

电工电子技术丛书

晶体管电路

〔日〕饭高成男 椎名晴夫 田口英雄 著

电工电子技术丛书

晶体管电路

〔日〕饭高成男 椎名晴夫 田口英雄 著
蒋铃鸽 译



科学出版社

北京

图字: 01-1999-3028 号

内 容 简 介

本书是“电工电子技术丛书”之一。本书共分 11 章,主要以讲解晶体三极管的工作原理为中心,介绍半导体的性质、晶体管的作用、晶体三极管放大电路基础、各种放大电路、功率放大电路、高频放大电路、振荡电路、频率变换电路、调制与解调电路、电源电路、脉冲电路等。本书内容简洁、重点突出,同时配以大量插图帮助讲解,具有较高可读性、参考性与实用性。

本书既可供工科院校相关专业师生阅读,也可供电子技术人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

晶体管电路/(日)饭高成男等著;蒋铃鸽译. —北京:科学出版社,2009
(电工电子技术丛书)

ISBN 978-7-03-023408-7

I. 晶… II. ①饭…②蒋… III. 晶体管电路 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 178341 号

责任编辑:赵方青 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 力

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

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>

天 时 彩 色 印 刷 有 限 公 司 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月 第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 1 月 第一次印刷 印张: 12 3/4

印数: 1—5 000 字数: 250 000

定 价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

1948年,美国贝尔实验室的 M. Shockley 等发明了晶体管,至今已有 60 年。在这期间,晶体管的性能不断得以改善,作为电子技术的重要器件一直发挥着积极的作用,而且我们认为今后晶体三极管也将被长期使用。

重要原因是,尽管 IC(集成电路)是当今电子学的前沿技术,但 IC 不可能取代所有的晶体管。例如,现在生产着的彩色电视机中还有许多使用晶体管。另外,即使假设 IC 取代了晶体管,但为了掌握 IC 的工作原理,也必须了解晶体管是如何工作的,因此,晶体管的原理将继续使用下去。

本书结构如下:首先讲解晶体管的基础——半导体的性质。在理解了巧妙地运用这些性质制造出的晶体二极管、晶体三极管的工作原理的基础上,对晶体三极管放大电路、功率放大电路、高频放大电路、振荡电路、变频电路、调制解调电路、电源电路、脉冲电路等,以晶体三极管的工作原理为中心进行详细论述。在内容上,采用了丰富的照片和插图,同时运用彩色印刷产生的视觉效果加深对问题的理解。

本书作为晶体管电路的入门学习参考书或教材,期望能对大家在增加对电子学的兴趣、培养实际能力诸方面有所帮助。

最后,我们对于在本书的编写过程中允许参考其著作的各位前辈,对于始终给予鼓励和指导的欧姆社(OHM)的各位,表示衷心的感谢。

著 者

目 录

第 1 章 半导体的性质	1
1.1 活跃在半导体中的电子	3
1.1.1 电子存在于原子之中	3
1.1.2 活跃在半导体中的自由电子	4
1.1.3 自由电子的逸出空位是带有正电荷的空穴	5
1.2 电子技术的核心是半导体	6
1.2.1 半导体材料的典型代表是硅与锗	6
1.2.2 本征半导体的纯度很高	7
1.2.3 杂质半导体分为 n 型半导体和 p 型半导体	8
1.3 p 型半导体和 n 型半导体有机结合形成二极管	9
1.3.1 二极管的形状与电路符号	9
1.3.2 二极管的结构与工作原理	10
1.4 特殊二极管和二极管的使用方法	13
1.4.1 特殊二极管	13
1.4.2 二极管的使用方法	17
本章小结	17
第 2 章 晶体三极管的作用	19
2.1 晶体三极管是 p 型和 n 型半导体的有机结合	21
2.1.1 晶体三极管的各种各样形状和名称	21
2.1.2 晶体三极管的结构和电路符号	22
2.2 晶体三极管究竟起着什么样的作用	22
2.2.1 对晶体三极管施以电压	22
2.2.2 晶体三极管中电子和空穴的运动	24
2.2.3 晶体三极管电压的施加方法	26

2.3	晶体三极管的使用方法	26
2.3.1	为了不损坏晶体三极管要遵守最大极限值	26
2.3.2	在电路设计中晶体三极管的 电气特性具有重要作用	29
2.3.3	用万用表检测晶体三极管的好坏	31
2.4	用静态特性描述晶体三极管的伏-安特性	32
	本章小结	34
第3章	晶体三极管放大电路的基础	37
3.1	简单的放大电路的工作原理	39
3.1.1	简单的放大电路的构成	39
3.1.2	由各部分的波形考察了解放大电路的状况	40
3.2	偏置的必要性和偏置电路	42
3.2.1	偏置的必要性	42
3.2.2	偏置电路	44
3.3	如何确定偏置电路的电阻值	46
3.3.1	集电极电流和负载电阻的确定方法	46
3.3.2	偏置电路电阻值的确定方法	47
3.4	根据特性曲线求解偏置和放大倍数的方法	49
3.4.1	利用特性曲线图求解偏置电压和偏置电流	49
3.4.2	交流成分的工作原理	52
3.4.3	电压放大表示和增益	52
3.5	用晶体三极管的四个参数画出等效电路	53
3.5.1	晶体三极管的四个参数	53
3.5.2	利用 h 参数可以表示晶体三极管的等效电路	55
3.6	利用等效电路求取放大倍数的方法	58
3.6.1	利用 h 参数等效电路求取放大倍数的方法	58
3.6.2	放大电路的分类	60
	本章小结	61

第 4 章 各种各样的放大电路	63
4.1 两级低频 RC 耦合电压放大电路	65
4.1.1 电路的结构	65
4.1.2 电路的放大倍数	67
4.2 负反馈放大电路	68
4.2.1 反馈电路中含有正反馈和负反馈	68
4.2.2 负反馈放大电路的结构	69
4.2.3 负反馈电路的电压放大倍数	70
4.2.4 负反馈放大电路的种类	70
4.2.5 负反馈放大电路的优点	71
4.3 射极跟随放大电路和直接耦合放大电路	72
4.3.1 射极跟随放大电路(共集电极放大电路)	72
4.3.2 直接耦合放大电路	75
本章小结	76
第 5 章 功率放大电路	79
5.1 功率放大电路的基本事项	81
5.1.1 功率晶体三极管和散热器	81
5.1.2 输出变压器	83
5.2 甲类功率放大电路	84
5.2.1 什么是甲类功率放大电路	84
5.2.2 交流负载线和工作点	85
5.2.3 输出功率	86
5.2.4 最大输出功率和电源效率	87
5.3 乙类推挽功率放大电路	88
5.3.1 什么是乙类	88
5.3.2 使用输出变压器的乙类推挽功率放大电路	89
5.3.3 OTL 中典型的 SEPP 功率放大电路	92
本章小结	93

第 6 章 高频放大电路	97
6.1 用谐振电路选择信号	99
6.1.1 用调谐电路选择信号	99
6.1.2 利用谐振现象选择信号	99
6.1.3 电抗的频率变化	100
6.1.4 电压放大串联谐振电路	101
6.1.5 电流放大并联谐振电路	102
6.2 调谐高频放大电路	102
6.2.1 调谐放大电路	102
6.2.2 单调谐电路通频带窄	103
6.2.3 双调谐放大电路	103
6.3 高频放大为高科技	104
6.3.1 高频放大为高科技	104
6.3.2 一旦频率上升电流放大系数就下降	105
6.3.3 内部反馈是主要原因	107
6.3.4 高频电路的宿敌	108
6.4 接收机的高频(RF)放大电路	108
6.4.1 使用于接收机中的高频放大电路	108
6.4.2 放大接收电波的高频(RF)放大电路	109
6.5 只放大中频信号	111
6.5.1 使用中频放大电路提高灵敏度、选择性	111
6.5.2 使用 IFT 和陶瓷滤波器选择中频	112
6.5.3 自动增益控制电路(AGC 电路)	113
6.6 高频功率放大电路	113
6.6.1 发射机的高频功率放大电路	113
6.6.2 高频功率放大电路举例	114
本章小结	115
第 7 章 振荡电路	117
7.1 利用正反馈产生振荡	119

7.1.1	产生交流信号的振荡电路	119
7.1.2	施加正反馈产生振荡	119
7.1.3	初始的输入信号	120
7.1.4	振荡电路的振荡条件	121
7.2	变压器耦合调谐式振荡电路	122
7.2.1	用振荡变压器实现正反馈	122
7.2.2	三种调谐式振荡电路	123
7.2.3	振荡频率有多少赫[兹]	124
7.3	哈特莱式和科耳皮兹式振荡电路	124
7.3.1	利用 L 和 C 加上正反馈	124
7.3.2	哈特莱式振荡	125
7.3.3	科耳皮兹式振荡	126
7.4	频率稳定的晶体振荡电路	128
7.4.1	产生谐振现象的石英晶体	128
7.4.2	使用石英晶体代替线圈	128
7.4.3	使用石英晶体的皮尔斯电路	129
7.5	利用 R 和 C 实现正反馈的 RC 振荡电路	130
7.5.1	利用 R 和 C 产生振荡	130
7.5.2	移相 180° 实现正反馈的移相式	130
7.5.3	桥式振荡电路	132
7.6	振荡电路的稳定化	133
7.6.1	保持振荡频率和输出电压稳定	133
7.6.2	变化的原因及应对方法	134
	本章小结	134
第 8 章	频率变换电路	137
8.1	为了改变频率	139
8.1.1	为了改变频率	139
8.1.2	用单管进行频率变换	140
8.1.3	双管他激式	141

8.1.4 频率变换电路的单一调整	141
8.1.5 镜像干扰	142
本章小结	142
第9章 调制与解调电路	145
9.1 调制和解调	147
9.1.1 为什么调制是必要的	147
9.1.2 各种各样的调制方式	147
9.1.3 接收信号时解调	148
9.2 AM 和 SSB 的调制/解调电路	148
9.2.1 AM 调制和 SSB 调制	148
9.2.2 改变振幅的 AM 调制电路	150
9.2.3 利用二极管和电容解调 AM 波	151
9.2.4 SSB 的调制电路	151
9.2.5 SSB 的解调	152
9.3 FM 的调制和解调	152
9.3.1 改变载波频率的频率调制 FM	152
9.3.2 FM 波的频率偏移和占有频带宽度	154
9.3.3 FM 调制电路	154
9.3.4 FM 解调电路	155
本章小结	156
第10章 电源电路	159
10.1 由交流获得直流的电源电路	161
10.1.1 将交流转换为直流的电源电路	161
10.1.2 用二极管对交流整流	162
10.1.3 整流电路的特性	164
10.2 除去纹波的滤波电路	165
10.3 保持输出电压恒定的稳压电源电路	167
10.3.1 使输出电压恒定的稳压电路	167

10.3.2 稳压电路的工作原理	167
10.3.3 仅采用齐纳二极管的稳压	169
本章小结	169
第 11 章 脉冲电路	171
11.1 什么是脉冲	173
11.1.1 什么是脉冲	173
11.1.2 脉冲各部分的名称	174
11.1.3 脉冲的失真	175
11.2 波形整形电路	176
11.2.1 什么是波形整形	176
11.2.2 削波器	176
11.2.3 限幅器和小幅值限幅器	178
11.3 微分/积分电路	179
11.4 脉冲产生电路	181
11.4.1 为了产生脉冲	181
11.4.2 晶体三极管的开关作用	181
11.4.3 为了能够自动地产生脉冲	183
11.5 三种多谐振荡器	185
11.5.1 三种多谐振荡器	185
11.5.2 无稳态多谐振荡器	185
11.5.3 单稳态多谐振荡器	186
11.5.4 双稳态多谐振荡器	187
11.5.5 加速电容	188
本章小结	188

第1章

半导体的性质

半导体是指导电性能介于导体与绝缘体之间的材料。

利用这样的半导体材料制造出的产品，有晶体二极管、晶体三极管、IC等半导体器件，它们被广泛地应用于收音机、电视机等家电产品以及小汽车、电子计算机等设备中。为了很好地理解这些半导体器件的作用，首先必须了解半导体器件的性质。

在本章中，对活跃在半导体中的电子的功能、半导体的各类及其构成成分等进行分析。并且学习有关由p型半导体和n型半导体相互接合形成的pn结制成的二极管，为理解下一章晶体三极管的性质和工作原理打下基础。

1.1 活跃在半导体中的电子

1.1.1 电子存在于原子之中

我们身边存在的所有物质,是由约 100 种原子构成的。“原子”这一说法,在希腊语中是已经不能做更划分的意思。但是自从发现电子后,可以判明原子是由中心带有正(+)电荷的原子核和绕其周围旋转的带有负(-)电荷的电子构成的(参照图 1.1)。

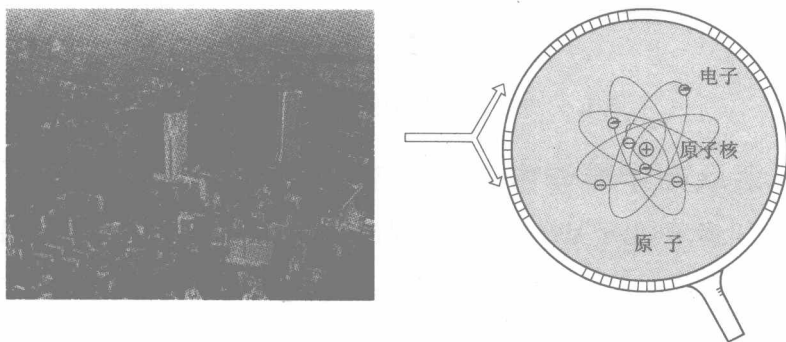


图 1.1 所有的物质都是由原子构成的

图 1.2 (a)为氢原子,(b)为硅原子的平面示意图,氢原子中的 1 个电子,硅原子中的 14 个电子,在它们各自规定的轨道上旋转着。各个原子由于原子核的正电量和所有电子的负电量相等,因而通常不带电而处于中性状态(参照图 1.3)。

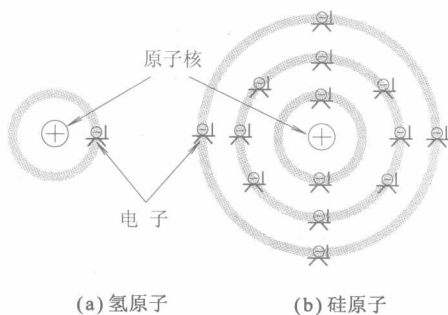


图 1.2 原子的平面模型

原子核的电量=全体电子电量的和

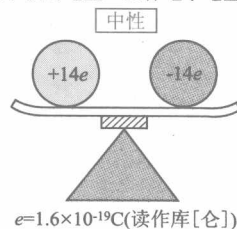


图 1.3 硅原子的电量

原子核和电子的大小与原子相比只有数万分之一(参照图 1.4)。因此,当认为原子是内部为空心的球时,电子可以在原子中自由地运动。

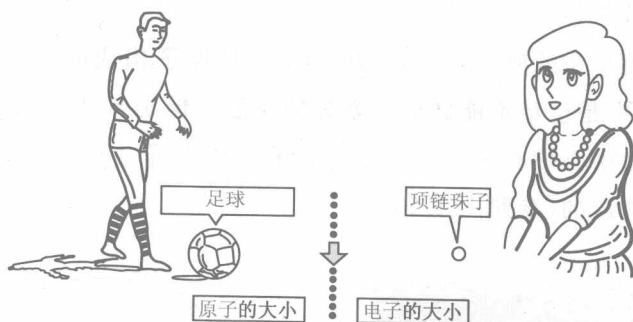


图 1.4 电子的大小为原子的数万分之一

1.1.2 活跃在半导体中的自由电子

如图 1.2 所示,电子是在原子核的周围形成数层轨道并沿轨道旋转着。进入这些轨道的电子数,由各个轨道决定。在这里,最外层轨道中的电子被称为价电子。对硅原子而言,有 4 个价电子。

靠近原子核的轨道中的电子,受到原子核的强力吸引。最外层轨道中的价电子,却因为和原子核之间的引力较弱,可以容易地脱离轨道。像这样从原子核的束缚中挣脱出去的价电子称为自由电子(参照图 1.5)。

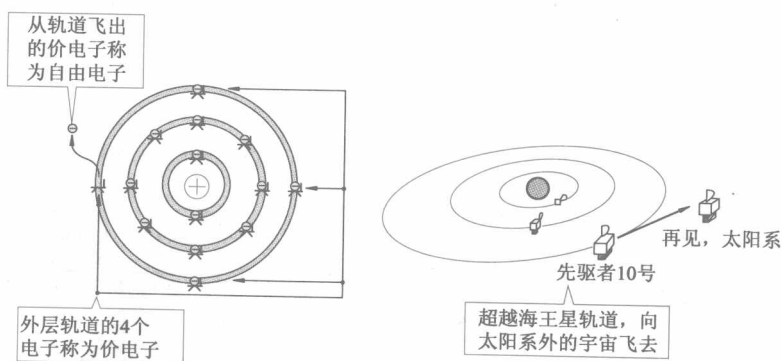


图 1.5 硅原子的价电子和自由电子

1.1.3 自由电子的逸出空位是带有正电荷的空穴

到目前为止,我们关注的仅仅是原子,下面让我们对原子聚集在一起形成晶体时的情况进行分析。图 1.6 所示的是硅(Si)原子整齐排列着的晶体的平面示意图。通常情况下,各个原子如图所示那样,相邻的原子分别拿出 1 个价电子,以相互共有价电子的形式结合在一起。

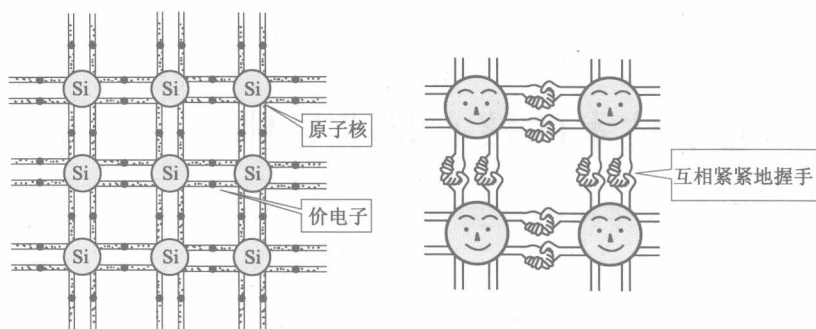


图 1.6 硅的晶体

现在,若是对这个晶体加上电压、热,或是用光进行照射等,则由于这些能量的吸入,使得晶体中的价电子可以脱离原子核的束缚成为自由电子,在晶体中自由地运动。

由于带有负电荷的电子的逸出,使价电子变成自由电子后留下的空位,从电中性的状态变得带有正电荷。这个带有正电荷的空位称为空穴(hole)(参照图 1.7)。

空穴一旦产生,由于其带有正电荷,所以会吸引附近的带有负电荷的价电子,而被吸引走的价电子留下的空位又形成其他新的空穴(参照图 1.8)。

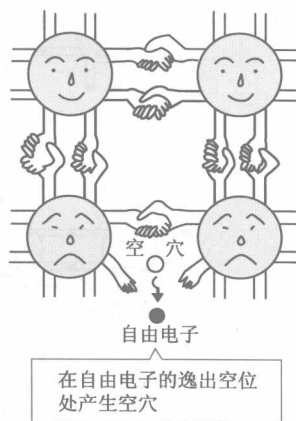


图 1.7 空穴

这样的过程随时间依次连续地进行,可以认为好像空穴运载着正的电荷。因此,由于自由电子运载负电荷,空穴运载正电荷的缘故,它们被称为载流子。

还有,电子的流动称为电子流,规定电流的方向和电子流的方向相反。

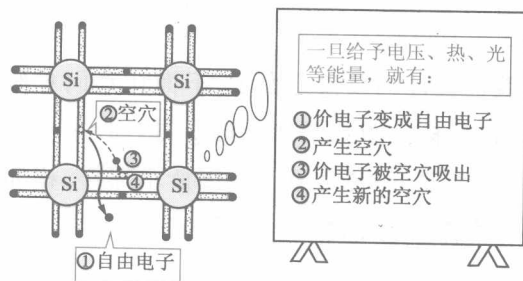


图 1.8 自由电子和空穴的产生

1.2 电子技术的核心是半导体

1.2.1 半导体材料的典型代表是硅与锗

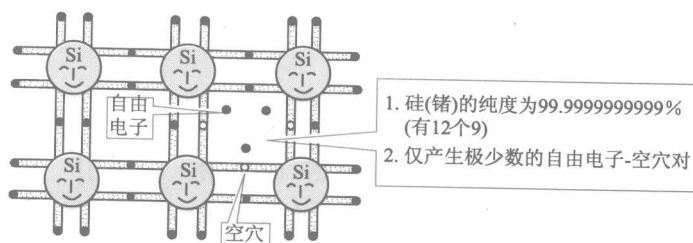


图 1.9 本征半导体的晶体结构

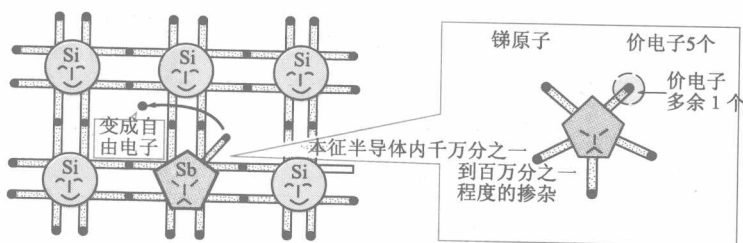


图 1.10 n型半导体的晶体结构

电线的芯所使用的铜和铝等金属，因为能很好地导电而被称为**导体**。与此相反，电线的包皮所使用的橡胶和塑料，则因为其对电的绝缘性质而被称为**绝缘体**。

研究物质在常温下的电阻率，得到如图 1.12 的结果。半导体如文字所述是“一半”、“导体”，即处于导体和绝缘体的中间，也就是指电阻率从 $10^{-5} \sim$