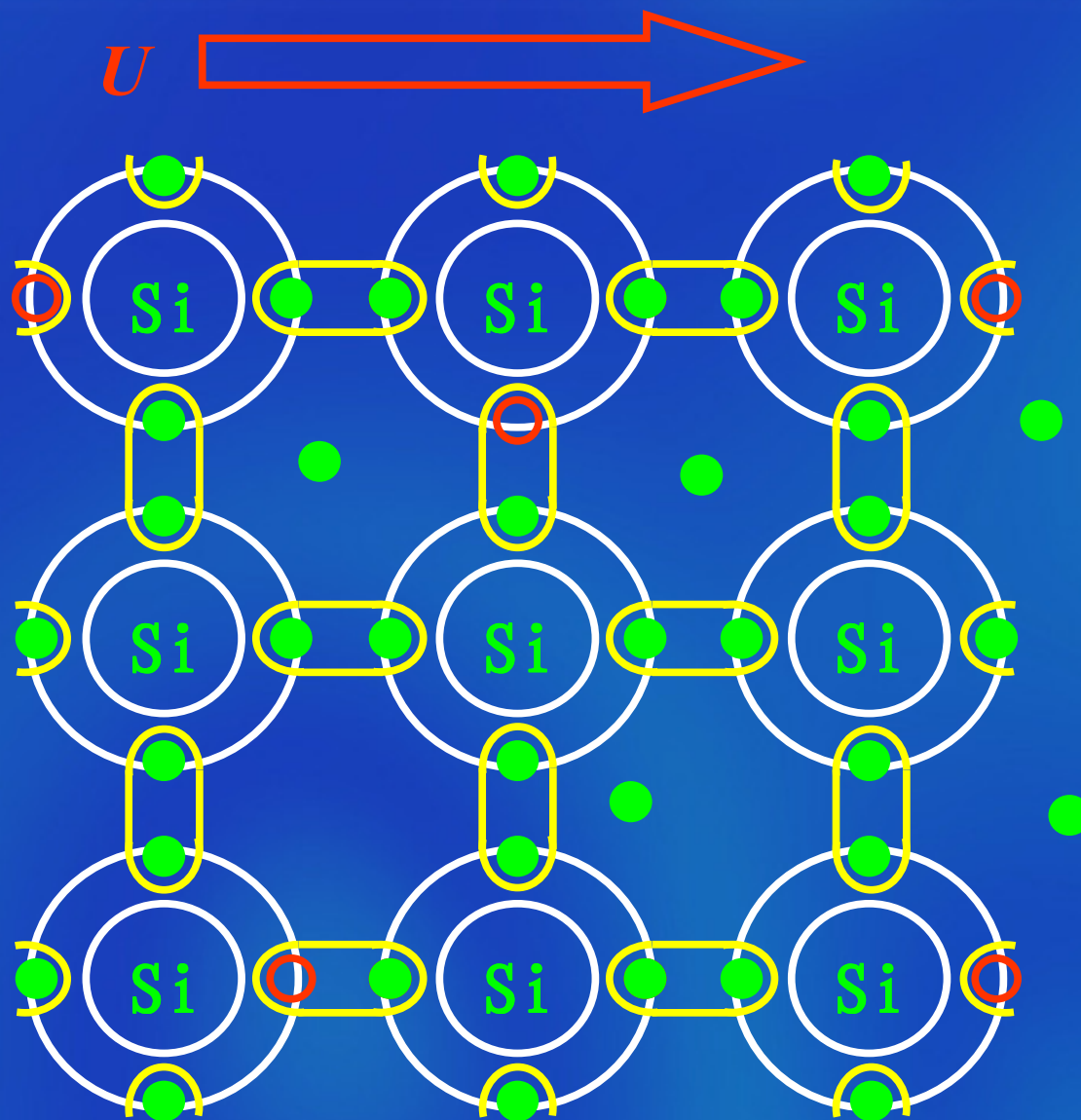
本征激发使空穴和自由电子成对产生。

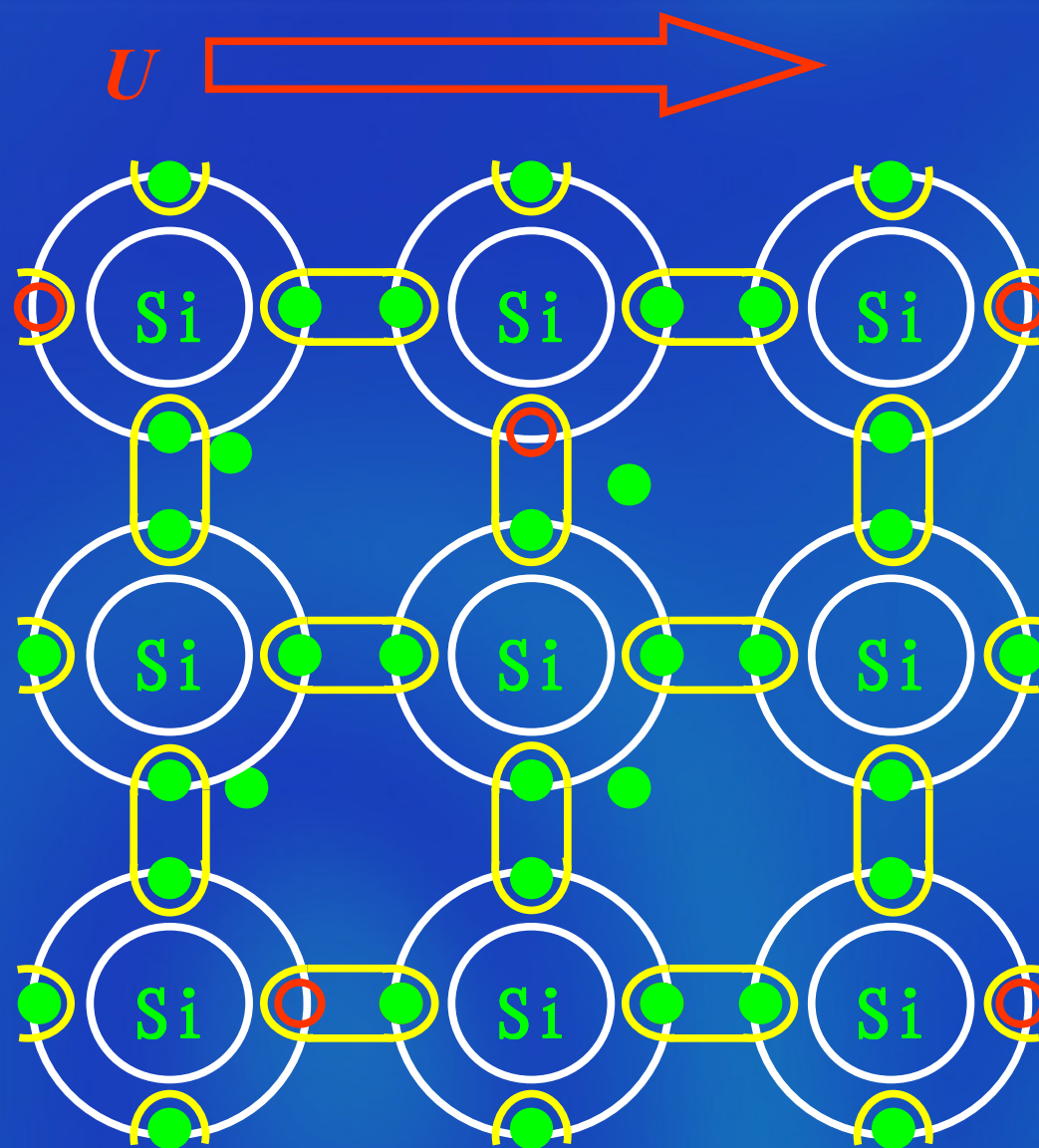
相遇复合时，又成对消失。

温度 T 一定时 { 空穴浓度 (n_p) = 电子浓度 (n_n)
 $n_p \times n_n = K(T)$

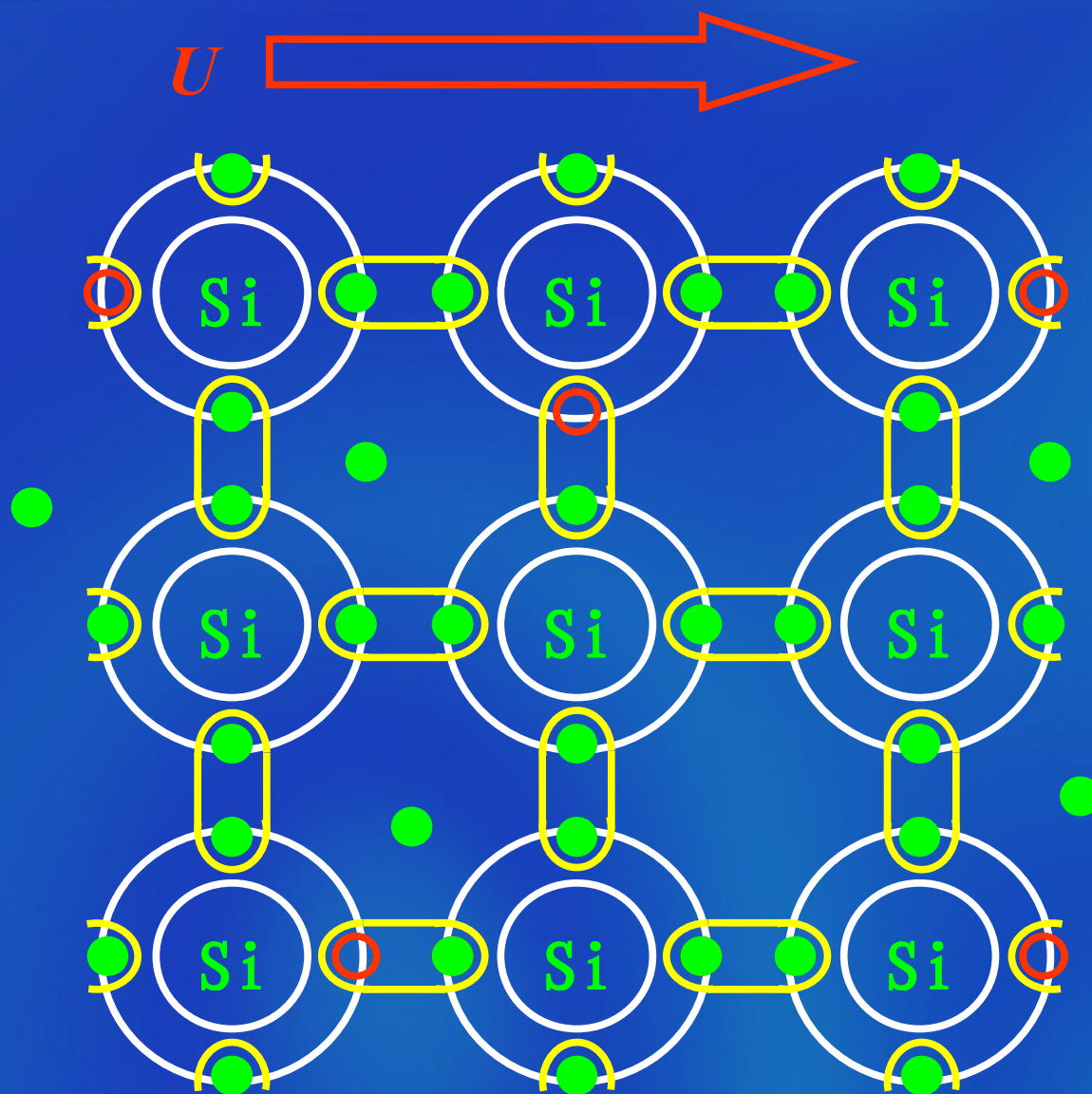
$K(T)$ ——与温度有关的常数

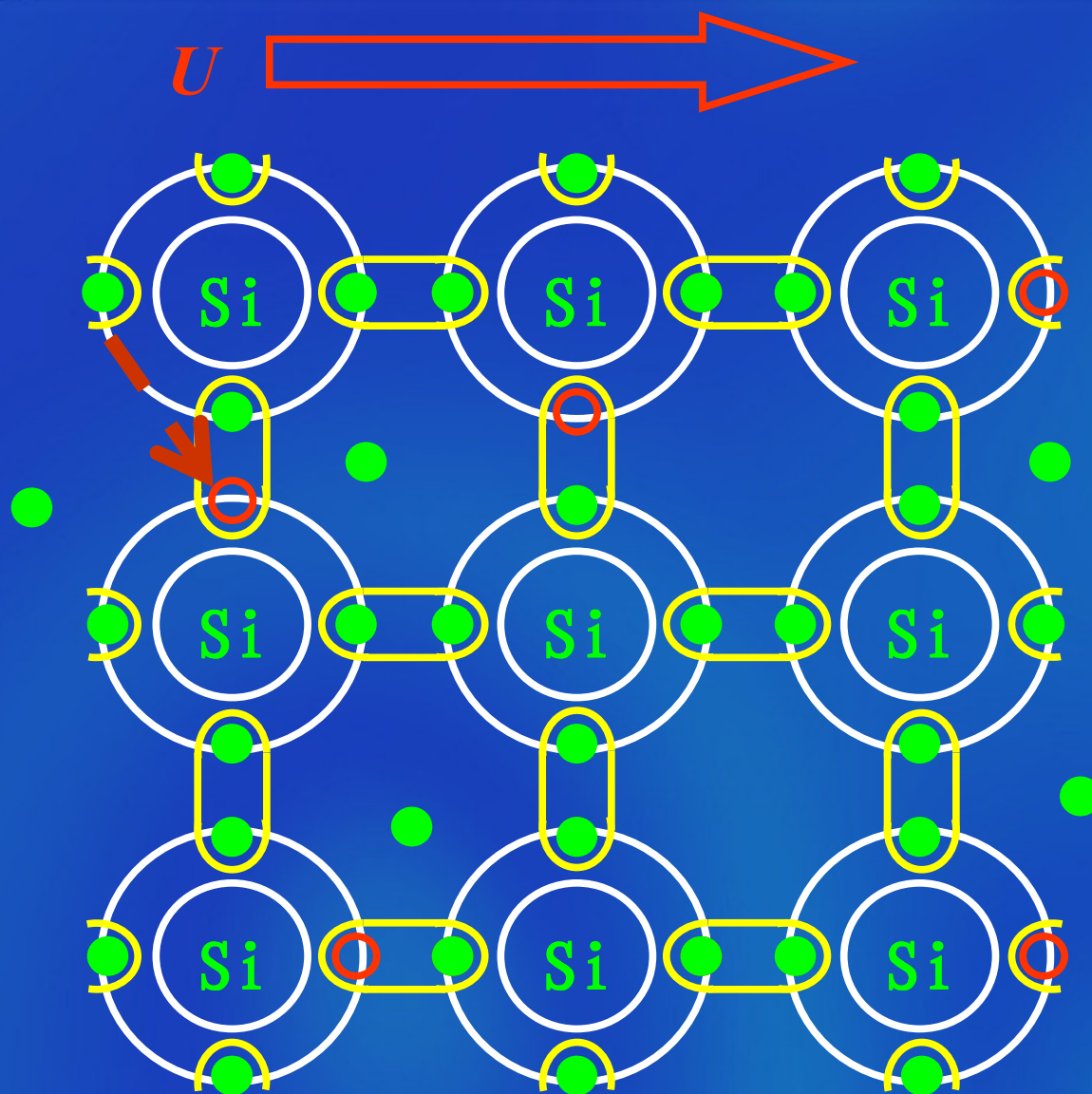
在外电场作用下

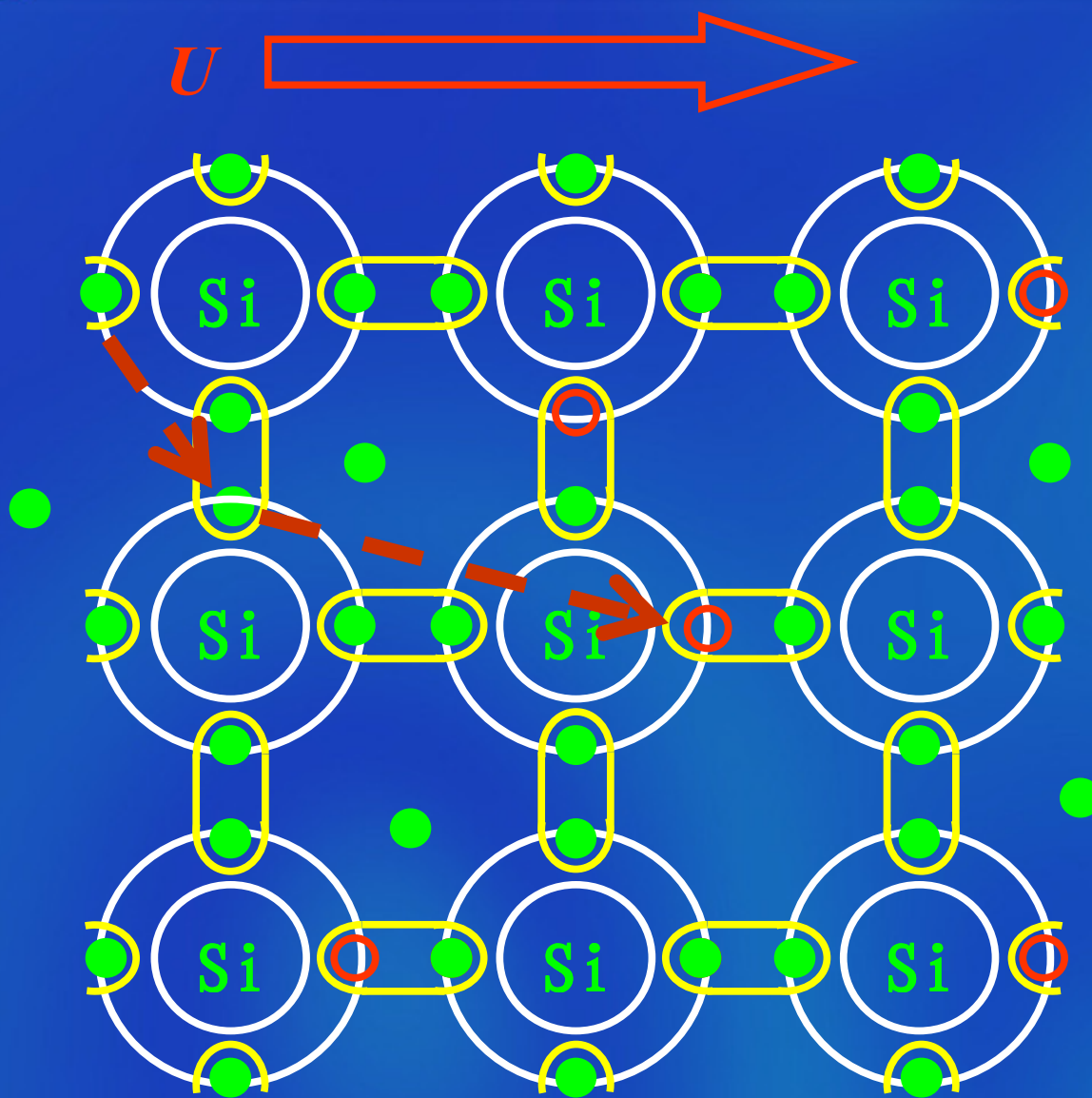


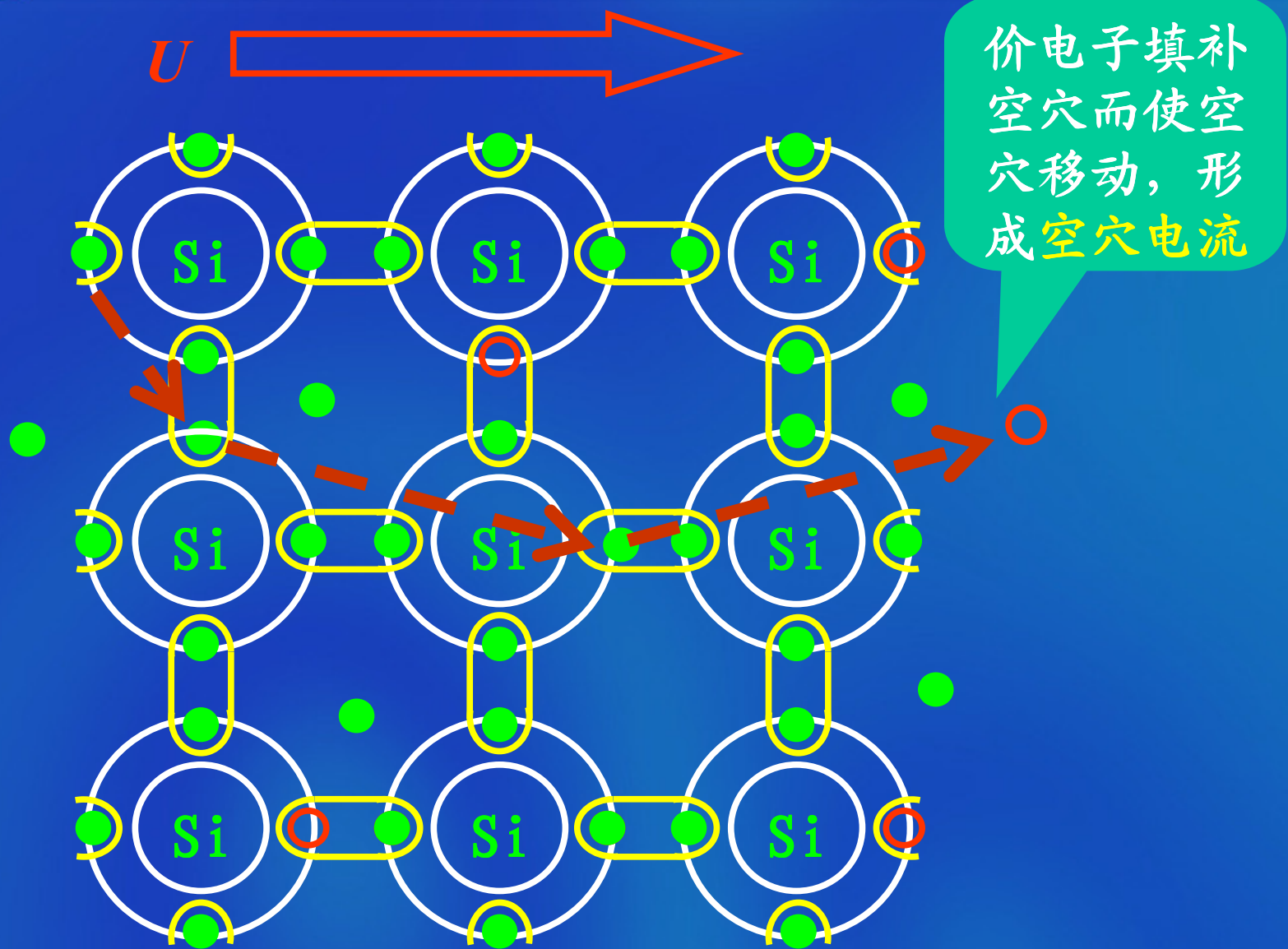


电子运动形成电子电流









小结:

- 1) 在半导体中有两种载流子
- 带负电的自由电子
 - 带正电的空穴

这就是半导体和金属导电原理的本质区别。

2) 本征半导体的特点:

- a. 电阻率大。
- b. 导电性能随温度变化大。

本征半导体不能在半导体器件中直接使用

2. 掺杂半导体

在本征半导体硅或锗中掺入微量的其它适当元素后所形成的半导体。

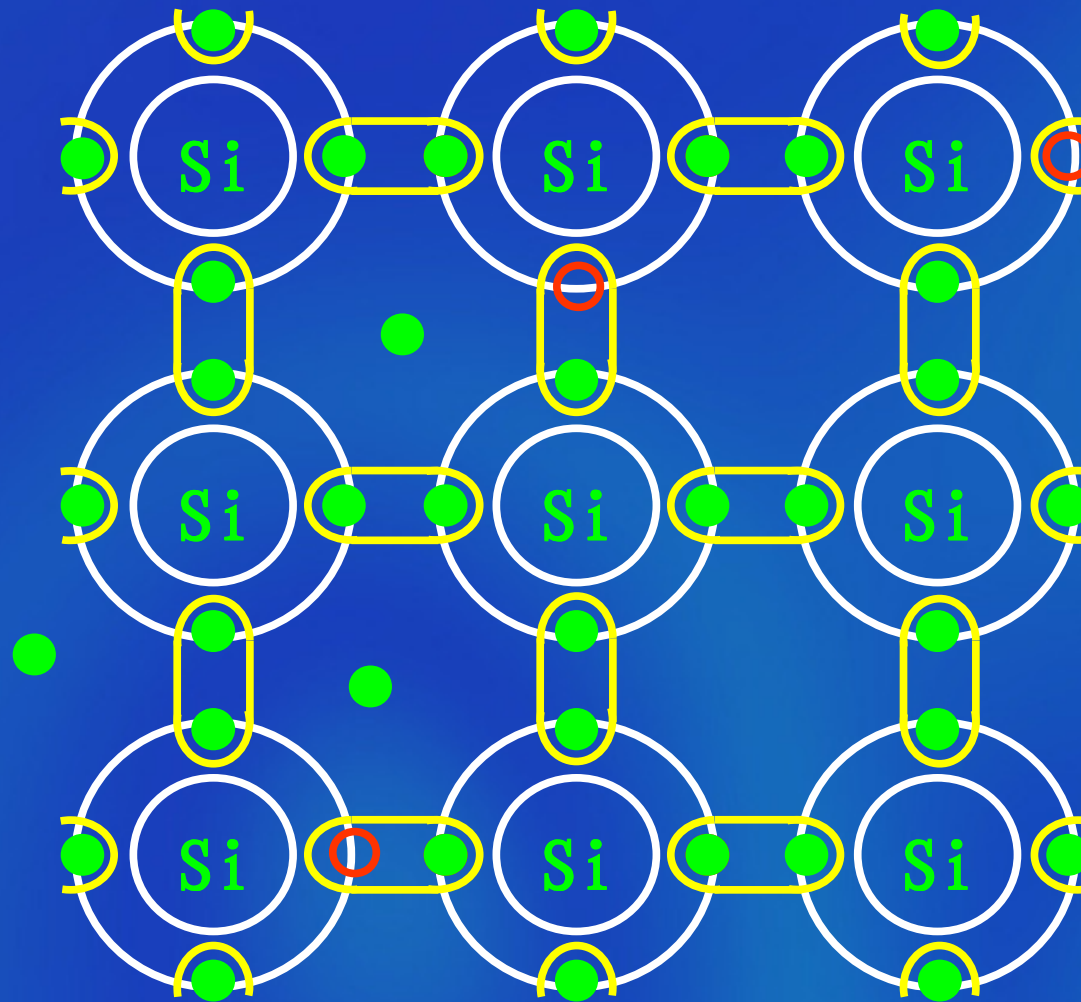
根据掺杂的不同，杂质半导体分为

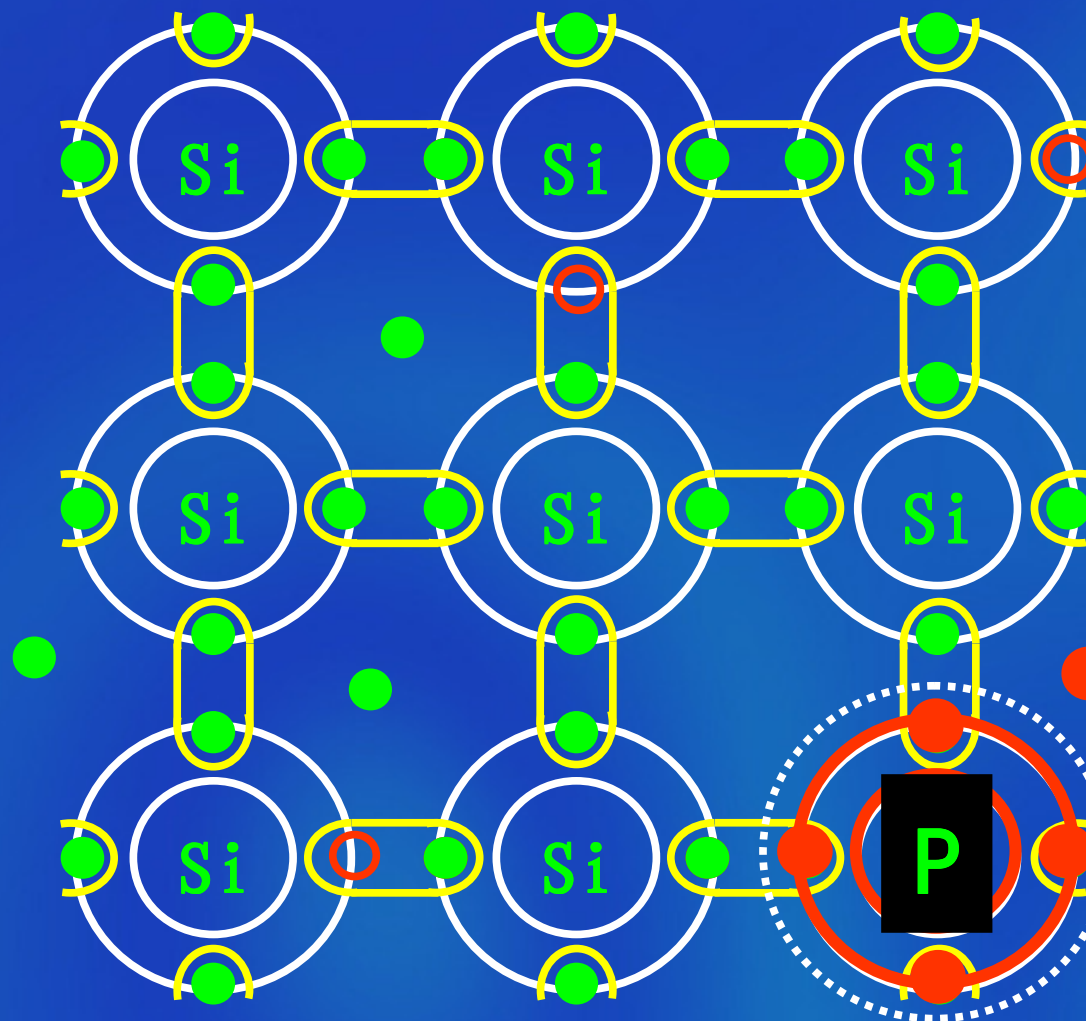
{	N型导体
	P型导体

(1) N型半导体

掺入五价杂质元素（如磷、砷）的杂质半导体。

掺入少量五价杂质元素磷





多出一个电子

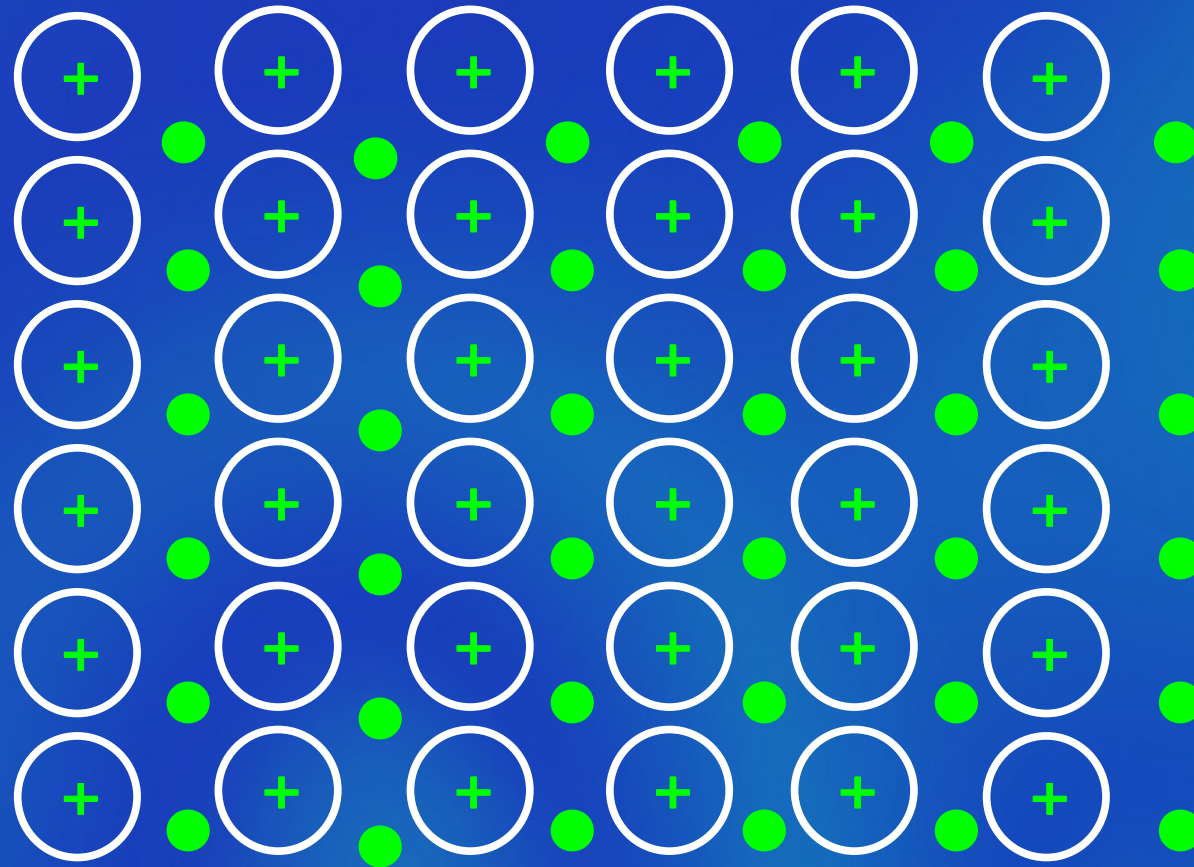
出现了一个正离子

上页

下页

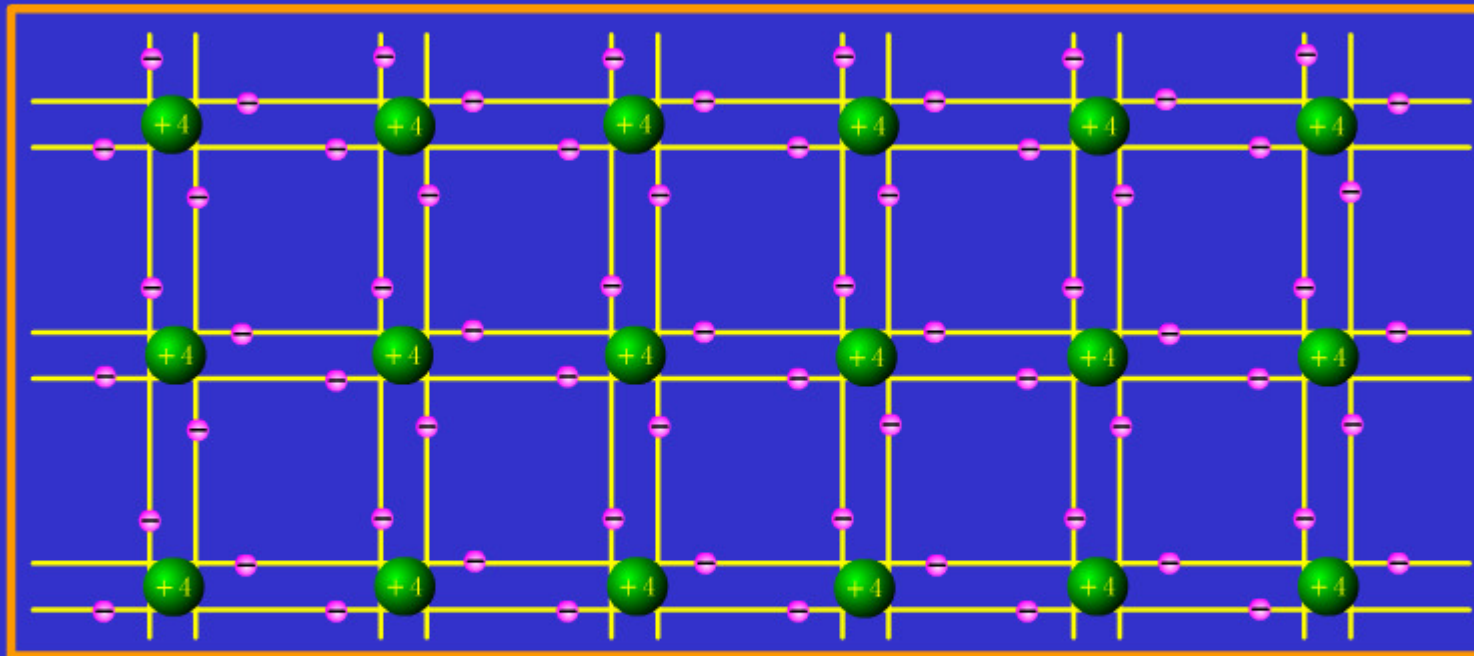
后退

半导体中产生了大量的自由电子和正离子



N型半导体的形成过程

+5



上页

下页

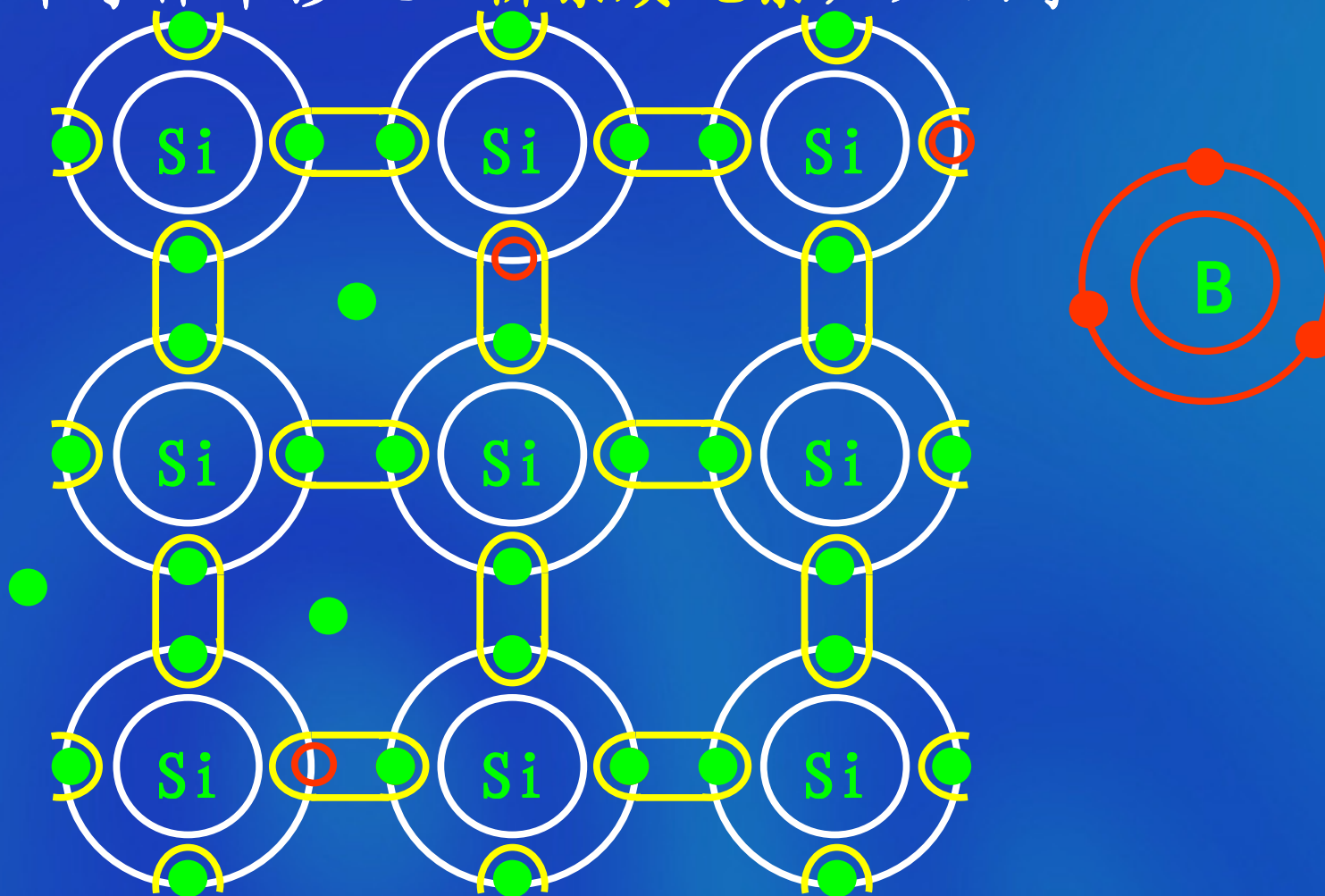
后退

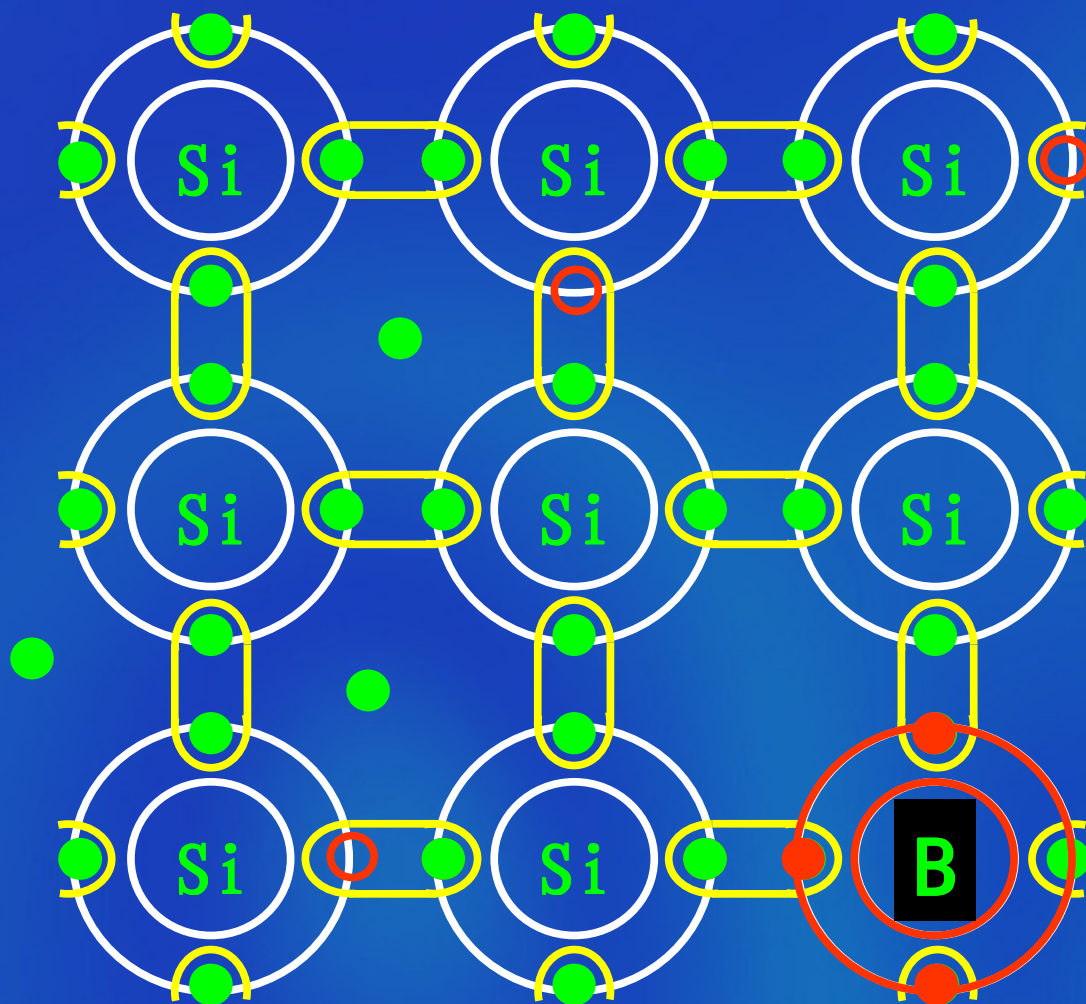
小结:

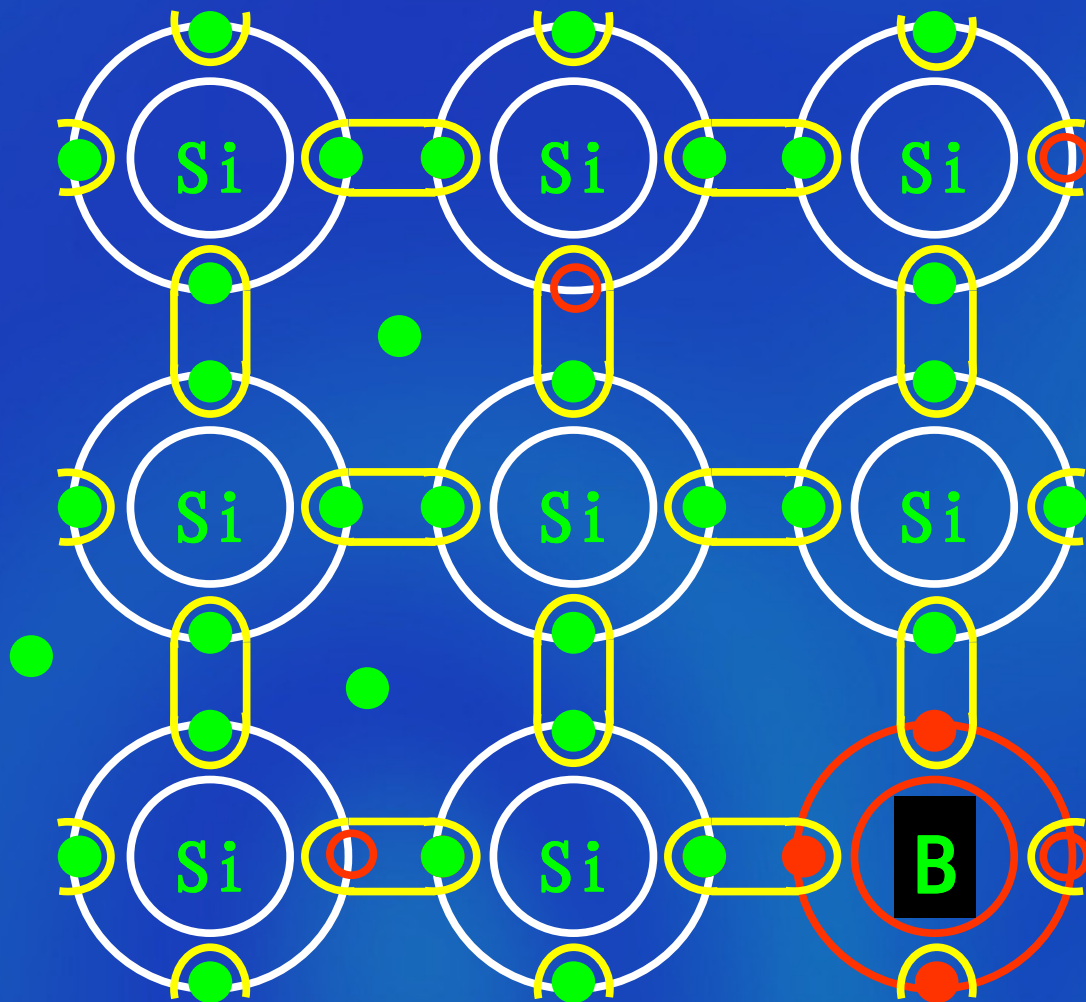
- a. N型半导体是在本征半导体中掺入少量五价杂质元素形成的。
- b. N型半导体产生了大量的(自由)电子和正离子。
- c. 电子是多数载流子, 简称多子; 空穴是少数载流子, 简称少子。
- d. $n_p \times n_n = K(T)$
- e. 因电子带负电, 称这种半导体为N(negative)型或电子型半导体。
- f. 掺入的杂质能给出电子, 称为施主杂质。

(2) P型半导体

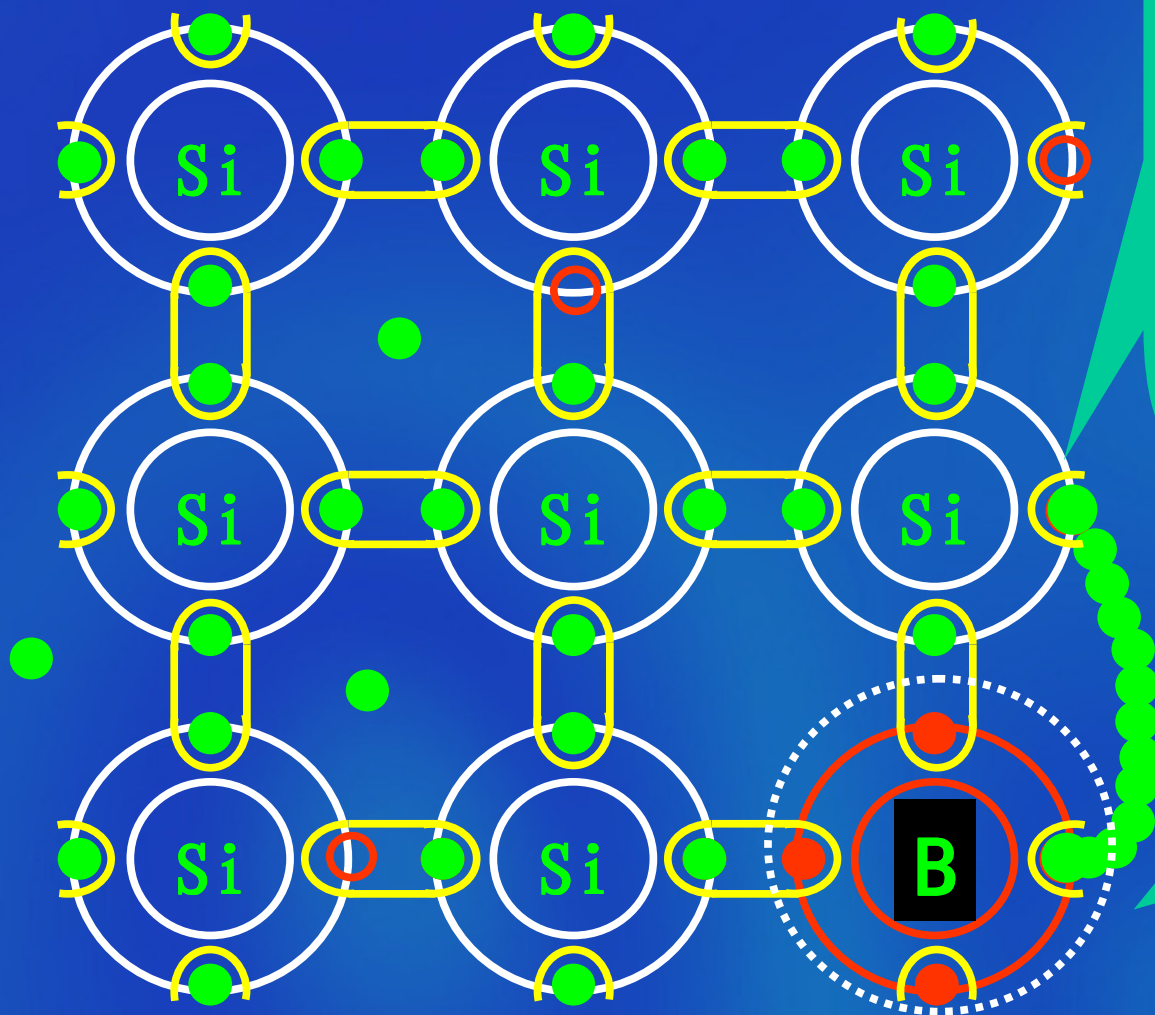
在本征半导体中掺入三价杂质元素，如硼等：







出现了一个空位



出现了一个空穴

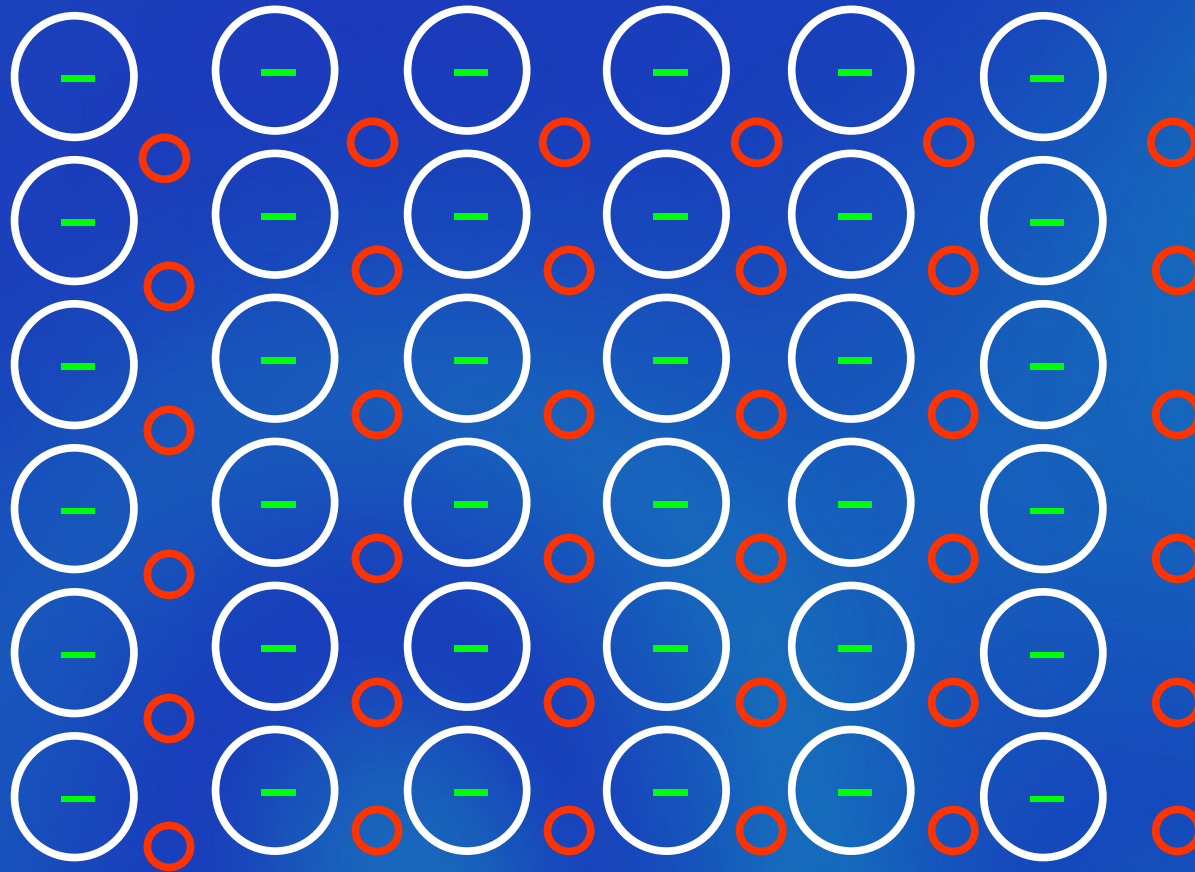
出现了一个负离子

上页

下页

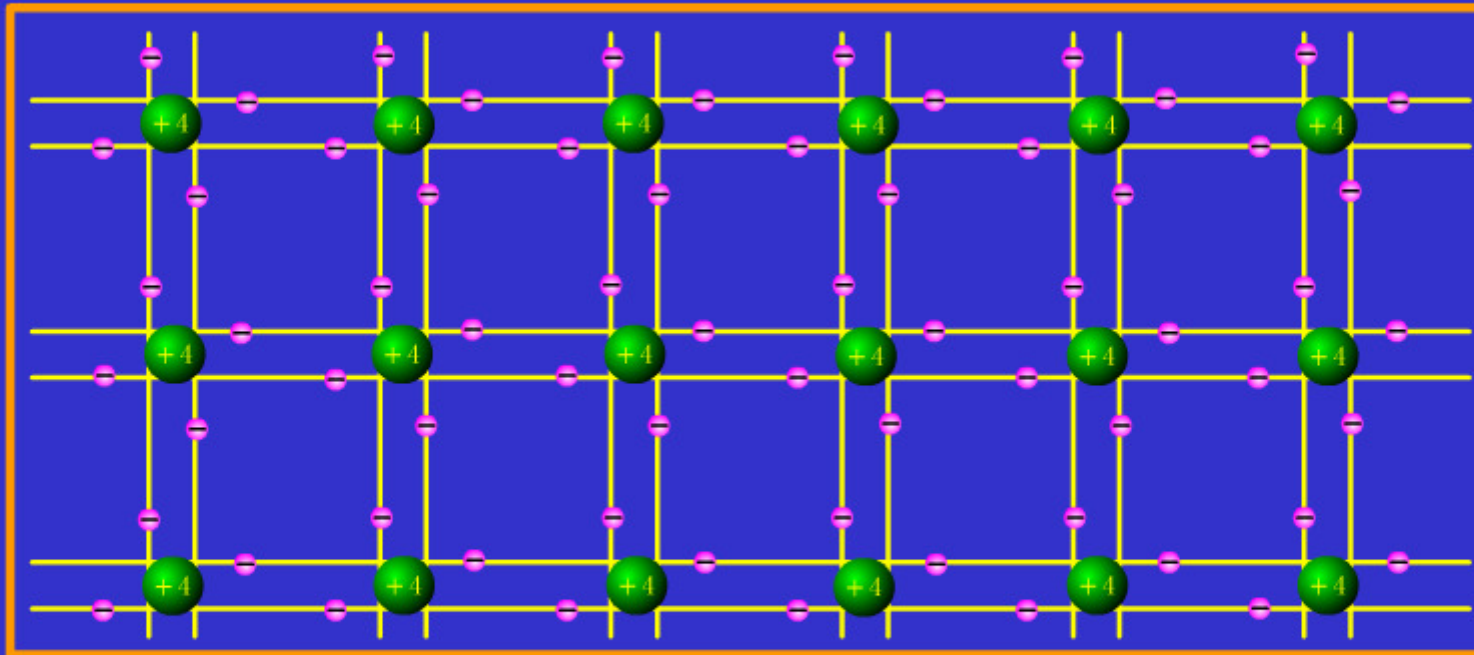
后退

半导体中产生了大量的空穴和负离子



P型半导体的形成过程

+3



上页

下页

后退

小结:

- a. P型半导体是在本征半导体中掺入少量的三价杂质元素形成的。
- b. P型半导体产生大量的空穴和负离子。
- c. 空穴是多数载流子,电子是少数载流子。
- d. $n_p \times n_n = K(T)$
- e. 因空穴带正电,称这种半导体为p(positive)型或空穴型半导体。
- f. 掺入的杂质能接受电子,称为受主杂质。

杂质半导体的转型:



当掺入三价元素的密度大于五价元素的密度时, 可将N型转型为P型;

当掺入五价元素的密度大于三价元素的密度时, 可将P型转型为N型

小 结

N型——电子密度 $>$ 空穴密度 { 多子——电子
少子——空穴

P型——电子密度 $<$ 空穴密度 { 多子——空穴
少子——电子

本征激发仍存在

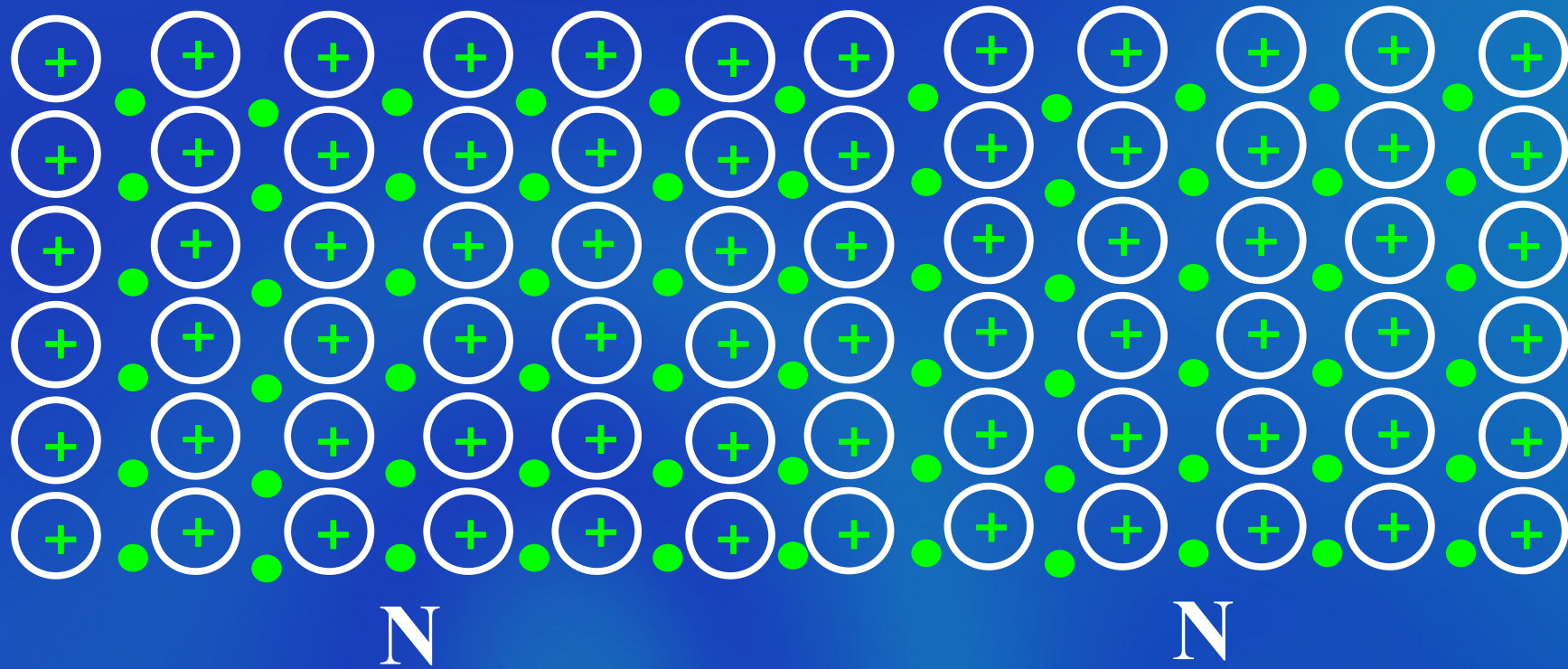
多子——数目取决于掺杂多少；

少子——数目主要取决于温度。

注意：半导体中正负电荷总数相等，宏观呈电中性！

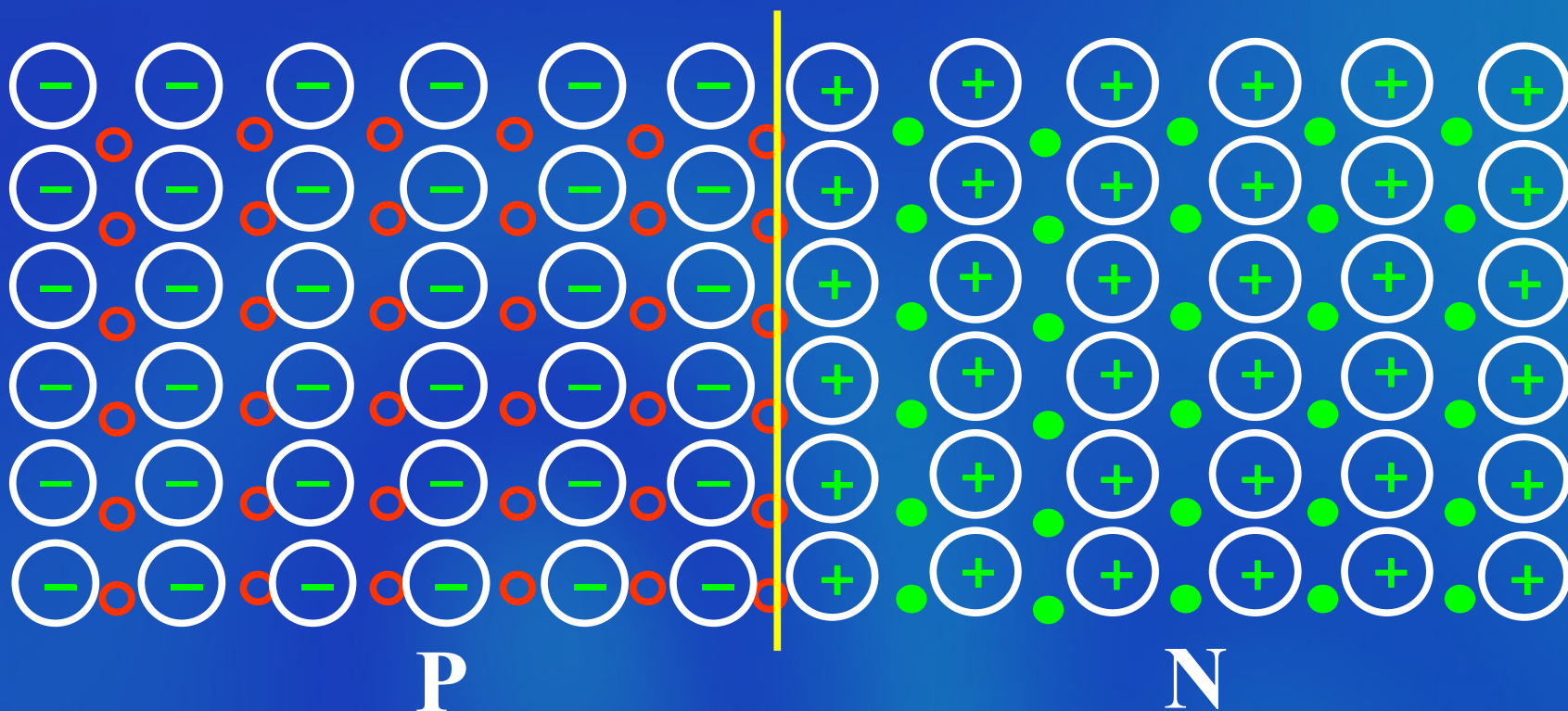
3. PN结的形成

以N型半导体为基片

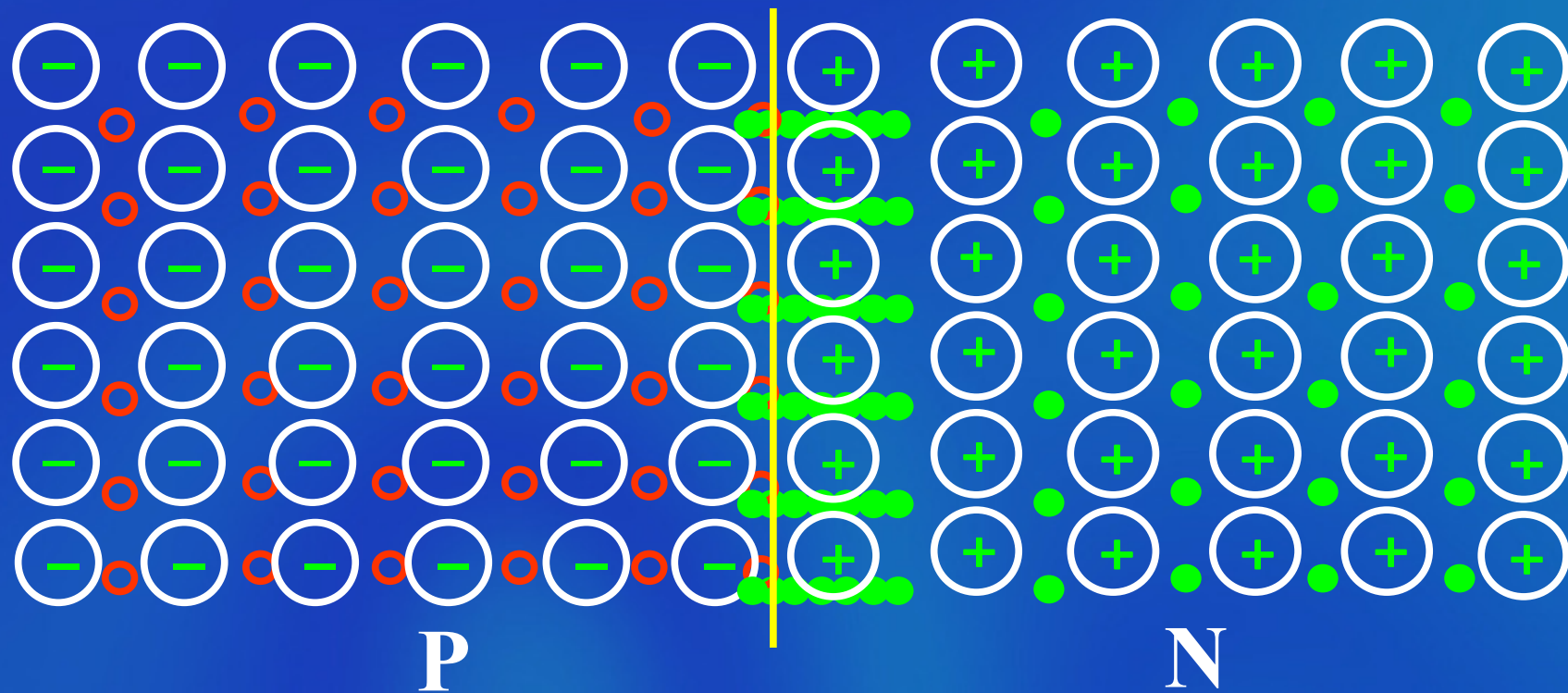


通过半导体扩散工艺

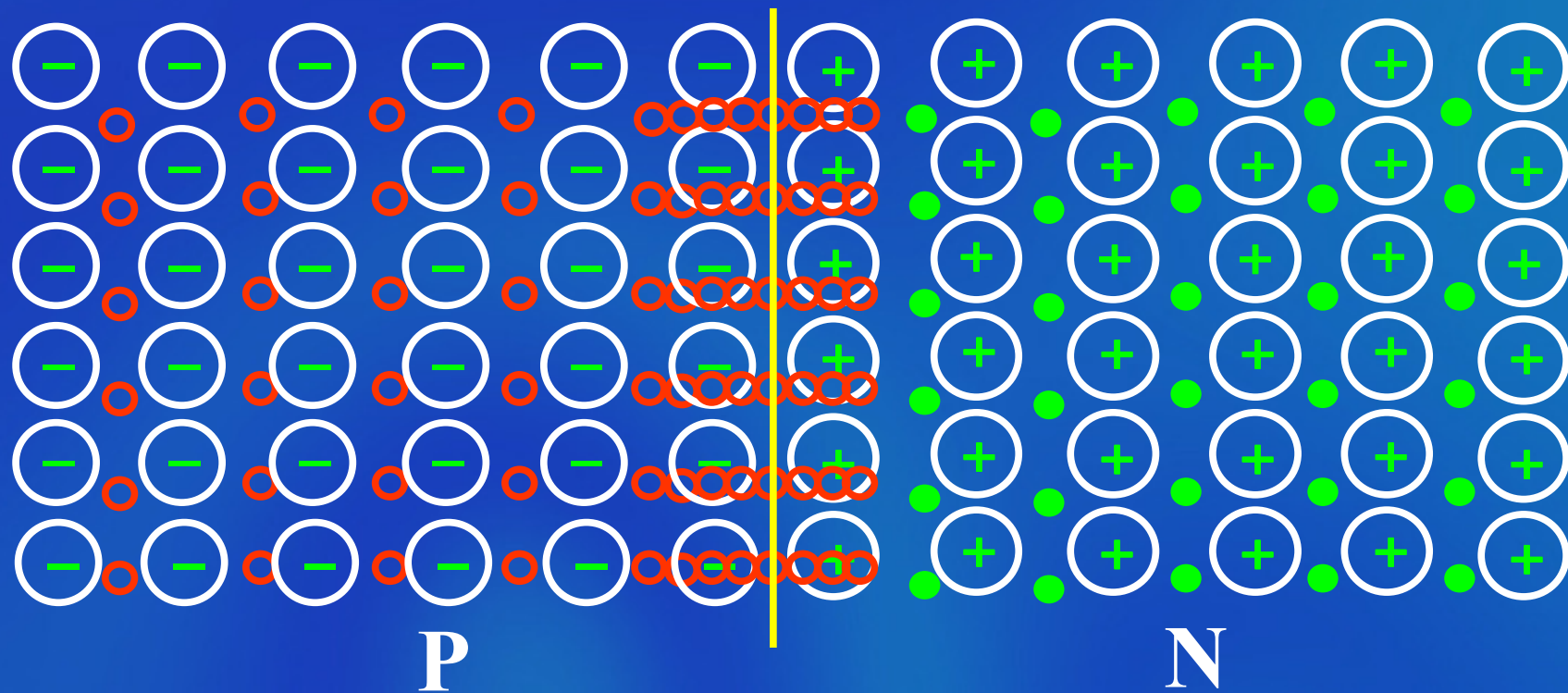
使半导体的一边形成N型区，另一边形成P型区



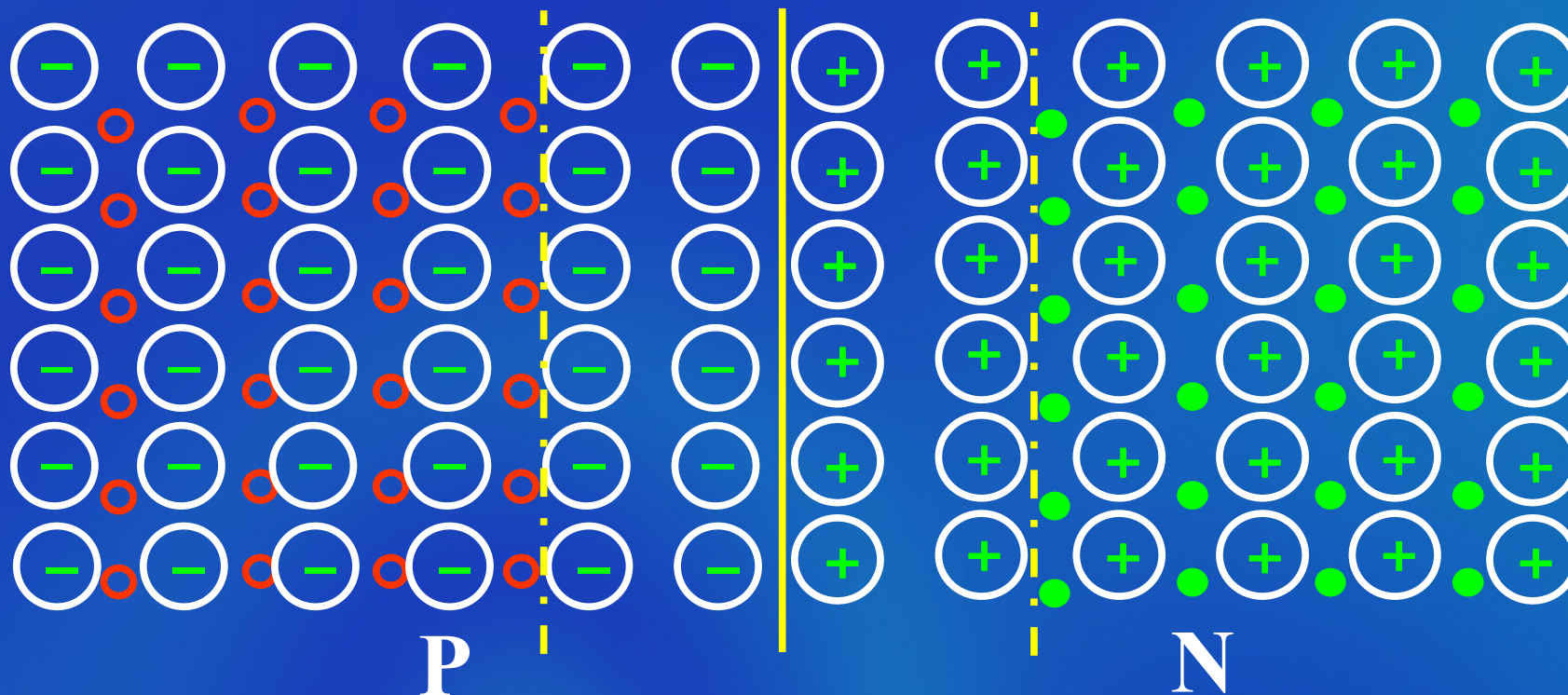
(1) 在浓度差的作用下, 电子从N区向P区扩散



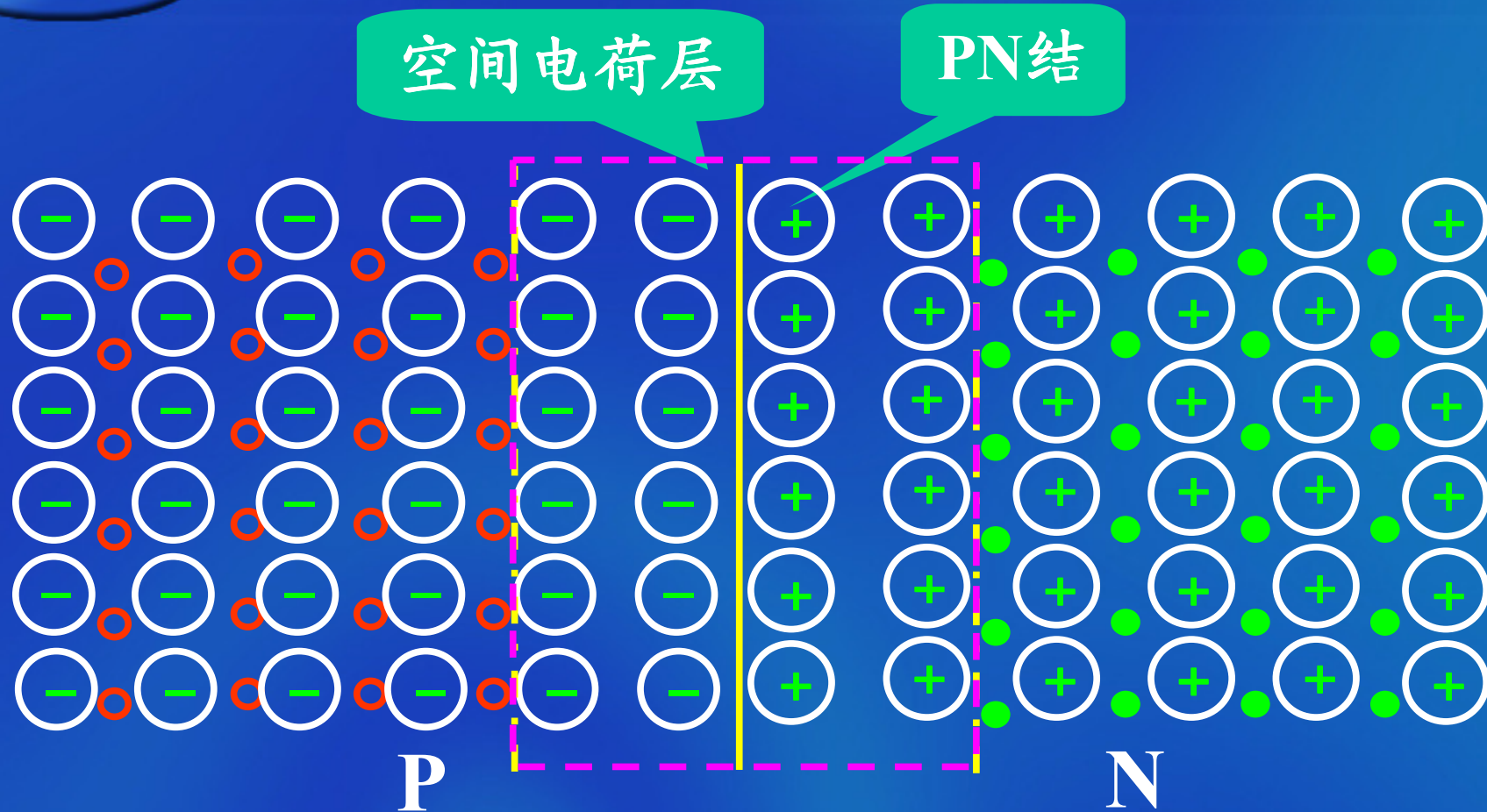
在浓度差的作用下，空穴从 P 区向 N 区扩散



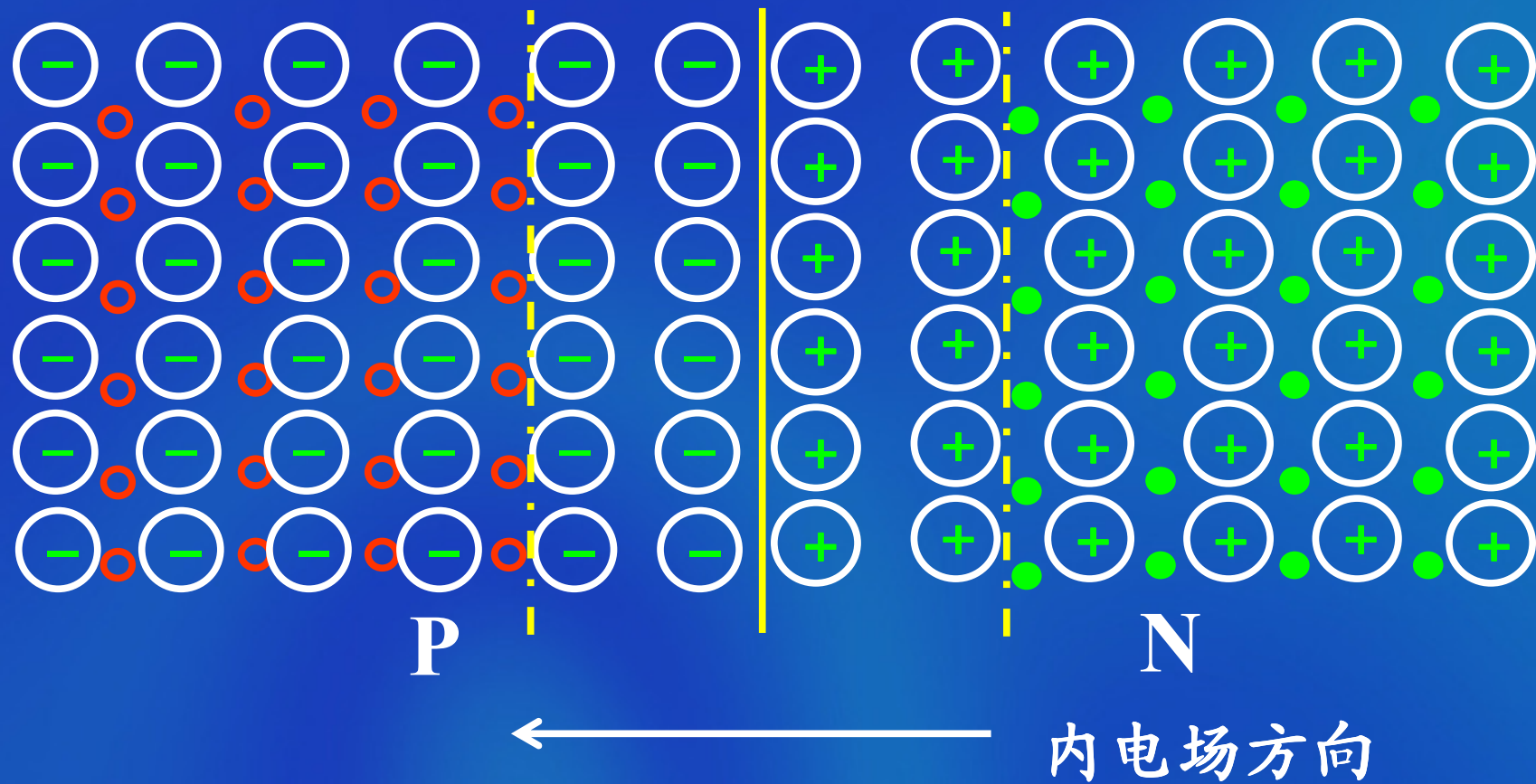
小结:

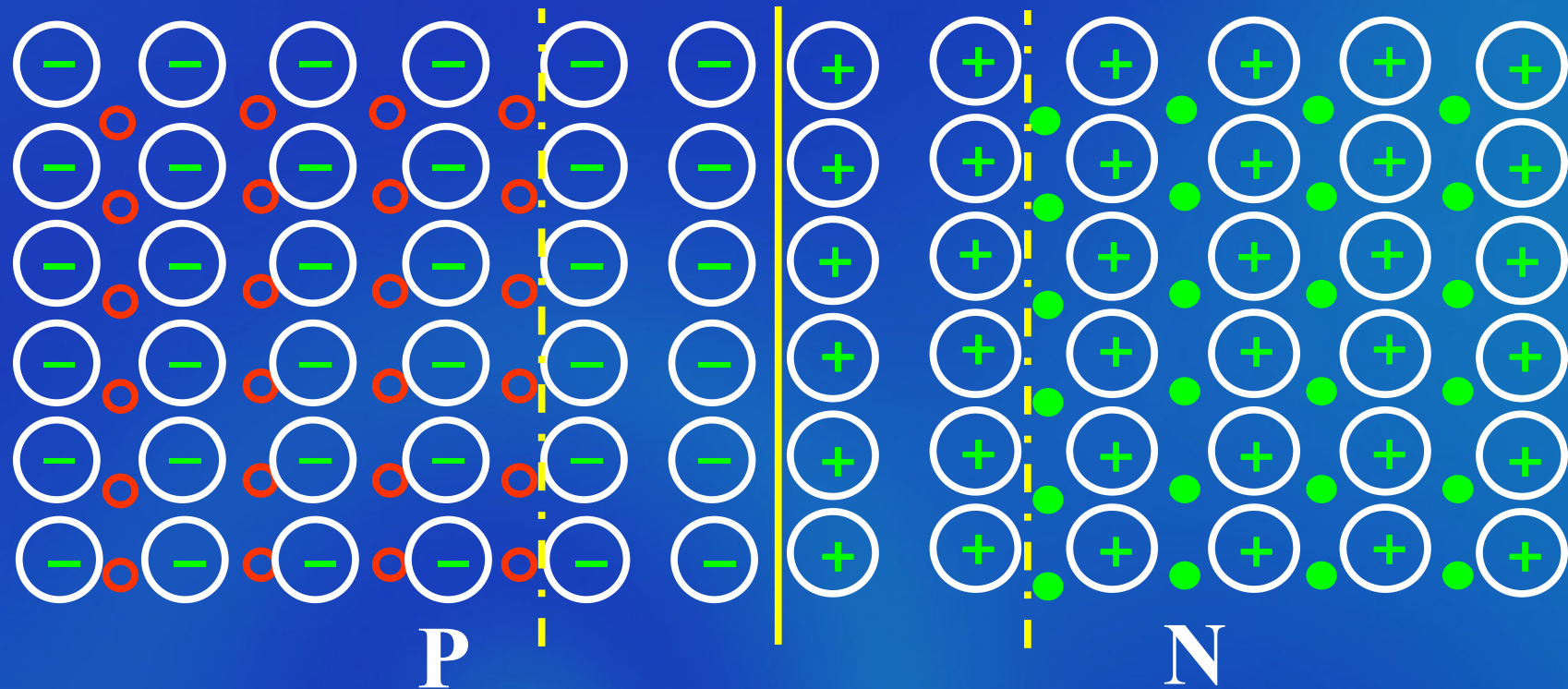


在浓度差的作用下，两边多子互相扩散。在P区和N区交界面上，留下了一层不能移动的正、负离子

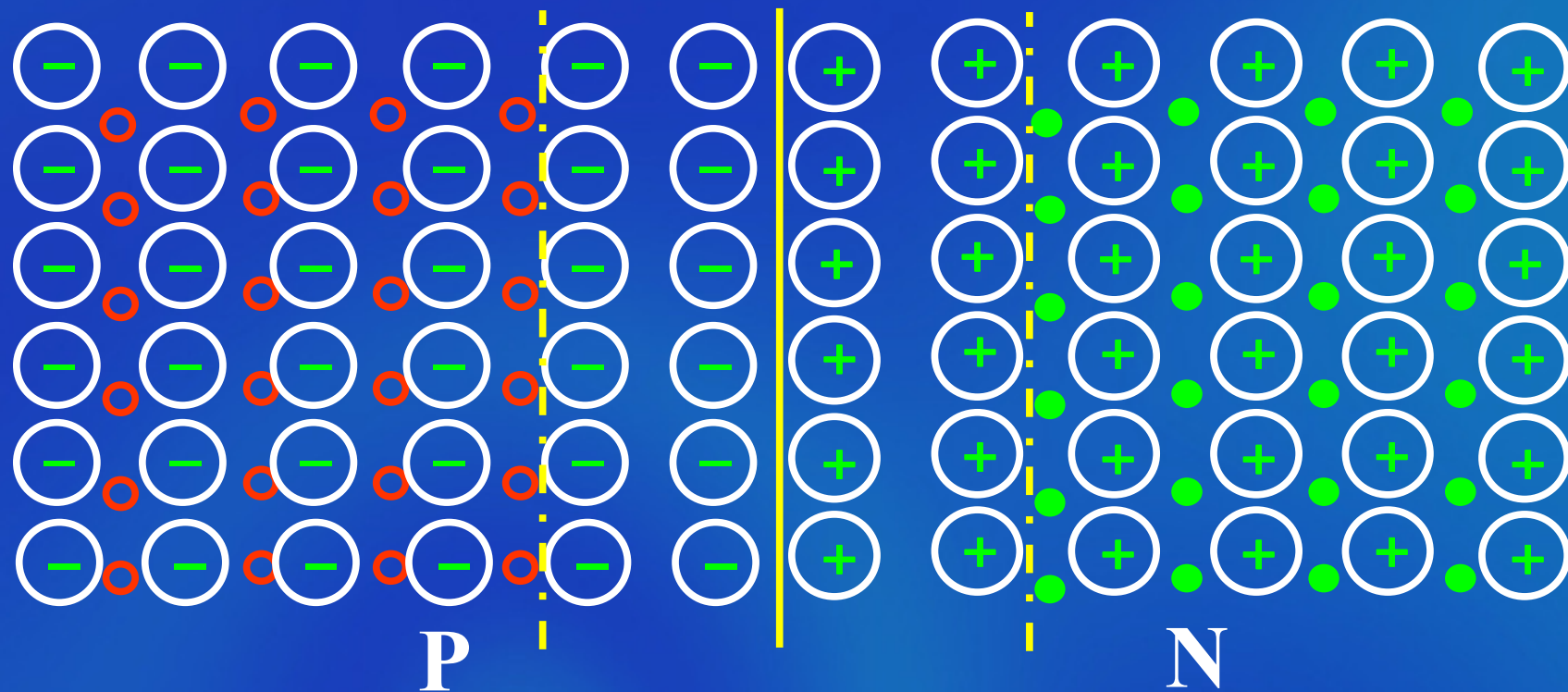


形成内电场



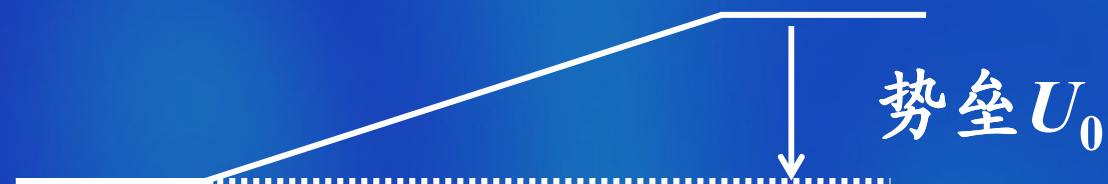
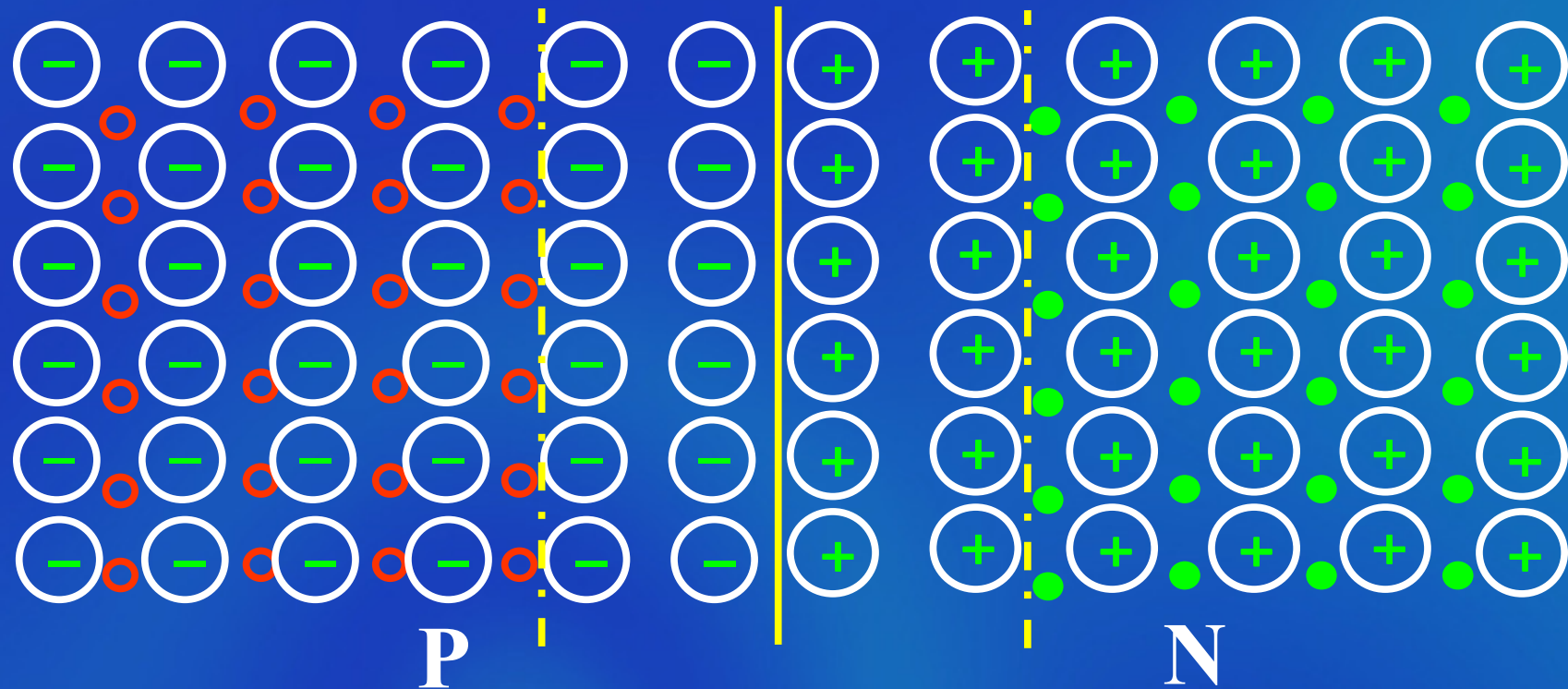


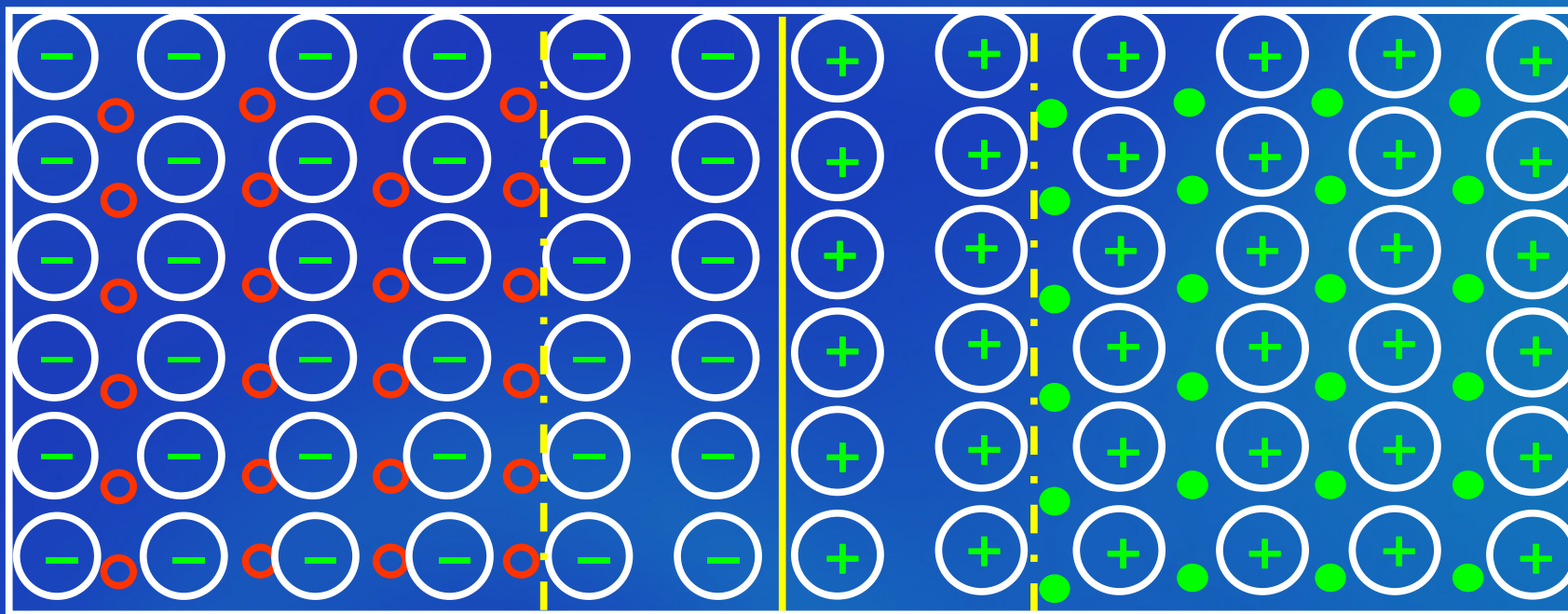
PN结一方面阻碍多子的扩散



另一方面加速少子的漂移

形成电位势垒



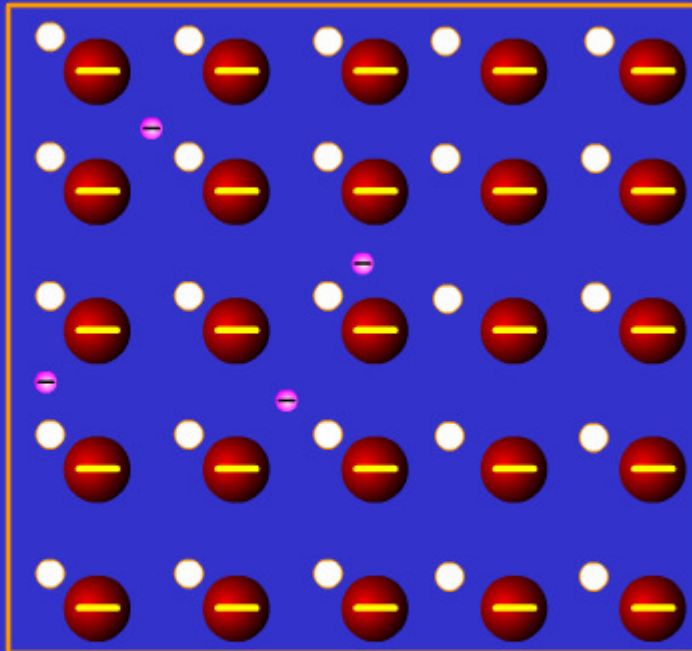


当扩散与漂移作用平衡时

- a. 流过PN结的净电流为零。
- b. PN结的厚度一定（约几个微米）。
- c. 接触电势一定（约零点几伏）。

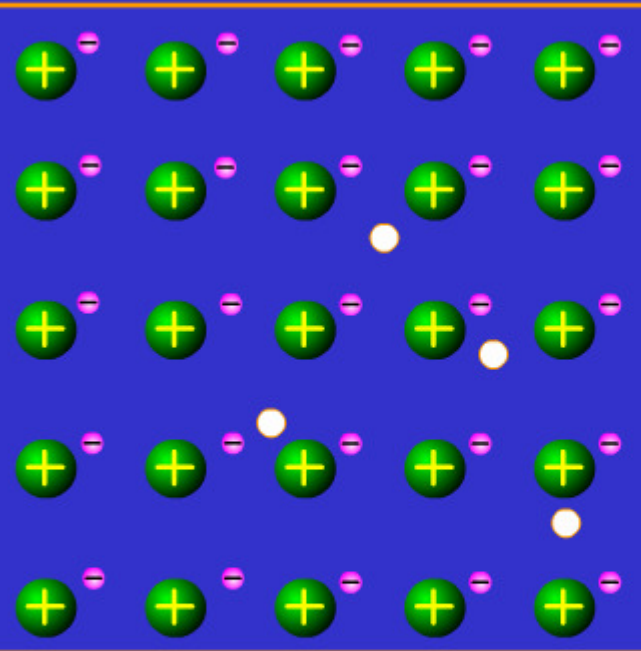
PN结形成过程动画演示

P型半导体



中性区

N型半导体



中性区



上页

下页

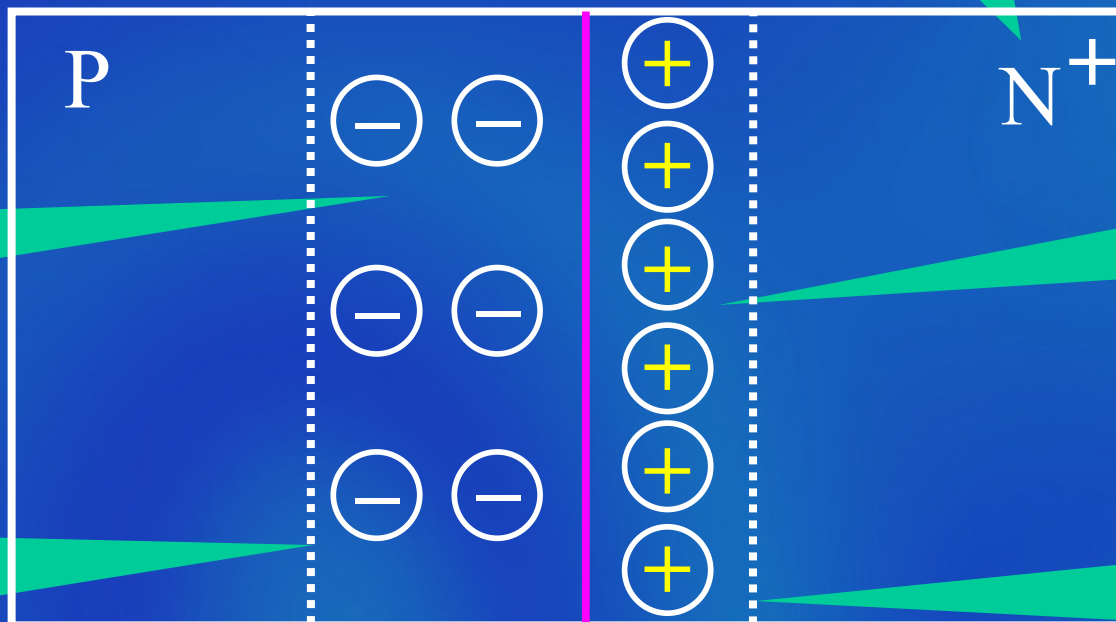
后退

当N区和P区的掺杂浓度不等时:

高掺杂浓度区域用 N^+ 表示

离子密度小

空间电荷区的宽度较宽

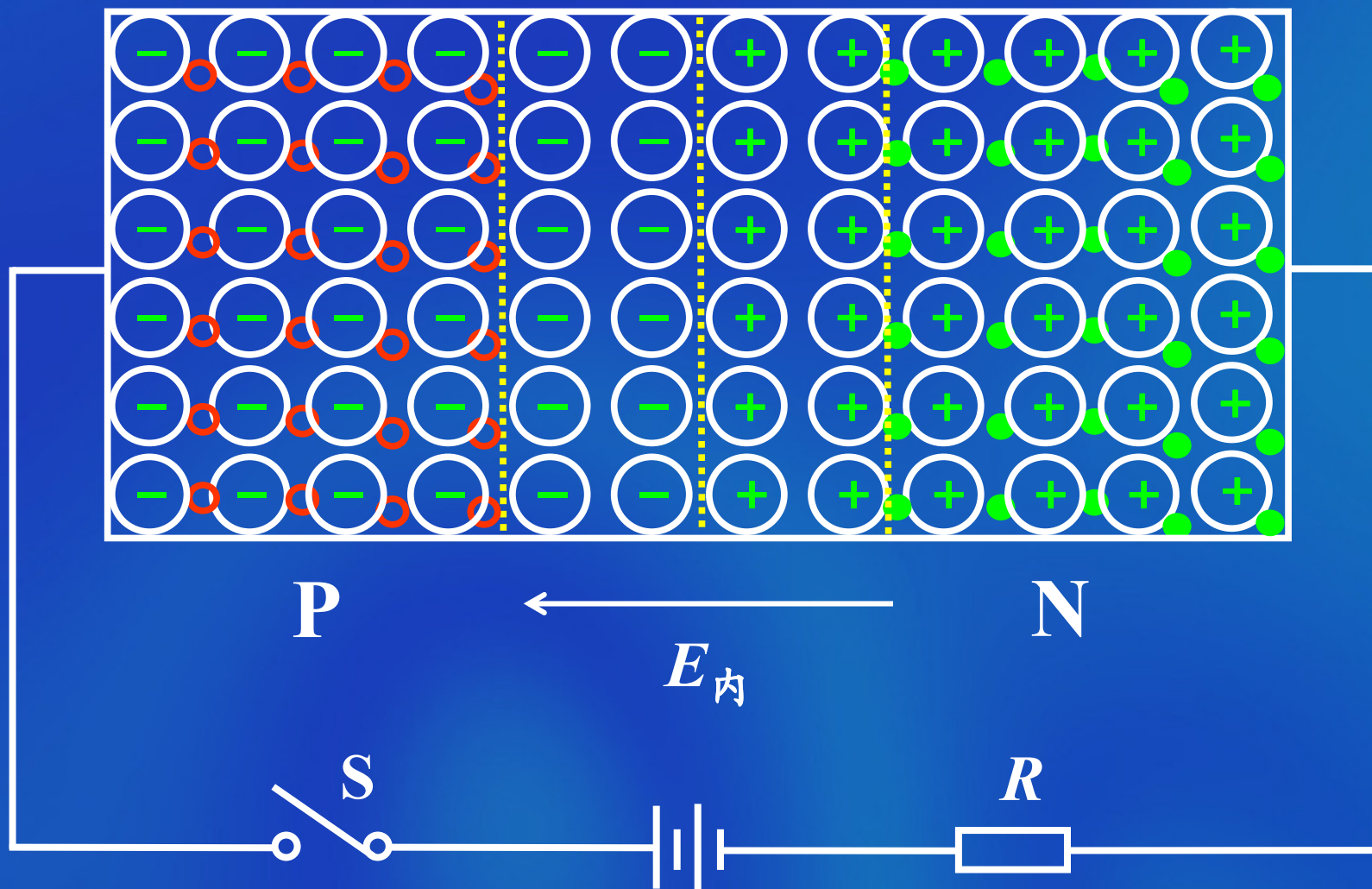


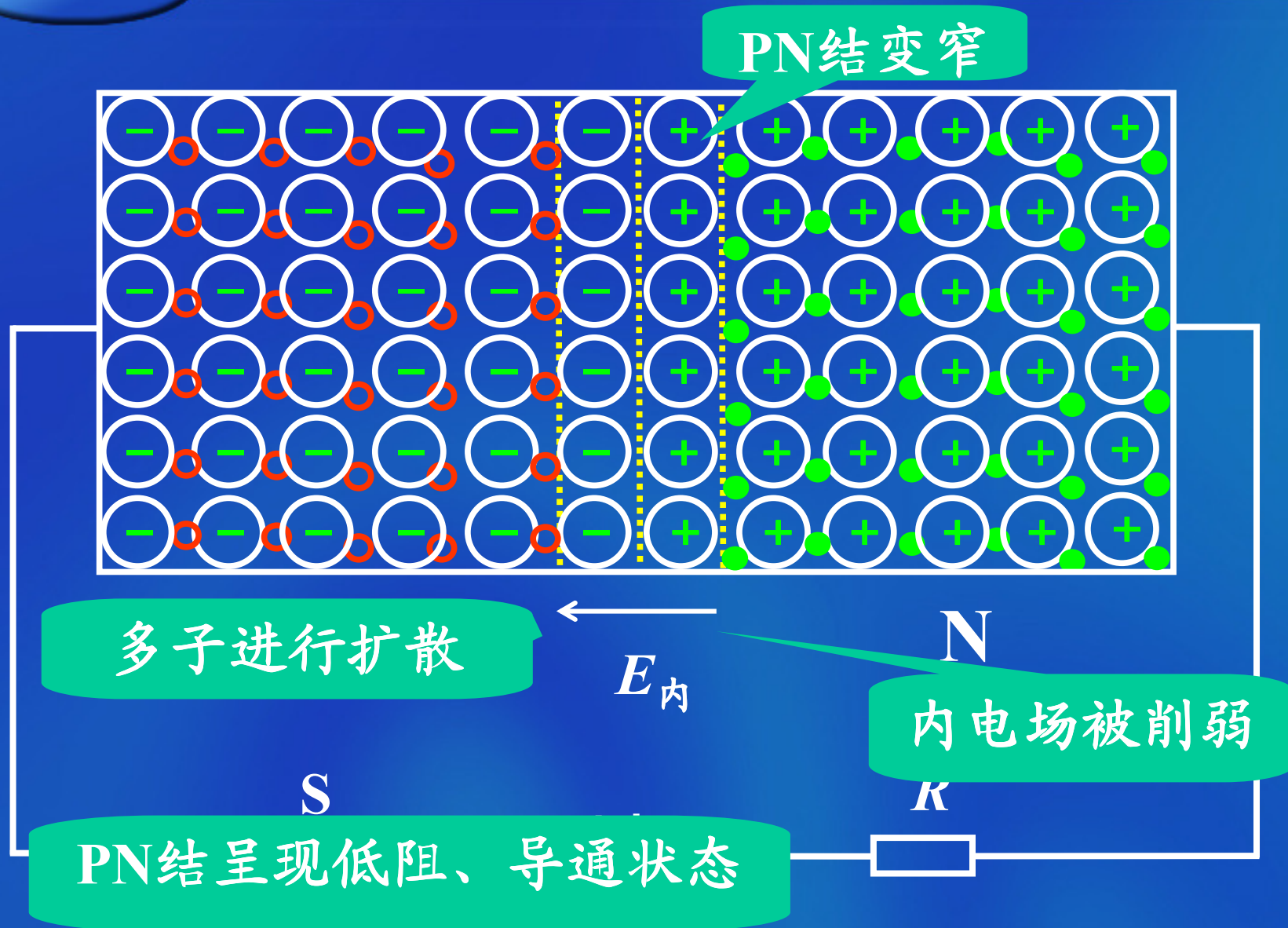
离子密度大

空间电荷区的宽度较窄

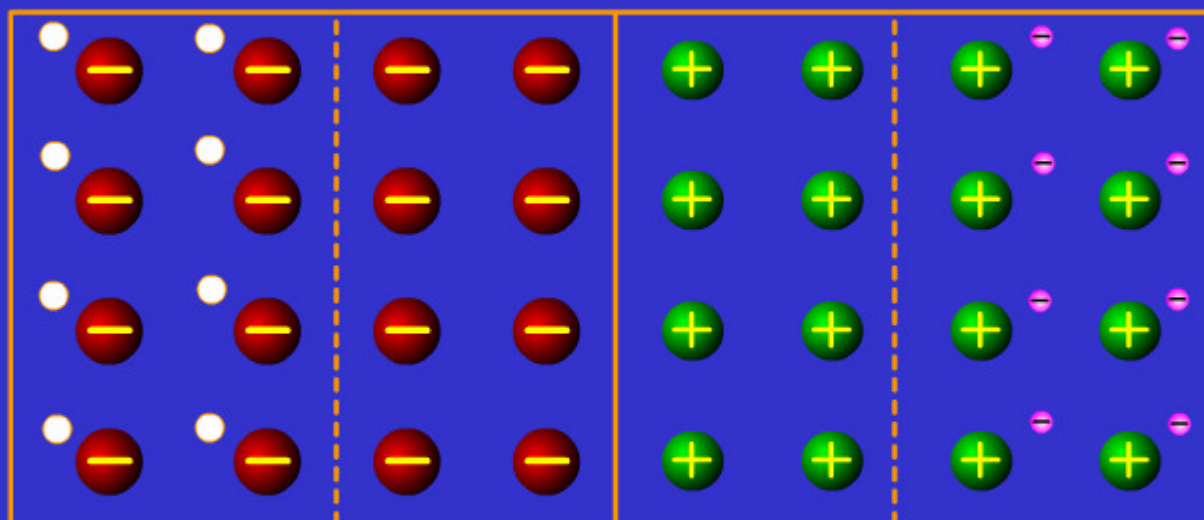
1.1.2 PN结的单向导电性

1. PN结正向偏置





PN结正偏动画演示



← 内 电 场 方 向



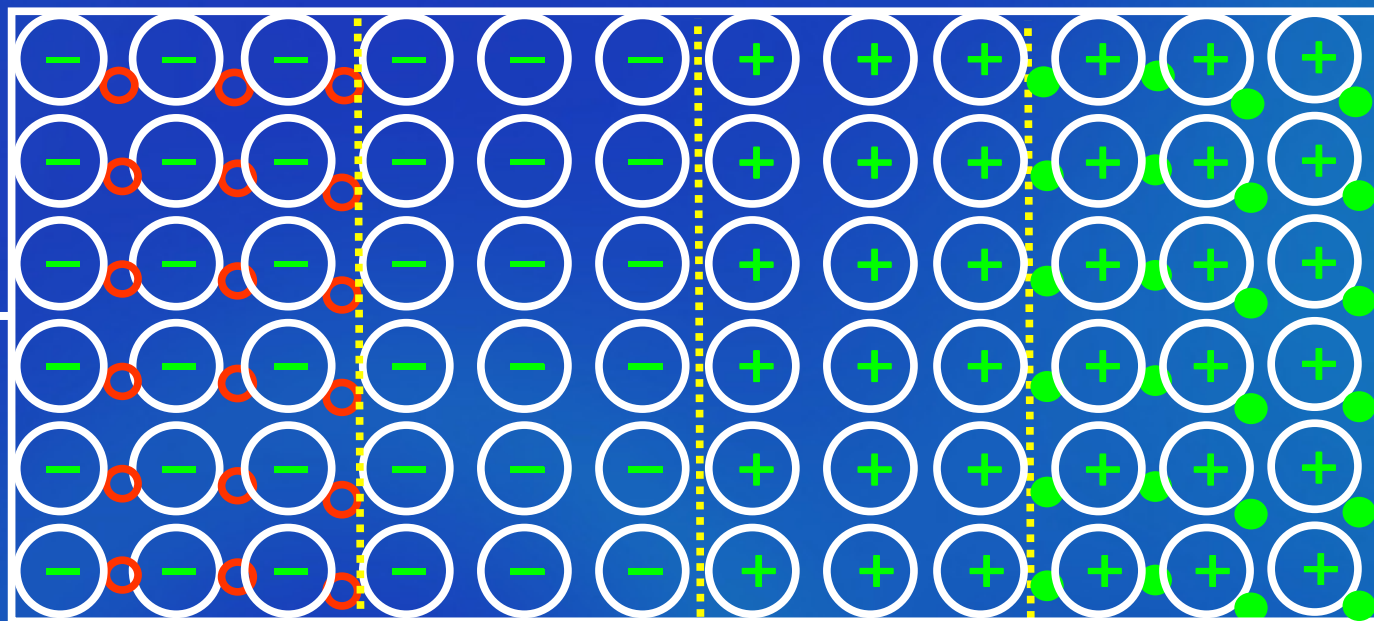
上页

下页

后退

2. PN结反向偏置

PN结变宽



不利多子扩散
有利少子漂移

$E_{\text{内}}$

N

内电场增强

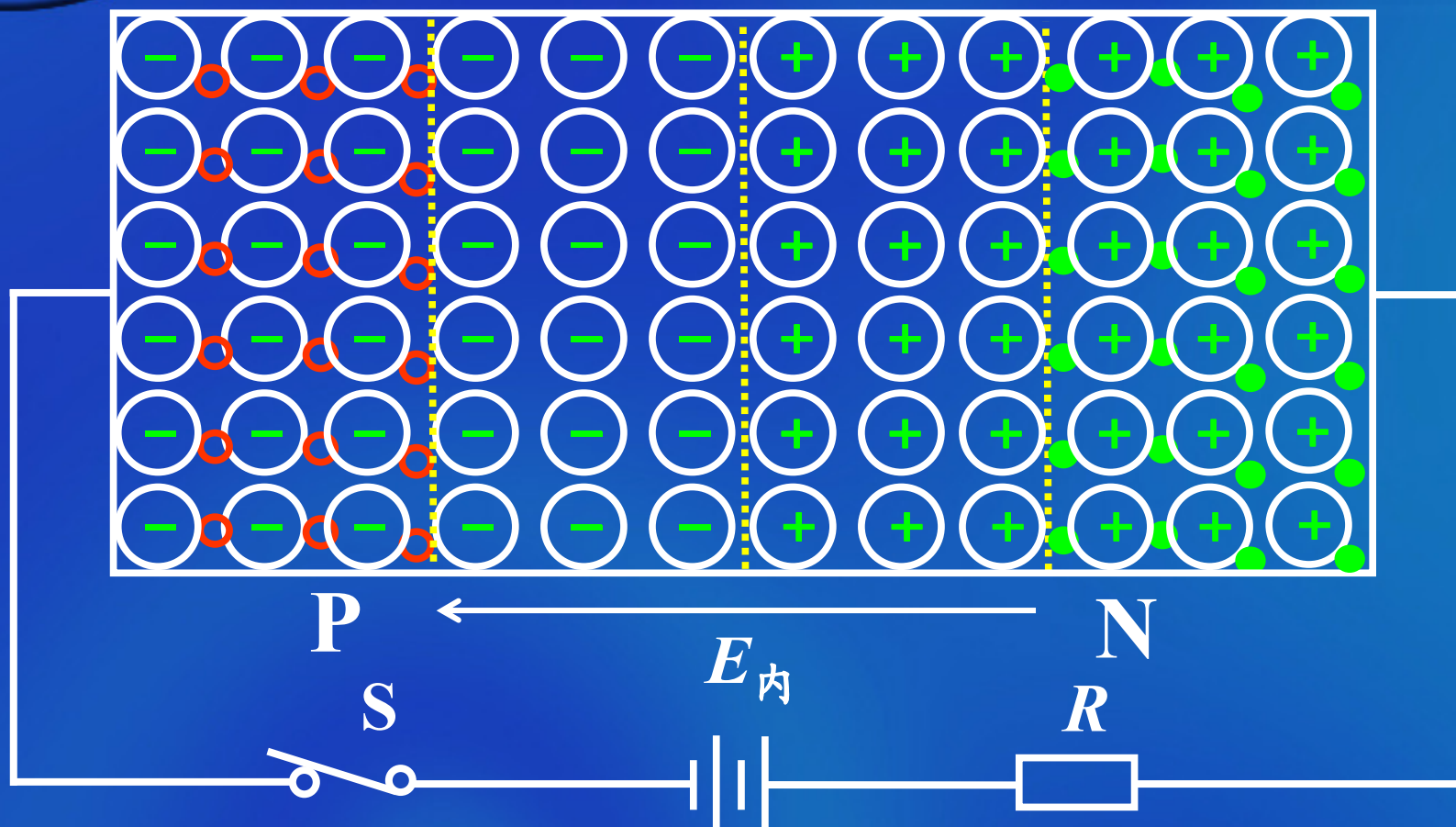
R

PN结呈现高阻截止状态

上页

下页

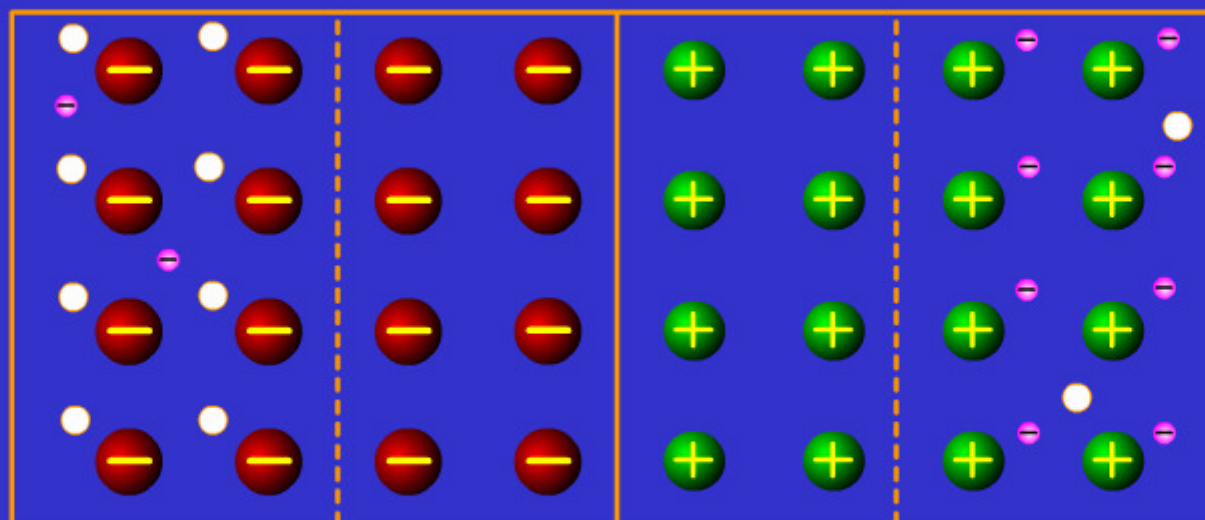
后退



因少子浓度主要与温度有关，反向电流与反向电压几乎无关。

此电流称为反向饱和电流，记为 I_S 。

PN结反偏动画演示



← 内 电 场 方 向



上页

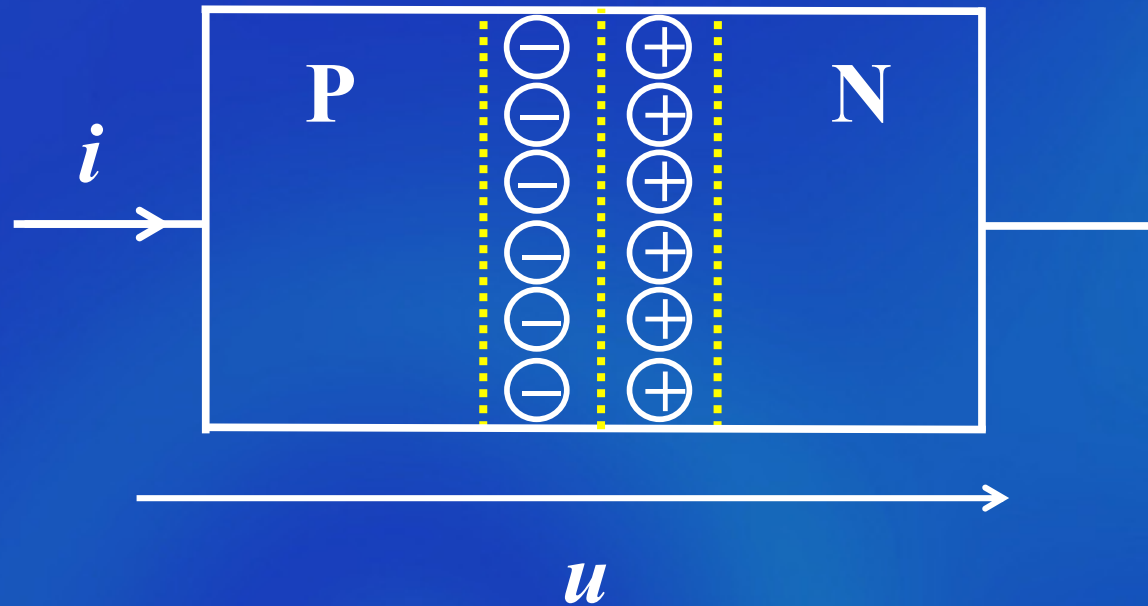
下页

后退

总 结

	势 垒	PN结	多子扩散	少子漂移	状 态
正 偏	降低	薄	利	不利	低阻 导通
反 偏	增高	厚	不利	利	高阻 截止

1.1.3 PN结的电压与电流关系



$$i = I_s (e^{u/U_T} - 1)$$

$$i = I_s \left(e^{\frac{u}{U_T}} - 1 \right)$$

式中

I_s —PN结反向饱和电流

U_T —热电压

$$U_T = KT/q$$

其中 K ——玻耳兹曼常数

q ——电子电量

T ——绝对温度

在室温 ($T=300\text{K}$) 时, $U_T \approx 26\text{mV}$

$$i = I_s \left(e^{\frac{u}{U_T}} - 1 \right)$$

讨论:

(1) 当 $u=0$ 时,

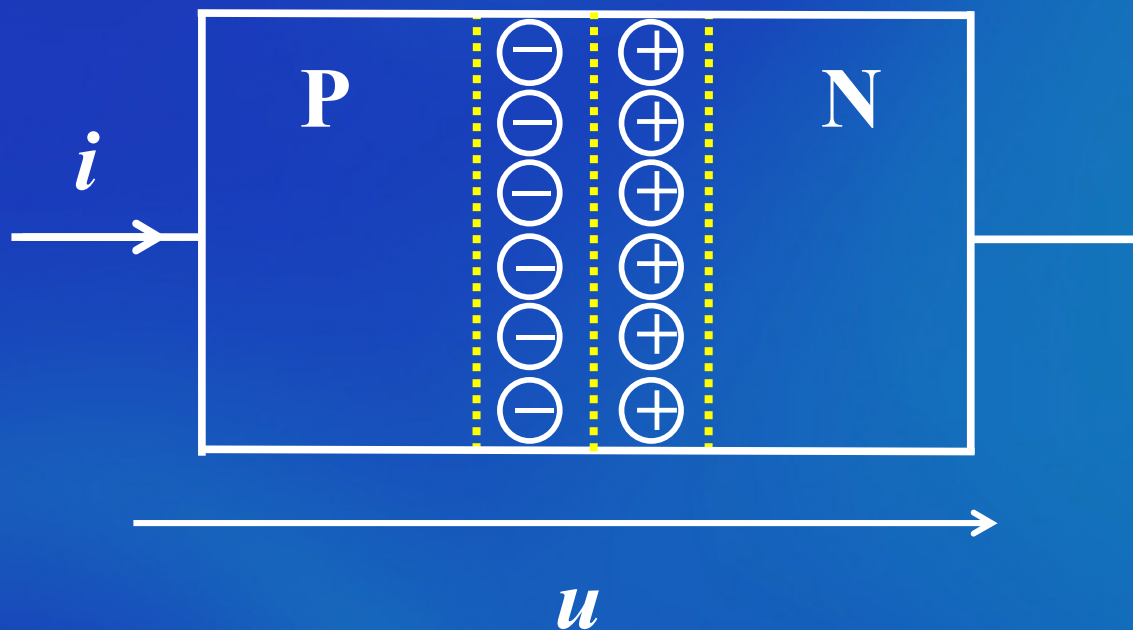
$$i = 0$$

(2) 当 $u>0$, 且 $u \gg U_T$ 时,

$$i \approx I_s e^{\frac{u}{U_T}}$$

(3) 当 $u<0$, 且 $|u| \gg U_T$ 时,

$$i \approx -I_s$$

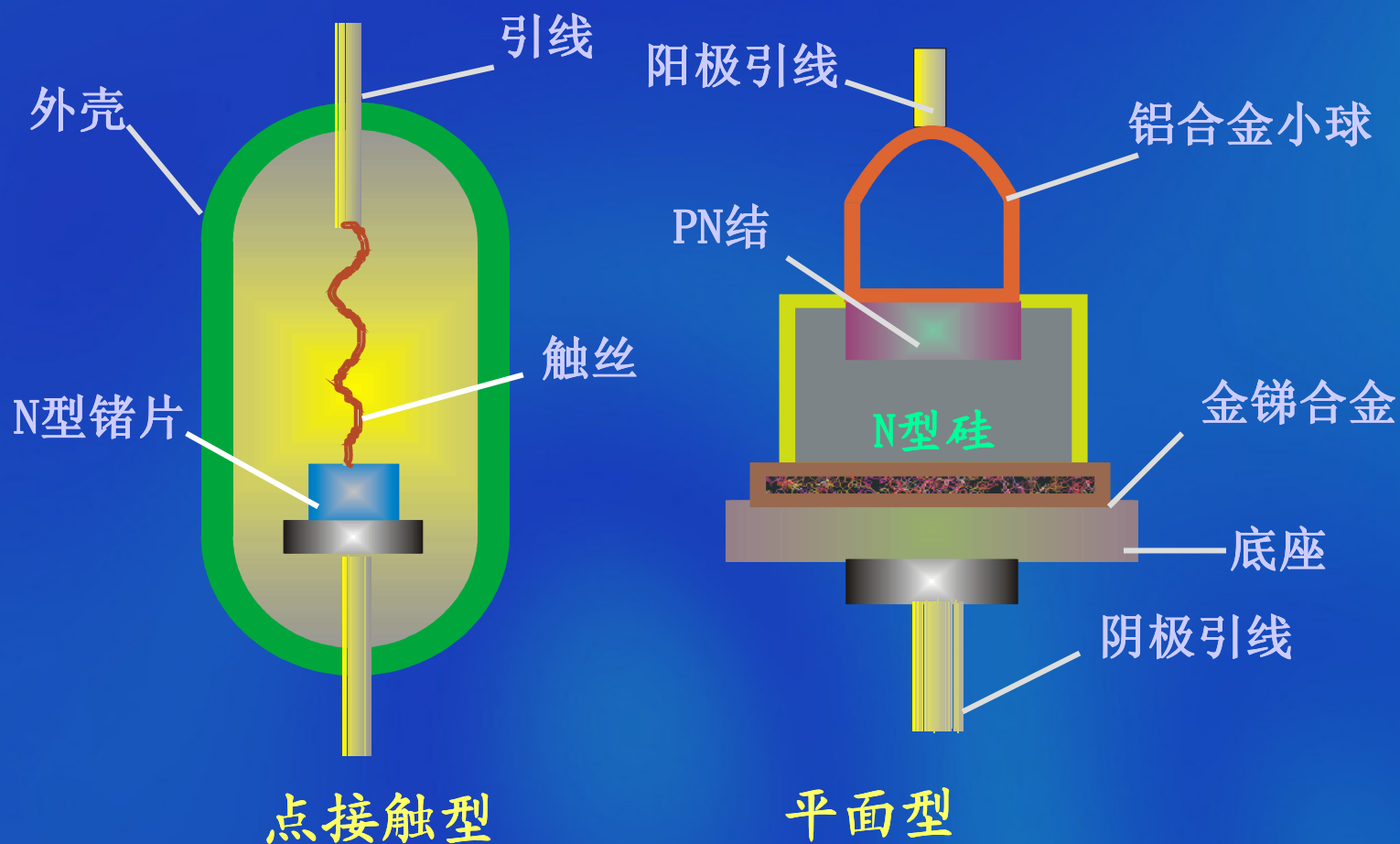


思考题

1. 半导体中的载流子浓度主要与那些因素有关？
2. 温度升高，半导体的导电率如何变化？
3. 扩散电流与漂移电流的区别是什么？

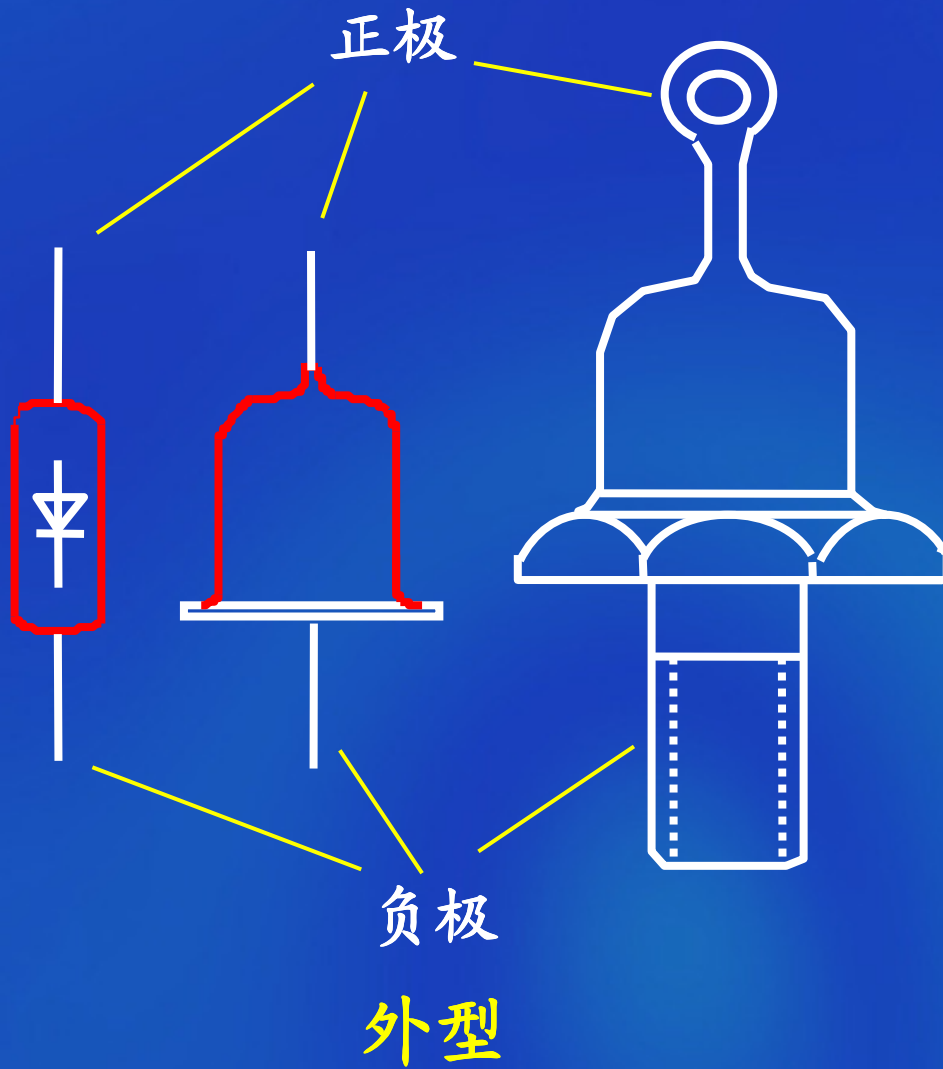
1.2 半导体二极管

1.2.1 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



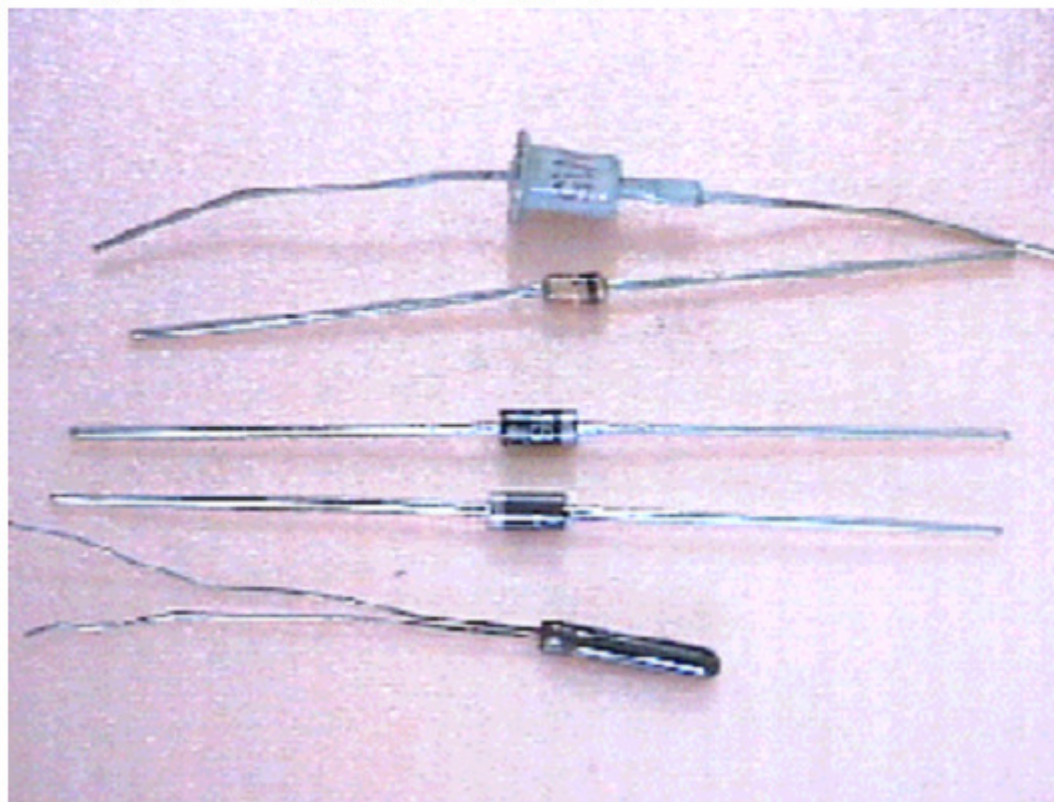
正极

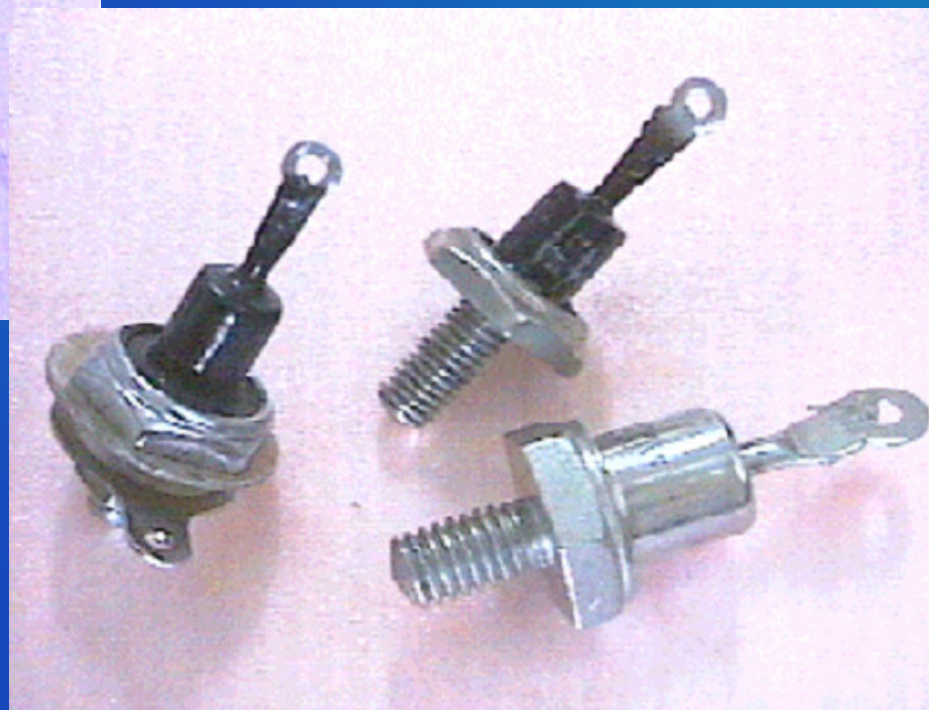


负极

符号

半导体二极管图片



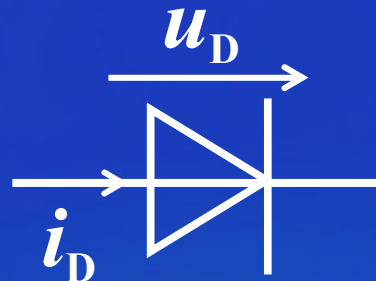


半导体二极管的类型

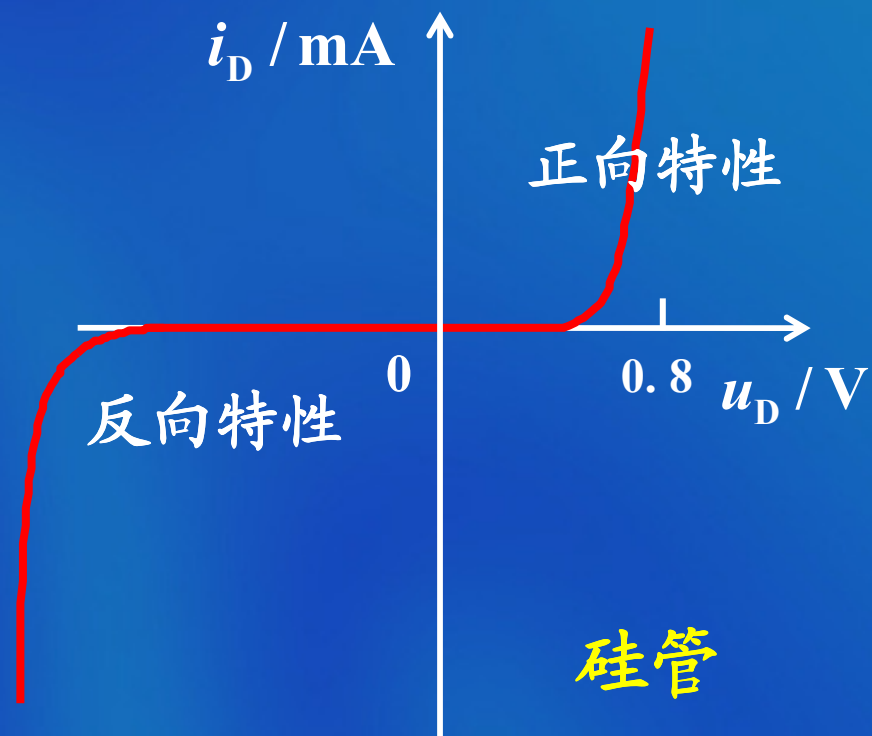
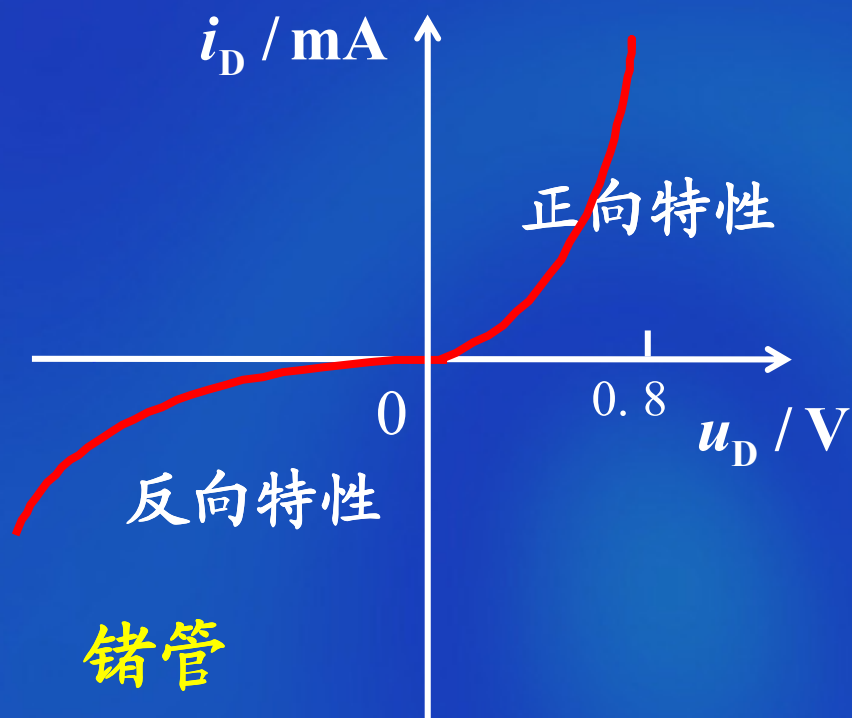
(1) 按使用的半导体材料不同分为 { 硅管
锗管

(2) 按结构形式不同分 { 平面型
点接触型

1.2.2 半导体二极管的伏安特性



$$i_D = f(u_D)$$



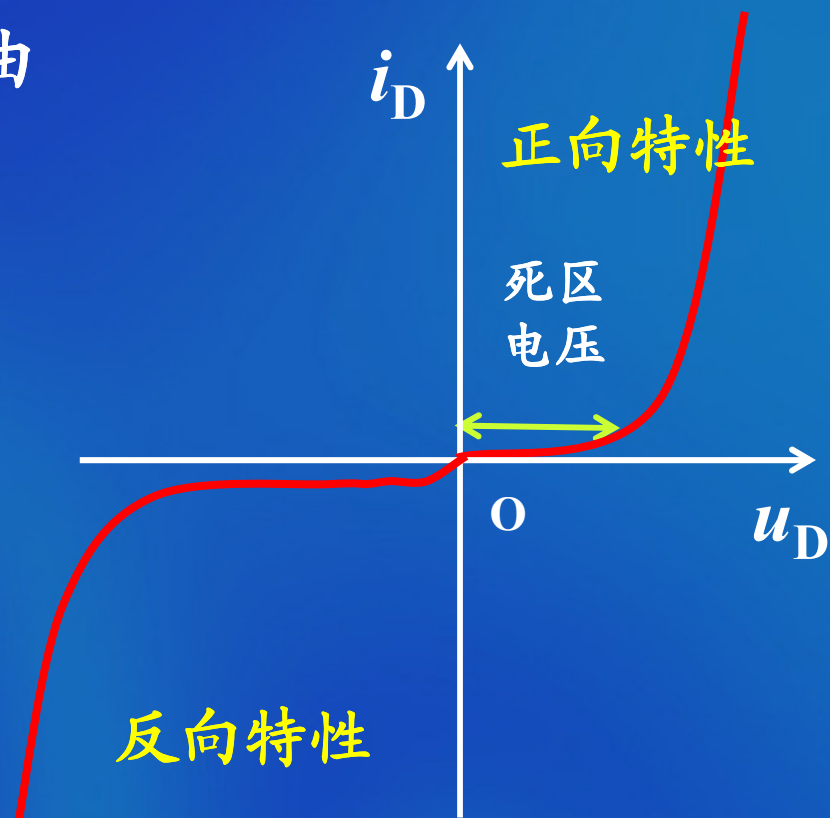
1. 正向特性

(1) 非线性 整个正向特性曲线近似地呈现为指数形式。

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

(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）

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

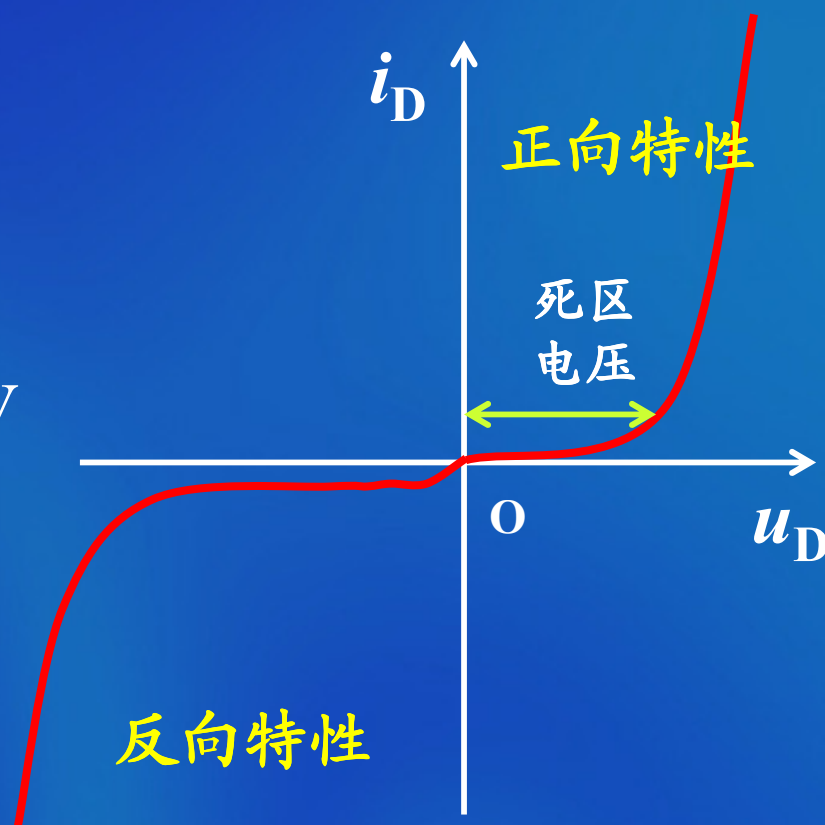
即 u_D 升高, i_D 急剧增大

管压降 u_D 约为

- 硅管 0.6~0.8V
- 锗管 0.2~0.3V

取管压降 u_D

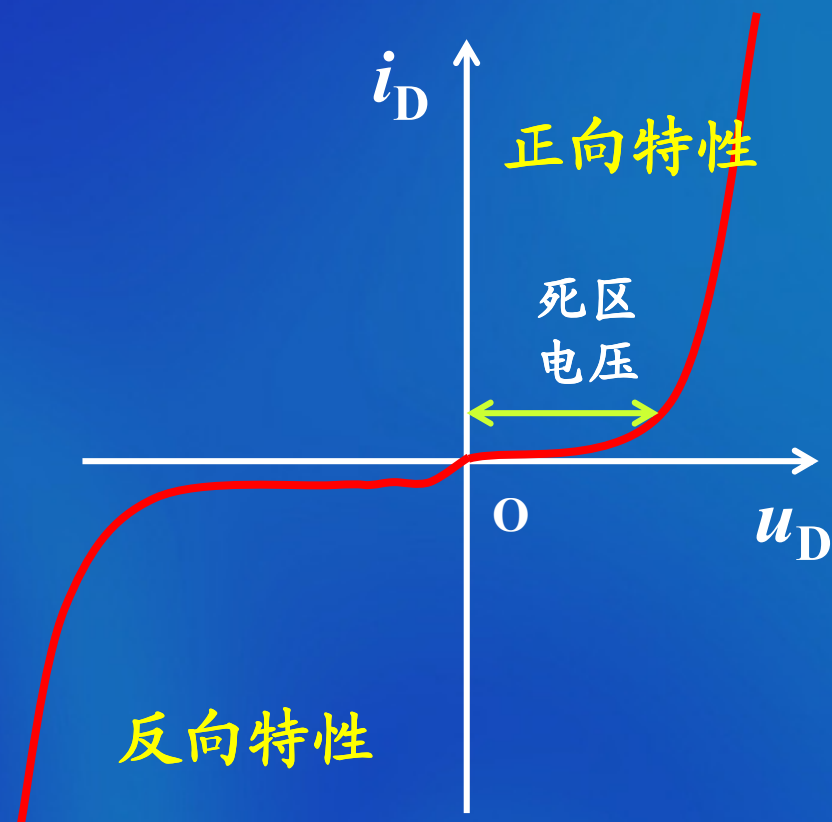
- 硅管 0.7V
- 锗管 0.2V



2. 反向特性

(1) 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



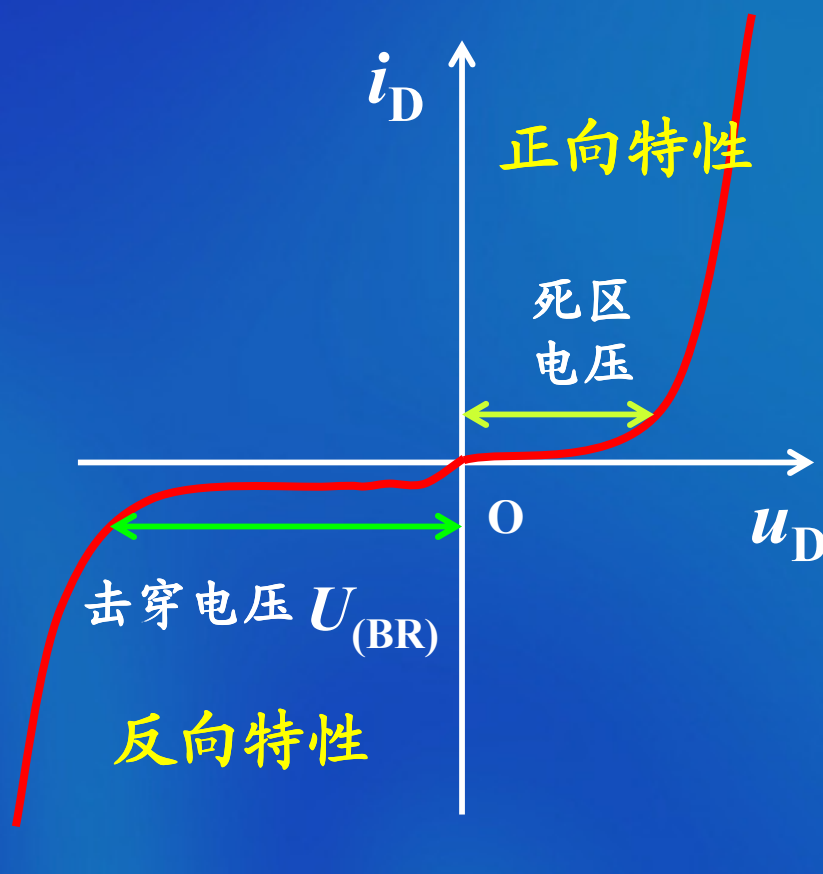
(2) 当 $|u_D| > U_{(BR)}$ 时

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

硅管 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$

锗管 $75 \sim 100^{\circ}\text{C}$

c. 降低反向电压, 二极管仍能正常工作。

热击穿:

PN结被烧坏, 造成二极管的永久性损坏。

(3) 产生击穿的机理:

a. 齐纳击穿

条件 { 半导体的掺杂浓度高
空间电荷区中就有较强的电场

击穿的机理:

电场将PN结的价电子从共价键中激发出来。

击穿的特点 { 击穿电压低于4V
击穿电压具有负的温度系数

(b) 雪崩击穿

条件 { 半导体的掺杂浓度低
空间电荷区中就有较强的电场

击穿的机理:

电场使PN结中的少子“碰撞电离”共价键中的价电子

击穿的特点 { 击穿电压高于6V
击穿电压具有正的温度系数

总 结

	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

1.2.3 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 $(2 \sim 2.5) \text{ mV}$

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

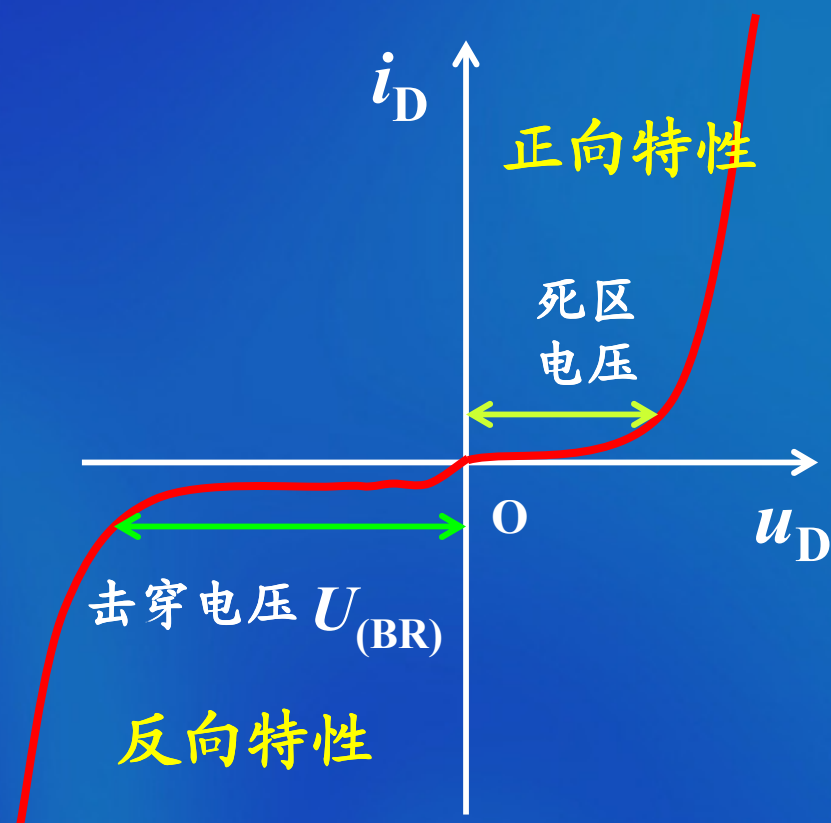
1.2.4 半导体二极管的主要电参数

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。



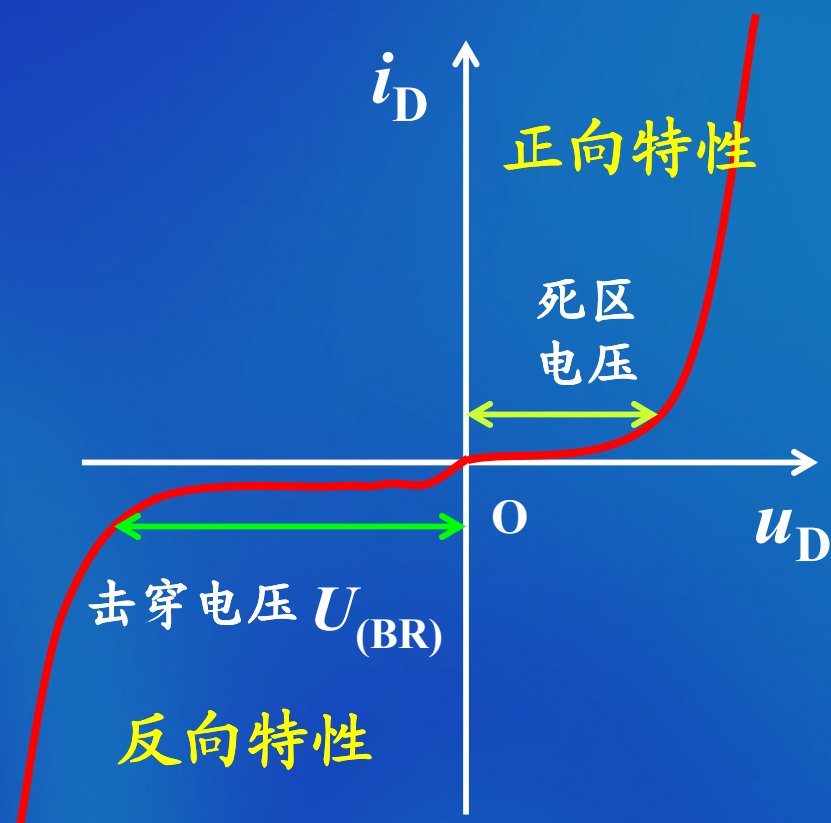
3. 最高允许反向工作电压 U_R

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。

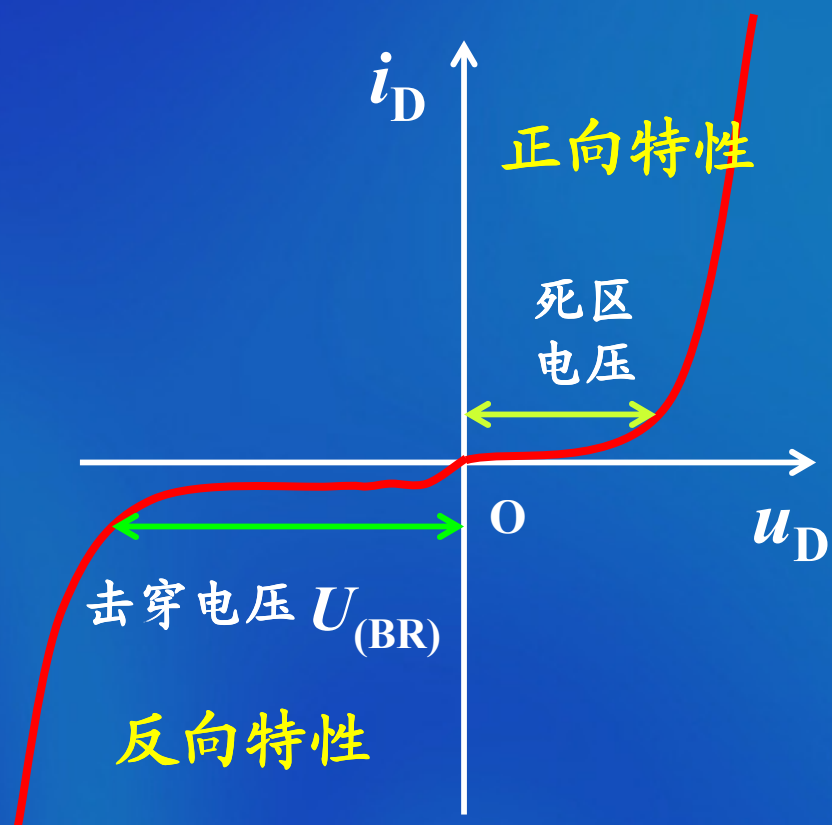


5. 正向电压降 U_F

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

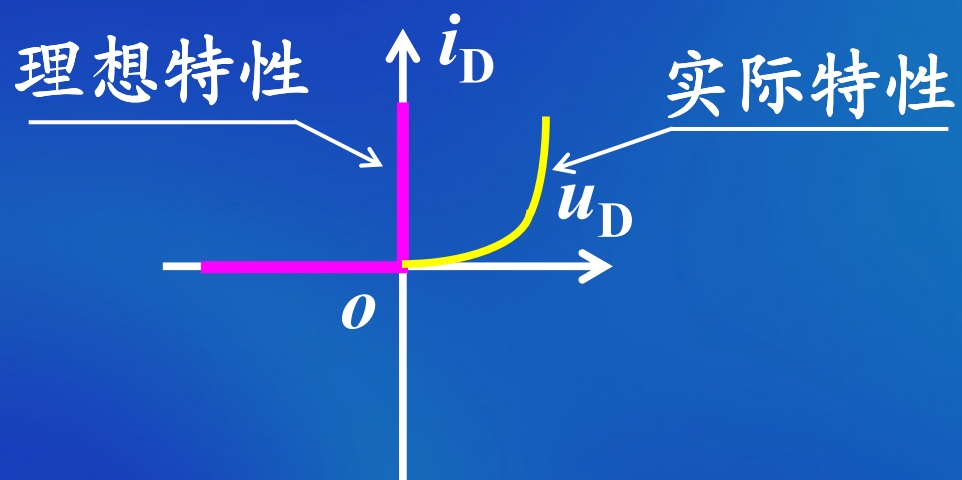
当工作频率过高时，其单向导电性明显变差。



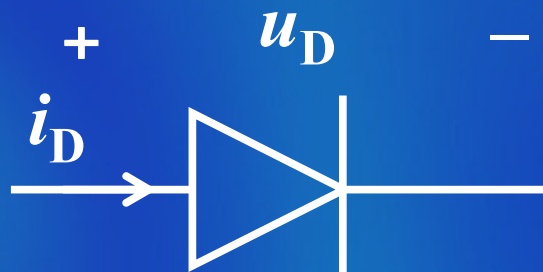
1.2.5 半导体二极管的模型

1. 理想二极管

1) 伏安特性

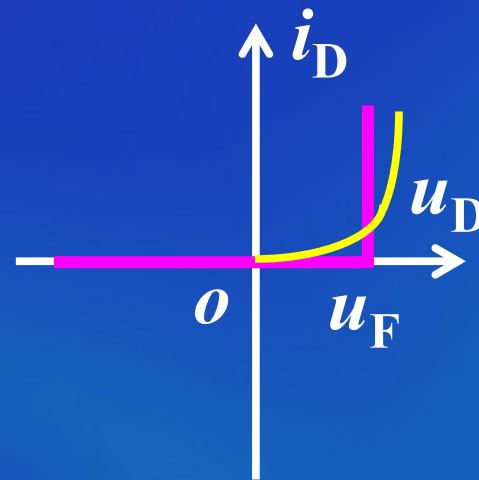


2) 电路符号

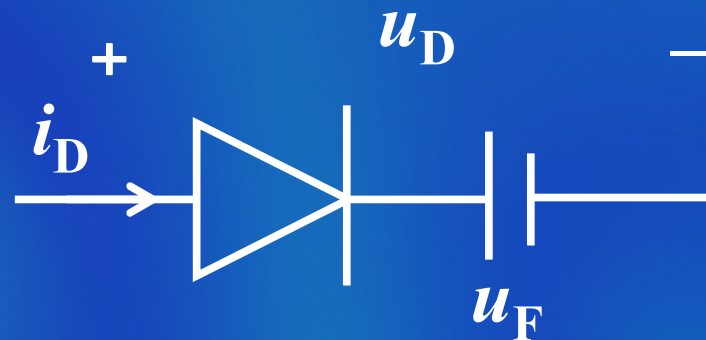


2. 恒压模型

1) 伏安特性

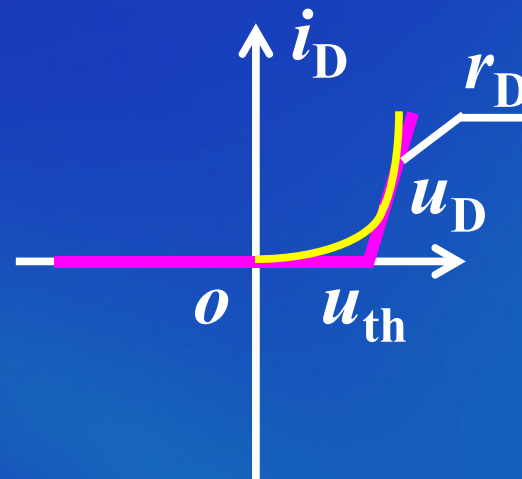


2) 电路模型

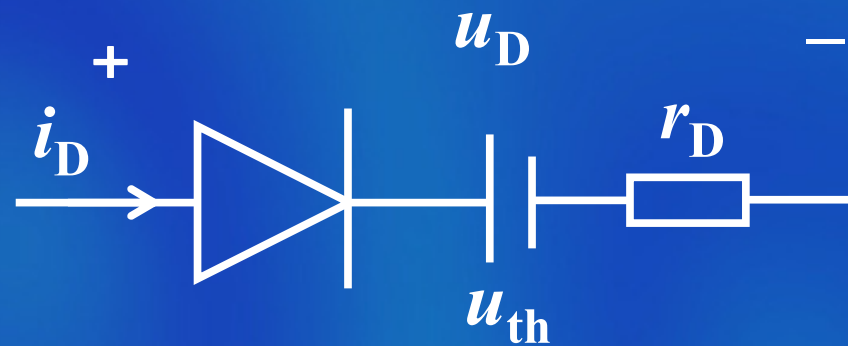


3. 折线模型

1) 伏安特性

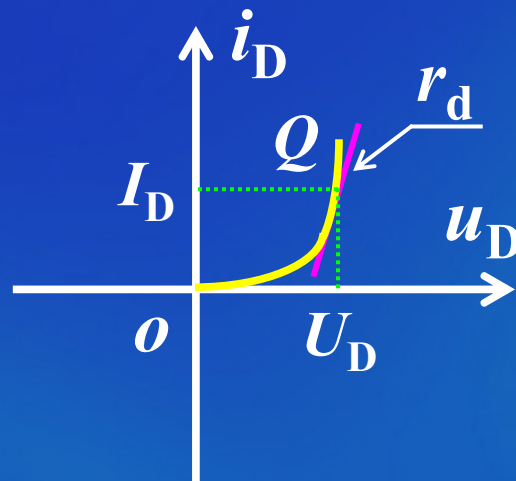


2) 电路模型



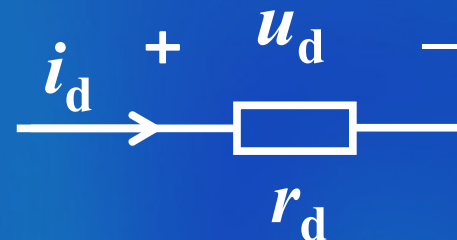
4. 小信号动态模型

1) 伏安特性



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

2) 电路模型



1.3 半导体二极管的应用

1.3.1 在整流电路中的应用

整流：将交流电变成直流电的过程。

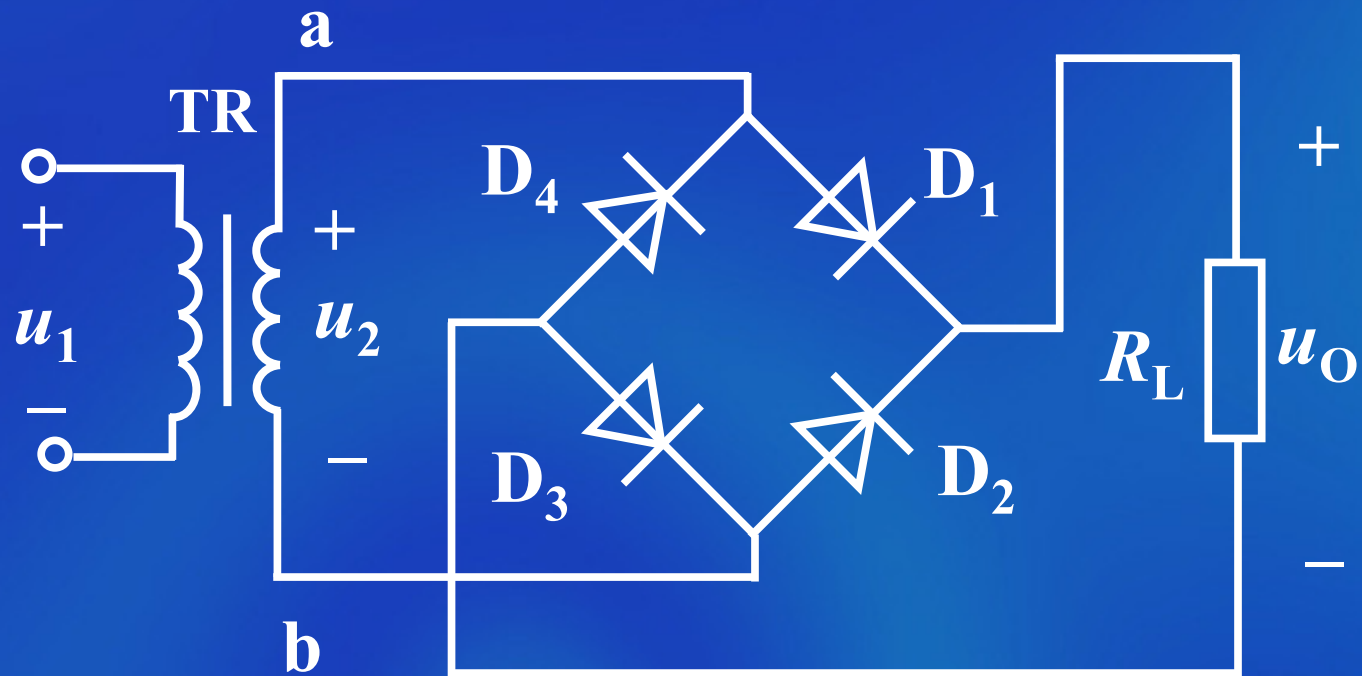
整流电路：完成整流功能的电路。

常见的整流电路有



- 半波整流电路
- 全波整流电路
- 桥式整流电路

桥式整流电路



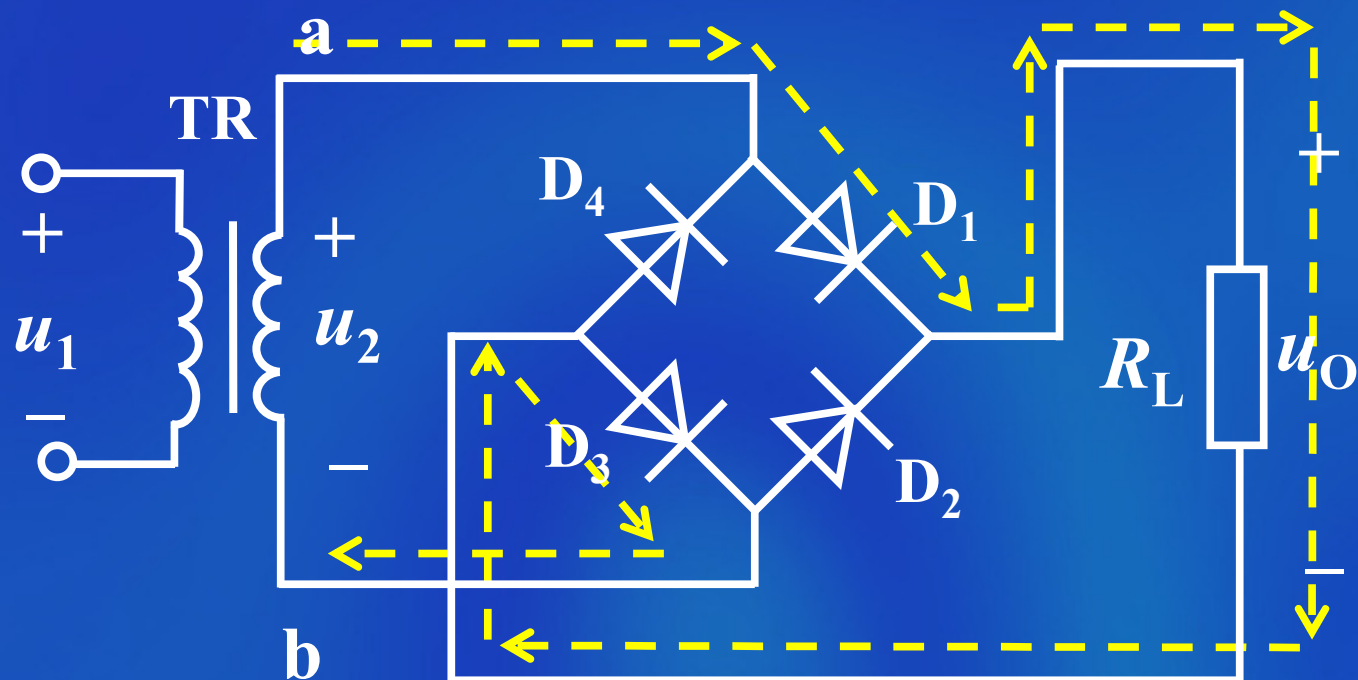
设 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$

1. 工作原理

a. 当 $u_2 > 0$ 时

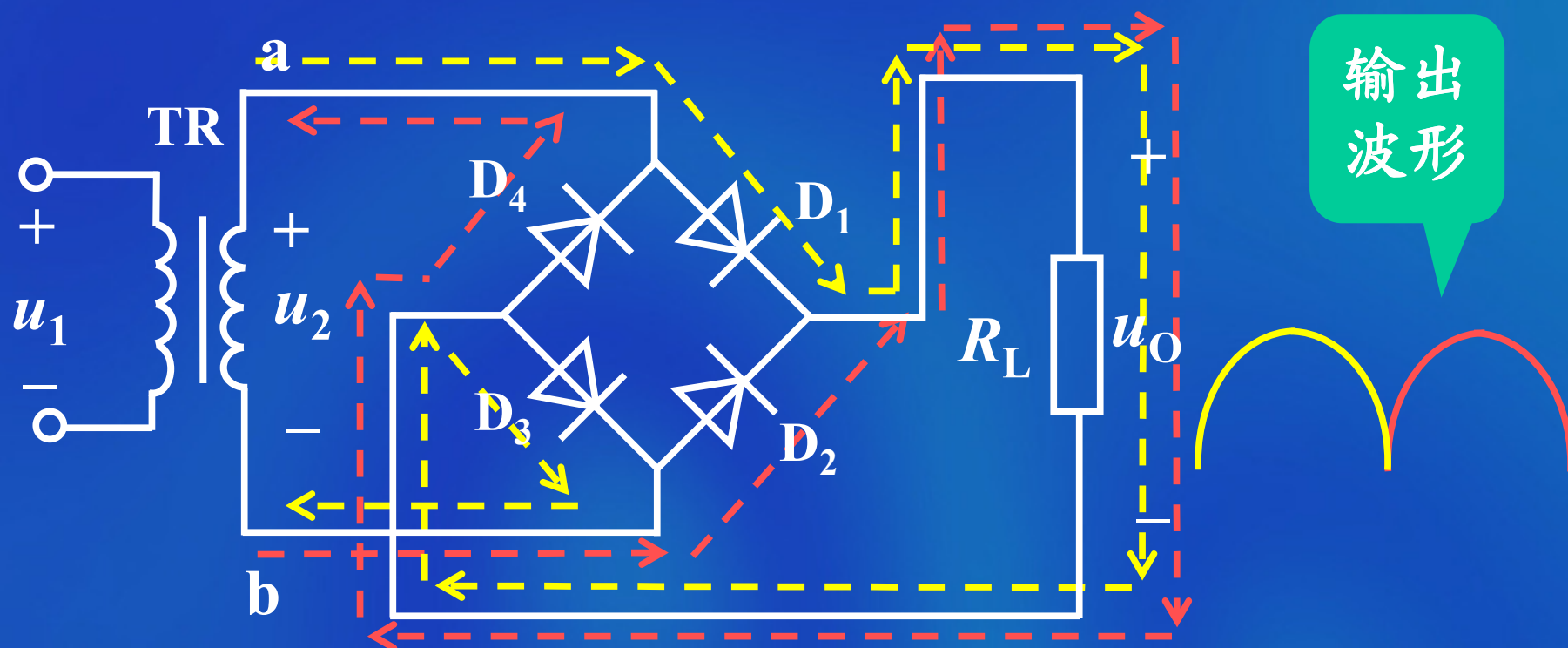
电流流动方向

输出
波形



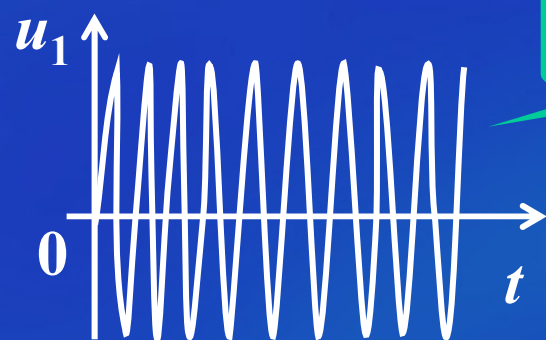
b. 当 $u_2 < 0$ 时

电流流动方向

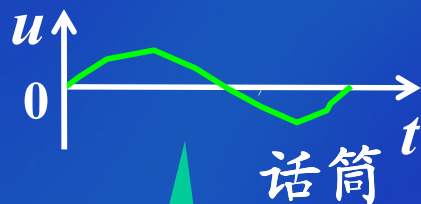


1.3.2 在检波电路中的应用（无线通讯）

调制的过程



高频信号



音频信号



音频放大器

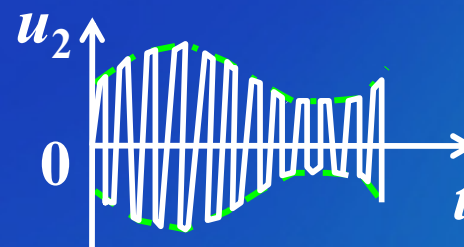
高频振荡器

u_1

调制器

u_2

发射器



载波信号

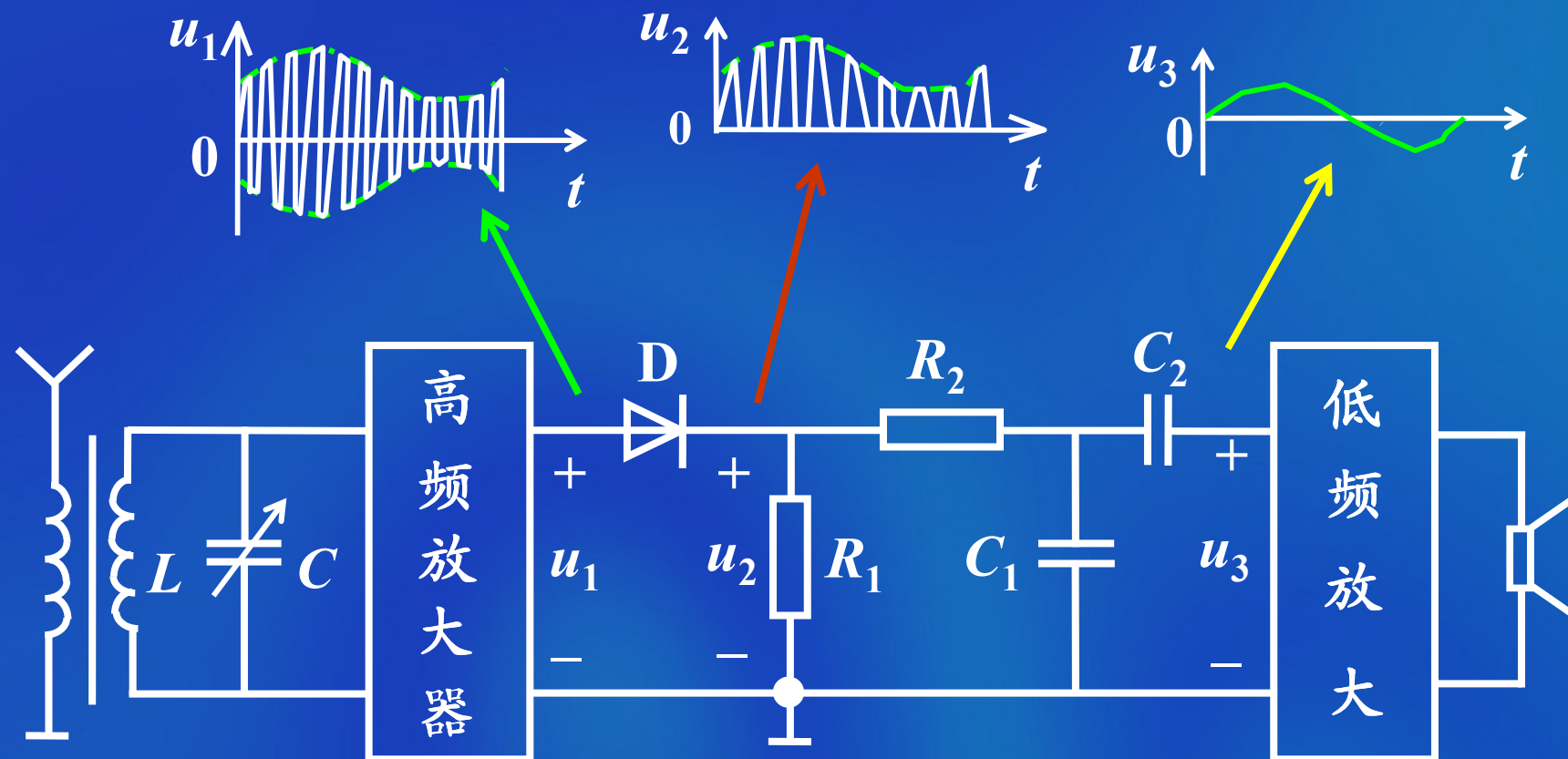
用音频信号去控制
高频信号的幅值

上页

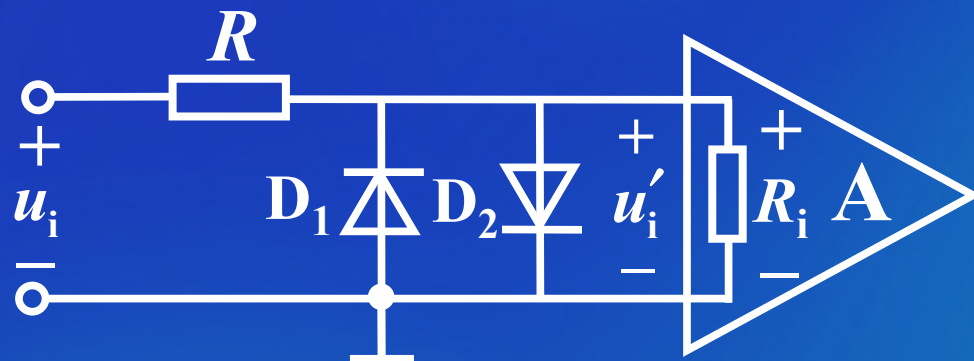
下页

后退

检波的过程



1.3.3 限幅电路



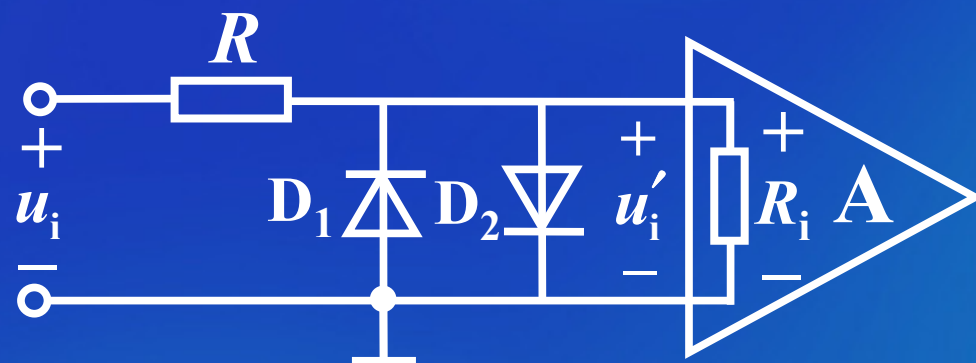
工作原理

a. 当 u_i 较小使二极管 D_1 、 D_2 截止时

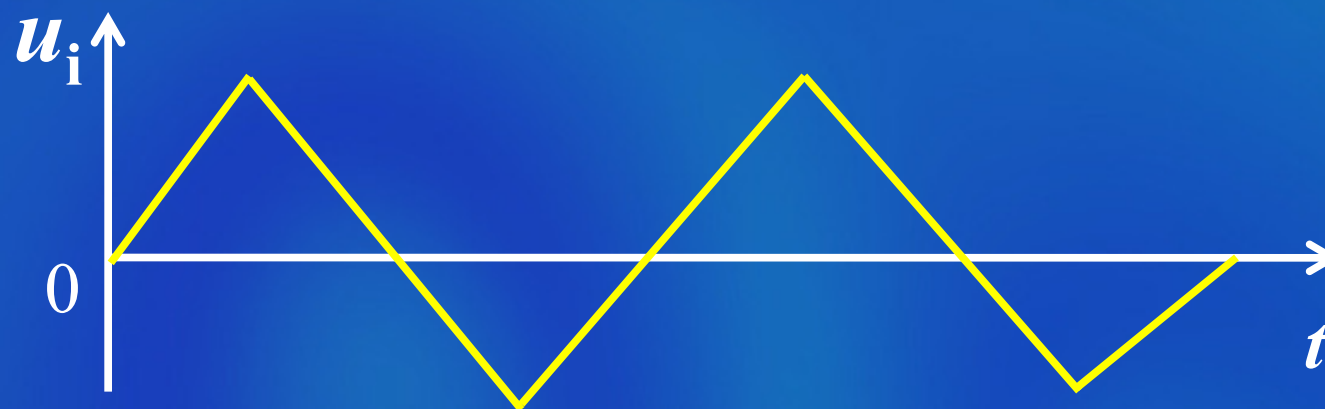
$$u'_i = \frac{R_i}{R_i + R} u_i \quad \text{电路正常放大}$$

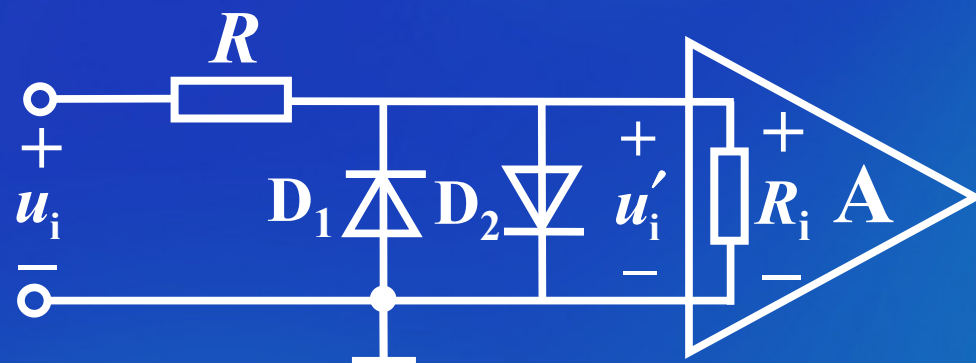
b. 当 u_i 使二极管 D_1 或 D_2 导通时

$$u'_i \approx U_F$$

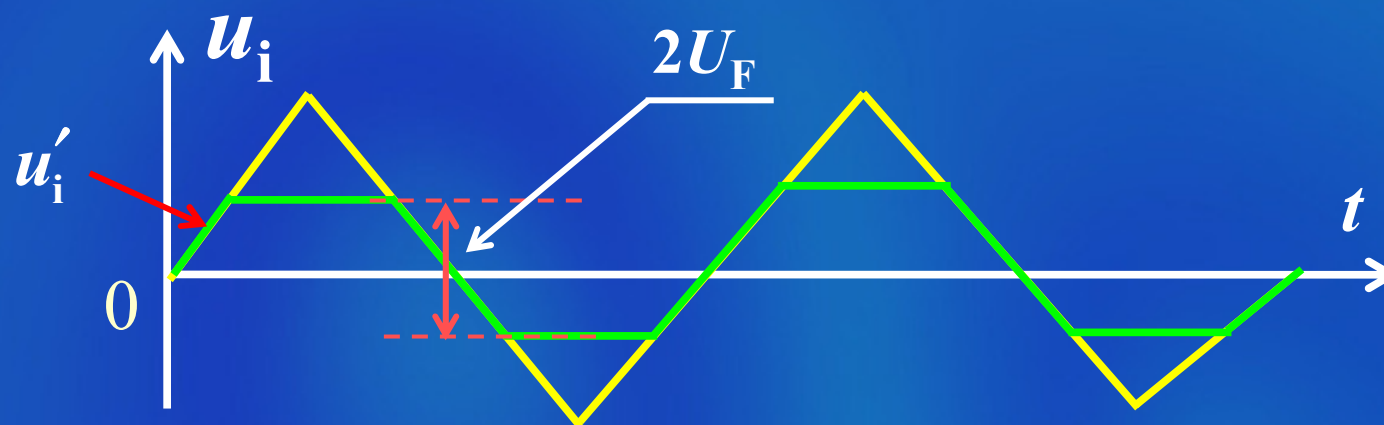


输入电压波形

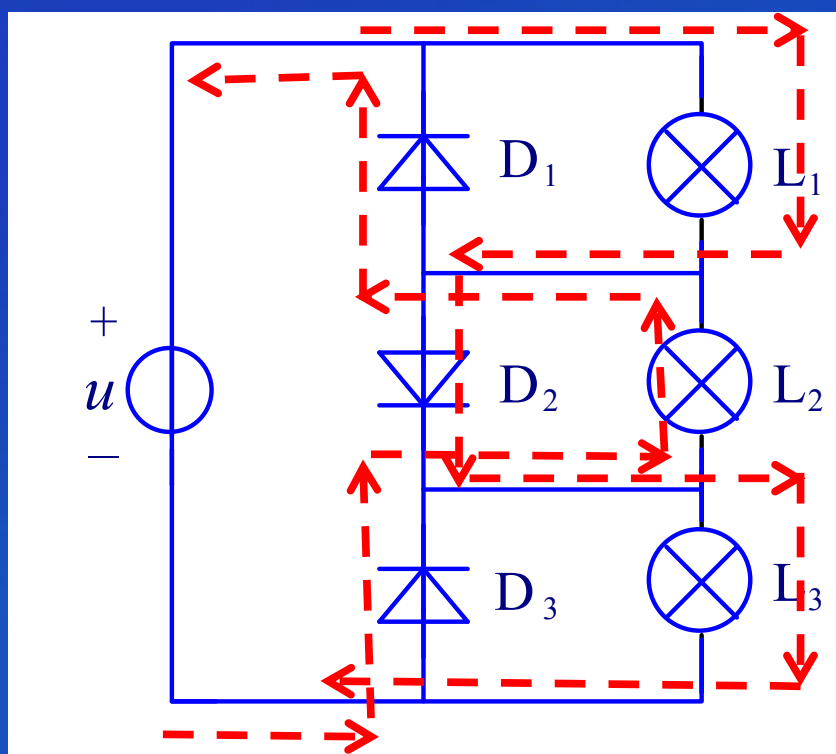




输入端电压波形



习题 1.1 在本题图所示的电路中，交流电源的电压 U 为220V，现有三只半导体二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 和三只220V、40W灯泡 L_1 、 L_2 、 L_3 接在该电源上。试问哪只（或哪些）灯泡发光最亮？哪只（或哪些）二极管承受的反向电压最大？

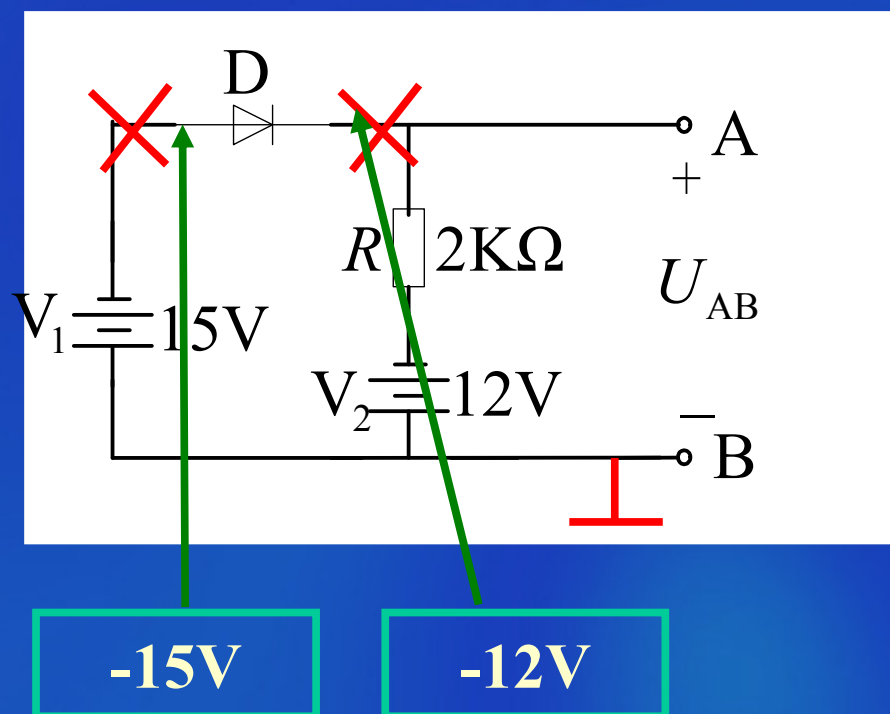


电压 U 为正半周时，
 D_1 与 D_3 截止， D_2 导通，过灯 L_1 与 L_3 亮

电压 U 为负半周时，
 D_1 与 D_3 导通， D_2 截止，灯 L_2 亮

灯 L_2 最亮，二极管 D_2
承受的反向电压最大

习题 1.7 设本题图所示各电路中的二极管性能均为理想。试判断各电路中的二极管是导通还是截止，并求出A、B两点之间的电压 U_{AB} 值。



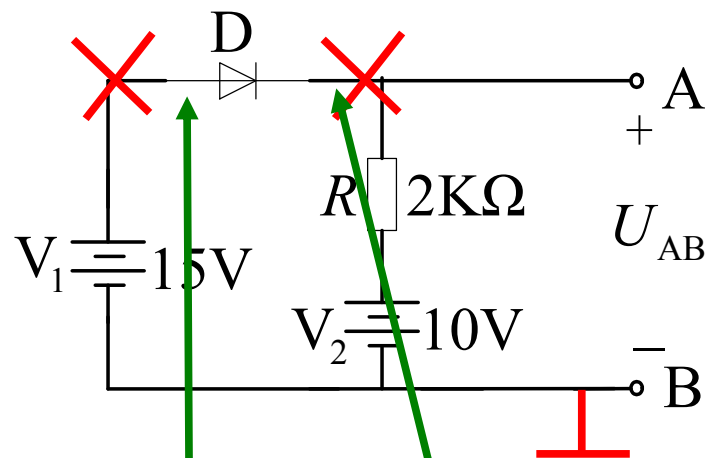
1. 断开二极管

2. B点接地

3. 判别二极管两端电位

D管截止

$$U_{AB} = -12V$$



15V

10V

1. 断开二极管

2. B点接地

3. 判别二极管两端电位

D管导通

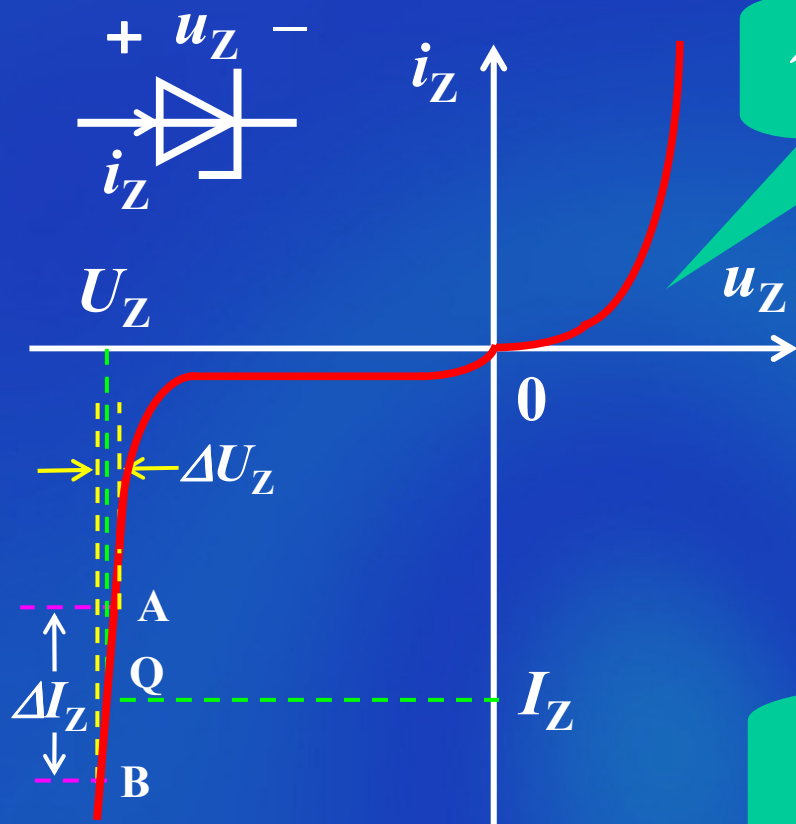
$$U_{AB}=15V$$

1.4 特种二极管

符号



1.4.1 硅稳压二极管



伏安特性

特点:

- a. 正向特性与普通管类似
- b. 反向击穿特性很陡

稳压管通常工作于反向电击穿状态用来稳定直流电压

上页

下页

后退

1. 硅稳压管的主要电参数

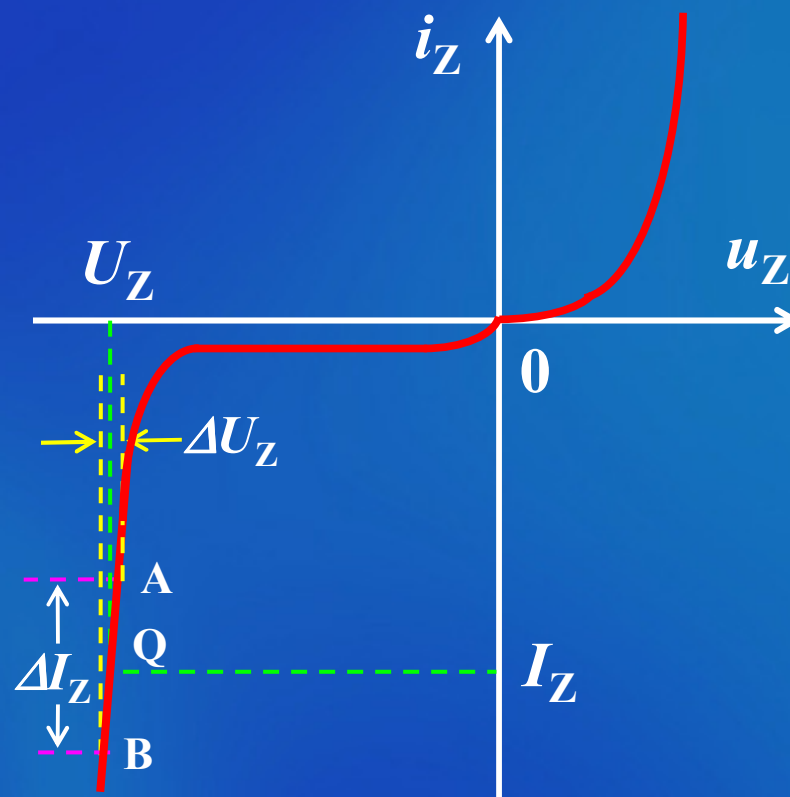
(1) 稳定电压 U_Z

(2) 动态电阻 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$

(3) 最大允许工作电流 I_{ZM}

(4) 最大允许功率耗散 P_{ZM}

(5) 温度系数 α_u



温度系数 α_u

定义： 温度每变化1°C时 U_Z 的相对变化率。即

$$\alpha_u = \frac{\frac{\Delta U_Z}{U_Z}}{\Delta T} \times 100 \%$$

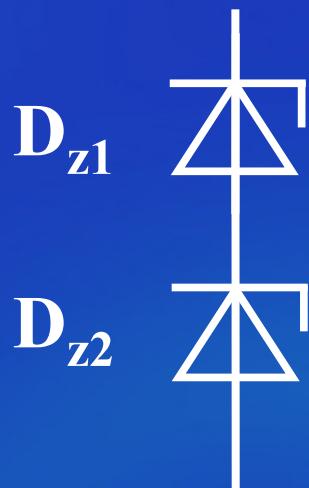
$U_Z > 6V$ 管子出现雪崩击穿， α_U 为正；

$U_Z < 4V$ 出现齐纳击穿， α_U 为负。

U_Z 介于4V到6V之间， α_U 可能为正，也可能为负。

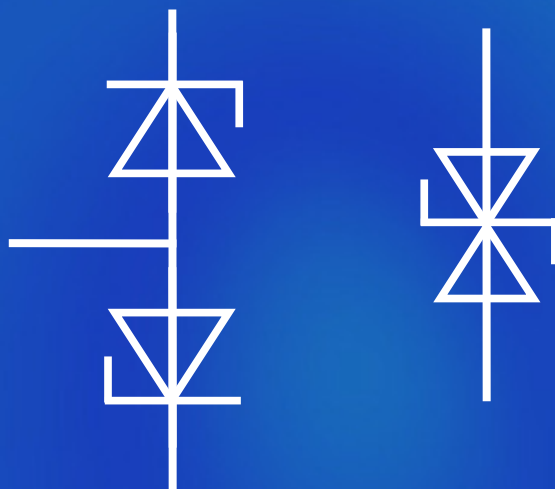
具有温度补偿的硅稳压管

(1)



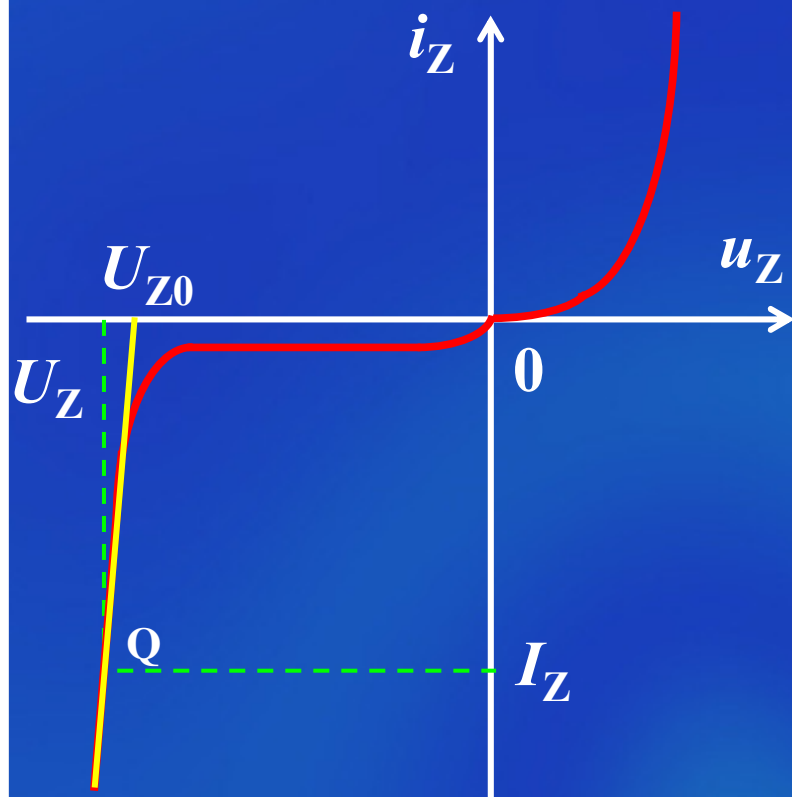
把一只 α_U 为正的管子与另一只 α_U 为负的管子串联

(2)



将两只 α_U 为正的稳压管串联

2. 硅稳压管的等效电路

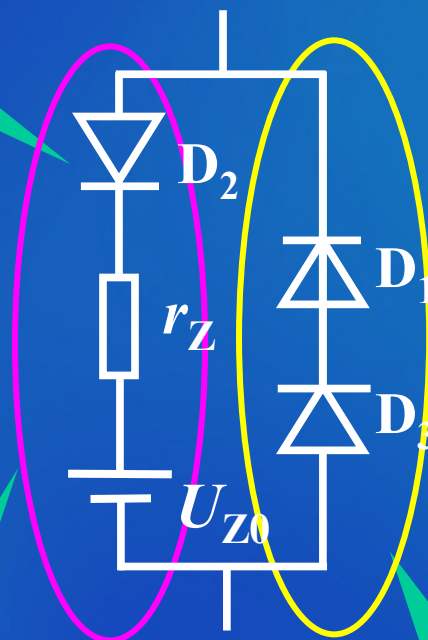


反向击穿时端电压表达式

$$U_Z = U_{Z0} + I_Z r_Z$$

理想二极管

等效电路



反向

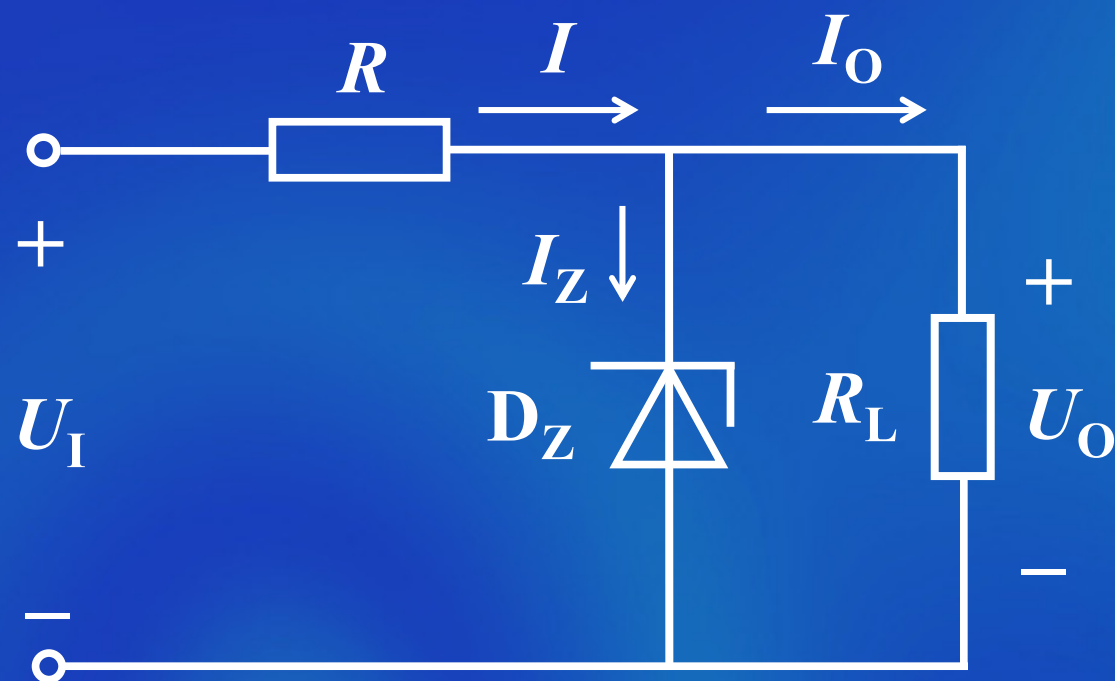
正向

上页

下页

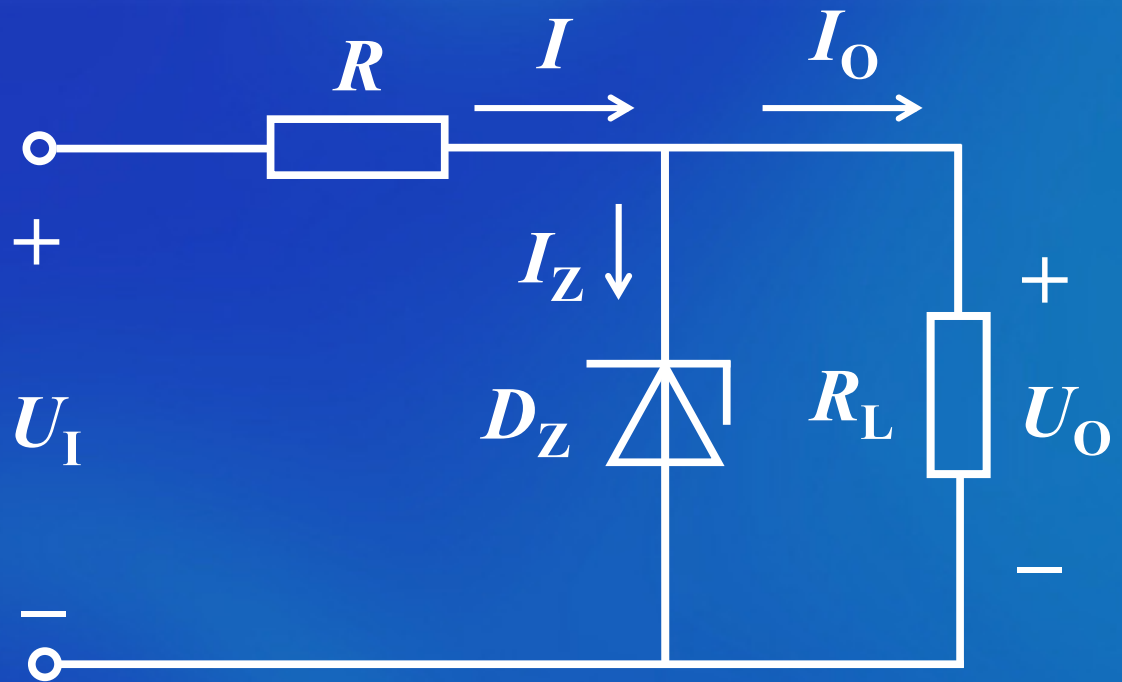
后退

3. 硅稳压管稳压电路

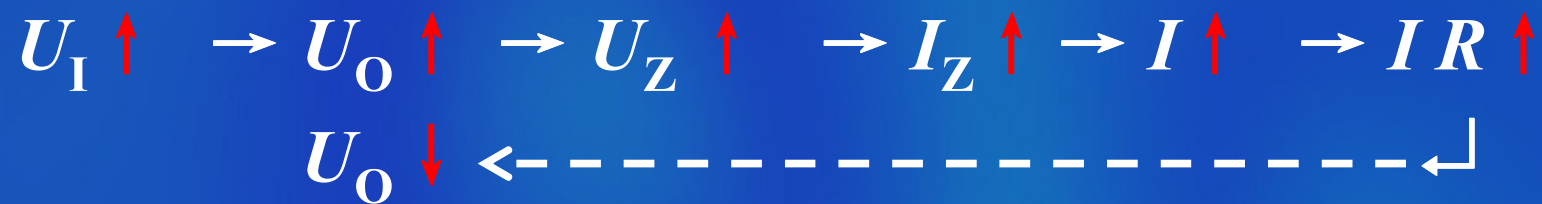


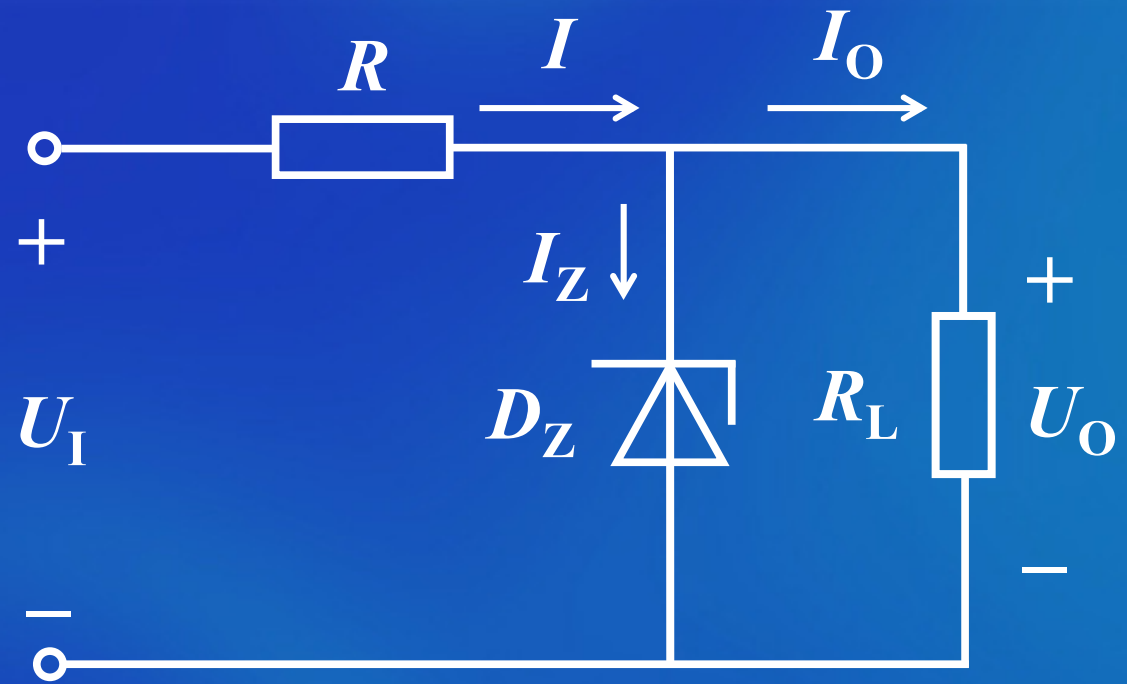
R ——限流电阻

(1) 稳压原理



a. U_I 不稳定

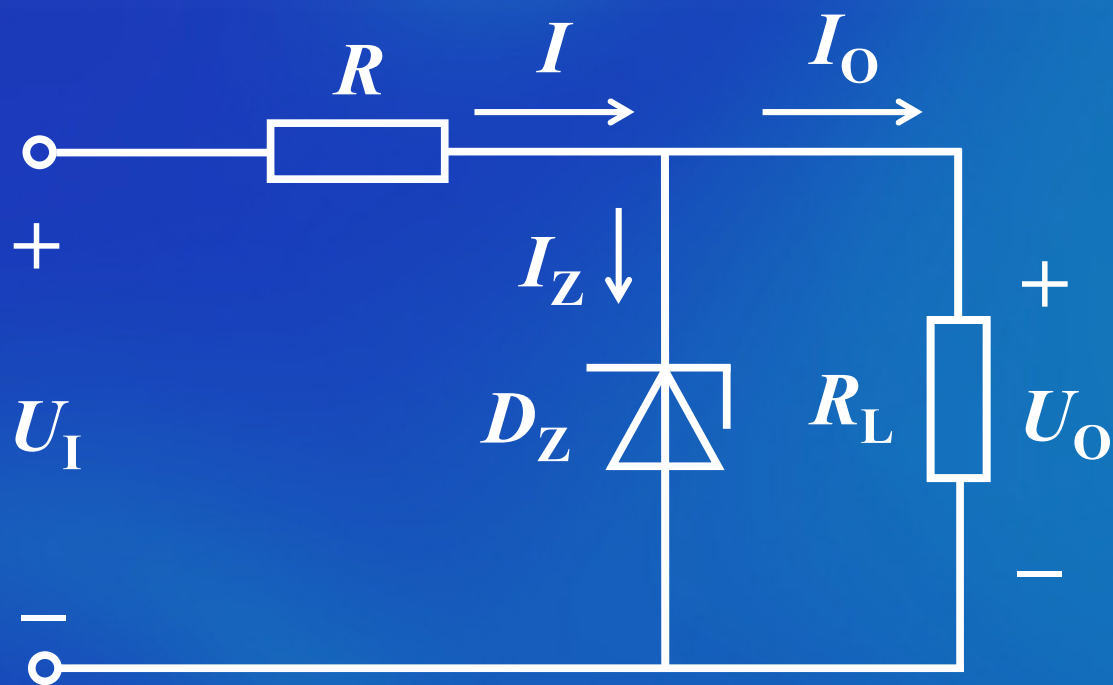




b. R_L 改变

$R_L \downarrow \rightarrow U_O \downarrow \rightarrow U_Z \downarrow \rightarrow I_Z \downarrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow IR \downarrow$
 $U_O \uparrow \leftarrow \text{-----} \leftarrow$

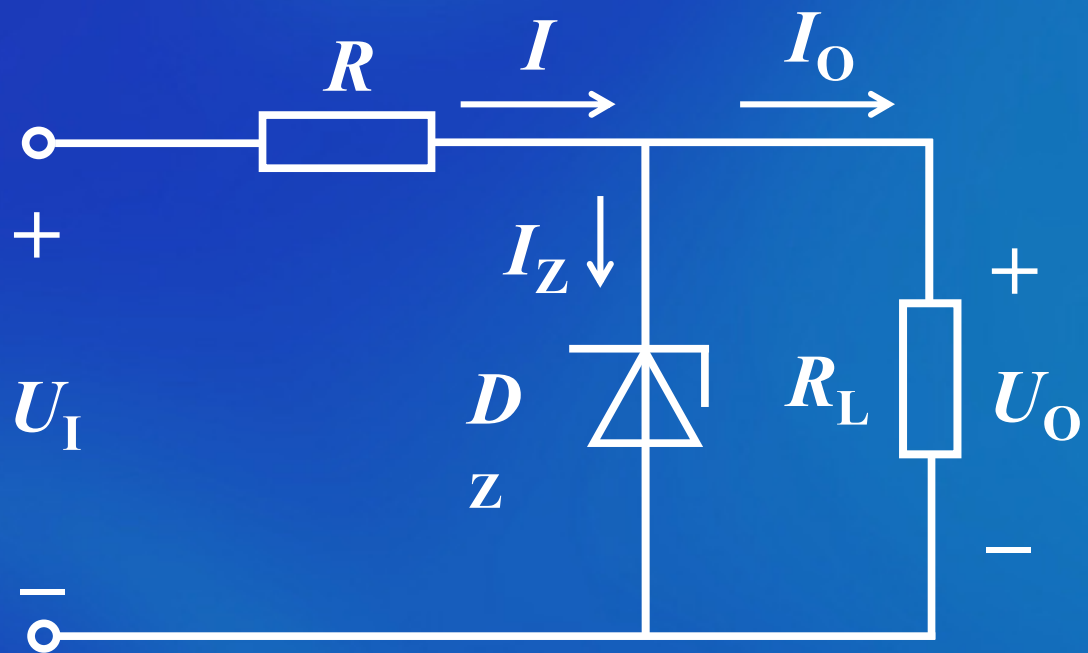
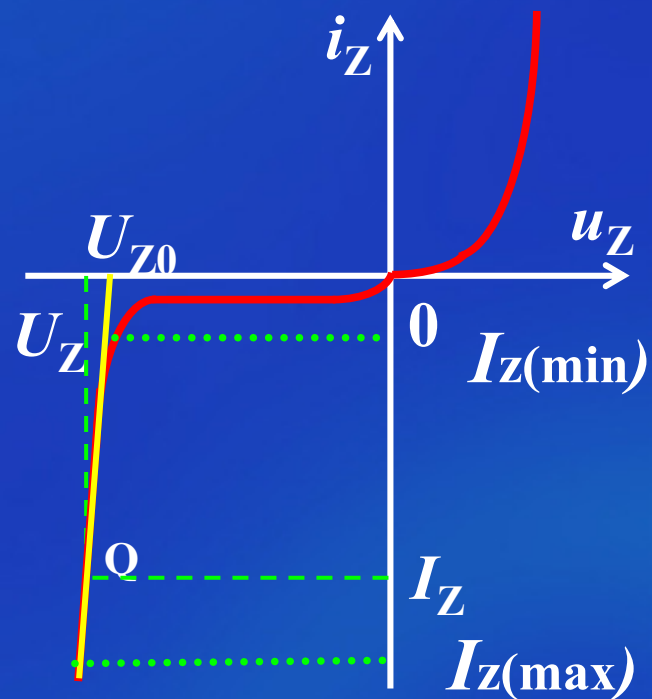
(2) 限流电阻计算



输出电压稳定的条件:

$$U_I \frac{R_L}{R + R_L} \geq U_Z$$

(保证稳压管被击穿)



保证稳压管可靠工作的条件:

$$I_{Z(\min)} \leq I_Z \leq I_{Z(\max)}$$

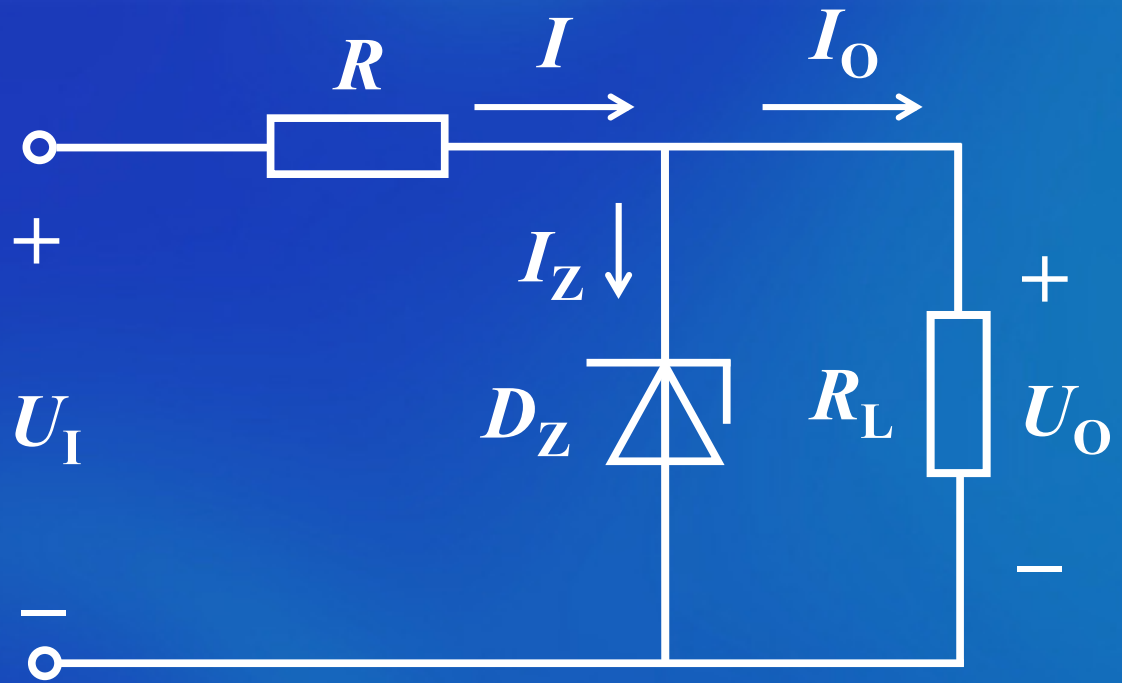
图中

$$U_O = U_Z$$

$$I_O = \frac{U_O}{R_L} = \frac{U_Z}{R_L}$$

$$I_Z = I - I_O$$

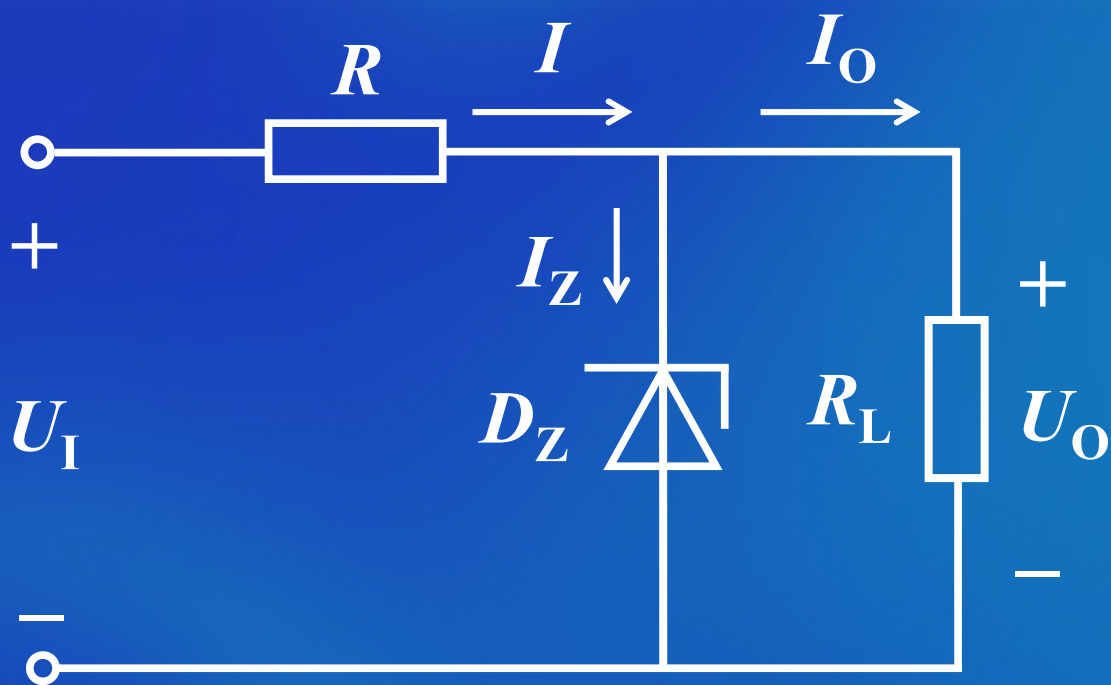
$$I = \frac{U_I - U_O}{R} = \frac{U_I - U_Z}{R}$$



由式

$$I = \frac{U_I - U_Z}{R}$$

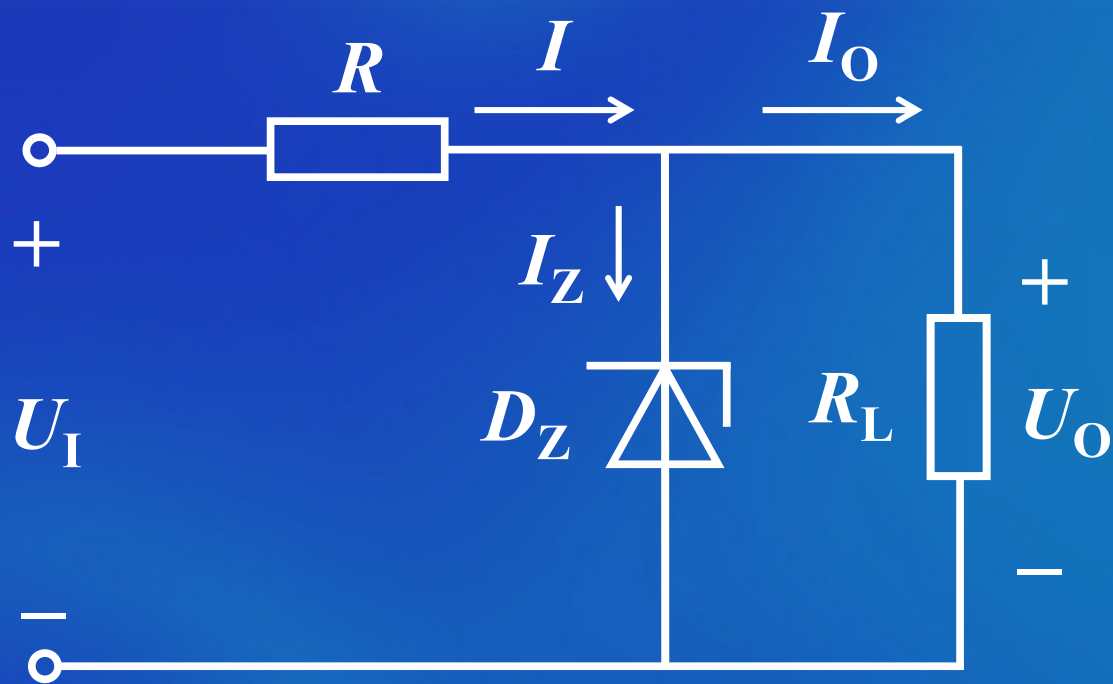
$$I_Z = I - I_O$$



知 当 U_I 为最大值 $U_{I(\max)}$ 时, I 值最大;

此时当 I_O 为最小值 $I_{O(\min)}$ 时, I_Z 值最大。

为保证管子安全工作应使



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

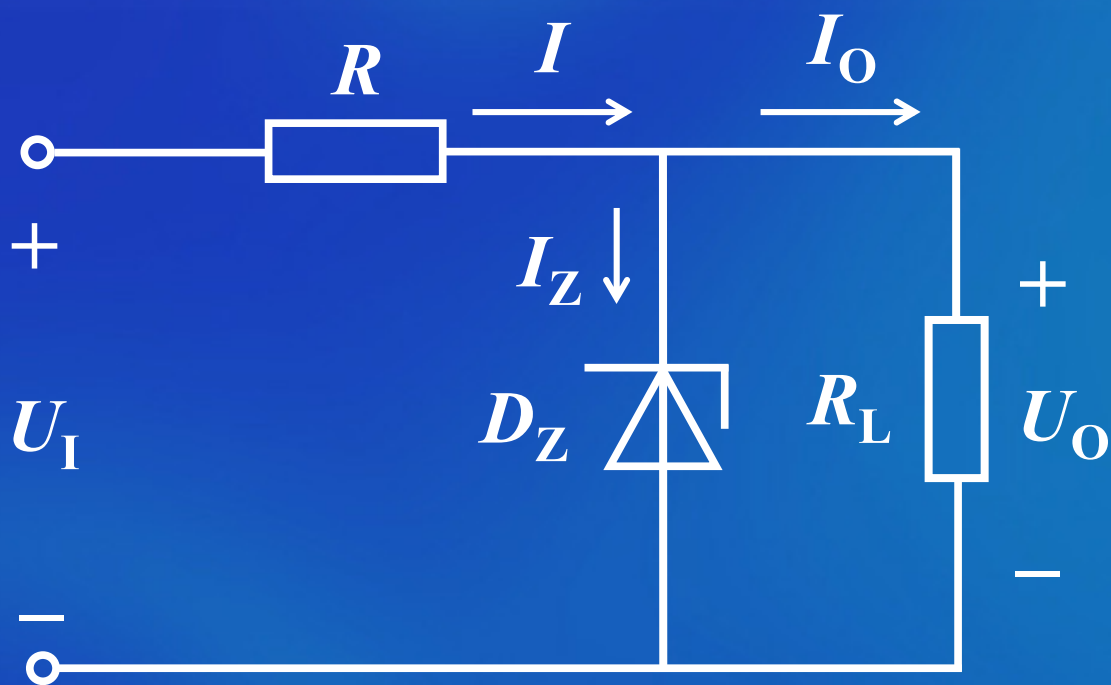
由此可得

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

由式

$$I = \frac{U_I - U_Z}{R}$$

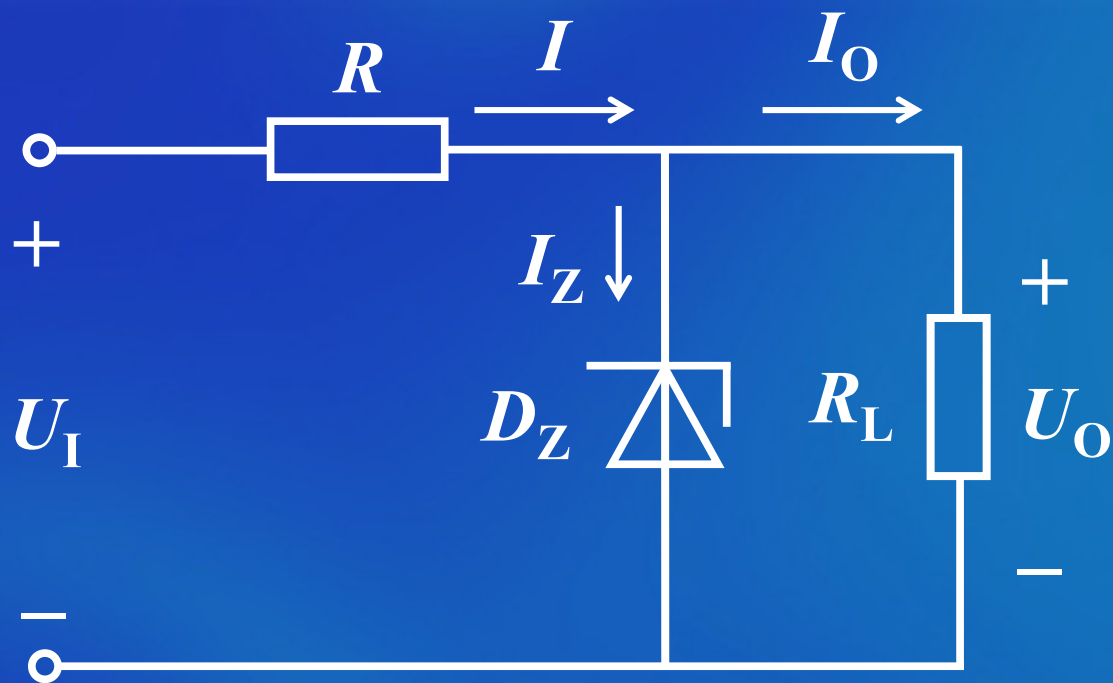
$$I_Z = I - I_O$$



知 当 U_I 为最小值 $U_{I(\min)}$ 时, I 值最小;

此时当 I_O 为最大值 $I_{O(\max)}$ 时, I_Z 值最小。

为保证电路可靠工作应使



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

由此可得

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

由式

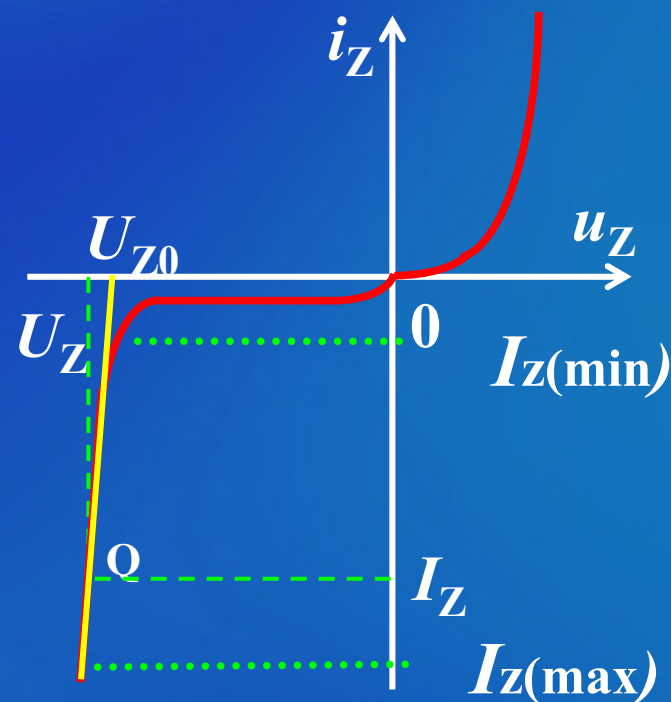
$$R \geq \frac{U_{I(\max)} - U_Z}{I_{O(\min)} + I_{ZM}}$$

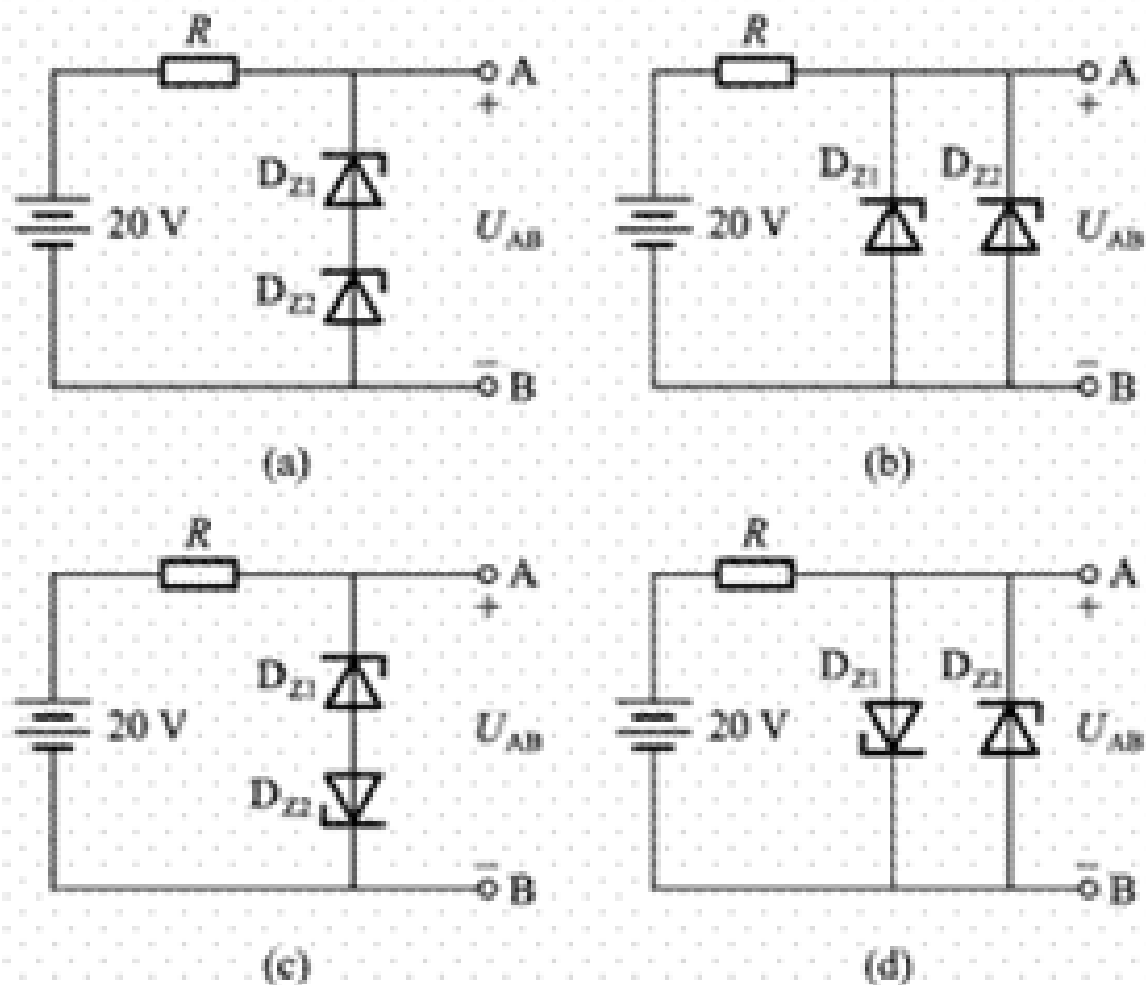
及

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

得

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





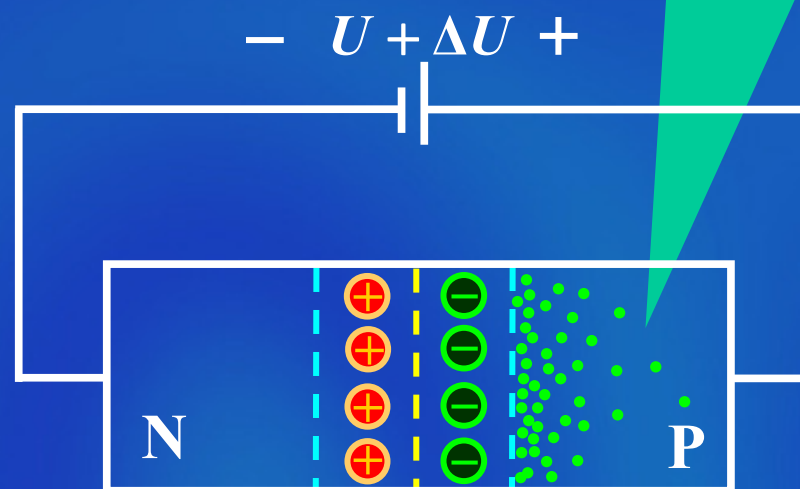
题 1.12 图

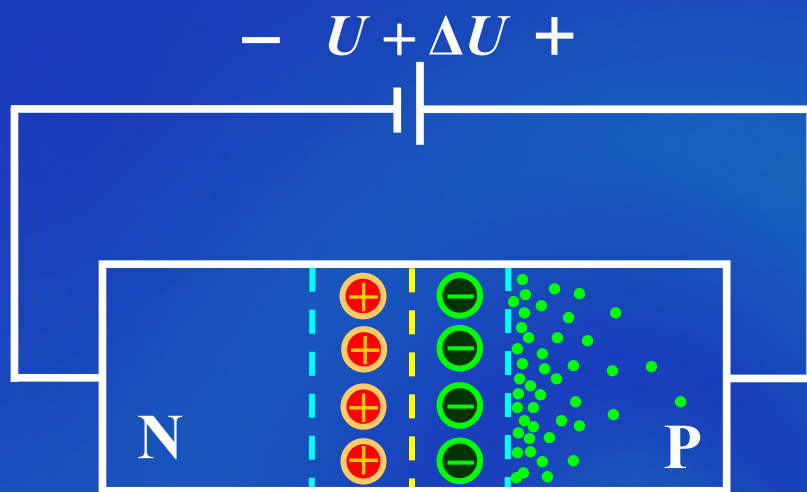
1.12 电路如本题图所示。其中限流电阻 $R=2\text{k}\Omega$ ，硅稳压管 D_{z1} 、 D_{z2} 的稳定电压 U_{z1} 、 U_{z2} 分别为 6V 和 8V ，正向压降为 0.7V ，动态电阻可以忽略。试求各电路输出端 A、B 两端之间电压 U_{AB} 的值。

1.4.2 变容二极管

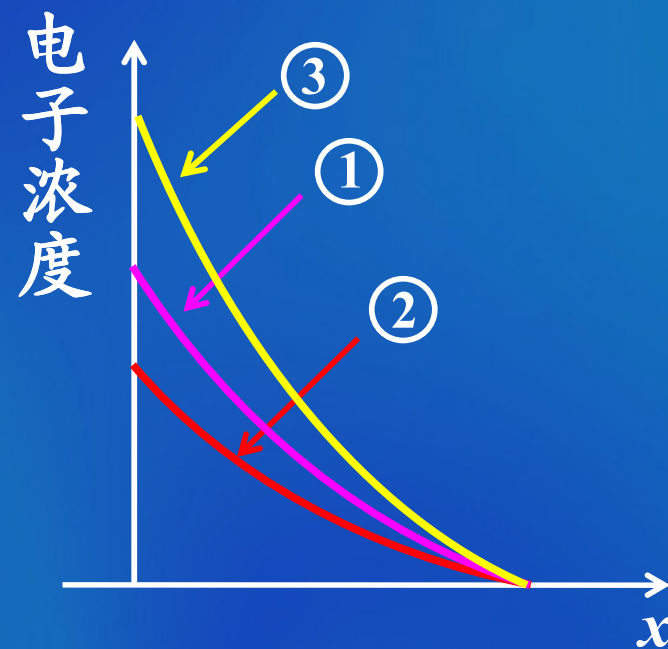
1. PN结的电容效应

(1) 扩散电容 C_D

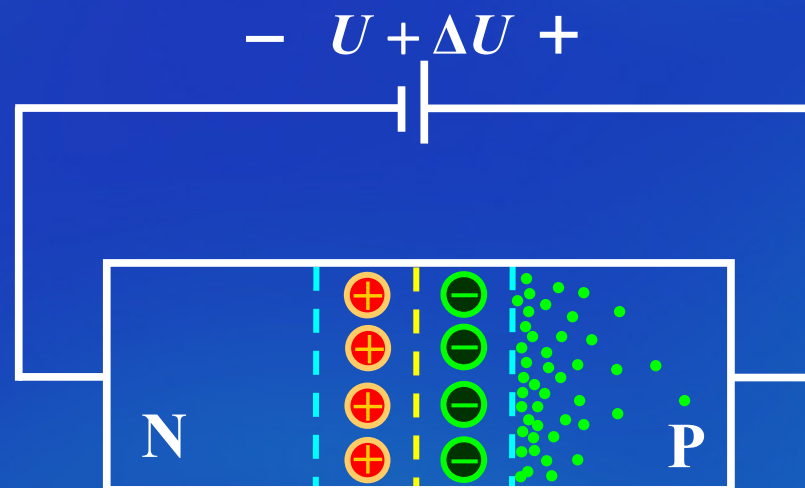




ΔU 变化时，P区
积累的非平衡少
子浓度分布图



① $\Delta U = 0$ ② $\Delta U < 0$ ③ $\Delta U > 0$

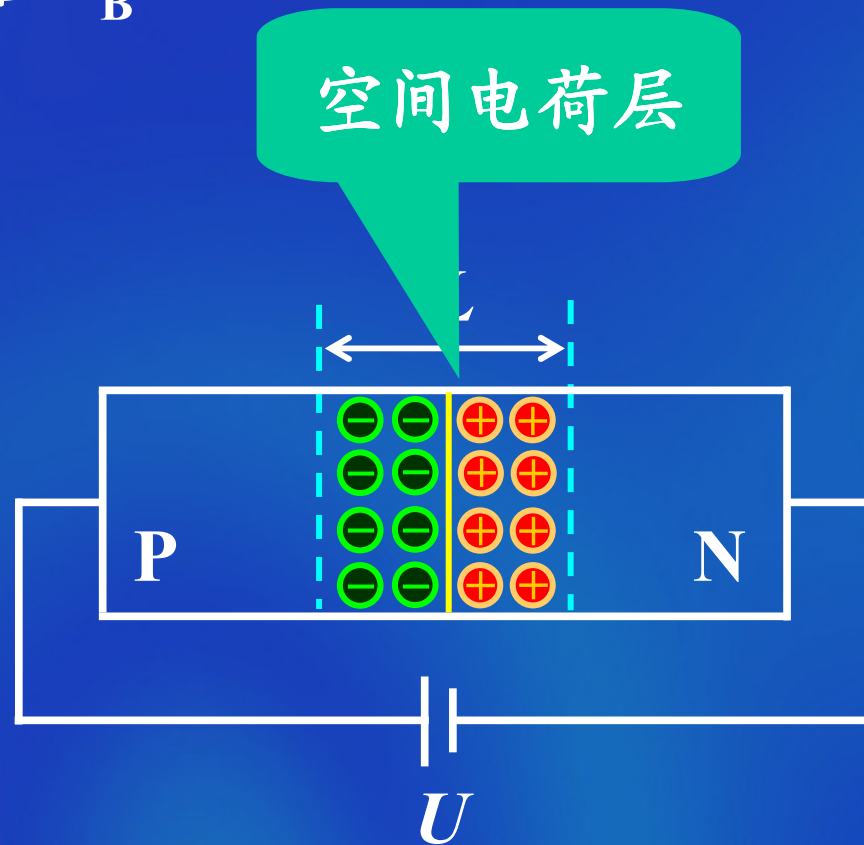


PN结正向偏置电压越高，积累的非平衡少子越多。

这种电容效应用扩散电容 C_D 表征。

$$C_D = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$$

(2) 势垒电容 C_B

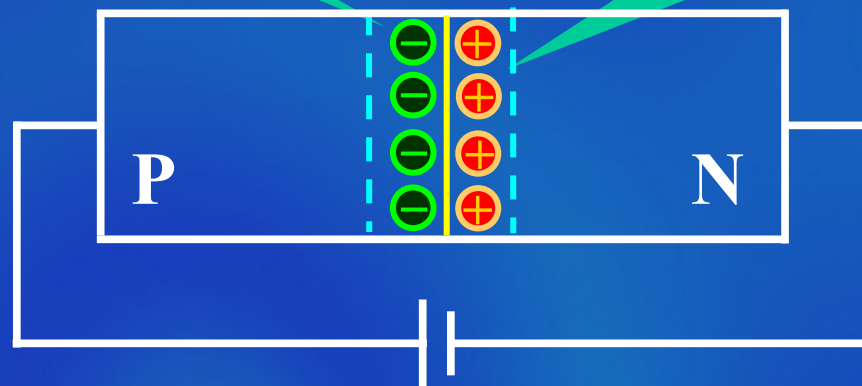


a. 当PN结正向偏置电压升高时

PN结变窄

$L - \Delta L$

空间电荷层中的电荷量减少



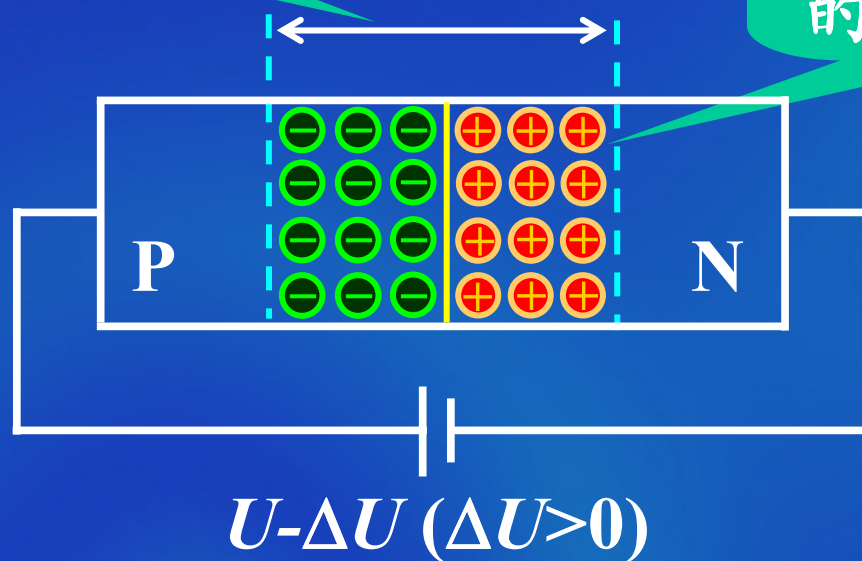
$U + \Delta U$ ($\Delta U > 0$)

b. 当PN结正向偏置电压降低时

PN结变宽

$L + \Delta L$

空间电荷层中的电荷量增大



PN结的偏置电压能使空间电荷层中电荷量发生变化。
这种电容效应用势垒电容 C_B 表征。

小结:

PN结的结电容 C_j

$$C_j = C_D + C_B$$

当PN结反偏时: $C_B \gg C_D$ $C_j \approx C_B$

当PN结正偏时: $C_D \gg C_B$ $C_j \approx C_D$

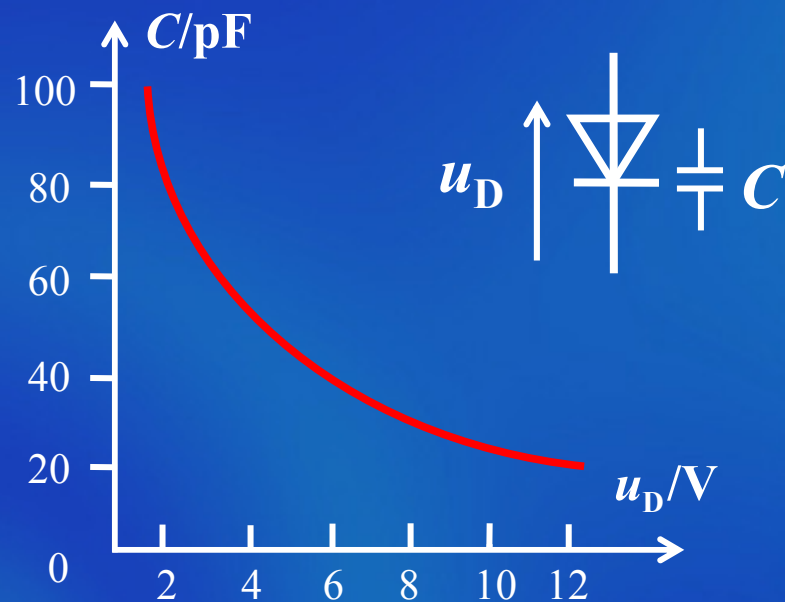
变容二极管的特点:

- a. 当二极管反向偏置时, 因反向电阻为很大, 可作电容使用。
- b. 电容量与所加的反向偏置电压的大小有关。

变容二极管的符号及 $C-U$ 特性曲线

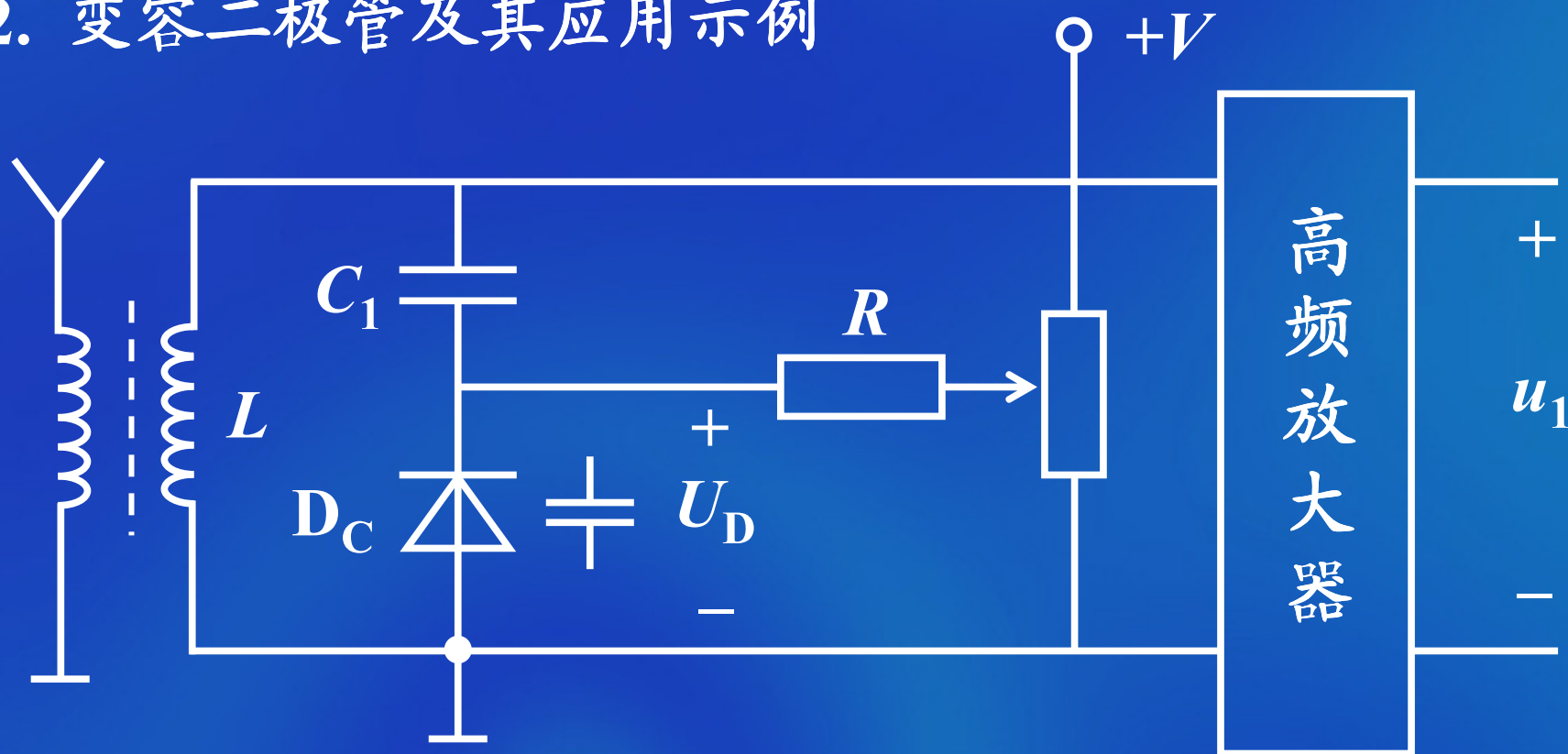


符号



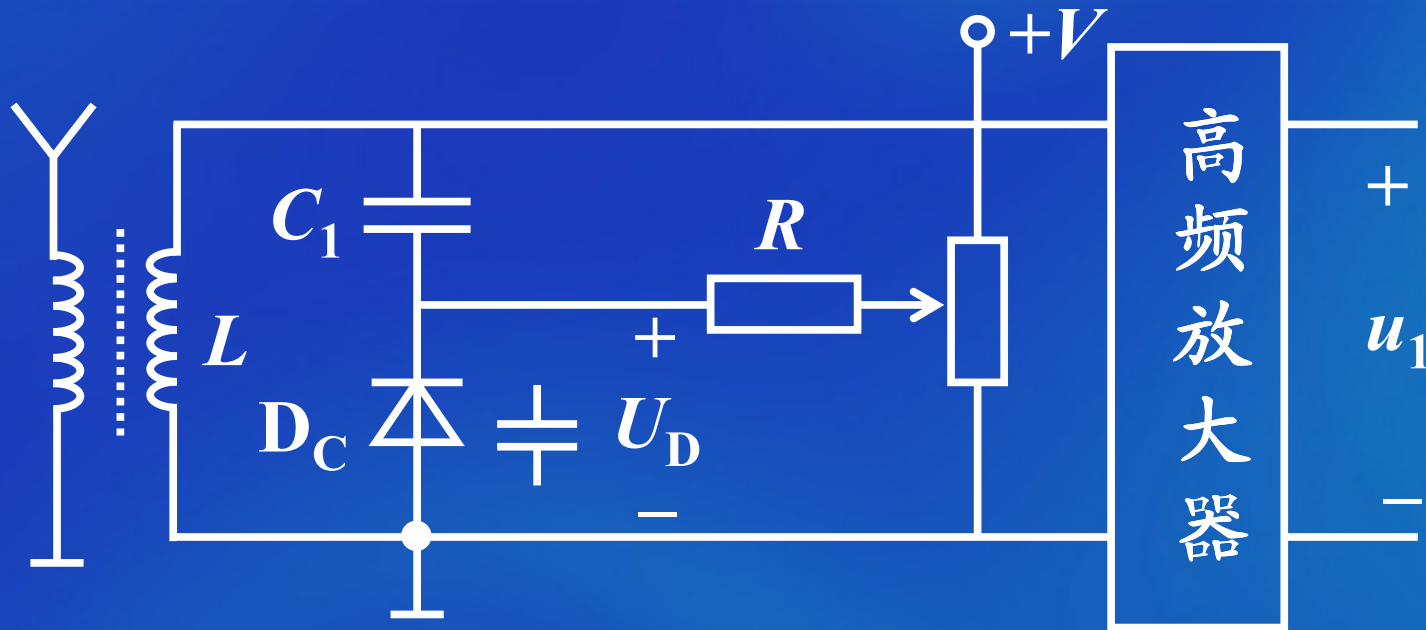
$C-U$ 特性曲线

2. 变容二极管及其应用示例



谐振频率: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

式中 $C = \frac{C_1 C_j}{C_1 + C_j}$



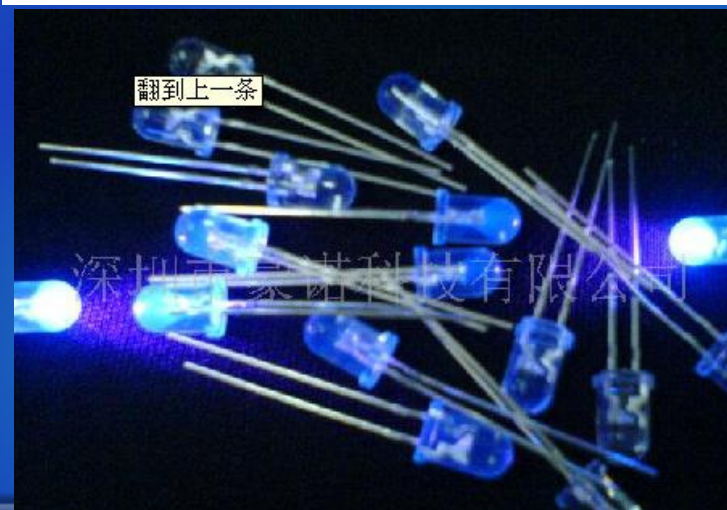
由于 $C_1 \gg C_j$

故谐振频率

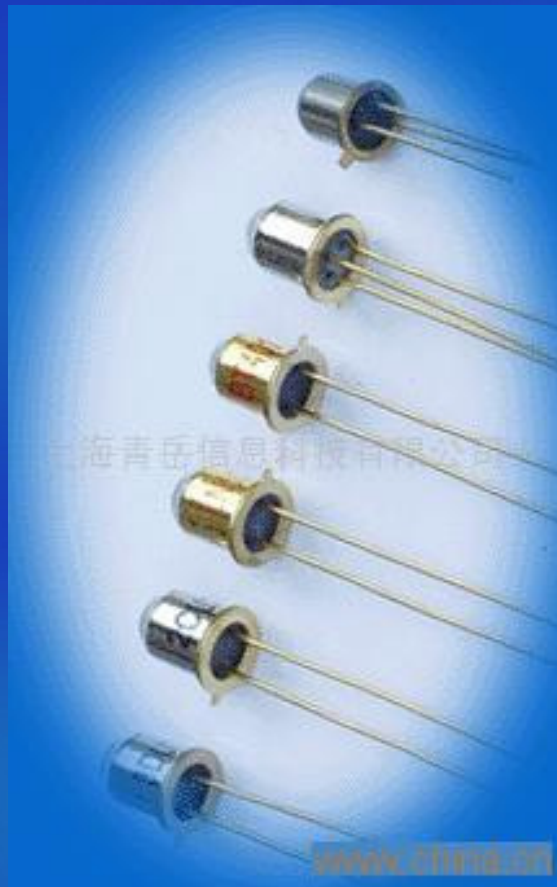
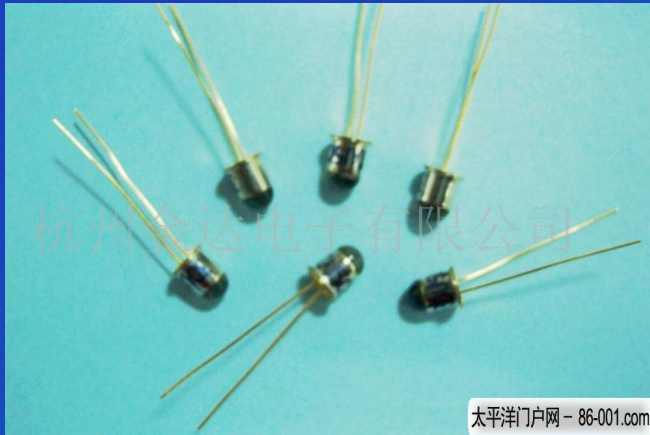
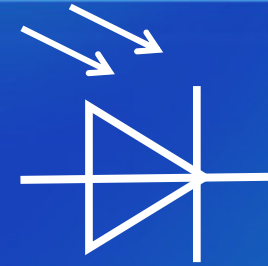
$$C = \frac{C_1 C_j}{C_1 + C_j} \approx C_j$$

$$f \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_j}}$$

其它特种二极管： 发光二极管



其它特种二极管： 光敏二极管



OLED

有机发光二极管 (Organic Light-Emitting Diode)

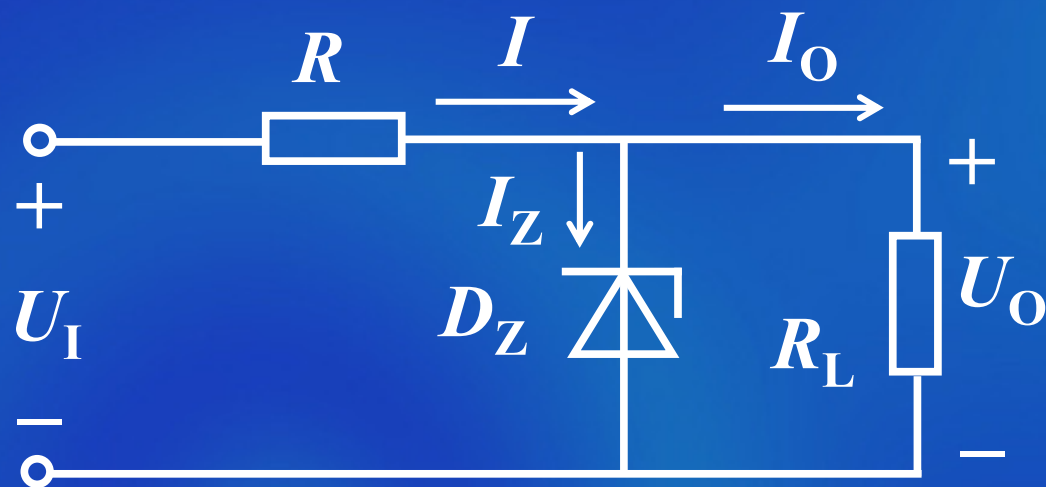
- OLED 显示技术与传统的LCD显示方式不同，无需背光灯，采用非常薄的有机材料涂层和玻璃基板，当有电流通过时，这些有机材料就会发光。而且OLED显示屏幕可以做得更轻更薄，可视角度更大，并且能够显著节省电能。

OLCD



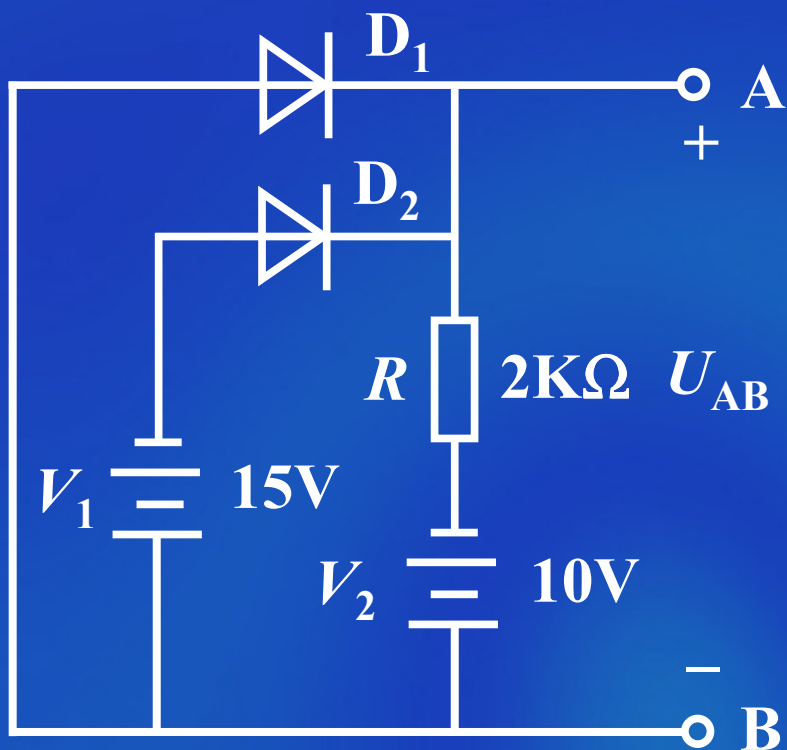
思考题

1. 稳压管可以稳压的条件是什么？
2. 稳压管稳压电路的特点是什么？

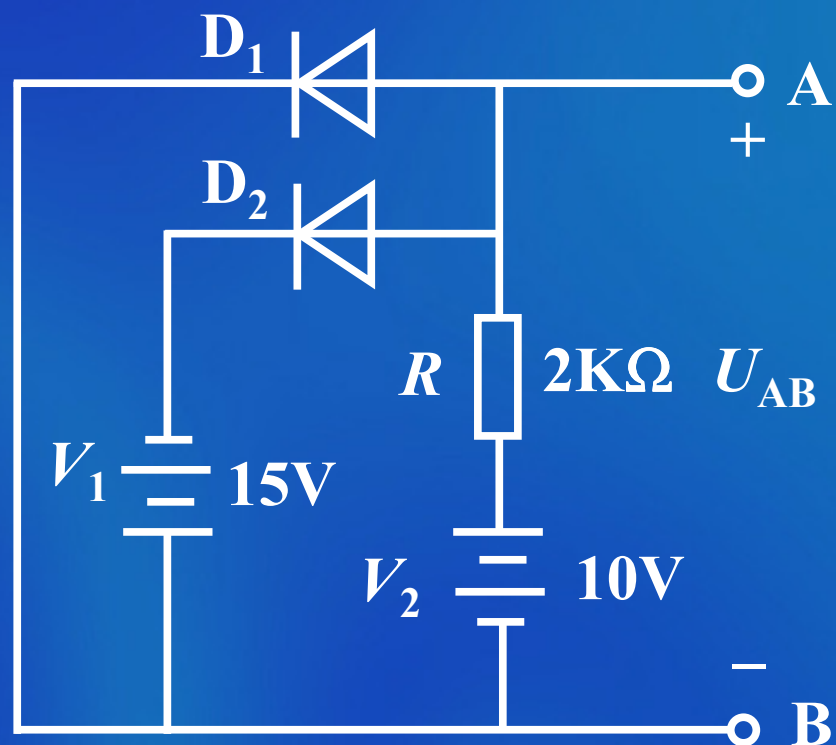


3. 稳压管稳压电路中限流电阻的大小对电路的性能有何影响么？

例1 设图示电路中的二极管性能均为理想。试判断各电路中的二极管是导通还是截止，并求出A、B两点之间的电压 U_{AB} 值。



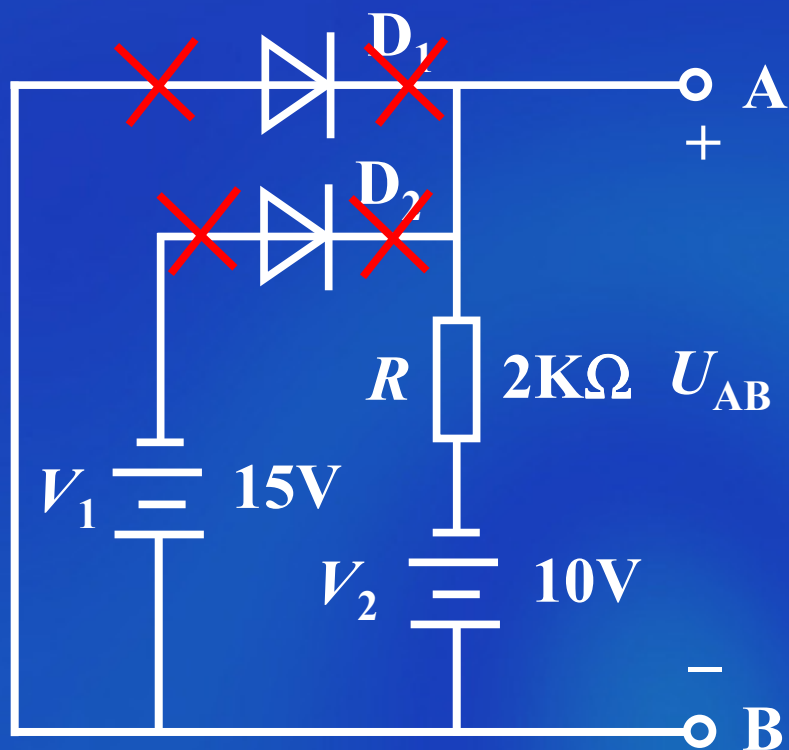
(a)



(b)

解：判断电路中二极管导通的方法：

假定电路即将导通，电路中的电流为零，判断电路中各二极管上的压降。压降高的管子优先导通。



(a)

对于图 a，在电路即将导通时， D_1 、 D_2 上的正偏电压分别为 10V，-5V。

D_1 导通

$$U_{AB} = 0V$$

D_2 反偏电压为 5V

D_2 截止

对于图 b, 在电路即将导通时,

D_1 、 D_2 上的正偏电压分别为:

10V, 25V

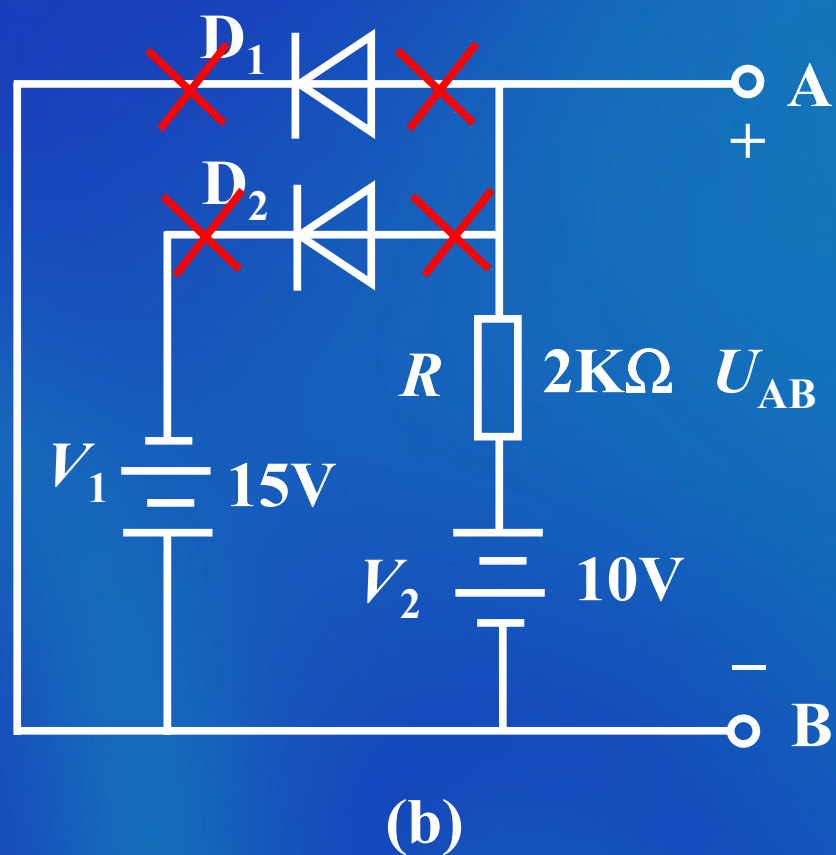
D_2 优先导通

D_2 优先导通后

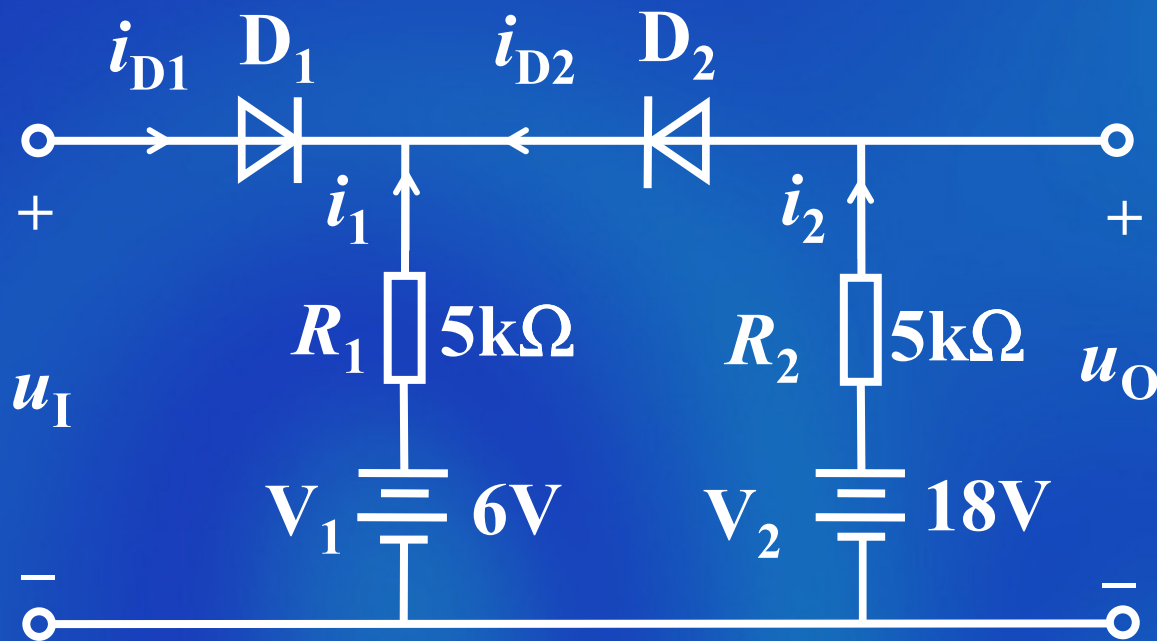
$U_{AB} = -15V$

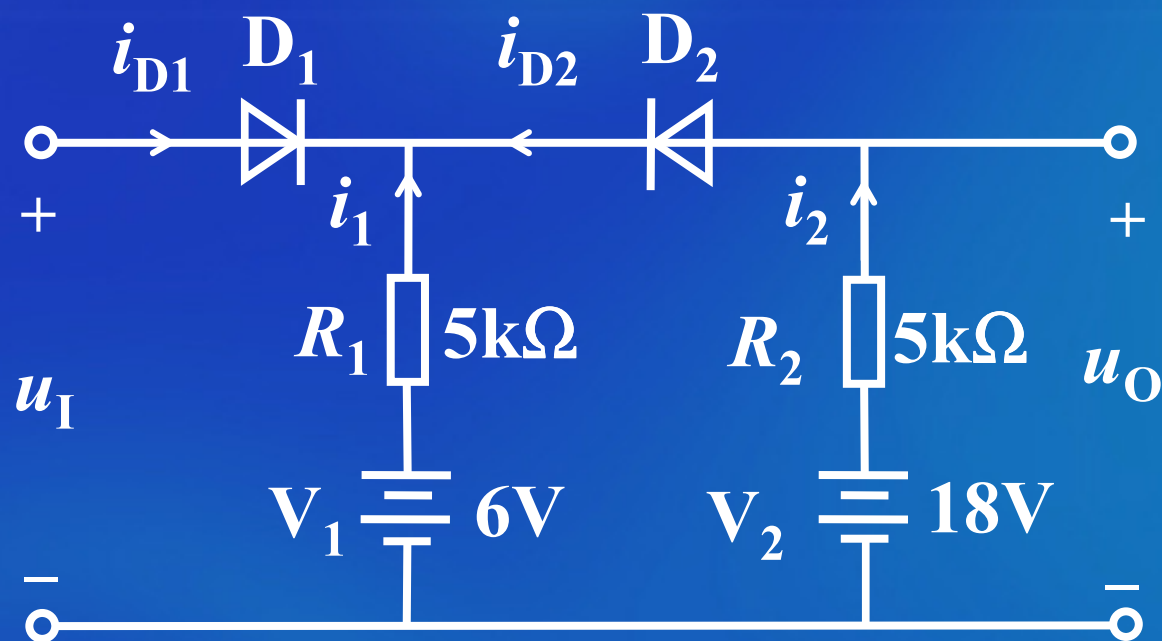
即 D_1 上的反偏电压为15V

D_1 截止



例2. 电路如图所示。设 D_1 、 D_2 的性能均理想，输入电压 u_I 的变化范围为0~30V。画出电路的传输特性曲线。





解：当 D_1 、 D_2 均导通时

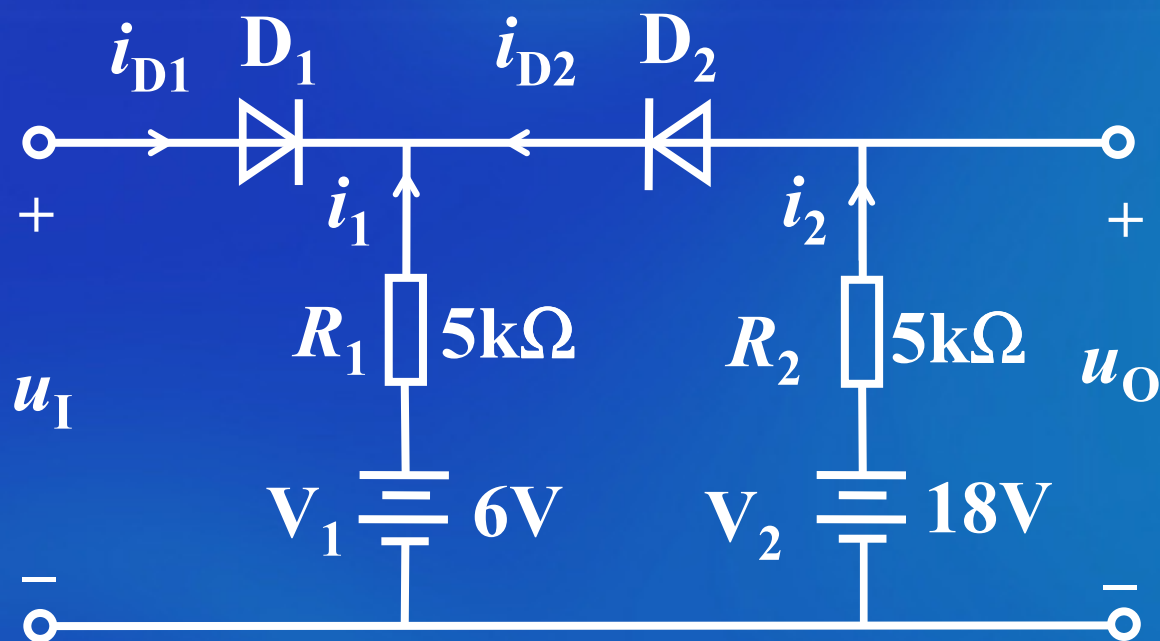
$$i_{D2} = i_2 = \frac{V_2 - u_I}{R_2}$$

$$i_{D1} = -(i_1 + i_{D2}) = -\left(\frac{V_1 - u_I}{R_1} + \frac{V_2 - u_I}{R_2}\right)$$

代入有关数据得

$$i_{D1} = \frac{2u_I - 24}{5}$$

$$i_{D2} = \frac{18 - u_I}{5}$$



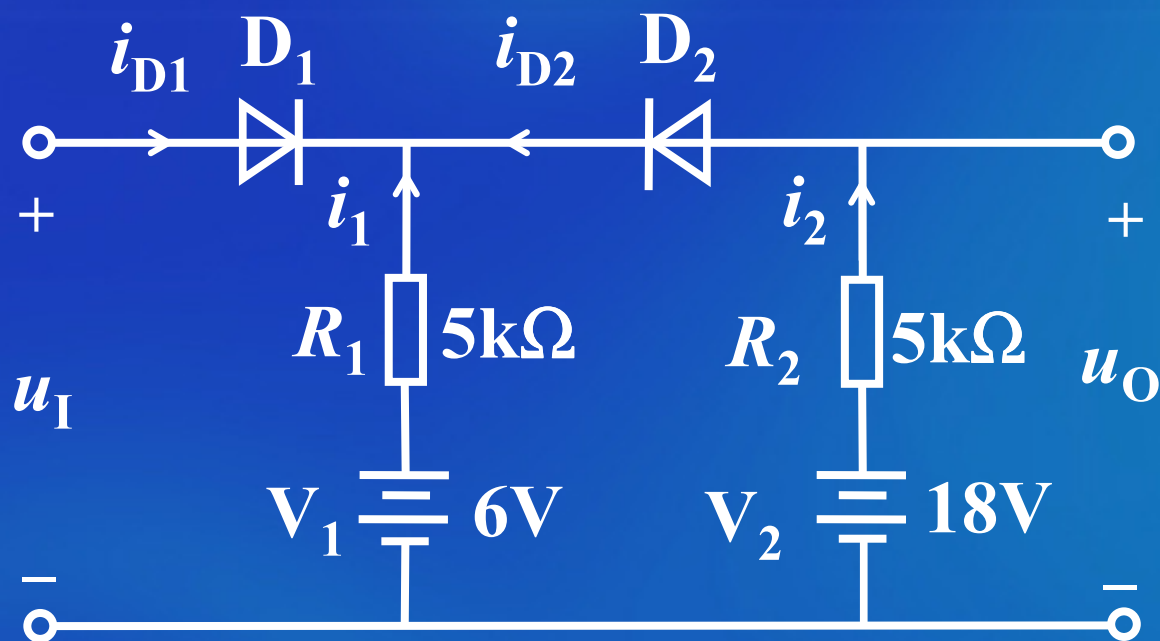
可见:

D_1 导通的条件是 $u_I > 12V$

D_2 导通的条件是 $u_I < 18V$

$$i_{D1} = \frac{2u_I - 24}{5}$$

$$i_{D2} = \frac{18 - u_I}{5}$$



故 当 $u_I \leq 12V$ 时, D_1 截止、 D_2 导通。 $u_O = 6 + \frac{18-6}{5+5} \times 5 = 12V$

当 $12V < u_I \leq 18V$ 时, D_1 、 D_2 均导通, $u_O = u_I$

当 $u_I > 18V$ 时, D_1 导通、 D_2 截止, $u_O = 18V$

$u_o \sim u_i$ 关系曲线

