

# 第 1 章 半导体二极管及其应用

半导体器件是近代电子技术的重要组成部分，由于它具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小和功率转换效率高等优点，所以得到了广泛的应用。本章首先介绍半导体基础知识、PN 结及其单向导电性，然后重点介绍半导体二极管的伏安特性、主要参数、模型及半导体二极管的应用，最后介绍几种特殊二极管。



## 1.1 半导体基础知识



半导体基础知识视频



半导体基础知识课件

### 1.1.1 半导体材料的特性

自然界的物质，根据导电能力的不同可分为导体、绝缘体和半导体三大类。导电能力很强的物质为导体，金属一般都是导体，如铜、铝、银等；导电能力很弱的物质为绝缘体，如橡皮、陶瓷、塑料等；导电能力介于导体和绝缘体之间的物质为半导体，如锗、硅、硒、砷化镓等。

半导体材料之所以受到人们的高度重视，并获得如此广泛的应用，是因为很多半导体的导电能力在不同条件下有很大的差别。温度、光照及掺杂等因素都会改变半导体材料的导电能力。半导体材料具有以下 3 个方面的重要特性。

#### 1. 热敏特性

金属的电阻率受温度的影响很小，而半导体的电阻率对温度的变化反应灵敏。温度升高，半导体材料的电阻率下降。以硅为例，温度每升高  $10^{\circ}\text{C}$ ，其电阻率下降一半，即导电能力提高 1 倍。利用此特性可以制作各种热敏元件，如热敏电阻，可用于温度的检测、控制或者补偿等。但是，半导体器件的导电性能随温度变化过大的特性对电子电路的稳定性有很大影响。

#### 2. 光敏特性

金属的导电性能不受光照的影响，但是大多数半导体材料在光照的作用下，其电阻率将下降。利用此特性可以制作各种光敏元件，如光敏电阻、光敏二极管等，可用于光的检测、传输及控制等。

### 3. 掺杂特性

当金属中掺入少量杂质时，其电阻率没有明显变化。但是，若在纯净的半导体中掺入微量杂质，其导电能力可增加几十万倍乃至几百万倍。例如，在纯硅材料中掺入百万分之一的硼元素后，其电阻率就从  $2 \times 10^3 \Omega \cdot m$  减小到  $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$  左右。利用此特性可制作各种半导体器件，如半导体二极管、双极型晶体管、场效应晶体管及晶闸管等。

## 1.1.2 本征半导体

完全纯净的半导体称为本征半导体。常用的半导体材料硅和锗均为四价元素，在硅或锗的单晶体结构中，原子在空间排列成很有规律的空间点阵(称为晶格)，晶格结构如图 1.1.1 所示。由于晶格中原子之间的距离很近，所以价电子不仅会受到所属原子核的作用，还会受到相邻原子核的吸引，使得一个价电子为相邻的原子核所共有，形成共价键。晶体中共价键的结构示意图如图 1.1.2 所示。

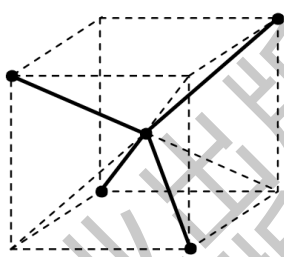


图 1.1.1 晶格结构

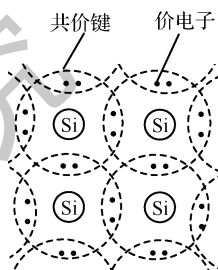


图 1.1.2 晶体中共价键的结构示意图

本征半导体在绝对零度(约 $-273^{\circ}C$ )时，共价键中的价电子不能脱离共价键的束缚，所以半导体中没有能够自由移动的带电粒子，即没有载流子，此时半导体与绝缘体一样没有导电能力。当外界给半导体施加能量时(如光照或升温)，一些共价键中的价电子会挣脱共价键的束缚成为自由电子，这样在共价键中就留下一个空位，称为空穴，这种现象称为本征激发。由于电子带负电荷，空穴表示缺少一个负电荷，所以可把空穴看成是一个带正电的粒子。

在自由电子和空穴成对产生的同时，运动中的自由电子也有可能去填补空穴，使自由电子和空穴成对消失，这种现象称为复合。在一定温度下，自由电子和空穴的产生与复合都在不停地进行，最终处于一种动态平衡状态，此时半导体中的自由电子和空穴的浓度不再变化。注意，在任何时候，本征半导体中的自由电子和空穴的数目总是相等的，所以称它们为电子-空穴对。空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特性。

在外电场的作用下，一方面，带负电荷的自由电子做定向移动，形成电子电流；另一

方面，价电子填补空穴，产生空穴的定向移动，形成空穴电流，因此半导体中有两种载流子：自由电子和空穴。载流子数量的多少是衡量半导体导电能力的标志。温度升高，本征半导体的载流子数量增多，导电能力增强。

### 1.1.3 杂质半导体

在常温下，本征半导体中载流子的浓度很低，因此本征半导体的导电能力很弱，而且其导电能力与温度密切相关，无法满足电路正常工作的需求。为了改善本征半导体的导电性能并使其具有可控性，需要在本征半导体中掺入微量的其他元素，如磷、砷、硼、镉等，这种掺有杂质的半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质性质的不同，可分为N型半导体与P型半导体。

#### 1. N型半导体

在本征半导体中，掺入微量的五价元素（如磷），可得N型半导体，N型半导体示意图如图1.1.3所示。五价磷原子取代晶体中某些位置上的四价硅原子后，多出一个价电子不受共价键的束缚。在常温下这个价电子很容易摆脱磷原子核的束缚成为自由电子，而磷原子因失去电子成为不能移动的正离子。由于掺入的磷原子能提供自由电子，所以称其为施主杂质。尽管杂质的含量很低，但每个杂质原子都可以提供一个自由电子，由此产生的自由电子的数量要比本征激发产生的电子-空穴对要多得多。因此，在N型半导体中，自由电子为多数载流子，简称多子；空穴为少数载流子，简称少子。自由电子导电成为这种半导体的主要导电方式，由于自由电子带负电，故称其为N型半导体。通过控制掺入杂质的多少，就可以方便地控制自由电子的数量。

#### 2. P型半导体

在本征半导体中，掺入微量的三价元素（如硼），可得P型半导体，P型半导体示意图如图1.1.4所示。三价硼原子取代晶体中某些位置上的四价硅原子后，在形成共价键时出现了空穴。在室温下，这些空穴能够吸引邻近的价电子来填充，硼原子因获得电子成为不能移动的负离子。由于掺入的硼原子能接受电子，所以称其为受主杂质。尽管杂质的含量很低，但每个杂质原子都能产生一个空穴，由此产生的空穴的数量要比本征激发产生的电子-空穴对要多得多。所以，在P型半导体中，空穴是多子，自由电子是少子。空穴导电成为这种半导体的主要导电方式，由于空穴带正电，故称其为P型半导体。

综上所述，无论是P型半导体还是N型半导体，主要由掺杂引起的多子的浓度远大于本征激发产生的少子的浓度，所以在显著提高导电能力的同时，也减小了温度带来的影响。要注意，无论哪一种杂质半导体，对外都呈现电中性。

当在 N 型半导体中掺入三价杂质元素，且其浓度大于原掺入的五价杂质元素时，N 型半导体可转型为 P 型半导体；反之，P 型半导体也可通过掺入足够的五价杂质元素而转型为 N 型半导体。这种通过杂质的相互作用改变半导体类型的过程，称为杂质半导体的相互转换，它在半导体器件的制造中获得了广泛的应用。

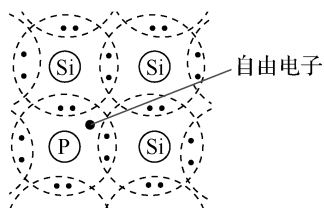


图 1.1.3 N 型半导体示意图

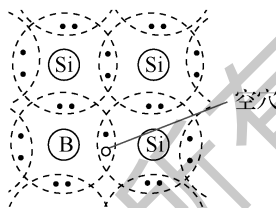


图 1.1.4 P 型半导体示意图

## 1.1.4 PN 结及其单向导电性

在一块本征硅上，采用不同的掺杂工艺使其一边形成 N 型半导体，另一边形成 P 型半导体，那么在两种半导体的交界面附近将形成极薄的空间电荷区，称为 PN 结。PN 结是构成半导体器件的基础。



PN 结及其单向导电性视频



PN 结及其单向导电性课件

### 1. PN 结的形成

当 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起时，由于交界面两侧多子和少子的浓度有很大的差别，所以 N 区的自由电子必然向 P 区扩散，而 P 区的空穴也要向 N 区扩散。在扩散运动的过程中，自由电子与空穴复合。这样在交界面附近，多子的浓度骤然下降，出现了由不能移动的带电离子组成的空间电荷区。在 N 区一侧出现正离子区，在 P 区一侧出现负离子区，如图 1.1.5 所示。在空间电荷区内，多子已扩散到对方区域并且被复合掉了，或者说消耗尽了，所以空间电荷区又称耗尽层。

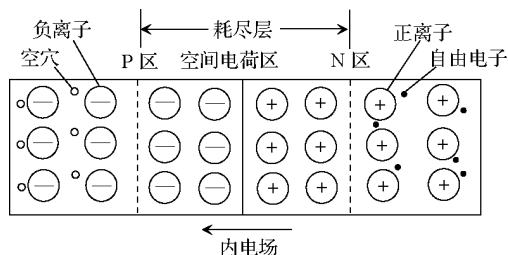


图 1.1.5 PN 结的形成

在空间电荷区形成了一个由 N 区指向 P 区的电场，称之为内电场。随着扩散的进行，空间电荷区加宽，内电场加强。显然，内电场会阻止多子的扩散运动，但对少子（P 区的自由电子和 N 区的空穴）越过空间电荷区进入对方区域起着推动作用。这种少子在内电场的

作用下有规则的运动称为漂移运动。少子漂移运动的方向正好与多子扩散运动的方向相反。从 N 区漂移到 P 区的空穴填补了原来交界面上 P 区失去的空穴，而从 P 区漂移到 N 区的自由电子填补了原来交界面上 N 区失去的电子，所以漂移运动使空间电荷区变窄。

由此可见，PN 结的形成过程中存在两种运动：一种是多子因浓度差产生的扩散运动，另一种是少子在内电场的作用下产生的漂移运动，这两种运动相互制约。最终，当从 P 区扩散到 N 区的空穴数和从 N 区漂移到 P 区的空穴数相等、从 N 区扩散到 P 区的自由电子数和从 P 区漂移到 N 区的自由电子数相等时，扩散运动和漂移运动达到动态平衡，空间电荷区的宽度将保持不变，这个空间电荷区就是 PN 结。

## 2. PN 结的单向导电性

PN 结在没有外加电压时，其内部的扩散运动和漂移运动处于动态平衡，PN 结内无电流流过。PN 结的基本特性——单向导电性只有在外加电压时才会显示出来。

### 1) 外加正向电压

当外加电压使 P 区电位高于 N 区电位时，称 PN 结外加正向电压（或称正向偏置，简称正偏），如图 1.1.6 所示。此时外电场与内电场方向相反，在外电场的作用下，多子被推向耗尽层，从而使耗尽层变窄，内电场被削弱，有利于多子的扩散而不利于少子的漂移。随着电源电压值的上升，外电场从小于内电场到等于内电场，最后大于内电场，此时由多子的扩散运动形成较大的正向电流。在正常工作范围内，只要稍微增大 PN 结外加的正向电压，便会引起正向电流迅速上升，说明 PN 结呈现的正向电阻很小，即 PN 结导通。

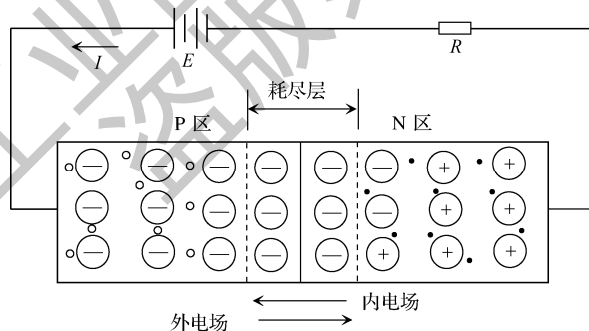


图 1.1.6 外加正向电压时的 PN 结

### 2) 外加反向电压

当外加电压使 P 区电位低于 N 区电位时，称 PN 结外加反向电压（或称反向偏置，简称反偏），如图 1.1.7 所示。此时外电场方向与内电场方向一致，使耗尽层变宽，阻止多子的扩散，但有助于少子的漂移。少子的漂移形成了反向电流。由于少子的浓度很低，所以反向电流很小，一般为  $\mu\text{A}$  数量级。这表明 PN 结外加反向电压时呈现的反向电阻很大，所以可近似认为 PN 结外加反向电压时不导电，即 PN 结截止。

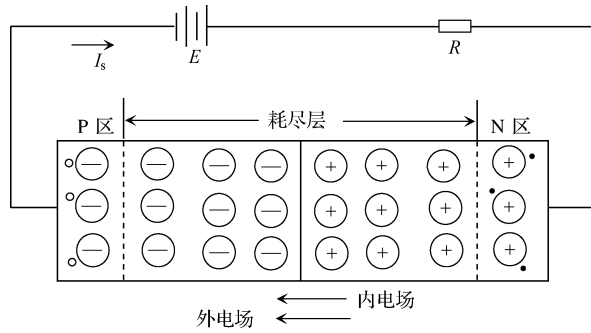


图 1.1.7 外加反向电压时的 PN 结

因为少子是由本征激发产生的，所以其数量取决于温度，几乎与外加电压无关。在一定温度下，由本征激发产生的少子的数量是一定的，所以反向电流的值也趋于恒定，又称反向饱和电流。

综上所述，当 PN 结正偏时，PN 结导通，形成较大的正向电流；当 PN 结反偏时，PN 结截止，电流几乎为零，这种特性称为 PN 结的单向导电性。二极管、晶体管及其他各种半导体器件的工作特性都是以 PN 结的单向导电性为基础的。

### 3. PN 结的电压与电流的关系

PN 结的单向导电性说明了 PN 结的电压和电流具有非线性关系，这种关系可以用下式表示：

$$i = I_s (e^{\frac{u}{U_T}} - 1) \quad (1.1.1)$$

式中， $i$  为流过 PN 结的电流，将其方向定义为由 P 区流向 N 区； $u$  为 PN 结两端的外加电压，将其方向定义为 P 区为“+”、N 区为“-”； $I_s$  为反向饱和电流； $U_T$  为温度的电压当量， $U_T = \frac{kT}{q}$ ，其值与 PN 结的绝对温度  $T$  和玻尔兹曼常数  $k$  成正比，与电子电量  $q$  成反比。在室温（27°C，即 300K）时， $U_T \approx 26\text{mV}$ 。PN 结的伏安特性曲线如图 1.1.8 所示。

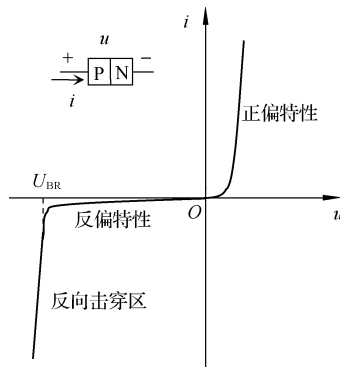


图 1.1.8 PN 结的伏安特性曲线

对于式(1.1.1)可解释如下。

(1) 当  $u=0$  时,  $i=0$ 。

(2) 当  $u>0$ , 且  $u \gg U_T$  时,  $e^{\frac{u}{U_T}} \gg 1$ , 故  $i \approx I_S e^{\frac{u}{U_T}}$ 。即 PN 结正偏时,  $i$  和  $u$  基本成指数关系。

(3) 当  $u<0$ , 且  $|u| \gg U_T$  时,  $e^{\frac{u}{U_T}} \ll 1$ , 故  $i \approx -I_S$ 。即反向电流近似为常量, 与反向电压几乎无关。

注意, 式(1.1.1)只描述了 PN 结正偏和反偏两种状态, 并不包括下面描述的反向击穿状态。

#### 4. PN 结的反向击穿

当 PN 结外加的反向电压超过某一数值时, 流过 PN 结的反向电流会急剧增加, 将这种现象称为 PN 结的反向击穿。发生击穿时所需的反向电压  $U_{BR}$  称为反向击穿电压。反向击穿电压的大小与 PN 结的制造参数有关。

当 PN 结反向击穿后, 若反向电流和反向电压的乘积没有超过 PN 结允许的耗散功率, 则这种击穿是可逆的, 称为电击穿, 当反向电压降低后, PN 结仍可恢复原来的状态。但是, 如果反向电流和反向电压的乘积超过 PN 结允许的耗散功率, 则会造成 PN 结因过热而烧毁。这种击穿称为热击穿, 它会造成器件的永久损坏, 所以是不可逆的。电击穿可以被人们利用(如稳压二极管), 而热击穿则必须避免。

产生击穿的机理通常有以下两种。

##### 1) 齐纳击穿

对于掺杂浓度高的 PN 结, 其空间电荷区的宽度很薄, 所以较小的反向电压(一般为几伏)就可以在耗尽层形成很强的电场。它能够直接破坏共价键, 把价电子从共价键中激发出来, 产生电子-空穴对, 引起反向电流急剧增加, 出现击穿, 将这种击穿称为齐纳击穿。当击穿电压小于 4V 时, 击穿主要是由齐纳击穿造成的。

##### 2) 雪崩击穿

对于掺杂浓度低的 PN 结, 其空间电荷区的宽度很厚, 需要更高的电压才能在空间电荷区形成较强的电场, 使进行漂移运动的少数载流子加速, 能量加大。加速的少数载流子与价电子相互碰撞时把价电子“撞”出共价键, 从而产生电子-空穴对, 新产生的自由电子、空穴被电场加速后又可能“撞”出其他的价电子。载流子雪崩式的倍增引起了电流的急剧增加, 将这种击穿称为雪崩击穿。

一般二极管发生的击穿都是雪崩击穿, 只有在特殊制作的二极管中, 才有可能发生齐纳击穿, 如稳压二极管。

## 5. PN 结的电容效应

电容是一个存储电荷的元件，当它两端的电压发生变化时，其存储的电荷也会发生变化，于是就出现了充放电现象。PN 结也具有电容的这个特性，因此 PN 结具有电容效应。根据产生原因的不同，可将电容分为扩散电容和势垒电容。

### 1) 扩散电容 $C_D$

扩散电容  $C_D$  是由载流子在扩散运动中的积累形成的。当 PN 结正偏时，P 区的空穴将穿过 PN 结向 N 区扩散。由于刚进入 N 区，空穴与自由电子复合的概率较小，随着空穴在 N 区的继续移动，其复合概率增加。N 区的自由电子向 P 区扩散的情况与上述情况类似。所以靠近 PN 结边缘的载流子浓度最大，距离 PN 结越远，载流子的浓度越低。PN 结附近的高载流子浓度可以看作是电荷存储到了 PN 结的附近。当外加电压增大时，PN 结边缘的多子浓度增加，存储的电荷也增加，相当于电容充电；当外加电压减小时，PN 结边缘的多子浓度降低，存储的电荷减少，相当于电容放电。这种电容称为扩散电容。

当 PN 结反偏时，由于少子的浓度本身就很低，所以当外加电压发生变化时，PN 结边缘载流子的浓度变化不大，此时扩散电容很小，一般可以忽略。

### 2) 势垒电容 $C_B$

势垒电容  $C_B$  是由空间电荷区中电荷量的变化形成的。当 PN 结反偏时，反向电压增大，使空间电荷区变宽，反向电压减小使空间电荷区变窄，相当于 PN 结内存储的正负离子电荷数随着外加电压变化，即电容的充放电。此时 PN 结呈现出来的电容称为势垒电容。

当 PN 结正偏时，空间电荷区很窄，势垒电容可以忽略，所以势垒电容效应主要发生在 PN 结反偏时。

扩散电容  $C_D$  和势垒电容  $C_B$  的大小都随着外加电压的改变而改变，属于非线性电容。不难理解，扩散电容  $C_D$  和势垒电容  $C_B$  是并联的，所以 PN 结的结电容  $C_j$  为两者之和，即  $C_j = C_D + C_B$ 。当 PN 结正偏时，因为  $C_D \gg C_B$ ，所以  $C_j$  以扩散电容  $C_D$  为主，其值较大，通常为几十至几百皮法；当 PN 结反偏时， $C_B \gg C_D$ ，所以  $C_j$  以势垒电容  $C_B$  为主，其值较小，通常为几至几十皮法。在高频情况下，PN 结可以等效为一个电阻和一个结电容并联的形式，PN 结的高频等效电路如图 1.1.9 (a) 所示。

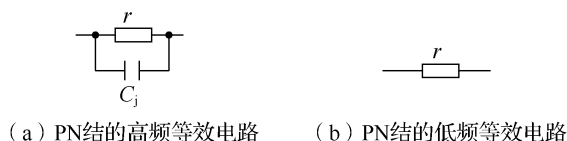


图 1.1.9 PN 结的等效电路

由于结电容的存在，而电容的容抗又随着工作频率的增大而减小，所以在高频时，电流将从结电容通过，这就破坏了 PN 结的单向导电性。因此，当工作频率很高时需要考虑

结电容的作用,或者说PN结的工作频率受到一定的限制。在低频情况下,PN结的电容效应可以忽略,PN结可以等效为一个电阻的形式,PN结的低频等效电路如图1.1.9(b)所示。



1.1 测试题



## 1.2 半导体二极管



半导体二极管视频



半导体二极管课件

### 1.2.1 半导体二极管的结构与类型

半导体二极管是利用PN结的单向导电性制造的一种重要的半导体器件。在PN结的两端引出两个电极,并将其封装在金属或塑料管壳内就构成了二极管(后面正文用二极管表示半导体二极管)。从P区引出的电极为阳极(a),从N区引出的电极为阴极(k)。二极管一般用字母D表示,其电路符号如图1.2.1(a)所示。

二极管的种类有很多,分类方法也有很多。根据所用材料不同,可分为硅二极管和锗二极管;根据用途不同,可分为普通二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管等;根据结构不同,可分为点接触型二极管、面接触型二极管和平面型二极管。

点接触型二极管结构如图1.2.1(b)所示。其特点是结面积小,不能通过很大的电流;结电容小,一般在 $1\text{pF}$ 以下,所以常用于高频电路、小功率整流电路、开关元件等。例如,2AP1是点接触型锗二极管,其最大整流电流为 $16\text{mA}$ ,最高工作频率为 $150\text{MHz}$ 。

面接触型二极管结构如图1.2.1(c)所示,其特点是结面积较大,所以能通过较大的电流;结电容也大,只能在较低的频率下工作,所以常用于低频整流电路。例如,2CP1为面接触型硅二极管,其最大整流电流为 $400\text{mA}$ ,最高工作频率只有 $3\text{kHz}$ 。

平面型二极管结构如图1.2.1(d)所示,采用集成电路中最常见的平面扩散工艺制成。结面积可大可小,结面积大的可通过较大电流,适用于大功率整流电路;结面积小的结电容小,适合在脉冲数字电路中作开关管。

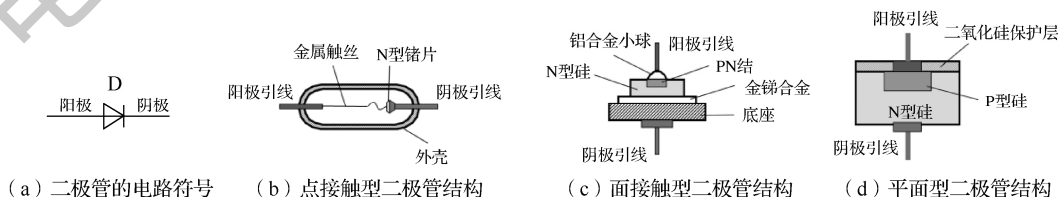


图 1.2.1 二极管的电路符号和几种常见结构

## 1.2.2 半导体二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指二极管两端的电压  $u_D$  与流过二极管的电流  $i_D$  之间的关系，可以用  $u-i$  平面上的一条曲线来描述，如图 1.2.2 所示。由图 1.2.2 可以看出，二极管的伏安特性曲线与 PN 结的伏安特性曲线相似。由于二极管存在引线电阻，所以二极管正偏时流过的电流比 PN 结正偏时流过的电流小；又由于表面漏电流的影响使二极管反偏时流过的电流比 PN 结反偏时流过的电流大。但两者的差别很小，在本书中不进行区分，所以可以用式 (1.2.1) 近似描述二极管的伏安特性。

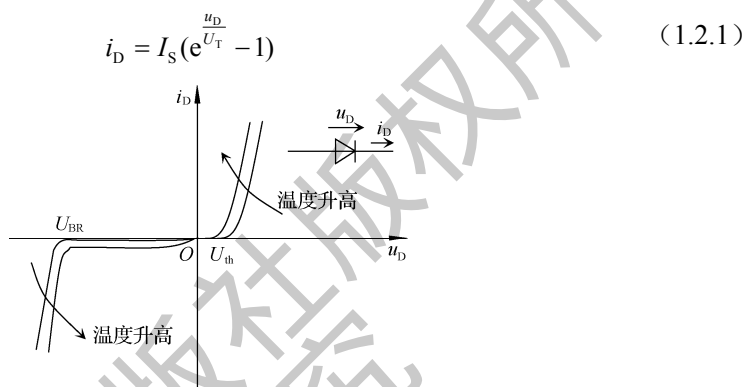


图 1.2.2 二极管的伏安特性曲线

### 1. 正向特性

由图 1.2.2 可知，当二极管的外加正向电压小于  $U_{th}$  时，外电场不足以克服内电场，多子的扩散仍受较大阻碍，所以二极管的正向电流很小，几乎为零。当正向电压大于  $U_{th}$  时，二极管才开始导通，所以  $U_{th}$  称为死区电压或开启电压。在常温下，硅二极管的  $U_{th} \approx 0.5V$ ，锗二极管的  $U_{th} \approx 0.1V$ 。

当正向电压超过  $U_{th}$  后，二极管的电流随着正向电压的增大按指数规律增长，二极管呈现很小的电阻。二极管导通后其端电压几乎不变，称之为正向导通压降。硅二极管的正向导通压降约为  $0.6 \sim 0.8V$  (通常取  $0.7V$ )；锗二极管的正向导通压降约为  $0.2 \sim 0.3V$  (通常取  $0.3V$ )。

### 2. 反向特性

由图 1.2.2 可知，当二极管外加反向电压时，反向电流很小。当反向电压在一定范围内变化时，反向电流基本不变，称为反向饱和电流  $I_S$ 。小功率硅二极管的反向饱和电流一般小于  $0.1\mu A$ ，锗二极管的反向饱和电流比硅二极管大，通常为数十微安。反向饱和电流越小，说明二极管的单向导电性越好。

当二极管外加的反向电压达到击穿电压  $U_{BR}$  时，反向电流会急剧增大，此时二极管被反向击穿。各类二极管的反向击穿电压大小不同，一般为几十伏到几百伏。

二极管的伏安特性受温度影响较大,当温度升高时,正向特性曲线向左移,反向特性曲线向下移,如图 1.2.2 所示。在室温附近,温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ,正向导通压降减小  $2\sim 2.5\text{mV}$ ;温度每升高  $10^{\circ}\text{C}$ ,反向饱和电流约增大 1 倍。

### 1.2.3 半导体二极管的主要参数

器件的参数是对器件特性的定量描述,掌握器件的主要参数是正确使用和合理选择器件的必要条件。二极管的主要参数如下。

#### 1) 最大整流电流 $I_F$

最大整流电流  $I_F$  是指二极管在长时间工作时允许通过的最大正向平均电流。在实际使用时通过二极管的正向平均电流不允许超过此值,并且要保证规定的散热条件,否则二极管会因过热而烧毁。

#### 2) 最高反向工作电压 $U_{RM}$

最高反向工作电压  $U_{RM}$  是指二极管在使用时允许施加的最高反向电压,一般取反向击穿电压的一半作为  $U_{RM}$ 。在使用时加在二极管上的反向电压不能超过此值,否则有反向击穿的危险。

#### 3) 反向电流 $I_R$

反向电流  $I_R$  是指二极管反偏(未击穿)时的反向电流值。反向电流越小,二极管的单向导电性越好。反向电流与温度有关,在高温运行时此值较大,应加以注意。

#### 4) 最高工作频率 $f_M$

最高工作频率  $f_M$  是指保证二极管具有单向导电性的最高工作频率,其大小由结电容决定。当工作频率超过此值时,二极管的单向导电性将明显变差。

上述是二极管的主要参数,其他参数可根据二极管的型号查阅产品手册或通用的手册。

(1) 2AP1、2AP4、2AP7 检波二极管(点接触型锗二极管,在电子设备中用于检波和小电流整流)的参数如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 2AP1、2AP4、2AP7 检波二极管的参数

参数 型号	最大整 流电流	最高反向 工作电压 (峰值)	反向击穿电压 (反向电流为 $400\mu\text{A}$ )	正向电流 (正向电压为 1V)	反向电流 (反向电压分别为 10V, 50V, 100V)	最高工 作频率	极间 电容
	mA	V	V	mA	$\mu\text{A}$	MHz	pF
2AP1	16	20	$\geq 40$	$\geq 2.5$	$\leq 250$	150	$\leq 1$
2AP4	16	50	$\geq 75$	$\geq 5.0$	$\leq 250$	150	$\leq 1$
2AP7	12	100	$\geq 150$	$\geq 5.0$	$\leq 250$	150	$\leq 1$

(2) 2CZ52、2CZ54、2CZ57 整流二极管(用于电子设备的整流电路)的参数如表 1.2.2

所示。

表 1.2.2 2CZ52、2CZ54、2CZ57 整流二极管的参数

参数 型号	最大整 流电流 A	最高反向工作 电压 (峰值) V	最高反向工作电压下 的反向电流 (25°C) $\mu\text{A}$	正向压降 (平均值) (25°C) V	最高工 作频率 kHz
2CZ52	0.1	25, 50, 100, 200, 300,	5	$\leq 1$	3
2CZ54	0.5	400, 500, 600, 700, 800,	10	$\leq 1$	3
2CZ57	5	900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000	20	$\leq 0.8$	3

根据二极管的主要参数和结构类型，我们概括出在使用二极管时的一般选择原则。

- (1) 若需要二极管导通后的管压降低一些，应选择锗二极管；
- (2) 若在高温场合使用，应选择点接触型二极管；
- (3) 若要求反向电流小一些，应选择硅二极管；
- (4) 所选二极管的最大整流电流应大于在工作中流过二极管的正向平均电流，并留有一定的余量；
- (5) 所选二极管的最高反向工作电压应大于工作中加在二极管上的反向工作电压的最大值；
- (6) 注意不同型号、不同封装的二极管的使用环境温度，选择满足工作环境要求的二极管。



## 1.2.4 半导体二极管的模型

二极管的伏安特性是非线性的，这给实际电路的分析计算带来许多不便。因此，在工程上常常先将其分段线性化，建立线性模型或者线性等效电路，然后再用线性电路的分析方法分析二极管电路。在工程应用中，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，可以为二极管建立以下几种常用的线性模型。

### 1. 理想二极管模型

理想二极管的伏安特性曲线如图 1.2.3 (a) 所示，即忽略二极管的正向导通压降、死区电压和反向电流，把它们都当作零处理。理想二极管的电路模型如图 1.2.3 (b) 所示。显然，理想二极管在正偏时，因其管压降为零，可视为短路；在反偏时因其电流为零，可视为开路，所以理想二极管可等效为一个开关，理想二极管的等效电路如图 1.2.3 (c) 所示。

在实际电路中，当电源电压远大于二极管的正向导通压降时，利用此模型近似分析是可行的。

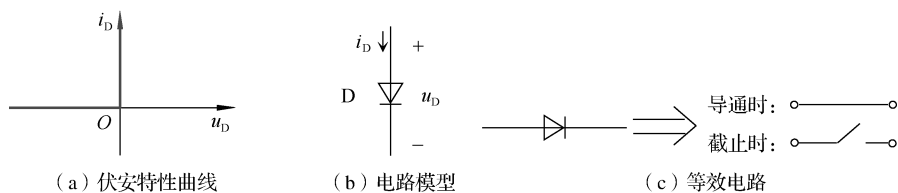


图 1.2.3 理想二极管的伏安特性曲线、电路模型及等效电路

## 2. 恒压降模型

当二极管导通后，其正向导通压降变化不大，即几乎不随电流变化，所以在近似计算时用恒定电压降代替可以得到比用理想模型更高的分析精度。恒压降模型的伏安特性曲线、电路模型及等效电路如图 1.2.4 所示。

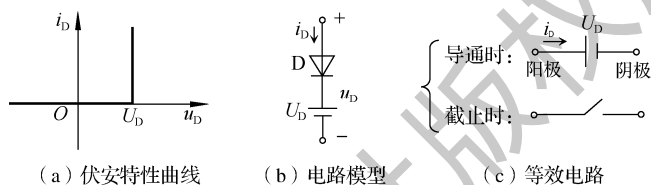


图 1.2.4 恒压降模型的伏安特性曲线、电路模型及等效电路

由图 1.2.4 可知，当加在二极管上的正向电压大于正向导通压降  $U_D$  时，二极管导通。导通后管压降恒定，始终为  $U_D$ ，且不随电流变化，所以可将二极管等效成电压为  $U_D$  的恒压源。硅二极管的  $U_D \approx 0.7V$ ；锗二极管的  $U_D \approx 0.3V$ 。当加在二极管上的正向电压小于正向导通压降  $U_D$  时，二极管截止，相当于开关断开。

## 3. 折线模型

为了较真实地描述二极管的伏安特性，在恒压降模型的基础上再进行一定的修正，即认为二极管的正向导通压降不是恒定的，而是随着电流的增大而增大的，所以用一个理想二极管  $D$ 、一个电压为  $U_{th}$  的恒压源（硅二极管为  $0.5V$ ；锗二极管为  $0.1V$ ）和一个电阻  $r_D$  ( $r_D = \Delta u_D / \Delta i_D$ ) 进行进一步的近似。折线模型的伏安特性曲线和电路模型如图 1.2.5 所示。

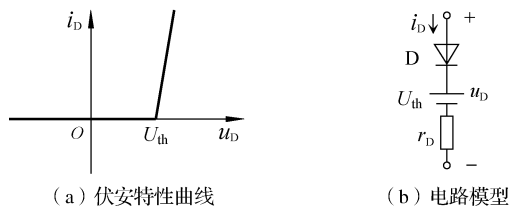


图 1.2.5 折线模型的伏安特性曲线和电路模型

以上 3 种模型都是将二极管的伏安特性曲线近似为两段直线，这样只要判断出二极管工作于哪段直线，就可以用线性电路的分析方法来分析二极管电路了。这 3 种模型都属于二极管大信号模型。注意，反向击穿状态在这里被认为是非正常工作状态，所以没有包括

在上述 3 种模型中。

#### 4. 二极管小信号模型

在如图 1.2.6 (a) 所示的二极管电路中，不仅含有直流激励，还含有交流小信号激励，此时二极管始终导通，流过二极管的电流及管压降既有直流量，又有交流量（小幅度交流信号叠加在直流信号之上）。二极管的工作状态将在静态工作点  $Q$  附近进行微小的变动，此时可用二极管小信号模型进行分析。图 1.2.6 (b) 中标出了这种微小的变化  $\Delta u_D$  和  $\Delta i_D$ 。在这微小变化的范围内，二极管的伏安特性可近似为一条以  $Q$  点为切点的直线，其斜率的倒数就是小信号模型的动态电阻  $r_D$ ，如图 1.2.6 (c) 所示。

$$r_D = \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \quad (1.2.2)$$

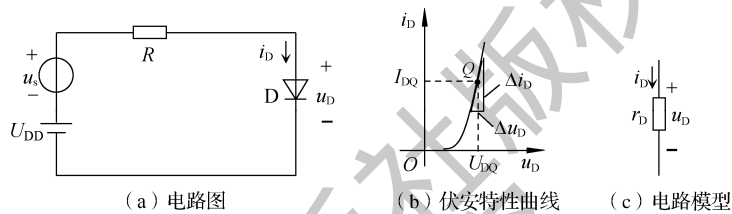


图 1.2.6 二极管小信号模型的电路图、伏安特性曲线及电路模型

$r_D$  的值也可由二极管的伏安特性，即由式 (1.2.1) 求导得出：

$$\frac{di_D}{du_D} \approx I_S e^{\frac{u_D}{U_T}} \frac{1}{U_T} \approx \frac{I_{DQ}}{U_T} \quad (1.2.3)$$

$$r_D = \frac{1}{\frac{di_D}{du_D}} \approx \frac{U_T}{I_{DQ}} \quad (1.2.4)$$

在室温 (27°C, 即 300K) 时,  $U_T \approx 26\text{mV}$ , 由此可求得  $r_D$  的值。例如, 当  $Q$  点的  $I_{DQ} = 2\text{mA}$  时,  $r_D = 13\Omega$ 。由式 (1.2.4) 可知, 当温度一定时,  $r_D$  的值与静态工作点  $Q$  的位置有关,  $Q$  点越高,  $r_D$  越小。

例 1.2.1 某硅二极管电路如图 1.2.7 所示, 分别用合适的二极管模型计算 3 个电路中的电压  $U_{AB}$ 。

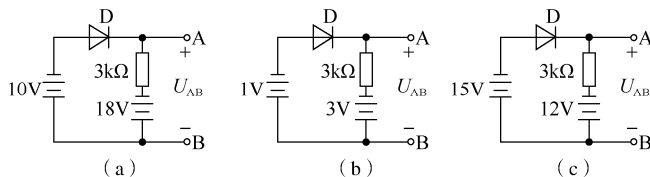


图 1.2.7 例 1.2.1 图

**解：**在分析二极管电路时，首先要判断二极管的工作状态。具体方法是先将二极管断开，计算二极管的正向电压（设参考方向阳极+，阴极为-）。若正向电压 $>$ 死区电压，则二极管导通；反之，则二极管截止。

(1) 在图 1.2.7 (a) 的电路中，当二极管断开后，外加的正向电压为  $18-10=8\text{V}$ ，远大于硅二极管的死区电压（约  $0.5\text{V}$ ），故二极管导通。此时可以用理想二极管模型分析该电路。二极管导通，其在电路中相当于短路，等效电路如图 1.2.8 (a) 所示，由此求得  $U_{AB}=-10\text{V}$ 。

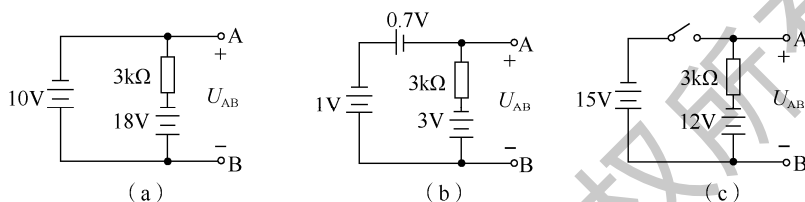


图 1.2.8 等效电路

(2) 在图 1.2.7 (b) 的电路中，当二极管断开后，外加的正向电压为  $3-1=2\text{V}$ ，大于硅二极管的死区电压（约  $0.5\text{V}$ ），故二极管导通。由于回路的等效电压源（ $2\text{V}$ ）还不到硅二极管正向导通压降（ $0.7\text{V}$ ）的 3 倍，采用理想二极管模型会产生较大误差，所以采用恒压降模型。等效电路如图 1.2.8 (b) 所示，由此求得  $U_{AB}=-1.7\text{V}$ 。

(3) 在图 1.2.7 (c) 的电路中，当二极管断开后，外加的正向电压为  $12-15=-3\text{V}$ ，此时二极管因反偏而截止。当二极管截止时，反向电流近似为 0，相当于开关断开。等效电路如图 1.2.8 (c) 所示，由此求得  $U_{AB}=-12\text{V}$ 。

**例 1.2.2** 理想二极管电路如图 1.2.9 (a) 所示，试判断这两个二极管的工作状态，并求电压  $U_{AB}$  的值。

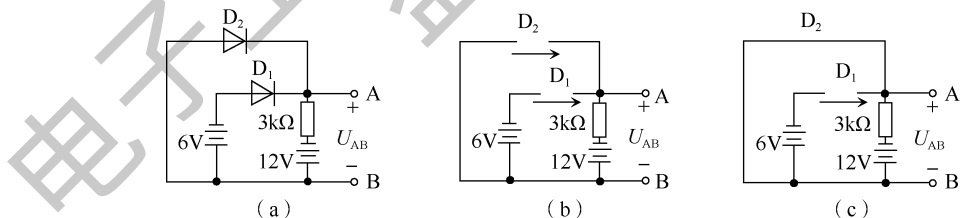


图 1.2.9 例 1.2.2 图

**解：**当电路中有两个或两个以上的二极管时，先将所有二极管断开，计算每个二极管的正向电压。正向电压大的二极管优先导通，然后在此基础上判断其余的二极管是否导通。

将图 1.2.9 (a) 中的两个二极管断开后，如图 1.2.9 (b) 所示，由此求得  $D_1$  上的正向电压为  $-6+12=6\text{V}$ ； $D_2$  上的正向电压为  $12\text{V}$ 。

因为  $D_2$  上承受的正向电压大, 所以  $D_2$  导通。理想二极管的正向导通压降为 0, 所以  $D_2$  导通后可以用短路代替, 其等效电路如图 1.2.9 (c) 所示。此时  $D_1$  上的正向电压变为  $-6V$ , 所以  $D_1$  截止, 由此求得  $U_{AB}=0$ 。



1.2 测试题



## 1.3 半导体二极管的应用



二极管应用电路视频



二极管应用电路课件

二极管的应用范围很广, 利用二极管的单向导电性可以组成各种应用电路, 如整流电路、限幅电路、开关电路等。

### 1.3.1 整流电路

所谓整流, 就是将交流电压变成单方向的脉动直流电压的过程, 下面举例说明。

**例 1.3.1** 理想二极管电路如图 1.3.1 (a) 所示, 已知输入电压  $u_i=10\sin\omega tV$ , 试画出输出电压  $u_o$  的波形。

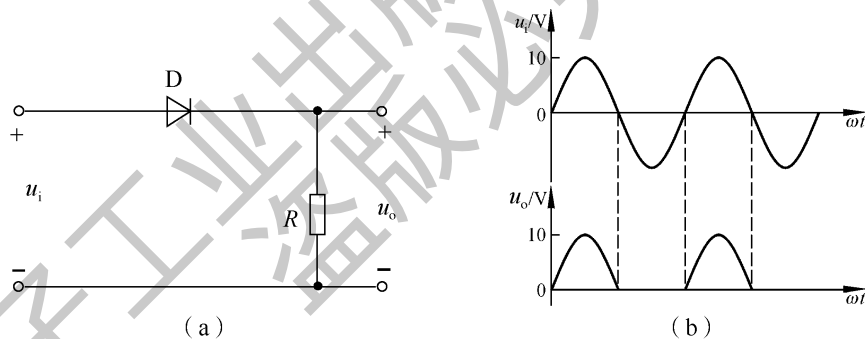


图 1.3.1 例 1.3.1 图

**解:** 图 1.3.1 (a) 中的二极管为理想二极管, 其死区电压和正向导通压降都为零, 故可得:

当  $u_i > 0$  时, 二极管处于正偏导通状态, 可视为短路, 此时  $u_o = u_i$ ;

当  $u_i < 0$  时, 二极管处于反偏截止状态, 可视为开路, 此时  $u_o = 0$ 。

由此可得输出电压  $u_o$  的波形, 如图 1.3.1 (b) 所示。显然, 输出电压为单向的脉动直流电压, 实现了整流。由于负载  $R$  上只获得了半个周期的正弦波, 所以称该电路为半波整流电路。利用二极管还可以组成桥式整流电路, 负载  $R$  上可获得整个周期的正弦波, 这部分内容将在第 9 章详细介绍。

### 1.3.2 限幅电路

在电子技术中，经常用限幅电路对各种信号进行处理。所谓限幅就是让信号在预置的电平范围内有选择地传输一部分，下面举例说明。

例 1.3.2 限幅电路如图 1.3.2 所示，已知  $u_i=4\sin\omega t\text{V}$ ， $U_{\text{REF}}=2\text{V}$ ，二极管的正向导通电压降为  $0.7\text{V}$ ，要求画出输出电压  $u_o$  的波形及电压传输特性曲线  $u_o=f(u_i)$ 。

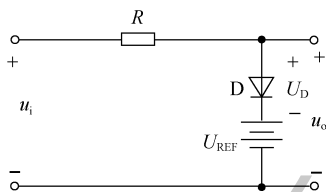


图 1.3.2 例 1.3.2 图

解：由图 1.3.2 可知：

当  $u_i > 2.7\text{V}$  时，二极管正向导通，相当于  $0.7\text{V}$  的电压源，故  $u_o = 2.7\text{V}$ ；当  $u_i < 2.7\text{V}$  时，二极管反偏截止，可视为开路，故  $u_o = u_i$ 。

由此可得输出电压  $u_o$  的波形，如图 1.3.3 (a) 所示；电压传输特性曲线如图 1.3.3 (b) 所示。此电路将输出电压限制在小于  $2.7\text{V}$  的范围。图 1.3.2 中若再并联一条与二极管和  $U_{\text{REF}}$  方向均相反的支路，则可实现波形的双向限幅，即将输出电压幅度限制在  $-2.7\sim 2.7\text{V}$ （见本章习题 1.6）。

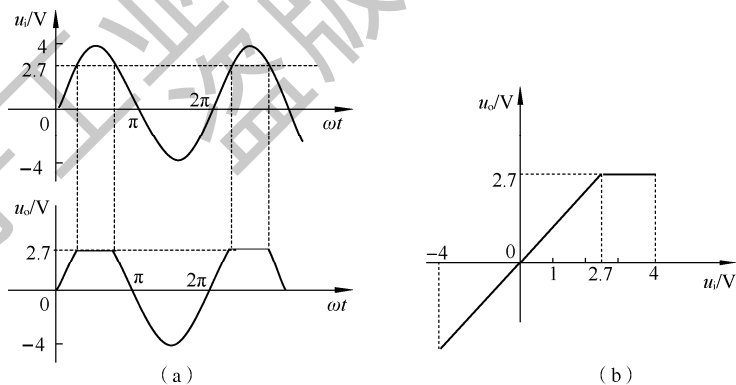


图 1.3.3 输出电压  $u_o$  的波形及电压传输特性曲线

### 1.3.3 开关电路

在开关电路中，可利用二极管的单向导电性接通或断开电路。二极管的这种工作方式在数字电路中得到了广泛应用，下面举例说明。

例 1.3.3 硅二极管构成的开关电路如图 1.3.4 所示。当  $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  分别为 0 或 5V 时，求在  $u_{i1}$ 、 $u_{i2}$  的不同输入组合下，输出电压  $u_o$  的值。

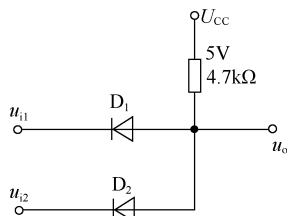


图 1.3.4 例 1.3.3 图

解：当  $u_{i1}=0$ ， $u_{i2}=5V$  时， $D_1$  正偏导通； $D_2$  反偏截止，所以  $u_o=0.7V$ 。依此类推， $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  的所有输入组合及对应的输出电压  $u_o$  如表 1.3.1 所示。

表 1.3.1  $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  的所有输入组合及对应的输出电压  $u_o$

$u_{i1}/V$	$u_{i2}/V$	二极管工作状态		$u_o/V$
		$D_1$	$D_2$	
0	0	导通	导通	0.7
0	5	导通	截止	0.7
5	0	截止	导通	0.7
5	5	截止	截止	5

由表 1.3.1 可知，在输入电压  $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  中，只要有 1 个为低电平（0），则输出为低电平（0.7V）；只有当两个输入电压均为高电平（5V）时，输出才为高电平（5V）。这种关系在数字电路中称为“与”逻辑。



1.3 测试题

## 1.4 特殊二极管

### 1.4.1 稳压二极管



特殊二极管视频



特殊二极管课件

稳压二极管是用特殊工艺制造的面接触型硅二极管，它利用二极管的反向击穿特性实现稳压。稳压二极管的符号和伏安特性曲线如图 1.4.1 所示。稳压二极管具有很陡的反向击穿特性，所以击穿后反向电流在很大的范围内变化时，其两端的电压几乎不变，这就是它的“稳压”特性。在稳压二极管中发生的击穿多为齐纳击穿，故稳压二极管又称齐纳二极管。

普通二极管在使用时要避免出现反向击穿，而稳压二极管正是利用二极管在反向击穿时产生的“稳压”特点制成的特殊二极管。稳压二极管工作于反向击穿状态时，只要采取

措施控制反向击穿电流，就能避免稳压二极管因过热而烧毁。

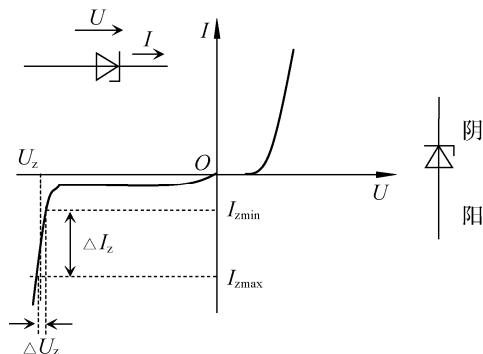


图 1.4.1 稳压二极管的符号和伏安特性曲线

## 1. 稳压二极管的主要参数

### 1) 稳定电压 $U_Z$

稳定电压  $U_Z$  是指稳压二极管在规定电流下的反向击穿电压。制造工艺不同，使得同一型号的稳压二极管的  $U_Z$  值不尽相同。所以在手册中，该值会以一个小的范围给出。例如，2CW11 给出的稳定电压为 3.2~4.5V。

### 2) 最小稳定电流 $I_{Zmin}$

最小稳定电流  $I_{Zmin}$  是指稳压二极管在电压稳定范围内的最小电流。当小于此电流时，稳压二极管工作于反向截止状态，没有稳压作用。

### 3) 最大稳定电流 $I_{Zmax}$

最大稳定电流  $I_{Zmax}$  是指稳压二极管允许的最大工作电流。超过此值，稳压二极管将从电击穿转变为热击穿而烧毁。

### 4) 动态电阻 $r_z$

由于稳压二极管反向击穿的特性曲线并非与纵轴完全平行，定义动态电阻  $r_z$  用于衡量反向击穿曲线与纵轴的平行程度，其表达式为

$$r_z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

由图 1.4.1 可知， $r_z$  越小，则由  $\Delta I_Z$  引起的  $\Delta U_Z$  越小，即稳压效果越好。一般稳压二极管的  $r_z$  为几欧到几十欧。

### 5) 最大允许耗散功率 $P_{ZM}$

最大允许耗散功率  $P_{ZM}$  可用稳定电压  $U_Z$  与最大稳定电流  $I_{Zmax}$  的乘积表示，即

$$P_{ZM} = U_Z I_{Zmax}$$

在正常工作时，稳压二极管的功率不应该超过此值，否则会损坏稳压二极管。

## 2. 稳压电路

最简单的稳压电路如图 1.4.2 所示，图中  $U_i$  为稳压电路的输入电压，一般由整流滤波电路提供（详见第 9 章）， $R_L$  为负载电阻， $U_o$  为输出电压， $R$  为限流电阻。由于稳压二极管正常工作的条件有两个，一是工作于反向击穿状态，二是稳压二极管中的电流要满足  $I_{Z\min} \leq I_Z \leq I_{Z\max}$ ，所以图 1.4.2 中的限流电阻  $R$  就是为了保证稳压二极管正常工作才接入的。在实际电路中，这个限流电阻的选择非常重要，下面举例说明。

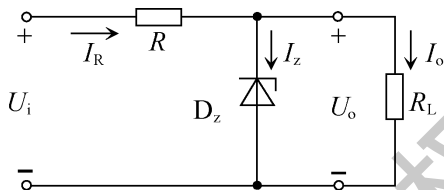


图 1.4.2 稳压电路

**例 1.4.1** 如图 1.4.2 所示的稳压电路，已知输入电压  $U_i=10\text{V}$ ，限流电阻  $R=2\text{k}\Omega$ ，负载电阻  $R_L=2\text{k}\Omega$ ，稳压二极管的稳定电压  $U_Z=6\text{V}$ ，最小稳定电流  $I_{Z\min}=5\text{mA}$ ，最大允许耗散功率  $P_{ZM}=90\text{mW}$ 。（1）请问此时稳压二极管能否稳压，并求输出电压  $U_o$ ；（2）求稳压二极管正常稳压时，限流电阻  $R$  的取值范围。

**解：**（1）先求出稳压二极管的最大稳定电流： $I_{Z\max}=P_{ZM}/U_Z=15\text{mA}$ 。

当稳压二极管正常工作时，其工作电流要满足  $I_{Z\min} \leq I_Z \leq I_{Z\max}$ ，即  $5\text{mA} \leq I_Z \leq 15\text{mA}$ 。假设稳压二极管能正常稳压，则  $U_o=U_Z=6\text{V}$ ，此时  $I_o=U_Z/R_L=3\text{mA}$ ； $I_R=(U_i-U_o)/R=2\text{mA}$ 。

由 KCL 求得稳压二极管的电流： $I_Z=I_R-I_o=-1\text{mA}$ 。显然不满足  $5\text{mA} \leq I_Z \leq 15\text{mA}$ ，因此假设错误，说明此时稳压二极管不能稳压，它工作于截止状态，可视为断路。输出电压  $U_o$  可由电阻的串联分压求得，即

$$U_o = \frac{R_L}{R + R_L} U_i = \frac{2}{2 + 2} \times 10 = 5\text{V}$$

显然，要使该电路能够稳压，应减小限流电阻的值。

（2）当稳压二极管正常工作时，其工作电流要满足  $5\text{mA} \leq I_Z \leq 15\text{mA}$ 。此时  $U_o=U_Z=6\text{V}$ ， $I_o=U_Z/R_L=3\text{mA}$ 。

由 KCL（基尔霍夫电流定律）可知  $I_R=I_Z+I_o$ ，所以

$$8\text{mA} \leq I_R \leq 18\text{mA}$$

又因为  $I_R=(U_i-U_o)/R=4/R$ ，可得限流电阻的取值范围为

$$222\Omega \leq R \leq 500\Omega$$

## 1.4.2 发光二极管

发光二极管(LED)是一种将电信号转换成光信号的半导体器件。它的基本结构是一个PN结,采用碳化硅、砷化镓与磷砷化镓等半导体材料制造而成。当发光二极管正向导通时,会发出一定波长与颜色的光束。其发光的颜色由所用的材料决定,有红、黄、绿、橙等颜色。目前许多仪器的数字显示器、公共场所的广告牌均由发光二极管制成。

发光二极管的电路符号如图1.4.3所示,其伏安特性和普通二极管相似,但是正向导通压降较大,约为1.5~2V。

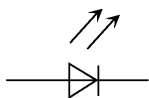


图 1.4.3 发光二极管的电路符号

## 1.4.3 光电二极管

光电二极管是一种将光信号转换为电信号的器件。它的基本结构也是一个PN结,但是该PN结工作于反向偏置状态。光电二极管的管壳上有一个窗口,可以使光线照射到PN结上,反向电流随光照强度的增大而增大。利用该特性可以进行光照强度的测量,光电二极管的电路符号如图1.4.4所示。



图 1.4.4 光电二极管的电路符号

## 1.4.4 变容二极管

变容二极管是利用PN结的势垒电容随外加反向电压变化的特性制成的,主要用于高频电路中的振荡器、调谐电路等。变容二极管的电路符号如图1.4.5所示。

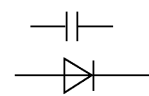


图 1.4.5 变容二极管的电路符号



1.4 测试题



## 本章小结



第 1 章小结视频



第 1 章小结课件

### 1. 半导体基础知识

在本征半导体中掺入杂质，一方面可以显著提高半导体的导电性能，另一方面可以减小温度对半导体导电性能的影响。此时，半导体的导电能力主要取决于掺杂浓度。

掺入五价元素，可形成 N 型半导体，它的多子是自由电子，少子是空穴。

掺入三价元素，可形成 P 型半导体，它的多子是空穴，少子是自由电子。

半导体中两种载流子共同参与导电，这是半导体区别于导体的重要特点。

### 2. PN 结的单向导电性

PN 结是构成半导体器件的基础。PN 结具有单向导电性：当 PN 结正偏时导通，具有较大的正向电流；当 PN 结反偏时截止，具有很小的反向电流。

### 3. 半导体二极管

二极管是非线性器件，它的伏安特性包括正向特性和反向特性。

**正向特性：**当二极管外加的正向电压小于死区电压时，正向电流近似为零。硅二极管的死区电压约为 0.5V；锗二极管的死区电压约为 0.1V。当外加正向电压大于死区电压时，二极管导通。二极管的正向导通压降近似为常数，硅二极管的正向导通压降约为 0.7V，锗二极管的正向导通压降约为 0.3V。

**反向特性：**当二极管外加的反向电压小于击穿电压时，二极管处于反向截止状态，其反向电流很小，称之为反向饱和电流。当二极管外加的反向电压大于击穿电压时，二极管被击穿，反向电流急剧上升，此时二极管失去单向导电性。如果反向电流过大，会造成二极管的永久损坏。

二极管的应用很广泛，可用于整流电路、限幅电路、开关电路等。

### 4. 特殊二极管

特殊二极管有稳压二极管、发光二极管、光电二极管、变容二极管等。

稳压二极管利用二极管的反向击穿特性实现稳压，在设计电路时，应使稳压二极管工作于反向电击穿状态。



## 习题 1



第 1 章综合测试题



第 1 章测试题讲解视频

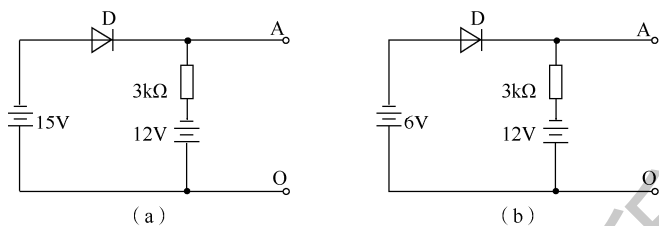


第 1 章测试题讲解课件

1.1 能否将 1.5V 的干电池以正向接法接到二极管两端？为什么？

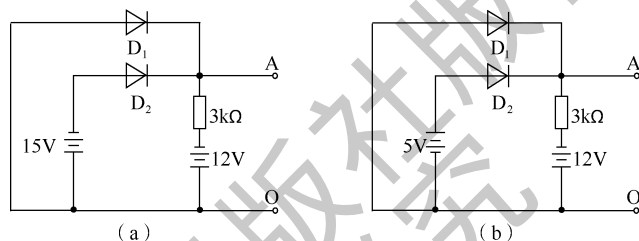
1.2 如何使用万用表判断二极管的极性与好坏？

1.3 硅二极管电路如题 1.3 图所示，试判断图中二极管是导通的还是截止的？并计算电压  $U_{AO}$  的值。



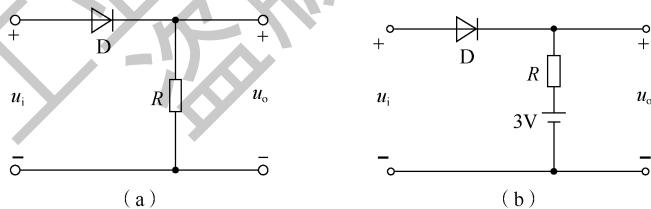
题 1.3 图

1.4 理想二极管电路如题 1.4 图所示，试判断图中二极管是导通的还是截止的？并计算电压  $U_{AO}$  的值。



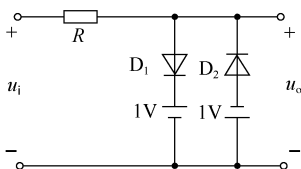
题 1.4 图

1.5 在如题 1.5 图所示的电路中，已知输入电压  $u_i=10\sin\omega t$  (V)，试画出输出电压  $u_o$  的波形及电压传输特性曲线  $u_o=f(u_i)$ ，假设图中二极管均为理想二极管。



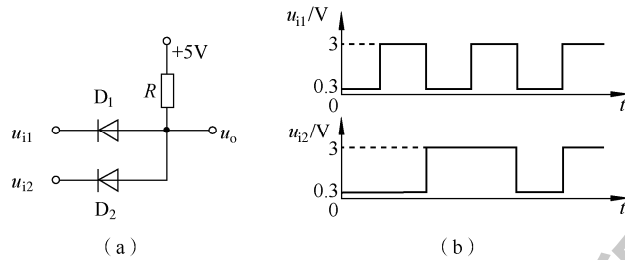
题 1.5 图

1.6 在如题 1.6 图所示的电路中，已知  $u_i=8\sin\omega t$  (V)，二极管的正向导通压降  $U_D = 0.7V$ 。试画出输出电压  $u_o$  的波形及电压传输特性曲线  $u_o=f(u_i)$ 。



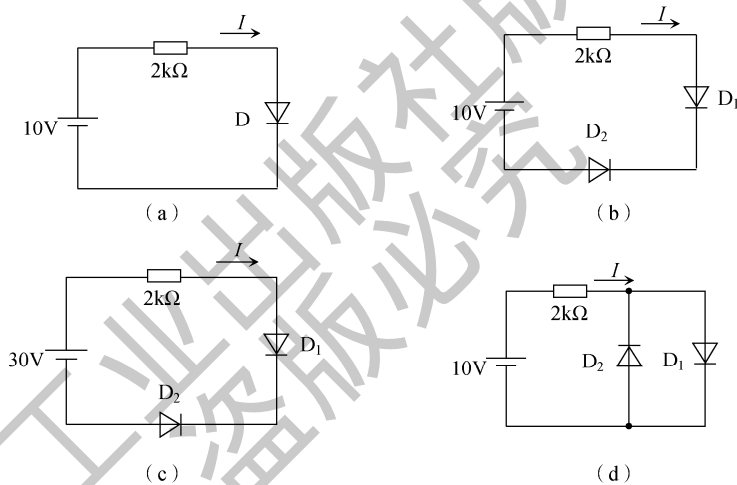
题 1.6 图

1.7 在如题 1.7 图 (a) 所示的电路中, 其输入电压  $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  的波形如题 1.7 图 (b) 所示, 二极管的正向导通压降  $U_D=0.7V$ 。试画出输出电压  $u_o$  的波形, 并标出幅值。



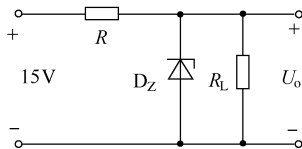
题 1.7 图

1.8 电路如题 1.8 图所示, 假设各二极管的正向导通压降可以忽略不计, 反向饱和电流为  $0.1\mu A$ , 反向击穿电压为  $25V$ , 且击穿后电压基本不随着电流变化, 求题 1.8 图中各电路的电流  $I$ 。



题 1.8 图

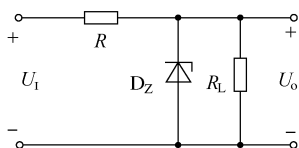
1.9 电路如题 1.9 图所示, 已知稳压二极管的稳定电压  $U_Z=6V$ , 最小稳定电流  $I_{Zmin}=5mA$ , 最大允许耗散功率  $P_{ZM}=150mW$ , 负载电阻  $R_L=600\Omega$ 。试求限流电阻  $R$  的取值范围。



题 1.9 图

1.10 稳压二极管构成的稳压电路如题 1.10 图所示。已知稳压二极管的稳压值为  $6V$ , 最小稳定电流为  $10mA$ , 额定功耗为  $200mW$ , 限流电阻为  $0.5k\Omega$ 。试问:

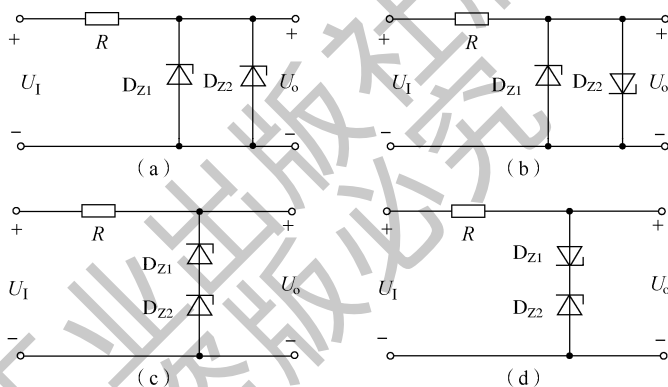
- (1) 当  $U_I=20\text{V}$ ,  $R_L=1\text{k}\Omega$  时,  $U_O=?$
- (2) 当  $U_I=20\text{V}$ ,  $R_L=100\Omega$  时,  $U_O=?$
- (3) 当  $U_I=20\text{V}$ ,  $R_L$  开路时, 稳压二极管能否稳压?
- (4) 当  $U_I=7\text{V}$ ,  $R_L$  变化时, 稳压二极管能否稳压?



题 1.10 图

1.11 将两个稳压值分别为  $6\text{V}$  和  $9\text{V}$  的稳压二极管串联和并联, 共有几种连接方式? 其稳压值各为多少? 设稳压二极管的正向导通压降为  $0.7\text{V}$ 。

1.12 电路如题 1.12 图所示, 已知  $U_I=40\text{V}$ , 硅稳压二极管  $D_{Z1}$ 、 $D_{Z2}$  的稳压值分别为  $7\text{V}$  和  $13\text{V}$ , 求各电路的输出电压  $U_O$ 。



题 1.12 图