



仪器仪表工人
技术培训教材

电子技术基础

机械工业部仪器仪表工业局 统编

机械工业出

仪器仪表工人技术培训教材

电子技术基础

机械工业部仪器仪表工业局 统编



机械工业出版社

本书是为电子、电工仪器仪表装调类工人技术培训（中级）的需要而编写的。

全书分上、下两篇，上篇为模拟电子技术基础，主要介绍晶体管的线性应用。由浅入深地介绍了仪器仪表中常用的各种放大、振荡、电源电路的工作原理和分析方法；并介绍了运算放大器、晶闸管、场效应管等器件的原理及其在仪表中的典型运用。下篇为数字电子技术基础，主要介绍晶体管的开关应用。通过对各类分立、集成门电路和触发器的工作原理分析，着重运用逻辑代数介绍了组合电路和时序电路的分析设计方法；对在仪器仪表中应用甚广的数模及模数转换技术和微处理器原理也专章作了介绍。

本书由上海电表厂主编，由陈五凤，杜志毅，忻寿祥同志编写，傅云鹏、傅业昌、濮训莲同志审稿。

仪器仪表工人技术培训教材 电子技术基础

机械工业部仪器仪表工业局 统编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张22⁵/₈·字数507千字
1985年12月重庆第一版·1985年12月重庆第一次印刷
印数 00,001—11,300·定价 4.70 元

*

统一书号：15033·5707

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容；才能逐步建立起正规的工人技术教育体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全中国仪器仪表行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套仪器仪表专业工种的初级、中级工人技术培训教材，共七大类四十六本。

这套教材编写的依据是原国家仪器仪表工业总局一九八一年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（仪器仪表专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计

“规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中种三级以下的“应知”要求，学完中级技术理论教学计划

“课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要

教材编写过程中，注意了工人培训和仪器仪表行业的，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。考虑到工种工艺学的特殊性，避免不必要的重复，对工种工艺学初级、中级教材采用合一册或上、下册的形式，通过教学计划和大纲，体现初级、中级培训的阶段性”性。

这套教材的出版，得到了北京、天津、上海

市仪表局、机械厅和有关企业、学校、研究单位的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部仪器仪表工业局
工人技术培训教材编审领导小组
一九八二年十二月

目 录

前言

上篇 模拟电子技术基础

第一章 半导体二极管和三极管	1
1-1 半导体	1
1-2 PN结的形成和特性	3
1-3 半导体二极管	5
1-4 半导体三极管	12
1-5 晶体管的简易测试	19
小结	23
复习题	25
第二章 基本放大电路	27
2-1 单管放大器	28
2-2 放大电路的分析方法	34
2-3 静态工作点的稳定	52
2-4 阻容耦合放大器的频率特性	56
2-5 三种基本放大电路	61
2-6 单管放大器的设计举例	65
小结	69
复习题	69
第三章 多级放大器与负反馈	72
3-1 多级放大器	72
3-2 负反馈放大电路	78
3-3 多级负反馈电路	84
小结	
复习题	

第四章 场效应管放大器.....	93
4-1 场效应管.....	93
4-2 场效应管放大器.....	103
小结	115
复习题	116
第五章 直流放大器.....	117
5-1 直流放大器概述.....	117
5-2 直耦放大器.....	121
5-3 差动放大器.....	127
5-4 调制型直流放大器.....	142
5-5 断续作用的直流放大器.....	151
小结	152
复习题	153
第六章 功率放大器.....	155
6-1 变压器耦合的功率放大器.....	155
6-2 互补对称功率放大器.....	169
小结	178
复习题	179
第七章 相敏检波与相敏放大.....	180
7-1 相敏检波原理.....	180
7-2 相敏放大器.....	187
小结	197
复习题.....	198
第八章 运算放大器 及其应用.....	199
8-1 运放的特点与原理.....	199
8-2 运放在运算电路中的应用.....	210
8-3 运放的若干特殊应用.....	228
-4 有源滤波器.....	242
.....	245

复习题	246
第九章 直流稳压电源	248
9-1 整流及滤波	248
9-2 硅稳压管稳压电路	260
9-3 串联型稳压电源	270
9-4 可控硅直流稳压电源	283
小结	299
复习题	300
第十章 正弦波振荡器	302
10-1 自激振荡的条件	302
10-2 LC振荡器	308
10-3 RC振荡器	318
10-4 石英晶体谐振器	324
小结	327
复习题	327

下篇 数字电子技术基础

第十一章 脉冲数字电路 基础	329
11-1 概述	329
11-2 RC电路	332
11-3 二极管的开关特性和开关参数	341
11-4 常用的波形变换电路	345
11-5 三极管的开关特性和开关参数	351
11-6 反相器	362
小结	364
复习题	366
第十二章 基本逻辑门	369
12-1 分立元件逻辑门	37
12-2 TTL与非门	37

12-2 其它类型的集成与非门.....	403
小结	412
复习题	415
第十三章 逻辑代数及其应用	419
13-1 基本运算法则	419
13-2 逻辑电路图和逻辑函数式	423
13-3 逻辑函数式的化简	425
小结	440
复习题	441
第十四章 组合电路分析	445
14-1 逻辑系统中的计数体制	446
14-2 编码器与译码器	453
14-3 加法器	470
14-4 数字比较器	473
14-5 选通电路	477
14-6 组合电路的功能分析	485
小结	488
复习题	488
第十五章 双稳态触发器	491
15-1 记忆单元电路——双稳态触发器	491
15-2 基本RS触发器	498
15-3 同步RS触发器	509
15-4 计数触发器 (T触发器)	515
15-5 多功能触发器	524
小结	531
复习题	534
第十六章 计数、寄存及译码显示	537
16-1 异步计数器	537
同步计数器	546

16-3 可逆计数器.....	558
16-4 寄存器.....	565
16-5 时序脉冲分配器.....	570
16-6 集成计数、寄存、译码电路及显示器件.....	573
16-7 应用举例——数字频率计原理.....	580
小结	589
复习题	590
第十七章 脉冲的产生及变换.....	592
17-1 多谐振荡器.....	592
17-2 单稳态触发器.....	605
17-3 施密特触发器.....	615
小结	623
复习题	625
第十八章 数模及模数转换原理.....	628
18-1 概述.....	628
18-2 数模(D/A)转换器.....	631
18-3 直接比较型模数(A/D)转换器.....	641
18-4 间接比较型模数(A/D)转换器.....	647
小结	670
复习题	672
第十九章 微处理器简介.....	673
19-1 微型计算机和微处理器	673
19-2 微处理器在仪器仪表中的应用.....	686
小结	691
复习题	691
实验	692
实验一 二极管的单向导电性.....	692
实验二 伏安特性的测试	692
实验三 单管低频放大电路.....	694

X

实验四	运算放大器.....	696
实验五	串联稳压电路.....	697
实验六	TTL与非门直流参数的测试.....	698
实验七	组合电路分析.....	700
实验八	触发器.....	702
实验九	计数及译码显示.....	705
实验十	多谐振荡器和单稳触发器.....	707
附录	数字逻辑电路逻辑符号.....	710

上篇 模拟电子技术基础

第一章 半导体二极管和三极管

1-1 半 导 体

一、半导体

各种物质按其导电性能可以分成三大类，即导体、绝缘体和半导体。

导体具有良好的导电性能，如金、银、铜、铝、铁等；绝缘体的导电性能极差，如塑料、橡胶、木材、玻璃、云母等；而半导体的导电性能则介于导体和绝缘体两者之间，锗、硅及某些金属氧化物就是半导体。

材料的电阻率(ρ)可以表明材料导电性能的好坏，电阻率越小，则导电性能越好。铜是良导体，其电阻率就很小，为 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 欧·厘米($\Omega \cdot \text{cm}$)；而橡胶是绝缘体，其电阻率就很大，在 10^8 欧·厘米($\Omega \cdot \text{cm}$)以上；半导体材料的电阻率，则随所掺杂的浓度而异，其电阻率介于上述两者之间。

二、本征半导体和杂质半导体

经过工艺提纯得到的不含杂质的纯净半导体材料，称为本征半导体如锗和硅。本征半导体的电阻率仍较大，所以不能直接用来制造半导体器件。通过工艺手段在本征半导体中适当地掺入极微量的“杂质”后，就成为杂质半导体，实验表明，杂质半导体的导电能力比之本征半导体将增大许多倍，利用半导体的这个特性可以制造出各种不

体管。由于半导体材料都属于晶体结构，因此用半导体材料制造的半导体管通常也称为晶体管。

1. 半导体中的载流子——电子和空穴

原子是由带正电的原子核和带负电的电子组成的，由于正负电荷具有相互吸引的特性，所以电子将被吸引在原子核周围，它们分好几层围绕原子核不停地运动。内层电子受原子核束缚力较大，最外层电子（又称价电子）受原子核束缚力较小。外层电子将力图挣脱原子核对它的束缚而飞逸出去。导体、半导体、绝缘体三者相比较，导体的外层电子受原子核束缚力最小，绝缘体最大，半导体介于前二者之间，半导体的外层电子既不象导体的那样易于挣脱，也不象绝缘体的那样被束缚得难以挣脱。

锗、硅等半导体材料是按晶格排列的，其原子排列成非常整齐的稳定状态，各原子之间的距离都相等。由原子理论可知，在原子组成稳定状态时，各相邻两个原子都有一对共用的电子，这对电子中的任何一个电子，既围绕自身的原子核运动，又经常在相邻的原子所属的轨道上运动，这样的组合称为共价键结构。

半导体硅、锗的共价键结构的特点是：外层共有电子所受到的束缚力不象在绝缘体里那样大，在一定温度下，热能转化为电子的动能，一部分共有电子就有可能挣脱束缚成为自由电子，它们就成为带负电的载流子。

在共有电子挣脱束缚成为自由电子的同时，就在共价键中留下了一个空位，这个空位因失去电子而带正电荷，它将吸引相邻原子的共有电子来填补空位以达到新的稳态但它又使相邻共价键中出现空位，由于空位总是要吸引相邻的共有电子，就形成了共有电子的运动，这种运动也可以看成为是

这个带正电的空位在半导体中的移动，通常把这个空位称为“空穴”，它是带正电的载流子；空穴载流子的运动就是正电荷的运动。

因此，在半导体中，不仅有带负电的电子载流子，还有带正电的空穴载流子。

2. P型半导体和N型半导体

杂质半导体按其掺入的杂质不同，可分为N型半导体和P型半导体。如果在本征半导体硅或锗中掺入少量的磷或硼元素，就能得到N型半导体；而掺入少量的硼或铟元素，就能得到P型半导体。

N型半导体和P型半导体中都同时存在电子和空穴这两种载流子，不过，这两种半导体中所含有的电子和空穴的浓度截然不同。当本征半导体掺入了少量的磷以后，半导体中原来两种载流子相等的局面就被破坏，自由电子的浓度将大大超过空穴的浓度，从而形成N型半导体。例如，在原子密度为 $5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ 的本征半导体硅中掺入250万分之一的磷以后，自由电子浓度近似为 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ，而空穴浓度大约只有 $1.2 \times 10^4/\text{cm}^3$ ，可见，N型半导体中电子浓度要比空穴浓度大得多，所以，在N型半导体中，电子叫做多数载流子，简称“多子”；而空穴是少数载流子，简称“少子”。如果本征半导体中掺入的杂质为硼时，半导体中空穴的浓度将大大超过电子浓度，从而形成P型半导体。在P型半导体中空穴是“多子”，电子是“少子”。

1-2 PN结的形成和特性

一、PN结

如果在一块完整的半导体晶片上，用不同掺杂工艺使一

边形成N型, 另一边形成P型, 这时, 由于载流子浓度的差别, N型半导体中的多子(电子)要向P型半导体一边运动, P型半导体中的多子(空穴)要向N型半导体一边运动, 这种由于浓度不同而产生的载流子运动称为扩散运动。扩散的结果是在P型半导体和N型半导体的结合面处形成一个带电薄层(AB层), 这个带电薄层称为阻挡层, 就是PN结, 它的电场方向如图1-1所示。这个电场称为内电场。

在这个内电场的作用下, P型半导体中的少子(电子)要向N型半导体中运动, N型半导体中的少子(空穴)要向P型半导体中运动, 这种在电场作用下, 载流子产生的定向运动称为漂移运动。

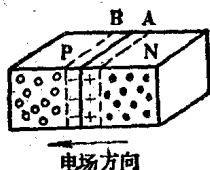


图1-1 电场方向

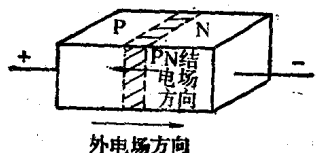


图1-2 外加正向电压时阻挡层变薄

随着多子的扩散运动的持续进行, PN结逐渐加厚, 电场越来越加强, 对多子扩散的阻力也就越来越大, 而在这个电场作用下, 少子的漂移是很有限的。这样, 当扩散运动与漂移运动两种作用相互平衡时, 载流子的运动就达到了相对稳定的状态, PN结也不再加宽, PN结处于动态平衡。

二、PN结的单向导电性

若在PN结的两端施加适当的外部电压, 就可以打破它原来的平衡状态。

1. 外加正向电压

当P型半导体接外部电压正极, N型半导体接外部电压负极时, 称为正向接法。这时的外电场方向如图1-2所示,

它与PN结内部电场方向是相反的，所以削弱了PN结内部电场的作用，于是扩散运动超过漂移运动而起主导作用，多数载流子能通畅地越过阻挡层，形成较大的电流，这时，就称为PN结处于导通状态。

2. 外加反向电压

当P型半导体接外部电压负极，N型半导体接外部电压正极时，称为反向接法。这时的外电场方向与PN结内电场方向是一致的，因此阻挡层加厚，扩散运动困难，少子的漂移运动起主导作用，形成的是反向电流，由于少子的数量很少，所以电流很小。在温度不变时，少子的浓度不变，因此在一定范围内，反向电流不随外加电压而变，所以也称反向饱和电流。这时，就称为PN结处于截止状态。

综上所述，PN结仅在正向接法时才能导通，而处于反向接法时，电流接近于零，处于截止，这种特性称为PN结的单向导电性。



图1-3 外加反向电压时阻挡层变厚



图1-4 二极管符号

1-3 半导体二极管

一、二极管结构

半导体二极管的核心就是一个PN结，再加上电极引线和管壳就做成了二极管，通常用图1-4符号表示。

从结构上，二极管可以分为面接触型和点接触型两种。
面接触型适用于大电流场合，如整流。点接触型由于接触点

小, 只能通过小电流, 但是正由于接触点小, 所以结间电容也很小, 适宜于用在高频的场合。

二、二极管的伏安特性

PN 结内部载流子运动的规律, 反映到外部电路就是电压和电流的关系。通常用二极管的伏安特性来说明加在二极管两端的电压和通过二极管电流之间的关系, 如图1-5所示。

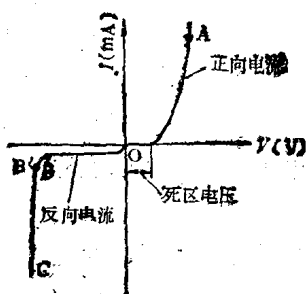


图1-5 二极管伏安特性

1. 正向特性 (OA段)

在二极管两端加正向电压, 开始时由于外加电压较小, 不足以抵消 PN 结的内部电场, 因此正向电流数值很小, 当外加电压超过一定数值后内部电场几乎全部被抵消, PN 结电阻很小, 正向电流急剧上升。这个数值的电压称为死区电压, 锗管约为 0.2 伏, 硅管约为 0.5 伏, 并随管子的材料和温度的不同而改变。

2. 反向特性 (OB段)

在二极管两端加上反向电压时, 外电场与内电场方向一致, 使内电场增强, 相当于阻挡层加宽了。这样, 多子形成的扩散电流要通过阻挡层就越来越困难了, 但少子的漂移电流则得到加强, 这时通过管子的电流称为反向电流。反向电流是漂移电流与扩散电流之差, 但主要是漂移电流, 当反向电压大约超过 $-1V$ 以后, 外电场使扩散电流无法通过 PN 结, 而少子则已全部参与导电, 所以反向电流不再增大了, 这时的反向电流称为反向饱和电流, 其数值极小 (通常锗二极管的反向饱和电流约为几十~几百微安, 硅二极管的反向饱和