

半导体器件

Lai Wei

2025 年 10 月 9 日

1 半导体的导电特性

1.1 本征半导体

半导体材料具有晶体结构，每个原子核最外层空间的价电子与相邻原子核的价电子形成了共价键结构，对价电子形成约束。常温下有少量的价电子获得外界能量，挣脱束缚而成为自由电子，同时在共价键中留下一个空位子——空穴，这一过程称为激发。

在半导体中同时存在着电子导电和空穴导电。自由电子和空穴都称为载流子。在本征半导体中自由电子和空穴总是成对出现，同时又不断复合。

1.2 N型半导体和P型半导体

本征半导体导电能力很低。如果在其中掺入微量的杂质（某种元素），这将使参杂后的半导体（杂质半导体）的导电性能大大增强。

例如在硅晶体中掺入五价元素磷，自由电子是多数载流子，空穴是少数载流体（电子导电是主要导电方式），形成电子型半导体或N型半导体；又如在硅晶体中掺入三价元素硼，空穴是多数载流子，自由电子是少数载流体（空穴导电是主要导电方式），形成空穴型半导体或P型半导体。

1.3 PN结及其单向导电性

通常是在一块N型（或P型）半导体的局部再掺入浓度较大的三价（五价）杂质，使其变为P型（或N型）半导体。在P型半导体和N型半导体的交界面就形成了一个特殊的薄层，称为PN结。

当在PN结上加正向电压，即电源正极接P区，负极接N区时，P区的多数载流子空穴和N区的多数载流子自由电子在电场作用下通过PN结进入对方，两者形成较大的正向电流。此时PN结呈现低电阻，处于导通状态。

当在PN结上加反向电压时，P区和N区的多数载流子受阻，难于通过PN结。但P区的少数载流子自由电子和N区的少数载流子空穴在电场作用下却能通过PN结进入对方，形成反

向电流。由于少数载流子数量少，因此反向电流极小。此时PN结呈现高电阻，处于截止状态。

此即为PN结的单向导电性，PN结是各种半导体器件的共同基础。

2 二极管

2.1 基本结构

将PN结加上相应的电极引线和管壳，就成为二极管。按结构分，二极管有点接触型、面接触型和平面型三类。

2.2 伏安特性

二极管具有单向导电性，伏安曲线如下

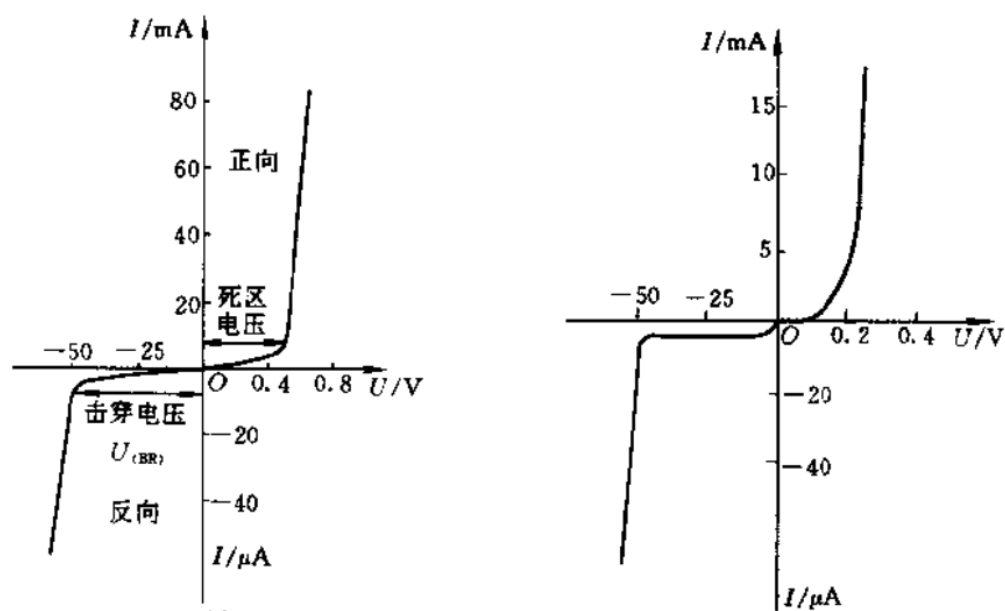


图 1: 二极管的伏安特性曲线

当外加正向电压很低时，正向电流很小，几乎为零。当正向电压超过一定数值后，电流增大很快。这个一定数值的正向电压称为死区电压。

在二极管上加反向电压时，反向电流很小。但当把反向电压加大至某一数值时，反向电流将突然增大。这种现象称为击穿，二极管失去单向导电性。产生击穿时的电压称为击穿电压。

2.3 主要参数

1. 最大整流电流 I_{OM} ：二极管长期使用时，允许流过二极管的最大正向平均电流。
2. 最高反向工作电压 U_{RWM} ：反向击穿电压 U_{BR} 的1/2或1/3为最高反向工作电压。
3. 反向电流 I_{RM} ：二极管在反向工作下的电流就是反向电流。
4. 最高工作频率 f_M ：二极管工作的上限频率，由PN结的结电容决定。

3 稳压二极管

稳压二极管工作于反向击穿区。反向电压在一定范围内变化时，反向电流很小。当反向电压增高到击穿电压时，反向电流突然剧增，稳压二极管反向击穿。此后，电流虽然在很大范围内变化，但稳压二极管两端的电压变化很小。利用这一特性，稳压二极管在电路中能起稳压作用。稳压二极管与一般二极管不一样，它的反向击穿是可逆的。当去掉反向电压之后，稳压二极管又恢复正常。但是，如果反向电流超过允许范围，稳压二极管将会发生热击穿而损坏。

稳压二极管的主要参数有

1. 稳定电压 U_Z ：稳压管正常工作（反向击穿）时管两端的电压；
2. 电压温度系数 α_U
3. 稳定电流、最大稳定电流；
4. 动态电阻 $r_z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ ：越小，曲线越陡，稳压性能越好；
5. 最大允许耗散功率 $P_{ZM} = U_Z I_{ZM}$ ：管子不发生热击穿的最大功率损耗。

4 双极型二极管

双极型二极管又称三极管，通常简称为晶体管。

4.1 基本结构

晶体管的结构，目前最常见的有平面型和合金型两类。硅管主要是平面型，锗管都是合金型。

不论平面型或合金型，都分成NPN或PNP三层，因此又把晶体管分为NPN型和PNP型两类。

每一类都分成基区、发射区和集电区，分别引出基极B、发射极E和集电极C。每一类都有两个PN结。基区和发射区之间的结称为发射结，基区和集电区之间的结称为集电结。

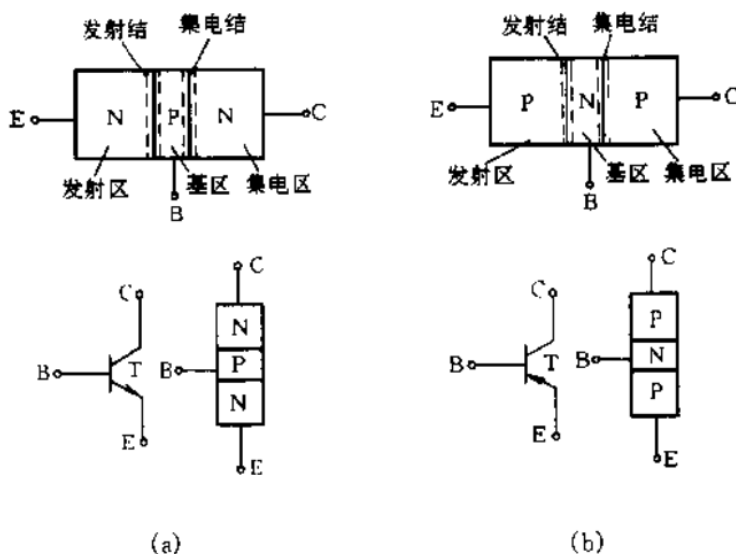


图 2: 晶体管的结构示意图和表示符号

4.2 电流分配和放大原理

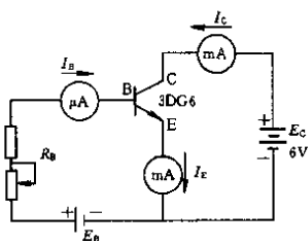


图 3: 晶体管电流放大的实验电路

有以下结论：

1. $I_E = I_C + I_B$ ，符合基尔霍夫电路
2. I_C 和 I_E 比 I_B 大得多， I_C 与 I_B 的比值为

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (1)$$

式中， β 称为动态电流（交流）放大系数。

3. 当 $I_B = 0$ （将基极开路）时， $I_C = I_{CEO}$

4. 要使晶体管起放大作用，发射结必须正向偏置，而集电结必须反向偏置。

NPN型：集电极电位最高，发射极电位最低；PNP型：发射极电位最高，集电极电位最低。

NPN型硅管：基极电位比发射极电位大约高0.6 – 0.7V；PNP型锗管：基极电位比发射极电位大约低0.2 – 0.3V。

管脚	1	2	3
电位/V	4	3.4	9
电极	B	E	C
类型	NPN 型		
材料	硅管		

管脚	1	2	3
电位/V	-6	-2.3	-2
电极	C	B	E
类型	PNP 型		
材料	锗管		

4.3 特性曲线

4.4 输入特性曲线

对硅管而言，当 $U_{CE} > 1V$ 时，集电结已反向偏置。可以把从发射区发射到基区的电子中的绝大部分拉入集电区。此后， $U_{CE}V$ 对 I_B 就不再有明显的影晌。就是说 $U_{CE} > 1V$ 后的输入特性曲线基本上是重合的。所以，通常只画出 $U_{CE} > 1V$ 的一条输入特性曲线。

图 4: 3DG6晶体管的输入特性曲线

4.5 输出特性曲线

图 5: 3DG6晶体管的输出特性曲线