

中等职业学校电工电子专业教学用书

电子学基础

主 编 林 军



华东师范大学出版社

华东师范大学出版社

DIANZIXUEJICHU

电子学基础

中等职业学校电工电子专业教学用书

主 编 林 军
副主编 董利达 虞锦芳
主 审 冯满顺 吴汉森

图书在版编目(CIP)数据

电子学基础/林军主编. —上海:华东师范大学出版社,
2007.8

中等职业学校教学用书

ISBN 978-7-5617-5558-7

I. 电… II. 林… III. 电子学-专业学校-教材 IV. TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 123370 号

电子学基础

中等职业学校电工电子专业教学用书

主 编 林 军
责任编辑 翁春敏
编辑助理 蒋梦婷
特约编辑 赵金土 肖启荣
装帧设计 蒋 克

出 版 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号
邮编 200062

营销策划 上海龙智文化咨询有限公司
电 话 021-62228271 62228272
传 真 021-62228343

印 刷 者 常熟高专印刷有限公司
开 本 787×1092 16 开
印 张 13.25
字 数 272 千字
版 次 2008 年 1 月第 1 版
印 次 2008 年 1 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5617-5558-7/TM·022
定 价 21.20 元

出 版 人 朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题,请与华东师范大学出版社中等职业教育分社联系
电话: 021-62228271 62228272)

本书是中等职业学校电工电子专业的教学用书。

本书编写注重对传统教学的革新,内容上力求淡化理论,强调实用性、基础性,教学要求上重视对学生理解和分析能力的培养,避繁就简,与中等职业学校学生的认知能力和岗位技能要求相适应。

具体栏目设计如下:

实验:以实际操作的形式帮助学生理解知识点。

实验结果:描述实验的最终结果。

例题:针对知识点对学生进行简单有效的训练,巩固所学内容。

思考题:以问题的形式回顾所学内容,引导学生学以致用。

本章小结:总结归纳各章知识点,方便学生理解记忆。

本章习题:由是非题、选择题、计算题组成,针对各章重点进行集中式训练。

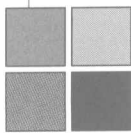
为了方便教师的教学活动,本书还配有:

《电子学基础·教师手册》:含有各章节的教学重点、教学参考方案、习题参考答案等,便于教师更深刻地把握课程要点,做好备课准备,增进教学质量。

华东师范大学出版社

中等职业教育分社

2008年1月



本书可作为中等职业学校电子技术、信息技术、电气技术等专业的教材,也可作为相关专业培训的参考书。

本书在编写过程中,借鉴了国内外职业教育方面的成功经验,对传统教学内容进行了较大幅度的更新,注重基础、知识面广、实用性强,在教学要求上不过分强调理论的严密性、系统性,避繁就简,便于学生对基础知识的掌握和应用。各章所附的习题,大多为是非题和选择题,强调对所学知识的理解和分析。

全书共分八章,第1章讨论二极管、三极管、场效应管等半导体器件的特性及应用;第2章讨论基本放大器的工作原理及分析方法;第3章讨论运算放大器的基本特性及其在运算、滤波、比较等方面的应用;第4章讨论负反馈的基本概念、对放大器性能的影响以及负反馈放大器的分析方法;第5章讨论正弦波振荡器、非正弦波振荡器的基本特性及应用电路;第6章讨论各类功率放大电路的特点、分析方法及其应用;第7章讨论限幅器、钳位器和开关电路的特性及应用;第8章讨论整流、滤波和稳压电路的基本形式、特点及分析方法。

对教材中标有“*”号的章节,可根据专业特点及教学要求进行选用。

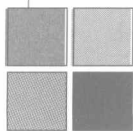
本书由林军主编,第1、2、3章由虞锦芳执笔,第4、5、6章由董利达执笔,林军负责第7、8章的编写及全书的统稿。

本书承蒙冯满顺、吴汉森两位老师审阅,并提出了宝贵的修改意见。另外,赵鑫亮老师在教材编写过程中做了很多工作,在此一并表示深切的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编者

2008年1月



第 1 章 基本半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	2
1.2 晶体二极管	5
1.3 晶体三极管	16
1.4 场效应管	27
第 2 章 基本放大电路	39
2.1 放大电路的基本概念	40
2.2 共射极放大电路	42
2.3 放大电路的分析方法	44
2.4 稳定静态工作点电路	47
2.5 共集电极放大电路	50
2.6 共基极放大电路	53
2.7 三种电路的比较	54
2.8 多级放大电路耦合	55
2.9 场效应管放大电路	56
第 3 章 运算放大器	65
3.1 差动放大器	66
3.2 运算放大器特性	68
3.3 反相放大器与同相放大器	71
3.4 和放大器与差放大器	73
3.5 积分器与微分器	75
3.6 有源滤波器	78
3.7 比较器	82

3.8 运算放大器的应用电路	87
----------------	----

第4章 放大电路中的负反馈	95
----------------------	-----------

4.1 反馈的基本概念	96
4.2 负反馈对放大器性能的影响	97
4.3 负反馈的分类	99
4.4 负反馈放大器的分析方法	101

第5章 信号发生器	107
------------------	------------

5.1 正弦波振荡器	108
5.2 石英晶体振荡器	112
5.3 多谐振荡器	115
5.4 函数发生器	117

第6章 功率放大器	127
------------------	------------

6.1 甲类放大器	128
6.2 乙类放大器	129
6.3 甲乙类放大器	132
* 6.4 丙类放大器	134
6.5 功率放大器对元件的要求	138
6.6 功率放大器典型电路介绍	138

第7章 限幅、钳位和开关电路	145
-----------------------	------------

7.1 限幅器	146
7.2 钳位器	155
7.3 开关电路	160

第8章 直流稳压电源	167
-------------------	------------

8.1 整流电路	168
8.2 滤波电路	174
8.3 稳压电路	180
* 8.4 开关电源简介	193

附录 本书常用符号表	200
-------------------	------------

第1章 基本半导体器件

半导体器件是现代电子技术发展的基础,是构成电子电路的基本元件。本章首先介绍半导体基础知识,然后介绍二极管、三极管和场效应管等常用半导体器件的结构、工作原理、特性曲线、主要参数及其应用。

1.1 半导体基础知识



自然界的所有物质按它们的导电能力不同,可分为导体、绝缘体和半导体三大类。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,其电阻率为 $10^{-3} \sim 10^{-9} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。常用的半导体材料有硅(Si)和锗(Ge)等。

1.1.1 本征半导体

1. 本征半导体的导电性能

我们把完全纯净、结构完整的半导体晶体,称为**本征半导体**。硅和锗的最外层电子(价电子)数都是四个。在接近绝对温度 0 K 时,所有价电子都被共价键束缚,没有自由运动的带电粒子,故不能导电,这样的半导体相当于绝缘体。其共价键结构的平面示意图如图 1-1-1 所示。

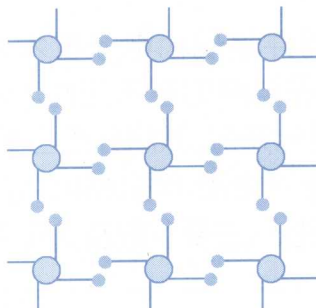


图 1-1-1 硅原子共价键结构平面示意图

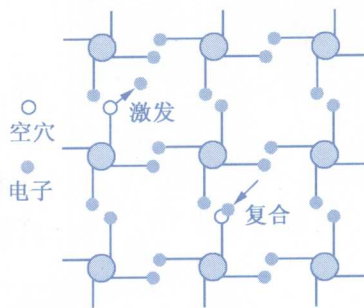


图 1-1-2 本征激发和复合的过程

当温度升高或受光照射时,少数共价键中的价电子吸取一定的能量后,挣脱共价键的束缚,离开原子成为自由电子,而原来共价键上留下一个缺少电子的空位,叫做**空穴**。这一现象称为**本征激发**(也称热激发)。由热激发而出现的自由电子和空穴是同时并成对出现的,称为**电子-空穴对**。部分自由电子也可能回到空穴中去,称为**复合**,如图 1-1-2 所示。

自由电子带负电,空穴带正电,在外电场作用下能定向运动形成电流。但由于常温下本征半导体内的电子很难脱离共价键而成为自由电子,所以本征半导体的导电能力很弱。

2. 半导体的主要特性

半导体之所以得到广泛应用,是因为半导体的以下三个特性。

(1) 掺杂性

在纯净的半导体中掺入微量杂质后,其导电能力大大增加,利用这种特性可以制造晶体二极管、晶体三极管等半导体器件。

(2) 热敏性

半导体的温度越高,价电子获得的能量越大,挣脱共价键的束缚从而形成的自由电子-空穴对数目就越多,导电能力就越强。利用半导体对温度十分敏感的特性,可以制成热敏电阻及其他热敏元件,用于自动控制电路中。

(3) 光敏性

半导体受到光照射时,自由电子—空穴对数量增多,导电能力随之增强,这就是半导体的光敏性。利用这种特性能制造各种光电器件,例如光电二极管、光电三极管、光控晶闸管和光电池等,从而实现路灯、航标灯等的自动控制。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中,掺入微量的杂质元素,能使半导体的导电能力大大增强。根据掺入杂质的化合价的不同,杂质半导体分为N型和P型两大类。

不论是N型半导体中的自由电子还是P型半导体中的空穴,它们都参与导电,故统称为载流子。载流子导电是半导体所特有的。

1. N型半导体

我们把自由电子浓度大大增加的杂质半导体,称为**N型半导体**(也称为电子型半导体)。

在纯净的半导体硅或锗内掺入微量的五价元素如磷(P)后,磷原子会取代原晶体结构中的硅或锗原子并与邻近的硅或锗原子构成共价键,多余的第五个价电子就很容易摆脱磷原子核的束缚而成为自由电子,如图1-1-3所示。于是半导体中的自由电子数目大量增加,自由电子成为多数载流子(称多子),空穴则成为少数载流子(称少子)。

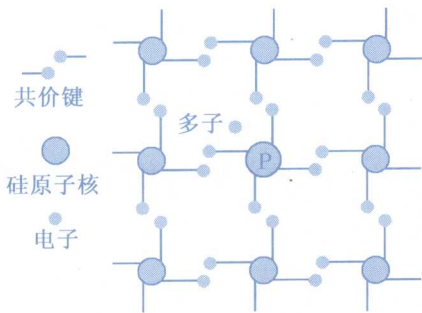


图 1-1-3 N型半导体的结构示意图

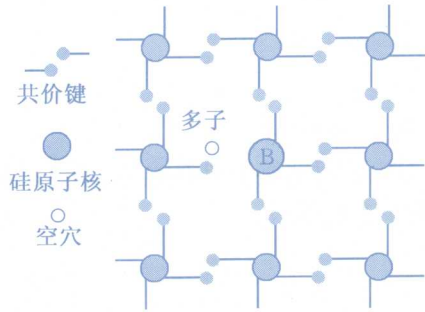


图 1-1-4 P型半导体的结构示意图

2. P型半导体

我们把空穴浓度大大增加的杂质半导体,称为**P型半导体**(也称为空穴型半导体)。

在纯净的半导体硅或锗内掺入微量三价元素如硼(B)后,硼原子在取代原晶体结构中的硅或锗原子并与邻近的硅或锗原子构成共价键时,将因缺少一个价电子而形成空穴,于是半导体中的空穴数目大量增加,空穴成为多数载流子,而自由电子则成为少数载流子,如图1-1-4所示。

注意:不论是N型半导体还是P型半导体,虽然都有一种载流子占多数,但整个晶体仍然是不带电的。

1.1.3 PN结

若将P型半导体和N型半导体结合在一起,由于交界面两侧载流子浓度的差别,N区的电子往P区扩散,P区的空穴往N区扩散,如图1-1-5(a)所示。扩散的结果是:在N区和P区的交界处两侧分别产生正负离子,形成空间电荷区,即**PN结**,又称为耗尽层和阻挡层,如

图 1-1-5(b)所示。

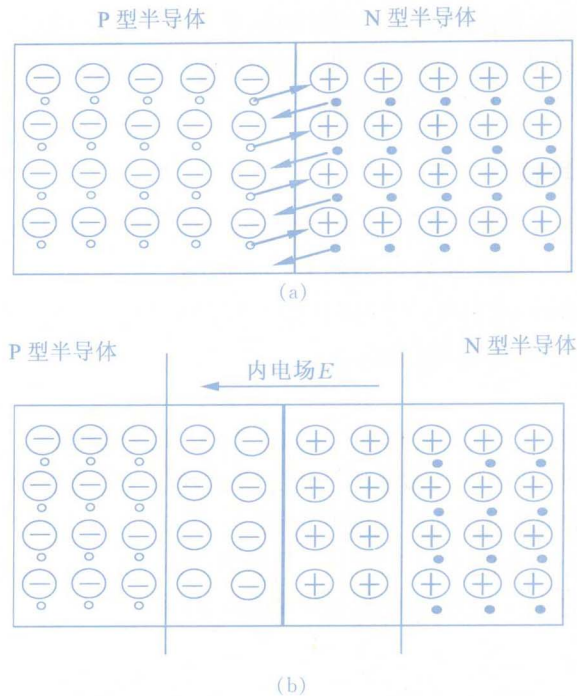


图 1-1-5 PN 结的形成

1. 正向偏压

在 PN 结两端接上外加电压, P 区接电源正极, N 区接电源负极, 这种接法称为**正向偏压**, 如图 1-1-6 所示。

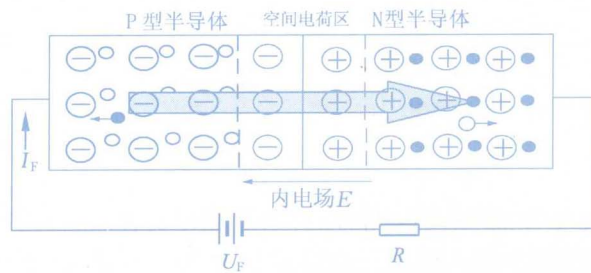


图 1-1-6 PN 结正向偏压

在正向偏压作用下, 空间电荷区变窄, PN 结电阻变小, 从而形成较大的正向电流 I_F , 正向电流随正向偏压的增大而增大。

2. 反向偏压

当有一个外加电压加到 PN 结上, 正端接 N 区, 负端接 P 区, 此种接法称为**反向偏压**, 如图 1-1-7 所示。

该反向电压使空间电荷区变宽, PN 结电阻变大, 只有很少的载流子参与运动, 我们把反偏时流过 PN 结的电流称为反向电流, 以 I_R 表示。随着反向电压的升高, 反向电流几乎不变。若将反向电压继续增加到击穿电压时, 就会产生大量的载流子, 使得 PN 结短路而烧坏元件。

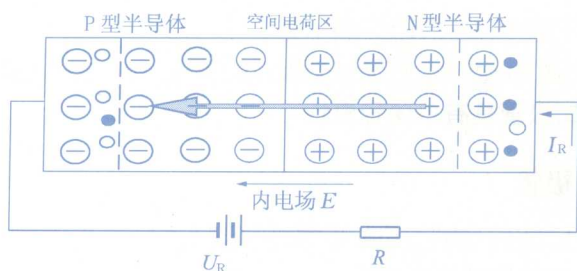


图 1-1-7 PN 结反向偏压

总之,正偏时呈低阻,电流较大,PN 结导通;反偏时呈高阻,电流很小,PN 结截止,这就是 PN 结的单向导电性。

1.2 晶体二极管

从 PN 结的 P 区和 N 区两侧分别引出阳极和阴极,加上管壳,就构成晶体二极管。晶体二极管简称二极管,其外形如图 1-2-1(a)所示,组成和符号如图 1-2-1(b)和(c)所示。

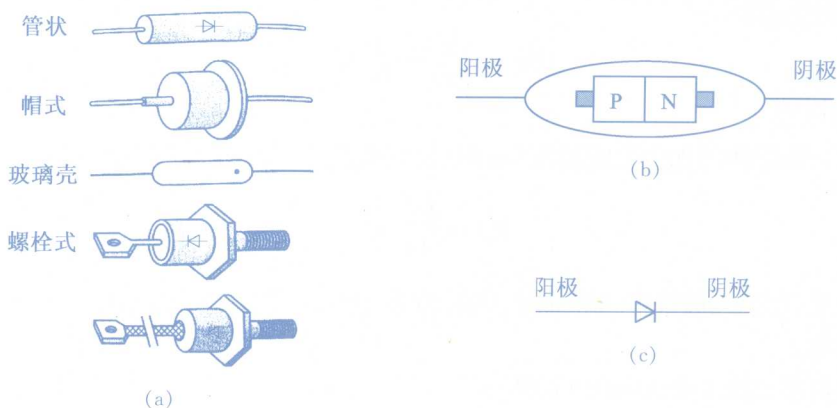


图 1-2-1 几种常见的二极管外形及符号

实验 1 将一个二极管 D 与一个低压灯泡 L 串联,再连接到直流电源 E 上,如图 1-2-2 所示,观察实验结果。

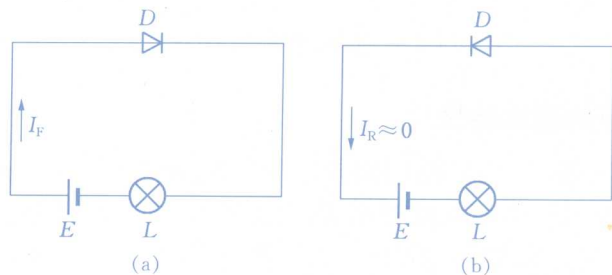


图 1-2-2 二极管的单向导电性

实验结果 图(a)灯泡亮,而图(b)灯泡不亮。

我们知道,灯泡和电源构成回路,灯泡是无极性的,只要有一定电流通过灯泡,灯泡就发光。该实验结果说明:二极管具有单向导电性。

1.2.1 理想二极管

理想二极管正偏时二极管的管压降为零,反偏时流过二极管的电流为零。它具有如图 1-2-3(a)和(b)所示的符号及特性曲线。



图 1-2-3 理想二极管符号和特性曲线

1. 正向电阻

当理想二极管两端加上正向偏压时,二极管导通(正向导通电压 U_F 为零),并产生正向电流 I_F ,由欧姆定律得:

$$R_F = \frac{U_F}{I_F} = \frac{0}{I_F} = 0$$

2. 反向电阻

当理想二极管两端加上反向偏压 U_R 时,反向电流 I_R 为 0,根据欧姆定律得:

$$R_R = \frac{U_R}{I_R} \rightarrow \infty$$

由此可见,理想二极管正向导通时,电阻为零,可视作短路;反向截止时,电阻为无穷大,如同断路状态。

其等效电路如图 1-2-4(a)和(b)所示。



图 1-2-4 理想二极管的等效电路

1.2.2 二极管的基本特性

在 1.2.1 中介绍了理想二极管的电路特性,下面我们来分析实际二极管的基本特性。

实验 2 图 1-2-5(a)和(b)为二极管测试电路,逐点改变二极管两端的电压,分别测得对应的电流,可获得二极管的伏安特性曲线(二极管伏安特性曲线也可利用晶体管特性图示仪测量)。

实验结果 图 1-2-5(c)所示第一象限是二极管的正向伏安特性曲线,第三象限是二极管的反向伏安特性曲线。

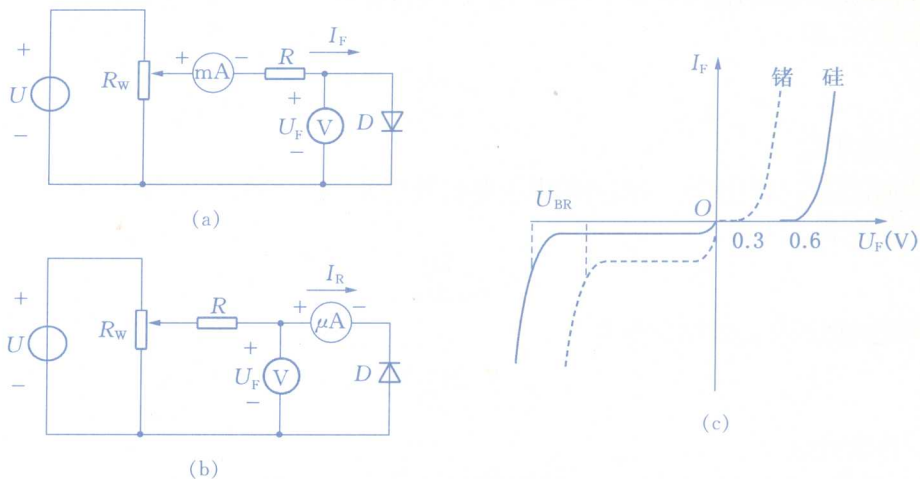


图 1-2-5 二极管的伏安特性曲线

1. 正向特性

二极管两端加正向电压时产生正向电流。当正向电压较小时,正向电流也很小,二极管几乎处于截止状态;当正向电压超过一定的数值 U_{on} 后,电流随电压迅速增加,二极管导通。 U_{on} 称为**导通电压**。硅二极管 U_{on} 为 $0.6 \sim 0.7 \text{ V}$,锗二极管 U_{on} 为 $0.2 \sim 0.3 \text{ V}$ 。

2. 反向特性

二极管两端加反向电压时,反向电流 I_R 很小。当反向电压逐渐增加时,若反向电流基本保持不变,则这时的电流称为**反向饱和电流**。硅二极管的反向饱和电流约为 10 nA ,锗二极管的反向饱和电流约为 $2 \mu\text{A}$ 。

3. 击穿特性

当反向电压逐渐增加到某一数值 U_{BR} 时,电流急剧增加,这种现象称为二极管反向击穿。 U_{BR} 称为**反向击穿电压**。硅管的反向击穿电压约为 250 V ,锗管的反向击穿电压约为 50 V 。

例题 1

判断图 1-2-6 中锗二极管是导通还是截止?

解:因为二极管的正向电压 $U_F = -5 + 10 = 5 \text{ V} > 0.3 \text{ V}$,所以二极管导通。

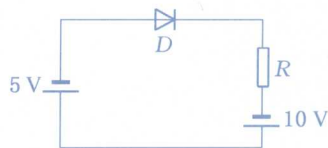


图 1-2-6

思考题 1

判断图 1-2-7 中,哪些电路图中的指示灯能亮?

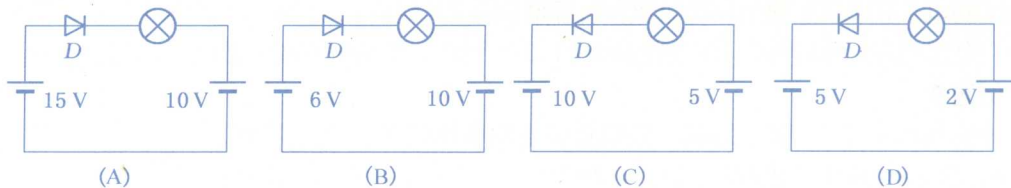


图 1-2-7

4. 电阻效应

(1) 直流电阻

二极管两端所加的直流电压 U_F 与流过管子的直流电流 I_F 之比,称为二极管的直流电阻,用 R_D 表示,即

$$R_D = \frac{U_F}{I_F} \quad (1-1)$$

(2) 动态电阻

当外加正弦交流电压时,二极管的电压变化量与电流变化量之比,称为二极管的交流电阻,用 r_d 表示,即

$$r_d = \frac{\Delta u_F}{\Delta i_F} \quad (1-2)$$

也可通过微积分公式推导得到

$$r_d = \frac{26 \text{ mV}}{I_F} \quad (1-3)$$

* 5. 电容效应

PN 结具有一定的电容效应,它由两方面的因素决定:一是势垒电容 C_B ,二是扩散电容 C_D 。

(1) 势垒电容

势垒电容是由空间电荷区的离子薄层形成的。当外加电压使 PN 结上的压降发生变化时,离子薄层的厚度也相应地随之改变,这相当于 PN 结中存储的电荷量也随之变化,犹如电容的充放电过程。势垒电容的示意图见图 1-2-8。

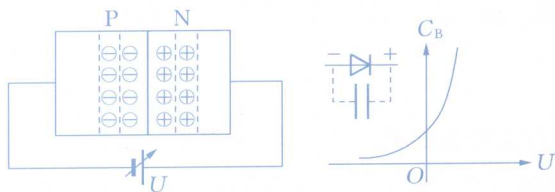


图 1-2-8 势垒电容示意图

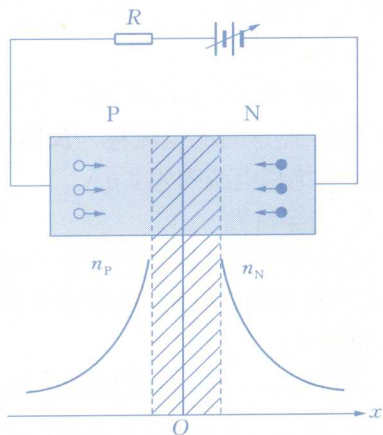


图 1-2-9 扩散电容示意图

(2) 扩散电容

扩散电容是由多子扩散后,在 PN 结的另一侧面积累而形成的。因 PN 结正偏时,N 区扩散到 P 区的电子和 P 区扩散到 N 区的空穴,都堆积在 PN 结附近,形成一定的多子浓度梯度分布,相当于电容的充放电过程。其示意图如图 1-2-9 所示。势垒电容和扩散电容均是非线性电容。

例题 2

计算如图 1-2-10 所示的硅二极管直流电路中电阻 R 两端的压降。

解:当 D 为理想二极管时, $U_R = 20 \text{ V}$ 。

如考虑硅二极管的导通电压 $U_{on} = 0.7 \text{ V}$, 则 $U_R = 19.3 \text{ V}$ 。

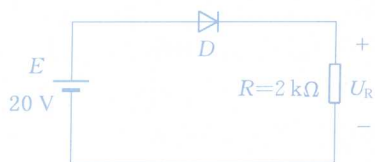


图 1-2-10

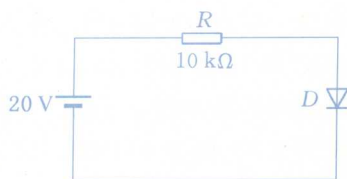


图 1-2-11

思考题 2

如图 1-2-11 中的二极管为硅二极管,则二极管两端的电压值 U_F 约为多少伏特?

1.2.3 二极管使用常识

二极管的类型非常多,可以从晶体管手册查找常用二极管的技术参数和使用资料,包括:器件型号、主要参数、主要用途和器件外形等。

1. 二极管型号命名及含义

(1) 国产二极管型号命名及含义

按照国家标准 GB 249—1974 的规定,国产二极管的型号由五部分组成。

第一部分:用数字“2”表示二极管。

第二部分:用字母表示二极管的材料,“A”为 N 型锗管,“B”为 P 型锗管,“C”为 N 型硅管,“D”为 P 型硅管。

第三部分:用字母表示二极管的类型,“P”为普通二极管,“Z”为整流二极管,“K”为开关二极管,“W”为稳压二极管等。

第四部分:用数字表示器件的序号,序号不同的二极管其特性不同。

第五部分:用字母表示规格号,序号相同、规格号不同的二极管特性差别不大,只是个别参数有所不同。

(2) 国际电子联合会二极管型号命名及含义

第一部分 半导体材料		第二部分 类别		第三部分 序号	第四部分 规格号
字母	含义	字母	含义	用数字或字母与数字混合表示器件的登记序号。通用器件用三位数字,专用器件用一个字母加两位数字。	用字母 A~E 表示同一型号器件的档次。
A	锗材料	A	检波管、开关管、混频管		
		B	变容管		
B	硅材料	E	隧道管		
		G	复合管		
C	砷化镓	H	磁敏管		
		P	光敏管		
D	铋化钢	Q	发光管		
		X	倍压管		
R	复合材料	Y	整流管		
		Z	稳压管		

目前市场上更常见的是采用国外晶体管型号命名法,如美国电子工业协会半导体器件的命名法以“1N”开头,如1N4001、1N4148等,“1N”表示美国制造或美国专利在其他国家制造的产品,1N后面的数字表示该器件在美国电子工业协会登记的顺序号。而日本二极管的型号是以“1S”开头的,例如1S1885,“1”表示一个PN结的二极管,“S”表示日本电子工业协会注册产品,数字表示在日本电子工业协会注册登记的序号。

2. 二极管的主要参数

二极管的参数用来描述二极管的性能指标,它是正确使用和合理选择二极管的依据,表1-1为几种典型二极管的技术参数。

表 1-1 几种典型二极管的技术参数

型号	最大整流电流 $I_{FM}/(\text{mA})$	最高反向工作电压 $U_{RM}/(\text{V})$	最大反向电流 $I_{RM}/(\text{mA})$	最高工作频率 $f_M/(\text{MHz})$	主要用途
2AP1	16	20		150	检波电路
2CK84	100	≥ 30	≤ 1		开关电路
2CZ11D	1 000	300	≤ 0.6		整流电路

(1) 最大整流电流 I_{FM}

二极管长期工作时所允许通过的最大正向平均电流。通常为几~几百 mA。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM}

在规定温度下,二极管所允许的最大反向电压。一般取击穿电压 U_{BR} 的一半。

(3) 最大反向电流 I_{RM}

常温下二极管未击穿时的最大反向电流值。 I_{RM} 越小,管子的单向导电性能越好,一般为几十 nA~1 μA 。

(4) 最高工作频率 f_M

二极管能起单向导电作用时的最高工作频率。当工作频率 f 大于 f_M 时,管子将逐渐失去单向导电性。

3. 二极管的选用

二极管根据所用的材料不同,可分为硅管和锗管;按内部结构不同,可分为点接触型、面接触型和平面扩散型等,它们的结构示意图如图1-2-12(a)、(b)、(c)所示。

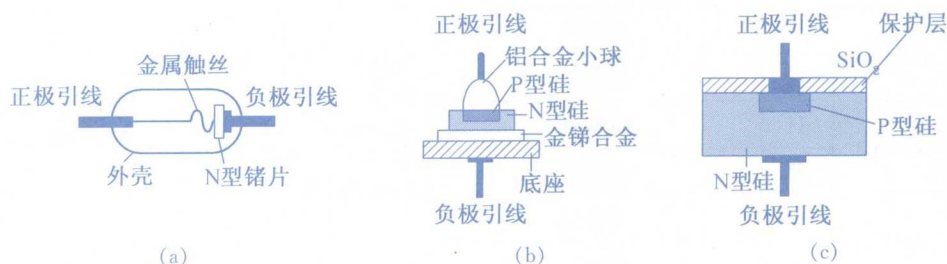


图 1-2-12 二极管结构示意图

点接触型二极管 PN 结接触面积小,适用于高频、小电流场合,如高频检波;