

高职高专电子类 十一五规划 精品课程 建设教材

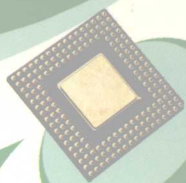
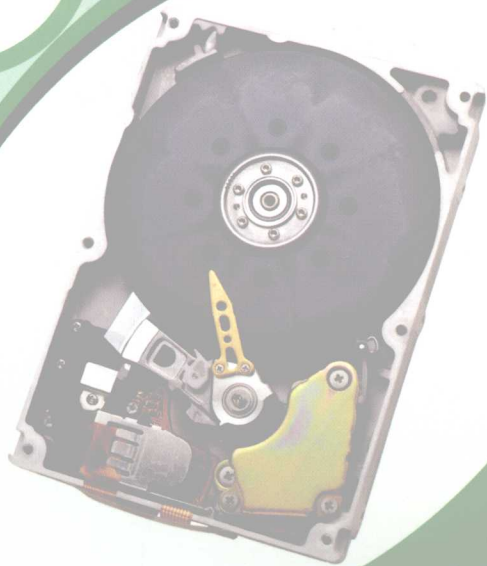
模拟电子技术

总主编: 杨利军

主编: 汤光华

黄新民

主审: 刘任庆



GAOZHI GAOZHUAN
DIANZILEI SHIYIWU GUIHUA
JINGPIN KECHENG JIANSHE JIAOCAI



中南大学出版社

2

规划教材
精品课程
建设教材

高职高专电子类

模拟电子技术

主 编	汤光华	黄新民		
副主编	柴霞君	成治平	董学义	刘一兵
	李合军			
编 委	成治平	刘一兵	刘国联	汤光华
	李合军	周习祥	黄新民	黄 荻
	湛喜云	董学义	董寒冰	彭 芳
	柴霞君			
主 审	刘任庆			

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术(含学习指导书)/汤光华,黄新民主编. —长沙:

中南大学出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-81105-539-9

I. 模... II. ①汤... ②黄... III. 模拟电路—电子技术

IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 107870 号

模拟电子技术
(含《模拟电子技术学习指导》)

主编 汤光华 黄新民

☐ 责任编辑 陈应征

☐ 责任印制 文桂武

☐ 出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8710482

☐ 印 装 湖南省书报刊发行业协会湘联印刷厂

☐ 开 本 787×1092 1/16 ☐ 印张 26.75 ☐ 字数 653 千字

☐ 版 次 2007 年 8 月第 1 版 ☐ 2007 年 8 月第 1 次印刷

☐ 书 号 ISBN 978-7-81105-539-9

☐ 定 价 40.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

高职高专电子类**规划教材**
精品课程建设教材编委会

学术顾问：姚和芳

总 主 编：杨利军

编 委：（按姓氏笔画排序）

王红雨	邓木生	尹立贤	尹耕钦	龙 剑
龙安国	李加升	李伟尧	李合军	朱国军
刘湘国	刘晓奎	刘悦音	汤光华	吴再华
沈治国	陈应华	陈 惠	陈寿才	应夏晖
周志光	周少华	周 玲	胡良君	洪志刚
陶炎焱	高俊辉	黄新民	黄会雄	庾朝永
蒋本立	董学义	黎晓明	魏振西	

总 序

为落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》的精神，教育部、财政部决定在十一五期间实施国家示范性高等职业院校建设计划，并重点建设 100 所高职院校，通过深化改革，促进高等职业教育与经济社会发展紧密结合，加强内涵建设，提高教育质量，增强服务经济社会的能力，提升我国高等职业教育的整体水平。示范院校建设，专业建设是核心。其中三项重点工作之一是：“课程体系和教学内容改革，按照高技能人才培养的特点和规律，参照职业岗位要求，改革课程体系和教学内容，每个专业建设 3~5 门工学结合的优质核心课程和配套教材。”在十一五期间，“国家将启动 1000 门工学结合的精品课程，带动学校和地方加强课程建设。加强教材建设，重点建设好 3000 种左右国家规划教材，与行业企业共同开发紧密结合生产实际的实训教材，并确保优质教材进课堂”。

为了落实教育部、财政部有关要求，适应电子类高等职业教育教学改革与发展的形势，在湖南省教育厅职成处和湖南省教育科学研究院的支持、指导和帮助下，湖南省高等职业教育电子类专业教学研究会和中南大学出版社进行了广泛的调研，探索出版符合高职教育教学模式、教学方式、教学改革的新教材的路子。他们组织全国 30 多所高职院校的院系领导及骨干教师召开了多次教材建设研讨会，充分交流了教学改革、课程设置、教材建设的经验，把教学研究与教材建设结合起来，并对电子类专业高职教材的编写指导思想、教材定位、特色、名称、内容、篇幅进行了充分的论证，统一了思想，明确了思路。在此基础上，由湖南省高等职业教育电子类专业教学研究会牵头，成立了“湖南省电子类规划教材建设教材编委会”，组织编写出版高等职业教育电子类专业系列教材。编委会成员是由业内权威教授、专家、高级工程师技术人员组成，该系列教材的作者都是具有丰富的教学经验、较高学术水平和实践经验的教授、专家及骨干教师、双师型教师。编委会通过推荐、招标、遴选确定了每本书的主编，并对每本书的编写大纲、内容进行了认真审定，还聘请了知名教授、专家担任教材主审，确保教材的高质量、权威性和专业性。

根据高职教育应用型人才培养目标的要求，这套教材既具有高等教育的知识内涵，又具有职业教育的职业能力内涵，主要体现了以下特点：

(1) 以培养综合素质为基础，以提高能力为本位

本套教材把提高学生能力训练放在突出的位置，符合教育部电子类专业教学基本要求和人才培养目标，注重创新能力和综合素质培养，做到理论与实践的相结合。教材的编写注重技能性、实用性，加强实验、实训、实习等实践环节，力求把学生培养成为电子行业一线迫切需要的应用型人才。

(2) 以社会需求为基本依据,以就业为导向

适应社会需求是职业教育生存和发展的前提,也是职业教育课程设置的基本出发点。本套教材以电子企业的工作需求为依据,探索和建立根据企业用人“订单”进行教育与培训的机制,明确职业岗位对核心技能和一般专业能力的要求,重点培养学生的技术运用能力和岗位工作能力。以真实的项目或任务为载体设计专业课教学内容,使教学内容既具针对性,又具适应性,充分体现工学结合,使学生具有较强的就业岗位适应能力。

(3) 反映电子领域的新知识、新技术、新材料、新工艺、新设备、新方法

本套教材充分反映了电子行业内最新发展趋势和最新研究成果,体现了应用电子领域的新知识、新技术、新工艺、新方法。

(4) 贯彻学历教育与职业资格证书、技能证考试相结合的精神

本套教材把职业资格证书、技能证考证的知识点与教材内容相结合,将实践教学体系与国家职业技能鉴定标准相结合,把电子制图(Protel)等工种技能考证的基本内容融入教材体系中,并安排了相应的考证训练题及考证模拟题,使学生在获得学分的同时,也能通过职业资格证书考试。

(5) 教材内容精练

本套教材以工程实践中“会用、管用”为目标,理论以“必需、够用”为度,对传统教材内容进行了精选、整合、优化,能更好地适应高职教改的需要。由于做了统一规划,相关教材之间内容安排合理,基础课与专业课有机衔接,全套教材具有系统性、科学性。

(6) 教材体系立体化

为了方便老师教学和学生学习,本套教材提供了电子课件、电子教案、教学指导、学习指导、实训指导、题库、案例素材等教学资源支持服务平台。

教材的生命力在于质量,提高质量是永恒的主题。教材编委会及出版社将根据高职教育改革发展的形势及电子类专业技术发展的趋势,不断对教材进行修订、完善,精益求精,使之更好地适应高等职业教育人才培养的需要。

杨利军

2007年7月于株洲

(序作者为湖南省高等职业教育电子类专业教学研究会会长、湖南铁道职业技术学院副院长、教授)

前 言

为了满足全国高等职业技术学院电类专业的教学需要,加快我国高技能人才培养的步伐,中南大学出版社组织策划、出版了电类专业课程系列规划教材。本书即为该系列规划教材之一。

本教材立足于高职高专人才培养目标,充分考虑高职高专学生的特点,遵循理论够用、内容实用、学以致用、突出能力培养的原则,对教学内容进行了精选,对书中的章节作了合理安排。全书概念叙述清楚,通俗易懂,深浅合适,理论联系实际。其特点主要有下面几个方面。

1. 加强针对性

本教材主要针对高职高专电类专业学生而编写,在内容的编排上,尽可能满足学生学习专业课和从事实践工作之需要。同时在内容的深浅度方面,尽量降低理论分析、公式推导和计算难度,加大“应用实例”的篇幅。对某些问题,直接给出结论,忽略推导过程,重点介绍结论的实践意义和应用。

2. 突出先进性

本教材中的图形符号和文字符号均采用新颁布的国家标准,同时突出集成器件及其应用电路和新型半导体器件的介绍。

3. 增强实用性

坚持理论与实践相结合的原则,特别增加“趣味电子制作”和“模拟电子电路读图练习”等教学内容,以达到提高学生学习兴趣和培养学生专业技能的目的。

4. 注重科学性

(1)淡化器件内部结构分析,重点介绍器件的符号、特性、功能及应用。

(2)突出基本概念、基本原理和基本分析方法,采用较多的图表来代替文字描述和进行归纳、对比。

(3)内容由浅入深,由易到难,循序渐进。

(4)各章后面均附有一定数量的自测题与习题;书中自测题参考答案和习题详解见配套教材《模拟电子技术学习指导》一书。

(5)书中带*号的内容可根据学时数的多少和专业需要进行选讲。

参加本书编写的有:刘一兵(第1章)、成治平(第3章)、黄新民(第4章)、柴霞君(第5章)、刘国联(第6章)、黄荻(第7章)、董寒冰(第8章)、李合军(第10章)、汤光华(第2、9章及全书的其余部分)。汤光华、黄新民任主编,汤光华负责全书的统稿。

本书由刘任庆主审。主审对书稿进行了认真的审阅,并提出了很多好的意见和建议。

在本书的编、审、出版过程中,得到了湖南省电子教学研究会、中南大学出版社和部分高职院校的大力支持、指导和帮助,编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在问题和错误,敬请各位读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

第1章 半导体二极管、三极管	(1)
1.1 半导体基础知识	(1)
1.1.1 本征半导体	(1)
1.1.2 杂质半导体	(2)
1.1.3 PN结的形成及单向导电性	(4)
1.2 半导体二极管	(6)
1.2.1 半导体二极管的结构、符号和外形	(6)
1.2.2 二极管的伏安特性	(7)
1.2.3 整流二极管的主要参数及选用依据	(9)
1.2.4 应用实例	(10)
1.3 特殊二极管	(12)
1.3.1 稳压二极管	(12)
1.3.2 发光二极管	(14)
1.3.3 光电二极管	(15)
1.3.4 变容二极管	(15)
1.3.5 激光二极管	(16)
1.4 半导体三极管	(17)
1.4.1 半导体三极管的结构与符号	(17)
1.4.2 电流分配和电流放大作用	(18)
1.4.3 三极管的特性曲线	(19)
1.4.4 三极管的主要参数及选用依据	(22)
1.4.5 应用实例	(24)
*1.5 特种半导体元器件简介	(25)
1.5.1 光敏电阻	(25)
1.5.2 热敏电阻	(26)
1.5.3 压敏电阻	(28)
1.5.4 太阳能电池	(29)
1.5.5 光电耦合器	(30)
本章小结	(31)
自测题	(32)
习题	(33)

第2章 基本放大电路	(35)
2.1 放大电路概述	(35)
2.1.1 放大电路的概念	(35)
2.1.2 放大电路的主要性能指标	(35)
2.2 基本放大电路的工作原理	(37)
2.2.1 电路的组成及各元件的作用	(37)
2.2.2 放大电路中电流、电压的符号及波形	(38)
2.3 图解分析法	(40)
2.3.1 静态工作情况分析	(40)
2.3.2 动态工作情况分析	(42)
2.3.3 静态工作点与波形失真的关系	(44)
2.3.4 电路参数对静态工作点的影响	(45)
2.4 微变等效电路分析法	(46)
2.4.1 静态工作点的估算	(46)
2.4.2 微变等效电路与动态分析	(47)
2.5 静态工作点稳定电路	(50)
2.5.1 温度变化对静态工作点的影响	(50)
2.5.2 分压式偏置稳定电路	(51)
2.5.3 集电极-基极偏置电路	(54)
2.5.4 温度补偿电路	(55)
2.6 共集放大电路和共基放大电路	(55)
2.6.1 共集放大电路	(55)
2.6.2 共基放大电路	(58)
2.6.3 放大电路三种组态的比较	(60)
2.6.4 应用实例	(60)
2.7 场效应管及其放大电路	(63)
2.7.1 结型场效应管	(63)
2.7.2 绝缘栅场效应管	(65)
2.7.3 场效应管的主要参数	(66)
2.7.4 场效应管的特性比较及主要特点	(67)
2.7.5 场效应管基本放大电路	(68)
2.7.6 应用实例——场效应管驻极体话筒	(74)
2.8 多级放大电路	(74)
2.8.1 多级放大电路的耦合方式	(74)
2.8.2 多级放大电路的分析方法	(76)
2.8.3 放大电路的频率特性	(79)

2.8.4 放大电路的故障检测	(82)
本章小结	(83)
自测题	(84)
习题	(86)
第3章 差分放大电路与集成运算放大器	(95)
3.1 差分放大电路概述	(95)
3.2 双电源供电的差分放大电路	(96)
3.2.1 电路的构成	(96)
3.2.2 静态分析	(96)
3.2.3 动态分析	(97)
3.3 具有恒流源的差分放大电路	(100)
3.3.1 电流源电路	(100)
3.3.2 具有恒流源的差分放大电路	(102)
3.4 差分放大电路的输入、输出接法	(104)
3.5 集成运算放大器	(105)
3.5.1 集成运算放大器简介	(105)
3.5.2 集成运算放大器内部电路框图	(106)
3.5.3 集成运算放大器的符号及主要参数	(107)
本章小结	(108)
自测题	(109)
习题	(110)
第4章 负反馈放大电路	(114)
4.1 反馈的基本概念	(114)
4.1.1 反馈的定义	(114)
4.1.2 反馈电路框图	(114)
4.2 负反馈的类型	(116)
4.2.1 负反馈的判别	(116)
4.2.2 负反馈的类型	(118)
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	(120)
4.3.1 反馈的基本关系式	(120)
4.3.2 负反馈对放大电路性能的影响	(122)
4.3.3 负反馈电路的自激振荡及消除	(125)
4.4 深度负反馈放大电路	(125)
4.4.1 深度负反馈的特点	(125)
4.4.2 深度负反馈放大电路的估算	(126)

4.5 应用实例——反馈式音调控制器	(127)
本章小结	(128)
自测题	(128)
习题	(130)
第5章 集成运算放大器的应用	(136)
5.1 概述	(136)
5.1.1 集成运放的电压传输特性	(136)
5.1.2 典型的双运放、四运放简介	(137)
5.1.3 集成运放工作在线性区和非线性区的特点	(137)
5.2 集成运放的线性应用电路	(139)
5.2.1 比例运算电路	(139)
5.2.2 加法运算电路	(141)
5.2.3 减法运算电路	(143)
5.2.4 积分、微分运算电路	(144)
5.2.5 应用实例	(147)
5.3 集成运放的非线性应用电路	(150)
5.3.1 电压比较器	(150)
5.3.2 方波、矩形波发生器	(153)
5.3.3 三角波、锯齿波发生器	(156)
5.3.4 使用运放注意事项	(159)
本章小结	(162)
自测题	(162)
习题	(165)
第6章 正弦波振荡电路	(172)
6.1 正反馈与自激振荡	(172)
6.1.1 自激振荡的条件	(172)
6.1.2 振荡的建立	(173)
6.2 LC 正弦波振荡电路	(174)
6.2.1 LC 并联谐振回路	(174)
6.2.2 变压器反馈式 LC 振荡电路	(176)
6.2.3 电感三点式振荡电路	(177)
6.2.4 电容三点式振荡电路	(178)
6.3 RC 正弦波振荡电路	(181)
6.3.1 RC 桥式正弦波振荡电路	(181)
6.3.2 RC 移相式正弦波振荡电路	(185)

6.4 石英晶体振荡电路	(186)
6.4.1 石英晶体的特性	(186)
6.4.2 石英晶体的符号和等效电路	(187)
6.4.3 石英晶体正弦波振荡电路	(188)
6.5 应用实例	(189)
本章小结	(190)
自测题	(190)
习题	(191)
第7章 功率放大电路	(195)
7.1 功率放大电路概述	(195)
7.1.1 功率放大电路的特点和要求	(195)
7.1.2 功率放大电路的分类	(196)
7.2 互补对称功率放大电路	(197)
7.2.1 OCL 电路	(197)
7.2.2 OTL 电路	(201)
*7.2.3 采用复合管的互补对称功率放大电路	(201)
7.2.4 应用实例	(203)
7.3 集成功率放大器	(204)
7.3.1 集成功率放大器 LM386 及其应用	(204)
7.3.2 集成功率放大器 TDA2040 及其应用	(205)
本章小结	(206)
自测题	(207)
习题	(208)
第8章 直流稳压电源	(212)
8.1 概述	(212)
8.2 单相整流电路	(212)
8.2.1 单相半波整流电路	(213)
8.2.2 单相全波整流电路	(214)
8.2.3 单相桥式整流电路	(215)
8.3 滤波电路	(217)
8.3.1 电容滤波电路	(217)
8.3.2 电感滤波电路	(221)
8.3.3 复式滤波电路	(222)
8.4 分立元件稳压电路	(223)
8.4.1 稳压电路的主要性能指标	(223)

8.4.2 并联型稳压电路	(224)
8.4.3 串联型稳压电路	(225)
8.5 三端集成稳压器	(226)
8.5.1 三端集成稳压器的主要参数	(226)
8.5.2 三端固定电压输出集成稳压器及应用电路	(228)
8.5.3 三端可调电压输出集成稳压器及应用电路	(230)
8.5.4 集成稳压器使用注意事项	(232)
8.6 开关稳压电源简介	(233)
8.6.1 开关稳压电源基本原理	(233)
8.6.2 并联型开关稳压电路	(234)
8.6.3 串联型开关稳压电路	(234)
8.6.4 一体化集成开关电源	(236)
*8.7 晶闸管及应用电路简介	(237)
8.7.1 晶闸管简介	(237)
8.7.2 单相桥式半控整流电路	(241)
本章小结	(242)
自测题	(243)
习题	(244)
*第9章 模拟电子电路读图练习	(247)
9.1 读图的一般方法和步骤	(247)
9.1.1 了解用途、找出通路	(247)
9.1.2 化繁为简、各个击破	(247)
9.1.3 统观整体、估算性能	(247)
9.2 读图练习举例	(248)
9.2.1 带音调控制的音频放大器	(248)
9.2.2 W7800 系列三端集成稳压器	(254)
本章小结	(257)
习题	(258)
*第10章 趣味电子制作	(260)
10.1 电子制作基本常识	(260)
10.1.1 电路板的简易制作	(260)
10.1.2 电路板的焊接与安装	(261)
10.1.3 表面粘贴元件	(261)
10.1.4 元器件的焊接方式	(261)
10.1.5 电路板的布局原则	(261)
10.1.6 电子元器件的筛选	(262)

10.1.7 电子产品可靠性简介	(262)
10.1.8 电子电路设计中的干扰问题	(262)
10.2 电子制作实例介绍	(262)
附录	(268)
附录 1 我国半导体器件型号命名方法(根据国家标准 GB249—89)	(268)
附录 2 半导体集成电路型号的命名方法	(269)
附录 3 几种半导体二极管的主要参数	(270)
附录 4 几种半导体三极管的主要参数	(272)
附录 5 电阻器和电容器的标称值	(274)
附录 6 几种集成运放的主要性能指标	(277)
本书常用符号说明	(278)
参考文献	(280)

第1章 半导体二极管、三极管

以半导体二极管、三极管为主的半导体器件是构成电子线路的基本部件,由于它具有体积小、重量轻、使用寿命长、耗电省、可靠性强等优点,在现代电子学领域得到了广泛的应用,并由此带来了微电子技术的迅速发展,使得电子技术成为与现代生活息息相关的高新技术。

1.1 半导体基础知识

半导体器件所用的材料是由导电性能介于导体与绝缘体之间的半导体材料制造的,因此有必要介绍半导体的基本知识。

1.1.1 本征半导体

本征半导体是一种完全纯净的、结构完整的半导体晶体。

1. 什么是半导体

按物质导电能力的强弱可分为导体、绝缘体和半导体三类。具有良好导电性能的物质称为导体,如铜、铁、铝等金属。导电能力很差或不导电的物质称为绝缘体,如橡胶、塑料、陶瓷等。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质叫半导体,如锗、硅、砷化镓、氮化镓等。其中,硅被称为第一代半导体材料,砷化镓为第二代半导体材料,氮化镓为第三代半导体材料。多数电子器件都是由半导体材料制造的。

半导体之所以作为制造电子器件的主要材料,在于它自身存在三个主要的特性。

(1)杂敏性:在纯净的半导体(即本征半导体)中掺入极其微量的杂质元素可使它的导电性能大大提高。如在纯净的硅单晶中只要掺入百万分之一的杂质硼,则它的电阻率就会从 $214\ 000\ \Omega \cdot \text{cm}$ 下降到 $0.4\ \Omega \cdot \text{cm}$ (变化约50万倍),这也是提高半导体导电性能的最有效的方法。

(2)热敏性:温度升高会使半导体的导电能力大大增强,如:温度每升高 8°C ,纯净硅的电阻率就会降低一半左右(而金属每升高 10°C ,电阻率只改变4%左右),利用这种特性,可制造常用于自动控制中的热敏电阻及其他热敏元件。

(3)光敏性:当半导体材料受到光照时,其导电能力会随光照强度变化。利用半导体这种对光敏感的特性可制造成光敏元件如光敏电阻、光电二极管、光电三极管等。

为什么半体会具有这些特性?这与半导体的结构有关,下面就常用的硅和锗材料来讨论。

2. 本征半导体的共价键结构

纯净的硅和锗都是四价元素,在最外层原子轨道上具有四个电子,称为价电子,半导体的导电性能与价电子有关,我们可以将硅和锗的原子结构用图1-1的简化模型表示(由于整个原子呈现电中性,因此原子核用带圆圈的+4符号表示)。

半导体具有晶体结构, 相邻的两个原子间的距离很小, 这样, 两相邻原子之间会有一对共用电子, 形成共价键结构, 如图 1-2 所示。由于价电子不易挣脱原子核束缚而成为自由电子, 因此本征半导体的导电能力较差。

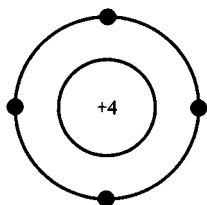


图 1-1 硅和锗的结构简化模型

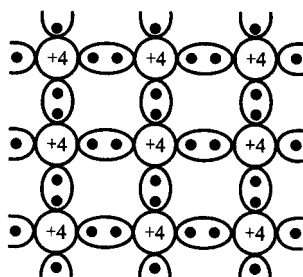


图 1-2 本征半导体硅的共价键结构

3. 本征半导体中的两种载流子及导电作用

图 1-2 结构是在热力学温度 $T=0\text{ K}$ 和没有外界激发时的情况。实际上, 半导体受共价键束缚的价电子不像绝缘体中束缚的那样紧, 在温度升高时, 某些价电子在随机热振动中获得足够的能量或从外界获得一定的能量会挣脱共价键的束缚而成为自由电子, 这时在共价键中就会留下一个空位, 或称为“空穴”。在本征半导体中, 自由电子和空穴是成对出现的, 如图 1-3 所示。如果在本征半导体两端外加电场, 这时自由电子向电场正极定向移动, 而空穴向负极定向移动而形成电流, 可见自由电子和空穴都参与导电, 而运载电荷的粒子称为载流子。因此, 本征半导体有两种载流子, 即自由电子和空穴, 而导体只有一种载流子, 即自由电子, 这是半导体与导体的主要不同之处。

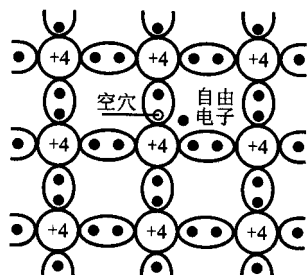


图 1-3 本征激发时的自由电子和空穴

将半导体在热激发下产生电子和空穴对的现象称为本征激发。在本征半导体中, 由于本征激发产生的自由电子和空穴总是成对出现, 称为电子-空穴对。因此, 任何时候其自由电子和空穴数总是相等。

当温度升高或光照增强时, 半导体内更多的价电子能获得能量挣脱共价键的束缚而成为自由电子并产生相同数目的空穴, 从而使半导体的导电性能增强, 这就是半导体具有光敏性和热敏性的原因。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中, 两种载流子的浓度很低, 因而导电性能差, 我们可向晶体中有控制地掺进特定的杂质来改变它的导电性, 这种半导体被称为杂质半导体。根据掺入杂质的性质不同, 杂质半导体可分为空穴型(或 P 型)半导体和电子型(或 N 型)半导体。

1. P 型半导体

P 型半导体是在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的三价元素(如硼、镓等)形成的。当三价元素如硼等杂质掺进纯净的硅晶体中,晶体中的某些原子被杂质原子代替,而杂质原子的最外层中有三个价电子,当它们与周围的硅原子形成共价键时,势必多出一个空位(空位为电中性),这时与之相邻的共价键上的电子由于热振动或其他激发而获得能量时,就会填补这个空位,而硼原子在晶格上又接受了一个电子,从而变为不能动的负离子。原来硅原子的共价键上中因缺少一个电子形成了空穴,整个半导体仍是电中性,如图 1-4。在产生空穴的过程中,并不产生新的自由电子,只有晶体本身由于本征激发产生的少量的空穴-电子对,使得半导体中空穴的数量远多于自由电子的数量,故称空穴为多数载流子(简称多子)。自由电子为少数载流子(简称少子),而杂质原子接受了一个电子,故称受主杂质。

这种半导体参与导电的主要是空穴,称为空穴型半导体或 P 型半导体(P 取 positive 的第一个字母,由于空穴带正电,故此得名)。控制掺入杂质的多少,便可控制空穴数量,从而控制 P 型半导体的导电性。

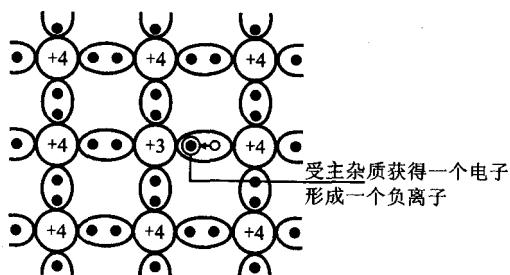


图 1-4 P 型半导体的共价键结构

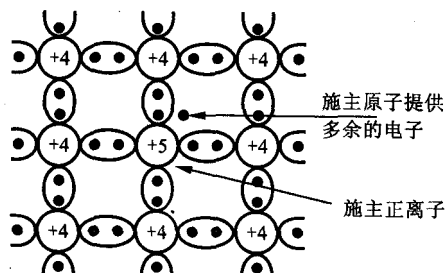


图 1-5 N 型半导体的共价键结构

2. N 型半导体

N 型半导体是在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的五价元素(如磷、砷、锑)形成的。当五价元素如磷等杂质掺入纯净的硅晶体时就会取代晶体中硅原子的位置,由于杂质原子的最外层有五个价电子,在与周围硅原子形成共价键外,还多出了一个电子。这个多余的电子易受热激发而成为自由电子,当它移开后,杂质原子由于结构的关系,又缺少一个电子,变为不能移动的正离子,这样使得整个半导体仍呈电中性,如图 1-5。与 P 型半导体一样,在产生自由电子的过程中,不产生新的空穴,内部只有由于本征激发而产生的空穴-电子对。使得自由电子的数量远远多于空穴的数量,称自由电子为多子,空穴为少子,而杂质原子由于施舍一个电子,故称为施主杂质,这种半导体参与导电的主要是电子,称电子型半导体或 N 型半导体(N 为 negative 的第一个字母,由于电子带负电而得名)。

从以上分析可知,本征半导体掺入的每个受主杂质都能产生一个空穴,或者掺入的每个施主杂质都能产生一个自由电子。尽管掺杂含量甚微,但使得载流子的数目大大地增加,从而提高了半导体的导电能力。因此,半导体掺杂是提高其导电性能的最有效的方法。利用半导体的这种掺杂性,通过掺入不同种类和数量的杂质,形成不同的掺杂半导体,可以制造出晶体二极管、三极管、场效应管、晶闸管和集成电路等半导体元、器件。