

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列规划教材

模拟电子技术及应用

王朱劳 主编
周永金 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列规划教材

模拟电子技术及应用

主编 王朱劳

主审 周永金

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

本书分上、下两篇,共九章。上篇由半导体元件、基本放大电路及其分析、负反馈放大电路、集成运算放大电路及其应用、波形产生与变换电路、直流稳压电源、低频功率放大电路等七章内容和三篇阅读材料组成;下篇由常用电子仪器、模拟电子技术实验两章内容组成。

本书注重实践应用,理论分析难易适中,内容通俗易懂。虽是为高职高专学校编写的教材,但也可作为中专、技校教材,亦可供有关技术人员参考使用。

★ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术及应用/王朱劳主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2007.1

中国高等职业技术教育研究会推荐.

高职高专系列规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1770 - 1

I. 模... II. 王... III. 模拟电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 005296 号

策 划 马乐惠

责任编辑 许青青 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2007年7月第1版 2007年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17

字 数 394千字

印 数 1~4 000册

定 价 21.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1770 - 1/TN • 0358

XDUP 2062001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

IT类专业高职高专规划教材编审专家委员会

主任：高林（北京联合大学副校长，教授）

副主任：温希东（深圳职业技术学院电子与信息工程学院院长，教授）

李卓玲（沈阳工程学院信息工程系主任，教授）

李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑，教授）

计算机组：组长：李卓玲（兼）（成员按姓氏笔画排列）

丁桂芝（天津职业大学计算机工程系主任，教授）

王海春（成都航空职业技术学院电子工程系副教授）

文益民（湖南工业职业技术学院信息工程系主任，副教授）

朱乃立（洛阳大学电子信息工程学院院长，教授）

李虹（南京工业职业技术学院电气工程系副教授）

陈晴（武汉职业技术学院计算机科学系主任，副教授）

范剑波（宁波工程学院电子与信息工程学院副院长，副教授）

陶霖（上海第二工业大学计算机学院教授）

徐人凤（深圳职业技术学院电子与信息工程学院副院长，高工）

章海鸥（金陵科技学院计算机系副教授）

鲍有文（北京联合大学信息学院副院长，副教授）

电子通信组：组长：温希东（兼）（成员按姓氏笔画排列）

马晓明（深圳职业技术学院通信工程系主任，教授）

于冰（宁波工程学院电子与信息工程学院副教授）

孙建京（北京联合大学教务长，教授）

苏家健（上海第二工业大学电子电气工程学院副院长，高工）

狄建雄（南京工业职业技术学院电气工程系主任，副教授）

陈方（湖南工业职业技术学院电气工程系主任，副教授）

李建月（洛阳大学电子信息工程学院副院长，副教授）

李川（沈阳工程学院自动控制系副教授）

林训超（成都航空职业技术学院电子工程系主任，副教授）

姚建永（武汉职业技术学院电子信息系主任，副教授）

韩伟忠（金陵科技学院龙蟠学院院长，高工）

项目总策划：梁家新

项目策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

本书是为培养高等职业技术型人才而编写的工科电类专业通用教材。

作者在编写本教材时,充分研究了五年制(初中毕业生)和三年制(高中毕业生)高职学生的特点、知识结构,并结合高职高专院校的教学规律和培养目标,本着理论知识以够用为度,加强实践环节,注重职业技能培养的精神,认真组织教材内容,努力使该教材符合理论教学和实践教学的实际需要。

本教材具有以下特点:

- (1) 理论分析难易程度适中,注重结果的应用,对分析方法仅作定性阐述,不作理论证明。
- (2) 每章后都配有较多习题,以利于学生复习。
- (3) 注重该课程与相关基础课的衔接,同时为后续课程打好基础。
- (4) 注意了电类专业趋向于强电弱电不严格区分的特点,使该教材既适用于强电专业,也适用于弱电专业。
- (5) 选编的三篇阅读材料使理论与工程实际结合更为紧密。
- (6) 注重理论与实践的结合,书中给出了较多实用电路。
- (7) 将实验指导与教材合为一体,方便师生使用。

参加本书编写的有雷学敏(第一章),周永金(第二章),李周平(第三章),张双琦(第四章),樊建海(第五章),马艳阳(第六章),王朱劳(第七章),张生杰(第八、九章),蒋文坚(三篇阅读材料)。王朱劳任主编,张双琦任副主编,周永金任主审并负责全书的审阅、修改和统稿工作。

本书在使用过程中,各个专业可根据各自的不同需要,适当增删有关章节。

由于作者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2006年11月

目 录

上篇 模拟电子技术

第一章 半导体元件	3
1.1 半导体基础知识	3
1.1.1 半导体	3
1.1.2 PN结	5
1.2 晶体二极管	7
1.2.1 晶体二极管的结构	7
1.2.2 晶体二极管的特性曲线	7
1.2.3 晶体二极管的主要参数	8
1.2.4 其他类型二极管	9
1.3 晶体三极管	10
1.3.1 晶体三极管的结构与放大原理	10
1.3.2 晶体三极管的特性曲线	14
1.3.3 晶体三极管的主要参数	15
1.4 场效应管	17
1.4.1 结型场效应管	17
1.4.2 绝缘栅场效应管	20
1.4.3 场效应管的主要参数	24
阅读材料1 晶体管的识别	26
习题一	31
第二章 放大电路及其分析	33
2.1 基本放大电路的组成和工作原理	33
2.1.1 放大电路的组成	33
2.1.2 放大电路的工作原理	34
2.1.3 放大电路的直流通道与交流通道	36
2.1.4 放大电路的性能指标	37
2.2 放大电路的图解分析法	40
2.2.1 静态工作情况分析	40
2.2.2 动态工作情况分析	42
2.2.3 放大电路性能参数的计算	44
2.2.4 放大电路的非线性失真	45
2.3 放大电路的微变等效电路分析法	46
2.3.1 静态工作点的估算	46

2.3.2	晶体三极管的简化微变等效电路	47
2.3.3	放大电路的微变等效电路分析法	48
2.3.4	放大电路两种分析方法的比较	50
2.4	静态工作点的稳定及偏置电路	50
2.4.1	温度对静态工作点的影响	50
2.4.2	分压式电流负反馈偏置电路稳定静态工作点的原理	51
2.4.3	分压式电流负反馈偏置电路的分析	53
2.5	放大电路的三种组态及性能比较	55
2.5.1	共集电极放大电路的分析	55
2.5.2	共基极放大电路的分析	58
2.5.3	三种组态放大电路的性能比较	60
2.6	场效应管放大电路	61
2.6.1	偏置电路与静态分析	61
2.6.2	场效应管放大电路的动态分析	63
2.7	多级放大电路	64
2.7.1	多级放大电路的耦合方式	65
2.7.2	多级放大电路的分析	66
2.8	放大电路的频率特性	68
2.8.1	频率特性的基本概念	68
2.8.2	阻容耦合放大电路的频率特性	68
2.8.3	多级放大电路的幅频特性	69
	阅读材料 2 晶体三极管的选用	70
	习题二	78
第三章	负反馈放大电路	83
3.1	反馈的基本概念	83
3.1.1	反馈的定义	83
3.1.2	反馈的类型及判别	83
3.2	负反馈放大电路的分析	85
3.2.1	负反馈放大电路的定性分析	85
3.2.2	深度负反馈放大电路增益的估算	88
3.3	负反馈对放大电路性能的影响	90
3.3.1	稳定放大倍数	90
3.3.2	改变输入电阻和输出电阻	91
3.3.3	展宽通频带	93
3.3.4	减小非线性失真	94
	习题三	95
第四章	集成运算放大电路及其应用	97
4.1	直接耦合放大电路	97
4.1.1	直接耦合放大电路的组成	98
4.1.2	直接耦合放大电路的分析	99
4.1.3	直接耦合放大电路的零点漂移	100
4.1.4	零点漂移的抑制	101
4.2	差动放大电路	101

4.2.1	基本差动放大电路	102
4.2.2	长尾式差动放大电路	102
4.2.3	恒流源差动放大电路	104
4.2.4	差动放大电路三种信号输入方式	105
4.2.5	差动放大电路的性能指标	107
4.2.6	差动放大电路的连接方式	108
4.3	集成运算放大电路的组成与性能指标	112
4.3.1	集成运算放大器的组成	112
4.3.2	集成运算放大器的封装形式及图形符号	113
4.3.3	集成运算放大器的主要技术指标	113
4.3.4	集成运算放大器的传输特性	115
4.3.5	理想集成运算放大器	116
4.4	集成运算放大电路的线性应用	117
4.4.1	信号运算电路	117
4.4.2	有源滤波电路	127
4.5	集成运算放大电路的非线性应用	131
	习题四	136
	第五章 波形产生与变换电路	145
5.1	概述	145
5.1.1	振荡的概念	145
5.1.2	自激振荡的条件	146
5.2	LC 正弦波振荡器	148
5.2.1	LC 回路的选频特性	148
5.2.2	变压器反馈式 LC 振荡器	149
5.2.3	电感三点式振荡器	151
5.2.4	电容三点式振荡器	152
5.2.5	三点式 LC 振荡器的一般形式	153
5.3	RC 正弦波振荡器	153
5.3.1	RC 回路的选频特性	153
5.3.2	集成 RC 正弦波振荡器	155
5.3.3	分立元件 RC 正弦波振荡器	156
5.3.4	振荡频率可调的 RC 正弦波振荡器	156
5.4	石英晶体正弦波振荡器	157
5.4.1	石英晶体的特点	157
5.4.2	石英晶体正弦波振荡器	159
5.5	非正弦波产生电路	159
5.5.1	方波产生电路	159
5.5.2	三角波产生电路	161
5.5.3	锯齿波产生电路	162
5.6	集成函数信号发生器 ICL8038	163
5.6.1	ICL8038 的工作原理	163
5.6.2	ICL8038 的典型应用	164
	习题五	165

第六章 直流稳压电源	167
6.1 整流电路	167
6.1.1 单相半波整流电路	167
6.1.2 单相桥式整流电路	169
6.2 滤波电路	172
6.2.1 电容滤波电路	172
6.2.2 其他滤波电路	174
6.3 稳压电路	176
6.3.1 稳压电源的质量指标	176
6.3.2 并联型稳压电路	177
6.3.3 集成稳压电路	178
6.4 开关稳压电源	180
6.4.1 开关稳压电源概述	180
6.4.2 串联型开关稳压电源	182
6.4.3 并联型开关稳压电源	184
习题六	185
第七章 低频功率放大电路	187
7.1 低频功率放大电路概述	187
7.1.1 功率放大电路的特点	187
7.1.2 功率放大电路的分类	188
7.1.3 改善功放输出的措施	188
7.2 乙类双电源互补对称功率放大电路(OCL 电路)	190
7.2.1 电路组成和工作原理	190
7.2.2 指标计算	190
7.2.3 OCL 电路中三极管的选择	192
7.2.4 交越失真	194
7.2.5 用复合管组成互补对称电路	195
7.2.6 实际功率放大电路应用	196
7.3 单电源互补对称电路(OTL 电路)	196
7.4 集成功率放大电路	197
7.4.1 集成功率放大电路分析	197
7.4.2 集成功率放大电路的主要性能指标	199
7.4.3 集成功率放大电路的应用	199
阅读材料 3 电子线路识图方法	201
习题七	211

下篇 模拟电子技术应用

第八章 常用电子仪器	215
仪器一 XD22 型低频信号发生器	215
仪器二 HZ2181 型电子毫伏表	216
仪器三 示波器原理及使用	217

第九章 模拟电子技术实验	226
实验一 常用电子仪器的使用	226
实验二 二极管、三极管的识别与检测	228
实验三 共射单管放大器	231
实验四 负反馈放大器	236
实验五 射极跟随器	238
实验六 差动放大器	241
实验七 运算放大器的线性应用	243
实验八 OTL 低频功率放大器	248
实验九 RC 正弦波振荡器	251
实验十 直流稳压电源	253
附录 部分习题参考答案	257

上 篇

模拟电子技术

第一章 半导体元件

1.1 半导体基础知识

1.1.1 半导体

1. 本征半导体

自然界的各种物质,根据其导电能力的差别可分为导体、绝缘体和半导体三大类。通常将电阻率小于 $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质称为导体,如铜、铁、铝等金属材料都是良好的导体。将电阻率大于 $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质称为绝缘体,如橡胶、塑料等。所谓半导体,是指导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。常用的半导体材料有硅(Si)和锗(Ge)等,其原子结构如图1-1所示,最外层都有四个电子。

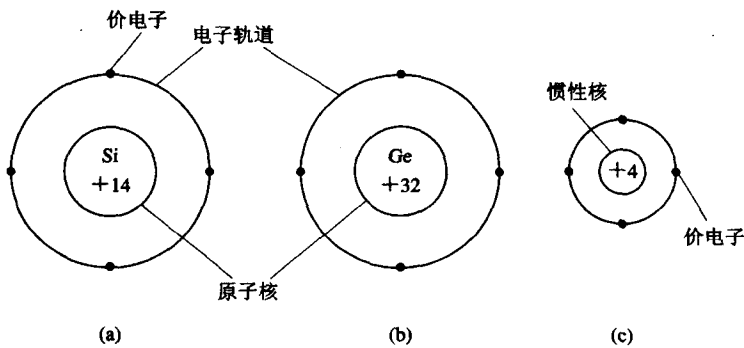


图 1-1

用特殊工艺可将硅(Si)和锗(Ge)制成单晶体结构,单晶体结构的原子最外层电子排列如图1-2所示。在这种结构中,每个原子最外层的四个电子不仅要受到自身原子核的束缚,同时还会受到相邻原子核的吸引,于是两个相邻的原子共有一对价电子,这种结构称为共价键结构。如果这种物质中所有原子都如此排列,并且整个物质的纯净度在99.9999%以上,则称这种物质为本征半导体。

本征半导体在不受外界激发以及在绝对零度时($T=0 \text{ K}$)不导电,但当受到阳光照射或温度升高时,将有少量价电子获得足够的能量,从而克服共价键的束缚成为自由电子,并在原来共价键的位置留下一个空位,称为空穴。自由电子和空穴像一对孪生姐妹一样相伴而生,被称为半导体的两种载流子。因此,本征半导体会在两种载流子的作用下导电,这种产生电子-空穴对的过程称为本征激发,如图1-3所示。但这种导电是由于少数自由电子游离出来而产生的,因此导电能力比较弱。本征半导体虽然有载流子存在,但仍然呈电中性。

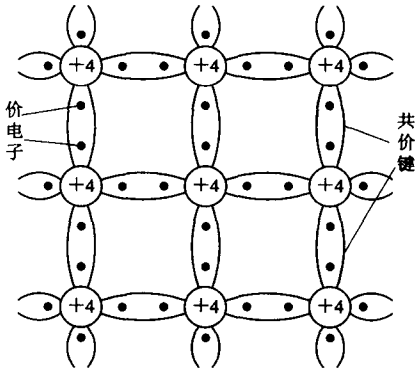


图 1-2

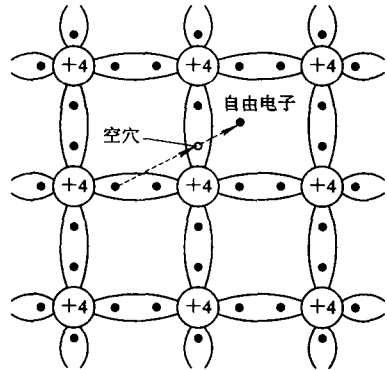


图 1-3

2. 杂质半导体

在本征半导体中，有选择地掺入少量其他元素，会使其导电性能发生显著变化。这些少量元素统称为杂质，掺入杂质的半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质的不同，可将杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体两种。

1) N 型半导体

N 型半导体指在本征硅(或锗)中掺入少量的五价元素，如磷、砷、锑等。由于五价元素的原子最外层有五个价电子，在其替代晶格中的某些硅原子时，它的四个价电子和周围四个硅原子组成共价键，而多出的一个价电子只能位于共价键之外，如图 1-4 所示，因此该电子受原子核的束缚力很小，很容易成为自由电子而参与导电。另外，还有本征激发产生的少数电子 - 空穴对，当掺入五价元素时，自由电子的数量远大于空穴的数量，即自由电子是多数载流子(简称多子)，空穴是少数载流子(简称少子)。这种半导体称为 N 型半导体或电子型半导体。

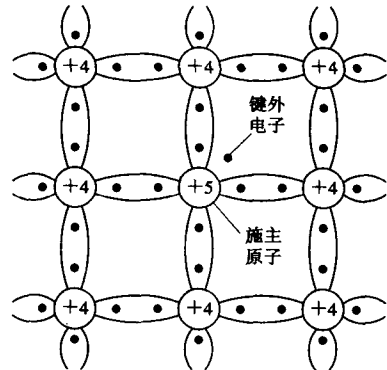


图 1-4

2) P 型半导体

P 型半导体指在本征硅(或锗)中掺入少量的三价元素，如硼、铝、镓等。由于三价元素的原子最外层有三个价电子，在其替代晶格中的某些硅原子时，它的三个价电子和周围四个硅原子组成共价键，因缺少一个价电子而形成空穴，如图 1-5 所示，因此，该空穴吸引其他原子核外的电子定向运动而参与导电。在这种半导体中既有本征激发产生的电子 - 空穴对，又有掺杂形成的空穴，所以当掺入三价元素时，空穴的数量远大于自由电子的数量，即空穴是多数载流子，自由电子是少数载流子。这种半导体称为 P 型半导体或空穴型半导体。

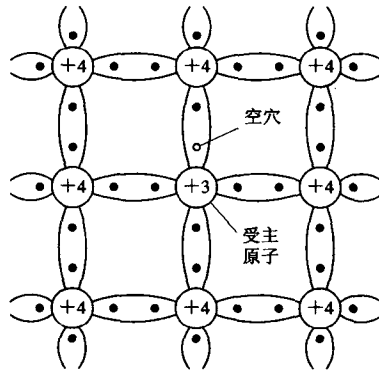


图 1-5

在以上两种杂质半导体中，尽管掺入的杂质浓度很小，但通常由杂质原子提供的载流子数却远大于本征载流子数，因此杂质半导体的导电能力比本征半导体要大得多。

1.1.2 PN 结

1. PN 结的形成

将 P 型半导体和 N 型半导体有机地结合在一起时，因为 P 区一侧空穴多，N 区一侧电子多，所以在它们的界面处存在空穴和电子的浓度差。于是 N 区中的电子会向 P 区扩散，并在 P 区被空穴复合。而 P 区中的空穴也会向 N 区扩散，并在 N 区被电子复合。结果在交界面的两侧就形成了由等量正、负离子组成的空间电荷区，建立了内电场，电场方向由 N 区指向 P 区。在电场力的作用下，P 区的电子向 N 区漂移，N 区的空穴向 P 区漂移，因此，内电场有阻碍多子扩散、利于少子漂移的作用。最后，因浓度差而产生的扩散力被电场力所抵消，使扩散和漂移运动达到动态平衡。这时，虽然扩散和漂移仍在不断进行，但通过界面的空穴和电子数相等，扩散与漂移平衡，空间电荷区的宽度稳定，即形成耗尽层，将其称为 PN 结。此时，PN 结的内电势 U_B 保持不变，对硅材料来说约为 0.7 V，对锗材料来说约为 0.3 V。PN 结的形成过程如图 1-6 所示，其中图 1-6(a) 为载流子的扩散过程，图 1-6(b) 为 PN 结稳定过程。

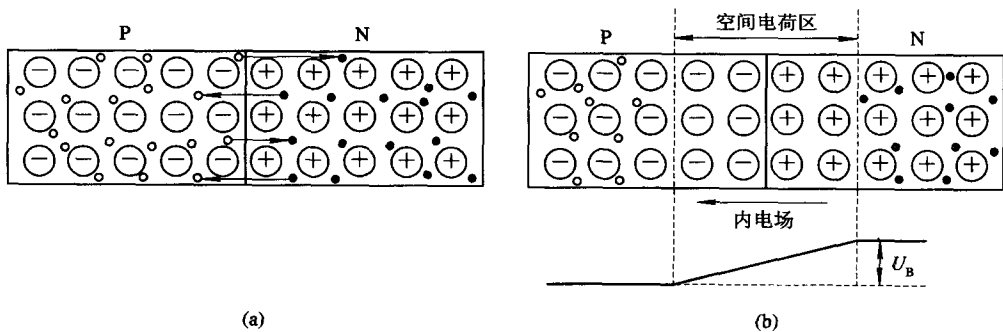


图 1-6

2. PN 结的单向导电性

1) PN 结加正向电压

使 P 区电位高于 N 区电位的接法，称为 PN 结加正向电压或正向偏置(简称正偏)，如图 1-7 所示。由于正向电压和 PN 结的内电势方向相反，这样有利于多子扩散、抑制少子漂移的作用，因此，加正向电压时，正向电流较大，PN 结处于导通状态。

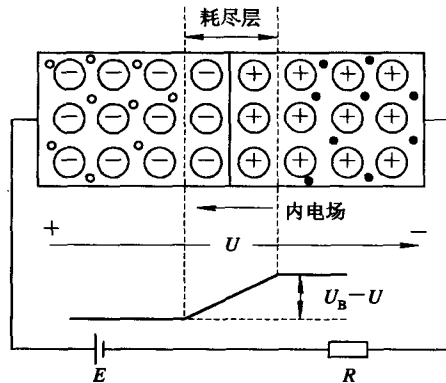


图 1-7

PN 结正向导通电流 i_D 与正向电压 u 成指数关系，即

$$i_D = I_S (e^{\frac{u}{U_T}} - 1) \quad (1-1-1)$$

式中， I_S 为 PN 结反向饱和电流， U_T 为 PN 结正向导通电压降(也称门限电压)。

2) PN 结加反向电压

使 P 区电位低于 N 区电位的接法，称为 PN 结加反向电压或反向偏置(简称反偏)，如图 1-8 所示。同样，由于反向电压和内电势的方向相同，有抑制多子扩散、利于少子漂移的作用，因此，当加反向电压时，反向电流 I_S 很小，认为 PN 结处于截止状态。

由以上分析可以说明，PN 结具有单向导电性。

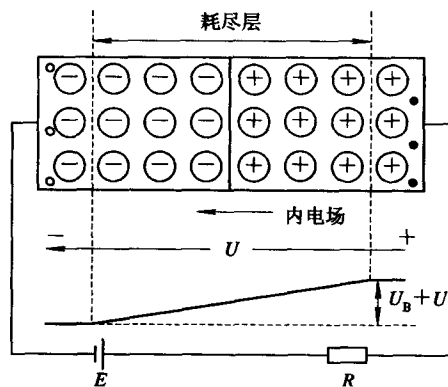


图 1-8