

高等院校教材

电子技术

董尔令 主编



科学出版社

www.sciencep.com

电子技术

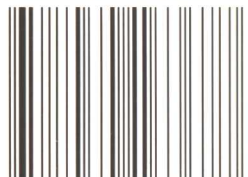
- ◆ 从模拟到数字，并大量介绍中、大规模集成电路及其应用
- ◆ 增加了大规模可编程逻辑器件的内容
- ◆ 针对非电类专业，适合不同学时的教学需要
- ◆ 每章后附有习题，便于学生巩固所学知识

科学出版社 工科编辑部

电 话：010-64033891

E-mail: elec@cspg.net

ISBN 7-03-016367-2



9 787030 163677 >

ISBN 7-03-016367-2

定 价: 26.00 元

高等院校教材

电子技术

董尔令 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的高等工业学校本科基础课程“电子技术(电工学Ⅱ)”教学基本要求编写而成。全书共十章,主要内容有:半导体二极管和三极管、基本放大电路、集成运算放大器、波形的产生、直流电源、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、数/模和模/数转换器、存储器和可编程逻辑器件、晶闸管及其应用。每章后附有习题。

本书可作为高等学校非电类专业的教材,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术 / 董尔令主编. —北京:科学出版社,2006

(高等院校教材)

ISBN 7-03-016367-2

I. 电… II. 董… III. 电子技术-高等学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 120123 号

责任编辑:巴建芬 贾瑞娜 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:黄晓靖 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年1月第 一 版 开本:BS(720×1000)

2006年1月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:1—5 000 字数:380 000

定价:26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

本书是以教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的高等工业学校本科“电子技术(电工学Ⅱ)”课程教学基本要求为依据编写的,参考学时为60~75学时。

本书内容除覆盖全部教学基本要求外,还充分考虑科技发展和实践应用的需要,在重点保证基本理论、基本知识和基本技能训练的同时,尽可能地反映现代电子技术的新器件、新成果和新技术。在内容组织上适当地压缩分立元件电路,突出集成电路的应用和芯片的使用,密切联系实际,加强数/模、模/数转换器等接口电路的内容,注重综合训练,适度引入波形发生器、比较器等必要的实用电路。在模拟电路部分增加了功率场效应管及开关稳压电源电路,在数字电路部分增加了存储器和可编程逻辑器件(PLD)等内容,使教材的内容尽可能满足现代科学研究和工程实践应用的需要。

本书由南京航空航天大学电工教学中心电子技术编写组负责编写,参加编写的有翁晓光(第1、2章)、王勤(第3、4章)、董尔令(第6、7、8章)、贡成雄(第5、9、10章),全书由董尔令任主编,贡成雄协助统稿,东南大学王尧教授任本书主审。在本书编写过程中,参考了许多现有的电工学教材,我们向所有为本书提供有益帮助的教材作者表示由衷的感谢!

在编写和试用本书过程中,得到了南京航空航天大学电工教学中心电工学课程组全体教师的支持和帮助,他们为本书内容提出了许多非常好的意见和建议,在此向他们表示衷心的感谢!

由于我们水平有限,书中必定存在某些问题和错误,恳请广大教师和读者们提出宝贵意见,以便我们在再版时能及时修改那些不当或错误之处。

编 者

2005年8月

目 录

前言

第 1 章 半导体二极管和三极管	1
1.1 半导体的基本知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	2
1.2 PN 结及其单向导电性	4
1.2.1 PN 结的形成	4
1.2.2 PN 结的单向导电性	5
1.3 半导体二极管	6
1.3.1 基本结构	6
1.3.2 伏安特性	6
1.3.3 主要参数	7
1.3.4 含二极管电路的计算	8
1.4 稳压管	9
1.4.1 主要参数	9
1.4.2 含稳压管电路的分析	10
1.5 半导体三极管	11
1.5.1 基本结构	11
1.5.2 放大原理	12
1.5.3 特性曲线	14
1.5.4 主要参数	16
习题	18
第 2 章 基本放大电路	22
2.1 基本放大电路的组成及工作原理	22
2.1.1 基本放大电路的组成	22
2.1.2 电路的放大原理	24
2.2 放大电路的静态分析	25
2.2.1 估算法	25
2.2.2 图解法	25
2.3 放大电路的动态分析	27

2.3.1 图解法	28
2.3.2 微变等效电路法	31
2.4 静态工作点的稳定	37
2.4.1 温度对静态工作点的影响	37
2.4.2 分压式偏置放大电路	37
2.5 射极输出器——共集电极放大电路	42
2.5.1 静态分析	42
2.5.2 动态分析	43
2.5.3 射极输出器的特点和用途	44
2.6 场效应管放大电路	45
2.6.1 绝缘栅场效应管	46
2.6.2 场效应管放大电路	50
2.7 多级放大电路及频率特性	53
2.7.1 多级放大电路的耦合方式	53
2.7.2 阻容耦合多级放大电路的分析	55
2.7.3 阻容耦合放大电路的频率特性	56
2.8 放大电路中的负反馈	58
2.8.1 反馈的基本概念	58
2.8.2 反馈的分类	59
2.8.3 交流负反馈对放大电路工作性能的影响	64
2.9 差动放大电路	68
2.9.1 直接耦合放大电路	68
2.9.2 基本差动放大电路	70
2.9.3 典型差动放大电路	72
2.9.4 带恒流源的差动放大电路	77
2.10 功率放大电路	79
2.10.1 功率放大电路的一般问题	79
2.10.2 互补对称放大电路	81
2.10.3 集成功率放大电路	85
习题	86
第3章 集成运算放大器	96
3.1 集成运算放大器的简单介绍	96
3.1.1 集成运算放大器的特点	96
3.1.2 集成运算放大器的基本组成	97
3.1.3 集成运算放大器的主要技术参数	99

3.1.4 理想集成运算放大器	100
3.2 基本运算电路	102
3.2.1 比例运算电路	103
3.2.2 加减运算电路	106
3.2.3 积分和微分运算	108
3.3 有源滤波器	111
3.3.1 滤波器的作用和分类	111
3.3.2 有源低通滤波器	112
3.3.3 有源高通滤波器	113
3.4 采样保持电路	114
3.5 电压比较器	116
3.5.1 单门限比较器	117
3.5.2 滞回比较器	118
3.6 集成运放的使用	120
习题	122
第4章 波形的产生	131
4.1 正弦波振荡电路	131
4.2 RC 正弦波振荡电路	133
4.3 LC 正弦波振荡电路	134
4.3.1 变压器反馈式振荡电路	134
4.3.2 三点式振荡电路	136
4.4 石英晶体正弦波振荡电路	137
4.5 非正弦信号发生器	139
4.5.1 矩形波发生电路	139
4.5.2 三角波发生电路	140
4.5.3 锯齿波发生电路	141
习题	142
第5章 直流电源	147
5.1 整流滤波电路	147
5.1.1 单相半波整流电路	147
5.1.2 单相桥式整流电路	148
5.1.3 三相桥式整流电路	150
5.1.4 滤波电路	153
5.2 直流稳压电路	156
5.2.1 稳压管稳压电路	156

5.2.2 线性稳压电源	157
5.2.3 开关稳压电源	160
习题	164
第6章 门电路和组合逻辑电路	166
6.1 脉冲信号	166
6.2 分立元件门电路	167
6.2.1 二极管与门电路	167
6.2.2 二极管或门电路	168
6.2.3 晶体管非门电路	169
6.3 TTL集成门电路	172
6.3.1 TTL与非门电路	172
6.3.2 集电极开路与非门	177
6.3.3 三态输出与非门	179
6.4 MOS集成门电路	180
6.4.1 CMOS非门	180
6.4.2 CMOS与非门	180
6.4.3 CMOS或非门	181
6.4.4 CMOS传输门	181
6.5 集成门电路使用注意事项	182
6.5.1 CMOS门和TTL门的接口	182
6.5.2 多余输入端的处理	182
6.6 逻辑代数	183
6.6.1 逻辑代数运算法则	183
6.6.2 逻辑函数的表示方法	184
6.6.3 逻辑函数的化简	186
6.7 组合逻辑电路的分析和设计	191
6.7.1 组合逻辑电路的分析方法	191
6.7.2 组合逻辑电路的设计方法	192
6.8 加法器	194
6.8.1 半加器	194
6.8.2 全加器	194
6.9 编码器	196
6.9.1 二进制编码器	196
6.9.2 二十进制编码器(BCD编码器)	197
6.9.3 优先编码器	198

6.10 译码器	200
6.10.1 二进制译码器	200
6.10.2 二十进制显示译码器	203
6.11 数据分配器和数据选择器	206
6.11.1 数据分配器	206
6.11.2 数据选择器	207
6.12 比较器	209
6.13 组合逻辑电路中的竞争冒险	209
习题	211
第7章 触发器和时序逻辑电路	216
7.1 双稳态触发器	216
7.1.1 基本 RS 触发器	216
7.1.2 同步 RS 触发器	218
7.1.3 主从 JK 触发器	219
7.1.4 维持阻塞 D 触发器	221
7.1.5 CMOS D 触发器	222
7.1.6 触发器的直接置位和直接复位	223
7.1.7 触发器逻辑功能的转换	224
7.2 寄存器	225
7.2.1 数码寄存器	226
7.2.2 移位寄存器	226
7.3 计数器	227
7.3.1 同步计数器	227
7.3.2 异步计数器	229
7.3.3 集成计数器	232
7.3.4 环形计数器	236
7.4 单稳态触发器	237
7.5 多谐振荡器	238
7.6 555 集成定时器及其应用	239
7.6.1 用 555 定时器组成的单稳态触发器	240
7.6.2 用 555 定时器组成的多谐振荡器	241
习题	242
第8章 数/模和模/数转换器	249
8.1 数/模转换器(DAC)	249
8.1.1 T形电阻网络 DAC	249

8.1.2 倒 T 形电阻网络 DAC	251
8.1.3 DAC 的主要技术指标	252
8.1.4 集成 DAC 单元介绍举例	253
8.2 模/数转换器(ADC)	255
8.2.1 逐次逼近型 ADC	255
8.2.2 双积分型 ADC	257
8.2.3 ADC 的主要技术指标	260
8.2.4 集成 ADC 单元介绍举例	260
习题	264
第 9 章 存储器和可编程逻辑器件	266
9.1 只读存储器(ROM)	266
9.1.1 ROM 的结构	266
9.1.2 ROM 的工作原理	267
9.1.3 ROM 电路的应用	269
9.2 随机存储器	271
9.2.1 RAM 基本结构及工作原理	271
9.2.2 RAM 存储器容量的扩展	272
9.3 可编程逻辑器件	273
9.3.1 可编程逻辑器件的基本结构	274
9.3.2 可编程只读存储器	275
9.3.3 可编程逻辑阵列	280
9.3.4 通用阵列逻辑	281
9.3.5 现场可编程门阵列	281
习题	287
第 10 章 晶闸管及其应用	291
10.1 晶闸管的结构及工作原理	291
10.1.1 基本结构	291
10.1.2 工作原理	291
10.1.3 伏安特性	293
10.1.4 主要参数	294
10.2 可控整流电路	295
10.2.1 单相半波可控整流电路	295
10.2.2 单相半控桥式整流电路	298
10.3 单结晶体管触发电路	299
10.3.1 单结晶体管的结构	300

10.3.2 单结晶体管的工作特性	300
10.3.3 单结晶体管触发电路	302
习题	304
参考文献	306
附录 A 部分半导体器件型号和参数	307
附录 B 部分半导体集成电路型号和参数	309

第 1 章 半导体二极管和三极管

半导体器件是电子技术的重要组成部分。本章首先介绍半导体的导电特性和 PN 结的基本原理,然后讨论半导体二极管和三极管的基本结构、工作原理、特性曲线及主要参数,作为进一步分析各种电子电路的基础。

1.1 半导体的基本知识

半导体是一种导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,主要有硅、锗、硒和大多数金属氧化物和硫化物等。

半导体之所以获得广泛的应用,是由于它的导电能力在不同外界条件(如温度、光照、掺杂)下有很大的差异,如有些半导体的导电能力随温度升高而大大加强,基于这种特性可制成各种温度敏感元件,如热敏电阻等;有些半导体受到光照时,导电能力明显增强,据此可以制成各种光敏元件,如光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光电池等;有些半导体还具有压敏、磁敏、气敏等特性,利用半导体的这些特性可以制造出种类繁多的半导体器件。

在常温下,纯净半导体的导电能力很弱,但如果在其内部掺入某些微量杂质,其导电能力将大大加强,如在纯硅中掺入百万分之一的硼元素后,硅的电阻率就从约 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 左右,约为原来的五十万分之一。利用这种特性制成了二极管、三极管、场效应管、晶闸管等不同的半导体器件。

半导体的导电特性是由其内部原子结构、原子与原子之间的结合方式决定的。下面以常用的半导体硅和锗为例来说明半导体的导电原理和特性。

1.1.1 本征半导体

常用的半导体材料是硅和锗,它们原子的最外层都有四个价电子,是四价元素。纯净的半导体具有晶体结构,所以半导体又称为晶体。纯净的、具有晶体结构的半导体就叫本征半导体。

在本征半导体的晶体结构中,每个原子与相邻的四个原子结合,形成共价键结构,这样,每个原子的最外层都有八个价电子,处于比较稳定的状态。但是共价键中的价电子不像绝缘体中的价电子被束缚得那样紧,在获得一定能量(光照或温度升高)后,可以挣脱原子核的束缚成为自由电子。与此同时,在原共价键失去电子的地方会留下一个空位,称为空穴。当价电子成为自由电子后,原子失去一个电子

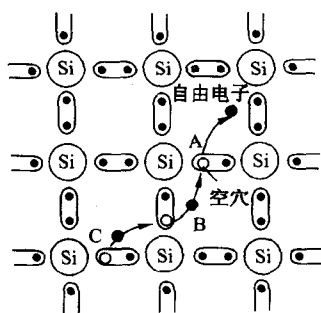


图 1-1-1 自由电子和空穴的产生

而成为带正电的离子,因此可以认为空穴带有正电。在本征半导体中,自由电子和空穴总是成对出现,温度越高,晶体中产生的自由电子-空穴对就越多。

当有外电场作用时,一方面自由电子将逆着电场方向做定向运动而形成电流,这种形成电流的方式称为电子导电;另一方面带有正电的空穴具有吸引电子的作用,邻近共价键中的价电子在外电场作用下就可以来填补该空穴,使邻近共价键中出现新的空穴,这个新出现的空穴又可被其邻近的价电子

过来填补,这样就产生了共价键中的价电子连续填补的定向运动,如图 1-1-1 所示。价电子的填补运动可以看作是空穴沿着与外电场相同的方向做定向运动,这种形成电流的方式称为空穴导电。

半导体在外电场作用下,同时存在着电子电流和空穴电流,即电子和空穴同时参与导电,这是半导体导电的最大特点,也是半导体和金属在导电机理上的本质区别。自由电子和空穴都称为载流子。

在半导体中当自由电子与空穴相遇时,便填补了空穴,这种现象称为复合。自由电子和空穴不断地产生又不断地复合,当在一定温度下达到动态平衡时,半导体中便维持一定数目的载流子。温度越高,载流子数目越多,导电性能越强。所以,温度对半导体器件性能影响极大。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入某些微量杂质元素,就可以使半导体的导电能力发生显著的变化。根据掺入的杂质不同,杂质半导体可分为两类:N 型半导体和 P 型半导体。

1. N 型半导体

如果在纯净半导体硅或锗中掺入少量五价元素,例如磷,磷原子最外层有五个价电子,当硅晶体中某些位置上的硅原子被磷原子替代后,只需要四个价电子参与共价键结构,多余的一个价电子很容易挣脱原子核的束缚而成为自由电子,如图 1-1-2 所示,于是半导体中的自由电子数目大大增加,自由电子导电成为这种半导体的主要导电方式,故称其为电子半导体或 N 型半导体。在 N 型半导体中,自由电子是多数载流子,而空穴是少数载流子。与此同时,磷原子失去一个电子后成为正离子,它不能自由移动,所以不能参与导电。图 1-1-3 为 N 型半导体的结构示意图。

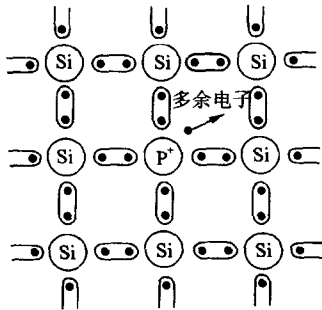


图 1-1-2 硅晶体中掺磷后出现多余电子

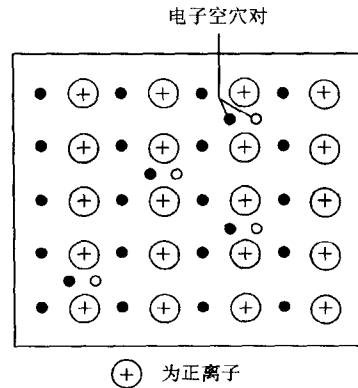


图 1-1-3 N 型半导体示意图

2. P 型半导体

如果在纯净半导体硅或锗中掺入少量三价元素,例如硼,硼原子最外层有三个价电子,当硼原子参与构成共价键结构时,因缺少一个电子而产生一个空位,邻近原子中的价电子很容易被吸引来填补这个空位,从而在该相邻原子中形成一个空穴,如图 1-1-4 所示,于是半导体中的空穴数目大大增加,空穴导电成为这种半导体的主要导电方式,故称其为空穴半导体或 P 型半导体。在 P 型半导体中,空穴是多数载流子,而自由电子是少数载流子。与此同时,硼原子得到一个电子而成为负离子。图 1-1-5 为 P 型半导体的结构示意图。

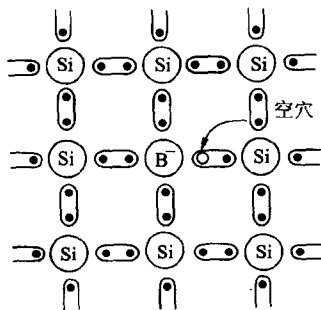


图 1-1-4 硅晶体中掺硼后出现空穴

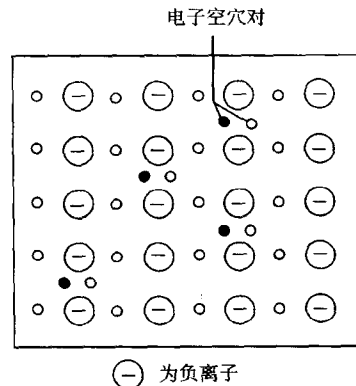


图 1-1-5 P 型半导体示意图

值得注意的是,无论是 N 型半导体还是 P 型半导体,虽然它们都有一种载流子占多数,但整个晶体仍然呈电中性。

1.2 PN 结及其单向导电性

在同一半导体基片的两侧各形成一个 P 型和一个 N 型半导体,使得 P 型和 N 型半导体之间形成一个交界面,在其交界面处将形成一个 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础,了解 PN 结的性质对掌握半导体器件的原理是非常重要的。

1.2.1 PN 结的形成

图 1-2-1 表示一块晶片,它的两边分别形成 P 型和 N 型半导体。由于 P 区空穴浓度大,而 N 区空穴浓度小,因此空穴要从浓度大的 P 区向浓度小的 N 区扩散。当交界面附近 P 区的空穴扩散到 N 区时,在交界面附近的 P 区留下一些负离子,形成负空间电荷区。同理,N 区的自由电子要向 P 区扩散,在交界面附近的 N 区留下一些正离子,形成正空间电荷区。这样,在交界面两侧就形成了一个空间电荷区,这就是 PN 结。空间电荷区中的正、负离子不能移动,所以不能参与导电。在这个区域内,载流子极少,所以电阻率很高。

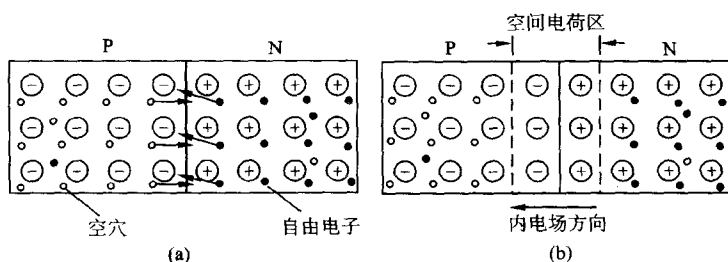


图 1-2-1 PN 结的形成

空间电荷区的两边分别带有正电荷和负电荷,于是形成一个电场,称为内电场,其方向为由带正电的 N 区指向带负电的 P 区。由这个电场产生的电场力将阻止 P 区的多数载流子空穴继续向 N 区扩散,同时也要阻止 N 区的多数载流子电子继续向 P 区扩散,即内电场对多数载流子的扩散运动起阻挡作用。

与此相反,内电场的存在却有利于少数载流子的运动,推动 P 区的少数载流子自由电子进入 N 区,同时推动 N 区的少数载流子空穴进入 P 区。这种少数载流子在内电场作用下的定向运动称为漂移运动。

扩散运动和漂移运动的方向相反,它们既相互联系,又相互制约。在空间电荷区形成前,只有多数载流子的扩散运动。随着空间电荷区的逐渐形成,内电场逐步加强,扩散运动逐渐减弱,漂移运动开始并逐渐增强。最后,扩散运动与漂移运动达到动态平衡,即从 P 区扩散到 N 区的空穴数与从 N 区漂移到 P 区的空穴数相

等,而从N区扩散到P区的自由电子数与从P区漂移到N区的自由电子数相等。此时,空间电荷区便保持一定的宽度,PN结处于相对稳定的状态。

1.2.2 PN结的单向导电性

上面讨论的是PN结没有外加电压的情况,此时PN结处于平衡状态。如果PN结的两端加上外加电压,其导电特性将随加在PN结上的电压极性的不同而不同。

1. 外加正向电压

在PN结两端加上正向电压(又称正向偏置),是指把电源正端接到P区,电源负端接到N区,如图1-2-2所示。此时,外电场的方向与内电场的方向相反,使内电场被削弱,空间电荷区变窄,多数载流子的扩散运动得到加强,形成较大的正向电流,从P区向N区流动。同时外电源不断给半导体提供电荷,使电流得以维持。在一定范围内,外加电压越大,正向电流越大,这时PN结呈现的电阻(正向电阻)很小,PN结处于导通状态。

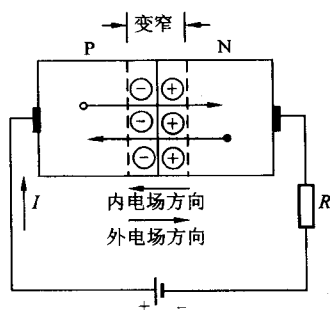


图 1-2-2 PN 结加正向电压

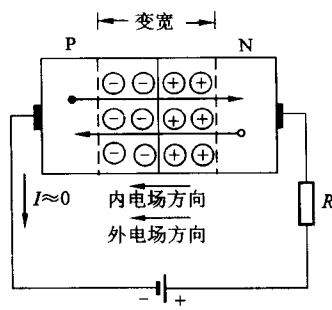


图 1-2-3 PN 结加反向电压

2. 外加反向电压

在PN结两端加上反向电压(又称反向偏置),是指把电源负端接到P区,电源正端接到N区,如图1-2-3所示。这时,外电场的方向与内电场的方向相同,使内电场被增强,空间电荷区变宽,于是多数载流子的扩散运动受到阻碍,而少数载流子的漂移运动得到加强,在电路中形成反向电流,从N区向P区流动。由于常温下少数载流子的数量很少,所以反向电流很小。这时PN结呈现的电阻(反向电阻)很大,PN结处于截止状态。少数载流子是由价电子获得能量而产生,当环境温度升高时,少数载流子的数量增加,所以温度对反向电流的影响很大。

综上所述,在PN结上加正向电压时,正向电阻很小,PN结处于导通状态,可