

电子技术学习指导

杨今才 王振海 刘恒昌

吉 林 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书是根据高等工业学校电子技术课程教学基本要求而编写的。全书采用了便于自学的新颖结构，阐述了电子技术课程的基本概念、基本原理和和基本方法。各单元均附有内容小结、典型例题分析与测验题。内容深入浅出，简明实用，通俗易懂。

本书可以作为高等学校有关专业的参考教材，以及有关专业教师的教学参考用书，也可以作为电大、职大、函大学生的自学用书。

电子技术学习指导

杨今才 王振海 刘恒昌

吉林大学出版社出版	吉林大学出版社发行
(长春市解放大路85号)	吉林工学院印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32 1989年7月第1版

印张：9.125 1989年7月第1次印刷

字数：200千字 印数：1—3000册

ISBN 7-5601-0312-X/TL·1 定价：3.35元

前 言

为了满足广大读者的学习要求，我们在总结多年教学体会的基础上，根据国家教委批准的“高等工业学校电工课程教学基本要求”编写了这本书。

本书力求选材适当，讲解清楚。为了便于读者自学与起到学习指导作用，采用了单元形式的新颖结构。各单元均分为基本要求、内容介绍、习题指导以及单元测验四部分。书中各单元的内容介绍，首先明确提出学习本单元的基本要求，接着剖析电子技术课程中的重要概念以及在学习过程中不易理解的难点和易混淆的问题，并附有内容小结。书中各单元都有较多的例题分析，以供读者加深对重要概念的理解和解题参考。本书还有测验题，供读者在学完一单元后，作自我检查学习效果之用。

本书可作为高等学校及中等专业学校有关专业的参考教材以及有关教师的教学参考用书，亦可作为电大、职大、函大学生的自学用书。

本书由吉林工业大学杨今才、王振海、刘恒昌合编，由长春大学李及老师主审。书中第一、二单元由杨今才编写，第三、五、六单元由刘恒昌编写，第四、七单元由王振海编写。

由于我们水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

第一单元	半导体二极管与三极管.....	(1)
第二单元	交流放大电路.....	(31)
第三单元	直流放大电路与集成运算放大电路.....	(105)
第四单元	正弦波振荡器.....	(155)
第五单元	整流电路与直流稳压电源.....	(168)
第六单元	可控硅整流电路.....	(193)
第七单元	脉冲数字电路.....	(216)

第一单元 半导体二极管和三极管

本单元首先讨论半导体的结构特点、导电机构和PN结的工作原理，接着介绍常用电子元件（包括半导体二极管、三极管）的基本结构和主要参数的应用。

一 基本要求

- 1° 了解半导体中两种载流子的导电作用。
- 2° 了解PN结形成的物理过程及其单向导电性。
- 3° 了解二极管和三极管的基本结构和工作原理，掌握特性曲线与主要参数的应用。
- 4° 正确选用二极管和三极管。

二 内容介绍

（一）半导体

用得最多的半导体是锗和硅。它们的原子结构见图1-1(a)，最外层电子都是4个，称4价元素。外层电子受原子核的束缚力最小，称为价电子。半导体的导电性质与价电子有关。画图时一般用图1-1(b)所示简化模型表示。

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的一种物体。其所以得到广泛应用，是因为它具有不同于其他物质的特点：

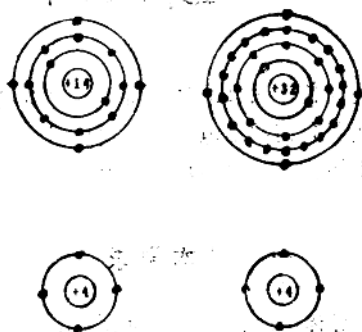


图 1-1 和诸原子结构模型

1° 对温度反映灵敏。随着温度升高，半导体的电阻率减小（即电阻温度系数为负值），也就是导电能力增强。

2° 光照影响导电能力。如硫化镉（CdS）半导体材料，在一般光照下导电能力比移去光后要大几十到几百倍。

3° 杂质对半导体导电能力的影响显著。如在纯硅中加入百万分之一的硼，其导电能力可增加几十万倍。这种掺杂质可以改变半导体的导电能力和类型的特点，是用半导体材料制造各种半导体器件及集成电路的基本依据。

半导体的这些特点，是它的内部导电机构所决定的。

（二）纯净半导体的导电机构

不含杂质的半导体叫纯净半导体。其特点是导电率低。自然界里的硅和锗含有许多杂质，必须去掉这些无用杂质

(称提纯)，使它们的原子按一定规则整齐地排列起来，组成某种形式的晶体点阵，如图 1-2(a)所示。由于硅原子和硅

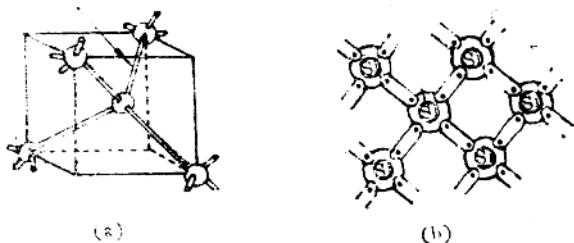


图 1-2 (a)晶体中原子排列方式 (b) 硅单晶中的共价键结构

原子之间靠得很近，原来分属于每个原子的价电子就要受到相邻原子影响，使价电子为两个原子共有，这样，每个价电子独自轨道就变成两个相邻原子之间的公共轨道。这两个共用的价电子所形成的束缚作用叫共价键。图 1-2(b) 中黑点代表价电子，圆圈代表硅原子。中心原子有四个价电子，所以它可以用这种方式结合四个相邻原子。

共价键中的电子，不象绝缘体中的价电子被束缚得那样紧。在获得一定能量(温度增高或光照)后，共价键中的电子即可挣脱原子核的束缚，成为自由电子。温度愈高，晶体中产生的自由电子便愈多。在电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后，共价键中就留下一个空位，称为空穴。在一般情况下，原子是中性的，当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后，原子的中性状态便被破坏，而显出带正电。在这种情况下，晶体中的自由电子(带负电)和空穴(带正电)必然成对出现，数量相等。另一方面，自由电子在运动中又会与空穴重新结合而消失，这种现象叫做复合。

半导体两端加电压时，将出现两部分电流：一是自由电子作定向运动所形成的电流，二是仍被原子核束缚的价电子递补空穴所形成的空穴电流。

自由电子和空穴统称为载流子。

(三) 杂质半导体

在纯净半导体中人为地掺入杂质而形成的半导体称为杂质半导体。其特点是导电率高。

在杂质半导体中，因掺入的杂质不同可以分为电子半导体（N型半导体）和空穴半导体（P型半导体）两大类。

1. N型半导体

在硅（或锗）单晶体中掺入少量的5价元素磷（或砷、锑等）形成的半导体，称为N型半导体。

由于每个磷原子的外层有5个价电子，其中4个分别与邻近的4个硅原子相结合，组成4对公有电子，形成共价键。此外，还多出一个受原子核束缚很弱的电子，它很容易受激励而成为自由电子，如图1-3(a)所示。由此可见，电子是这种半导体的多数载流子。数量很少的空穴，则是这种半导体的少数载流子。由于磷原子提供了自由电子，所以N型半导体中的磷原子又称施主杂质，失去一个电子的磷原子本身成为带正电的离子。

2. P型半导体

在硅（或锗）单晶体中掺入少量的3价元素硼（或镓、铟等）形成的半导体，称为P型半导体。

每个硼原子外层只有3个价电子。当它与邻近的4个硅原子相结合而形成共价键时，因缺少一个电子，由附近的价

电子填补它,在晶体中便产生一个空位,如图 1-3(b)所示。由此可见,空穴是这种半导体中的多数载流子(多载子),而电子则是这种半导体的少数载流子(少载子)。由于硼原子提供了空穴,它的作用是接受电子,所以P型半导体中的硼原子又称受主杂质。接受一个电子的受主原子本身成为带负电的离子。

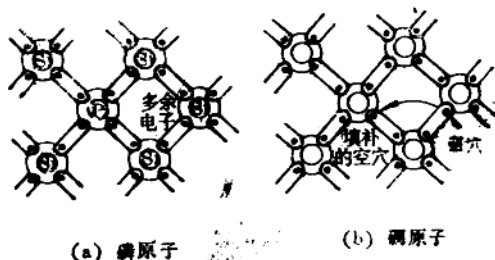


图 1-3 原子结构示意图

(四) PN结的形成和特性

将单晶体制成单纯的P型或N型半导体,仅仅是导电能力增强,并没有多大的实用价值。

1. PN结的形成

通常在一块晶片上经一定的工艺处理,在两边掺入不同的杂质,分别形成P型半导体和N型半导体。将P型半导体和N型半导体结合在一起时,由于P型半导体中的空穴多,N型半导体中的电子多,在它们的交界处就会产生多数载流子的扩散运动。随着扩散运动的进行,在P区和N区的交界面P区一侧出现一层带负电的离子区,而在N区一侧则出现一层带正电的离子区。这样,在交界面两侧就形成了一个空间电荷区,如图1-4(a)所示。这个空间电荷区就是PN结。

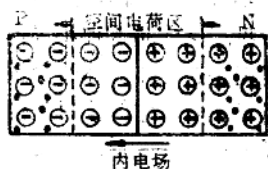


图 1-4 (a) PN结的形成

在图 1-4(a) 中空间电荷区右侧为正, 左侧为负, 从而产生一个内电场。显然, 这个内电场方向对多数载流子的扩散运动起着阻碍

作用。内电场所产生的阻力(电场力)则可推动少数载流子(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。这种少数载流子在电场作用下有规则的运动称为漂移运动。

随着多数载流子扩散运动的进行, 空间电荷区越来越厚, 阻碍扩散运动的电场力越来越大, 漂移运动也越来越强。所以当扩散到一定程度时, 在同一时间内, 扩散到空间电荷区的载流子数量和漂移回去的载流子数量相等。这样, 扩散运动和漂移运动达到暂时的相对的动态平衡, 空间电荷区就不再增厚。

2. PN结的单向导电性

在PN结的两端外加一个直流电压, 其方向是P区接电源正端, N区接电源负端, 如图 1-4(b) 所示。这个外加电压称为正向电压。

由图可见, 外电场与内电场的方向相反, 因此扩散运动与漂移运动的平衡被破坏, 外电场驱使P区的空穴进入空间电荷区, 抵消一部分负空间电荷; 同时N区的自由电子进入空间电荷区, 抵消一部分正空间电荷。因此, 空间电荷区变薄, 内电场削弱, 漂移运动也随之削弱, 便有利于扩散运动连续不断地进行。这样, 多数载流子就能流过PN结而形成较大的电流, 其方向是从P区到N区, 称为正向电流。这

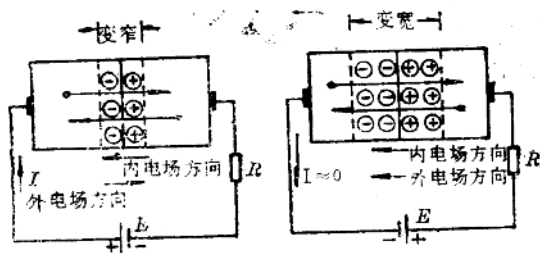


图 1-4 (b)PN结加正向电压 图 1-4 (c)PN结加反向电压

时PN结所表现的电阻（正向电阻）是很小的，PN结处于导通状态。

若给PN结加反向电压，即外电源正端接N区，负端接P区，如图1-4(c)所示，则外电场与内电场方向一致，也破坏了扩散运动与漂移运动的平衡，使总的电场大大增强。在外加电场的作用下，使空间电荷区两侧的空穴和自由电子移走，使得空间电荷增加，空间电荷区变宽、内电场增强，使多数载流子的扩散运动难于进行。但是，内电场的增强也加强了少数载流子的漂移运动，形成了微小的反向电流（又称反向漏电流），其方向是从N区到P区。这时PN结所表现出的电阻（反向电阻）很大，可以认为PN结基本上是不导电的，处于截止状态。

因少数载流子是由于价电子受激发挣脱共价键的束缚而产生的，环境温度越高，少数载流子数量越多。所以，温度对反向电流的影响很大。

（五）半导体二极管

1. 基本结构

晶体二极管实际就是在 PN 结的两端接上电极引线做管心,并以管壳封装加固而成。P 型半导体的引线称为阳极或正极, N 型半导体的引线称为阴极或负极。按结构分,二极管有点接触型和面接触型两种。图 1-5(a) 所示为点接触晶体二极管,它的 PN 结面积很小,结电容也很小,因此允许通过的电流很小。但其高频性能好,适于高频小功率工作,也可做数字电路的开关元件。

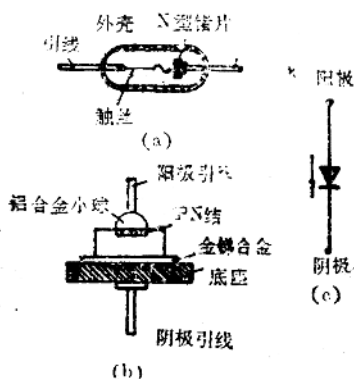


图 1-5 半导体二极管

(a) 点接触型 (b) 面接触型 (c) 表示符号。

图1-5(b) 所示为面接触型二极管。它的PN结面积大,结电容大,可通过的电流也较大。但其工作频率较低,一般适于整流。

半导体二极管的型号很多,例如2AP1,其中2表示二极管,A表示N型锗材料,P表示普通管,1表示序号。又如2CZ11,C表示N型硅材料,Z表示整流管。我国半导体器件命名法见有关的二极管手册。

图1-5(c) 表示二极管的符号。

2. 半导体二极管的伏安特性

二极管就是一个PN结，它具有单向导电性。图1-6(a) 为测量二极管伏安特性的电路。图1-6(b) 为晶体二极管的伏安特性曲线图。由图可见：

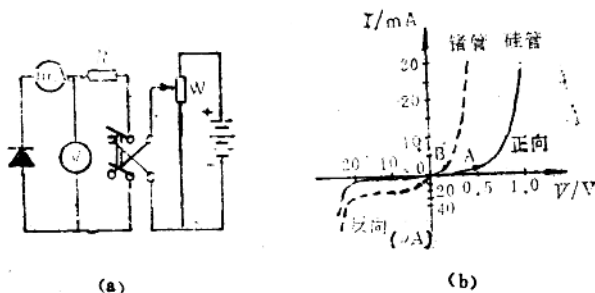


图1-6 晶体二极管测量电路图(a) 和二极管的伏安特性曲线(b)

①当二极管为正向接法时，在正向电压由 0 V 开始上升时，由于外电场还不能克服 PN 结内电场对多数载流子扩散运动的阻力，故正向电流很小，几乎为零。这一段电压称为“死区电压”。硅管的死区电压约为 0.5 V ，如图中 OA 段。锗管的死区电压约为 0.2 V ，如图中 OB 段。死区电压的大小与材料及环境温度有关。外加电压超过死区电压后，电流随电压的增加才有明显上升。二极管一经导通，电流迅速增加，正向电阻就变得很小。

②二极管在反向电压作用下，反向电流很小，这是由于少数载流子漂移运动而形成的很小的反向电流。反向电流越小，说明二极管的反向电阻越大，反向截止性能越好。一般硅管的反向电流要比锗管反向电流小得多（硅管约为几微安

到几十微安，而锗管可达到几百微安)。反向电流有两个特点，一是它随温度的上升增加快；二是在反向电压不超过某一范围时，反向电流大小，基本恒定，与反向电压的高低无关。这种反向电流称为反向饱和电流。当外加反向电压过高时，反向电流将突然增大，二极管失去了单向导电性。这种现象称为击穿，二极管因此而失效。

③半导体二极管的主要参数

表示二极管特性的一些数据，就是二极管的参数。二极管的参数规定了二极管的适用范围，它是合理选用二极管的依据。主要参数如下：

①最大整流电流 I_{OM}

最大整流电流值，是长期工作时，二极管允许通过的最大正向平均电流值。当电流超过允许值时，将因发热过甚烧坏PN结。在选用二极管时，工作电流不能超过它的最大整流电流。

②最高反向工作电压 V_{RM}

最高反向工作电压，是二极管工作时，所能承受的反向电压峰值。为了防止二极管因反向击穿而损坏，一般取反向击穿电压的1/2或2/3作为最高反向工作电压。

③最大反向电流 I_{RM}

最大反向电流指二极管上加最高反向工作电压时的反向电流值。反向电流大，说明二极管的单向导电性能差，并且受温度的影响大。硅管的反向电流较小，一般在几个微安以下；锗管的反向电流较大，为硅管的几十到几百倍。

除了这三个主要参数外，还有其它一些参数，如最高工作频率、最高使用温度、极间电容等。

小 结

1. 半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的一种物质。一切半导体器件的工作都是建立在半导体的导电机构基础上的。它所以能得到广泛应用，是因为它的导电能力会随温度、光照或所掺杂质而显著变化。特别是杂质可以改变半导体的导电类型。

2. 半导体可分成纯净导体和杂质半导体。

①纯净半导体，是不含杂质的半导体。其特点是电导率较低。

②杂质半导体，是在纯净半导体里人为掺入杂质而形成的。其特点是电导率高。

在纯净半导体材料里掺入施主杂质（5价元素）而形成的半导体是N型半导体，其特点是多载子是自由电子，少载子是空穴。

在纯净半导体材料里掺入受主杂质（3价元素）而形成的半导体是P型半导体，其特点是多载子是空穴，少载子是自由电子。

3. 半导体中的电流

电子电流是带负电的自由电子作定向运动而形成的电流，而空穴电流是带正电的空穴作定向运动而形成的电流。在半导体中同时存在着电子导电和空穴导电，这是半导体导电机构的最大特点，是半导体和金属导体在导电原理上的差别。

扩散电流：半导体中由于载流子浓度不均匀产生扩散运动而形成的电流。

漂移电流：在电场作用下，半导体中的自由电子逆着电场方向定向漂移而形成的电流。

4. PN结的形成过程

P型和N型两块半导体经一定的工艺处理，由于载流子的扩散作用，在P区和N区的交界面的两侧形成一个空间电荷区，产生一个内电场。内电场对多数载流子的扩散运动有阻挡作用，对少数载流子则有漂移作用。当多数载流子的扩散运动与内电场的阻挡和漂移作用达到平衡时，空间电荷区的宽度就相对稳定下来，形成PN结。

5. PN结的单向导电性

PN结外加正向电压时，阻挡层变薄，PN结导通，形成较大正向电流。外加电压对正向电流有很强的控制作用。

PN结外加反向电压时，阻挡层变厚，电路中只有很小的反向电流，而且反向电流基本上不随外加电压而变化，但随温度变化大。

PN结的反向电流是由少数载流子的运动而产生的。而少数载流子则是由于热运动产生的，所以PN结的反向电流与温度有关系。

利用PN结的单向导电性，可以制造出许多不同类型的半导体器件。

6. 二极管的结构就是PN结

二极管的伏安特性是非线性的，直观地表现了单向导电性能。在不同的电压下，管子的等效电阻不同。在正向连接时，若外加电压大于死区电压值，则正向电流随着正向电压的增加急剧上升；反向连接时，在一定的反向电压值范围内，反向电流很小（叫反向饱和电流）。当反向电压加到某一定值时，二极管反向电流急剧增大，二极管失去了单向导电性，此现象叫击穿。

(六) 半导体三极管

1. 基本结构

半导体三极管(简称晶体管), 是最重要的一种半导体器件。它的种类很多。按功率分, 有小功率管、中功率管、大功率管; 按频率分有高频管、低频管; 按半导体材料分, 有硅管、锗管等等。但是从外形看, 三极管都有三个电极, 常见的三极管外形如图1-7所示。

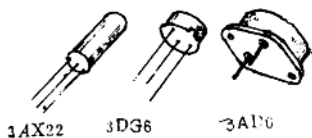


图 1-7 几种三极管的外形

三极管一般可分成两种类型: NPN型和PNP型。其结构示意图和表示符号分别如图1-8所示。每一类型都分成基区、发射区和集电区, 分别引出发射极E、基极B和集电极C。每一类型都有两个结, 基区和发射区之间的结为发射结, 基区和集电区之间的结称为集电结。

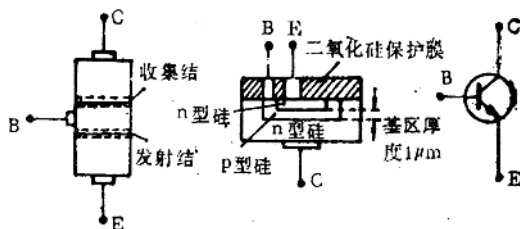


图1-8 NPN三极管

(a)结构示意图 (b)管芯结构图 (c)表示符号

半导体三极管在结构上的重要特点是:

①发射区和集电区虽均为同一类型的半导体, 但发射区较集电区的掺杂重, 杂质浓度高; 二者的几何尺寸也不同,