

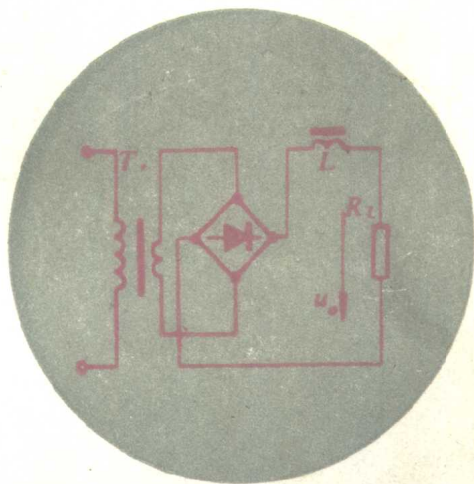


高等教育基础课教材

电 工 电 子 学

第二册 电子技术

庄效桓 谢冠虹 编



北 京 工 业 学 院 出 版 社

电 工 电 子 学

第二册 电子技术

庄效桓 谢冠虹 编

北京工业学院出版社

内 容 简 介

本书系北京工业学院出版社出版的一整套高等教育基础课教材之一。全书分三册出版。第一册是电路基础，内容有电路的基本概念和基本定律；直流电路的分析；正弦交流电路；三相交流电路；电路中的过渡过程。第二册是电子技术，内容有半导体二极管及其应用；交流放大电路；正弦波振荡电路；直接耦合放大电路；集成运算放大器；脉冲数字电路；可控硅整流电路。第三册是电机基础，内容有磁路与变压器；直流电机；异步电动机；控制电器及控制电路。

本书叙述详尽，通俗易懂；每章均有小结和辅导；例题和习题也较完整，书后附有习题答案；章后有自我测验题。这是一本便于自学的书籍。

本书可作高等工科院校和自学函授非电专业《电工学》课程教材，也可供工程技术人员参考。

电 工 电 子 学 第二册 电 子 技 术 庄效桓 谢冠虹 编

北京工业学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

三河县中教印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 20.375印张 456千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

ISBN 7-81013-034-X/TM·1

印数：1—8,000册 定价：3.35元

本书常用符号说明^①

A	可控硅的阳极
A_U	放大电路的电压放大倍数
A_{Uf}	反馈放大电路的电压放大倍数
A_d	差模电压放大倍数
A_e	共模电压放大倍数
B	半导体三极管的基极、单结晶体管的基极
BT	单结晶体管
BU_{CEO}	三极管基极开路，集电极—发射极间反向击穿电压
C	三极管的集电极，可控硅的阴极
$CMRR$	共模抑制比
D	二极管，场效应管的漏极
D_Z	稳压二极管
E	三极管的发射极，单结晶体管的发射极
E_s	信号源电势
F	反馈系数
f_L	放大电路的下限频率
f_H	放大电路的上限频率
f_c	三极管共发射极截止频率
f_T	三极管的特征频率
f_0	振荡电路的振荡频率
G	场效应管的栅极，可控硅的控制极
g_m	场效应管共源极小信号低频跨导
$i_B^{(2)}$	三极管基极总电流的瞬时值
I_B	三极管基极静态电流或基极直流电流

i_b	三极管基极电流交流分量的瞬时值
I_b	三极管基极电流交流分量的有效值
I_{bm}	三极管基极电流交流分量的最大值
I_{CBO}	三极管集电极—基极反向饱和电流
I_{CEO}	三极管穿透电流
I_{CM}	三极管集电极最大允许电流
I_D	二极管电流, 场效应管的漏极电流
I_{DSS}	场效应管的饱和漏极电流
I_F	可控硅的额定正向电流
I_{GT}	可控硅控制极触发电流
I_H	可控硅维持电流
I_i	输入电流
I_o	输出电流
I_{OM}	二极管最大允许整流电流
I_P	单结晶体管的峰点电流
I_R	二极管的反向电流
I_s	信号源电流
I_V	单晶体管的谷点电流
I_Z	稳压管的稳定电流
I_{ZM}	稳压管的最大稳定电流
N	电子型半导体, 绕组匝数
P	空穴型半导体
P_{CM}	三极管集电极最大允许耗散功率
PFU	可控硅的正向阻断峰值电压
PRU	可控硅的反向阻断峰值电压
Q	放大电路的静态工作点, 谐振电路的品质因数
r_{be}	三极管的输入电阻
r_{ce}	三极管的输出电阻
r_i	放大电路的输入电阻

r_o	放大电路的输出电阻
R_L	负载电阻
R_s	信号源内阻
R_Z	稳压管的动态电阻
S	场效应管的源极
SCR	可控硅
T	半导体三极管, 场效应管
$u_{BE}^{(9)}$	三极管基—射极总电压的瞬时值
U_{BE}	三极管基—射极直流电压
u_{be}	三极管基—射极电压交流分量的瞬时值
U_{be}	三极管基—射极电压交流分量的有效值
U_{bem}	三极管基—射极电压交流分量的最大值
U_{BO}	可控硅的正向转折电压
U_f	反馈电压
U_{GT}	可控硅控制极触发电压
U_i	输入电压
U_o	输出电压
U_P	场效应管的夹断电压, 单晶体管的峰点电压
U_{RM}	二极管的最高反向电压
U_{RO}	可控硅的反向转折电压
U_T	增强型场效应管的开启电压
U_V	单晶体管的谷点电压
U_Z	稳压管的稳定电压
α	可控硅的控制角
α_{VZT}	稳压管的电压温度系数
$\bar{\beta}$	三极管共发射极直流电流放大系数
β	三极管交流电流放大系数
η	效率
θ	可控硅导通角

注①符号意义与第一册书相同的一般不再说明。

②三极管集电极电流、发射极电流的表示方法与基极电流相同。如 i_c 表示集电极总电流的瞬时值， I_c 表示集电极静态电流（直流分量）， i_c 表示集电极电流交流分量的瞬时值等。

③三极管集—射极电压的表示方法与基—射极电压相同。如 u_{ce} 表示集—射极总电压的瞬时值， u_{CE} 表示静态值（直流分量）， u_{ce} 表示交流分量的瞬时值等。

④本册书中电压和电位均用 U 表示。

目 录

第六章 半导体二极管及其应用	(1)
概述	(1)
§6-1 半导体的导电特性	(2)
§6-2 PN 结及其特性	(14)
§6-3 半导体二极管	(25)
§6-4 含有二极管的直流电路的分析	(31)
§6-5 整流电路	(36)
§6-6 滤波电路	(53)
§6-7 稳压管及其稳压电路	(65)
§6-8 二极管的应用举例	(72)
本章小结和辅导	(78)
习题	(84)
自我测验题	(89)
第七章 交流放大电路	(92)
概述	(92)
§7-1 半导体三极管	(94)
§7-2 基本交流放大电路的组成	(112)
§7-3 基本放大电路的图解分析法	(114)
§7-4 放大电路的微变等效电路分析法	(141)
§7-5 放大电路静态工作点的稳定	(157)
§7-6 阻容耦合多级放大电路	(169)
§7-7 放大电路的频率特性	(177)
§7-8 放大电路中的负反馈	(185)

§7-9 射极输出器	(208)
§7-10 变压器耦合功率放大电路	(218)
§7-11 无变压器的功率放大电路	(232)
§7-12 结型场效应管	(240)
§7-13 绝缘栅场效应管	(251)
§7-14 场效应管放大电路	(258)
§7-15 交流放大电路应用举例	(265)
本章小结与辅导	(269)
习题	(276)
自我测验题	(282)
第八章 正弦波振荡电路	(286)
概述	(286)
§8-1 自激振荡	(287)
§8-2 RC 振荡电路	(291)
§8-3 LC 振荡电路	(297)
本章小结和辅导	(306)
习题	(307)
自我测验题	(309)
第九章 直接耦合放大电路	(311)
概述	(311)
§9-1 直接耦合放大电路出现的问题	(313)
§9-2 差动放大电路	(324)
§9-3 差动放大电路性能的改进	(345)
§9-4 具有放大环节的串联反馈式稳压电路	(351)
本章小结和辅导	(367)
习题	(369)
自我测验题	(371)
第十章 集成运算放大器	(374)
概述	(374)

§10-1 线性集成电路的介绍.....	(375)
§10-2 基本运算放大器.....	(385)
§10-3 运算放大器的基本应用.....	(397)
本章小结和辅导	(402)
习题	(403)
自我测验题	(407)
第十一章 脉冲数字电路	(410)
概述	(410)
§11-1 半导体管的开关特性.....	(412)
§11-2 分立元件门电路.....	(426)
§11-3 TTL 集成门电路	(442)
§11-4 MOS 集成门电路	(459)
§11-5 逻辑代数.....	(465)
§11-6 组合逻辑电路.....	(474)
§11-7 双稳态触发器.....	(483)
§11-8 寄存器.....	(508)
§11-9 计数器.....	(514)
§11-10 译码器和数码显示电路	(530)
本章小结和辅导	(543)
习题	(548)
自我测验题	(559)
第十二章 可控硅整流电路	(564)
概述	(564)
§12-1 可控硅.....	(565)
§12-2 可控整流电路.....	(571)
§12-3 单结晶体管触发电路.....	(590)
§12-4 可控硅的选择和保护.....	(601)
本章小结和辅导	(608)
习题	(610)

自我测验题	(613)
附录	(615)
附录一 半导体器件型号命名方法	(615)
附录二 常用半导体器件的主要参数	(618)
附录三 半导体集成电路型号命名方法	(630)
附录四 电阻器、电解电容器的标称值	(633)
学时安排(参考)	(635)
部分习题和自我测验题答案	(636)
参考书目	(640)

第六章 半导体二极管及其应用

概 述

内 容 提 要

在电子技术中广泛使用半导体制造各种电子器件，例如二极管、三极管、场效应管、可控硅等都是用半导体材料制成的。

用特殊的工艺在半导体中形成的 PN 结是构成这些半导体器件的基础。了解 PN 结的特性是我们认识许多半导体器件工作原理的前提。所以本章首先介绍半导体的导电特性， PN 结的形成和特性。在此基础上介绍二极管、稳压管的特性和参数以及简单二极管电路的分析方法。然后以小型直流稳压电源为例来介绍二极管和稳压管的应用，本章最后还举例介绍了二极管在其它方面的应用。

本 章 要 求

1. 深入了解 PN 结的形成和特性。
2. 对于二极管和稳压管应着重了解其伏安特性和参数。
3. 掌握分析非线性电路的基本方法——图解法。
4. 了解各种单相整流电路的组成和工作原理，并能根据负载的要求选用二极管、确定变压器的变比和容量。
5. 掌握电容滤波电路的原理和特点，并能选用电路元件。
6. 掌握硅稳压管稳压电路的工作原理。

学习本章内容时应注意本章与电路基础部分的区别和联系。本书第一册电路基础部分介绍了线性电路的分析方法。二极管是非线性元件，含二极管的电路是非线性电路。因此线性电路中的一些定理和分析方法不能机械地搬到非线性电路中来。但是反映电路基本规律的克希荷夫电流定律（KCL）和克希荷夫电压定律（KVL）在非线性电路中仍是适用的。根据电路的这一基本规律，考虑到非线性元件的伏安特性，我们就可得出分析非线性电路的一种基本方法——图解法。

§6-1 半导体的导电特性

物质按其导电能力的差别可以分为导体、半导体和绝缘体三类。铜、铝和银等金属的导电性很好，它们都是导体。橡胶、云母和塑料等物质几乎不导电，它们都是绝缘体。半导体材料的导电性介于导体和绝缘体之间。

在自然界中属于半导体的物质有很多种，但用来制造半导体器件的材料目前主要有硅（Si）、锗（Ge）和砷化镓（GaAs）等。

这些半导体在电子技术中之所以得到广泛应用并不在于它们的导电性介于导体和绝缘体之间，而是因为它们的导电性会随外界条件的不同发生明显的变化，並可以人为地加以控制。这种独特的导电性表现在

（1）热敏性 一些半导体对温度的反应很灵敏，其导电能力随环境温度升高而明显增强。利用这种特性可以做成各种热敏元件。

（2）光敏性 一些半导体在受到光照时，导电能力也

明显增强。利用这种特性可以制成各种光敏元件。

(3) 掺杂性 在纯净的半导体中掺入微量的杂质,就可以使它的导电能力大大增加。利用这一特性可以制成各种半导体器件。

半导体为什么具有这些独特的导电性呢?这是由它内部的原子结构和原子与原子之间的结合方式所决定的。一种物质能否导电就看其内部有无可以自由移动的带电粒子,这种带电粒子常被称为载流子。下面我们先讨论半导体的原子结构和载流子的形成。

一、半导体的共价键结构

根据原子物理的理论,原子是由带正电的原子核和分层围绕原子核旋转的电子组成的。原子核所带的正电荷量与所有电子的负电荷量相等,整个原子保持电中性。元素周期表中的原子序数就是单个原子中的电子数。

硅的原子序数是14,即硅原子中有14个电子。锗的原子序数是32,锗原子中有32个电子。这两种原子的结构如图

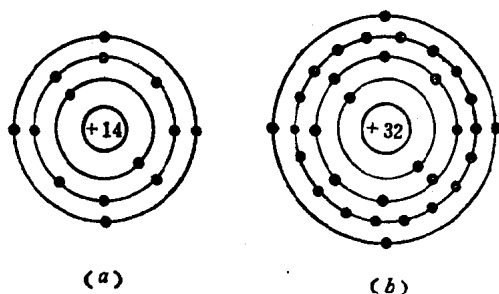


图6-1-1 硅和锗的原子结构

(a) 硅Si (b) 锗Ge

6-1-1 (a) 和 (b) 所示。原子中最外层的电子数决定这一元素的化学性质，这些外层电子称为价电子。硅和锗原子的最外层都有四个价电子，它们都是四价元素。由于内层电子受原子核的束缚很紧，一般不能参与导电。所以在分析硅和锗的导电性能时，我们可以把硅和锗的原子结构简化成图 6-1-2 所示的形式，即把内层电子和原子核看作一个整体（称为惯性核），它的净电量为原子核的正电荷量和内层电子的负电荷量的代数和。对硅和锗而言，惯性核的电荷量都是正四个电子电荷量（ $+4q$ ）

物质根据原子（或分子、离子）的排列形式可分为晶体和非晶体两类。原子（或分子、离子）有规则排列的物质称为晶体。硅和锗都是晶体，所以半导体管也称为晶体管。按照整块晶体内部各部分的排列方向是否完全一致，晶体又可以分为单晶和多晶两种。制造半导体器件必须采用单晶。硅或锗的晶体结构如图 6-1-3 所示。

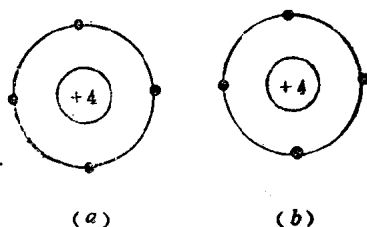


图 6-1-2 硅和锗的原子结构简图

(a) 硅 (b) 锗

硅（或锗）原子形成晶体后，原子之间靠得很近，在相邻的两个原子中，每个原子最外层的一个价电子既受到自身

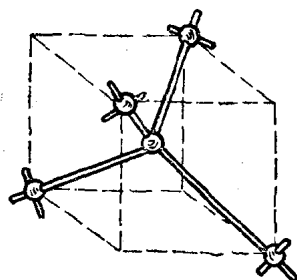


图6-1-3 硅或锗的晶体结构

原子核的吸引作用，又受到相邻原子的原子核的影响。它们不再属于某一个原子，而是在两个相邻原子的公共轨道上运转，即为两个原子所共有。这就是晶体中的共价键结构。这样，每个硅原子分别与周围四个相邻的硅原子组成四对共价键，包含四对共有电子，使原子外层具有八个电子，而成为比较稳定的状态。硅晶体的共价键结构如图6-1-4所示。

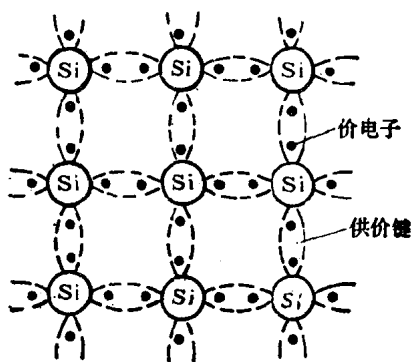


图6-1-4 硅晶体的共价键结构

二、本征半导体

本征半导体是指纯净的没有结构缺陷的半导体单晶。由于半导体共价键中的价电子受到两个原子核引力的共同作用，如果得不到足够的能量就不能脱离公共轨道，我们把这些价电子称为束缚电子。因此，在绝对零度（ $T=0\text{K}$ ， $t=-273.15^\circ\text{C}$ ）和没有外界激发时，共价键中的价电子都不能挣脱共价键的束缚，也就不能自由移动。这时本征半导体中没有载流子，它就象绝缘体一样，是不导电的。但在常温下（一般指 $t=25^\circ\text{C}$ ）情况就不同了。由于常温比绝对温度零度高得多，原子都处于不停的热运动之中。一些极少数的电子就有可能获得足够的能量，挣脱共价键的束缚成为自由电子。每当有一个电子脱离共价键就会在共价键中留下一个空位，我们把这个空位称为空穴。可见在本征半导体中自由电子和空穴总是成对出现的，如图 6-1-5 所示。由于原子原

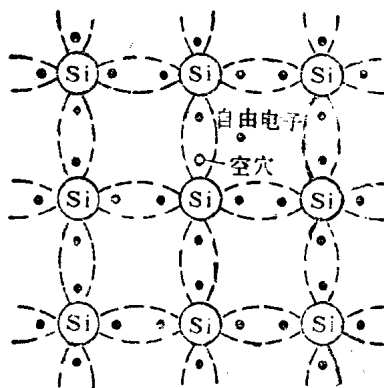


图6-1-5 自由电子和空穴的形成