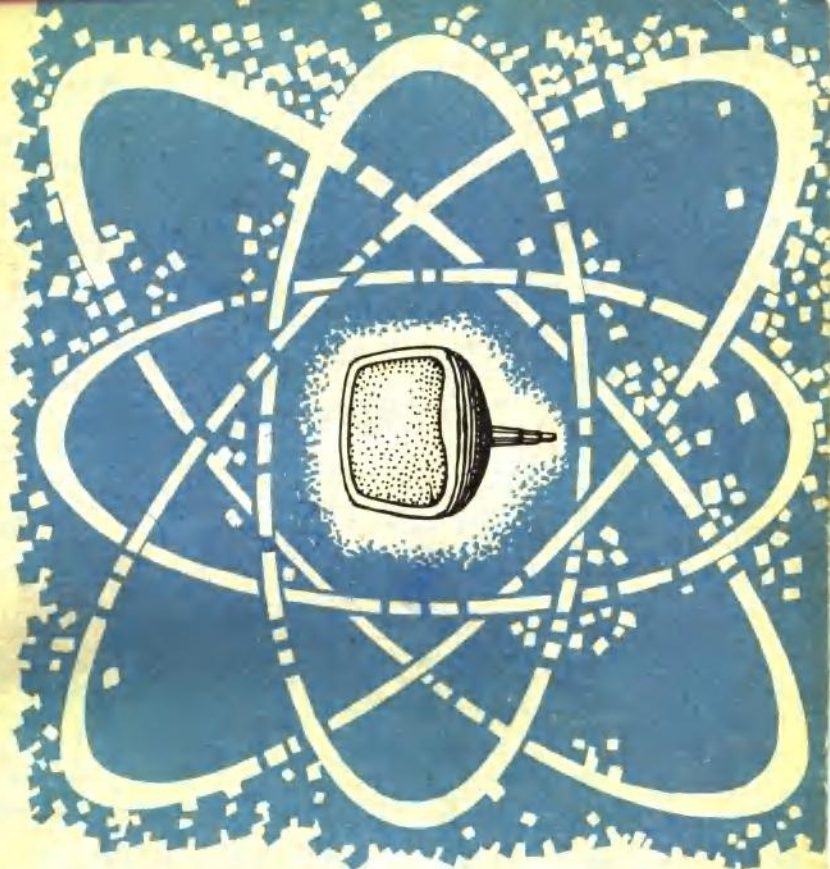




宋东生 编



工厂电子技术

(上册)

责任编辑：科 群

封面设计：蒋敏学

工厂电子技术

(上册)

宋东生 编

*

云南人民出版社出版

(昆明市书林街100号)

云南新华印刷厂印刷 云南省新华书店发行

*

开本：787×1092 $1/32$ 印张：12.625 字数：280,000

1980年11月第一版 1980年11月第一次印刷

印数：1—91,200

统一书号：15116·127 定价：1.05元

出版说明

为了适应新形势下加强职工科学技术教育的需要，在中华全国总工会教育部的大力倡导和支持下，北京市技术交流站等有关单位编写了《工人科技教育丛书》由我社出版。

该丛书包括《工厂基础数学》、《工厂应用数学》、《工厂基础电工》、《工厂实用电工》、《工厂基础物理》、《工厂应用物理》、《工厂基础化学》、《工厂应用化学》、《工厂电子技术》（上、下册）、《工人机械识图读本》、《工厂应用力学》、《工厂考工定级题解》、《电脑基础》共十四本，可作为工矿职工教育的教材，也可供广大工人自学参考。

在丛书组稿、编写、出版过程中，中华全国总工会教育部黄志同志、李德玉同志，北京仪器厂宋东生同志，原子能出版社李天无同志，中国科学院心理研究所封根泉同志，工人出版社王东发同志作了大量工作，在此，一并致谢。

云南人民出版社

《工人科技教育丛书》出版前言

中华全国总工会教育部

职工教育是我国教育事业的组成部分，是提高职工科学文化技术水平，培养技术、管理人才的重要途径。我们的国家要在本世纪内实现农业、工业、国防和科学技术现代化，不仅需要一支强大的熟练技术工人队伍，而且需要大量科技人才和管理人才。但是由于林彪、“四人帮”的干扰和破坏，目前我国职工队伍存在着文化程度低、技术等级低、管理水平低和技术人员少的状况。这种状况已成为实现四个现代化的严重障碍。因此，大力开展职工教育，迅速提高广大职工的科学文化技术水平，已成为广大职工的迫切愿望和刻不容缓的战略任务。

党和国家十分重视职工教育。华国锋同志在五届人大第一次会议上曾要求“大力发展业余教育，满足在职干部、工农兵群众和上山下乡知识青年学习的需要”；在五届人大二次会议上又提出“必须对在业人员进行业余的和离职的科学技术、经济管理和文化知识教育”。邓小平同志在中国工会第九次全国代表大会上，代表党中央、国务院号召我国工人阶级“要努力提高自己的政治、经济、管理、技术、文化水平”，“要用最大的努力来掌握现代化的技术知识和现代化的管理知识，为实现四个现代化作出优异的贡献”。上述一系列指示，大大调动了各方面举办职工教育的积极性。广大职工学习文化科学技术

的热情空前高涨，职工教育出现了欣欣向荣的可喜局面。

为了适应新形势下加强职工教育的要求，帮助工矿企业解决职工教育急需的部分教材，向青年工人提供一些工业科学技术读物，北京市技术交流站等有关单位，组织编写了《工人科技教育丛书》。这套丛书以具有相当于初中文化程度的工人为主要对象，参加编写工作的同志，大多是从从事职工工业余教育多年的工程技术人员和教师。他们据以编写这套丛书的教材，也多是在长期教学实践中，经过广泛征求意见，反复修改补充，并经有关科研单位和高等院校协助审订，才逐渐形成的。有的还曾在中央电视台举办的电视教育讲座中播讲，受到全国广大职工的欢迎。正因为来自实践，这套丛书在内容上具有深入浅出，通俗易懂，密切结合生产实际，适合工人自学等特点。它可以作为职工的自学读物，也可以作为职工教师的参考书，对口的工厂也可以选作职工教材。

北京市技术交流站等有关单位和云南人民出版社，热心于职工教育事业，编写和出版了这套适应职工教育特点的丛书，做了一件有益于四化建设的大好事，确实值得祝贺。我们希望今后有更多的从事职工教育工作和关心职工教育的同志，为广大职工编写、出版更多更好的学习材料，逐步改变当前教材严重缺乏的状况，满足广大职工学习的需要，这对快出人才、多出人才，早日实现四个现代化，无疑是一个重大的贡献。

目 录

第一章 常用半导体器件	(1)
§ 1—1 半导体的基础知识	(1)
一、半导体的奇妙特性	(1)
二、从原子结构谈起	(3)
三、半导体的晶体结构	(6)
四、本征激发和空穴导电	(8)
五、两种不同导电类型的半导体	(10)
§ 1—2 半导体器件的核心—— PN 结	(13)
一、电流的逆止阀门—— PN 结	(13)
二、 PN 结的形成	(14)
三、外加正向电压使 PN 结导通	(16)
四、外加反向电压使 PN 结截止	(18)
五、 PN 结的击穿	(19)
六、 PN 结电容	(20)
§ 1—3 晶体二极管	(21)
一、晶体二极管的结构和类型	(21)
二、二极管的伏安特性曲线	(22)
三、二极管的主要参数	(26)
§ 1—4 硅稳压管	(28)
一、硅稳压管的基本特性	(28)
二、硅稳压管的主要参数	(29)
§ 1—5 晶体三极管	(32)
一、晶体三极管的结构和主要类型	(32)

二、晶体管的电流分配关系	(36)
三、晶体管内部载流子的运动过程	(39)
四、晶体管的三种连接方式	(41)
五、晶体管的特性曲线	(45)
六、晶体管的主要参数	(50)
七、温度变化对晶体管参数的影响	(67)
§ 1—6 结型场效应管	(69)
一、结型场效应管的结构和工作原理	(70)
二、结型场效应管的特性	(74)
三、结型场效应管的主要参数	(79)
§ 1—7 金属—氧化物—半导体场效应管	(81)
一、增强型MOS场效应管的工作原理	(81)
二、耗尽型MOS场效应管的工作原理	(83)
三、MOS场效应管的特性曲线	(85)
四、MOS场效应管的主要参数	(89)
五、场效应管使用注意事项	(90)
§ 1—8 半导体光电器件	(91)
一、光电导器件	(93)
二、光生伏打器件——硅光电池	(98)
三、半导体发光器件	(101)
§ 1—9 半导体热敏电阻	(105)
一、热敏电阻的结构和类型	(105)
二、热敏电阻的基本特性	(107)
复习思考题	(111)

第二章 低频电压放大器 (115)

§ 2—1 最简单的交流放大电路	(116)
一、放大电路的基本组成部分	(116)
二、放大器的静态工作点	(117)

三、放大器中电压和电流的波形	(120)
四、放大电路的一般表示法	(121)
§ 2—2 放大电路的基本分析方法	(122)
一、放大电路的估算法	(123)
二、放大电路的图解分析	(128)
三、静态工作点与波形失真	(137)
四、外接负载对放大器工作的影响——交流负载线	(145)
§ 2—3 偏置稳定电路	(149)
一、晶体管参数随温度变化对静态工作点的影响	(149)
二、从固定偏置到电流反馈稳定电路	(153)
三、分压式电流负反馈稳定电路	(155)
四、电压反馈稳定电路	(160)
五、采用双管直接耦合的稳定电路	(162)
六、非线性元件的补偿法	(164)
§ 2—4 晶体管低频小信号等效电路	(167)
一、什么是晶体管低频小信号等效电路	(167)
二、晶体管 h 参数等效电路	(170)
三、晶体管 T 型等效电路	(174)
四、应用晶体管低频等效电路分析放大器	(177)
§ 2—5 阻容耦合多级放大器	(179)
一、放大器的输入电阻和输出电阻	(179)
二、阻容耦合放大器放大倍数的计算方法	(184)
三、放大器的动态范围	(188)
四、阻容耦合低频小信号放大器的设计	(193)
五、阻容耦合放大器的频率响应	(198)
§ 2—6 场效应管放大器	(201)
一、场效应管低频小信号等效电路	(201)
二、场效应管放大器的分析方法	(202)
三、设计场效应管放大器的要领	(205)

复习思考题	(207)
-------------	-------

练习题	(210)
-----------	-------

第三章 负反馈放大器	(214)
------------------	-------

§ 3—1 射极输出器	(215)
-------------------	-------

一、射极输出器的基本性能	(216)
--------------------	-------

二、静态工作点的计算	(217)
------------------	-------

三、电压放大倍数的计算	(218)
-------------------	-------

四、输入电阻和输出电阻	(218)
-------------------	-------

§ 3—2 负反馈的分类	(223)
--------------------	-------

一、电压串联负反馈	(224)
-----------------	-------

二、电流串联负反馈	(226)
-----------------	-------

三、电压并联负反馈	(230)
-----------------	-------

四、电流并联负反馈	(231)
-----------------	-------

§ 3—3 负反馈对放大器性能的影响	(233)
--------------------------	-------

一、负反馈使放大器放大倍数下降	(233)
-----------------------	-------

二、负反馈提高了放大倍数的稳定性	(235)
------------------------	-------

三、负反馈改善了放大器的频率特性	(236)
------------------------	-------

四、负反馈对放大器输入电阻和输出电阻的影响	(237)
-----------------------------	-------

五、负反馈对非线性失真的改善	(237)
----------------------	-------

六、负反馈对放大器内部噪声的抑制	(240)
------------------------	-------

§ 3—4 多级负反馈放大器	(241)
----------------------	-------

一、三级电压串联负反馈放大器	(242)
----------------------	-------

二、三级电压并联负反馈放大器	(243)
----------------------	-------

三、多级放大器怎样合理引入负反馈	(244)
------------------------	-------

§ 3—5 放大器的调整与测试	(246)
-----------------------	-------

一、静态工作点的测量和调整	(247)
---------------------	-------

二、输入交流信号时的测试	(248)
--------------------	-------

三、放大器中噪声的抑制	(252)
-------------------	-------

四、放大器中自激振荡的消除	(254)
§ 3—6 工程电路分析示例	(257)
一、读图的一般方法	(257)
二、晶体管万用表中的交流放大电路	(258)
三、电解电容测量仪	(262)
复习思考题	(264)
练习题	(266)

第四章 低频功率放大器

§ 4—1 功率放大器的特点	(271)
一、功率放大器的分类	(272)
二、极限工作区域	(273)
三、功率放大器的效率	(273)
四、功率放大器的非线性失真	(274)
§ 4—2 甲类单管功率放大器	(275)
一、典型电路的分析	(275)
二、甲类单管功率放大器的功率和效率	(278)
三、甲类单管功率放大器的一般设计步骤	(281)
§ 4—3 乙类推挽功率放大器	(284)
一、乙类推挽功率放大器的工作原理	(285)
二、乙类推挽功率放大器的图解分析	(287)
三、输出功率和效率	(289)
四、功率放大器的失真	(292)
五、乙类推挽功率放大器的设计	(294)
§ 4—4 无输出变压器的功率放大器	(296)
一、无输出变压器的功率放大器的特点	(296)
二、有输入变压器无输出变压器的功率放大器	(297)
三、互补对称电路 (OTL 电路)	(302)
四、无输出变压器功率放大器的设计	(311)

五、不用输出电容器的互补对称功率放大器 (OCL电路)	(316)
§ 4—5 晶体管的大功率运用	(317)
一、功率管的散热问题	(318)
二、由于过电压而引起的晶体管损坏	(320)
§ 4—6 工程电路分析示例	(321)
一、牡丹 942 型半导体收音机的低放电路	(321)
二、号筒式半导体扩音机电路	(322)
复习思考题	(324)
练习题	(326)

第五章 直流放大器 (328)

§ 5—1 直流放大器的特点	(328)
一、极间耦合方式	(329)
二、直流放大器的“零点漂移”	(333)
§ 5—2 分差放大器	(337)
一、分差放大器的基本原理	(337)
二、典型的对称分差放大器分析	(340)
三、采用晶体管恒流源的分差放大器	(344)
四、单端分差放大器	(346)
五、分差放大器的设计	(349)
六、具有共模负反馈的分差放大器	(352)
§ 5—3 直流放大器的装配与调试	(354)
一、抑制零点漂移的工艺措施	(354)
二、分差放大器的静态调试	(356)
三、分差放大器的动态调试	(357)
四、零点漂移的实验	(358)
§ 5—4 调制型直流放大器	(358)
一、什么是调制型直流放大器	(358)

二、调制器的工作原理	(359)
三、解调器的工作原理	(364)
§ 5—5 线性集成电路	(367)
一、集成电路的特点	(367)
二、线性组件BG305 电路分析	(368)
三、宽频带放大器 5G722 电路分析	(374)
§ 5—6 工程电路分析示例	(375)
一、数字电压表中的输入放大器	(375)
二、晶体管万用表中的直流放大器	(380)
三、直流电机调速系统中的直流放大器	(382)
复习思考题	(383)
练习题	(385)
后 记	(388)

第一章 常用半导体器件

§ 1—1 半导体的基础知识

“半导体”这个技术名词，早已是家喻户晓了。如今，半导体技术已经深入到人类生产和生活的各个领域。从小小的电子手表，到大型电子计算机；从家庭电视到工业电视；从电子秤到数控机床……形形色色的现代电子设备都离不开半导体器件。从这个意义上讲，电子工业的现代化就是半导体化。

平时，我们总要跟“电”打交道。从电的观点来看，可以把物质分成三大类：容易传导电流的物质，如银、铜、铝、铁等，称为导体；能够可靠地隔绝电流的物质，如橡皮、塑料、陶瓷、云母等，称为绝缘体；导电能力介于导体和绝缘体之间的物质叫半导体。常用的半导体有硅、锗、硒、砷化镓以及金属的氧化物和硫化物等等。

由于半导体不是很好的导电材料，又不是可靠的绝缘材料，所以在电工技术的发展史上，曾长期受到冷遇，它的“才华”一直被埋没着。直到最近三十年来，人们才发现了半导体的许多奇妙而可贵的特性。一九四八年制出了第一只晶体管，半导体初露锋芒，就显示了强大的生命力，展现出广阔的发展前景。在学习半导体器件之前，有必要了解一些半导体的基础知识。

一、半导体的奇妙特性

半导体独有的宝贵性能，主要表现在以下几个方面。

1. 半导体的电阻率对温度变化反应灵敏

大家知道，金属的电阻率随温度的变化比较小，并具有正的电阻温度系数。例如电工用铜，温度升高 1°C ，其电阻率仅增加 0.4% 左右，也就是说，温度升高 100°C ，电阻率还增加不到一半。而半导体的电阻率随温度变化极为明显，它具有负的电阻温度系数，温度升高，半导体的电阻率就迅速减小。例如纯锗，温度每升高 10°C ，它的电阻率就会减少到原来的一半左右。温度的细微变化，能从半导体电阻率的明显变化上反映出来。利用半导体对温度十分敏感的特性，制成了工业自动控制装置中常用的热敏电阻。利用热敏电阻可以测量出万分之一的温度变化。把热敏电阻装置在机器的各重要部位，就能集中控制和测量它们的温度。用热敏电阻做成的恒温调节器，可以把环境温度稳定在上下变化不超过 0.5°C 的范围内。利用热敏电阻还可以测量流量和真空度。在农业上，热敏电阻能准确地测出植物叶面和土壤的温度。它还能测量幅射，几百米远人体发出的热幅射，或一公里外的热源都能方便地测量。

图 1—1 示出了纯锗的电阻率与温度的关系。

2. 光照可以改变半导体的电阻率

金属的电阻率几乎不受光照的影响。可是，适当的光照却能使半导体的电阻率产生极为明显的变化，这种现象称为“光电导”。某些半导体材料的电阻率可以用光来控制，有光照时，电阻率很小；无光照时，电阻率很大。例如，工业自动控制上常用的光敏电阻，就是一个硫化

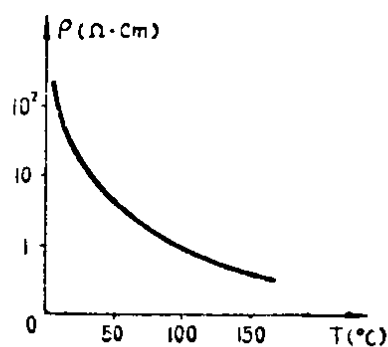


图 1—1 纯锗的电阻率与温度的关系

镉半导体薄膜。在没有光照时，电阻高达几十兆欧，受到光照时，电阻一下子下降到几十千欧，电阻值改变了上千倍。另一种硒化镉半导体，有光照和没有光照，电阻率的变化可达一万倍。具有这种光电导性质的材料还有铋化铟、硫化铅、硒化铅、碲化镉等。利用半导体的光电导特性，可以制成光敏电阻、光电二极管和光电三极管。应用这些光电器件可以实现路灯、航标灯的自动控制，制成火灾报警装置，可以进行产品自动计数，实现机器设备的安全保护等等。

光电器件对不可见光，如紫外线、红外线也能进行探测，在现代光通信技术中也扮演着重要的角色。

3. “杂质”赋予半导体强大的生命力

金属和绝缘体中，如果杂质含量不超过千分之一，它的电阻率变化是微不足道的。在纯净的半导体中，微量的杂质就会使它的电阻率发生极大的变化。例如，在纯硅中加入百万分之一的硼，其电阻率就会从214000欧姆·厘米一下子减小到0.4欧姆·厘米。正是这一点点“杂质”，使半导体获得了强大的生命力。人们正是通过掺入某些特定的杂质元素，人为地精确地控制半导体的导电能力，制造成不同类型的半导体器件。可以毫不夸张地说，几乎所有的半导体器件（如晶体二极管和三极管、可控硅、场效应管以及集成电路等），都是采用掺有特定杂质的半导体。

半导体对外界因素的变化为什么如此敏感呢？它跟导体和绝缘体究竟有什么本质上的不同呢？为了回答这些问题，我们必须深入到半导体的内部，了解它的导电特性的实质，掌握它的内在规律性。为此，我们先从原子的结构谈起。

二、从原子结构谈起

我们周围的世界是物质世界。存在于自然界的物质真是形

形形色色，五花八门。根据科学上的估计，宇宙间的物质不下一百万种。物质的种类这样繁多，形态、性质又各不相同，它们却都是由简单的化学元素构成的。到目前为止，人们已经发现和确定了自然界中有107种化学元素。由单一化学元素构成的物质叫单质，如硅、锗、硒、银、铜等都是单质；有些是由几种化学元素化合而成的，叫化合物，如砷化镓、氧化铜、碲化铋等都是化合物。

化学元素的最小微粒叫“原子”。原子的体积是极其微小的，就是用放大倍数最高的显微镜也不能观察到它。例如，最简单的氢原子，其直径约为一亿分之一厘米，小的程度简直难以想象，至于其它各种原子，也不过比氢原子大上几倍。

原子虽然这样微小，却具有复杂的结构。原子的中心都有一个“原子核”（其内部构造异常复杂，我们可以暂时不去研究），在原子核的周围有若干电子在一定的轨道上环绕原子核不停地旋转运动，这些围绕原子核运转的电子，好象太阳系中行星围绕太阳运转一样。不同的化学元素，其原子所具有的电子数目是不同的。原子核带有正电荷，电子带有负电荷。一个完整的原子，正电荷的数目刚好和负电荷的数目相等，互相中和，所以原子呈电中性。图1—2画出了铝、磷、硅原子的结构示意图。

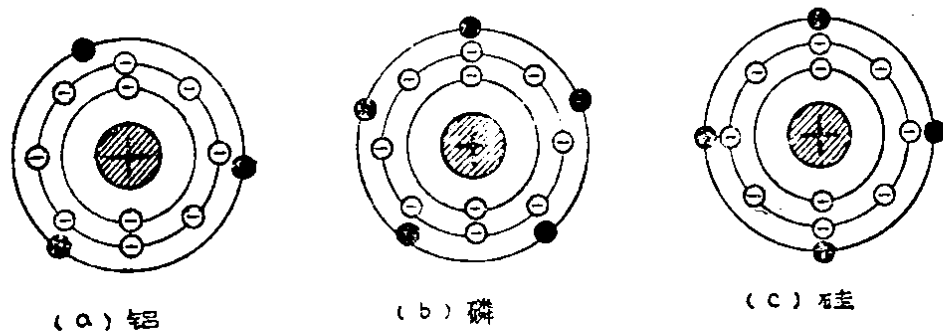


图1—2 铝、磷、硅原子结构示意图

在原子核的引力作用下，电子分几层按完全确定的轨道运转，而且各层容纳的电子数目也有一定的规律（注：电子的分布规律是，从最里层算起，第一层为2个，第二层为8个，第三层为18个……即按 $2n^2$ 的规律分布， n 为轨道层数）。

利用“化学元素周期表”，可以很方便地了解原子的结构。在周期表上，每一元素符号上方的数字叫“原子序数”，原子序数等于这种元素的原子所具有的电子总数。周期表的每一横列叫一个“周期”，元素所属的周期数就是该元素原子的电子轨道层数。例如锶原子的原子序数为32，表明锶原子有32个电子，它在第四周期，可知这32个电子分布在四层轨道上。周期表的每一竖行叫一“族”，族数等于最外层电子数。例如硼、铝、镓、铟在第三族，它们的原子最外层都有三个电子；硅、锗在第四族，最外层都有四个电子；磷、砷、锑、铋在第五族，最外层都有五个电子。

值得注意的正是原子最外层轨道上的电子，它们距离原子核比较远，受核的束缚力比较小，这一层的电子如果获得外来的能量，就比较容易挣脱原来的轨道，不再受原子的束缚而成为“自由电子”。我们把最外层的电子叫做价电子。在价电子层以下的内部电子，通常与原子核坚固地结合在一起，并不参加导电过程。物质的导电性能只取决于价电子的数目。根据原子理论，原子最外层轨道上的电子达到8个是最稳固的。各种化学元素的导电程度大致由以下条件决定：①原子的价电子少于四个的是良导体；②原子的价电子多于四个的是不良导体（绝缘体）；③原子的价电子等于四个的是半导体。金属原子的特点是都具有不稳固的价电子，它们在常温下就会脱离自己的轨道成为自由电子。这些自由电子在电场力的作用下，做有规则的运动就形成了电流。绝缘体的特点是价电子紧紧地束缚在自