

# 3 二极管及其基本电路

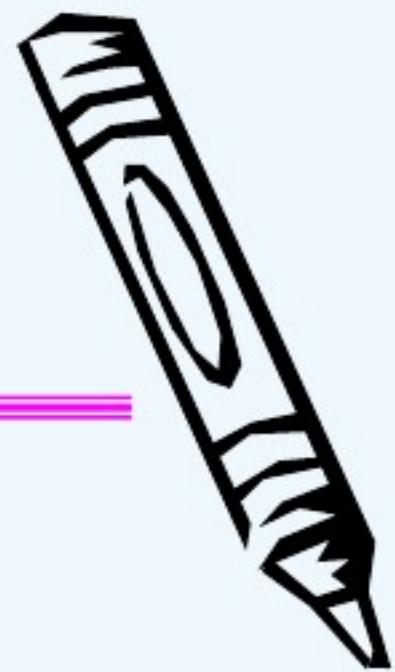


- 3.1 半导体的基本知识
- 3.2 PN结的形成及特性
- 3.3 半导体二极管
- 3.4 二极管基本电路及其分析方法
- 3.5 特殊二极管



# 3.1 半导体的基本知识

---



3.1.1 半导体材料

3.1.2 半导体的共价键结构

3.1.3 本征半导体

3.1.4 杂质半导体



## 3.1.1 半导体材料

---



根据物体导电能力(电阻率)的不同，来划分导体、绝缘体和半导体。

1. 导体：容易导电的物体。如：铁、铜等
2. 绝缘体：几乎不导电的物体。  
如：橡胶等



半导体是导电性能介于导体和绝缘体之间的物体。在一定条件下可导电。

典型的半导体有硅Si和锗Ge以及砷化镓GaAs等。

半导体特点：

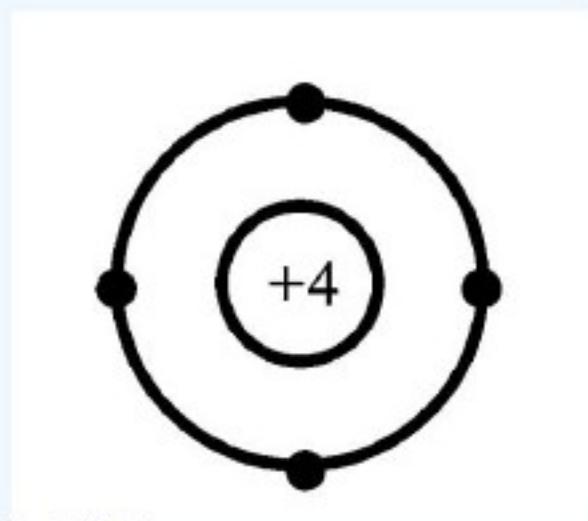
- 1) 在外界能源的作用下，导电性能显著变化。光敏元件、热敏元件属于此类。
- 2) 在纯净半导体内掺入杂质，导电性能显著增加。二极管、三极管属于此类。



### 3.1.3 本征半导体

**1. 本征半导体**——化学成分纯净的半导体。制造半导体器件的半导体材料的纯度要达到99.99999999%，常称为“九个9”。它在物理结构上呈单晶体形态。电子技术中用的最多的是**硅和锗**。

**硅和锗**都是4价元素，它们的外层电子都是4个。其简化原子结构模型如下图：



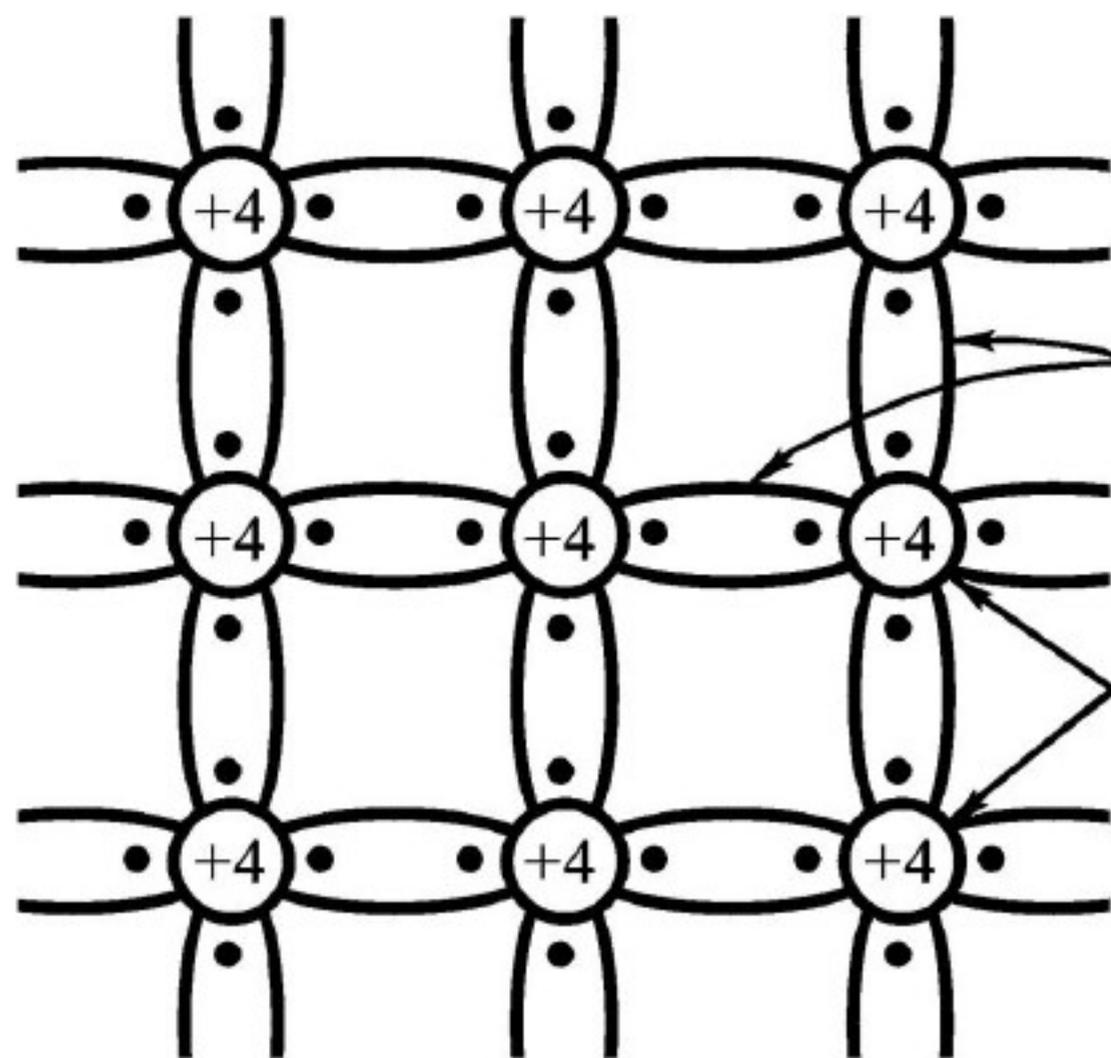
硅和锗都是四价元素，外层原子轨道上具有四个电子，称为价电子。价电子受原子核的束缚力最小。物质的性质是由价电子决定的。



# 1、本征半导体的共价键结构



本征晶体中各原子之间靠得很近，使原分属于各原子的四个价电子同时受到相邻原子的吸引，分别与周围的四个原子的价电子形成**共价键**。共价键中的价电子为这些原子所共有，并为它们所束缚，在空间形成排列有序的晶体。如下图所示：



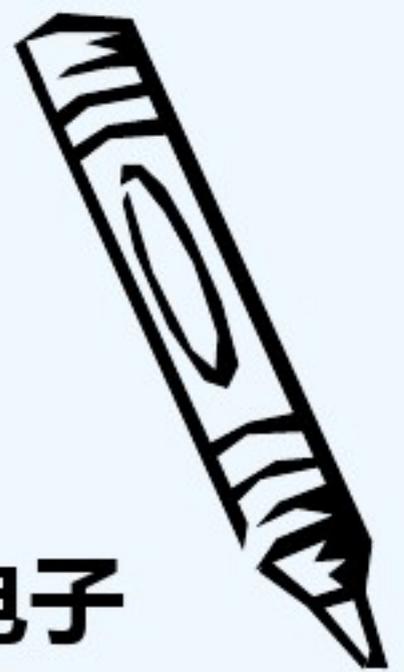
大块晶体中的局部结构

两个电子的共价键

正离子芯



## 2、共价键性质



共价键上的两个电子是由相邻原子各用一个电子组成的，这两个电子被成为**束缚电子**。

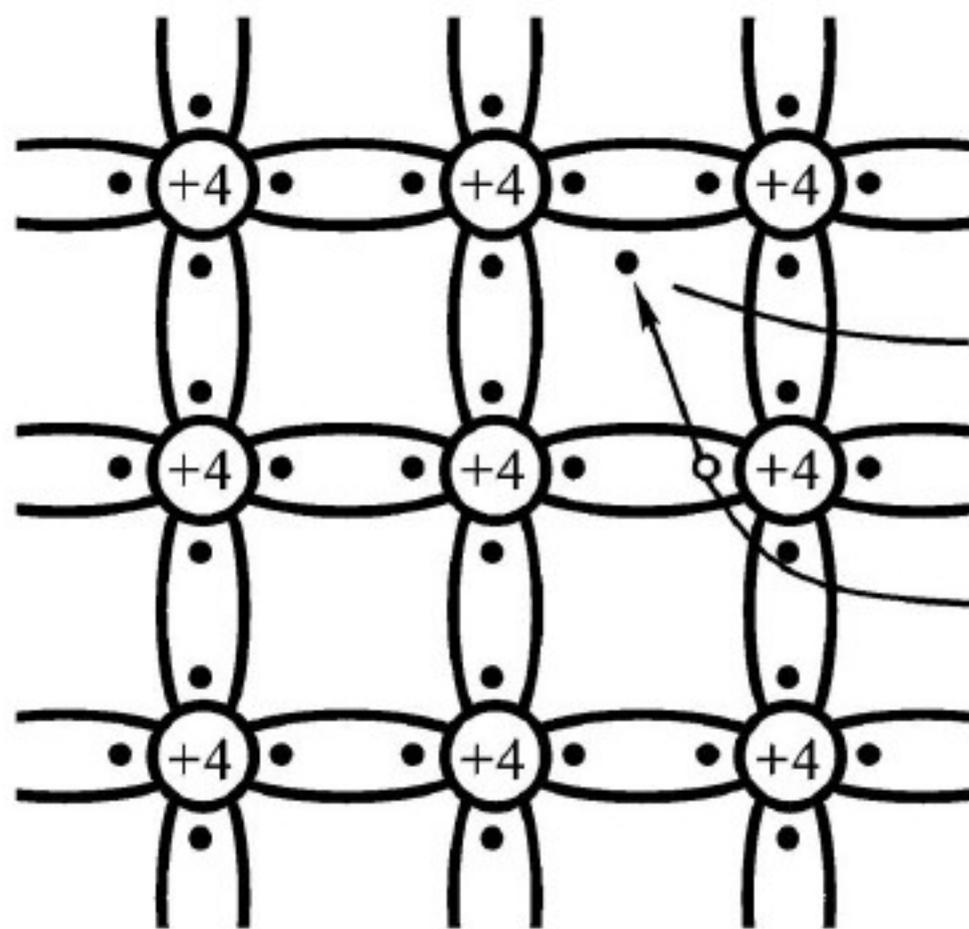
束缚电子同时受两个原子的约束，如果没有足够的能量，不易脱离轨道。

因此，在绝对温度 $T=0\text{K}$ （ $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）时，由于共价键中的电子被束缚着，本征半导体中没有自由电子，不导电。只有在激发下，本征半导体才能导电。



### 3、电子与空穴

当导体处于热力学温度 $0^{\circ}\text{K}$ 时，导体中没有自由电子。当温度升高或受到光的照射时，价电子能量增高，有的价电子可以挣脱原子核的束缚，而参与导电，成为自由电子。

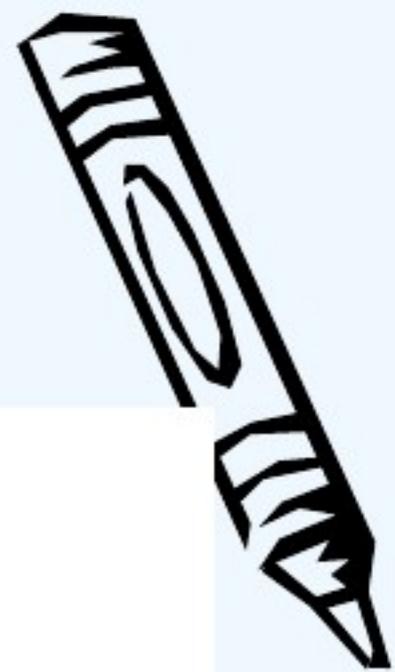


由于热激发而产生的自由电子

自由电子移动后留下的空穴

由于随机热振动致使共价键被打破而产生空穴-电子对

这一现象称为**本征激发**，也称**热激发**。



自由电子产生的同时，在其原来的共价键中就出现了一个空位，原子的电中性被破坏，呈现出正电性，其正电量与电子的负电量相等，人们常称呈现正电性的这个空位为**空穴**。

可见因热激发而出现的自由电子和空穴是同时成对出现的，称为**电子空穴对**。游离的部分自由电子也可能回到空穴中去，称为**复合**。本征激发和复合在一定温度下会达到动态平衡。

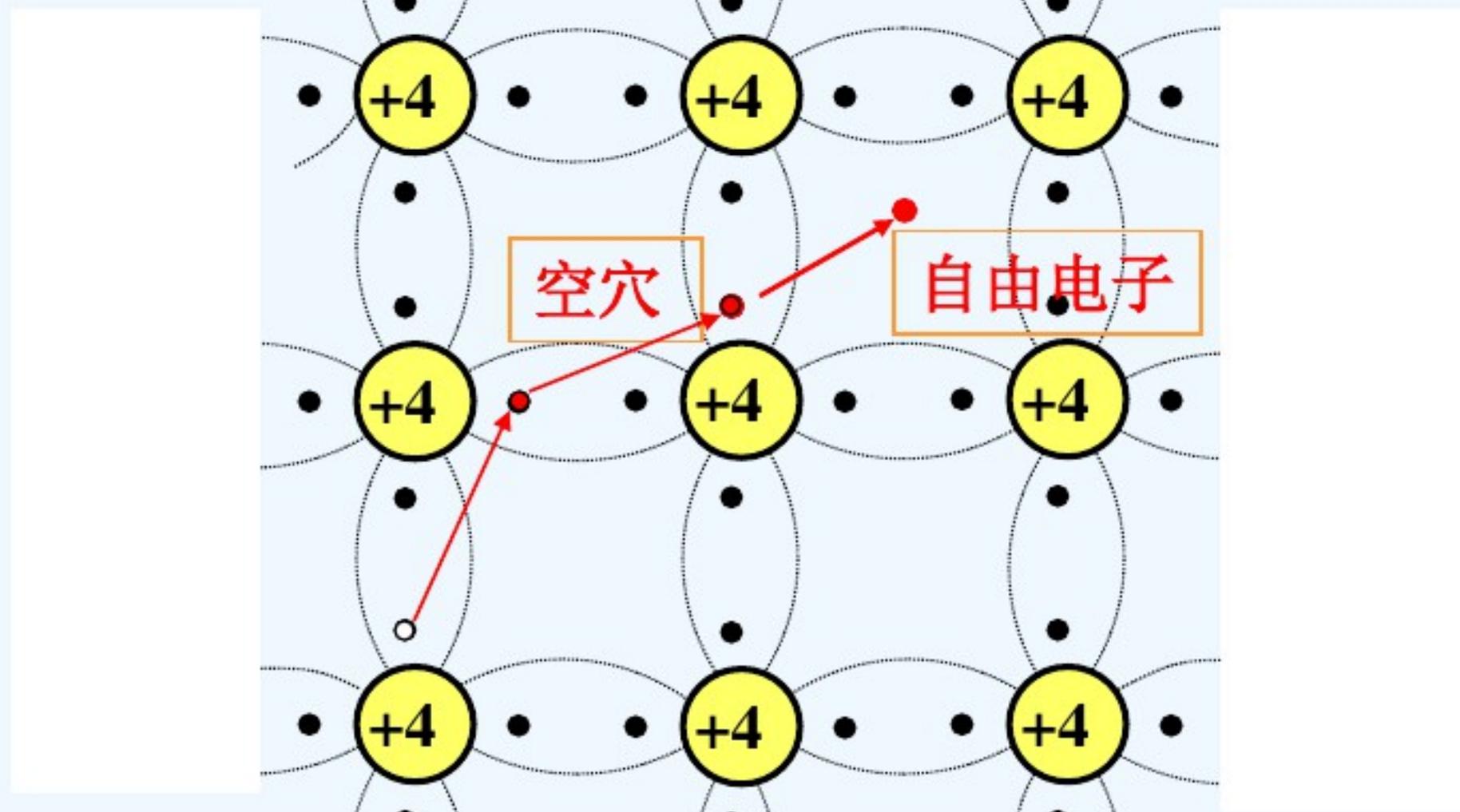
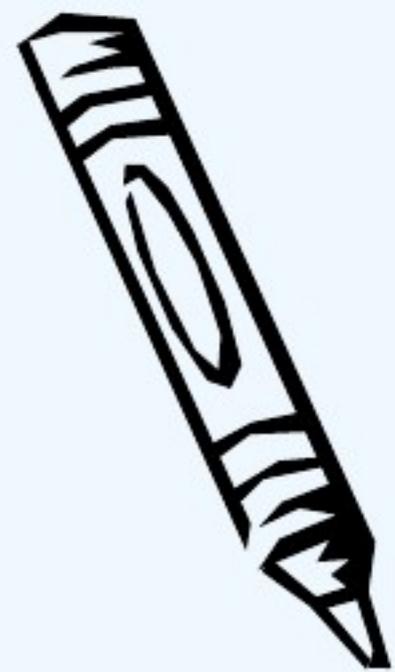


## 空穴的移动

由于共价键中出现了空穴，在外加能源的激发下，邻近的价电子有可能挣脱束缚补到这个空位上，而这个电子原来的位置又出现了空穴，其它电子又有可能转移到该位置上。这样一来在共价键中就出现了**电荷迁移**——电流。

电流的方向与电子移动的方向相反，与空穴移动的方向相同。本征半导体中，产生电流的根本原因是由于共价键中出现了空穴。





## 3.1.4 杂质半导体

在本征半导体中掺入某些微量元素作为杂质，可使半导体的导电性发生显著变化。掺入的杂质主要是三价或五价元素。掺入杂质的本征半导体称为**杂质半导体**。

**N型半导体**——掺入五价杂质元素（如磷）的半导体。

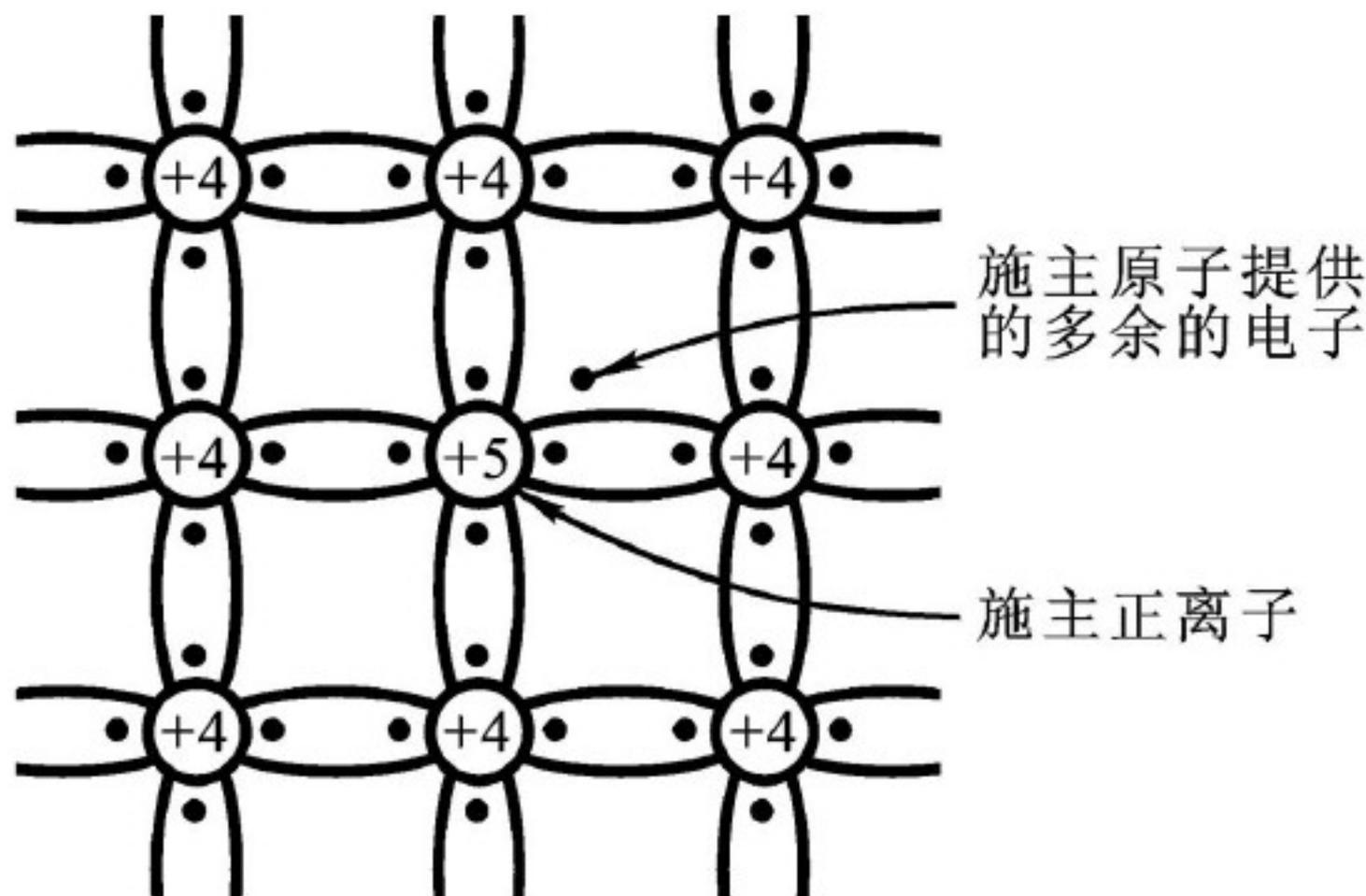
**P型半导体**——掺入三价杂质元素（如硼）的半导体。



## 3.1.4 杂质半导体

### 1. N型半导体

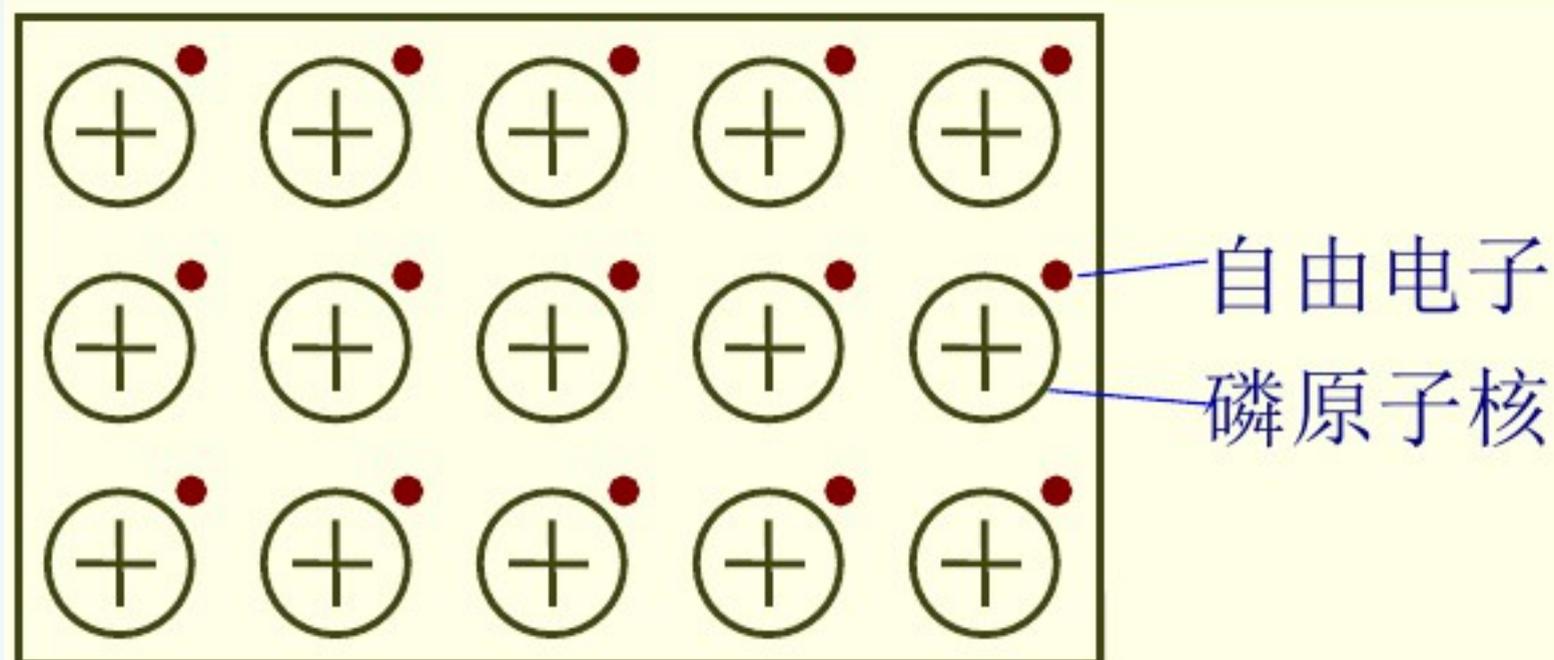
因五价杂质原子中只有四个价电子能与周围四个半导体原子中的价电子形成共价键，而多余的一个价电子因无共价键束缚而很容易形成自由电子。



在N型半导体中**自由电子是多数载流子**，它主要由杂质原子提供；**空穴是少数载流子**，由热激发形成。

提供自由电子的五价杂质原子因带正电荷而成为**正离子**，因此五价杂质原子也称为**施主杂质**。

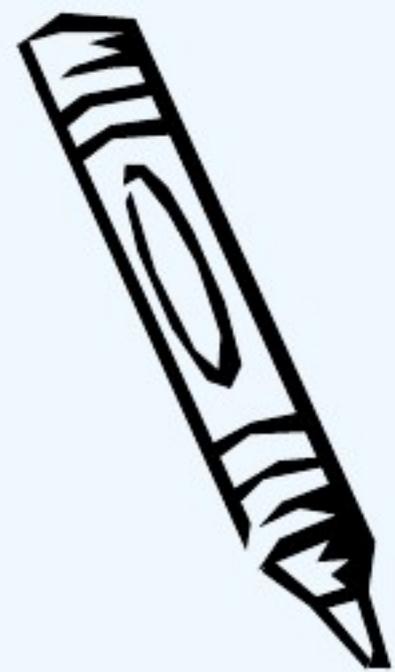
N型半导体的结构示意图如图所示：



所以，N型半导体中的导电粒子有两种：

自由电子——多数载流子（由两部分组成）

空穴——少数载流子

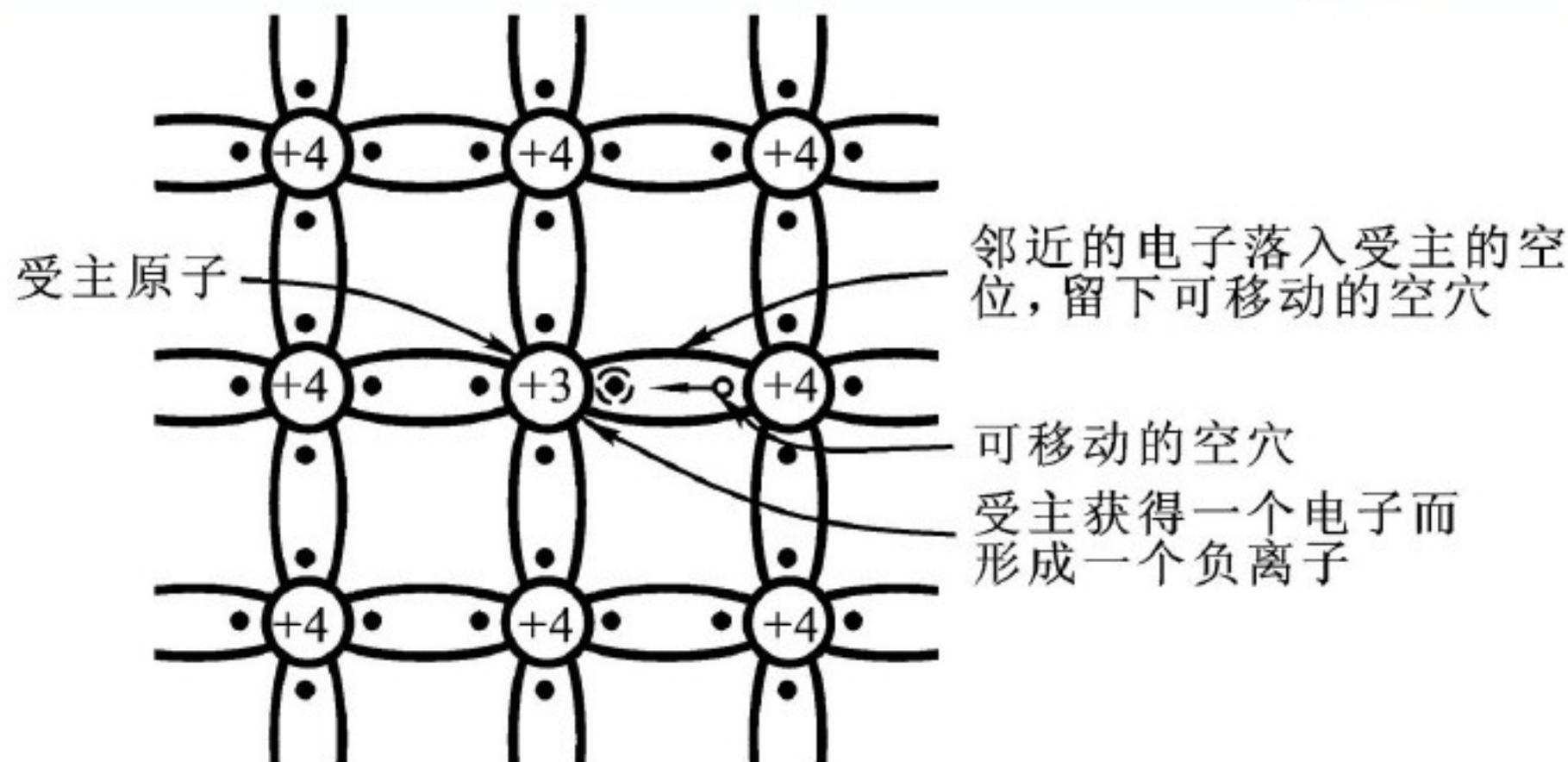


## 3.1.4 杂质半导体



### 2. P型半导体

因三价杂质原子在与硅原子形成共价键时，缺少一个价电子而在共价键中留下一个空穴。

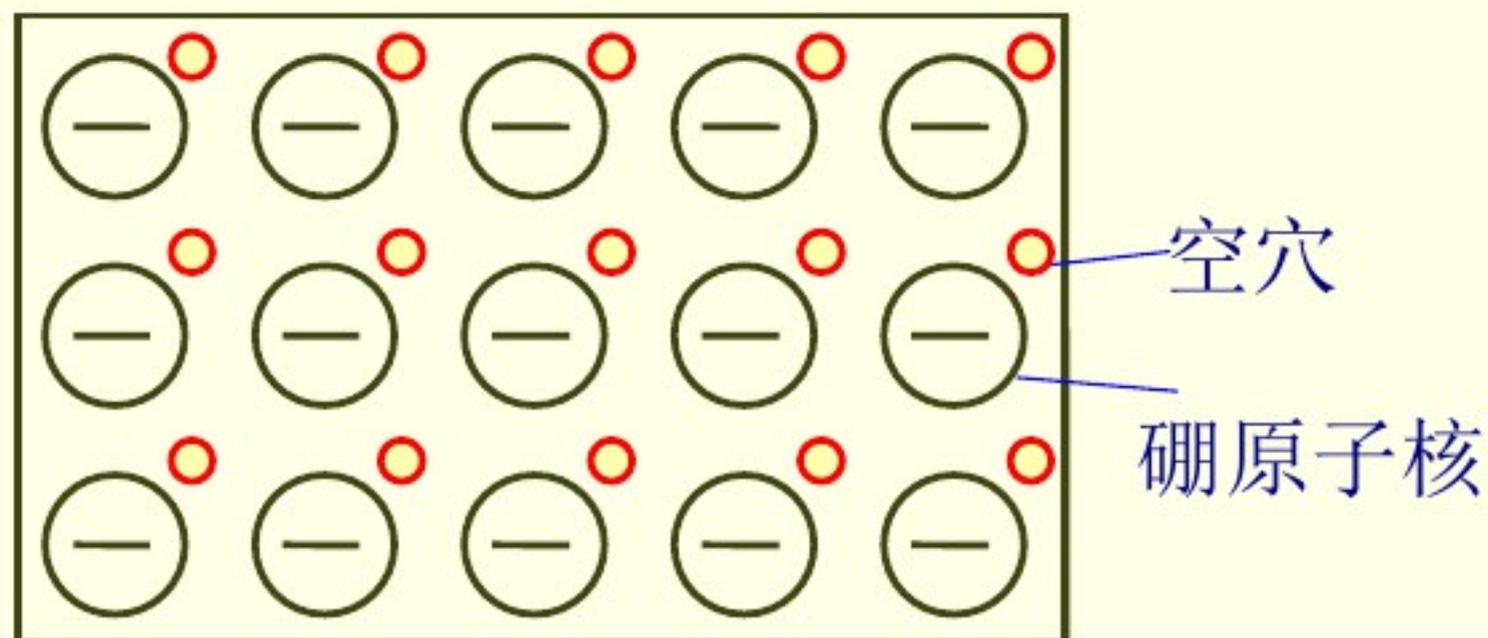


在P型半导体中空穴是多数载流子，它主要由掺杂形成；自由电子是少数载流子，由热激发形成。

空穴很容易俘获电子，使杂质原子成为负离子。三价杂质因而也称为受主杂质。

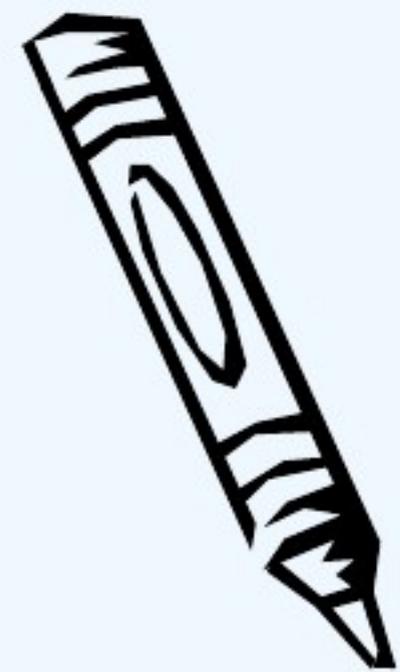


P型半导体的结构示意图如图所示：



**P型半导体中：**

**空穴是多数载流子，主要由掺杂形成；**  
**电子是少数载流子，由热激发形成。**



## 3.1.4 杂质半导体

### 3. 杂质对半导体导电性的影响

掺入杂质对本征半导体的导电性有很大的影响

一些典型的数据如下:

①  $T=300\text{ K}$  室温下,本征硅的电子和空穴浓度:

$$n = p = 1.4 \times 10^{10} / \text{cm}^3$$

② 掺杂后 N 型半导体中的自由电子浓度:

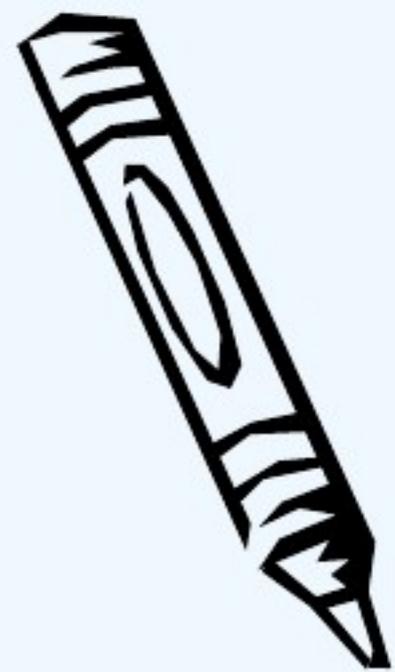
$$n = 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$$

③ 本征硅的原子浓度:  $4.96 \times 10^{22} / \text{cm}^3$

以上三个浓度基本上依次相差  $10^6 / \text{cm}^3$ 。

## 本节中的有关概念

- 本征半导体、杂质半导体
- 施主杂质、受主杂质
- N型半导体、P型半导体
- 自由电子、空穴
- 多数载流子、少数载流子



## 3.2 PN结的形成及特性

---

3.2.1 载流子的漂移与扩散

3.2.2 PN结的形成

3.2.3 PN结的单向导电性

3.2.4 PN结的反向击穿

3.2.5 PN结的电容效应



## 3.2.1 载流子的漂移与扩散

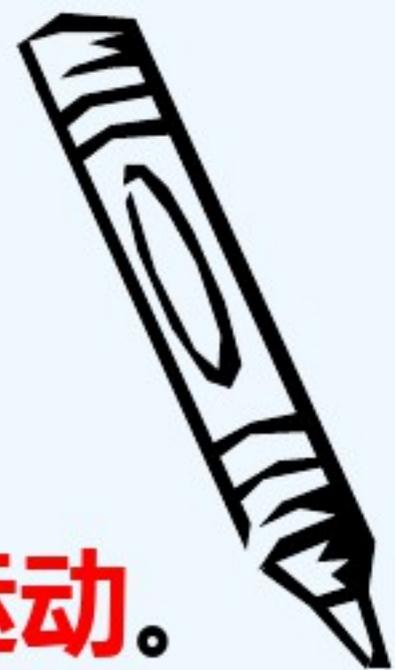
---

漂移运动：

在电场作用引起的载流子的运动称为**漂移运动**。

扩散运动：

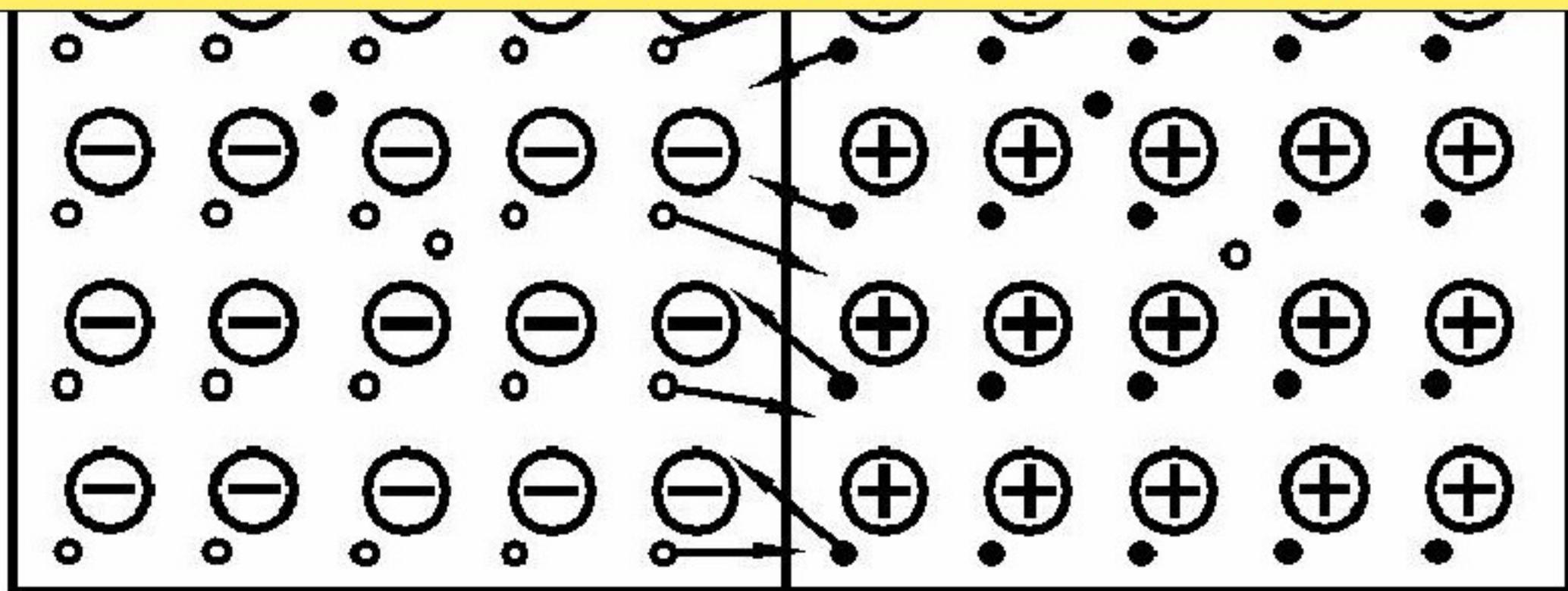
由载流子浓度差引起的载流子的运动称为**扩散运动**。



## 3.2.2 PN结的形成

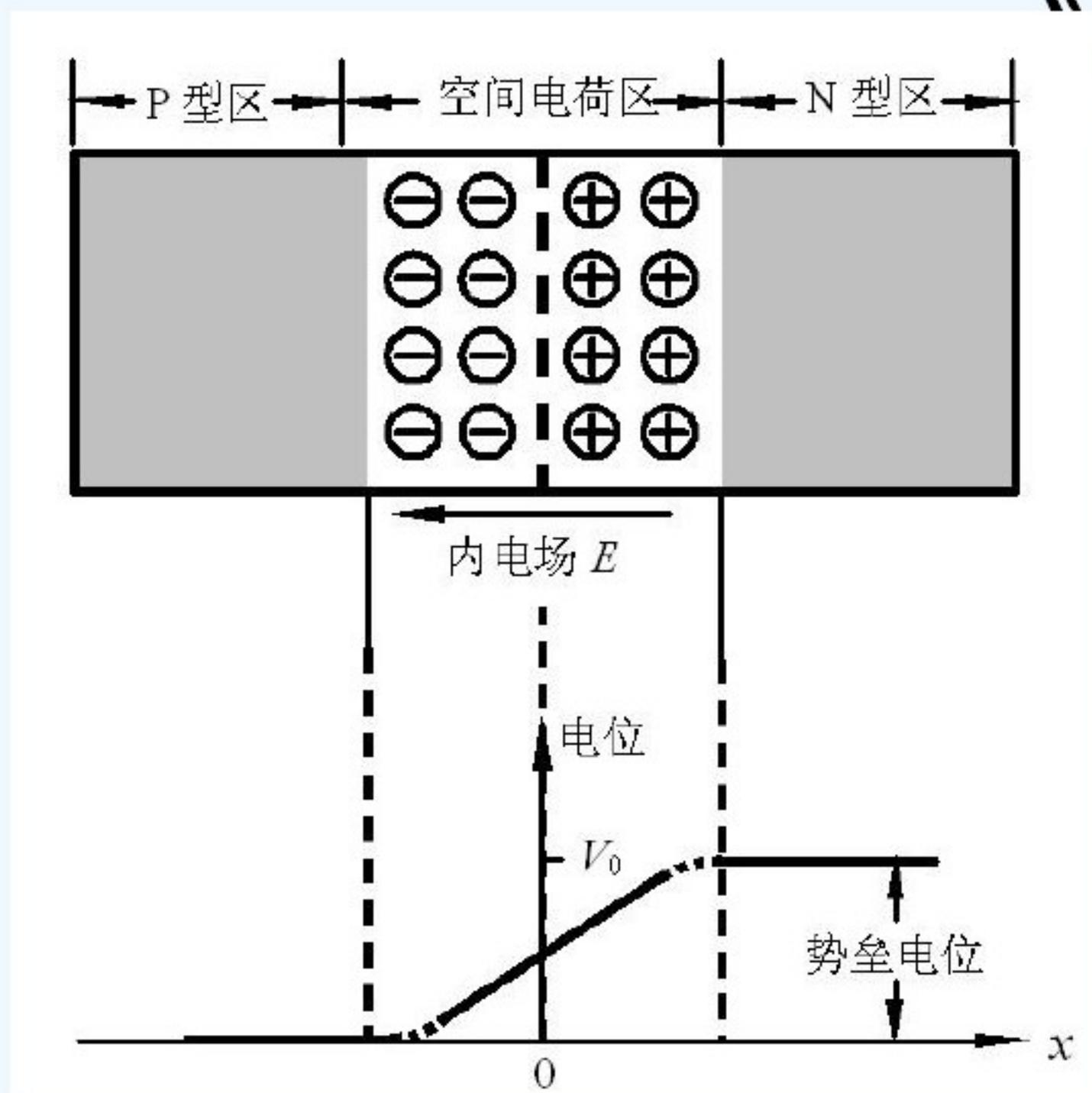


扩散到对方的载流子在P区和N区的交界处附近被相互中和掉，使P区一侧因失去空穴而留下不能移动的负离子，N区一侧因失去电子而留下不能移动的正离子。这样在两种半导体交界处逐渐形成由正、负离子组成的**空间电荷区（耗尽层）**。由于P区一侧带负电，N区一侧带正电，所以出现了方向由N区指向P区的**内电场**



## 3.2.2 PN结的形成

当扩散和漂移运动达到平衡后，空间电荷区的宽度和内电场电位就相对稳定下来。此时，有多少个多子扩散到对方，就有多少个少子从对方飘移过来，二者产生的电流大小相等，方向相反。因此，在相对平衡时，流过PN结的电流为0。



在一块本征半导体两侧通过扩散不同的杂质，分别形成**N**型半导体和**P**型半导体。此时将在**N**型半导体和**P**型半导体的结合面上形成如下物理过程：

因浓度差



多子的扩散运动 → 由杂质离子形成空间电荷区



空间电荷区形成内电场



内电场促使少子漂移



内电场阻止多子扩散

最后，多子的**扩散**和少子的**漂移**达到**动态平衡**。



对于P型半导体和N型半导体结合面，离子薄层形成的**空间电荷区**称为**PN结**。

在空间电荷区，由于缺少多子，所以也称**耗尽层**。由于耗尽层的存在，PN结的电阻很大。

PN结的形成过程中的两种运动：

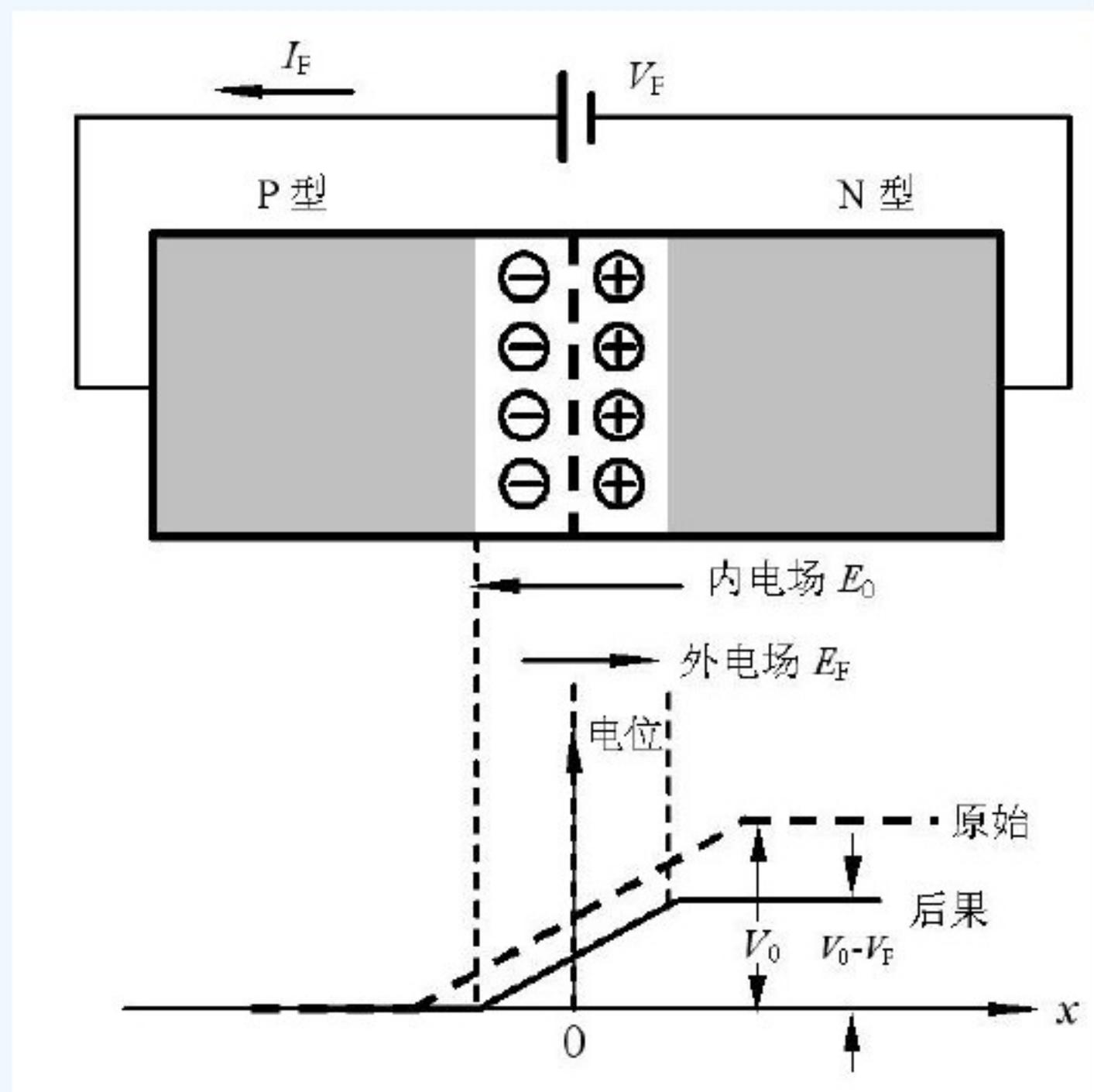
多数载流子扩散  
少数载流子飘移

### 3.2.3 PN结的单向导电性

当外加电压使PN结中P区的电位高于N区的电位，称为加**正向电压**，简称**正偏**；反之称为加**反向电压**，简称**反偏**。

#### (1) PN结加正向电压时

外加的正向电压有一部分降落在PN结区，方向与PN结内电场方向相反，削弱了内电场。于是，内电场对多子扩散运动的阻碍减弱，扩散电流加大。扩散电流远大于漂移电流，可忽略漂移电流的影响，PN结呈现低阻性。

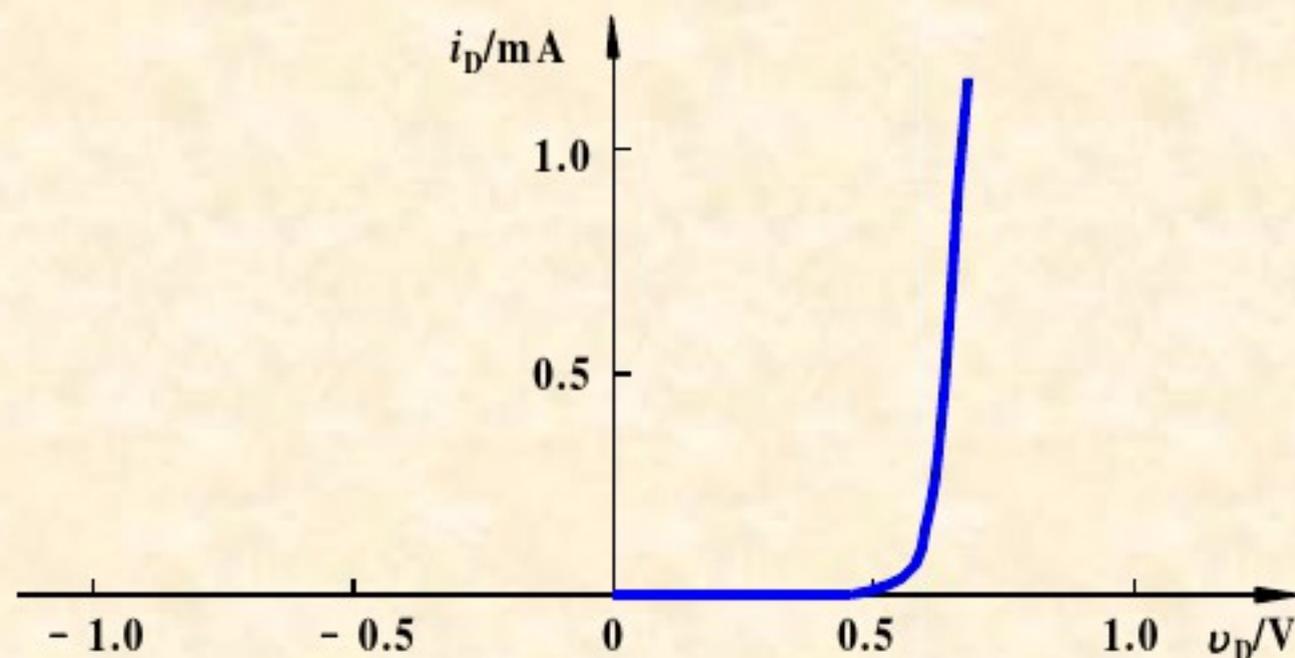


## 3.2.3 PN结的单向导电性

当外加电压使PN结中P区的电位高于N区的电位，称为加**正向电压**，简称**正偏**；反之称为加**反向电压**，简称**反偏**。

### (1) PN结加正向电压时

- 低电阻
- 大的正向扩散电流



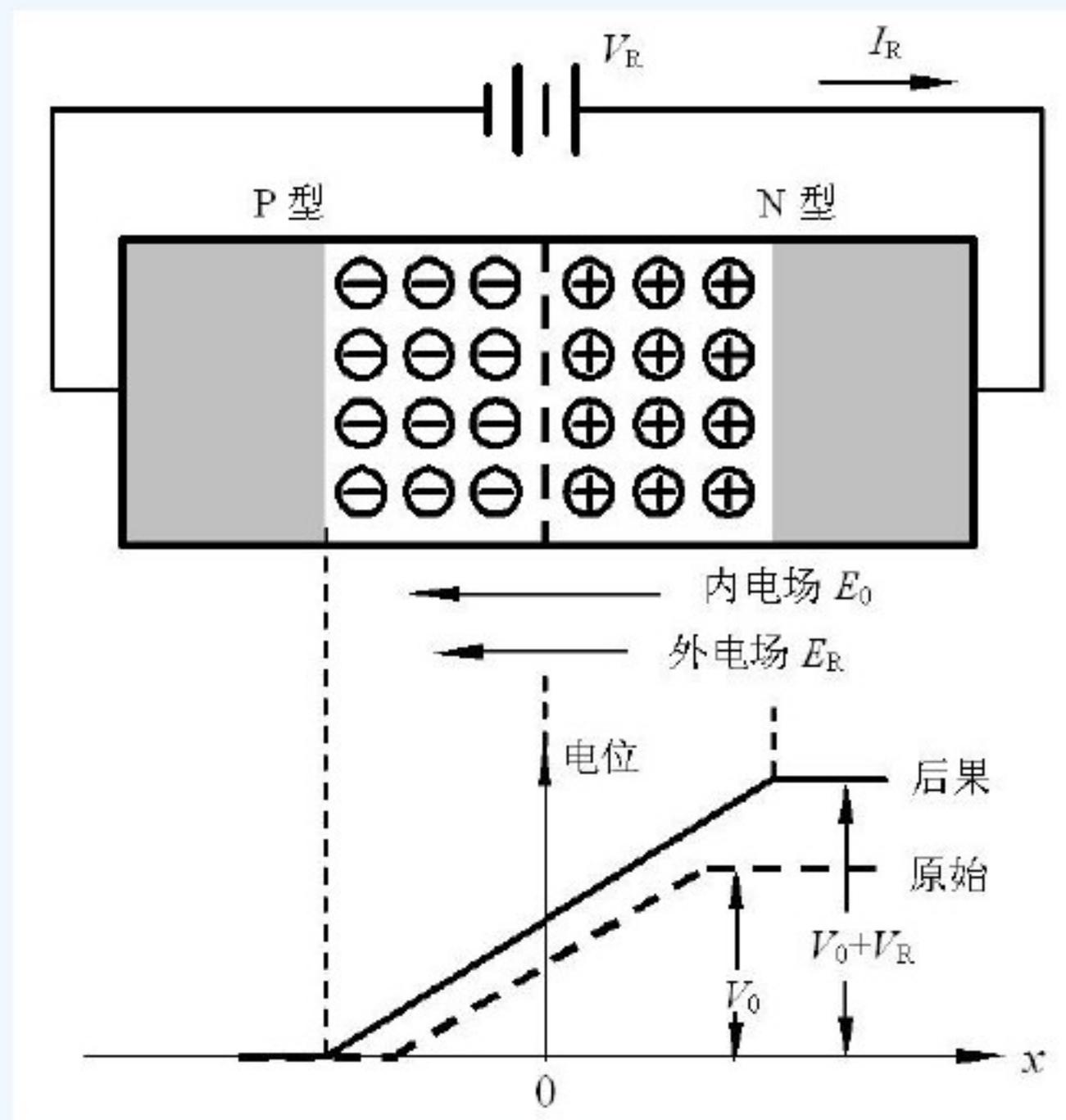
PN结的伏安特性

### 3.2.3 PN结的单向导电性

当外加电压使PN结中P区的电位高于N区的电位，称为加**正向电压**，简称**正偏**；反之称为加**反向电压**，简称**反偏**。

#### (2) PN结加反向电压时

外加的反向电压方向与PN结内电场方向相同，加强了内电场。内电场对多子扩散运动的阻碍增强，扩散电流大大减小。此时PN结区的少子在内电场的作用下形成的漂移电流大于扩散电流，可忽略扩散电流，PN结呈现高阻性。



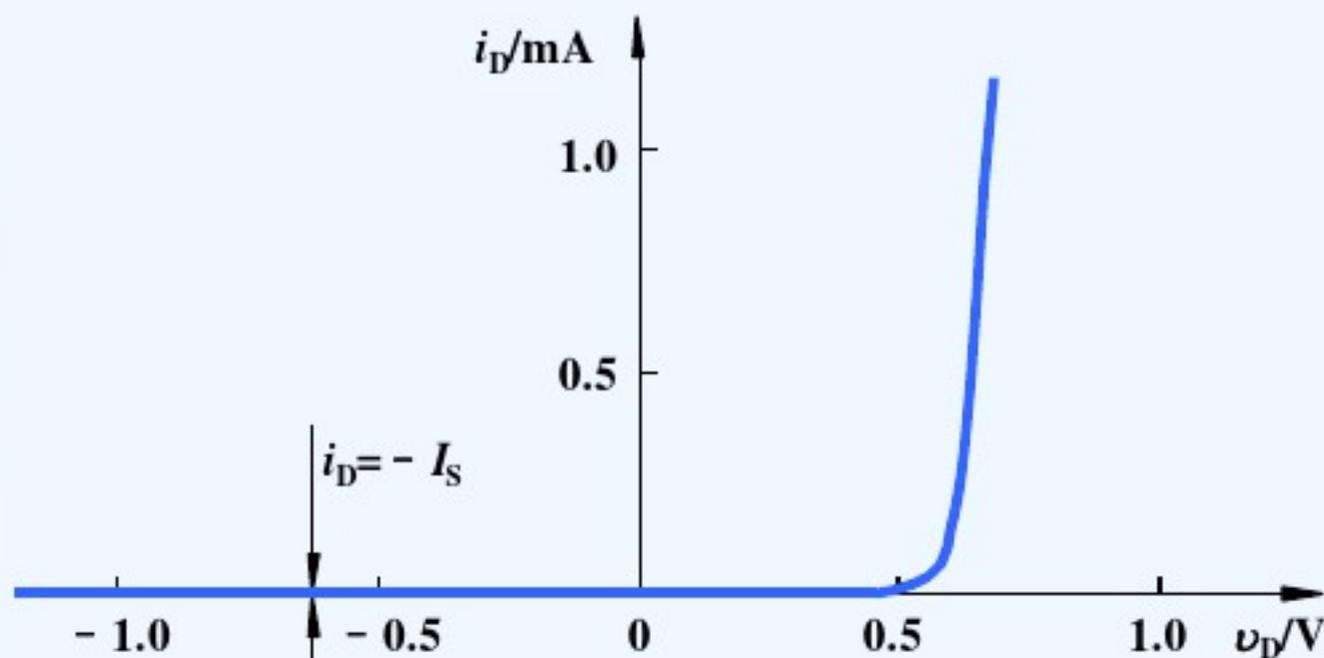
## 3.2.3 PN结的单向导电性

当外加电压使PN结中P区的电位高于N区的电位，称为加**正向电压**，简称**正偏**；反之称为加**反向电压**，简称**反偏**。

### (2) PN结加反向电压时

- 高电阻
- 很小的反向漂移电流

在一定的温度条件下，由本征激发决定的少子浓度是一定的，故少子形成的漂移电流是恒定的，基本上与所加反向电压的大小无关，这个电流也称为**反向饱和电流**。



PN结的伏安特性

PN结加正向电压时，呈现低电阻，  
具有较大的正向扩散电流；

PN结加反向电压时，呈现高电阻，  
具有很小的反向漂移电流。

由此可以得出结论：**PN结具有单向  
导电性。**



## 3.2.3 PN结的单向导电性

### (3) PN结 $V$ - $I$ 特性表达式

$$i_D = I_S (e^{v_D/V_T} - 1)$$

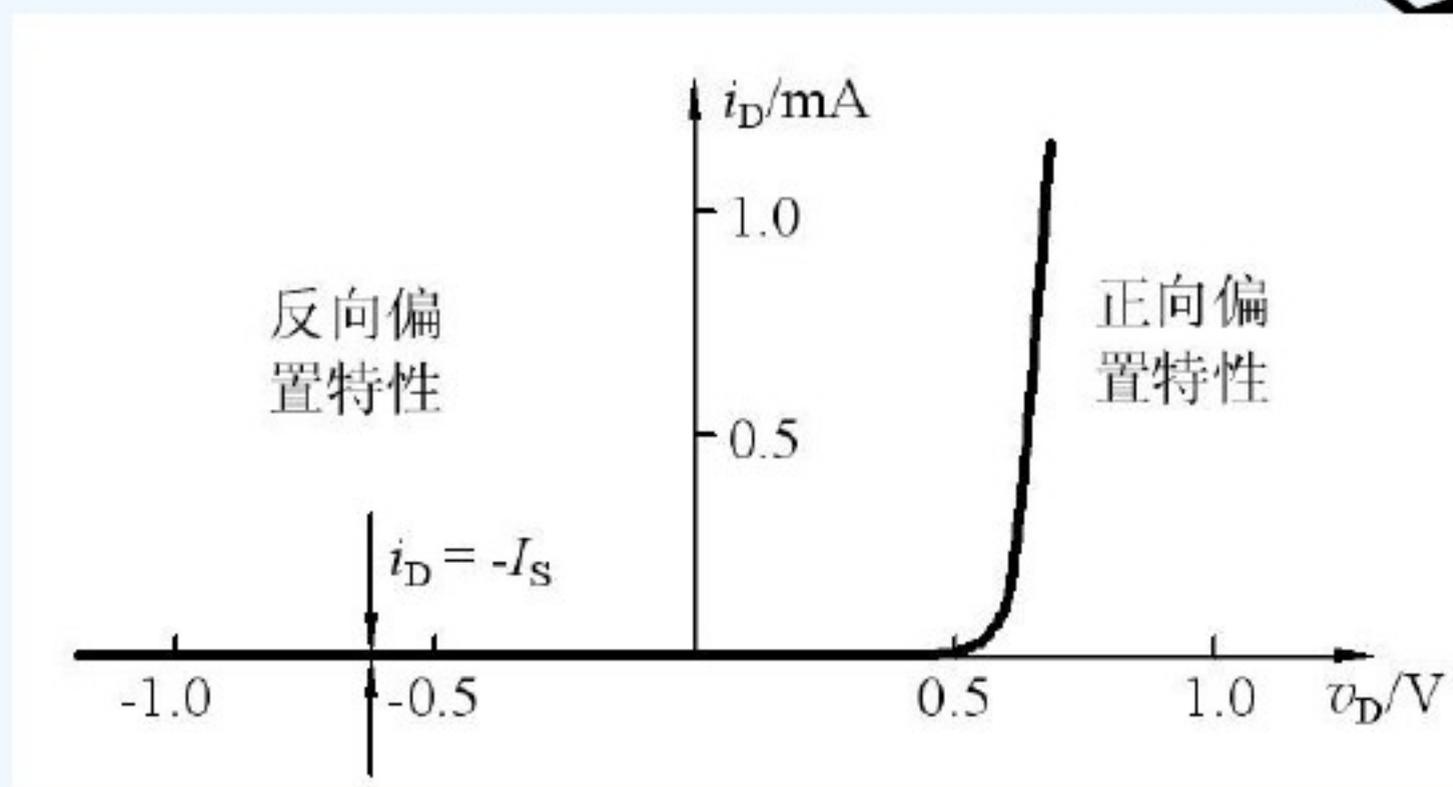
其中

$I_S$  —— 反向饱和电流

$V_T$  —— 温度的电压当量

且在常温下 ( $T=300\text{K}$ )

$$V_T = \frac{kT}{q} = 0.026\text{V} = 26\text{mV}$$



PN结的伏安特性

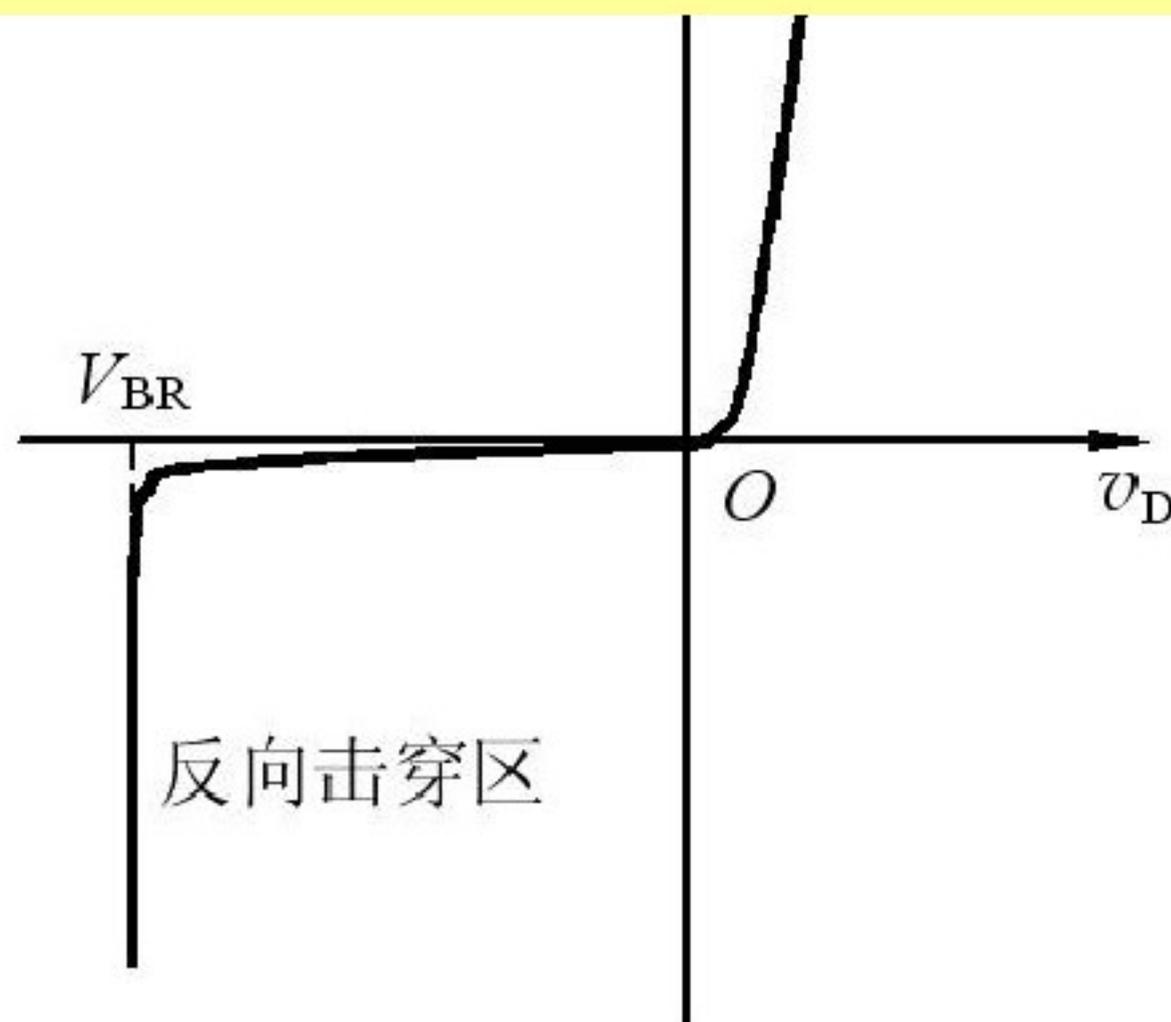
## 3.2.4 PN结的反向击穿

当PN结的反向电压增加到一定数值时，反向电流突然快速增加，此现象称为PN结的**反向击穿**。

热击穿——不可逆

雪崩击穿  
齐纳击穿 } 电击穿——可逆

PN结被击穿后，PN结上的压升高，电流大，功率大。当PN结上的功耗使PN结发热，并超过它的耗散功率时，PN结将发生**热击穿**。这时PN结的电流和温度之间出现恶性循环，最终将导致PN结烧毁。



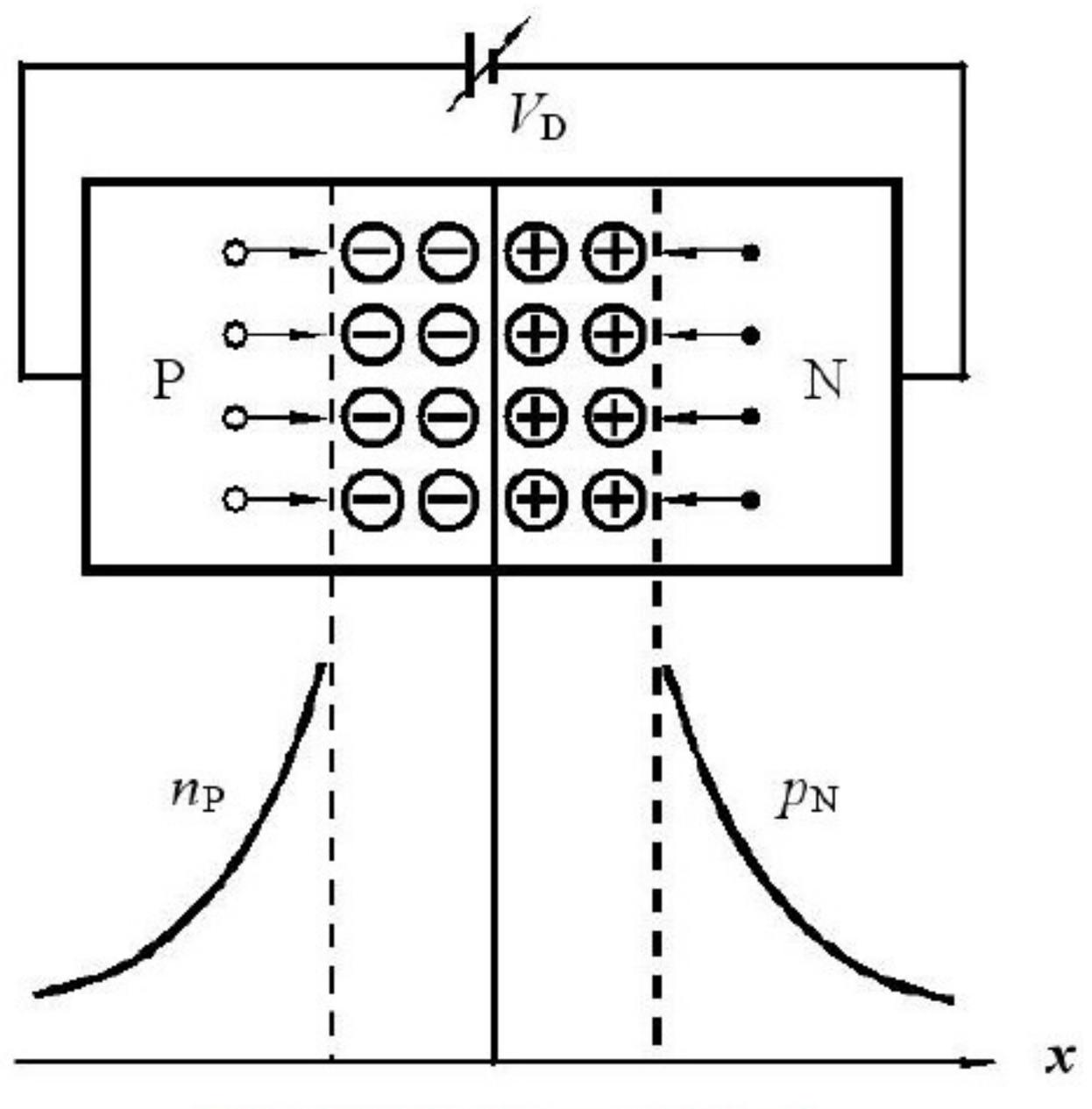
## 3.2.5 PN结的电容效应

### (1) 扩散电容 $C_D$

是由多数载流子在扩散过程中积累而引起的。

当PN结处于正向偏置时，扩散运动使多数载流子穿过PN结，在对方区域PN结附近有高于正常情况时的电荷累积。存储电荷量的大小，取决于PN结上所加正向电压值的大小。离结越远，由于空穴与电子的复合，浓度将随之减小。

若外加正向电压有一增量 $\Delta V$ ，则相应的空穴（电子）扩散运动在结附近产生一电荷增量 $\Delta Q$ ，二者之比 $\Delta Q/\Delta V$ 为扩散电容 $C_D$ 。



扩散电容示意图

## 3.2.5 PN结的电容效应

### (2) 势垒电容 $C_B$

是由 PN 结的空间电荷区变化形成的。

空间电荷区的正负离子电荷数的增减，类似于平行板电容器两极板上电荷的变化。

势垒电容的大小可用下式表示：

$$C_b = \frac{dQ}{dU} = \epsilon \frac{S}{l}$$

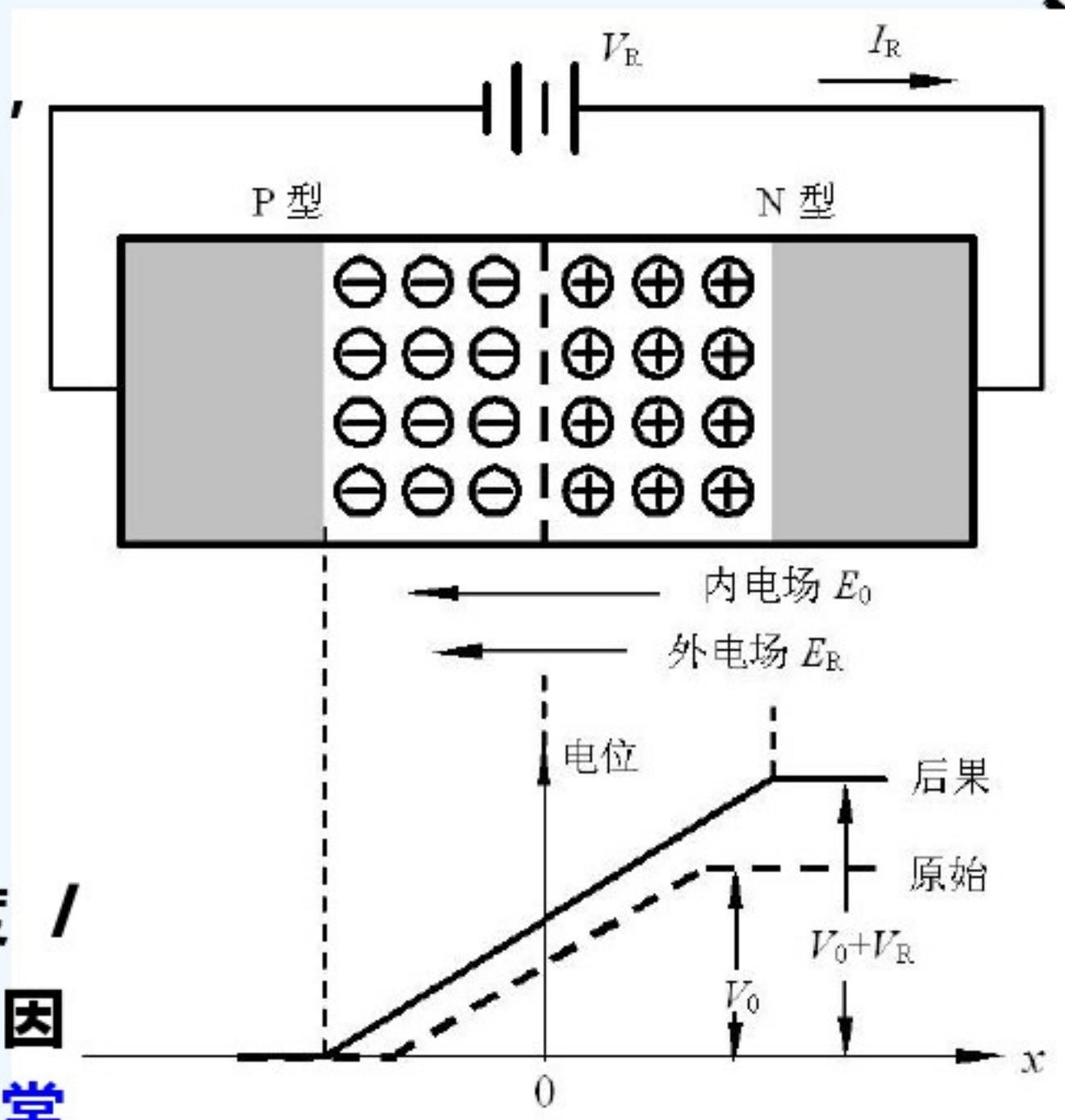
$\epsilon$ ：半导体材料的介电比系数；

$S$ ：结面积；

$l$ ：耗尽层宽度。

由于 PN 结宽度  $l$

随外加电压  $U$  而变化，因此势垒电容  $C_b$  不是一个常数。



end

## 3.2.5 PN结的电容效应

综上所述：

PN 结总的结电容  $C_j$  包括势垒电容  $C_b$  和扩散电容  $C_d$  两部分。一般来说，当二极管正向偏置时，扩散电容起主要作用，即可以认为  $C_j \approx C_d$ ；当反向偏置时，势垒电容起主要作用，可以认为  $C_j \approx C_b$ 。

$C_b$  和  $C_d$  值都很小，通常为几个皮法-几十皮法，有些结面积大的二极管可达几百皮法。



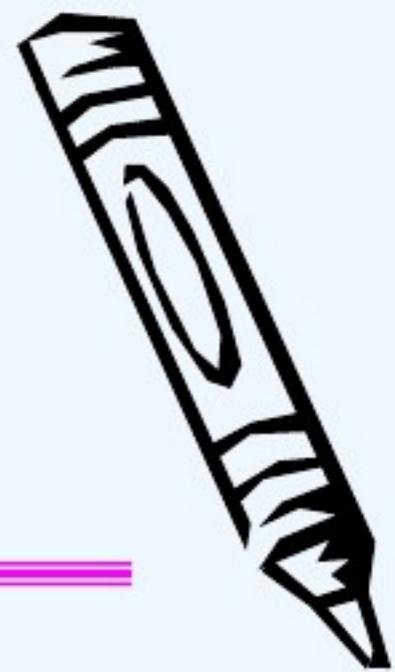
## 3.3 半导体二极管

---

3.3.1 半导体二极管的结构

3.3.2 二极管的伏安特性

3.3.3 二极管的主要参数



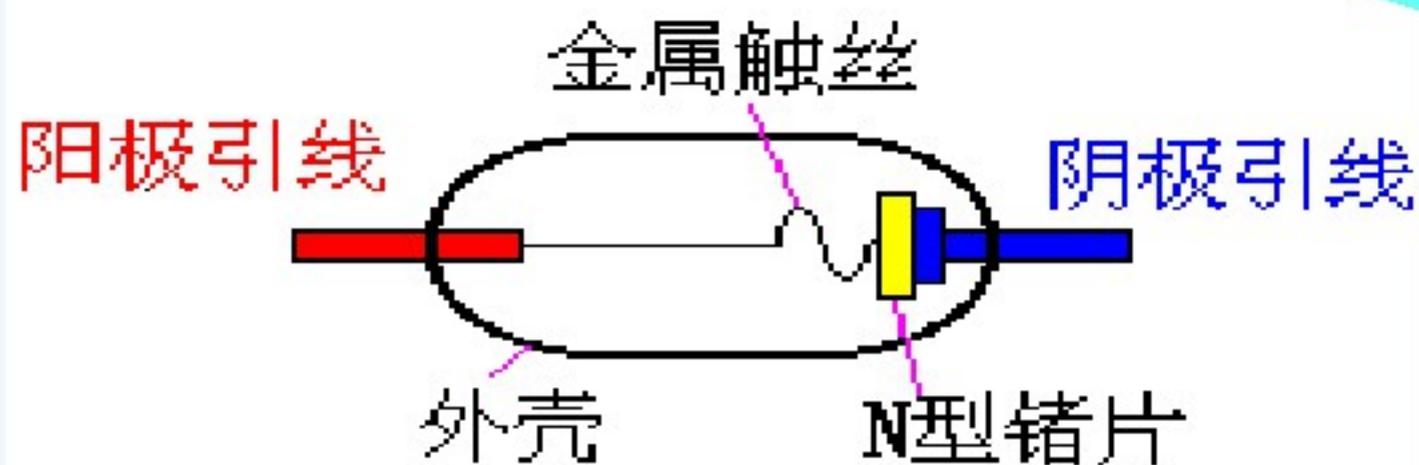
## 3.3.1 半导体二极管的结构

在PN结上加上引线和封装，就成为一个二极管。  
二极管按结构分有**点接触型**、**面接触型**两大类。



### (1) 点接触型二极管

PN结面积小，结电容小，用于检波和变频等高频电路。

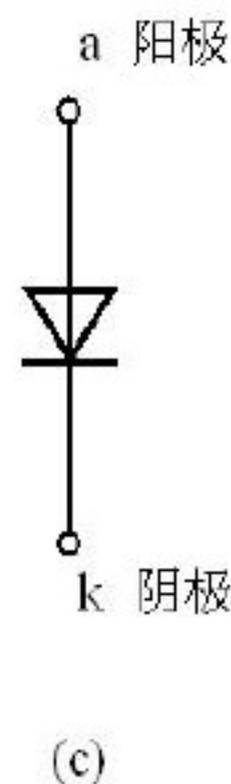
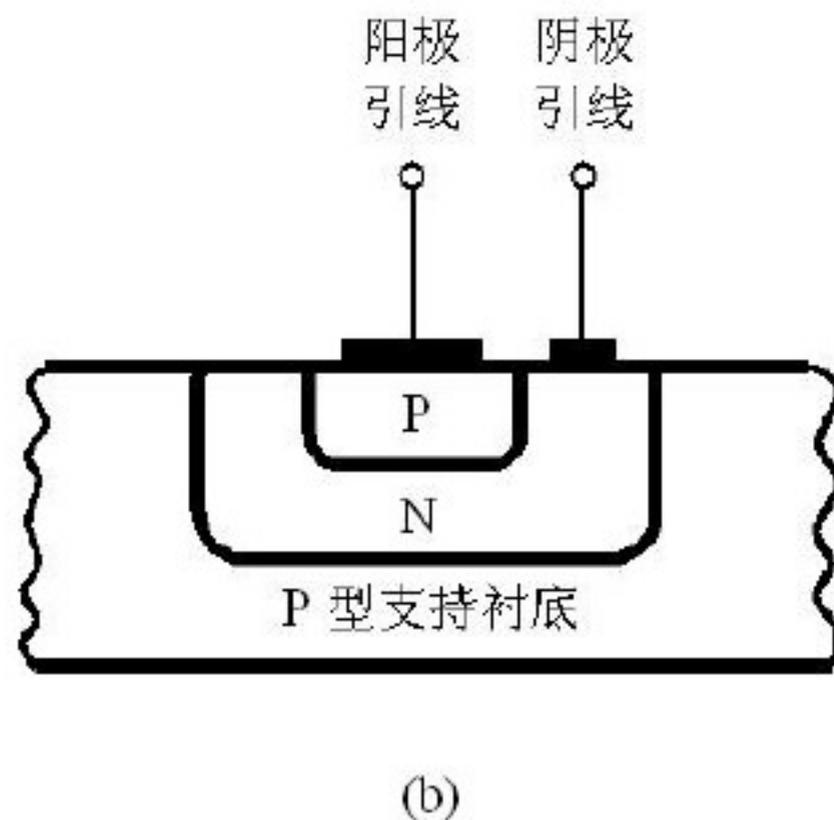
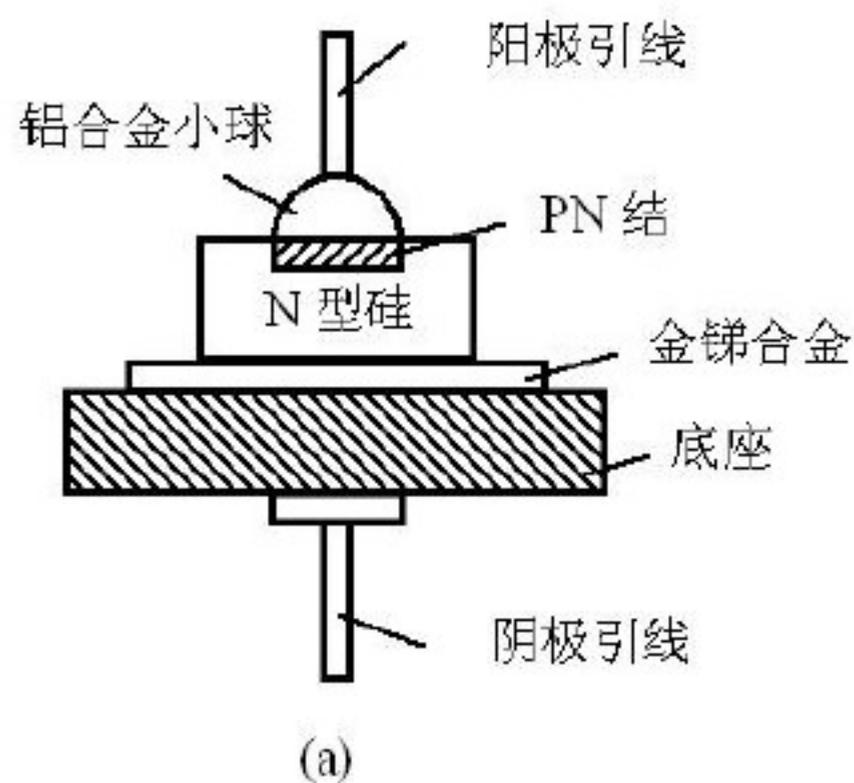


二极管的结构示意图

(a)点接触型

## (2) 面接触型二极管

PN结面积大，用于  
工频大电流整流电路。



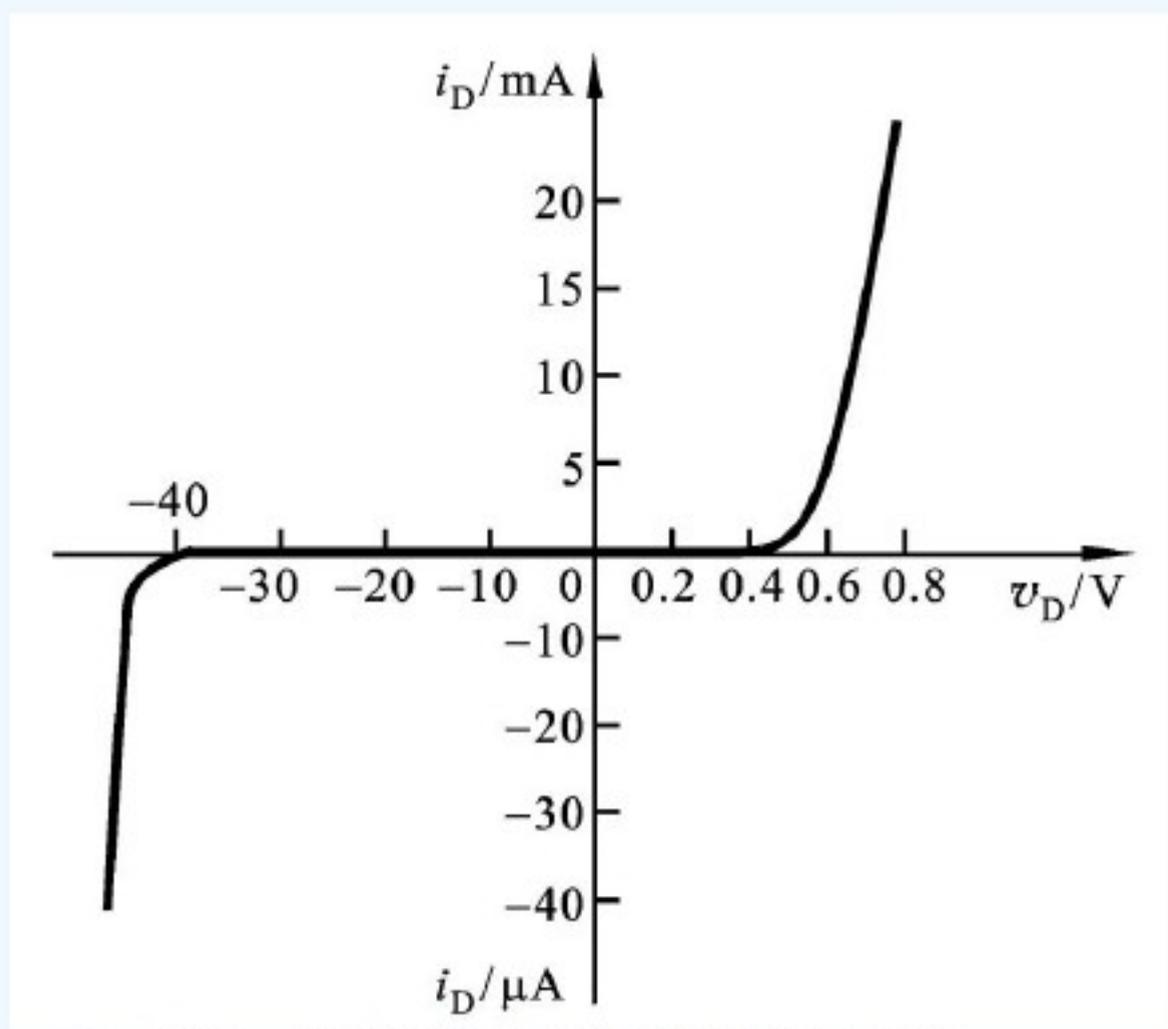
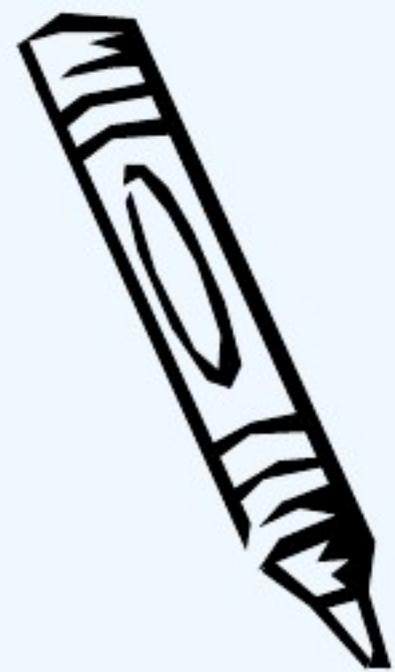
(a) 面接触型 (b) 集成电路中的平面型 (c) 代表符号



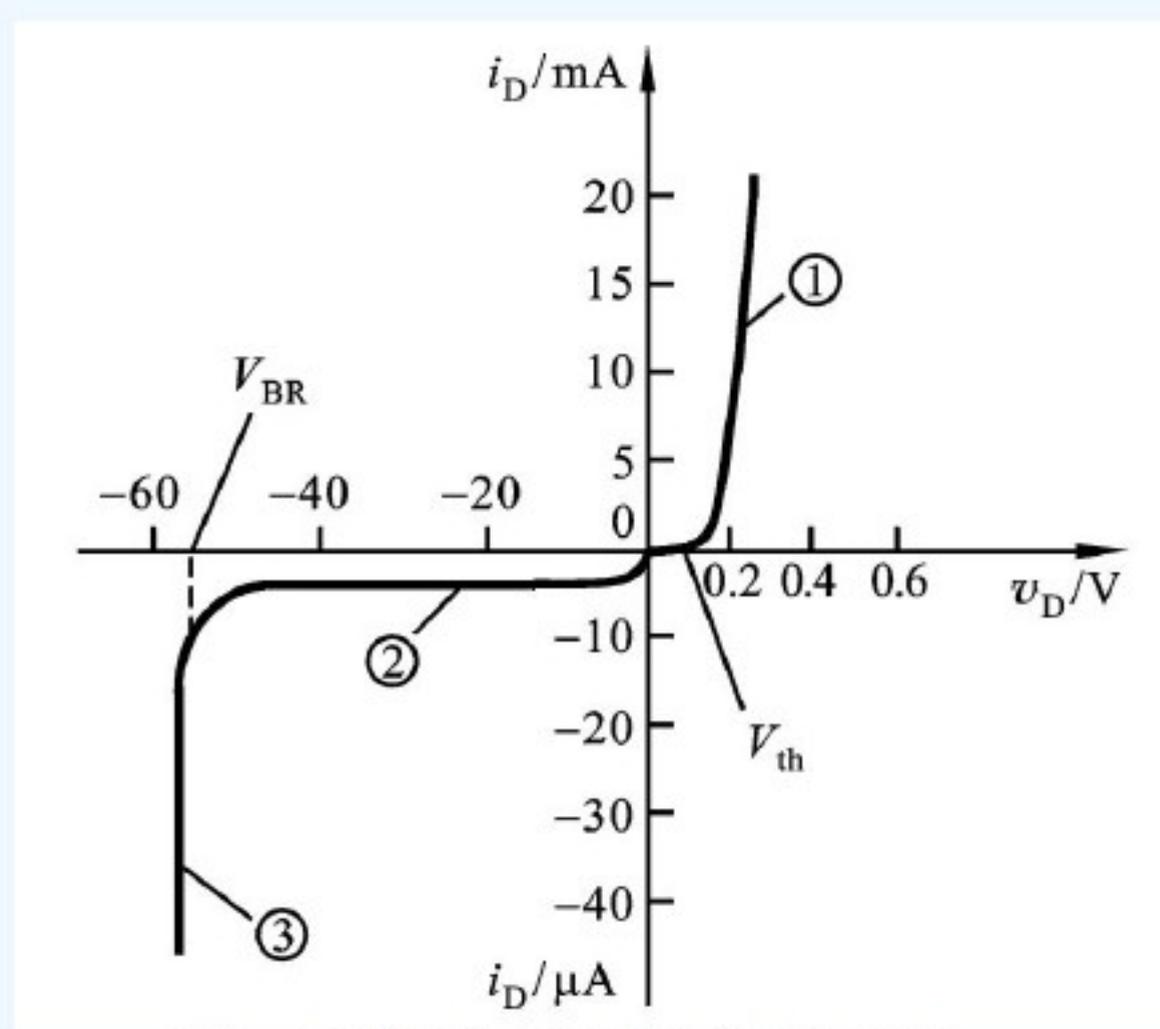
## 3.3.2 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性曲线可用下式表示

$$i_D = I_S (e^{u_D/V_T} - 1)$$



硅二极管2CP10的V-I特性



锗二极管2AP15的V-I特性



## 3.3.2 二极管的伏安特性

当  $V > 0$  即处于正向特性区域。正向区又分为两段：

当  $0 < V < V_{th}$  时，正向电流为零， $V_{th}$  称为死区电压或开启电压。

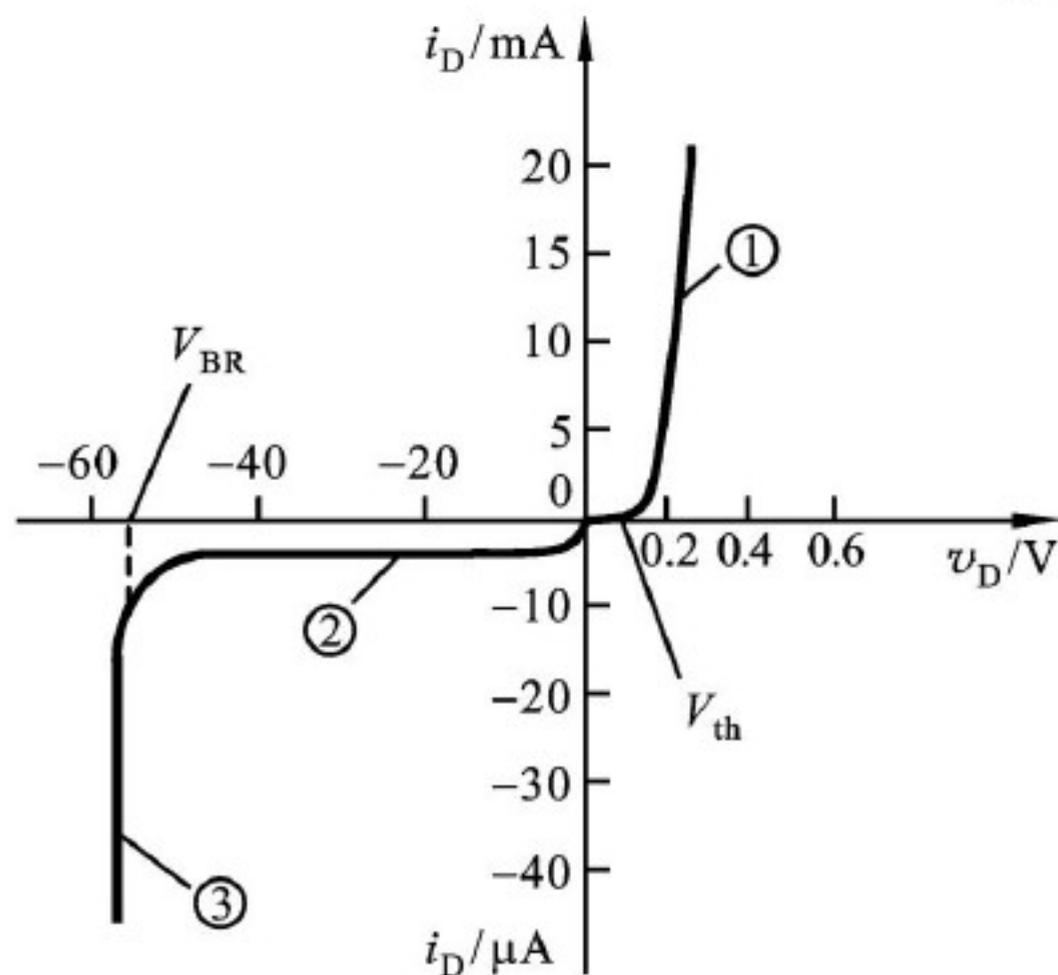
当  $V > V_{th}$  时，开始出现正向电流，并按指数规律增长。

硅二极管的死区电压

$V_{th} = 0.5 \text{ V}$  左右，

锗二极管的死区电压

$V_{th} = 0.1 \text{ V}$  左右。



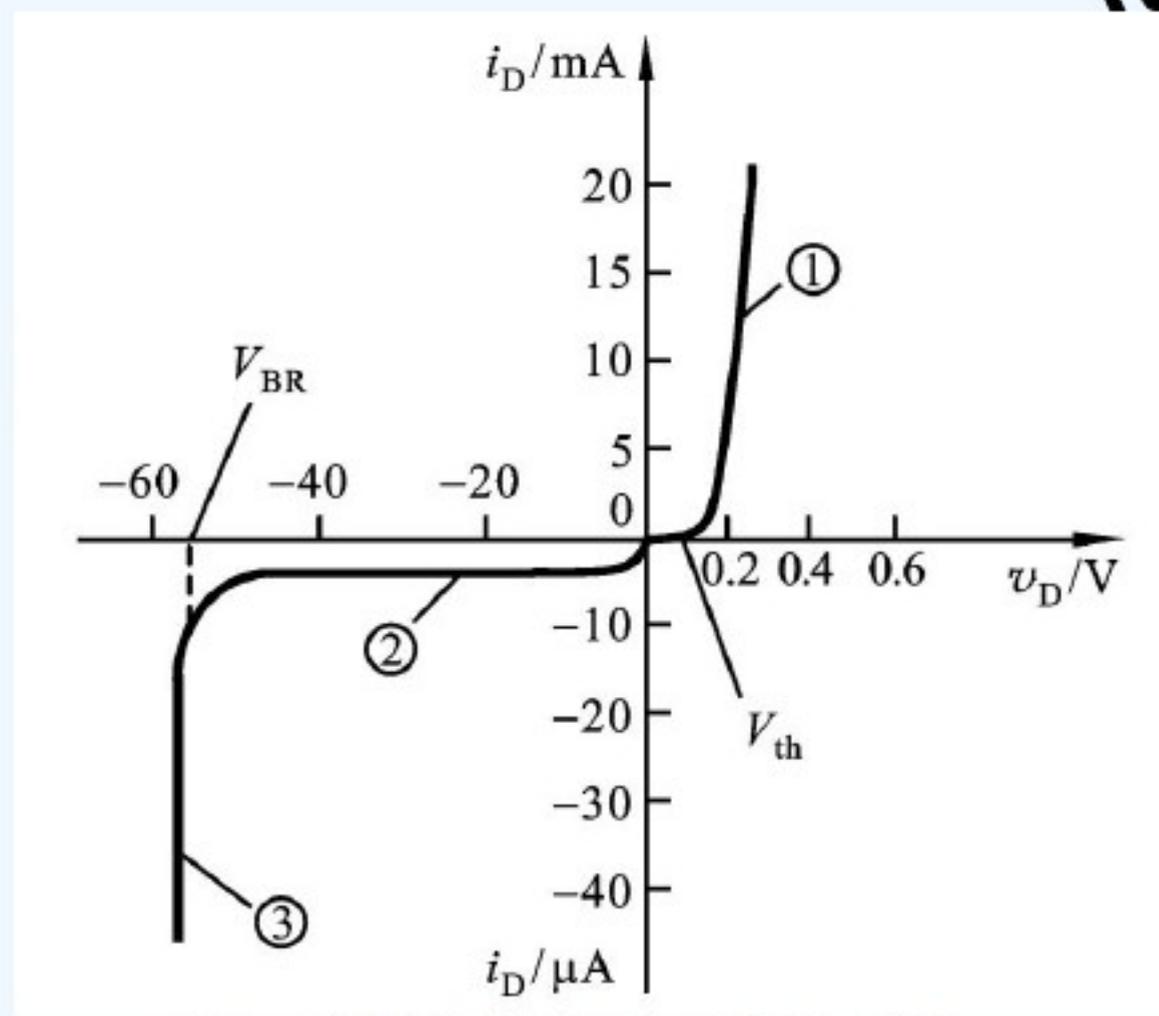
锗二极管 2AP15 的  $V-I$  特性

## 3.3.2 二极管的伏安特性

当  $V < 0$  时，即处于反向特性区域。反向区也分两个区域：

当  $V_{BR} < V < 0$  时，反向电流很小，且基本不随反向电压的变化而变化，此时的反向电流也称**反向饱和电流** $I_S$ 。

当  $V \geq V_{BR}$  时，反向电流急剧增加， $V_{BR}$  称为**反向击穿电压**。



锗二极管2AP15的  $V-I$  特性



### 3.3.3 二极管的主要参数

#### (1) 最大整流电流 $I_F$

二极管长期连续工作时，允许通过二极管的最大整流电流的平均值。

#### (2) 反向击穿电压 $V_{BR}$ 和最大反向工作电压 $V_{RM}$

二极管反向电流急剧增加时对应的反向电压值称为反向击穿电压  $V_{BR}$ 。

为安全计，在实际工作时，最大反向工作电压  $V_{RM}$  一般只按反向击穿电压  $V_{BR}$  的一半计算。



### 3.3.3 二极管的主要参数

(3) **反向电流 $I_R$**  在室温下，在规定的反向电压下，一般是最大反向工作电压下的反向电流值。硅二极管的反向电流一般在纳安(nA)级；锗二极管在微安( $\mu$ A)级。

(4) **正向压降 $V_F$**  在规定的正向电流下，二极管的正向电压降。小电流硅二极管的正向压降在中等电流水平下，约0.6~0.8V；锗二极管约0.2~0.3V。

(5) **极间电容 $C_d$  ( $C_B$ 、 $C_D$ )**



## 3.4 二极管基本电路及其分析方法

---

### 3.4.1 简单二极管电路的图解分析方法

### 3.4.2 二极管电路的简化模型分析方法

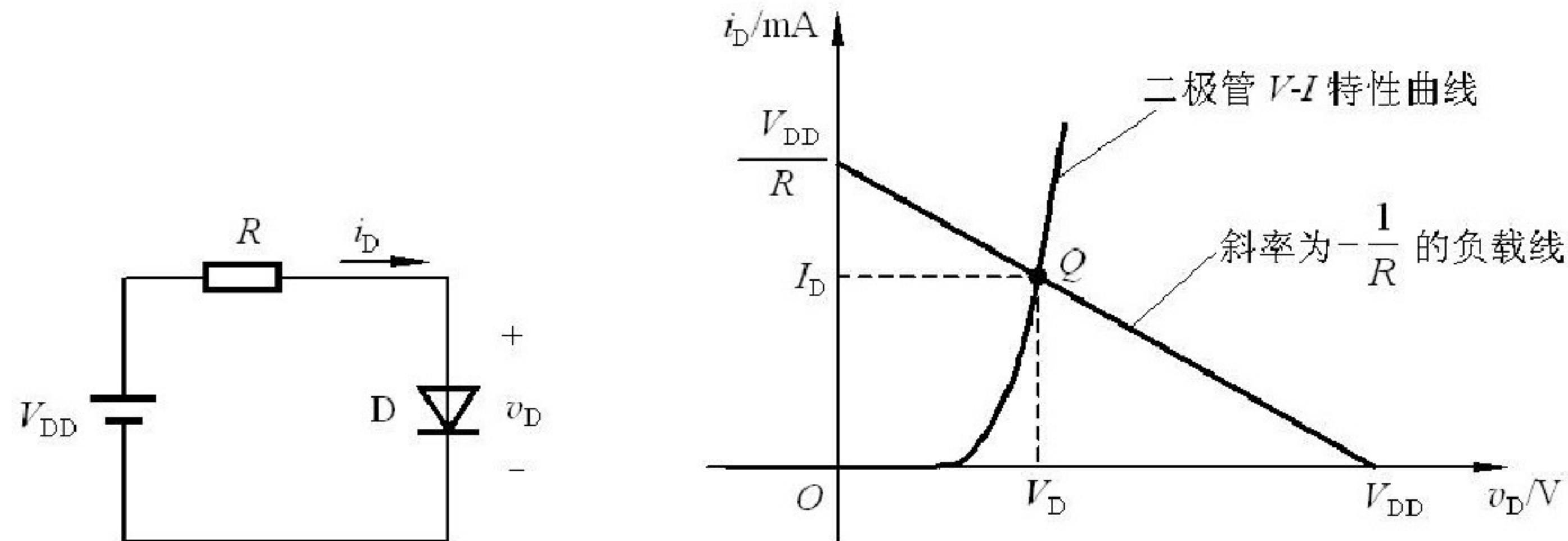


## 3.4.1 简单二极管电路的图解分析方法

二极管是一种非线性器件，因而其电路一般要采用非线性电路的分析方法，相对来说比较复杂，而图解分析法则较简单，但前提条件是已知二极管的  $V-I$  特性曲线。



例3.4.1 电路如图所示，已知二极管的  $V-I$  特性曲线、电源  $V_{DD}$  和电阻  $R$ ，求二极管两端电压  $v_D$  和流过二极管的电流  $i_D$



解：由电路的KVL方程，可得  $i_D = \frac{V_{DD} - v_D}{R}$

即  $i_D = -\frac{1}{R}v_D + \frac{1}{R}V_{DD}$  是一条斜率为  $-1/R$  的直线，称为**负载线**

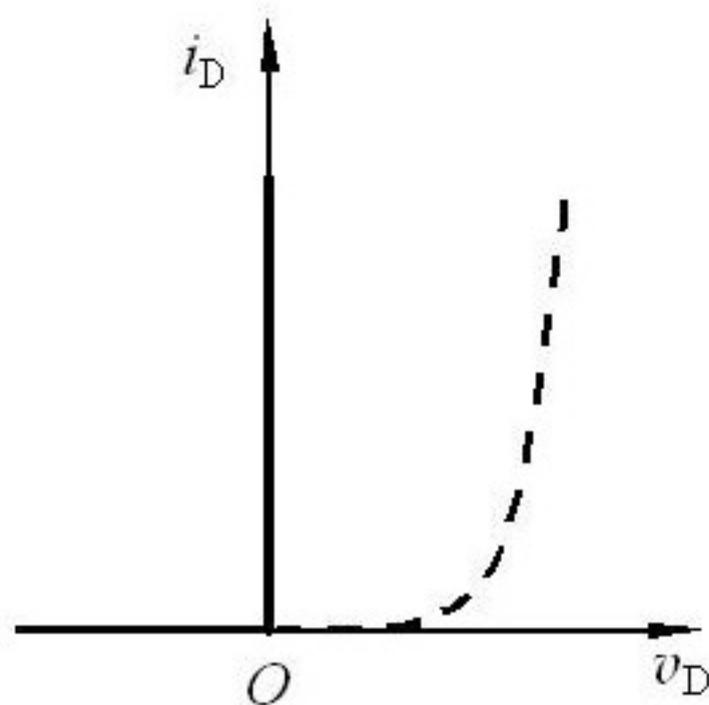
的坐标值  $(V_D, I_D)$  即为所求。  $Q$  点称为电路的**工作点**

## 3.4.2 二极管电路的简化模型分析方法

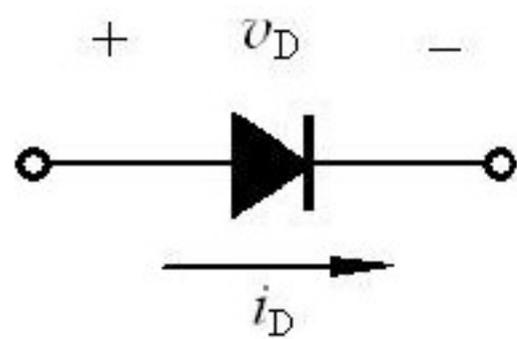
### 1. 二极管 $V-I$ 特性的建模

将指数模型  $i_D = I_S (e^{v_D/V_T} - 1)$  分段线性化，得到二极管特性的等效模型。

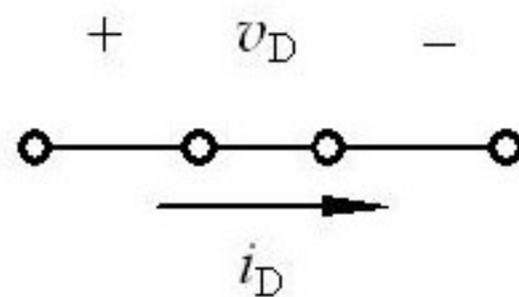
#### (1) 理想模型



(a)

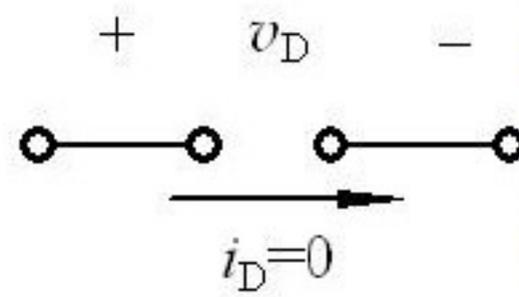


(b)



$$(i_D > 0, v_D = 0)$$

(c)



$$(v_D < 0, i_D = 0)$$

(d)

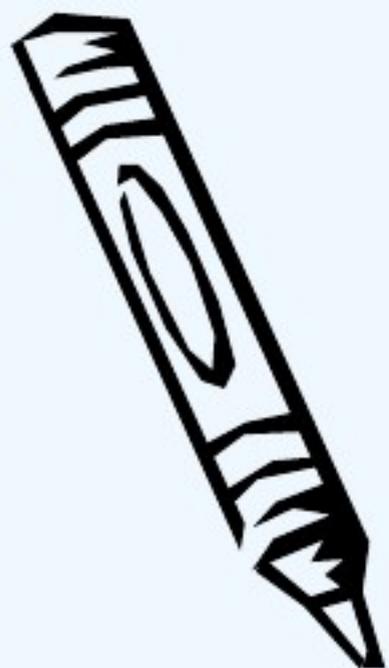
(a)  $V-I$  特性

(b) 代表符号

(c) 正向偏置时的电路模型

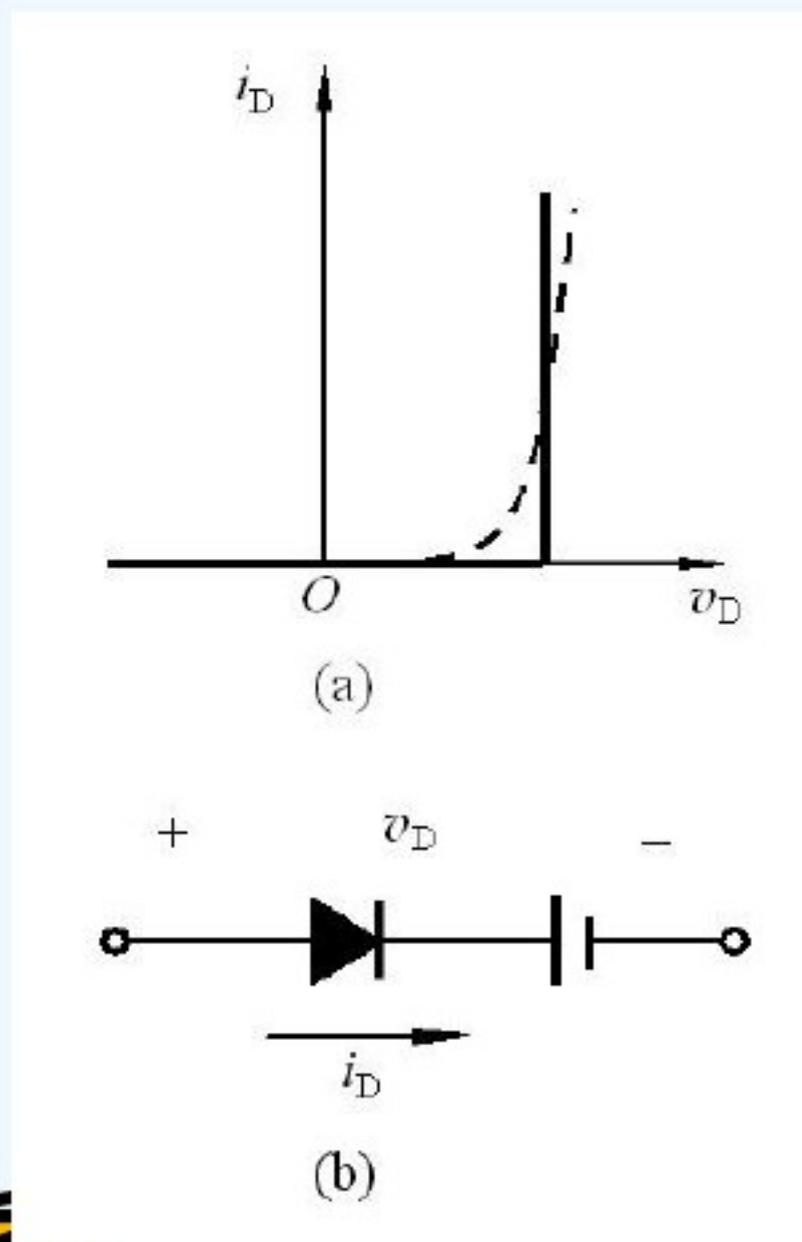
(d) 反向偏置时的电路模型

# 3.4.2 二极管电路的简化模型分析方法



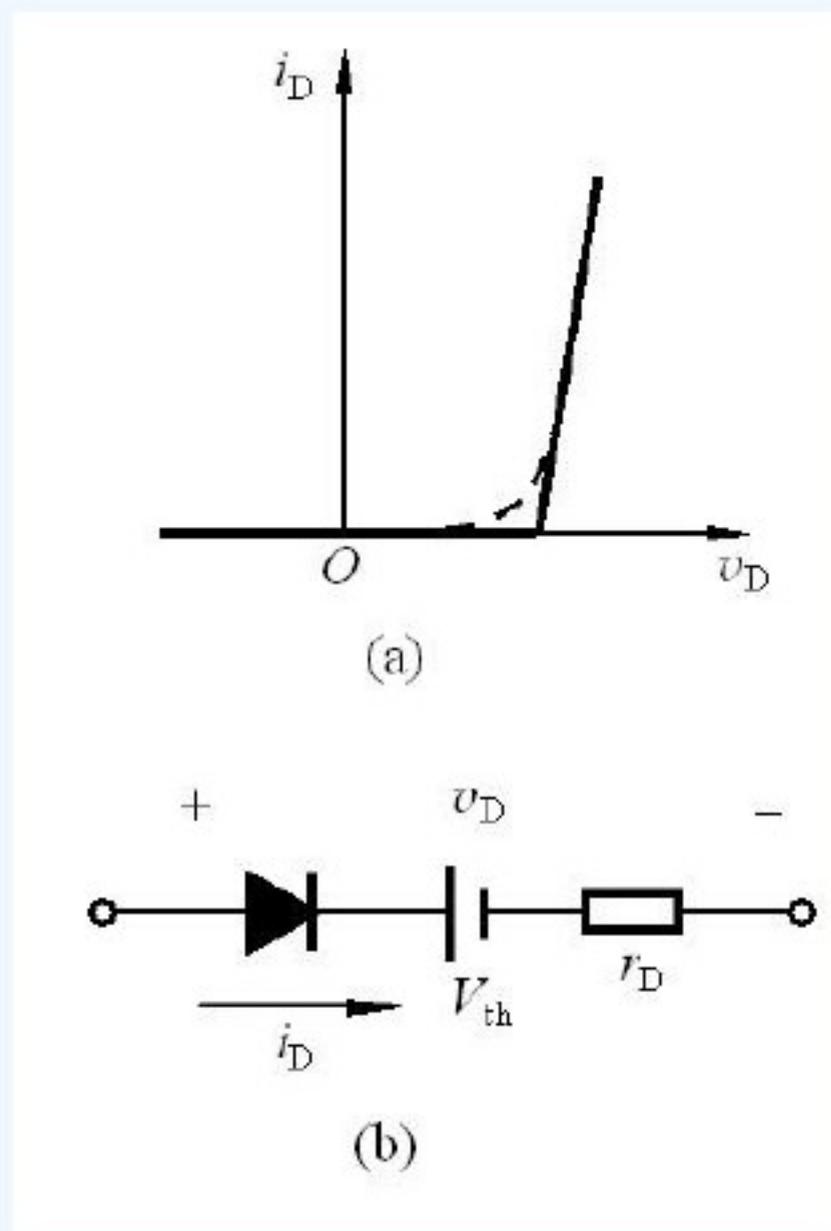
## 1. 二极管 $V-I$ 特性的建模

### (2) 恒压降模型



(a)  $V-I$  特性 (b) 电路模型

### (3) 折线模型



(a)  $V-I$  特性 (b) 电路模型



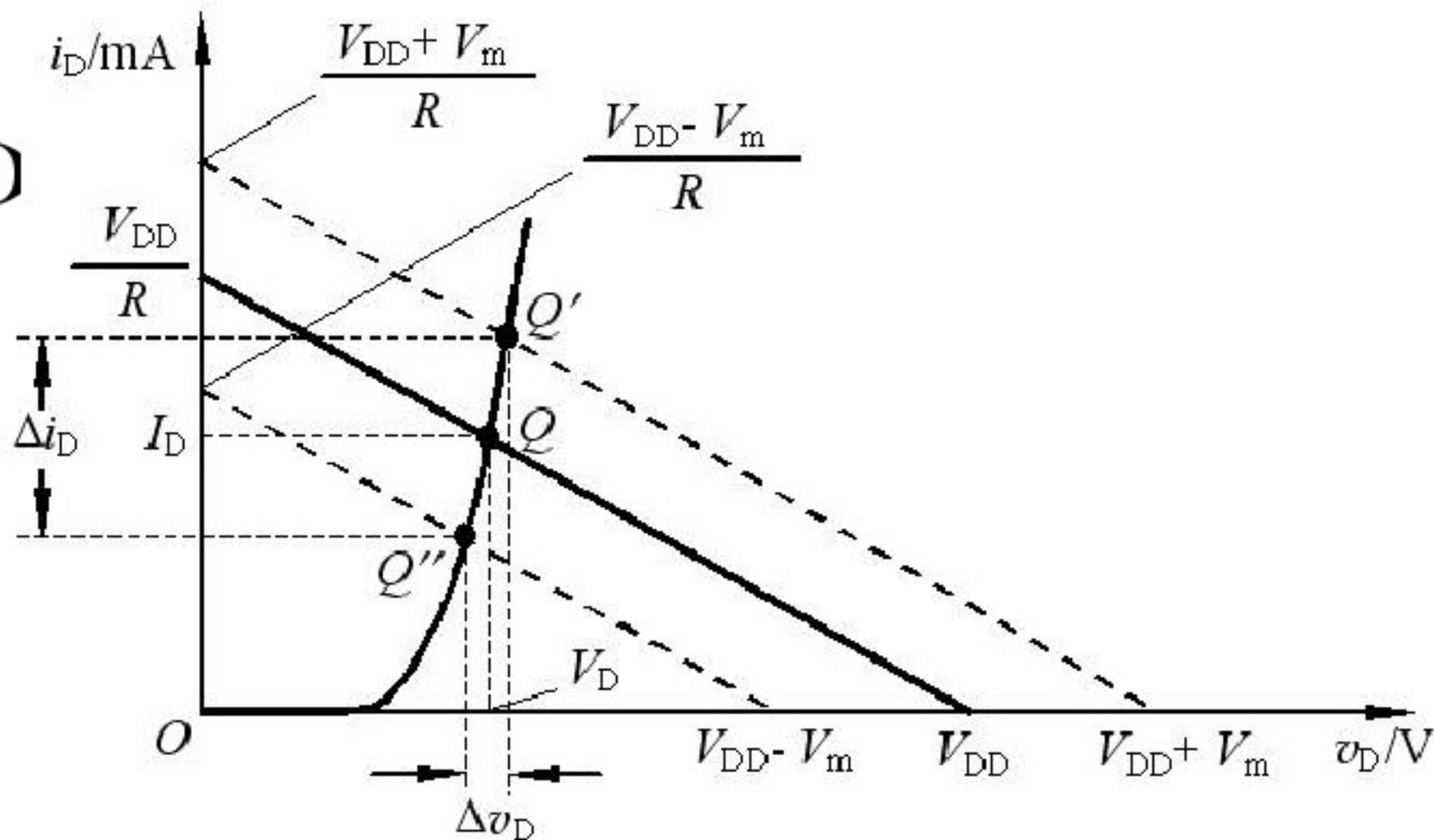
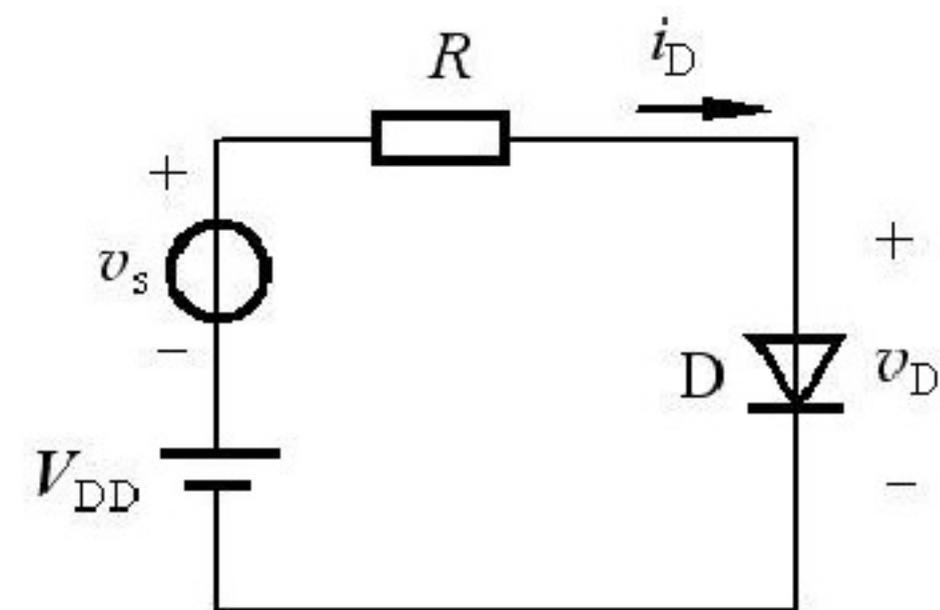
# 3.4.2 二极管电路的简化模型分析方法



## 1. 二极管 $V-I$ 特性的建模

### (4) 小信号模型

$$i_D = \frac{1}{R} v_D + \frac{1}{R} (V_{DD} + v_s)$$



$v_s = 0$  时,  $Q$  点称为静态工作点, 反映直流时的工作状态。

$v_s = v_m \sin(\omega t)$  时 ( $V_m \ll V_{DD}$ ), 将  $Q$  点附近小范围内的  $V-I$  特性线性化, 得到小信号模型, 即以  $Q$  点为切点的一条直线。

## 3.4.2 二极管电路的简化模型分析方法

### 1. 二极管 $V-I$ 特性的建模

#### (4) 小信号模型

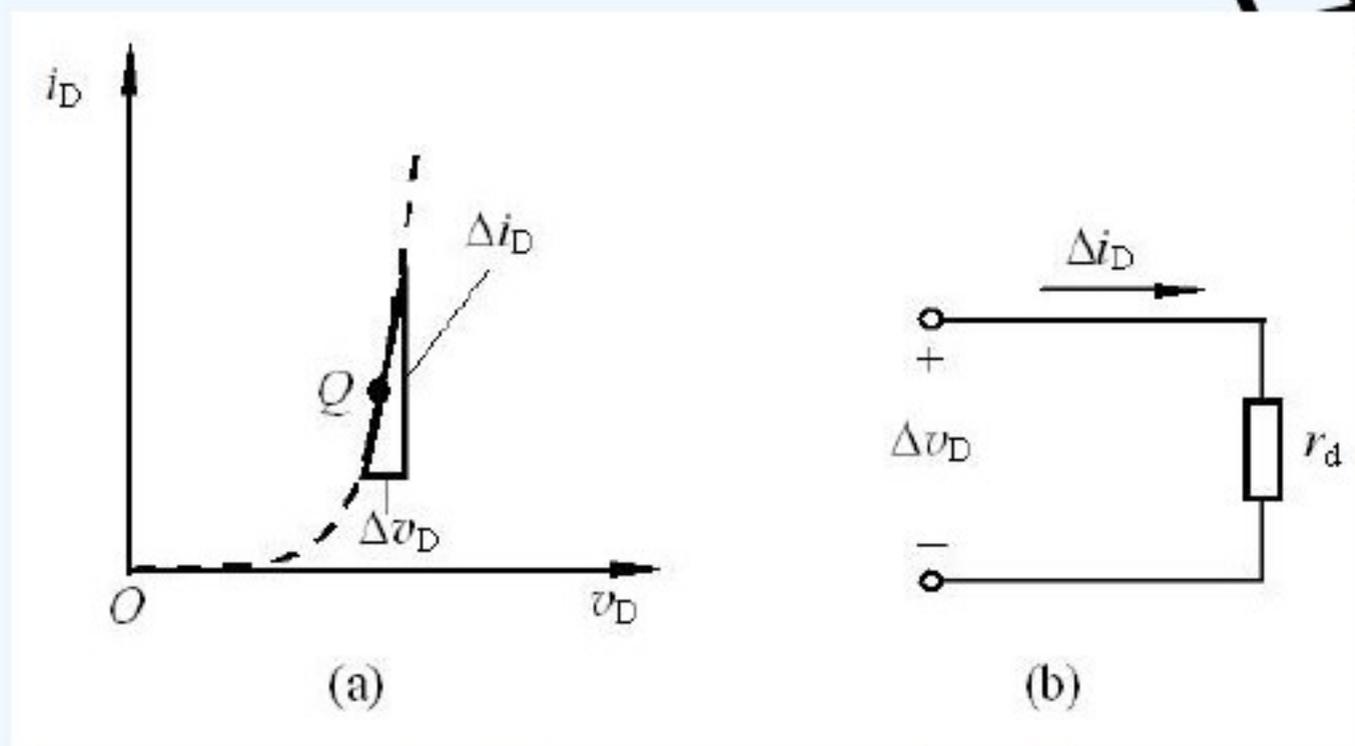
过  $Q$  点的切线可以等效成一个微变电阻

$$\text{即 } r_d = \frac{\Delta v_D}{\Delta i_D}$$

根据  $i_D = I_S(e^{v_D/V_T} - 1)$

得  $Q$  点处的微变电导

$$g_d = \left. \frac{di_D}{dv_D} \right|_Q = \frac{I_S}{V_T} e^{v_D/V_T} \Big|_Q \approx \frac{i_D}{V_T} \Big|_Q = \frac{I_D}{V_T} \quad \text{则 } r_d = \frac{1}{g_d} = \frac{V_T}{I_D}$$



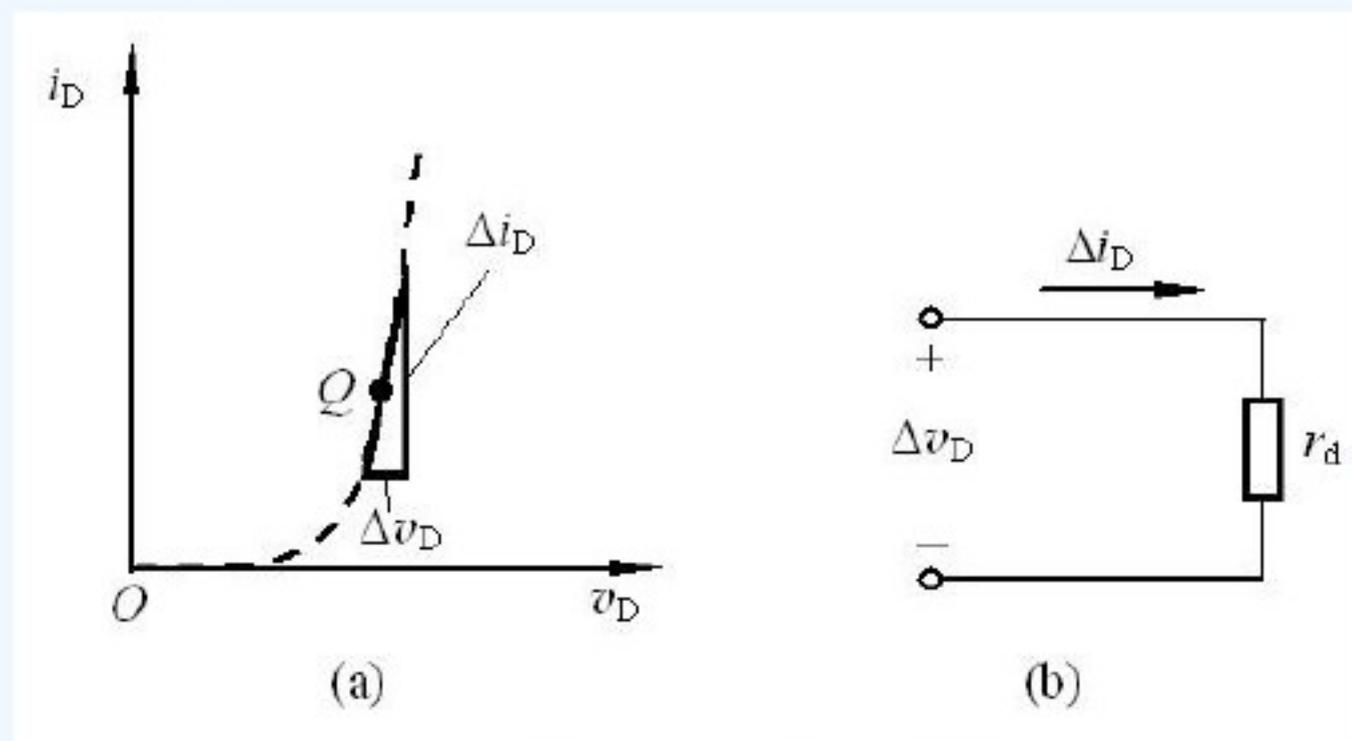
(a)  $V-I$  特性 (b) 电路模型

$$r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26(\text{mV})}{I_D(\text{mA})}$$

## 3.4.2 二极管电路的简化模型分析方法

### 1. 二极管 $V-I$ 特性的建模

#### (4) 小信号模型



(a)  $V-I$ 特性 (b) 电路模型

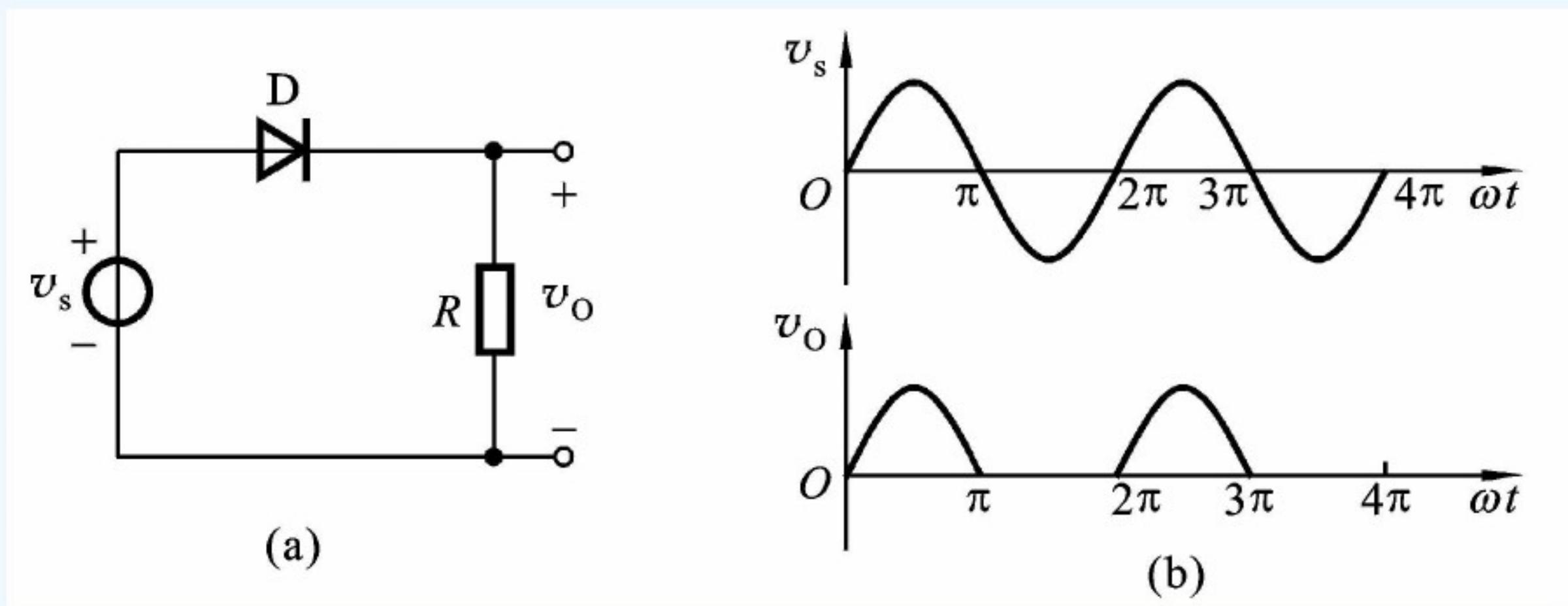
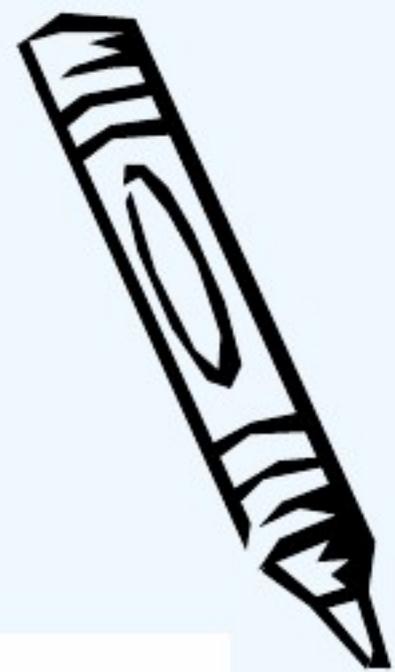
#### 特别注意：

- 小信号模型中的微变电阻  $r_d$  与静态工作点  $Q$  有关。
- 该模型用于二极管处于正向偏置条件下，且  $v_D \gg V_T$ 。

## 3.4.2 二极管电路的简化模型分析方法

### 2. 模型分析法应用举例

#### (1) 整流电路



(a) 电路图

(b)  $v_s$ 和 $v_o$ 的波形



## 2. 模型分析法应用举例

### (2) 静态工作情况分析

当  $V_{DD}=10V$  时, ( $R=10k\Omega$ )

理想模型

$$V_D = 0V \quad I_D = \frac{V_{DD}}{R} = 1mA$$

恒压模型

$$V_D = 0.7V \text{ (硅二极管典型值)}$$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R} = 0.93mA$$

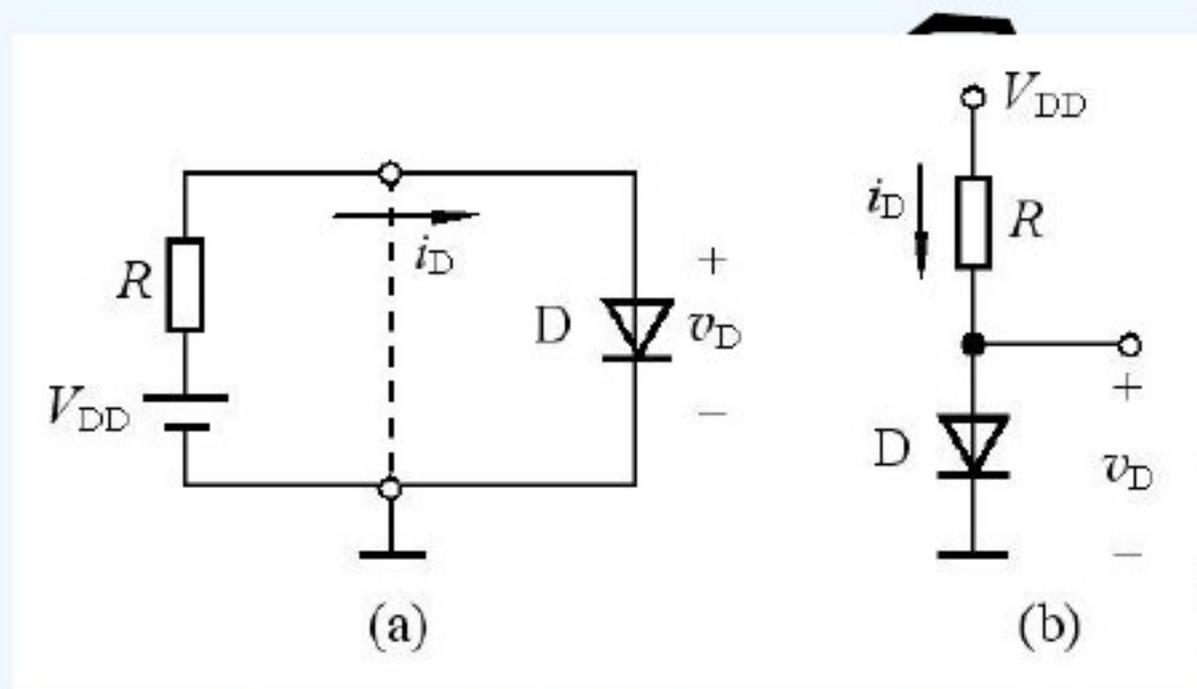
折线模型

$$V_{th} = 0.5V \text{ (硅二极管典型值)}$$

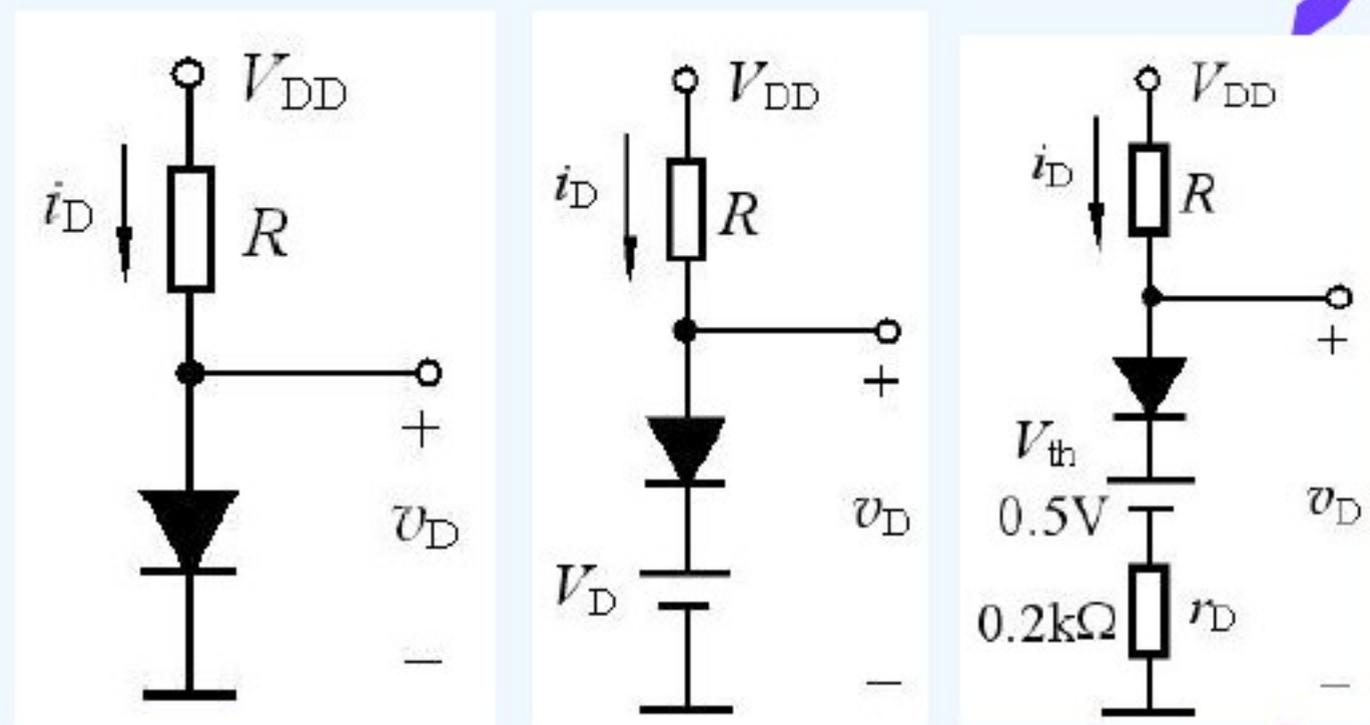
设  $r_D = 0.2k\Omega$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{th}}{R + r_D} = 0.93mA$$

当  $V_D = 1V$  时, (自看)



(a) 简单二极管电路 (b) 习惯画法



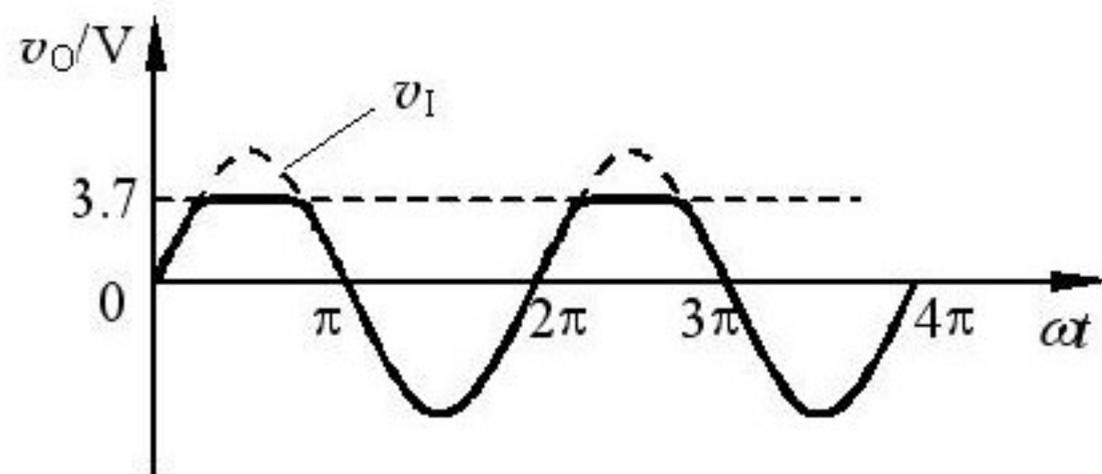
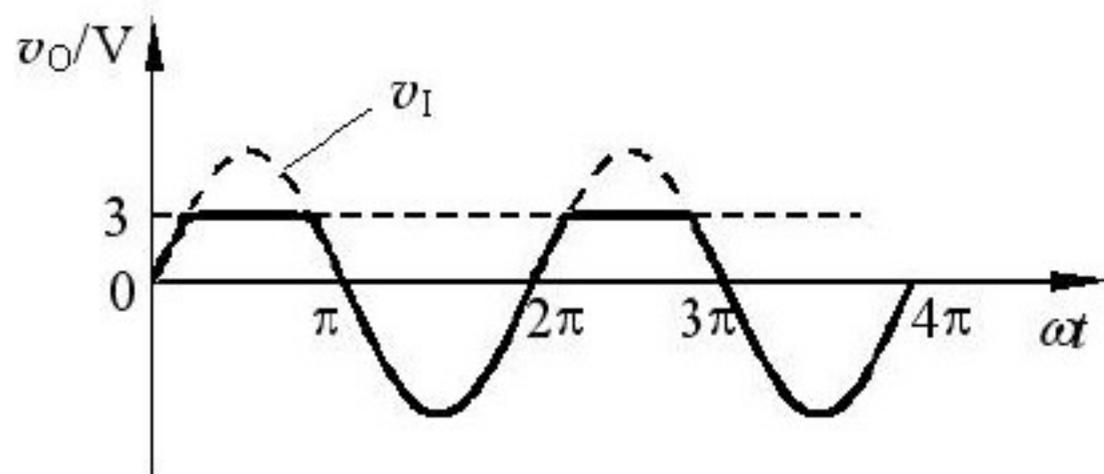
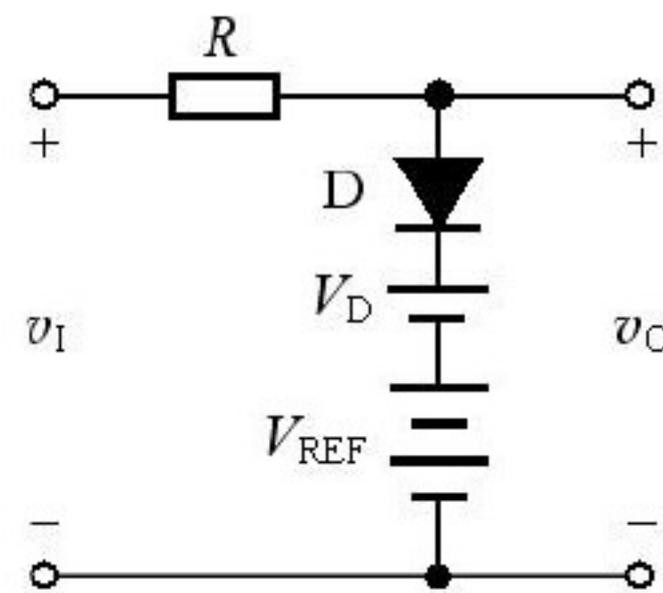
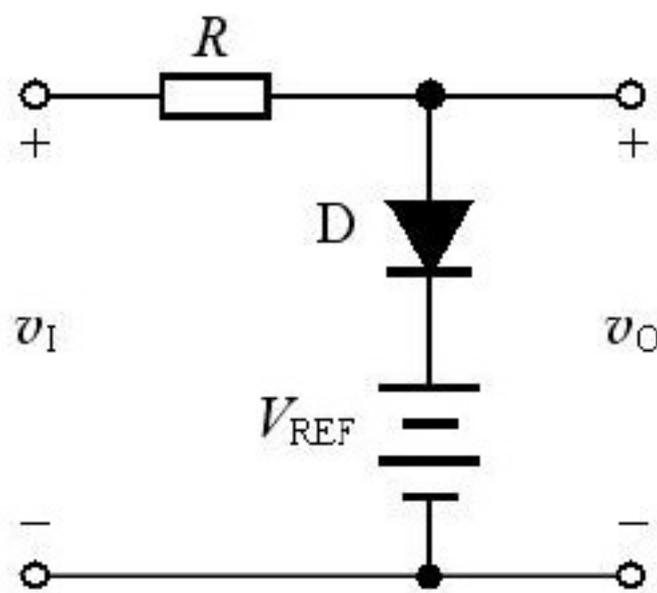
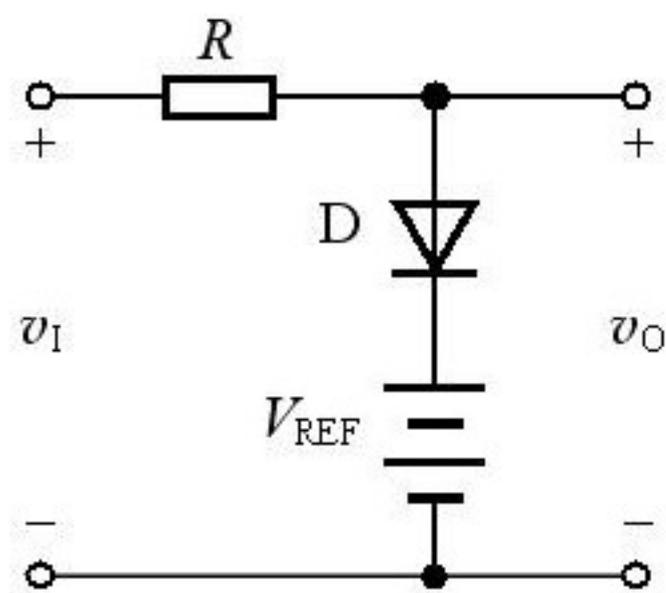
$$V_D = V_{th} + I_D r_D = 0.6V$$



## 2. 模型分析法应用举例

### (3) 限幅电路

电路如图， $R = 1\text{k}\Omega$ ， $V_{\text{REF}} = 3\text{V}$ ，二极管为硅二极管。分别用理想模型和恒压降模型求解，当 $v_I = 6\sin\omega t$  V时，绘出相应的输出电压 $v_O$ 的波形。



(d)

(e)

## 2. 模型分析法应用举例

### (4) 开关电路

电路如图所示，求AO的电压值

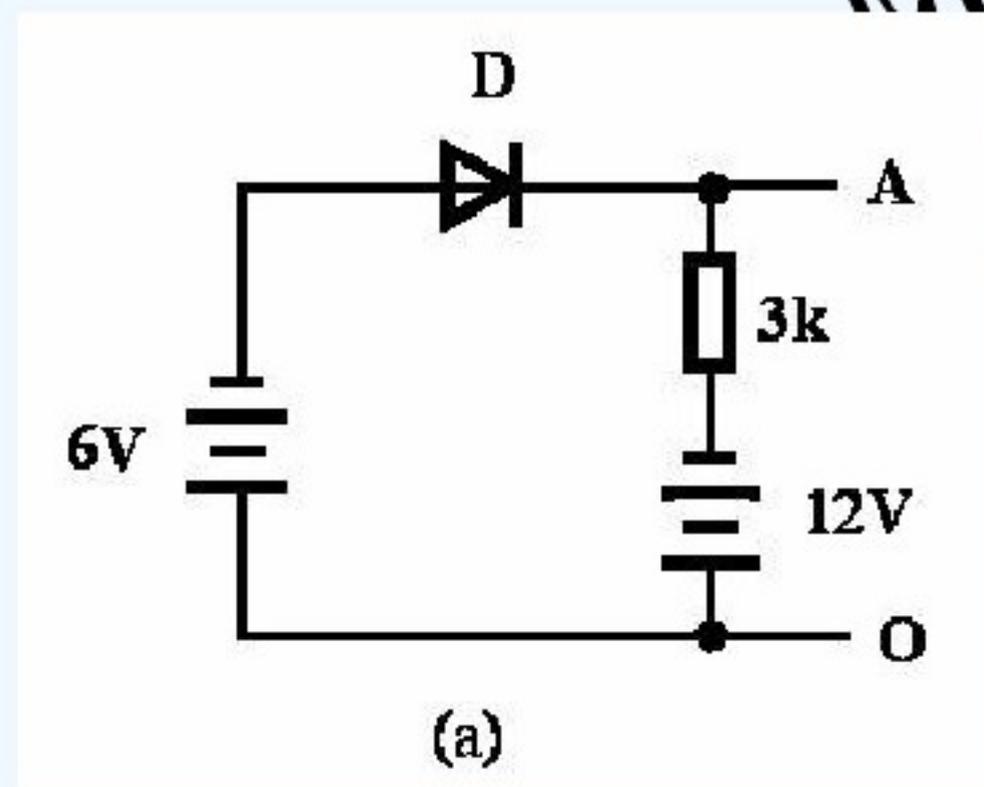
解：先断开D，以O为基准电位，  
即O点为0V。

则接D阳极的电位为-6V，接阴极的电位为-12V。

阳极电位高于阴极电位，D接入时正向导通。

导通后，D的压降等于零，即A点的电位就是D阳极的电位。

所以，AO的电压值为-6V。



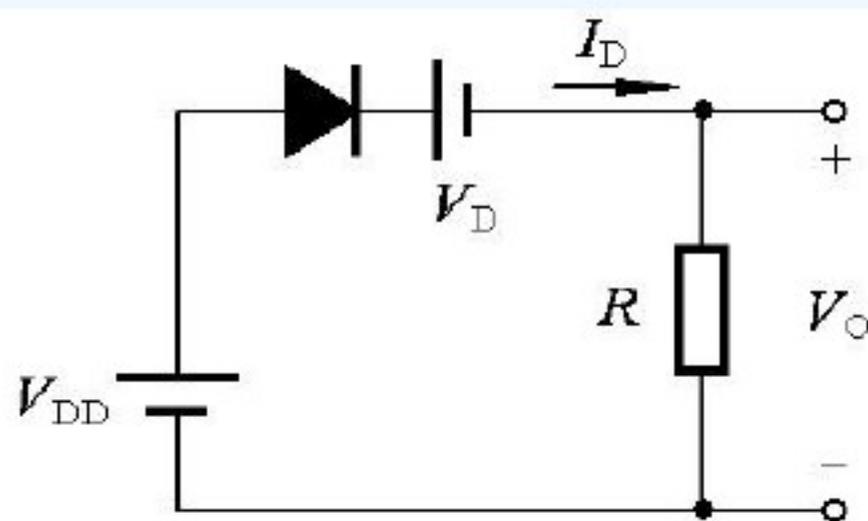
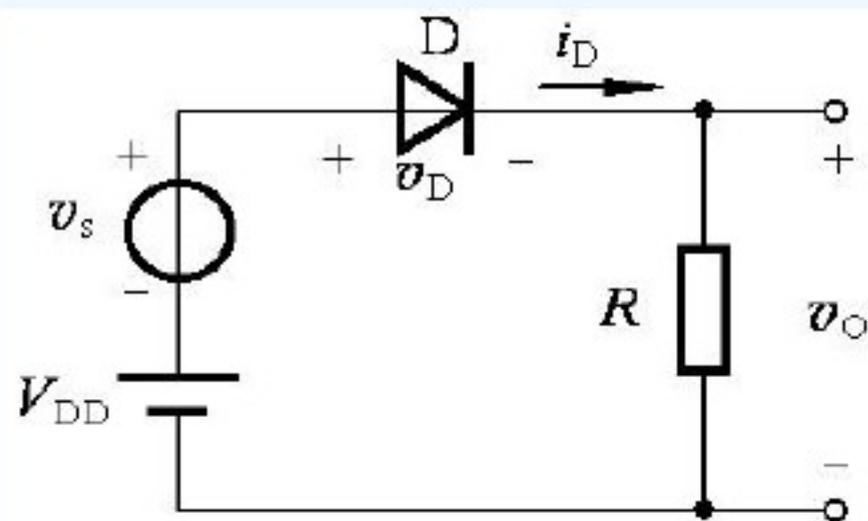
## 2. 模型分析法应用举例

直流通路、交流通路、静态、动态等概念，在放大电路的分析中非常重要。

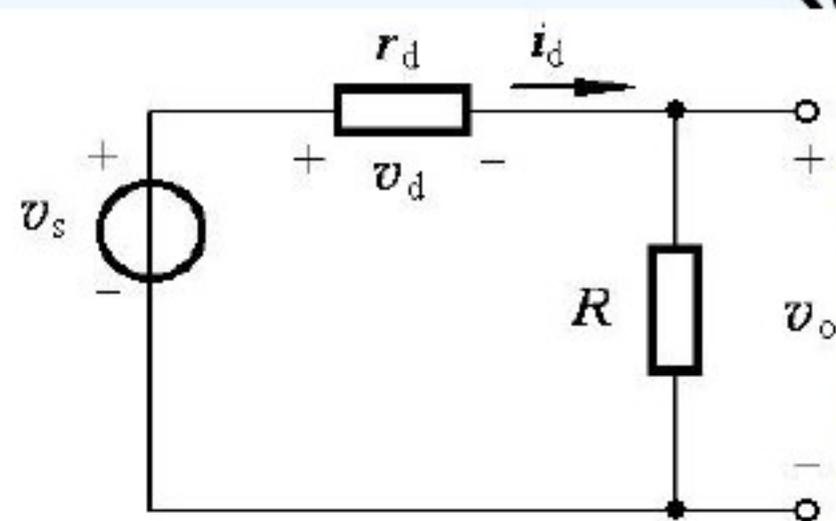
### (6) 小信号工作情况分析

图示电路中， $V_{DD} = 5V$ ， $R = 5k\Omega$ ，恒压降模型的 $V_D = 0.7V$ ， $v_s = 0.1\sin\omega t V$ 。

(1) 求输出电压 $v_o$ 的交流量和总量；(2) 绘出 $v_o$ 的波形。



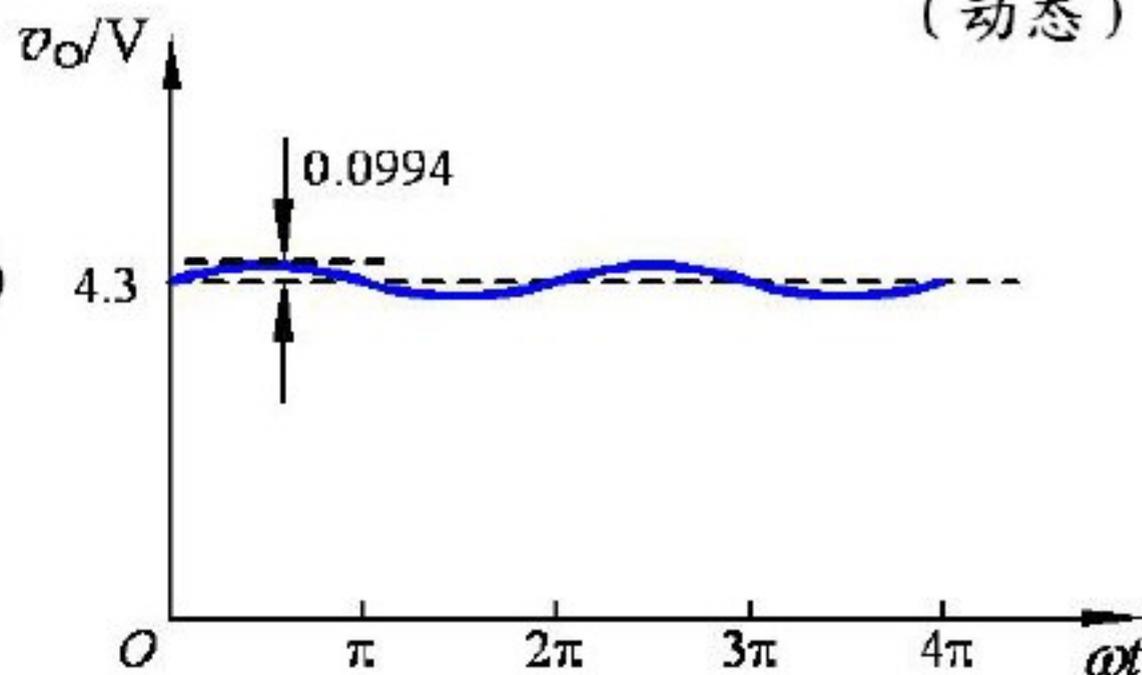
直流通路 (静态)



小信号模型的交流通路 (动态)

解得:

$$v_o = V_O + v_o = 4.3 + 0.0994\sin\omega t \quad (V)$$



# 3.5 特殊二极管

## 3.5.1 齐纳二极管(稳压二极管)

### 1. 符号及稳压特性

利用二极管反向击穿特性实现稳压。稳压二极管稳压时工作在反向电击穿状态。

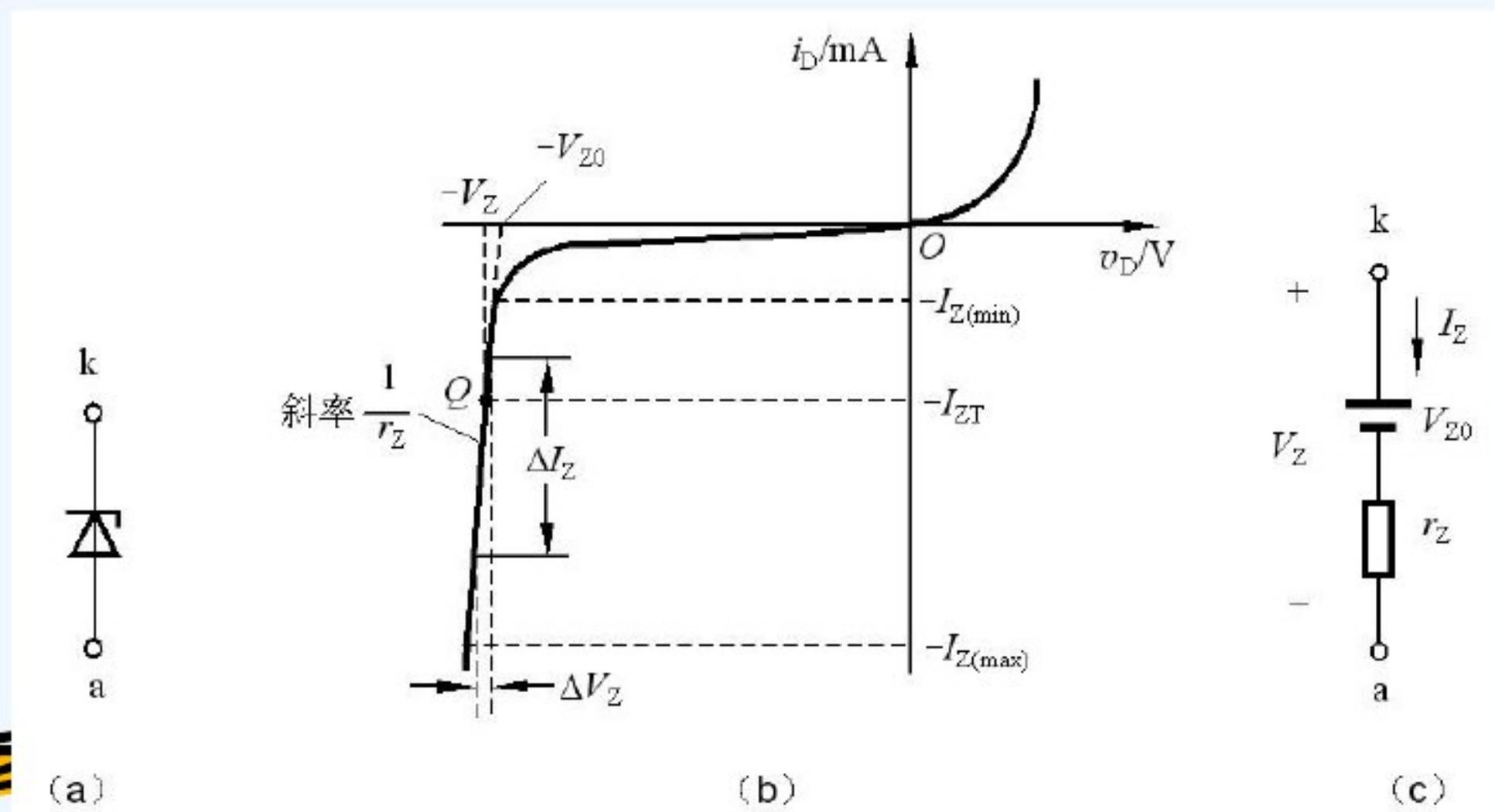


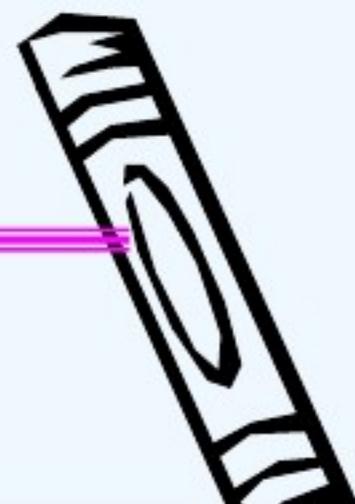
图 3.5.1 稳压管的代表符号与 V-I 特性

(a) 代表符号

(b) V-I 特性

(c) 反向击穿时的模型

## 3.5.1 齐纳二极管



### 2. 稳压二极管主要参数

#### (1) 稳定电压 $V_Z$

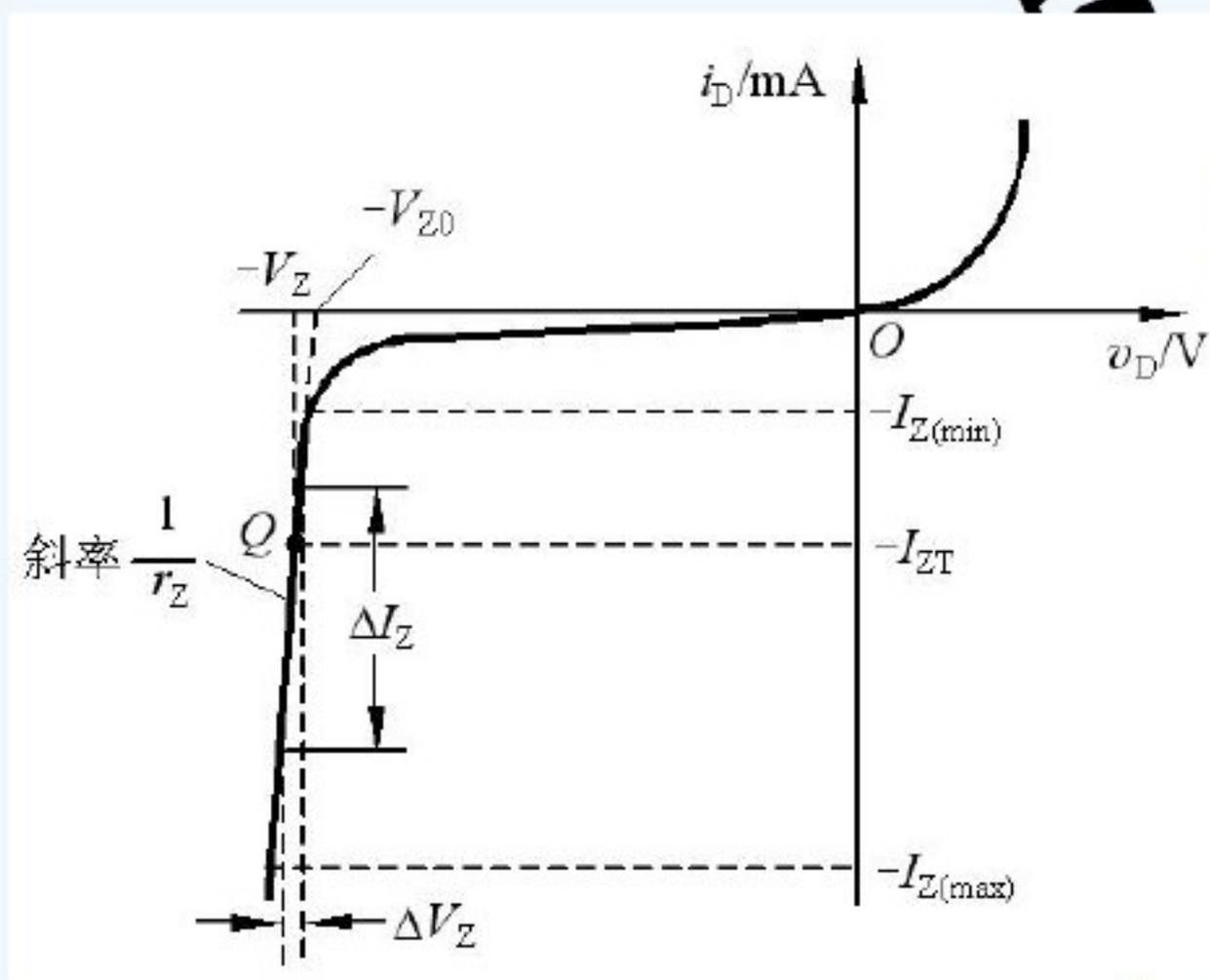
在规定的稳压管反向工作电流  $I_Z$  下，所对应的反向工作电压。

#### (2) 动态电阻 $r_Z$

$$r_Z = \Delta V_Z / \Delta I_Z$$

#### (3) 最大耗散功率 $P_{ZM}$

#### (4) 最大稳定工作电流 $I_{Zmax}$ 和最小稳定工作电流 $I_{Zmin}$



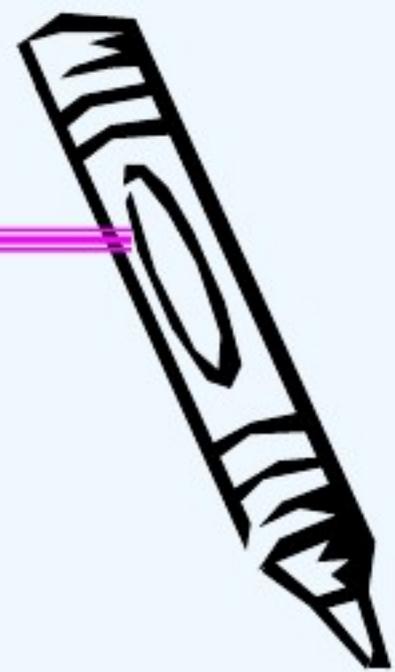
稳定电压温度系数  $\alpha_{V_Z}$



HOME

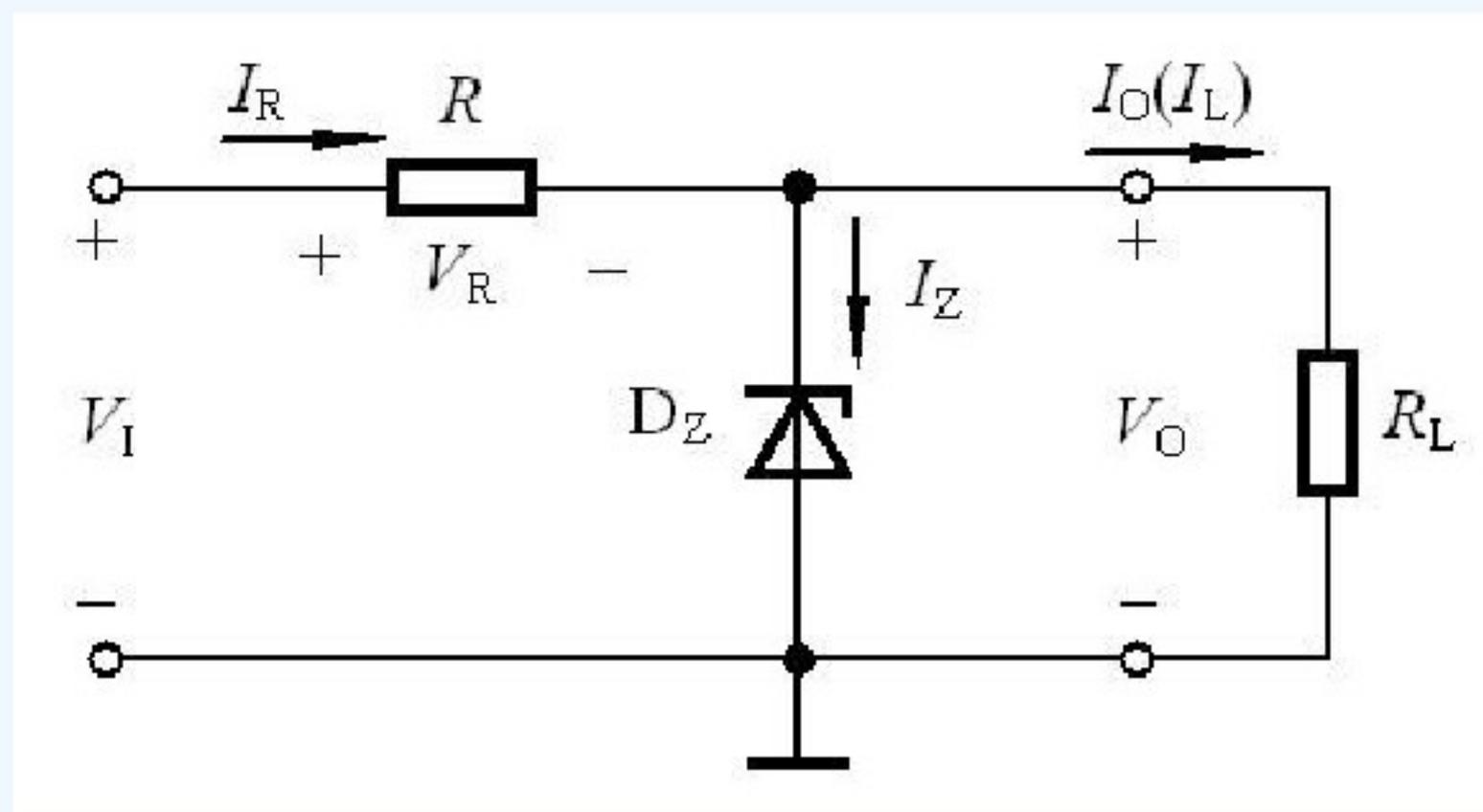


## 3.5.1 齐纳二极管

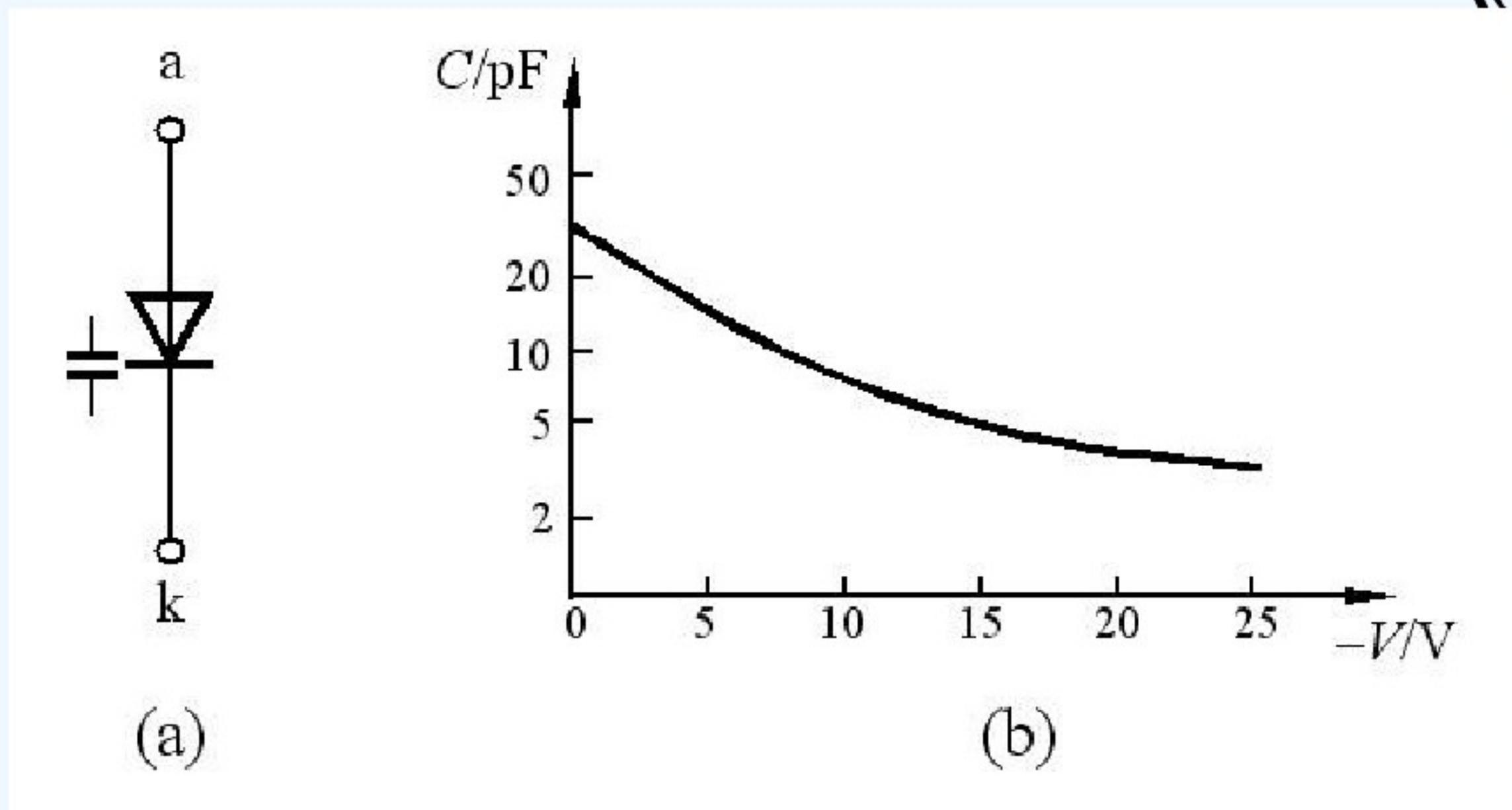


### 3. 稳压电路

正常稳压时  $V_O = V_Z$



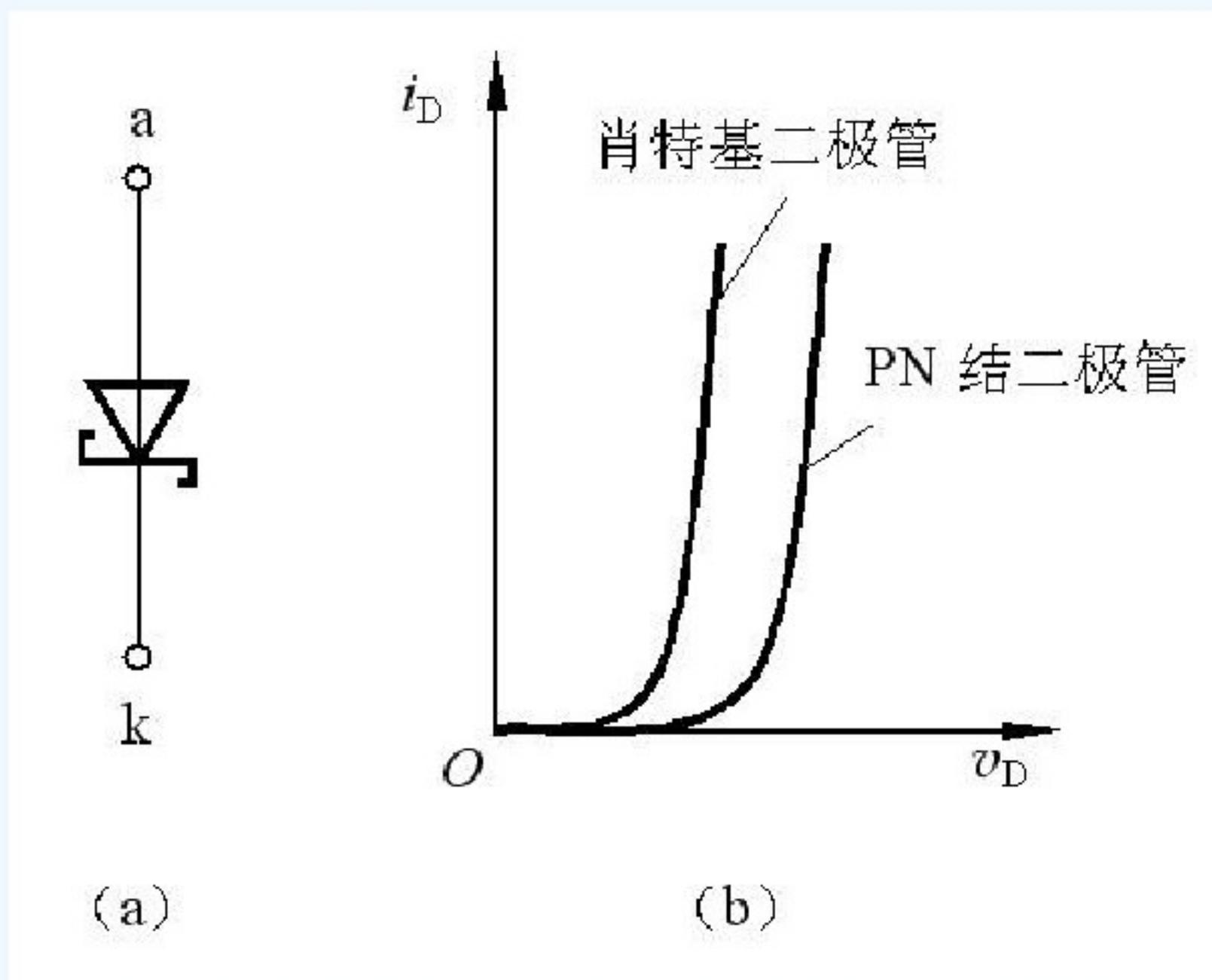
## 3.5.2 变容二极管



(a) 符号 (b) 结电容与电压的关系 (纵坐标为对数刻度)

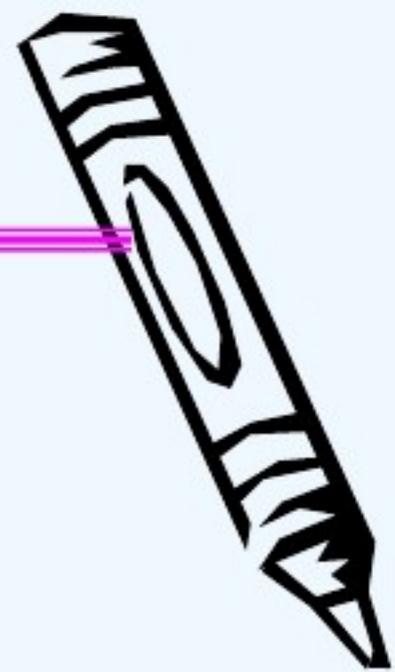


### 3.5.3 肖特基二极管



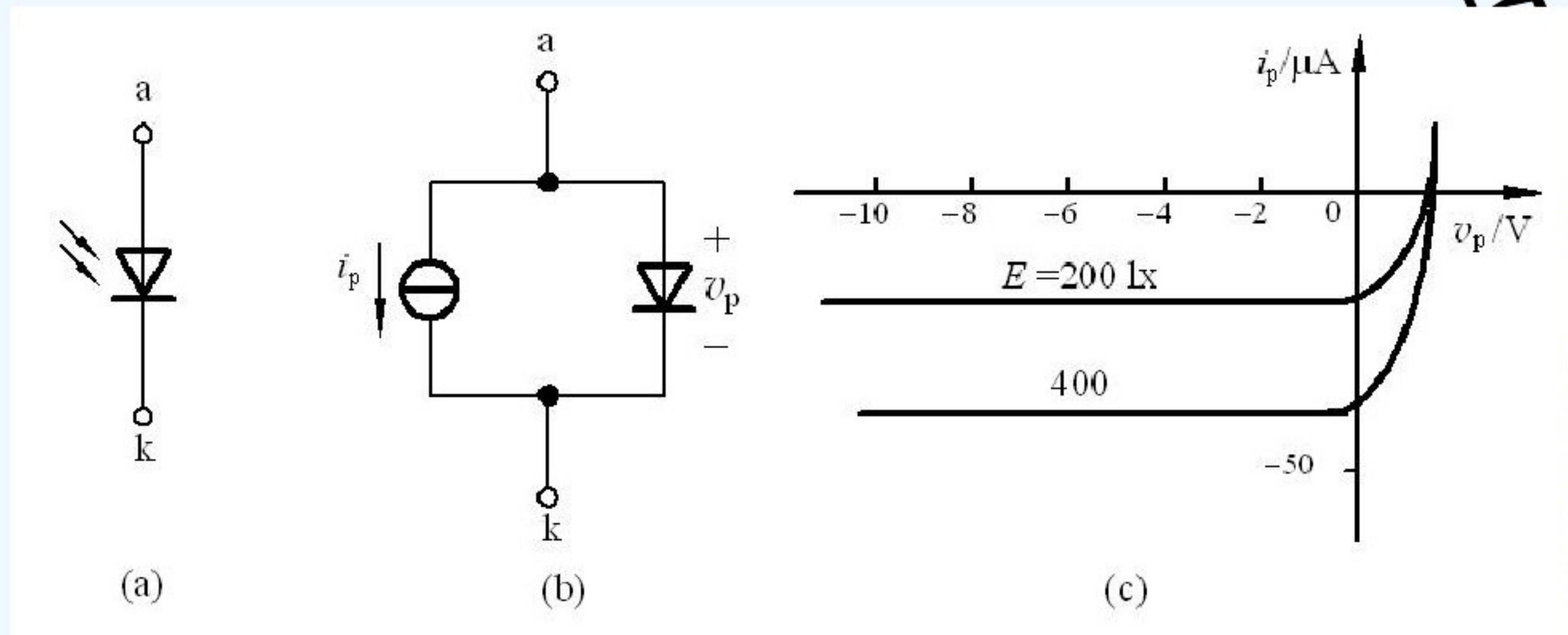
(a) 符号

(b) 正向  $V-I$  特性



## 3.5.4 光电子器件

### 1. 光电二极管

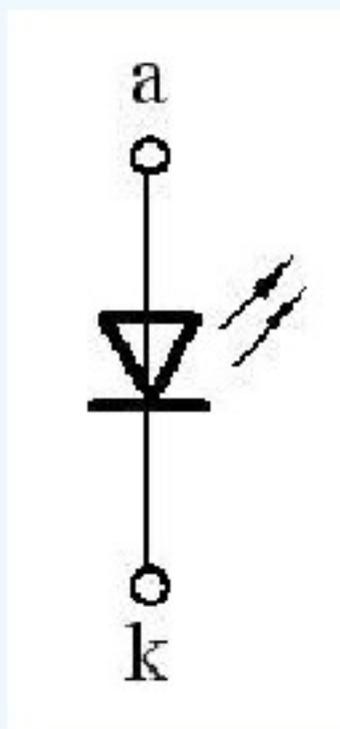


(a) 符号 (b) 电路模型 (c) 特性曲线

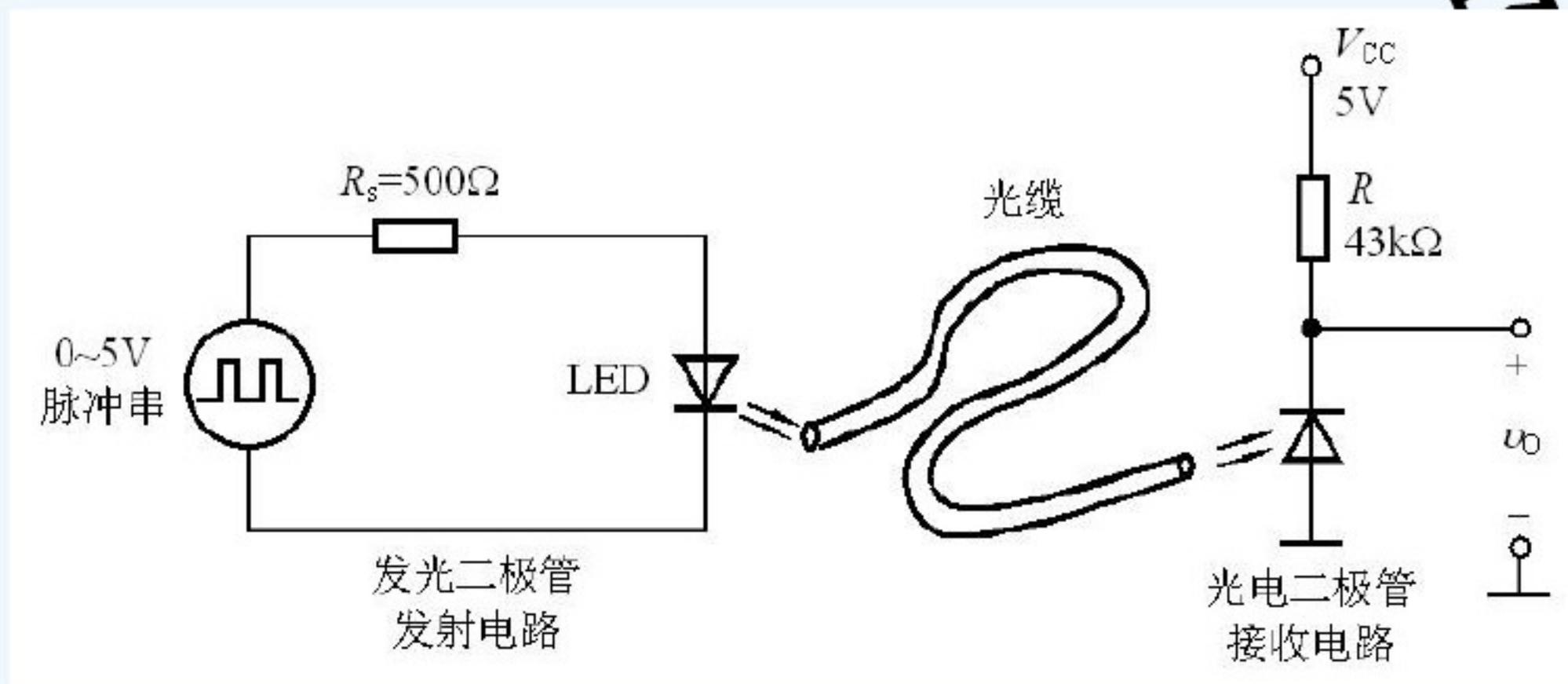


# 3.5.4 光电子器件

## 2. 发光二极管



符号

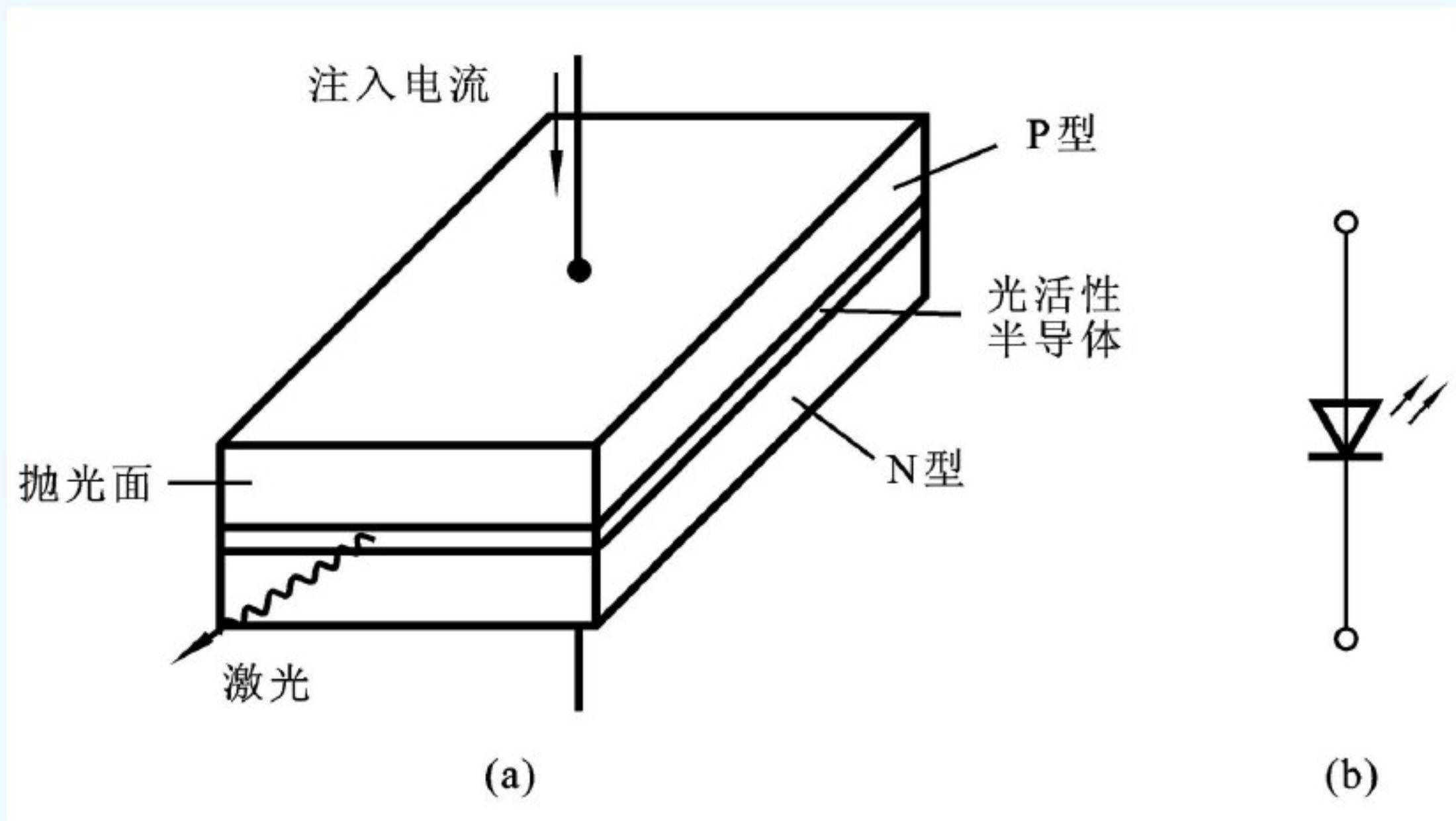


光电传输系统



## 3.5.4 光电子器件

### 3. 激光二极管



(a) 物理结构 (b) 符号

{end}

此课件下载可自行编辑修改，此课件供参考！  
部分内容来源于网络，如有侵权请与我联系删除！