

邮电中等专业学校教材

电子电路

王家继 黎绍和 方建邦 编 谢沅清 审

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书根据新的教学大纲要求,详细地介绍了半导体器件,晶体管电路的基本原理和基本电路的分析方法,并具体分析了电压、功率、直流放大电路、正弦振荡电路、直流电源、场效应管和电子管的放大电路。本书结合各章的重点,提供了思考题、习题。

本书经教材编审委员会审定为邮电中等专业学校的教学用书。也适合作其他电子中等专业学校的教学使用。

电 子 电 路

王家继 黎绍和 方建邦 编
谢 沅 清 审
责任编辑:戴秀英

*

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
天津新华印刷一厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/32 1985年11月第一版
印张: 17 16/32 页数: 280 1985年11月天津第一次印刷
字数: 398 千字 印数: 1-24,000册
统一书号: 15045·总3143-教715
定价: 3.00元

前 言

本书是邮电中等专业学校用书。为了适应邮电教育事业发展的需要，我局自1978年以来，先后成立了邮电中专教材编审委员会及基础课和专业课教材编审组（或小组），全面开展了教材编审活动。到目前为止第一轮邮电中专试用教材已基本上出齐。自1982年开始了各编审组（或小组）对试用几年的教材进行了总结，对原教学大纲进行了修订，并在此基础上，对各课程的邮电中专试用教材作了比较全面的修改和补充，以适应当前邮电技术的发展。我们在几年内，将修改后的教材陆续出版，以满足邮电中等专业学校的教学需要。编写教材，是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时，力求以马列主义、毛泽东思想为指导，努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律，内容上注意了少而精，尽量反映科学技术的新成就。书内难免存在缺点和错误。希望有关教师和同学在使用过程中，把发现的问题提给我们以便修改提高。

邮电部教育局

一九八四年十月

序 言

本书是根据1982年邮电中专新修订的教学大纲编写，经审定作为邮电通信各专业的技术基础课教材。

在编写本书过程中，注意吸取原邮电中专“电子电路”一书的特点，并结合几年的教学实践，作了比较全面的修订和补充，删去了原电子电路一书中不宜作中专教材的内容，同时又增加了有关电子管电路等内容。使本教材符合新的教学大纲的要求，在内容上更适合邮电中等学校各专业教学。

本书共计十章，着重讲述晶体管及其电路的基本原理和基本分析方法。为了便于教学和学习的要求，在各章中都编入了相应的例题、思考题和习题，以供教学选用。

本书第一章至第四章由王家继老师编写，第五章由黎绍和、王家继老师合编，第六章至第十章由黎绍和、方建邦老师合编。全书由谢沅清副教授审核。在编写过程中，中专编审委员会“电子电路”编审组作了多次审查，提出了许多宝贵意见。并在石家庄邮电学校、内蒙邮电学校和山西邮电学校进行过试教，从教学实践中提出了修改意见，使书稿进一步完善。

由于我们编写水平有限，写作及实践经验不足，难免存在缺点和错误，恳切希望批评指正。

作者1984.10

目 录

第一章 晶体二极管和三极管

1-1 半导体的基本知识	1
1-1-1 半导体的导电性能	1
1-1-2 本征半导体	2
1-1-3 杂质半导体	7
1-2 晶体二极管	10
1-2-1 PN结和它的单向导电性	10
1-2-2 晶体二极管	16
1-3 晶体三极管	25
1-3-1 晶体三极管的结构	25
1-3-2 晶体三极管的工作原理	27
1-3-3 晶体三极管的特性曲线	35
1-3-4 晶体三极管的主要参数	43
1-3-5 晶体三极管的简易测试	51
1-3-6 国产半导体器件型号命名方法	53

第二章 晶体管放大电路的基本分析方法

2-1 单管放大器及其工作原理	59
2-1-1 电路组成	59
2-1-2 电压、电流符号和正方向的规定	62
2-1-3 单管放大电路的基本工作原理	63
2-2 放大器的图解分析法	73
2-2-1 图解法确定静态工作点	74
2-2-2 图解法分析交流工作状态	76
2-2-3 交流负载线	80
2-2-4 波形失真与静态工作点的关系	82

2-3	放大器的等效电路分析法	87
2-3-1	晶体管简化的等效电路	88
2-3-2	晶体管 h 参数等效电路	91
2-3-3	用 h 参数等效电路分析放大器	94
2-4	工作点的稳定与偏置电路	105
2-4-1	静态工作点不稳定的原因	106
2-4-2	静态工作点不稳定对放大特性的影响	109
2-4-3	几种常见的偏置电路	109
2-4-4	静态工作点的测量和调整	118

第三章 阻容耦合放大器

3-1	阻容耦合放大器的电路	128
3-1-1	多级放大器的概念	128
3-1-2	阻容耦合放大器的电路	130
3-2	多级放大器的放大倍数	131
3-2-1	放大倍数的计算	131
3-2-2	放大倍数的分贝（或奈培）数	133
3-3	阻容耦合放大器的频率特性	136
3-3-1	放大器的理想频率特性与实际频率特性	136
3-3-2	单级阻容耦合放大器的频率特性	141
3-3-3	多级阻容耦合放大器的频率特性	156
3-4	阻容耦合放大器的测试与调整	158

第四章 放大器中的负反馈

4-1	负反馈放大器的基本概念	167
4-1-1	什么叫“反馈”	167
4-1-2	负反馈放大器的分类	168
4-1-3	负反馈放大器的方框图表示法	177
4-2	负反馈对放大器性能的影响	186
4-2-1	提高放大倍数的稳定性	186
4-2-2	减小非线性失真	187

4-2-3	抑制放大器的噪声干扰	189
4-2-4	展宽频带	190
4-2-5	改变输入电阻和输出电阻	191
4-3	负反馈放大器的分析计算方法	198
4-3-1	等效电路分析法	198
4-3-2	方框图法	198
4-3-3	计算分析举例	201
4-3-4	具有深负反馈放大电路的计算	211
4-4	射极输出器	213
4-4-1	电路分析	213
4-4-2	性能指标分析	214
4-4-3	射极输出器的应用	219
4-5	低频放大器的自激和防止	222
4-5-1	自激的概念	222
4-5-2	产生的原因和防止	223

第五章 晶体管功率放大器

5-1	功率放大器的特点和分类	234
5-1-1	特点	234
5-1-2	分类	236
5-2	甲类单管功率放大器	237
5-2-1	电路及工作原理	237
5-2-2	最佳负载	240
5-2-3	甲类单管功率放大器的计算	242
5-2-4	甲类功率放大器的非线性失真	250
5-3	乙类推挽功率放大器	253
5-3-1	乙类推挽功率放大器的电路工作原理	254
5-3-2	乙类推挽功率放大器的图解分析	256
5-3-3	乙类推挽功率放大器的计算	259
5-3-4	乙类推挽功率放大器的交越失真	266

5-4 无输出变压器功率放大器.....	269
5-4-1 输入变压器倒相式 OTL电路	270
5-4-2 互补对称式 OTL电路	273
5-4-3 复合互补对称 OTL电路	280
5-4-4 集成功放电路	286
5-5 功率管的保护	289
5-5-1 功率管的散热问题	290
5-5-2 功率管的热致击穿与防止	292
5-5-3 二次击穿及防护措施	293

第六章 直流放大电路

6-1 直流放大器的特点	299
6-1-1 级间耦合方式	299
6-1-2 零点漂移	302
6-2 差动放大器	305
6-2-1 基本原理	306
6-2-2 典型的差动放大器	309
6-2-3 具有恒流源的差动放大器	314
6-2-4 其它形式的差动放大器	316
6-2-5 差动放大器的调零方法	320
6-3 集成运算放大器简介	322
6-3-1 运算放大器的基本放大电路	322
6-3-2 利用运算放大器实现数学运算	327
6-3-3 线性组件FOO7的电路及工作原理	334

第七章 正弦波振荡器

7-1 正弦波振荡器的基本知识	348
7-1-1 正弦波振荡器的组成	348
7-1-2 振荡的建立和稳定	349
7-1-3 振荡的平衡条件与自激条件	353
7-2 LC振荡电路	354

7-2-1	LC 并联电路的特性	354
7-2-2	变压器反馈振荡电路	356
7-2-3	电感反馈 (电感三端式) 振荡电路	358
7-2-4	电容反馈 (电容三端式) 振荡电路	360
7-2-5	电容三端式振荡电路的改进	362
7-2-6	三端式振荡电路相位条件的判别方法 和加强正反馈的措施	364
7-3	振荡频率的稳定	366
7-3-1	频率稳定度	366
7-3-2	影响频率稳定度的因素及克服办法	367
7-4	石英晶体振荡器	369
7-4-1	石英晶体的基本特性	370
7-4-2	石英晶体振荡器	373
7-5	RC 振荡器	375
7-5-1	RC 相移式振荡电路	376
7-5-2	RC 桥式振荡电路	379

第八章 直流电源

8-1	整流电路	389
8-1-1	半波整流电路	389
8-1-2	全波整流电路	392
8-1-3	桥式整流电路	396
8-1-4	纹波因数和脉动系数	399
8-1-5	倍压整流电路	400
8-2	滤波电路	402
8-2-1	电容滤波电路	402
8-2-2	电感滤波电路	408
8-2-3	复式滤波电路	409
8-3	硅稳压管稳压电路	410
8-3-1	硅稳压管	411

8-3-2	硅稳压管稳压电路的分析	415
8-3-3	稳压电路的主要质量指标	418
8-3-4	硅稳压管稳压电路的设计	420
8-4	串联型晶体管稳压电路	422
8-4-1	简易串联型晶体管稳压电路	422
8-4-2	具有放大环节的稳压电路	425
8-4-3	串联型稳压电路性能的改进	436
8-5	单片集成稳压电源	441
8-5-1	5G14的电路组成及工作原理	442
8-5-2	5G14扩大输出电流的稳压电路	443
8-6	开关稳压电源简介	444
8-6-1	开关稳压电路的工作原理	445
8-6-2	开关稳压电路的实例	447

第九章 场效应管及其放大电路

9-1	结型场效应管	454
9-1-1	结构	454
9-1-2	栅极电压对漏极电流的控制作用	455
9-1-3	结型场效应管的静态特性曲线	458
9-1-4	结型场效应管的主要参数	461
9-1-5	结型场效应管放大电路	463
9-2	绝缘栅场效应管	465
9-2-1	N沟道增强型场效应管	465
9-2-2	N沟道耗尽型场效应管	468
9-3	场效应管的交流等效电路	469
9-3-1	低频交流等效电路	470
9-3-2	高频交流等效电路	472
9-4	MOS场效应管放大电路	472
9-5	场效应管与晶体管的比较	473
9-6	场效应管使用常识	475

9-6-1 场效应管保护措施	475
9-6-2 场效应管的特点	476

第十章 电子管及其放大电路

10-1 二极管	478
10-1-1 构造	478
10-1-2 二极管的单向导电性	480
10-1-3 二极管的伏安特性曲线	481
10-1-4 二极管的参数	483
10-2 三极管	484
10-2-1 构造	484
10-2-2 控制栅极的作用	484
10-2-3 三极管特性曲线	485
10-2-4 三极管的参数	487
10-2-5 三极管的极间电容	492
10-3 五极管	493
10-3-1 帘栅极的作用	493
10-3-2 负阻效应	494
10-3-3 抑制栅极的引入——五极管	495
10-3-4 变跨导管	497
10-4 束射四极管	497
10-5 复合管	499
10-6 电子管的基本结构和编号系统	500
10-6-1 电子管的基本结构	500
10-6-2 电子管的编号系统	502
10-7 电子管低频放大器	503
10-7-1 电子管共阴极放大器	504
10-7-2 放大器的各部分电路	505
10-7-3 放大器的分析方法	508

10-8 电子管电路举例	512
10-8-1 两级负反馈放大器	512
10-8-2 GB-2型电子管电压表电路	513

第一章 晶体二极管和三极管

内 容 提 要

电子电路是指包含有电子器件的电路。常用的电子器件有晶体管、场效应管、电子管等。电子器件在电子电路中占有很重要的地位，一个电路的性能如何，在相当大的程度上取决于电子器件本身的性能及其工作状态的选择。为了正确和有效地运用电子器件，必须对它们的工作原理和性能有一个基本了解。为此，本章主要介绍晶体二极管和三极管的结构、特性和参数等，为学习晶体管电路打下基础。

1-1 半导体的基本知识

晶体管是由半导体材料做成的。为了便于了解晶体管的工作原理和性能，首先介绍一点半导体的基本知识。

1-1-1 半导体的导电性能

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。在自然界中有许多元素和化合物是半导体，目前用来制造晶体管的有锗（Ge）、硅（Si）和砷化镓（GaAs）等。

半导体之所以得到广泛应用，主要不是由于电阻率在数值上与导体和绝缘体的差别，而在于它具有一系列特殊的导电性能。

1. 半导体的电阻率随温度的升高而下降（与金属导体相反），并且这种变化比金属要显著得多。例如纯半导体硅当温度从30℃降低到20℃时，其电阻率增加一倍，而金属铜，即使温度上升100℃，电阻率的增加也不到一半。

2. 半导体的电阻率受掺入杂质的影响显著，在纯半导体中掺入微量的杂质（特定的元素）能使电阻率显著降低。例如在一块纯锗中掺入百万分之一的硼，它的电阻率就从47欧姆·厘米减小到1欧姆·厘米左右。

3. 半导体的电阻率随光照而发生显著变化。如半导体材料硫化镉在一般灯光照耀下，比无光照时的电阻率小几十倍甚至几百倍。

此外，半导体的导电能力还会随电场、磁场等的作用而改变。

上述半导体的导电特性是由半导体原子结构所决定的。下面通过本征半导体（不含杂质的纯半导体）和杂质半导体的介绍来加以说明。

1-1-2 本征半导体

1. 本征半导体的晶体结构

先介绍一下锗和硅的单个原子结构。我们知道，各种物质都是由原子构成的，而原子是由带正电的原子核和带负电的电子组成的。电子分几层围绕原子核作不停的运动，最外层的电子称为价电子。有几个价电子就叫几价元素。锗和硅原子最外层的电子都是四个，所以锗和硅都是四价元素，如图1-1-1(a)、(b)所示。原子的内层电子受原子核吸引力（即束缚力）较大，它们与原子核结合为较稳定的整体，称为原子实。原子实

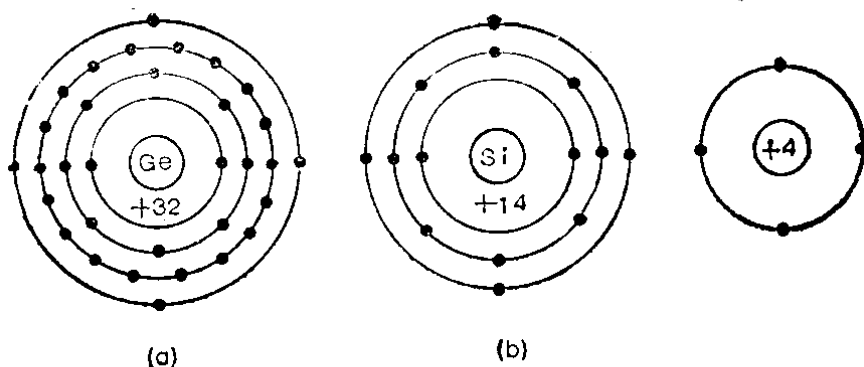


图 1-1-1 锗原子和硅原子及简化图

带正电荷，其电量大小等于外层电子带电量总和。外层价电子离原子核较远，受原子核束缚力较弱，在外界因素作用下可能挣脱束缚成为自由电子而参与导电。为了讨论方便，常把锗和硅原子结构用原子实和价电子表示，如图1-1-1(c)所示。

硅和锗等半导体材料都是晶体结构，因此这种半导体材料制成的半导体管叫做晶体管。硅和锗的晶体需要经过加工提炼制成单晶体，单晶硅和单晶锗是制作晶体管的主要材料。图1-1-2是这种单晶硅的平面结构示意图。

单晶锗和单晶硅中的原子非常有规则地排列，这是由于原子之间是依靠共价键结合起来的。所谓共价键，就是每个原子各提供一个价电子和它相邻的一个原子公共所有。也就是说，每两个原子之间共有一对价电子，这对价电子中任何一个价电子不仅围绕着自身的原子核运动，而且也出现在相邻原子核所属的轨道上，它既受本身原子核的吸引，又受相邻原子核的吸引，从而把两个原子牢固地束缚在一起。这种“共有电子”所形成的束缚作用就叫做共价键。锗和硅都是四价元素，它们的原子最外层有四个价电子，正好和四个邻近的原子组成四个共价键，如图1-1-2所示。

应当指出，每个共价键中的电子只属于两个原子所共有，它们被束缚在这两个原子附近，不得到额外能量是不能脱离这

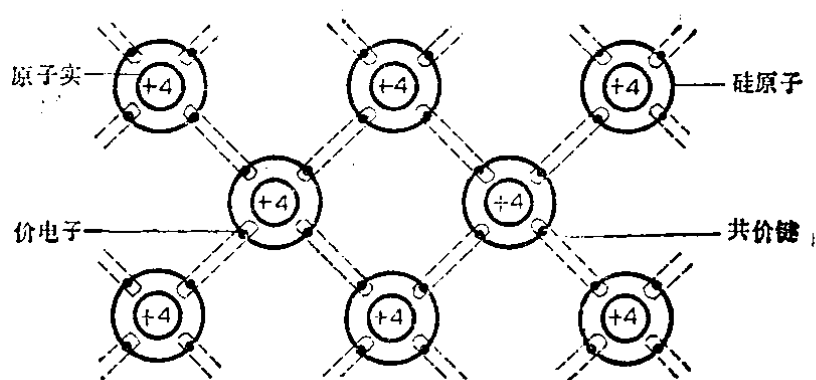


图 1-1-2 单晶硅的平面结构示意图

种束缚的，因此单晶硅或单晶硅中的共价键电子仍称作束缚电子。

2. 本征激发

半导体中的价电子受到共价键的束缚，但这种束缚力比绝缘体要小得多。在室温下，就有极少数价电子可以从原子的热运动中获得能量，挣脱共价键的束缚而成为自由电子。在它原来所在的共价键中就留下了一个空位，这个空位称为“空穴”，如图1-1-3所示。本征半导体中，电子和空穴总是成对出现的，常称为电子—空穴对。本征半导体受热或接受其它能量而激发出电子—空穴对的现象称为本征激发。

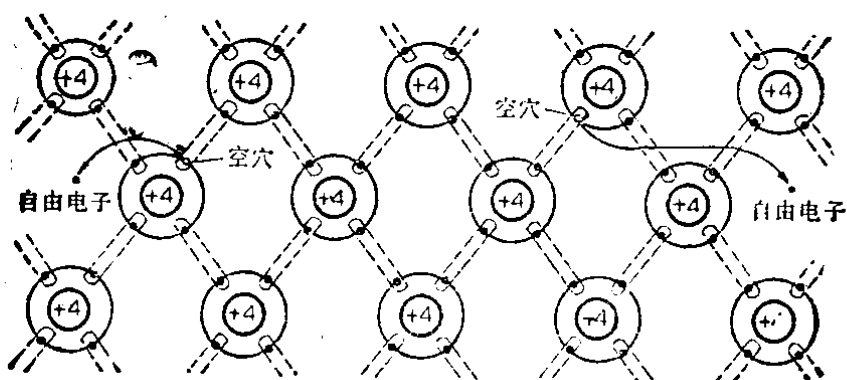


图 1-1-3 晶体中的本征激发

空穴在晶体管中具有重要作用，所以有必要研究一下它的特性。

(1) 空穴带正电荷

空穴的出现，使原来呈电中性的锗或硅原子成为一个带正电的正离子。这个正电荷可以认为是空穴所具有。

(2) 空穴在半导体内可以移动

由于空穴带正电荷，相邻共价键中的价电子有可能填补这个空穴。如图1-1-4所示，假设电子1填补原空穴，那么这个空穴即消失，而在位置1上出现新的空穴。这就相当于空穴由原位置运动到位置1。如果电子2填补位置1的空穴，那么位置

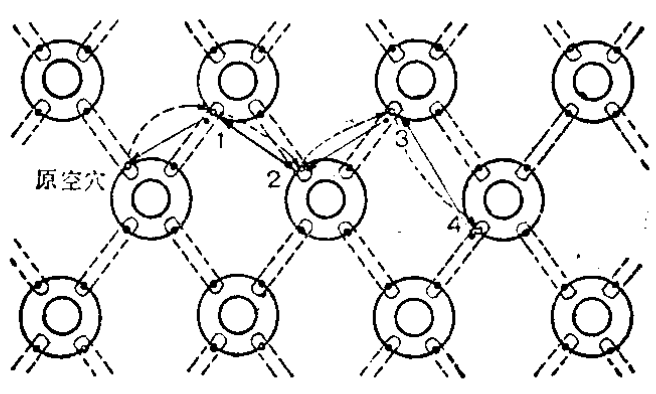


图 1-1-4 空穴的运动

1的空穴即消失，而在位置2上又出现空穴。这样，价电子依次填补下去，空穴可以由位置2再运动到位置3、位置4……，于是空穴在半导体中作无规则的运动。

以上分析表明，空穴的运动实质上还是一种电子运动的结果，不过不是自由电子的运动，而是价电子从一处到另一处填补空穴位置的运动。由于这种价电子的运动无论从效果上还是现象上，都好像是一个带正电荷的空穴按照价电子相反的方向在运动，所以我们把这种价电子的填补运动称为“空穴”运动，以便和带负电荷的自由电子的运动相区别。