



技工学校电子类通用教材

电子电路基础



劳动人事出版社

电子电路基础

技工学校电子类专业教材编审委员会组织编写

责任编辑：黄未来

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

一二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 13.625印张 305千字

1989年3月北京第1版 1989年3月北京第1次印刷

印数：36 000册

ISBN 7-5045-0304-5/TN·008(课) 定价：4.75元

内 容 简 介

本书是根据原劳动人事部培训就业局、原电子工业部教育局组织制订的《电子电路基础教学大纲》组织编写的技工学校电子类通用教材。

本书内容包括晶体二极管和三极管、低频电压放大器、负反馈放大器、正弦波振荡器、低频功率放大器、运算放大器、场效应管及其放大器、直流稳压电源。

本书也适合青工培训和职工自学使用。

本书由北京市计算机一厂技工学校戎有为、太原市计算机技校张爱中编写，戎有为主编；天津市电子仪表局职工大学郑仲渔审稿。

说 明

当前，电子技术迅速发展，国民经济各部门对电子技术的应用日益广泛，对电子类专业技术工人的需求越来越迫切。为了满足技工学校培养电子类专业中级技术工人的需要，不断提高教学质量，加速实现我国的四个现代化，原劳动人事部培训就业局、原电子工业部教育局在前几年组织编写教材工作的基础上，于1986年成立技工学校电子类专业教材编审委员会，委托北京、天津、上海三市的电子工业部门，组织编写技工学校电子类专业通用教材。这次编写的教材有数学、物理、制图、电子电路基础、电子测量与仪器、收录机原理调试与维修、无线电基础、微型电子计算机原理、操作系统、程序设计基础、微型计算机原理及应用、数字逻辑电路、录像机原理、BASIC语言和PASCAL语言等十五种，由劳动人事出版社出版；另有电工基础、晶体管脉冲与数字电路、电视机原理调试与维修、无线电整机装配工艺基础、晶体管原理等五种，仍由天津科技出版社出版。其它课程的教材，以后将陆续组织编写。

上述教材，是本着改革的精神组织编写的。力求做到理论与实际相结合，符合循序渐进的要求，从打好基础入手，突出操作技能训练的特点，并且尽量反映当前生产中采用新设备、新材料、新技术、新工艺的成就。力图使培养出来的学生，能够比较系统地掌握专业技术理论知识，学会一定操作技能，具有培养目标要求的文化素质和职业道德品质，以

适合电子工业发展的需要。

这套教材供二年制(招收高中毕业生)和三年制(招收初中毕业生)的技工学校电子类的学生使用。也适合青工培训和职工自学使用。在使用教材的过程中,希望读者提出批评和改进意见,以便再版时修订。

劳动部培训司

1988年7月

目 录

第一章 晶体二极管和晶体三极管.....	1
§1-1 半导体的基本知识.....	1
§1-2 pn结.....	8
§1-3 晶体二极管.....	14
§1-4 晶体三极管.....	16
本章小结.....	33
思考题.....	35
习 题.....	35
第二章 低频电压放大器.....	39
§2-1 放大器的基本概念.....	39
§2-2 基本放大电路及其工作原理.....	41
§2-3 放大器的图解分析.....	52
§2-4 放大器的等效电路分析.....	64
§2-5 稳定静态工作点的偏置电路.....	74
§2-6 多级放大器.....	84
§2-7 放大器的测量与调整.....	93
本章小结	101
思考题	107
习 题	110
第三章 负反馈放大器	115
§3-1 反馈的基本概念	115
§3-2 负反馈对放大器性能的影响	130

§3-3 负反馈放大器的分析、计算举例	137
§3-4 射极输出器	143
§3-5 放大器的自激振荡和防止措施	157
本章小结	162
思考题	165
习 题	167
第四章 正弦波振荡器	172
§4-1 振荡器的工作原理	172
§4-2 三点式 LC 振荡电路	180
§4-3 石英晶体振荡器	187
§4-4 RC 振荡器	194
§4-5 振荡电路的调整和测量	202
本章小结	203
思考题	204
习 题	205
第五章 直流放大器	209
§5-1 直流放大器的概述	209
§5-2 直流放大器的特殊问题	210
§5-3 差动放大器	216
§5-4 长尾式差动放大器	221
§5-5 差动放大器的电路改进	223
§5-6 其它形式的差动放大器	229
§5-7 直流放大器的调试	232
本章小结	237
思考题	238
习 题	239
第六章 低频功率放大器	240

§6-1	概 述	240
§6-2	单管功率放大电路	242
§6-3	乙类推挽功率放大电路	248
§6-4	OTL 功率放大电路	259
§6-5	OCL 功率放大电路	270
§6-6	BTL 功率放大电路	273
§6-7	功率管的使用和保护	275
§6-8	低频功率放大器的调整和测试	277
本章小结		281
思考题		283
习 题		285
第七章	运算放大器	287
§7-1	概 述	287
§7-2	运放的基本放大电路	291
§7-3	集成运放的线性应用	296
§7-4	集成运放的非线性应用	304
§7-5	集成运放的主要参数	309
§7-6	集成运放使用中的一些问题	312
本章小结		319
思考题		320
习 题		322
第八章	场效应管及其放大器	326
§8-1	结型场效应管	326
§8-2	绝缘栅场效应管	337
§8-3	场效应管的主要参数和使用注意事项	350
§8-4	场效应管与晶体管的比较	352
§8-5	共源放大器	355

§8-6 源极输出器	366
本章小结	370
思考题	371
习 题	372
第九章 直流稳压电源	373
§9-1 概 述	373
§9-2 单相整流电路	374
§9-3 滤波电路	382
§9-4 直流稳压电源概述	389
§9-5 并联型硅稳压管稳压电路	391
§9-6 串联型晶体管稳压电路	396
§9-7 开关稳压电路	407
§9-8 集成稳压器	410
§9-9 串联型稳压电路的调整和测量	419
本章小结	421
思考题	422
习 题	425

第一章 晶体二极管和晶体三极管

§1-1 半导体的基本知识

各种半导体器件(半导体二极管、半导体三极管、半导体场效应管等)都是由半导体材料制成的,要想了解这些器件,应先了解半导体的一般知识。

一、什么是半导体

自然界的物质,依其导电性能,大致可分为三类。一类是导电性能良好的物质(电阻率低于 $10^{-3}\Omega \cdot \text{cm}$),叫导体,如银、铜、铝、铁等金属。一类是在一般条件下不能导电的物质(电阻率高于 $10^{10}\Omega \cdot \text{cm}$),叫绝缘体,如陶瓷、塑料、橡胶、玻璃等。还有一类物质,其导电性能介于导体和绝缘体之间(电阻率在 $10^{-3} \sim 10^{10}\Omega \cdot \text{cm}$ 之间),称之为半导体,如硅、锗、砷化镓等。

物质的导电性能之所以有如此之大的差别,根本原因在于,构成各种物质的原子其本身结构不同,原子和原子间的结合方式也各不相同。

众所周知,原子由一个带正电的原子核和若干带负电的电子所组成。原子核所带正电和核外电子所带负电的和相等,所以原子对外不显电性。在原子中,电子受原子核的吸引,按一定规律分层排布,围绕原子核不停地旋转。原子核对电子吸引力的大小,取决于原子核本身所带正电量的大小

和电子距原子核的距离。在导体中，原子的最外层电子受原子核的吸引力小，它们容易挣脱原子核的束缚成为自由电子。在外电场的作用下，这些自由电子能作定向移动形成电流。对于绝缘体来说，原子的最外层电子受原子核的吸引力大，一般情况下，它们不能挣脱原子核的束缚成为自由电子，所以这类物质几乎不能导电。对于半导体来说，最外层电子所受到的原子核的束缚力，既不象导体那样小，也不象绝缘体那样大，这就决定了它的导电性能介于两者之间。

图1-1(a)、(b)所示为常见的半导体材料硅和锗的原子结构示意图，它们分别有14个和32个电子，但最外层均为4个电子。物质的许多化学性质和物理性质都取决于原子的最外层电子数，最外层电子数目又决定了元素的最高化合价，所以也称它们为价电子。硅和锗都有4个价电子，因此它们都是4价元素。因为内层电子与原子核结合很紧，可以把它们看成一个整体，称为惯性核。为了讨论方便，我们把图1-1(a)，(b)都简化成图1-1(c)所示的形式。

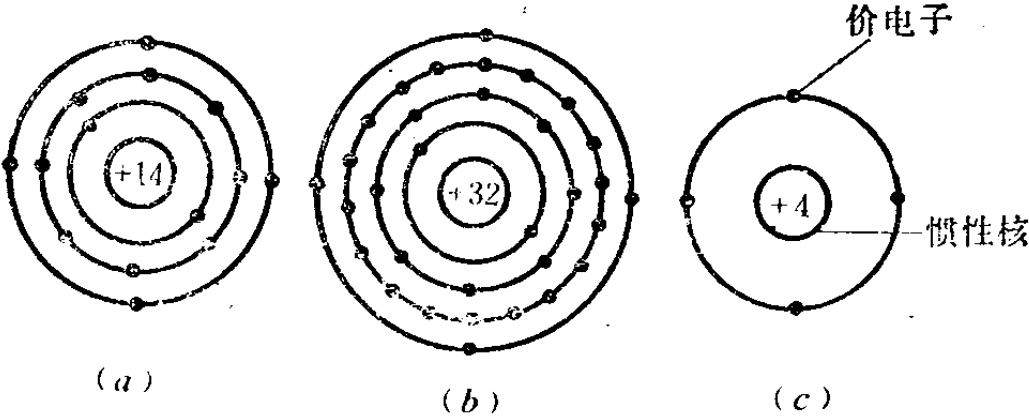


图1-1 硅和锗原子结构示意图
(a) 硅(Si) (b) 锗(Ge) (c) 原子结构简化图

二、本征半导体

不含任何杂质的单晶①半导体，称为本征半导体。

在纯净的单晶半导体中，原子排列非常整齐。最外层电子——价电子除受本身原子核的束缚外，同时还受周围邻近四个原子的作用。每两个相邻的原子之间都有一对价电子为这两原子所共有，它们围绕自身原子核运转的同时，也会出现在邻近原子所属的轨道上，从而把相邻的两个原子紧紧地结合在一起。这种共用电子形成的结合作用叫做共价键。硅和锗都有四个价电子，所以每个原子都和周围四个原子形成四个共价键。由于共价键的作用，每个原子都被牢牢地束缚在晶格之中，见图1-2。这样，每个原子的周围就相当于有8

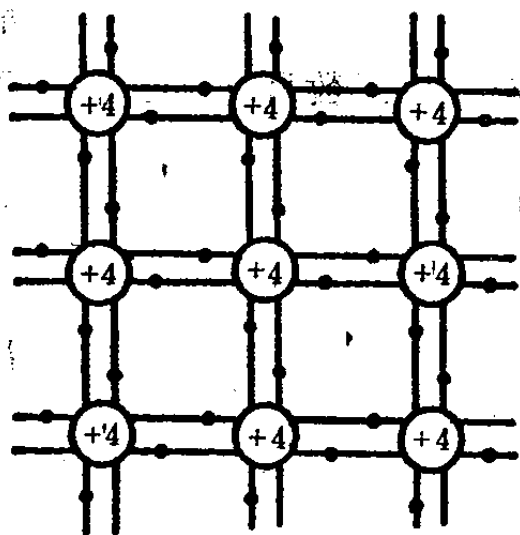


图1-2 单晶硅平面结构示意图

个价电子，故形成稳定结构②。在绝对零度(-273°C)时，所有的价电子都被束缚在晶格之中，而不能自由移动，这时半导体中没有自由电子。

注：①晶体分为单晶体和多晶体两种。整个晶体的原子是按照一定的规律整齐排列的，称为单晶体。整个晶体是由大量小单晶体组成的，称为多晶体。半导体材料必须制成单晶体才能用来制作半导体器件，所以半导体器件又称为晶体器件；如晶体二极管、晶体三极管、晶体场效应管。

②原子最外层有8个电子时为稳定结构。

半导体中价电子受到的共价键束缚不象绝缘体中那样大。在常温下，本征半导体只要得到一定的外界能量，有少数价电子就能挣脱共价键和原子核对它的束缚，从而成为自由电子(以后简称电子)，同时在晶格中留下一个空位，称它为空穴，如图 1-3 所示。在本征半导体中，自由电子和空穴是成对出现的，常称为电子-空穴对。本征半导体受热或得到其它能量而激发出电子-空穴对的现象称为本征激发。

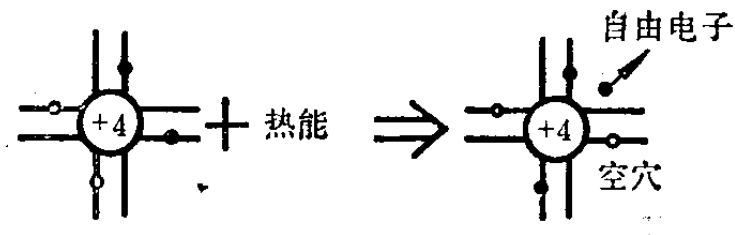


图1-3 本征激发产生的电子-空穴对

由于出现了空穴，原来显中性的硅或锗原子就变成了带正电的离子。这个正电荷可以认为是空穴所具有的。空穴既是晶格中少了电子而出现的，那么邻近的共有电子就可以来填补，这种填补可以认为是空穴携带正电荷在移动。在外电场的作用之下，本征半导体中的自由电子和空穴都可以携带电荷作定向移动，即形成电子电流和空穴电流。流过半导体的总电流即为这两种电流之和，如图 1-4 所示。因为自由电

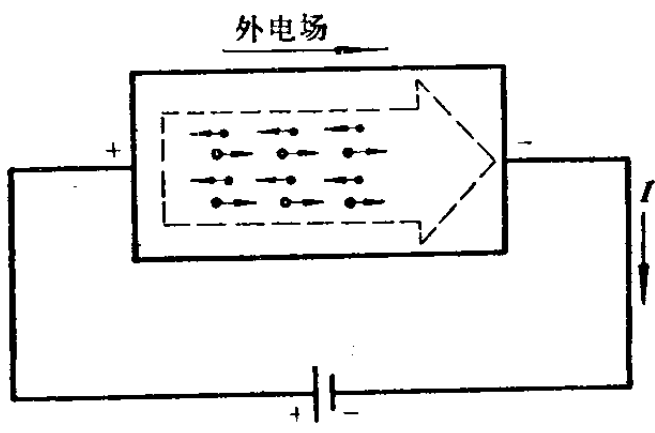


图1-4 外电场作用下载流子的运动

子和空穴都能运载电流，所以把它们统称为载流子。

本征半导体在常温下激发出的电子-空穴对是很少的，所以它的导电能力相当弱。但是，所激发出的电子-空穴对数目将随着温度(外界所给能量)的变化而变化，因此在外加电压一定的情况下，所形成的电流也将随着温度的变化而变化。

三、杂质半导体

本征半导体的导电能力很差，因此在实际应用中用处不大。但是，如果在本征半导体中掺入微量的有用杂质，就可以使其导电性大大提高。按掺入杂质的不同，可制成 n 型半导体和 p 型半导体。

1. n型半导体

在本征半导体中掺入适量的五价元素杂质，就可以得到 n 型半导体。这种五价元素杂质称为 n 型杂质或施主杂质，例如磷(P)、砷(As)、锑(Sb)等。下面以掺入磷为例来进行讨论。

由于掺入杂质的原子数和整个半导体的原子数相比，其量是非常小的，因此半导体的晶体结构基本不变。但是，有些硅(或锗)原子的位置却被磷原子所取代。一个磷原子有五个价电子，其中四个用来构成共价键，还剩余一个价电子，如图 1-5 所示。这个剩余的电子没有束缚在晶格中，只受自身原子核的吸引。这种吸引作用比共价键的束缚作用要小得多，只要外界给它一些能量，它就可以挣脱磷原子核的吸引，成为自由电子。磷原子由于失去了一个电子，成为带正电的离子，称之为施主离子。然而，它被牢牢地束缚在晶格内而不能自由移动，所以它不是载流子，如图 1-6 所示。由此可见，掺入一个五价元素的原子，就能提供一个自由电子。虽然掺入的原子数比起整个半导体中的原子数来是微量的，但

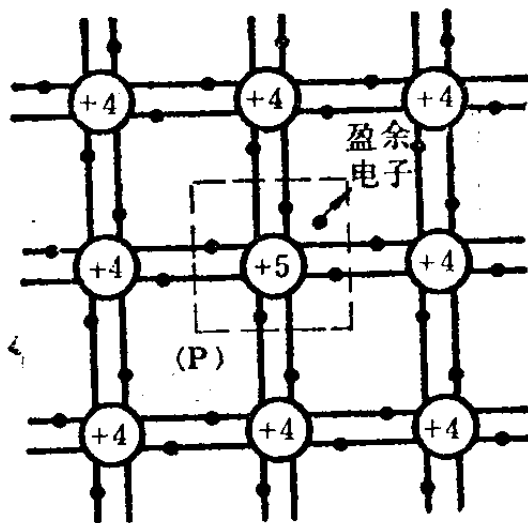


图1-5 硅中掺磷形成n 型半导体

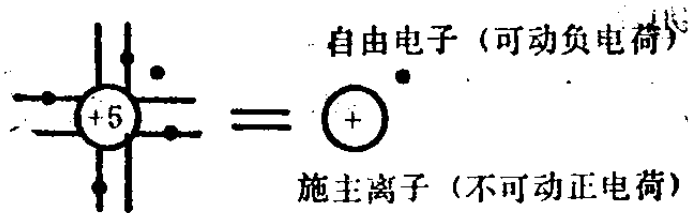


图1-6 n 型半导体中的磷原子

它却比本征激发的载流子数要多得多，因此这种半导体的导电性能要比本征半导体好得多。在这种半导体的全部载流子中，自由电子占绝大多数，称之为多数载流子，简称多子。靠本征激发出的空穴载流子占少数，称之为少数载流子，简称少子。如图 1-7 所示。这种类型的杂质半导体，主要是靠自由电子载流子来导电，故称电子导电型半导体，简称 n 型半导体。

2. p型半导体

在本征半导体中掺入适量的三价元素杂质，就得到了 p 型半导体。这种三价元素杂质称为 p 型杂质或受主杂质，例如硼(B)、铝(Al)、镓(Ga)、铟(In) 等。下面以掺入 硼为

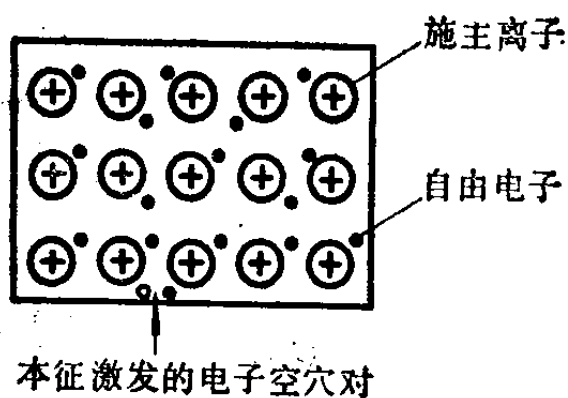


图1-7 n 型半导体

例来进行讨论。

硼原子有三个价电子，当半导体中的某个硅原子被它取代后，与周围四个硅原子构成共价键时，就缺少了一个电子，因而在晶格上出现一个空穴，如图 1-8 所示。邻近原子的价

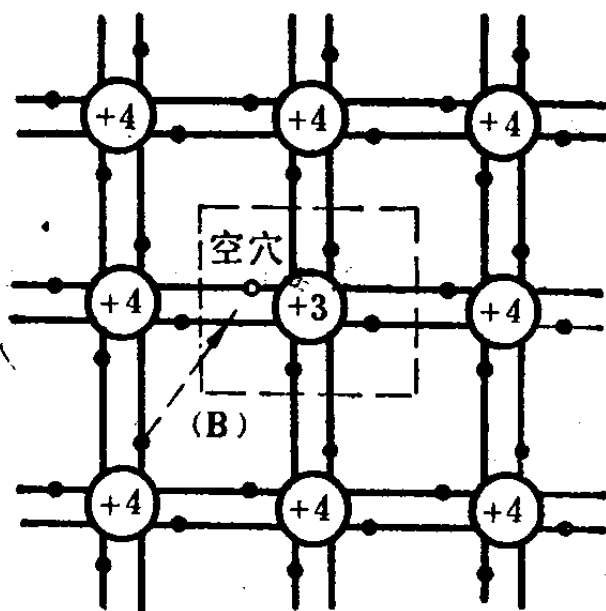


图1-8 硅中掺硼形成p 型半导体

电子很容易来填补这个空穴，而邻近原子却因失去一个价电子又产生了新的空穴，这样空穴就移动了。硼原子由于接受了电子，变成了不可动的负离子，故称之为受主离子，见图 1-9。掺入一个三价原子，就相应出现一个空穴，而掺入的原

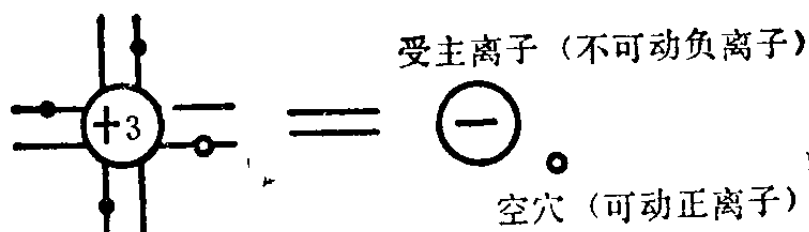


图1-9 p 型半导体中的硼原子

子数比本征激发的载流子数要多得多，所以在这种类型的半导体中，空穴为多数载流子，自由电子为少数载流子，见图1-10。所以，称这种半导体为空穴导电型半导体，简称 p 型半导体。

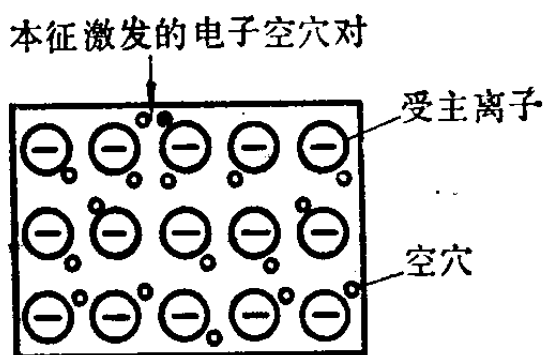


图1-10 p型半导体

不论是n型半导体，还是p型半导体，它们的内部正负电荷量都是相等的，对外不显电性。无论是单纯的n型半导体还是单纯的p型半导体，虽然其导电性能远高于本征半导体，但仍不及导体。这类材料并没有什么特殊的性能可供利用。但是，它们经过特殊处理后，就会产生一种特殊的导电性能，即“单向导电性”。下面我们就来讨论这个问题。

§1-2 pn 结

经过特殊的工艺加工，将p型半导体和n型半导体紧密地