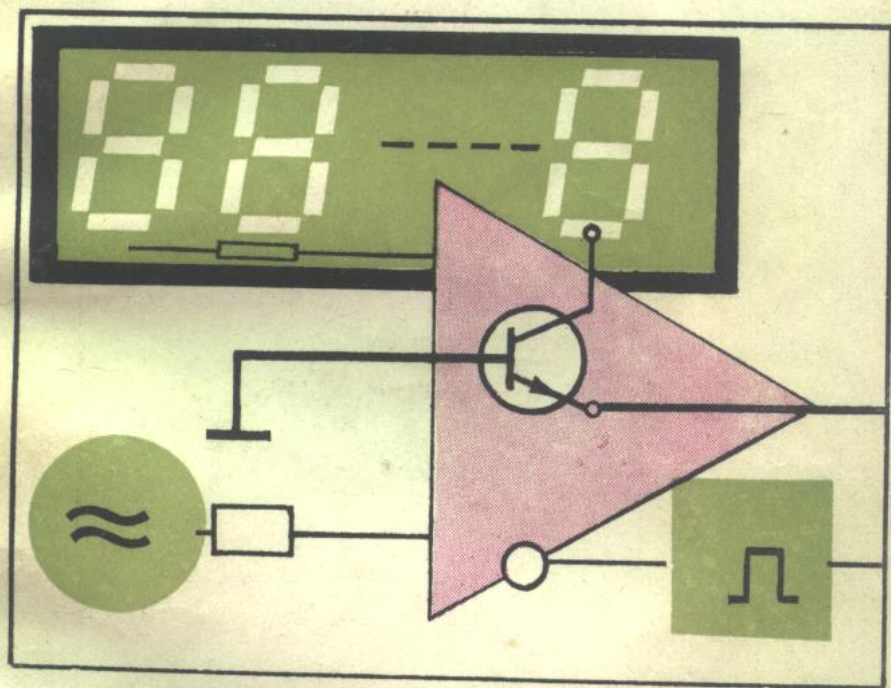


现代电子学基础

XIANDAI DIANZIXUE JICHU

[联邦德国] G.W. 史耐尔 著 熊同舟 译

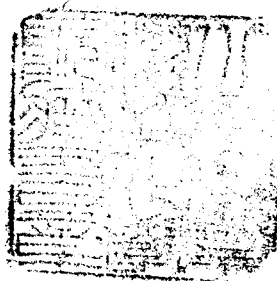


高等教育出版社

现代电子学基础

[联邦德国] G. W. 史耐尔 著

熊同舟 译



高等教育出版社

内 容 简 介

本书是根据联邦德国工学博士 Gerhard W. Schnell 教授著 Elemente der Elektronik (Franzis 出版社 1978 年第一版) 译出的。本书取材简炼扼要, 叙述浅显易懂, 用较小的篇幅分三部分分别论述现代电子学的三个重要领域: 晶体管、运算放大器和数字技术。译本可供大专院校电类专业学生参考, 也可作为工程技术人员和业余自学读者的基本读物。

ES32/29

现代电子学基础

〔联邦德国〕 G. W. 史耐尔 著

熊同舟 译

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民邮电出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 9.5 字数 230,000

1983 年 11 月第 1 版 1984 年 10 月第 1 次印刷

印数 00,001—12,680

书号 15010·0550 定价 1.80 元

译者的话

本书包含晶体管技术、运算放大器技术和数字技术三部分。这也是现代电子学的三个重要领域。读者具备这些方面的知识，就有可能去解决有关的一些实际问题。

在晶体管技术部分，作者简要介绍电子和空穴导电后，详细讲述了晶体管放大器的原理和计算方法，并且介绍了晶体管开关原理和简要的使用方法；在运算放大器部分，讲述了运算放大器的基本原理、用途和调节技术；在数字技术部分，讲述了各种逻辑门的功能、触发器、数模和模数转换器以及微处理器的工作原理。

本书直接引用了一些电子器件等效电路和现成公式，所以要求读者预先具备一定的电路知识。

本书取材简练扼要、叙理浅显易懂，主要对象是大专院校有关专业的学生、工程技术人员以及业余自学读者。

原书有些排误、笔误，凡已发现的，都已作了订正，不一一注明。

译者对张申柯、冯志彪、宋惠忠、唐九妹等同志表示感谢，他们分别参加了部分内容的初译工作或对技术名词进行了校对。译者对高等教育出版社农植伟同志表示感谢，他曾对译稿提出许多有价值的修改意见。最后，对协助誊写的一些同志们谨表谢意。

译者：熊同舟

1983·3·于上海，同济大学

前 言

书籍的前言都是类似的,所以很少被人阅读。因此,作者以紧凑的形式把最重要的几点写在下面:

本书提供了什么材料?

本书向电气工程师提供弱电——电子学领域内的现代基础知识。

全书目录详尽地表明了作者的构思。下页圆形扇面图解则给出了一个梗概。

本书是供谁使用的?

本书适用于大专院校电气工程专业的学生,工程技术人员训练班的成员和自学读者。

本书有什么特点?

本书的三个部分:晶体管、运算放大器和数字技术,能使读者获得基本的总体概念。

书中插入提示和补充问题,为的是启发读者的积极配合。

书中所有线路均在法兰克福专科高等学校电子学实验室经过技术上和教学方法方面的仔细检查和考验。构成这些线路只需要标准元件。

怎样使用这本书?

不管是坐在沙发上翻阅,或者是对照实际线路阅读,都应该经常准备黑色和彩色铅笔对本书作出旁注,或勾画出重点。敬爱的读者,这样才成为您自己的书。

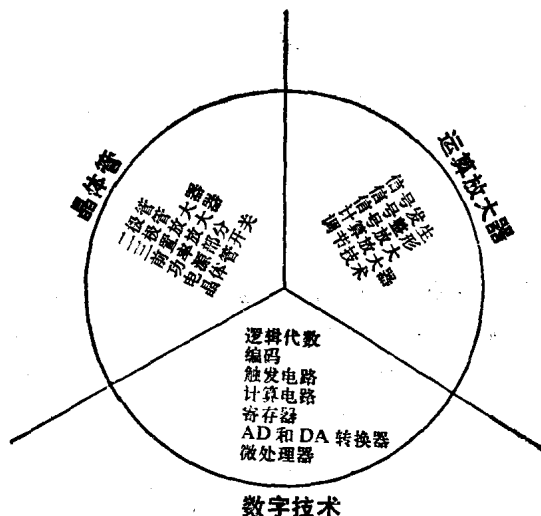
如果有问题、建议和批评怎么办?

请写信告诉作者。

最后,要感谢彭德舒教授和卡马鲁教授的帮助,他们纠正了本书的一些错误。同时也感谢参加对线路进行校验的大学生们。

还应该感谢为出版本书耐心细致工作的出版社的同事们。

G. 史耐尔



郑重声明:

本书所给出的线路和操作方法, 不考虑专利权益。这些线路和操作方法只对业余爱好者和学习有用, 不能直接用于工业上。

本书中所有线路和技术数据都经过作者悉心设计编排, 并且做出实际电路在通电状态下进行了检查。尽管如此, 错误仍然在所难免。出版社为此不得不指出, 对于引用可能含有错误的数据而引起的后果, 不能证保和承担法律义务或任何责任。作者和出版社对于指出本书错误的信函, 随时都表示感谢。

目 录

第一篇 晶 体 管

第一章 半导体基础	1
1.1 硅	1
1.2 掺杂导电	2
1.2.1 电子导电	3
1.2.2 空穴导电	3
第二章 两个二极管 + 一个技术措施 = 三极管	5
2.1 二极管(pn 结)	5
2.2 三极管(npn 结)	7
第三章 晶体管放大器	10
3.1 特性曲线	10
3.2 工作点的位置	17
3.2.1 前置放大器	17
3.2.2 中间级和推动级	17
3.2.3 输出级	19
3.3 等效电路和 h 参数	19
3.4 基本电路的动态工作参数	21
3.4.1 共发射极电路	23
3.4.2 共集电极电路	30
3.4.3 两个三极管组成一个复合三极管	35
3.4.4 共基极电路	38
3.5 负反馈	41
3.5.1 非线性失真	41
3.5.2 失真系数	42
3.5.3 负反馈和失真系数	43
3.5.4 截止频率	45
3.5.5 负反馈的实现(电流负反馈)	45

3.6 输出级和它的推动级	49
3.6.1 原理	49
3.6.2 线路概要	51
3.6.3 理想推挽输出级的工作参数	53
3.6.4 实际输出级的功率	56
3.6.5 推动级	59
第四章 放大器计算的补充知识	61
4.1 多级放大器	61
4.2 电源设备	66
4.3 必需的放大器功率	68
4.4 允许的失真系数	70
4.5 半集成和全集成放大器	71
第五章 晶体管开关	74
5.1 开关是怎样换接的?	74
5.2 开关时间	79
5.3 晶体管开关的损耗功率	80
5.4 接通电阻性负载和接通电感性负载的开关	81
参考文献目录	85

第二篇 运算放大器

第一章 差动放大器 + 输出级 = 运算放大器	87
1.1 差动放大器	88
1.2 输出级	95
1.3 完整电路	95
1.4 频率响应	97
第二章 利用运算放大器进行信号放大	100
2.1 反相放大器	100
2.2 同相放大器	103
2.3 减法放大器	105
2.4 具有整流器的放大器	106
第三章 利用运算放大器进行信号发生和成形	110
3.1 阈值开关	110

3.1.1 正的转换阈值	110
3.1.2 负的转换阈值	111
3.1.3 对称于零的转换阈值	113
3.2 多谐振荡器	115
3.3 正弦波发生器	117
3.4 有源滤波器	123
3.4.1 低通滤波器	123
3.4.2 高通滤波器	132
3.4.3 带通滤波器和带阻滤波器	133
第四章 运算放大器用作计算放大器	139
4.1 积分器	139
4.2 微分器	143
4.3 对数器	146
4.4 乘法器	148
第五章 小型1×1调节技术	158
5.1 调节原理	158
5.2 调节回路各环节的时间响应	160
5.2.1 调节对象	162
5.2.2 连续调节器	164
5.3 频率响应方程和波特图	167
5.4 调节回路的响应	172
5.4.1 导引响应和干扰响应	172
5.4.2 稳定性	174
5.5 调节回路举例: 光阑调节	176
5.5.1 调节装置	176
5.5.2 调节对象的频率响应	177
5.5.3 P调节	177
5.5.4 I调节	179
5.5.5 PI调节	180
参考文献目录	182

第三篇 数 字 技 术

第一章 逻辑功能	184
-----------------------	------------

1.1 组件: 与门、或门、与非门、或非门、非门	184
1.2 运算规则: 开关代数	186
1.3 从真值表到逻辑电路	188
1.3.1 最小项	188
1.3.2 卡诺图	189
1.4 电路的变换	192
1.4.1 图解变换法	192
1.4.2 开关代数变换法	193
1.4.3 门电路工艺	195
1.5 组合逻辑电路	198
1.5.1 编码和译码	198
1.5.2 多路选择器和多路分配器	207
1.5.3 ROM、PROM 和 PLA	211
第二章 触发电路	217
2.1 各种触发器	217
2.1.1 RS触发器	217
2.1.2 同步RS触发器(RST触发器)	220
2.1.3 主从JK触发器	221
2.1.4 动态JK触发器	223
2.1.5 D触发器	225
2.1.6 T触发器(2:1触发器)	226
2.2 单稳态触发器	228
2.3 多谐振荡器	231
第三章 逻辑电路+触发电路=数字技术	234
3.1 出发点: 一串触发器	234
3.2 移位寄存器	234
3.3 可读写的存储矩阵(RAM)	237
3.4 $1+1=10$ (计算电路)	238
3.4.1 引言	238
3.4.2 二进制运算	239
3.4.3 加法器	240
3.5 计数器和分配器	245
3.5.1 概要	245

3.5.2 异步正向计数器	245
3.5.3 异步正向/反向计数器	249
3.5.4 异步预选计数器	251
3.5.5 同步计数器	253
3.5.6 时钟装置的研究	255
3.5.7 频率测量装置的研究	260

第四章 模拟和数字两个领域之间的联系: AD 和 DA转换器

.....	264
4.1 概要	264
4.2 DA转换器	268
4.3 AD转换器	271
4.3.1 计数法	271
4.3.2 称量法	274
4.3.3 单斜法	275
4.3.4 双斜法	275

第五章 算术逻辑部件+控制部件+寄存器=微处理器

.....	279
5.1 引言	279
5.2 微计算机的功能图	280
5.3 微处理器的功能图	282
5.4 信号和指令	284
5.4.1 控制信号	284
5.4.2 指令	285
5.5 微处理器的程序设计	289
5.5.1 数据的写入和读出	290
5.5.2 加法和减法	289
5.5.3 逻辑操作	291

参考文献目录	293
---------------------	------------

第一篇 晶 体 管

第一章 半导体基础

1.1 硅

大多数半导体元件的主要材料是硅，它是地球上含量占第二位的元素，仅次于氧。

有十四个电子围绕着硅原子核旋转，两个在最内层，八个在次内层，四个在最外层(图1)。最外层的四个电子(价电子)很容易被取走，所以硅是四价的。而另一方面，硅原子的最外层又有再接纳四个电子的倾向，从而达到能量稳定的状态[1]。

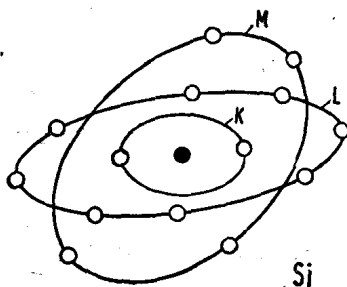


图1 硅原子的模型

由此可见，硅原子是这样互相结合：它通过借用相邻原子的电子组成共价键，使每个原子的外层有八个电子，如图2所示。现在可以用共价键说明硅的导电性，由于价电子已用于晶体结合，因而可以想象，这时没有多余的电子可供导电之用，所以硅是绝缘体。这一结论至少在很低温度下是正确的（金属在很低温度下仍是导电的）。

在室温下，由于热运动使硅晶体的排列出现轻微的不规则状态，从而呈现很低的电导率（参见图3）。我们称这种性质的导电为本征导电（intrinsic conduction）。由于硅介于绝缘体和导体

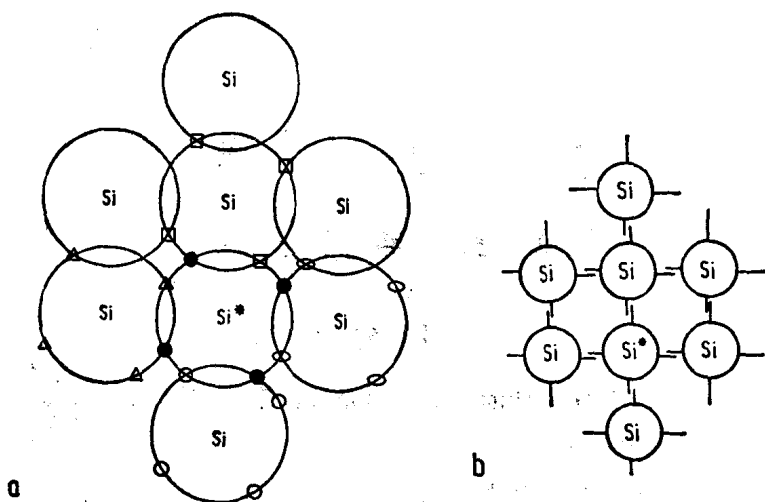


图2 硅原子相结合的示意图: a) 外电子层及其电子。中央的一个硅原子 Si^* 有四个自己的电子和四个借用的电子; b) 简化示意图。图中每个小臂表示一个价电子。

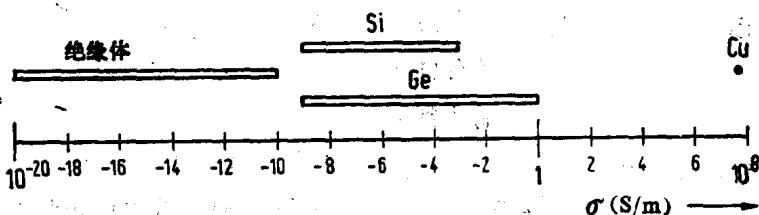


图3 某些材料在室温下的电导率 σ

之间, 因此称为半导体。

以上所述, 原则上也适用于锗。

1.2 掺杂导电

硅晶体中掺入杂质以后才会出现引人注意的导电性能。对于这一点, 下面就将加以说明。说明时将涉及到前面的简化示意图 2b。

1.2.1 电子导电

把硅和五价元素例如砷(As)一起熔炼(参见图 4), 如果所选择的混合物的比例为 1:10000, 那么在晶体结构中每 10000 个硅原

化 合 价	1	2	3	4	5	...
价电子	1					
层编号	2					
	3			Si		
	4		Ga	Ge	As	
	5		In		Sb	
	6					

图 4 本表摘自元素周期表

子就有一个砷杂质原子, 这时砷的第五个价电子不再用作相结合, 而作为自由电子可供导电之用。如图 5 所示, 这个价电子在电场作用下由“—”向“+”移动。这种导电称为 n 型导电, 或称为电子导电。

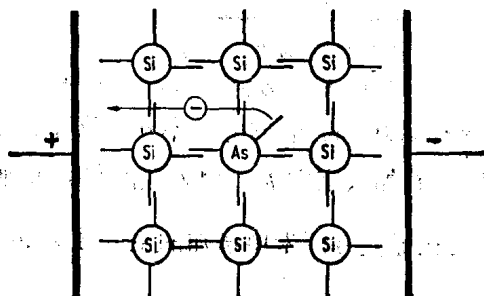


图.5 电子导电

1.2.2 空穴导电

在硅中掺入某种三价元素例如镓(Ga) (参见图 4), 则在共价键中形成了一个空位即空穴(图 6)。在外电场的作用下, 邻近的电子跳入这个空穴, 于是在这个电子的原处又出现一个新的空穴,

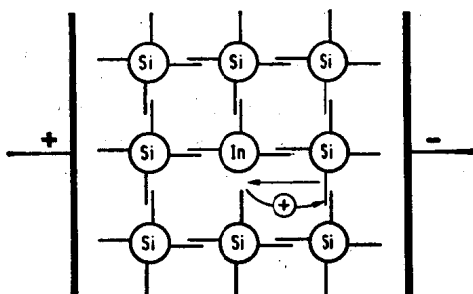


图6 空穴导电

如此等等。我们约定,把这种导电方式看作是空穴的移动,并且认为空穴是正的载流子 p ,它由“+”向“-”移动。因此这种导电方式称为 p 型导电,或者称为空穴导电。

数字例题(图7):

		Si	Ge	Cu
$n=p$	cm^{-3}	1.5×10^{10}	2.4×10^{13}	8.4×10^{23}
原子数	cm^{-3}	5×10^{23}	4×10^{23}	8.4×10^{23}
σ	S/m	1.6×10^{-3}	2	5.7×10^7

图7 某些纯净材料的数据。 n, p ——载流子浓度

(n 为电子数, p 为空穴数); σ ——电导率

在纯硅中掺入 $1:10^6$ 的钢,问电导率 σ 提高了多少倍?

掺入钢就意味着加入空穴 p_1 。因为硅的每立方厘米中有 5×10^{23} 个原子,因此在每立方厘米中增加的空穴数为 $p_1 = \frac{1}{10^6} \times 5 \times 10^{23} = 5 \times 10^{16}$ 个,所以

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{p+n+p_1}{p+n} = \frac{1.5 \times 10^{10} + 1.5 \times 10^{10} + 5 \times 10^{16}}{1.5 \times 10^{10} + 1.5 \times 10^{10}} \approx 1.7 \times 10^6$$

即这个 p 型半导体的电导率 σ 提高了1700000倍。

第二章 两个二极管 + 一个技术措施 = 三极管

2.1 二极管(pn 结)

半导体二极管, 是一个以半导体为基础的电气整流管, 在前一章所学内容的基础上而不需补充, 就能理解其工作原理。把一块 p 型晶体和一块 n 型晶体紧密地相结合在一起, 并且在每块晶体后面固接一个金属电极, 这就组成了一个半导体二极管(图8)。

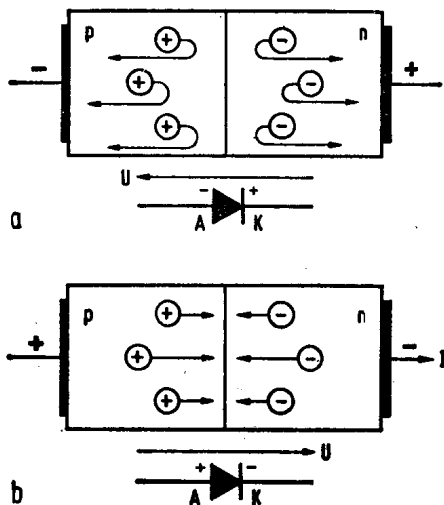


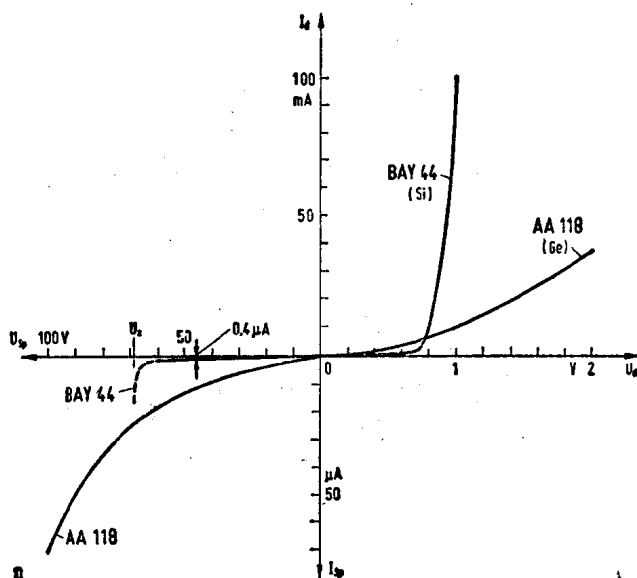
图8 pn 结。a) 截止; b) 导通

截止 在金属的 n 电极上接正电压, p 电极上接负电压(图8a)。根据静电学定律, 负的 n 型载流子(即电子)受到正电极的吸引; 与此相应, 正的空穴受到负电极的吸引。因为在临阈区缺少载

流子, 所以没有电流通过。

导通 在 n 电极上接负电压, p 电极上接正电压。这时电子受到负电极的推斥, 并且还受到对面正电极的吸引, 于是电子流向临阈区; 与此相应, 空穴也流向临阈区(图 8b)。临阈区充满着两种异号的载流子, 每个空穴与一个电子经复合而消失, 这样又为继之而来的空穴与电子提供复合的场所。因此, 电路中就有了一个较大的电流。

图 9 所示是二极管的特性曲线。硅二极管有一个引人注目的性质, 就是它的反向特性曲线在电压 U_z 处突然弯折向下。这是可以复现的效应, 能够用来产生精确的基准电压。采用这类二极管 (Z 二极管*) 可以获得多种不同的电压 U_z 。



* Z 二极管即齐纳二极管, 常作为稳压用。——译者