

电路与电子技术基础

第四章 半导体基础

宋雪萌

songxuемeng@sdu.edu.cn

目录

4.1 半导体的导电特性

4.2 半导体二极管

4.3 二极管电路的分析计算

4.4 半导体三极管

4.5 晶体管三极管的工作状态分析

目录

4.1 半导体的导电特性

4.2 半导体二极管

4.3 二极管电路的分析计算

4.4 半导体三极管

4.5 晶体管三极管的工作状态分析

半导体

半导体：导电能力介于导体与绝缘体之间的物质。



半导体

半导体：导电能力介于导体与绝缘体之间的物质。

半导体特点：重量轻，体积小，耗电少，寿命长，工作可靠。

重要半导体：硅（Si）、锗（Ge）、砷化镓（GaAs），磷化铟（InP），氮化镓（GaN），碳化硅（SiC）。

半导体

半导体是形成元器件特性的核心材料。

很多半导体的导电能力在不同条件下有很大差别。

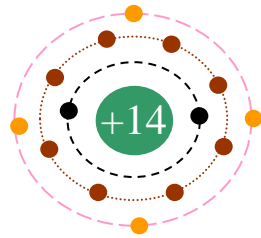
有些半导体（如钴、锰、镍等氧化物）对温度的反应特别敏感，环境温度增高时，它们的导电能力要增强很多。利用这种特性可以做成各种**热敏电阻**。

有些半导体（如镉、铅等硫化物与硒化物）受到光照时，它们的导电能力变得很强，当无光照时，又变得像绝缘体一样不导电。利用这种特性可以做成各种**光敏电阻**。

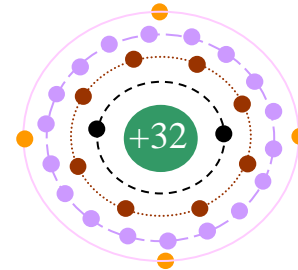
纯净的半导体掺入微量的某种杂质元素后，他的导电能力能大大增加。利用该特性可以做成各种不同用途的半导体器件，如**半导体二极管、三极管、场效应管及晶闸管**等。

物质结构

原子 = 原子核（正电）+ 电子（负电）



硅原子结构示意图

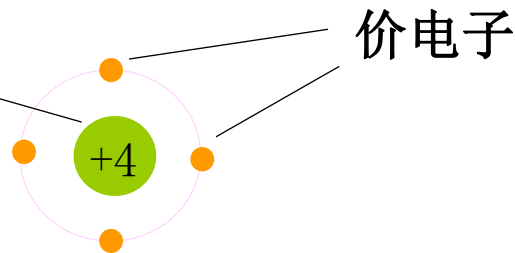


锆原子结构示意图

简化

惯性核表示原子核所带正电荷与内层电子中和后的电荷量

惯性核



价电子

原子中的**最外层电子**

硅及锆原子结构的简化模型

共价键

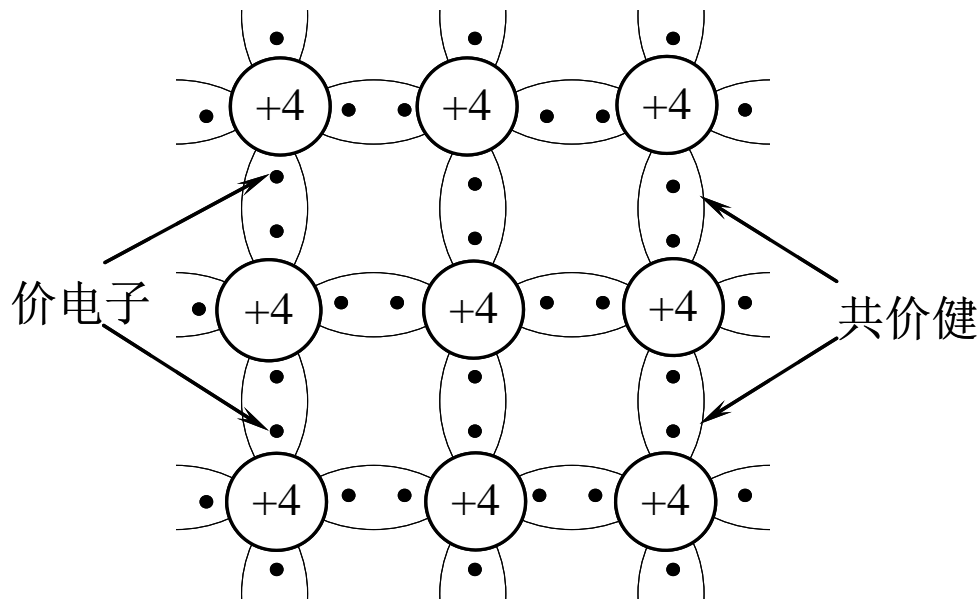
将硅高度提纯，可制成的单晶体（**单晶硅**），所有原子便基本上整齐排列。

半导体一般都具有这种晶体结构，因此半导体也称**晶体**，这也是晶体管名称的由来。

纯净的、具有晶体（单晶）结构的半导体称为**本征半导体**。

共价键中的价电子受原子核的吸引力很强，称为**束缚电子**。绝对零度即 $T=0K$ ，或无外界激发时，半导体不能导电。

相邻的两个原子各有一个价电子在同一轨道上，形成共有的一对价电子。这样组合称为**共价键**。

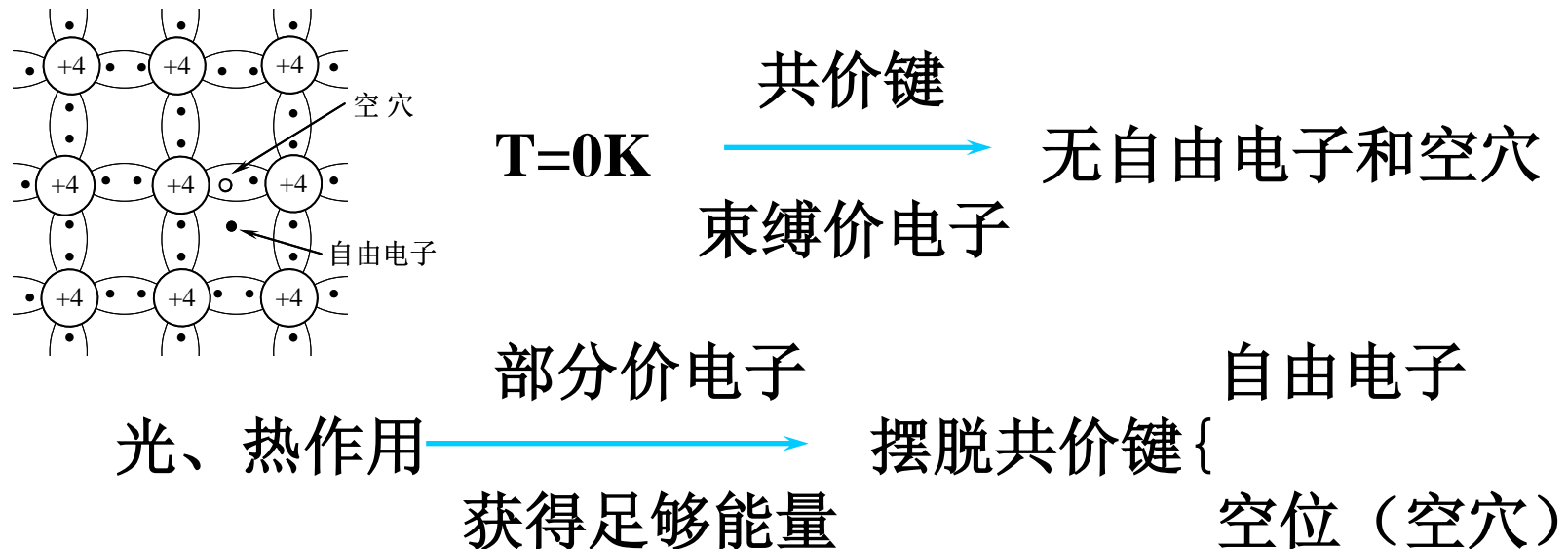


晶体结构示意图

本征激发

本征激发：半导体在**加热或光照**作用下，价电子获的能量，脱离共价键束缚，成为**自由电子**（带负电的粒子）；原来位置缺少电子，成为“**空穴**”，空穴相当于**带正电的粒子**，由此产生**电子—空穴对**的现象。

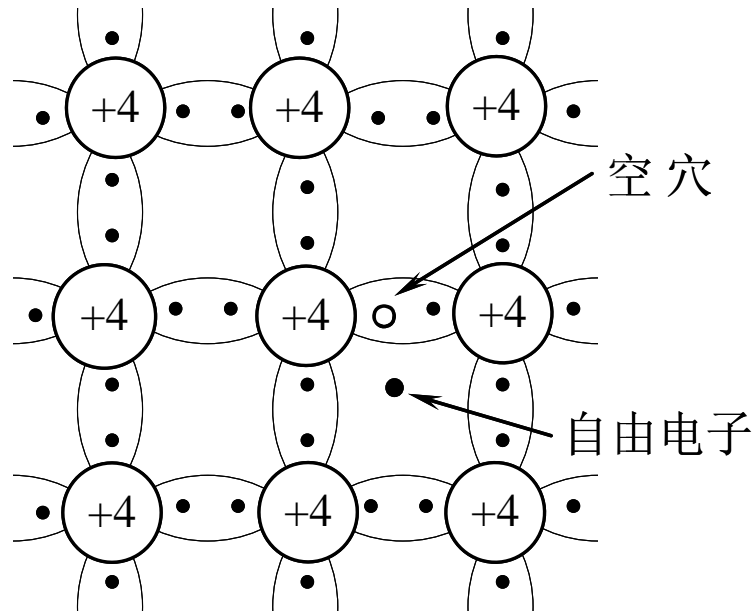
本征激发产生的自由电子和空穴数量相等。 $n_i(T)=p_i(T)$



本征激发

有空穴的原子吸引临近原子中的价电子**填补空穴**，价电子重新被共价键束缚起来，电子——空穴对消失，同时失去了价电子的邻近原子的共价键又出现了另一个空穴。如此下去，好像空穴在运动。

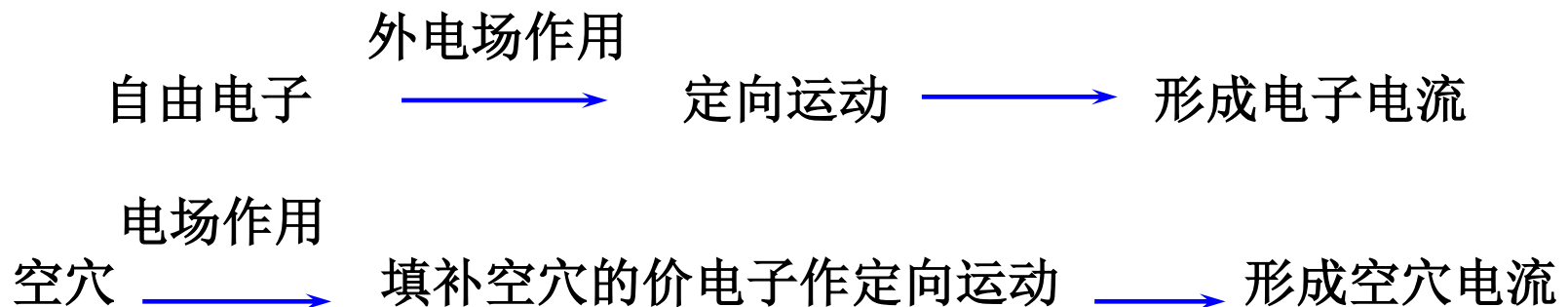
而空穴运动的方向和价电子运动的方向相反，因此空穴运动相当于正电荷的运动。



载流子

当半导体两端加上外电压时，半导体将出现两部分电流：

- 自由电子做定向运动所形成的电子电流。
- 仍被原子核束缚的价电子（注意不是自由电子）递补空穴所形成的空穴电流。



自由电子和空穴都参与导电，称为载流子。

半导体与金属导电的本质区别：同时存在电子导电和空穴导电。

本征激发产生的自由电子和空穴总是成对出现，同时又不断复合，在一定温度下，载流子的产生和复合达到动态平衡。

复合

温度增加，载流子浓度迅速上升。因此，半导体器件的工作与温度变化密切相关。

$$\left. \begin{array}{l} \text{本征激发} \\ \text{复合 (激发的逆过程)} \end{array} \right\} \xrightarrow[\text{(热平衡)}]{\text{动态平衡}} n_i = p_i = A_0 T^{3/2} e^{-E_g/2KT} \quad (\text{intrinsic})$$

n_i 、 p_i 分别表示自由电子和空穴的浓度， A_0 是与半导体材料有关的常数， T 为绝对温度， K 为玻尔兹曼常数 ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)。 E_g 是绝对温度下破坏共价键所需能量，与材料有关。

通常硅半导体 E_g 约 1.1eV (电子伏特)，锗半导体约 0.72eV，故相同条件下，**锗** 半导体载流子浓度 **高于硅** 半导体。

结论： 硅的温度稳定性比锗好，这是集成电路多用硅材料的重要原因！

本征半导体特点

- 一： **导电能力弱** (载流子数目极少)
- 二： **热不稳定性** \longrightarrow 热敏元件、光敏元件

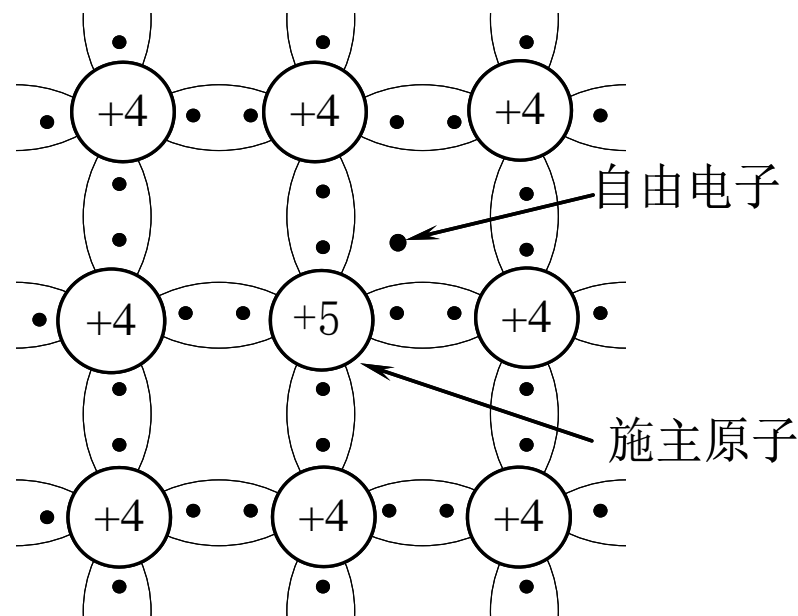
杂质半导体：N型半导体和P型半导体

本征半导体中掺入微量杂质元素，成为杂质半导体，导电性能大大提高。按照掺入的杂质不同，可分为两类：N型和P型。

1. N型半导体(电子导电型 Negative)

掺入少量五价元素原子（如，磷、砷），杂质原子替代原来晶格中硅原子的位置，其5个价电子中有4个与周围的硅原子形成共价键，余下的一个不受共价键的束缚。主要依靠电子导电。

因为掺入的原子数比硅原子数少得多，整体晶体结构基本不变。



自由电子浓度 $n_i \approx N_D$ 杂质浓度

多子的浓度主要由掺杂的杂质决定，受温度影响较小；

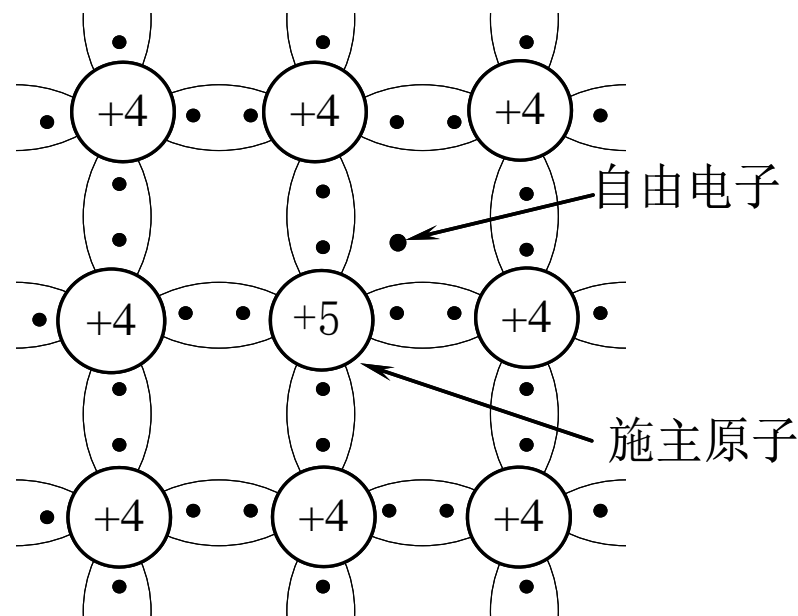
杂质半导体：N型半导体和P型半导体

本征半导体中掺入微量杂质元素，成为杂质半导体，**导电性能大大提高**。按照掺入的杂质不同，可分为两类：N型和P型。

1. N型半导体(电子导电型 Negative)

在N型半导体中，**电子**为多数载流子（简称**多子**），**空穴**为少数载流子（简称**少子**）。

少子浓度与温度关系极大
多子浓度与温度关系不大



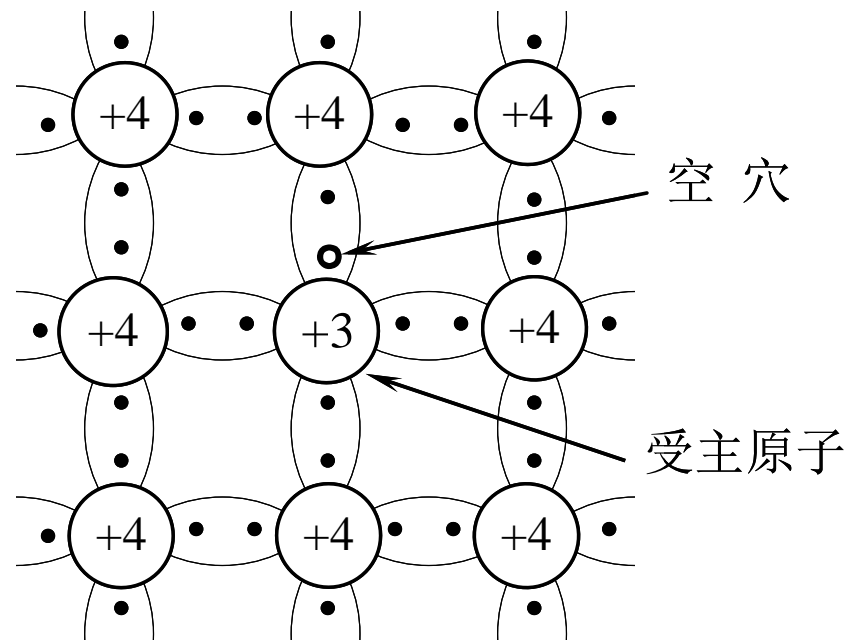
$n \gg p$ 电子浓度**远高于**空穴浓度

杂质半导体：N型半导体和P型半导体

本征半导体中掺入微量杂质元素，成为杂质半导体，导电性能大大提高。按照掺入的杂质不同，可分为两类：N型和P型。

2. P型半导体

掺入少量三价元素原子（如硼、铟），杂质原子的3个价电子与周围的4个原子（如硅原子）形成共价键，因缺少一个价电子，必然产生一个“空穴”。主要依靠空穴导电。



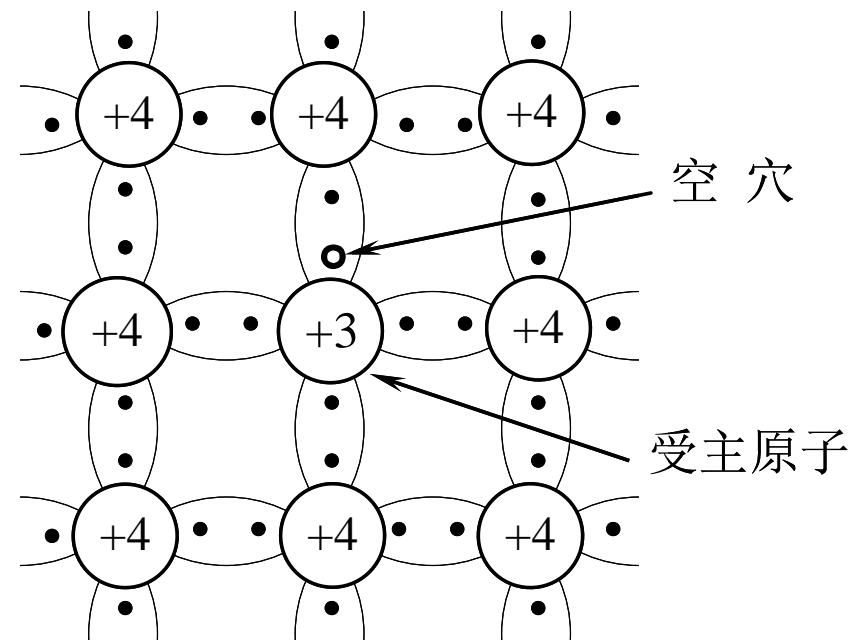
杂质半导体：N型半导体和P型半导体

本征半导体中掺入微量杂质元素，成为杂质半导体，导电性能大大提高。按照掺入的杂质不同，可分为两类：N型和P型。

2. P型半导体

空穴是多子，电子是少子。

$p \gg n$ 空穴浓度远高于电子浓度



注意：

不论是N型半导体还是P型半导体，**整个晶体都是不带电的。**

杂质半导体：N型半导体和P型半导体

❖ 杂质半导体呈电中性，任一空间的正负电荷数相等

N型半导体：自由电子数=空穴数+正离子数

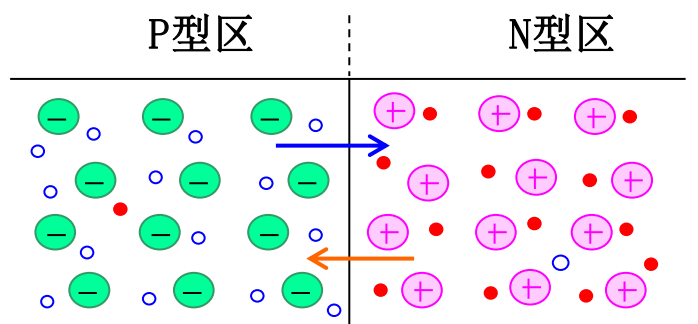
P型半导体：空穴数=自由电子数+负离子数

PN结

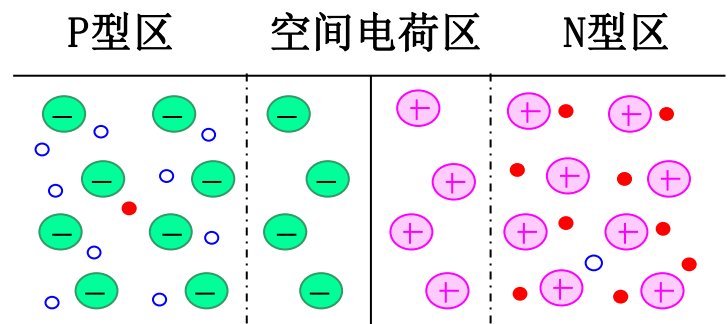
对一块半导体采用不同掺杂工艺，使其一侧为P型半导体，另一侧为N型半导体，在它们的交界面就形成**PN结**。

➤ 载流子的两种运动

- **扩散运动**：在N型和P型交界处，载流子的浓度差会引起**扩散**运动。P区的空穴向N区扩散，与其电子复合；N区的电子向P区扩散，与其空穴复合。使交界面附近的载流子消失，只剩下带电离子，形成不能移动的空间电荷区，这各电荷区就叫做PN结。此外，该区域多数载流子已扩散到对方并复合掉了，或者说消耗尽了，因此也叫耗尽层。



P型和N型交界面的扩散运动



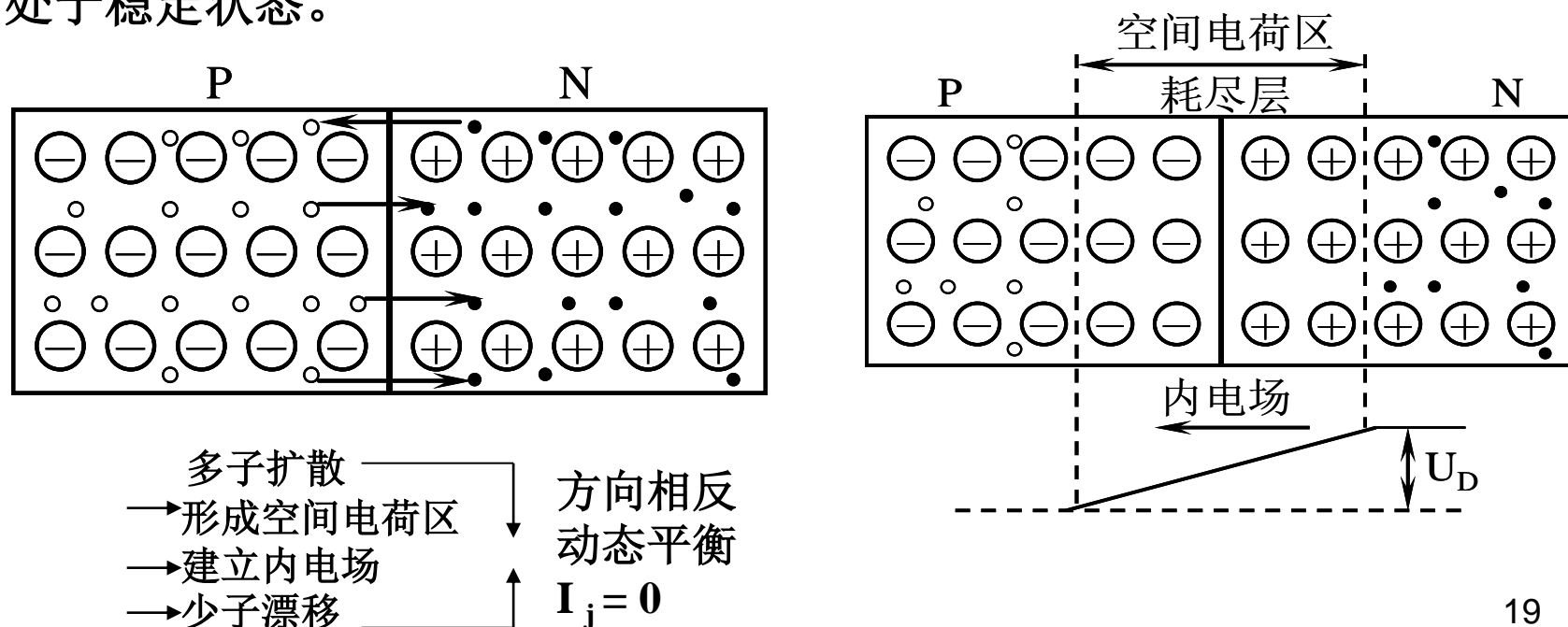
PN结的形成

PN结内电场的形成

空间电荷区的电场称为**内电场**，其方向为由**N区指向P区**，**阻止**多数载流子继续**扩散**，使空间电荷区保持一定宽度，所以空间电荷区也叫阻挡层。

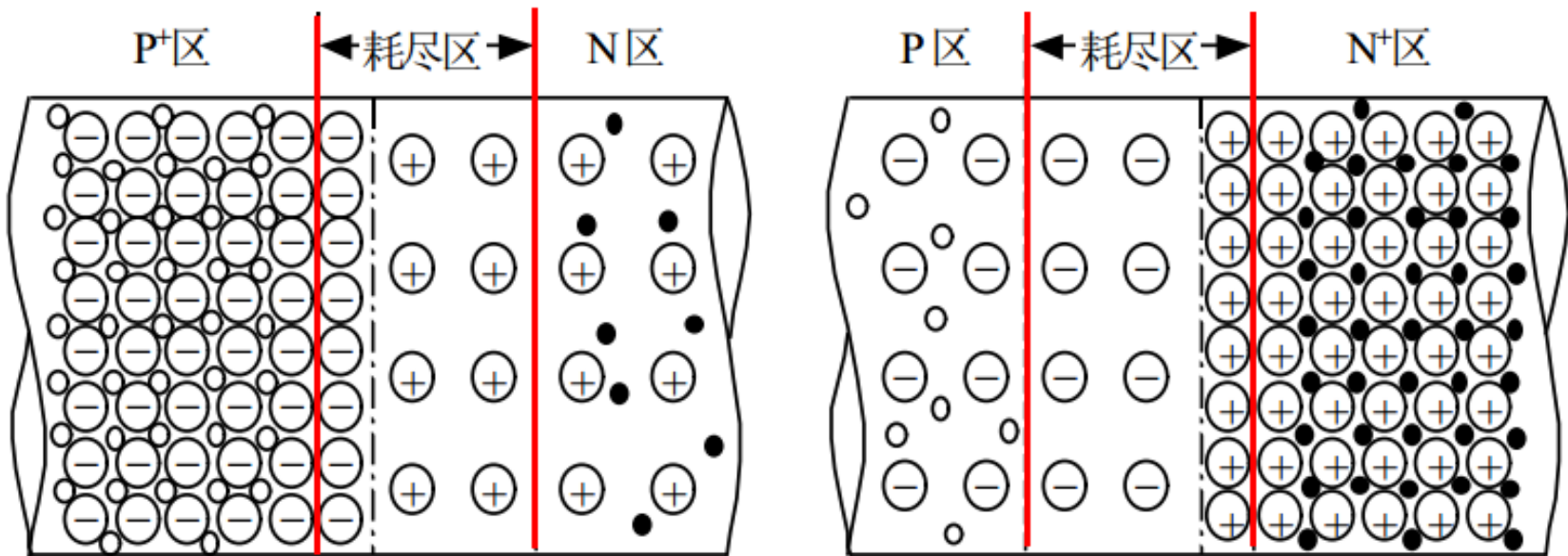
漂移运动：载流子在**电场作用**下的定向运动。空间电荷区的内电场有**利于**少数载流子**漂移**。

最后扩散运动和漂移运动达到动态平衡后，流过PN结面的**电流为零**，PN结处于稳定状态。



PN结内电场的形成

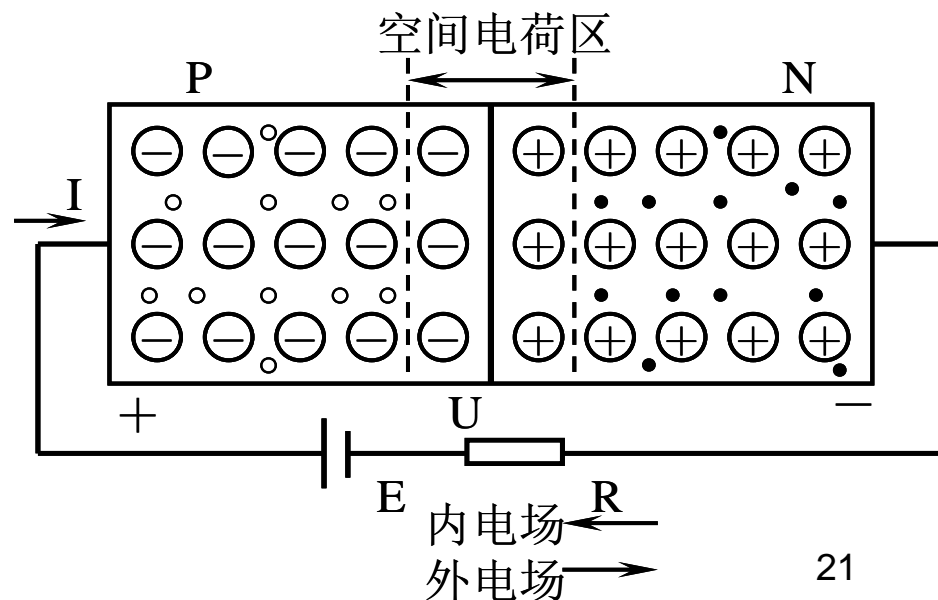
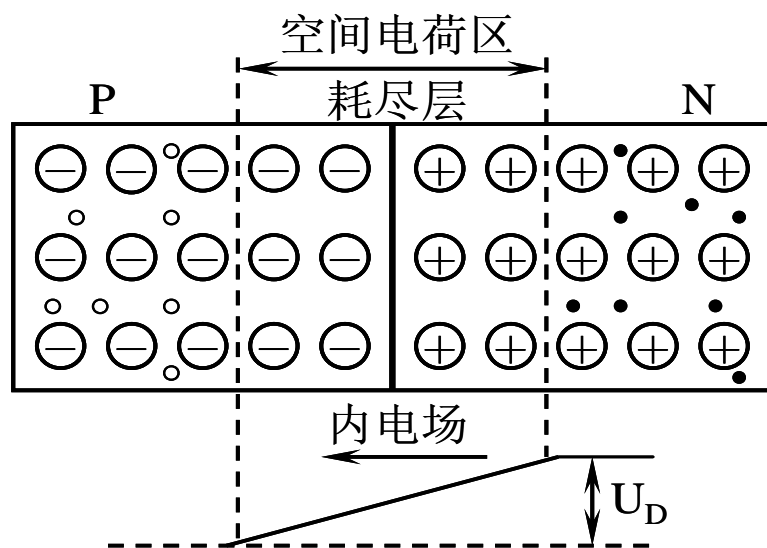
在掺杂浓度不对称的 PN 结中，耗尽区在重掺杂一边延伸较小，而在轻掺杂一边延伸较大。



PN结的单向导电性 ★

(1) PN结外加正向电压（P区接正，N区接负）时处于**导通**状态

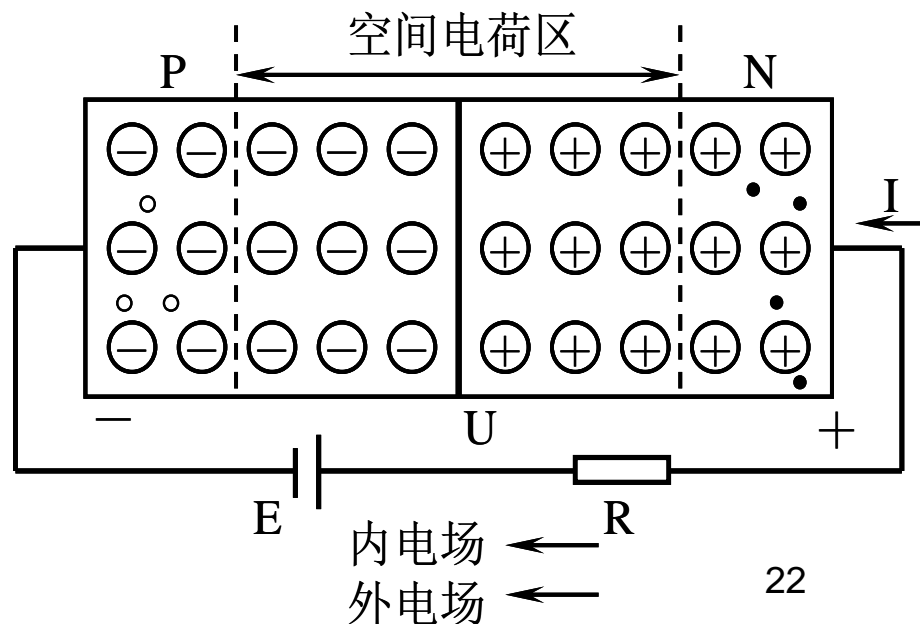
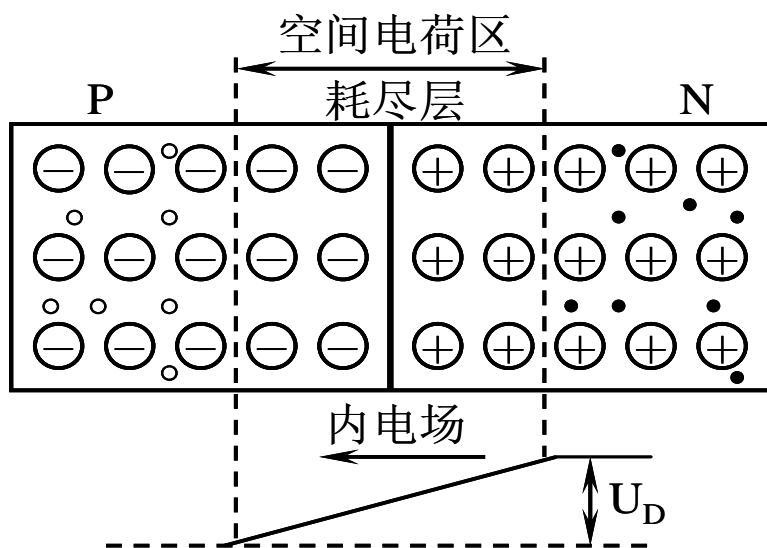
外电场与内电场的**方向相反**，外电场抵消内电场，空间电荷区变窄，内电场被削弱，多子扩散得到加强，少子漂移将被削弱，**扩散电流大大超过漂移电流**，使多子越过交界面形成正向电流（由P区流向N区），形成较大的正向电流。（**导通**）



PN结的单向导电性 ★

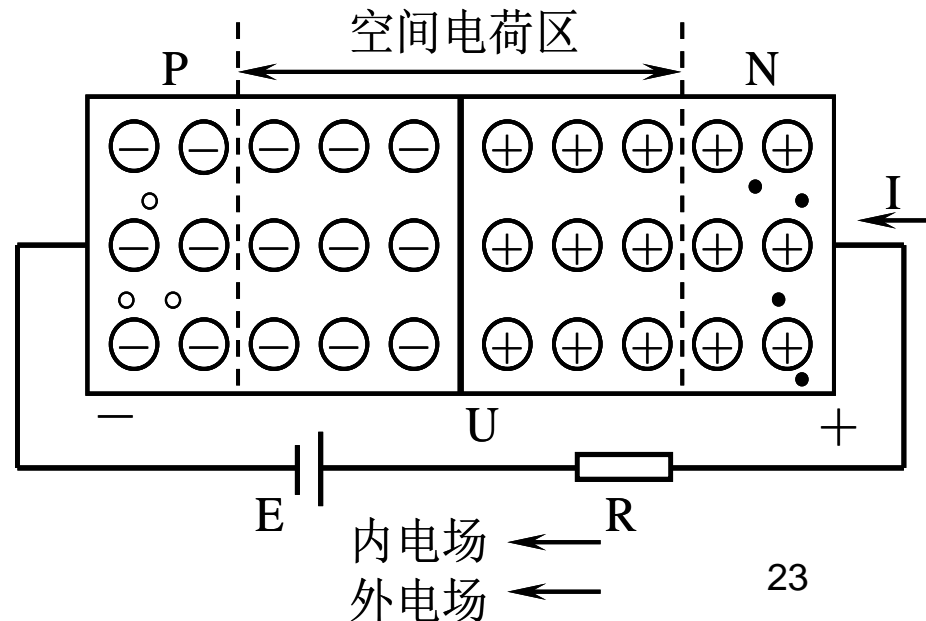
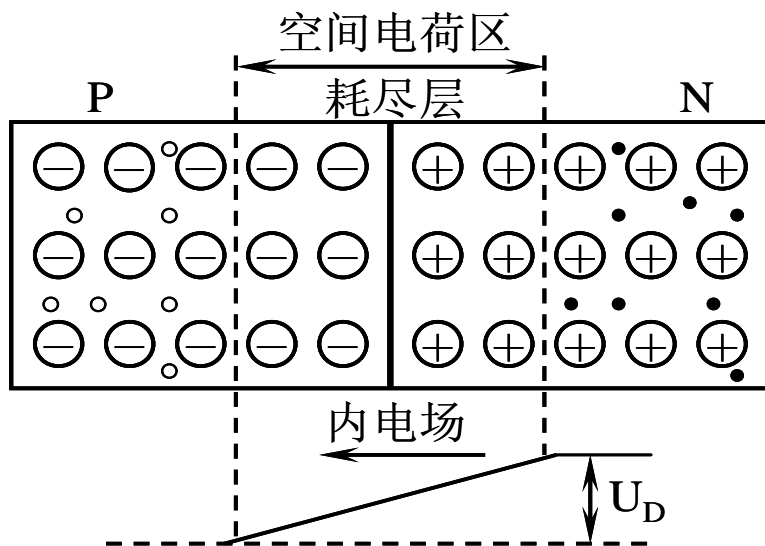
(2) PN结外加反向电压（P区接负，N区接正）时处于**截止状态**

外电场与内电场方向一致，外电场增强内电场，空间电荷区变宽，内电场增强，不利于多子的扩散，有利于少子的漂移。在电路中形成了**基于少子漂移的反向电流**。由于少子数量很少，因此反向电流很小，电路中基本无电流。（**截止**）



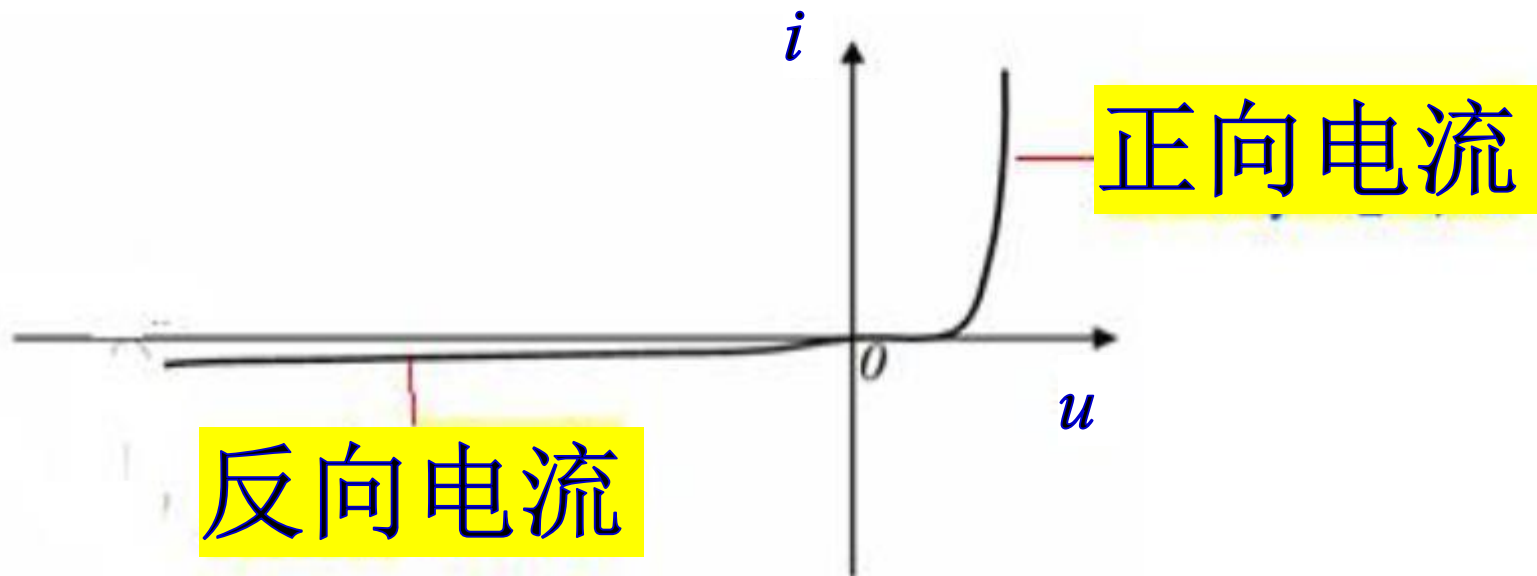
PN结的单向导电性 ★

结论：PN结具有单向导电性，即正偏导通，反偏截止。



PN结的单向导电性

- PN结只需较小的正向电压，就能产生较大的正向扩散电流，
- 正向电流随正向电压的微小变化会发生明显改变(指数特性)
- 反偏时，少子只能提供很小的漂移电流，并且基本上不随反向电压而变化。



目录

4.1 半导体的导电特性

4.2 半导体二极管

4.3 二极管电路的分析计算

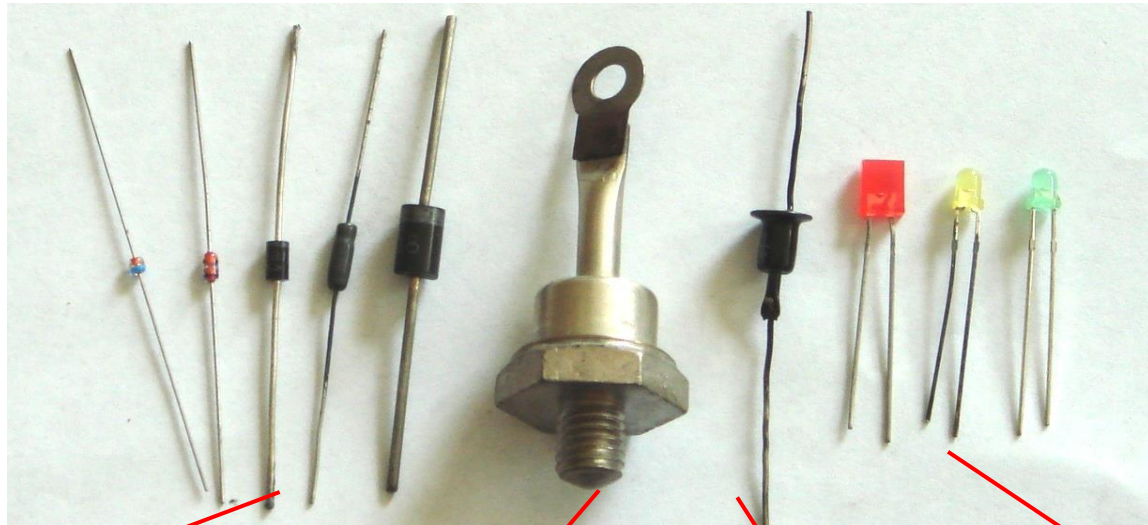
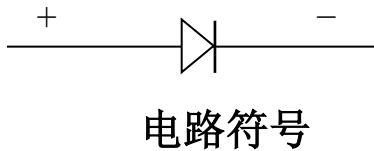
4.4 半导体三极管

4.5 晶体管三极管的工作状态分析

半导体二极管

在PN结两端，各引一根电极引线并封装起来就构成了半导体二极管，或称晶体二极管，简称**二极管**。

由P区引出的电极称为阳极（正极）；由N区引出的电极称为阴极（负极）



小功率
二极管

大功率
二极管

稳压
二极管

发光
二极管

半导体二极管的伏安特性

理论上，二极管的伏安特性就是PN结的伏安特性。

PN结两端的电压 U_D 和PN结的电流 I_D 之间的关系

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{qU_D}{kT}} - 1 \right)$$

I_S ---反向饱和电流，少数载流子电流，其值与V无关。

U_D ---二极管两端的电压降，

k ---玻耳兹曼常数， $1.6 \times 10^{-19} C$

q ---电子电荷，

T ---绝对温度。

半导体二极管的伏安特性

理论上，二极管的伏安特性就是PN结的伏安特性。

PN结两端的电压 U_D 和PN结的电流 I_D 之间的关系

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{qU_D}{kT}} - 1 \right)$$

为了简便，常令 $U_T = kT/q$ ， U_T 称为热电压。

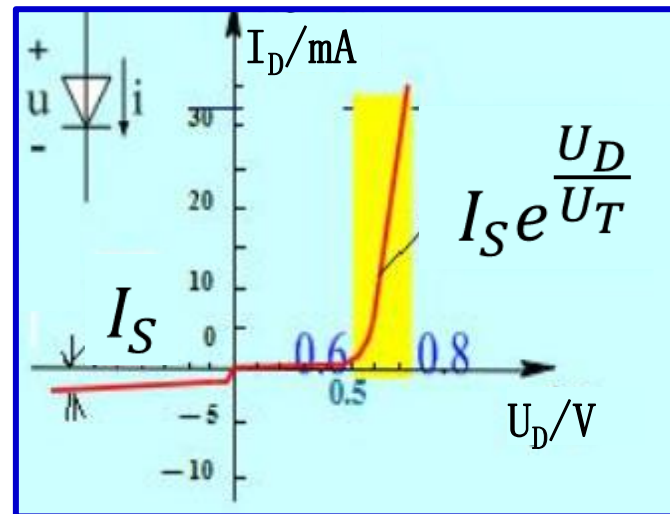
$$I_D = I_S \left(e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1 \right)$$

对于室温（相当 $T=300\text{ K}$ ），则有 $U_T \approx 26\text{ mV}$ 。

二极管的伏安特性曲线

(1) 正向特性

① **死区**: 正向电压 U_D 小于死区电压时, 二极管截止, 正向电流 I_D 约为 0。 Si=0.5V, Ge=0.2V.

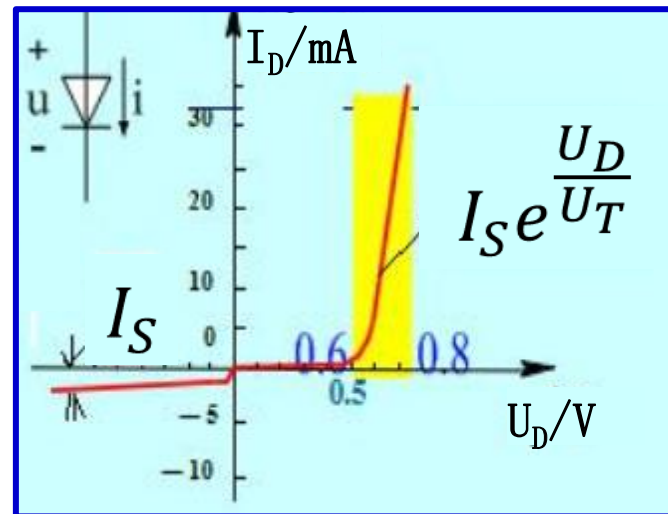


② **导通区**: $U_D > U_{D(\text{on})}$ 时, 外加正向电压大于PN结的内电场, 阻挡层消失, 二极管导通, I_D **急剧增大**。导通后二极管两端电压基本恒定。 Si=0.7V, Ge=0.3V.

小功率硅管的正向导通压降约为 0.6~0.8伏, 锗管约为0.3~0.5伏。

二极管的伏安特性曲线

(1) 正向特性



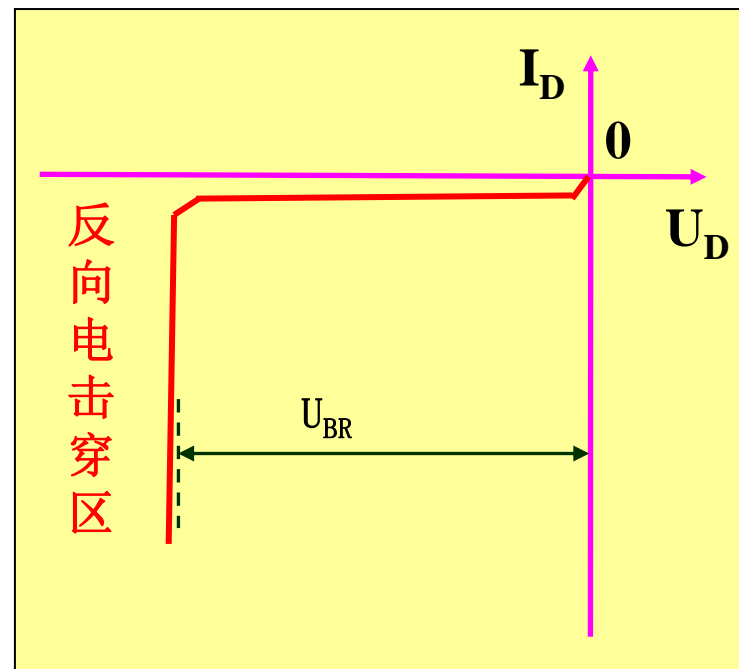
结论：正偏时电阻小，具有非线性，电路中一定要有限流电阻，否则很容易因电流过大而损坏二极管。

二极管的伏安特性曲线

(2) 反向特性

击穿： $U_D > U_{BR}$ 时，反向电流会急剧增大，二极管失去单向导电性，此现象称为反向击穿。对应的电压 U_{BR} 称为**反向击穿电压**。

二极管被击穿后，一般不能恢复原来的性能。

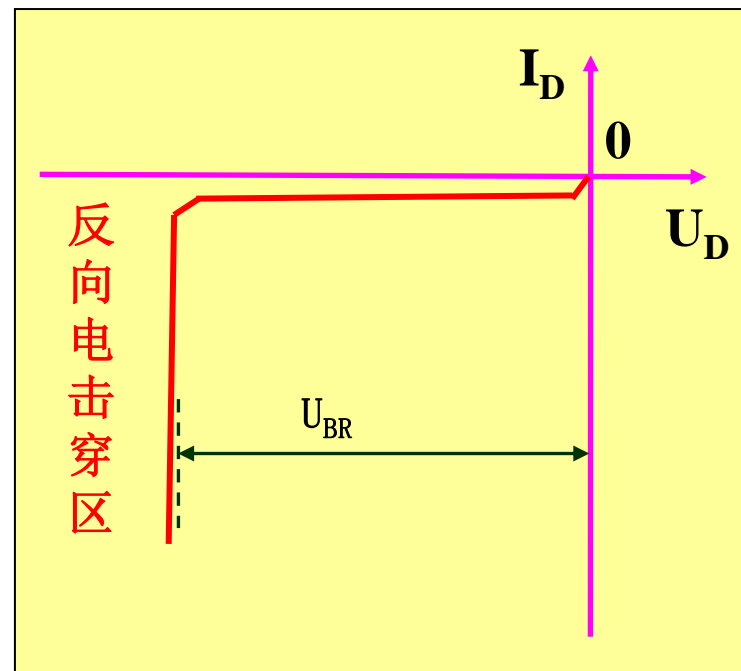


二极管的伏安特性曲线

(2) 反向特性

截止： 反向电压 $U_D < U_{BR}$ (反向击穿电压)时，反向电压的存在，外电场增强内电场（阻止多子）。由于存在少子，会有一定的反向电流 I_D 。在一定电压范围内，反向电流几乎不变，反向电流很小，且近似为常数，称为**反向饱和电流 I_S** 。

结论： 反偏电阻大，存在击穿现象。



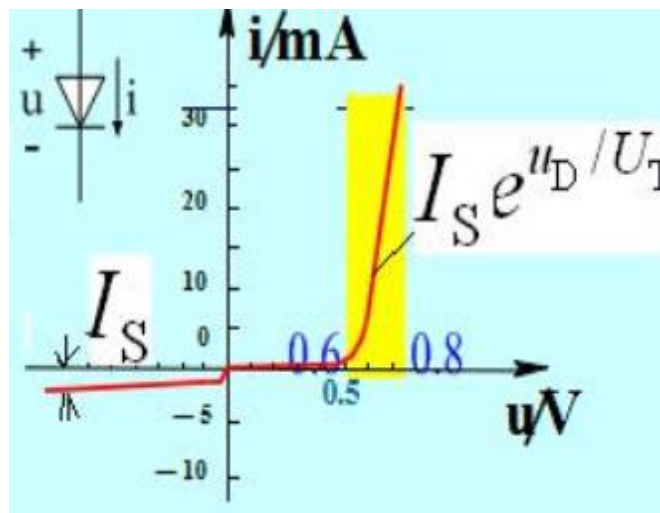
小功率硅管的反向电流约为十几nA，锗管约为几 μ A。

小功率硅管的反向击穿电压一般为几十伏到数百伏

温度对二极管的影响

二极管是温度的敏感器件，温度的变化对其伏安特性的影响主要表现为：**随着温度的升高，其正向特性曲线左移**，即正向压降减小；**反向特性曲线下移**，即反向电流增大。

一般在室温附近，温度每升高 1°C ，其正向压降减小 $2\sim 2.5\text{mV}$ ；温度每升高 10°C ，反向电流大约增大1倍左右。



二极管特性

- ① 二极管具有单向导电性；
- ② 二极管的伏安特性具有非线性；
- ③ 二极管的伏安特性与温度有关。

目录

4.1 半导体的导电特性

4.2 半导体二极管

4.3 二极管电路的分析计算

4.4 半导体三极管

4.5 晶体管三极管的工作状态分析

二极管电路分析

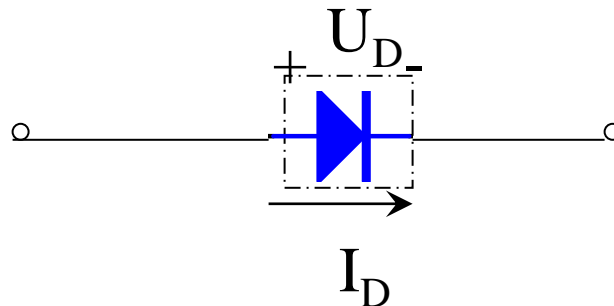
二极管是非线性元件。正向导通时，电流电压近似为指数关系；反向截止时，电流近似为0。通常采用近似模型分析。

理想模型：忽略二极管的正向导通压降和反向漏电流。

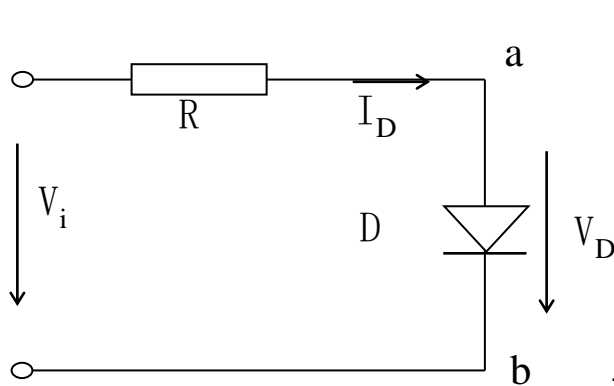
理想二极管 = 理想开关

外加电压稍大于零，就导通，管压降为0V——开关闭合；

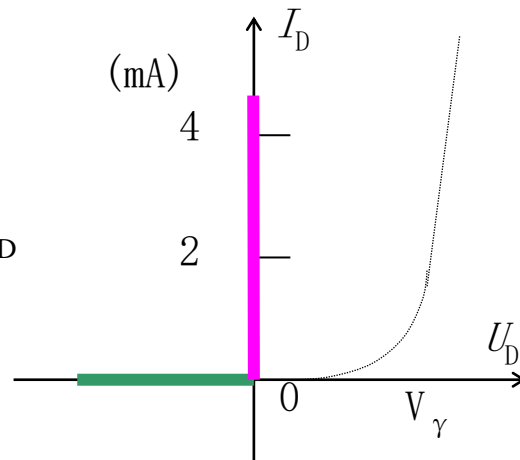
当反偏时，二极管截止，其电阻为无穷大——开关断开。



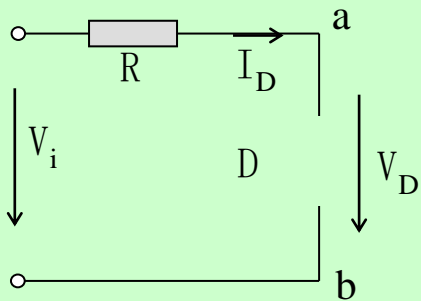
理想模型



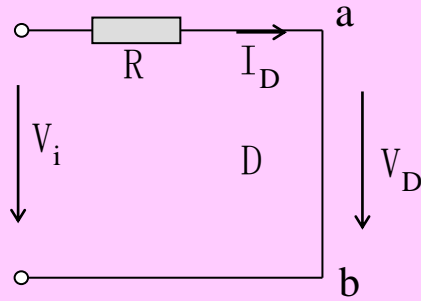
二极管电路



理想模型



二极管截止

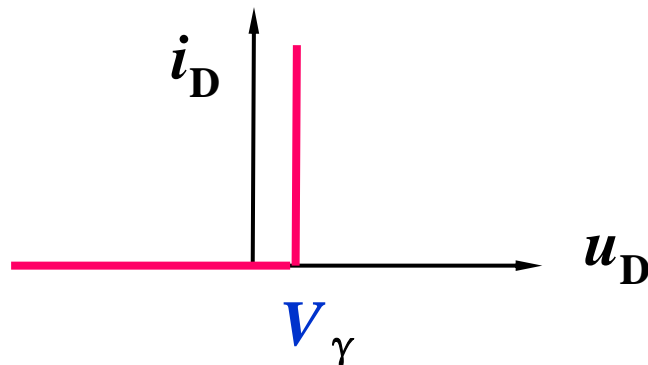


二极管导通

恒压模型

当二极管的正向压降与外加电压相比不能忽略，而正向电阻与外接电阻相比可忽略时，可用由理想二极管和电压源 E 串联构成的模型来近似替代。二极管恒压模型中的导通管压降常称为“阈值电压”，用 V_γ 表示。

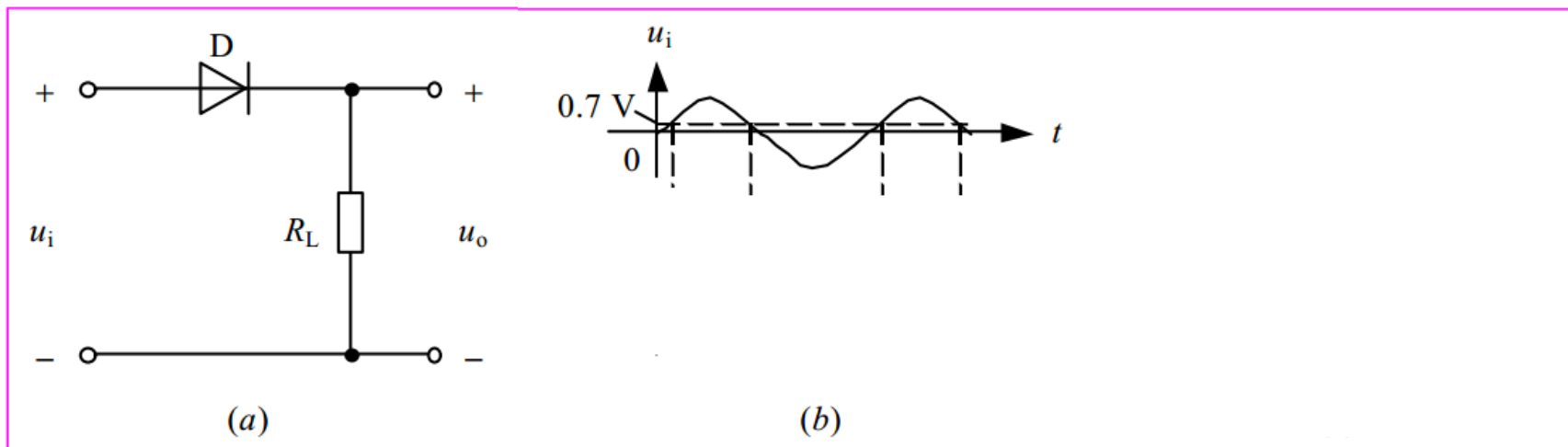
小功率硅二极管通常取 $V_\gamma=0.7$ 伏，锗二极管通常取 $V_\gamma=0.5$ 伏。正向压降不再认为是0，而是接近实际工作电压的某一定值，且不随电流变化。



二极管应用电路举例

1. 整流电路

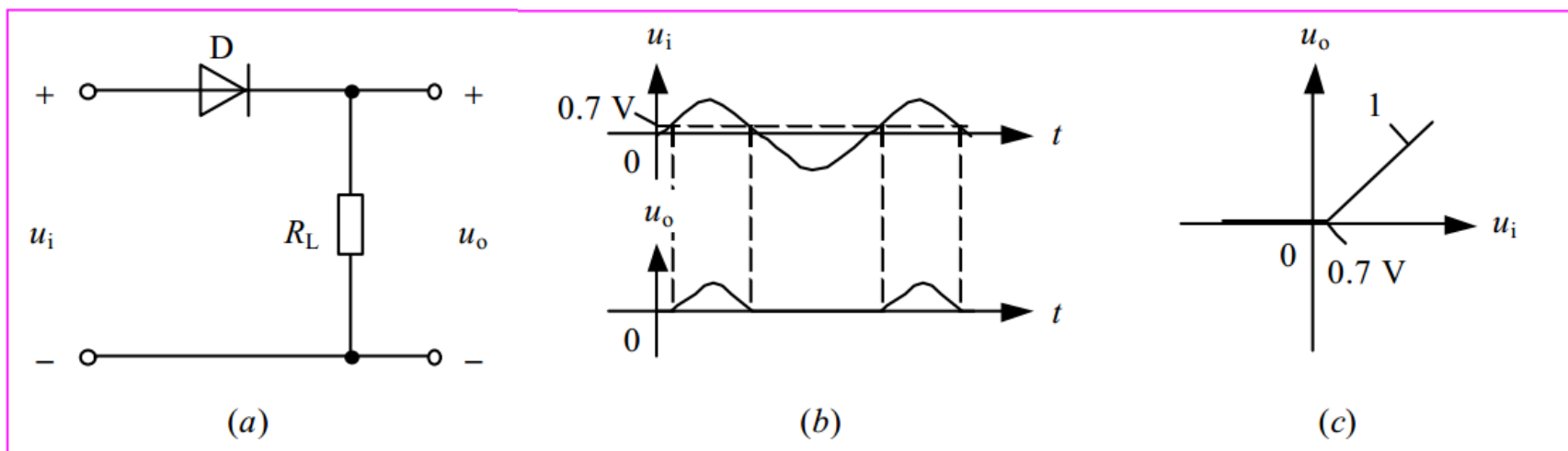
例：分析图(a)所示的二极管整流电路的工作原理， 其中二极管D的导通电压为0.7 V， 交流电阻 $r_D=0$ 。 输入电压 u_i 的波形如图(b)所示。



二极管应用电路举例

1. 整流电路

例：分析图(a)所示的二极管整流电路的工作原理，其中二极管D的导通电压为 0.7 V ，交流电阻 $r_D=0$ 。输入电压 u_i 的波形如图(b)所示。

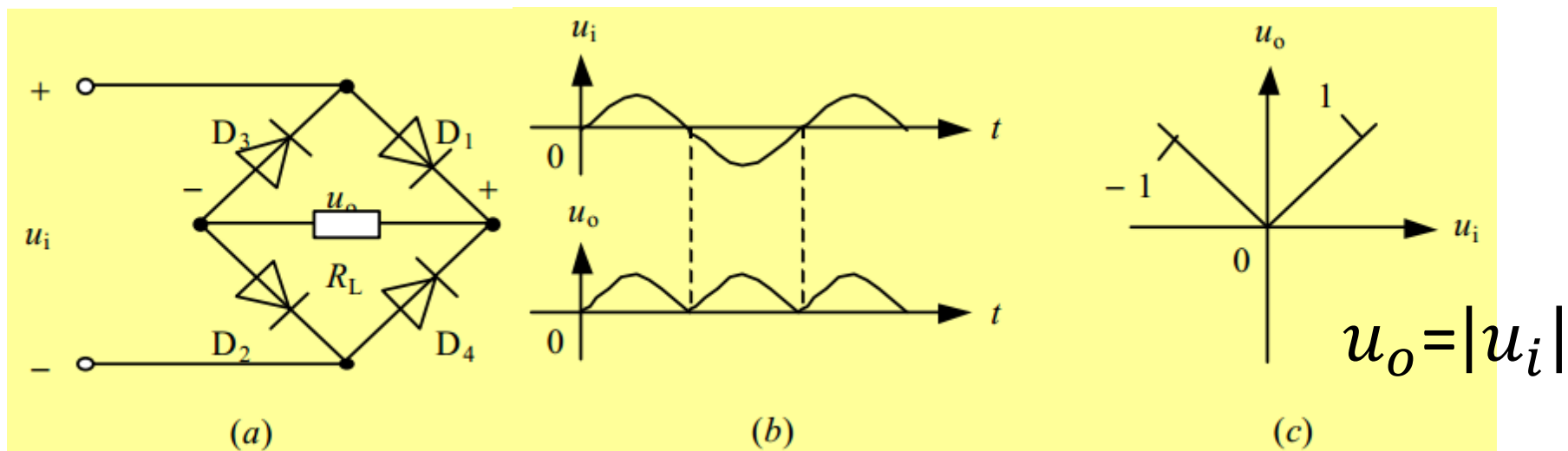


解：当 $u_i > 0.7\text{ V}$ 时， D 处于导通状态，等效成短路，所以输出电压 $u_o = u_i - 0.7$ ；当 $u_i < 0.7\text{ V}$ 时， D 处于截止状态，等效成开路，所以 $u_o = 0$ 。于是可以根据 u_i 的波形得到 u_o 的波形，如图(b)所示，传输特性则如图(c)所示。电路实现的是**半波整流**，但是需要在 u_i 的正半周波形中扣除 $U_{D(\text{on})}$ 得到输出。

二极管应用电路举例

1. 整流电路

例：分析图a所示的二极管桥式整流电路的工作原理，其中的二极管D1~D4为理想二极管，输入电压 u_i 的波形如图b所示。



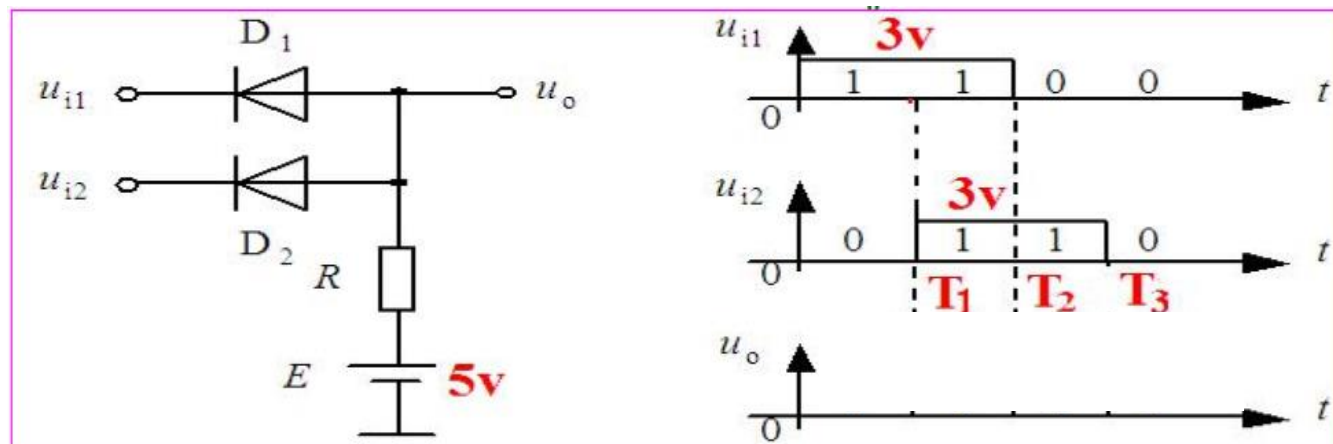
当 $u_i > 0$ 时，**D1**和**D2**导通，而**D3**和**D4**截止，故 $u_o = u_i$ ；
当 $u_i < 0$ 时，**D1**和**D2**截止，而**D3**和**D4**导通，故 $u_o = -u_i$ 。

电路实现的是全波整流-----又称”绝对值电路”。

二极管应用电路举例

2. 电平选择电路

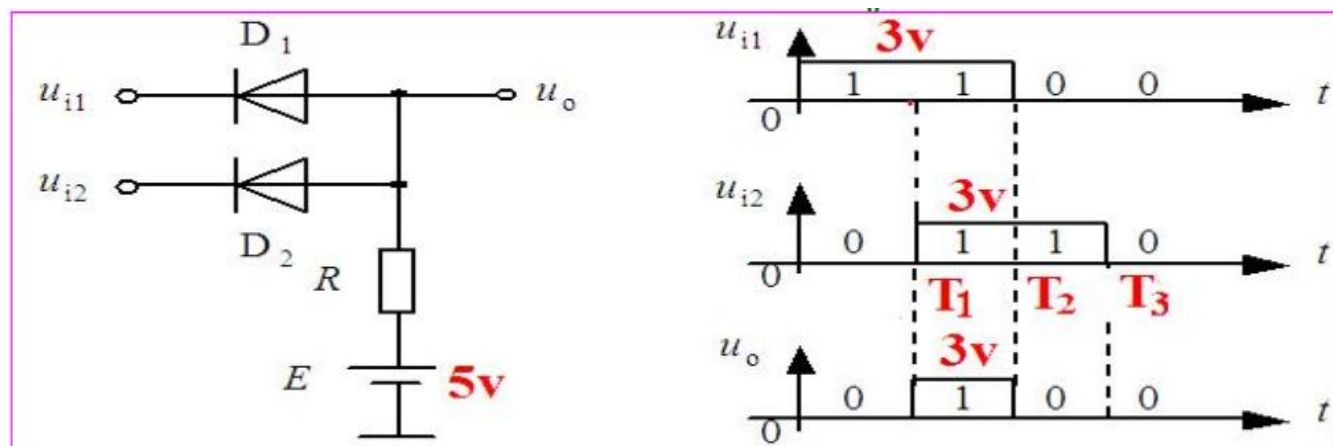
例：如图(a)，其中二极管D1和D2为理想二极管，输入信号 u_{i1} 和 u_{i2} 波形如图(b)所示。分析电路的工作原理，并作出输出 u_o 的波形。



二极管应用电路举例

2. 电平选择电路

例：如图(a)，其中二极管D1和D2为理想二极管，输入信号 u_{i1} 和 u_{i2} 波形如图(b)所示。分析电路的工作原理，并作出输出 u_o 的波形。



解：当 $t < T_1$ 时，D₂首先导通， $u_o = u_{i2} = 0$, D₁截止。

当 $T_1 < t < T_2$ 时，D₁, D₂都导通， $u_o = u_{i1} = u_{i2} = 3V$

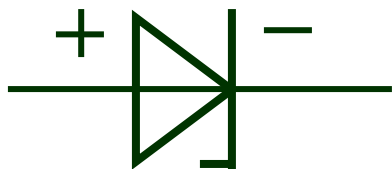
当 $t > T_2$ 时，D₁首先导通， $u_o = u_{i1} = 0$, D₂截止。

该电路完成低电平选择功能，实现了逻辑“与”运算。

稳压二极管

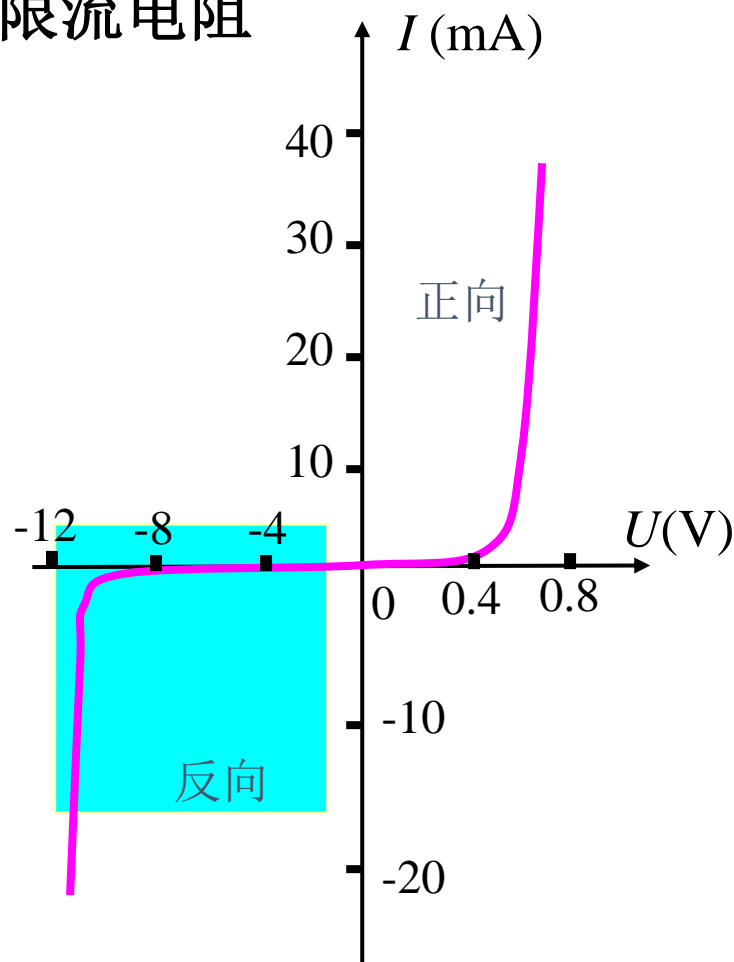
稳压管是用特殊工艺制造的硅半导体二极管。
稳压管主要工作在**反向击穿区**，配合限流电阻可得到一个稳定的电压。

电路符号：



稳压管的伏安特性曲线与普通二极管类似，只是**反向曲线更陡一些**。

稳压管的稳压值一般为 几伏~几十伏，允许电流为几十到数百毫安。



稳压管的主要参数

1、稳定电压 U_Z

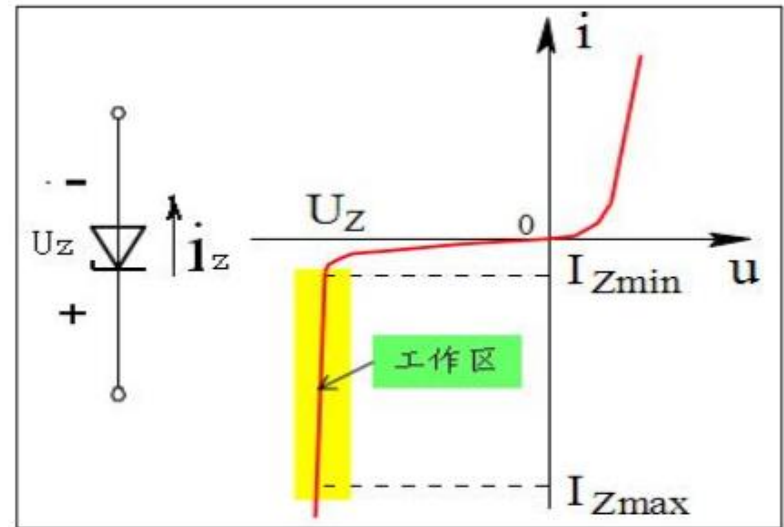
指稳压管正常工作时的两端电压。

2、稳定电流 I_Z

正常工作的参考电流值。

稳定电流的最大值 I_{Zmax} ，即 $I_{Zmax}=P_Z/U_Z$ 。超过此值会烧坏管子。

工作电流也有最小值 I_{Zmin} 的限制，小于此值时，稳压二极管将失去稳压作用。



稳压管的主要参数

3、动态电阻 r_z

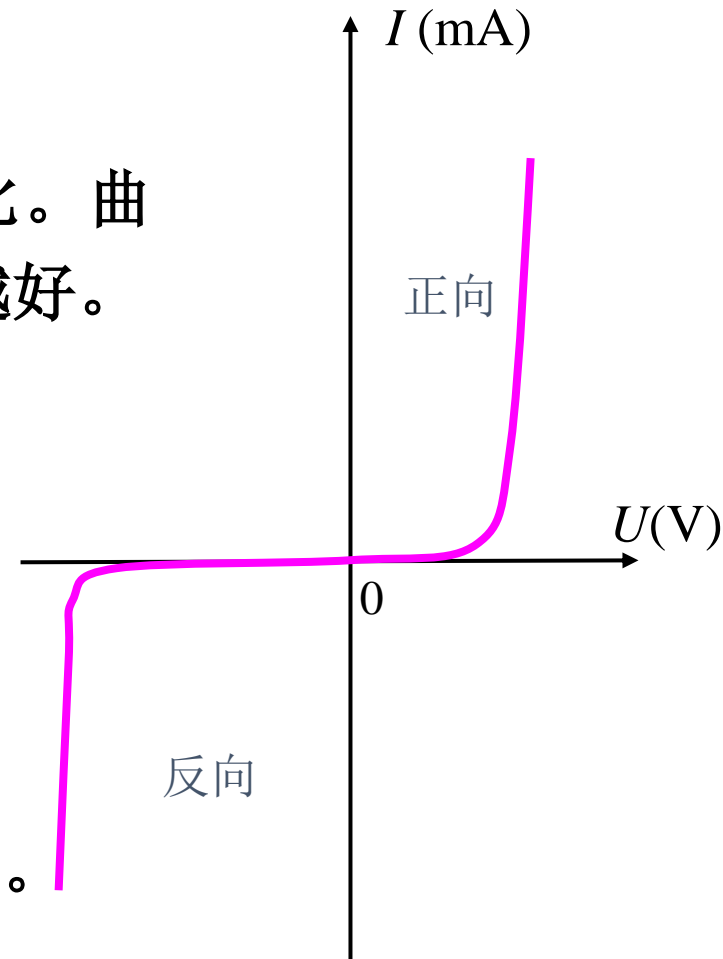
稳压管子端电压和其电流的变化量之比。曲线越陡，则动态电阻越小，稳压效果越好。

$$r_z = \frac{\Delta U_z}{\Delta I_z}$$

4、最大允许耗散功耗 P_{ZM}

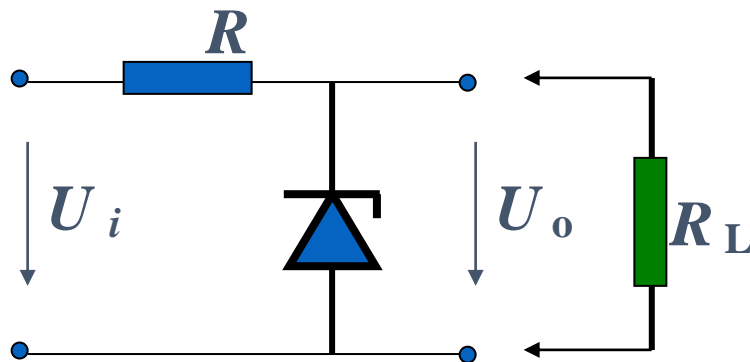
稳压管不发生热击穿的最大功率损耗。
其值为稳定电压和允许的最大电流乘积。

$$P_{ZM} = U_z \bullet I_{Z \max}$$



稳压二极管

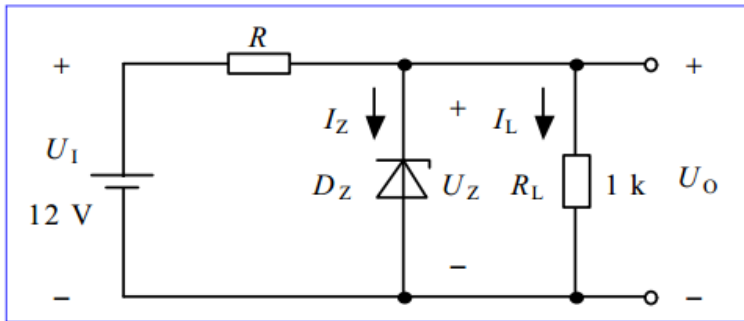
稳压管常见电路如下



在电路中稳压管是反向联接的。当 U_i 大于稳压管的击穿电压时，稳压管被击穿，在一定的电流范围内稳压管两端的电压基本不变，输出电压 U_o 等于 U_z 。

稳压管举例

稳压二极管电路如图所示，稳定电压 $U_Z=6\text{V}$ 。限流电阻 $R=200\ \Omega$ 时，求工作电流 I_Z 和输出电压 U_O ；当 $R=11\text{k}\Omega$ 时，再求 I_Z 和 U_O 。

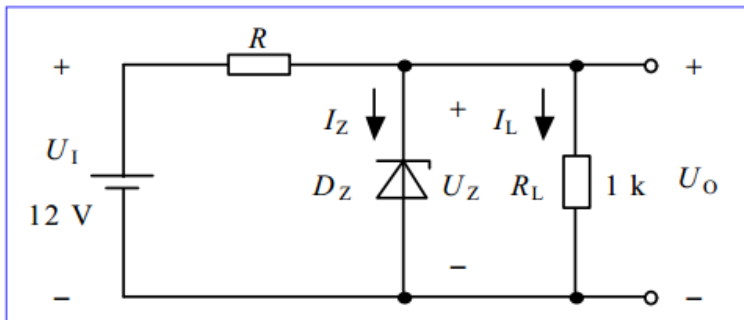


稳压管举例

稳压二极管电路如图所示，稳定电压 $U_Z=6\text{V}$ 。限流电阻 $R=200\ \Omega$ 时，求工作电流 I_Z 和输出电压 U_O ；当 $R=11\text{k}\Omega$ 时，再求 I_Z 和 U_O 。

解：首先要判断稳压二极管能否击穿，方法是假设稳压管断开，看 U_O 是否大于 U_Z 。

1. 当 $R=200\ \Omega$ 时，稳压二极管 D_Z 处于击穿状态



$$I_Z = \frac{U_I - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L} = 24(\text{mA})$$

$$U_O = U_Z = 6(\text{V})$$

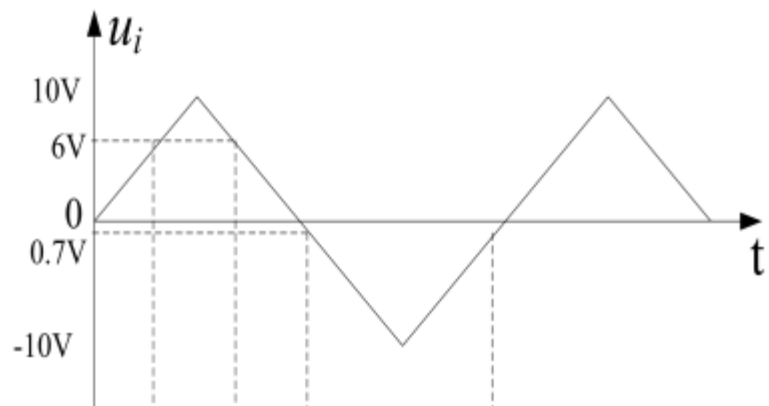
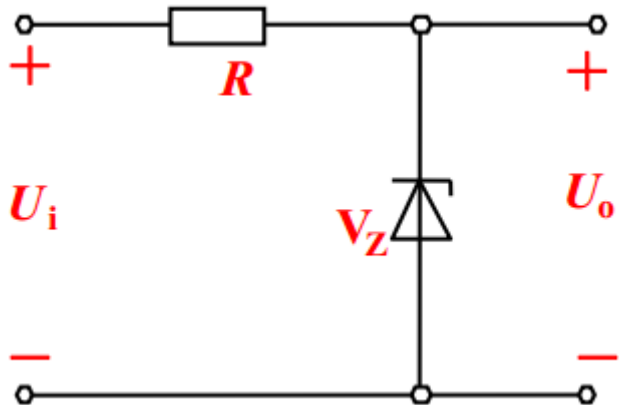
2. 当 $R=11\text{k}\Omega$ 时， D_Z 处于截止状态， $I_Z=0$

$$U_O = \frac{R_L}{R + R_L} U_I = 1(\text{V})$$

限流电阻 R 正确选取对稳压电路正常工作至关重要！

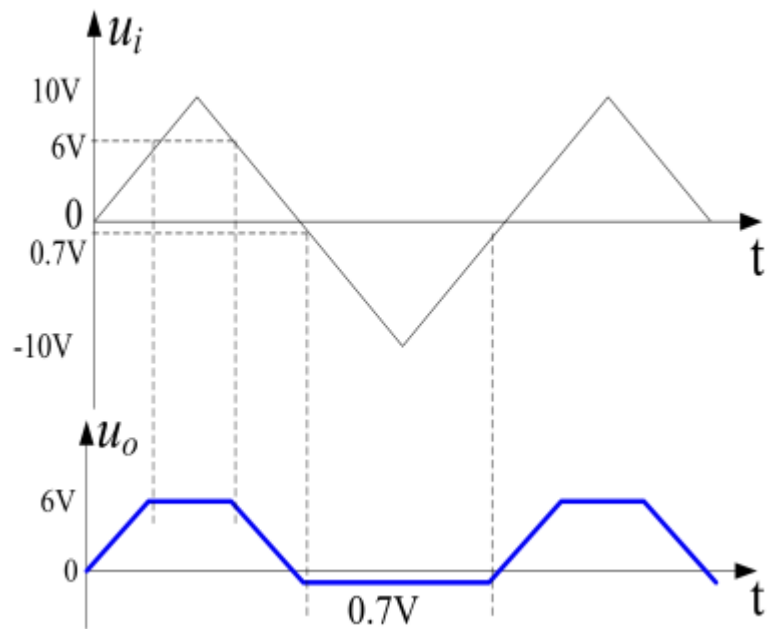
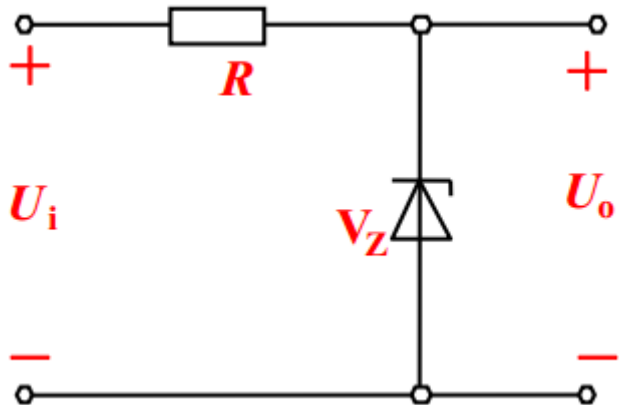
稳压管举例

稳压二极管的稳定电压 $U_Z=6V$,输入为幅度 $10V$ 的三角波。求输出电压的波形。



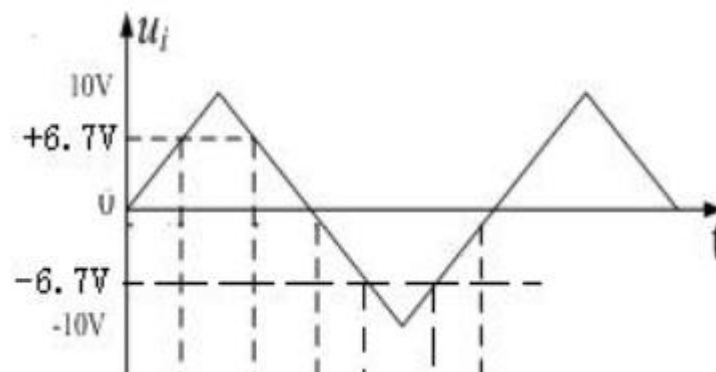
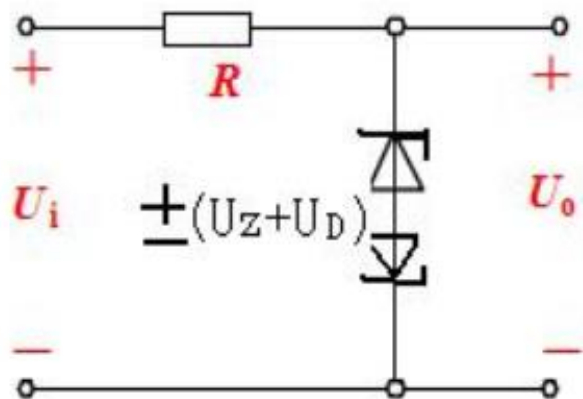
稳压管举例

稳压二极管的稳定电压 $U_Z=6V$,输入为幅度 $10V$ 的三角波。求输出电压的波形。



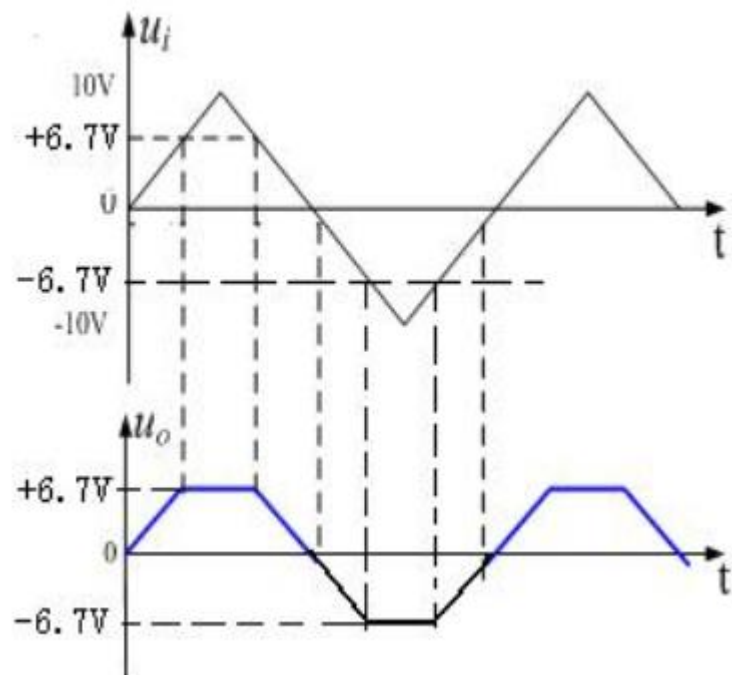
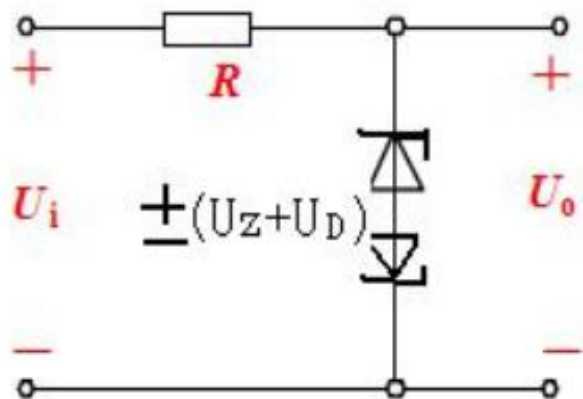
稳压管举例

稳压管双向限幅电路



稳压管举例

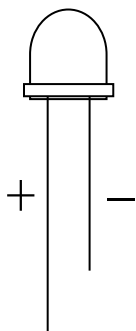
稳压管双向限幅电路



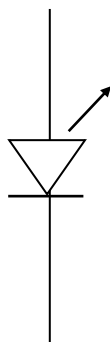
发光二极管（LED）

LED由磷化镓或砷化镓等半导体材料制成。正向导通时能发出可见光（自发辐射光，非相干光），电能转化为光能。

LED的正向导通压降较大，一般在2伏左右，电流一般在几毫安到十几毫安。



常见外形

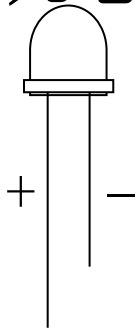


电路符号

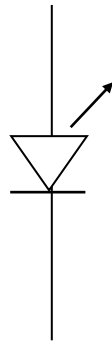
发光二极管（LED）

LED（Light-Emitting Diode）由磷化镓或砷化镓等半导体材料制成。正向导通时能发出可见光（自发辐射光，非相干光），电能转化为光能。

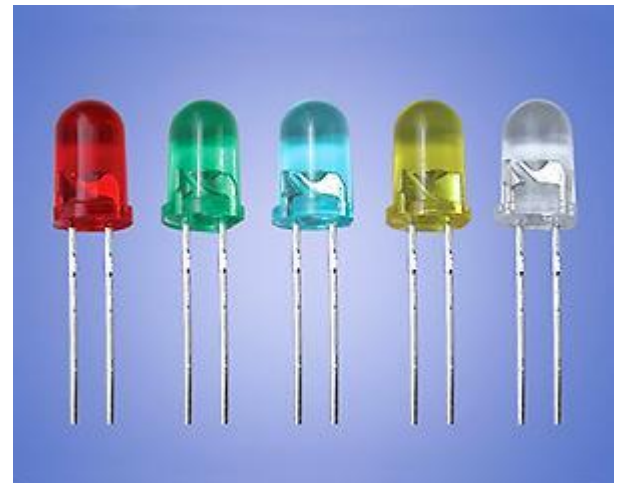
LED的正向导通压降较大，一般在2伏左右，电流一般在几毫安到十几毫安。



常见外形



电路符号



发光二极管（LED）



1907年Henry Joseph Round第一次在一块碳化硅里观察到电致发光现象



1936年George Destiau出版了一个关于硫化锌粉末发射光的报告



60年代末，在**砷化镓**基体上实用磷化物发明了第一个可见的**红光LED**



70年代中期，**磷化镓**被使用作为发光光源，随后发出灰白绿光

70年代末，能发出**纯绿色**的光



80年代中早期到中期对砷化镓磷化铝的使用使得第一代高亮度的LED的诞生，先是红色，接着是黄色，最后是绿色

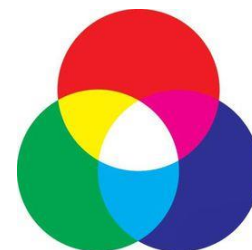



90年代早期，采用铟铝磷化镓生产出了橘红、橙、黄和绿光的LED



90年代中期，出现了超亮度的**氮化镓LED**，随即制造出能产生高强度的绿光和蓝光LED

发光二极管 (LED)



			
Color	Wavelength	Frequency	Photon energy
violet	380–450 nm	668–789 THz	2.75–3.26 eV
blue	450–495 nm	606–668 THz	2.50–2.75 eV
green	495–570 nm	526–606 THz	2.17–2.50 eV
yellow	570–590 nm	508–526 THz	2.10–2.17 eV
orange	590–620 nm	484–508 THz	2.00–2.10 eV
red	620–750 nm	400–484 THz	1.65–2.00 eV

蓝光二极管 (LED)



"FOR THE INVENTION OF
EFFICIENT BLUE LIGHT-
EMITTING DIODES WHICH
HAS ENABLED BRIGHT AND
ENERGY-SAVING WHITE
LIGHT SOURCES".

"因为他们发明了蓝光LED，帮助
更亮和更节能的白光光源的出现。"



蓝光led



赤崎勇
日本科学家



天野浩
日本科学家



中村修二
美籍日裔科学家

蓝光二极管 (LED)

瀬戸大橋線・宇野線 Seto-Ohashi Line, Uno Line

快速	マリライナー	45号	16:12	高松	6	茶屋町・児島・坂出
普通	各駅停車		16:16	宇野	7	
特急	しおかぜ	19号	16:35	松山	8	特急
快速	マリライナー	47号	16:42	高松	6	ライナー47号高松
普通	各駅停車		16:46	琴平	7	茶屋町から宇野
特急	南風	19号	17:05	中村	8	南



Shinkansen (for Okayama, Takata, Kagoshima-Chūō)

さくら	549	9:20	鹿児島中央	22	当駅始発の8両編成
のぞみ	7	9:29	博多	21	16両編成
こだま	737	9:38	博多	20	当駅始発の8両編成
のぞみ	9	9:45	博多	22	16両編成
さくら	551	9:59	鹿児島中央	20	当駅始発の8両編成
ひかり	461	10:05	岡山	22	16両編成



蓝光二极管（LED）



今天几乎没有一些技术在某种程度上没有受到蓝色LED的影响，60