

高校课程 **学练考** 系列丛书

电子技术基础 (模拟部分)

学 练 考

Learn **P**ractise **E**xamine

学练考

何光明 丛书主编
吴 金 本书主编

- ▶ 学·练·考三维辅导
- ▶ 知识要点一目了然
- ▶ 重点难点剖析透彻
- ▶ 典型例题解答点评
- ▶ 主流教材习题精解
- ▶ 学习效果两级训练

学练考



高校课程学·练·考系列丛书

电子技术基础(模拟部分)学·练·考

何光明 丛书主编
吴 金 本书主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据电子技术基础(模拟部分)的课程教学大纲、硕士研究生入学考试的基本要求,在作者多年教学实践的基础上完成的。

本书首先简单介绍了半导体器件的基础知识,然后重点分析了单极放大电路、多级放大电路和集成运放电路,包括电路组成结构、工作原理和性能参数计算方法。在此基础上,系统讨论了负反馈电路、信号处理电路、振荡电路和电源电路等基本功能电路的分析和设计方法。各章均按知识结构图、疑难解惑、典型例题与考研题分析、重要习题精选精解和两级训练题 5 个板块划分和讲解。在内容选取上,特别注意选取那些重要的、典型的和有代表性的基础性题解,以及有一定深度层次的综合思考性题解。通过对典型例题的分析、求解和归纳,总结了各类问题的解题规律、方法和技巧。解题过程详尽,方法多变,有利于读者全面系统地掌握所学知识。

本书既可供高等院校电类专业本科生、专科生以及自学人员使用,也适合有志进一步深造的考研者使用。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础(模拟部分)学·练·考/吴金主编.—北京:清华大学出版社,2004

(高校课程学·练·考系列丛书/何光明主编)

ISBN 7-302-08231-6

I.电… II.吴… III.电子技术—高等学校—教学参考资料 IV.TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 017356 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社 总 机:010-62770175 客 户 服 务:010-62776969

组稿编辑:章忆文

文稿编辑:杨作梅

封面设计:付剑飞

印 装 者:北京国马印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印 张:19.5 字 数:960 千字

版 次:2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-08231-6/TN·178

印 数:1~5000

定 价:27.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

扬起风帆，成就梦想

(丛书序)

21 世纪人类已迈入“知识经济”时代，科学技术正发生着深刻的变革，社会对德才兼备高素质专业人才的需求更加迫切。如何培养出符合时代要求的优秀人才，是全社会尤其是高等院校面临的一项急迫而现实的任务。

为了配合当前高等院校注重培养高素质知识型人才的需求，也为了给同学们提供一套行之有效的课程学习辅导书，我们在广泛调研并听取很多专家及学生们建议的基础上，组织编写了这套《高校课程学·练·考系列丛书》。本套丛书作为学生正规课本的辅导用书，对课程的各方面知识不做细致讲解，而是抽取重点、难点和易于混淆的方面进行强调和解惑；再配以典型例题和考研题、考级题解析，提高读者分析问题与解决问题的实际能力；每章都辅以对应习题(达标训练题和考研挑战题、考级题)，以助读者达到即学、即练、即会的目的；另外，每章都精选主流教材的课后习题进行解答，帮助读者消化和巩固所学知识。

首推书目

本套丛书以全新的视角，陆续推出涵盖高等院校主干课程的辅导用书。首推 12 本，书目如下：

- (1) 概率论与数理统计学·练·考
- (2) 高等数学(上册)学·练·考
- (3) 高等数学(下册)学·练·考
- (4) 线性代数学·练·考
- (5) 数据结构学·练·考
- (6) 操作系统学·练·考
- (7) 离散数学学·练·考
- (8) C 语言学·练·考
- (9) 电子技术基础(模拟部分)学·练·考
- (10) 电子技术基础(数字部分)学·练·考
- (11) 电路学·练·考
- (12) 自动控制原理学·练·考



丛书特色

1. 丛书以国家教育部制定的教学大纲及研究生入学考试大纲为依据,按照高等学校通用的主流教材为主线,注重基础知识的学习与解题能力的提高,既保证了课程学习的循序渐进,又能对复习迎考与考研行之有效。

2. 丛书从“学、练、考”3个角度进行立体辅导,帮助读者理解基本概念和理论,开拓解题思路,提高分析问题的能力,使读者对所学课程真正做到融会贯通、考试轻松。

3. 丛书基本按照正规教学课本顺序编排,每章设计了5个板块,分别是:本章知识结构图、疑难解惑、典型例题与考研题分析、重要习题精选精解、两级训练题。各内容安排为:

- 本章知识结构图:用图表的形式列出本章各知识点的有机联系,便于记忆、复习。
- 疑难解惑:突出核心知识,对重点、难点内容进行解释与讲述,使读者掌握问题的本质。
- 典型例题与考研题分析:精选出常考题型与考研题进行解析,增强读者解题能力。
- 重要习题精选精解:对主流教材的重要习题做出解答,便于读者复习与检查。
- 两级训练题:分达标训练题与考研挑战题两个级别,通过两级训练,读者可以进一步加深对所学内容的理解,旨在达到巩固提高的目的。

4. 丛书重点定位在疑难解惑与解题方法上,不仅授人以“鱼”,更在于授人以“渔”。丛书对课程学习过程中可能遇到的疑难点进行了细致深入的分析,突出解决易混淆和忽略的问题;对常见题型进行完整的解答与总结,注重解题思路及技巧的培养,旨在使读者达到茅塞顿开、触类旁通、举一反三之功效。

5. 丛书对主流教材的较难习题(或全部习题)进行了解答,并且每章均配有相应数额的训练题,最后还提供了4套完整的模拟试题,所有习题及模拟试题均给出了解答或提示,便于读者自测提高。

关于作者

丛书编委特聘请执教多年、且有较高学术造诣的名师参与各册之编写。他们长期从事有关的教学和研究工作,积累了丰富的经验,对相应课程有较深的体会与独到的见解,本丛书凝聚了他们多年的教学经验和心血。

读者定位

本套丛书特别适合参加课程学习、考试(课程考试、考研、考级)的读者群阅读,同时可供高等院校教师作为教学参考使用。



📖 互动交流

读者的进步，我们的心愿。如果发现书中有任何疑惑之处，或有建议或意见，请与我们交流。联系信箱：gmkeji@163.com。

📖 特别致谢

在此，对丛书所选用的参考文献的著作者，及丛书所引用习题、试题的命题老师表示真诚的感谢。感谢为本丛书出版提供帮助的各界人士。

乘风破浪会有时，直挂云帆济沧海。愿这套书为在知识海洋中奋进的学子们助一臂之力！



丛书编委会

顾 问:	清华大学	吴文虎 教授、博士生导师
	北京大学	许卓群 教授、博士生导师
	中国人民大学	王 珊 教授、博士生导师
	东南大学	曹进德 教授、博士生导师
	北京航空航天大学	李 波 教授、博士生导师

总 策 划: 清华大学出版社第三事业部

丛书主编: 何光明

编 委: (排名不分先后)

何光明	杨 明	杨治辉	汪名杰	吴 金
常昌远	孔慧芳	汪志宏	骆 健	王海艳
黄昭强	孙多如	江 安	倪志强	朱家明
陆克斌	杨 玲	田玉敏	石雪梅	杨 萍
王新光	王晓光	江 兵	叶运骅	罗 勇

前 言

模拟电子技术基础是电子科学与技术、信息工程、计算机、自动控制等本科专业的一门专业基础课，也是相关专业硕士研究生入学的一门专业考试课程。本书是在多年教学实践的基础上编写完成，目的在于引导学生更好地理解教材中的基础内容，帮助学生加深对基本概念的理解并掌握基本解题方法以启发逻辑思维能力，提高分析和解决问题的能力。

由于内容广，物理概念多，知识点之间的关联紧密，因此模拟电路公认为是一门比较难以掌握的电路课程，电路的定量分析与计算更是其中的难点。为了帮助学生更好地学习模拟电路这一课程，并在电路基础知识和基本分析能力方面打下坚实基础，本书在编写过程中尤其注重内在的知识体系结构，突出重点和难点。在内容选材上，涉及半导体器件和电路基本结构、多级放大电路、运放和功率放大等单元电路，以及由此构成的信号处理电路、振荡电路、电源电路等主要功能电路。在电路分析方面，重点介绍了图解法、等效电路法以及负反馈的电路分析方法，通过大量典型例题和考题的深入全面剖析并结合练习题的训练，达到熟练应用基本知识点以完成各种基本电路分析的目的。本书分析以 BJT 电路为主，JET 和 MOS 电路为辅，但电路分析的方法是相通的。通过本课程学习，可为以 MOS 电路为主的 VLSI 集成模拟电路的分析与设计奠定坚实的基础。

本书第 2~第 10 章均包含知识结构图、疑难解惑、典型例题与考研题分析、重要习题精选精解、两级训练题等几部分。在内容选取上，特别注意选取那些重要的、典型的、有代表性的基础性题解，以及有一定深度层次的综合思考性题解。通过对典型例题的分析、求解，从而归纳、总结了各类问题的解题规律、方法和技巧。解题过程详尽，方法多样，有利于学生全面系统地掌握所学知识。

本书既可作为高等院校电类专业本科生、专科生以及自学人员使用，也适于有志进一步深造的考研者们使用。

协助本书编写工作的还有庞坚、阎良海、张晓捷、刘立军、张麟、王楠、殷勤、吴婷、刘菁等，在此一并表示感谢！

由于时间及作者水平有限，书中难免有错误和不当之处，敬请各位读者批评指正。

作者
2004 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 电子信号与电子系统.....	1
1.2 主要内容	1
第 2 章 半导体二极管及其基本电路.....	3
2.1 本章知识结构图.....	3
2.2 疑难解惑	4
2.3 典型例题与考研题分析.....	9
2.3.1 典型例题分析	9
2.3.2 考研题分析	10
2.4 重要习题精选精解.....	12
2.5 两级训练题	17
2.5.1 达标训练题	17
2.5.2 考研挑战题	19
第 3 章 半导体三极管及放大电路基础.....	21
3.1 本章知识结构图.....	21
3.2 疑难解惑	22
3.3 典型例题与考研题分析.....	27
3.3.1 典型例题分析	27
3.3.2 考研题分析	33
3.4 重要习题精选精解.....	39
3.5 两级训练题	50
3.5.1 达标训练题	50
3.5.2 考研挑战题	51
第 4 章 场效应管放大电路	56
4.1 本章知识结构图.....	56
4.2 疑难解惑	56
4.3 典型例题与考研题分析.....	59
4.3.1 典型例题分析	59
4.3.2 考研题分析	63
4.4 重要习题精选精解.....	66
4.5 两级训练题	72



4.5.1 达标训练题	72
4.5.2 考研挑战题	74
第5章 功率放大电路	76
5.1 本章知识结构图	76
5.2 疑难解惑	77
5.3 典型例题与考研题分析	83
5.3.1 典型例题分析	83
5.3.2 考研题分析	84
5.4 重点习题精选精解	87
5.5 两级训练题	92
5.5.1 达标训练题	92
5.5.2 考研挑战题	93
第6章 集成电路运算放大器	95
6.1 本章知识结构图	95
6.2 疑难解惑	95
6.3 典型例题与考研题分析	99
6.3.1 典型例题分析	99
6.3.2 考研题分析	103
6.4 重要习题精选精解	109
6.5 两级训练题	118
6.5.1 达标训练题	118
6.5.2 考研挑战题	119
第7章 反馈放大电路	121
7.1 本章知识结构图	121
7.2 疑难解惑	121
7.3 典型例题与考研题分析	127
7.3.1 典型例题分析	127
7.3.2 考研题分析	130
7.4 重要习题精选精解	135
7.5 两级训练题	143
7.5.1 达标训练题	143
7.5.2 考研挑战题	144
第8章 信号运算与处理电路	147
8.1 本章知识结构图	147
8.2 疑难解惑	147
8.3 典型例题与考研题分析	155
8.3.1 典型例题分析	155



8.3.2 考研题分析	159
8.4 重要习题精选精解	167
8.5 两级训练题	174
8.5.1 达标训练题	174
8.5.2 考研挑战题	176
第9章 信号产生电路	179
9.1 本章知识结构图	179
9.2 疑难解惑	179
9.3 典型例题与考研题分析	187
9.3.1 典型例题分析	187
9.3.2 考研题分析	193
9.4 重要习题精选精解	196
9.5 两级训练题	203
9.5.1 达标训练题	203
9.5.2 考研挑战题	204
第10章 直流稳压电路	207
10.1 本章知识结构图	207
10.2 疑难解惑	207
10.3 典型例题与考研题分析	210
10.3.1 典型例题分析	210
10.3.2 考研题分析	214
10.4 重要习题精选精解	216
10.5 两级训练题	221
10.5.1 达标训练题	221
10.5.2 考研挑战题	222
附录A 达标模拟题一及参考答案	225
A.1 达标模拟试题一	225
A.2 参考答案	229
附录B 达标模拟题二及参考答案	236
B.1 达标模拟题二	236
B.2 参考答案	239
附录C 考研模拟题一及参考答案	244
C.1 考研模拟题一	244
C.2 参考答案	248
附录D 考研模拟题二及参考答案	253
D.1 考研模拟题二	253





D.2 参考答案	258
附录 E 各章两级训练题参考答案	263
E.1 第 2 章两级训练题参考答案	263
E.1.1 达标训练题答案	263
E.1.2 考研挑战题答案	264
E.2 第 3 章两级训练题参考答案	265
E.2.1 达标训练题答案	265
E.2.2 考研挑战题答案	267
E.3 第 4 章两级训练题参考答案	270
E.3.1 达标训练题答案	270
E.3.2 考研挑战题答案	271
E.4 第 5 章两级训练题参考答案	274
E.4.1 达标训练题答案	274
E.4.2 考研挑战题答案	275
E.5 第 6 章两级训练题参考答案	277
E.5.1 达标训练题答案	277
E.5.2 考研挑战题答案	278
E.6 第 7 章两级训练题参考答案	280
E.6.1 达标训练题答案	280
E.6.2 考研挑战题答案	281
E.7 第 8 章两级训练题参考答案	282
E.7.1 达标训练题答案	282
E.7.2 考研挑战题答案	284
E.8 第 9 章两级训练题参考答案	286
E.8.1 达标训练题答案	286
E.8.2 考研挑战题答案	288
E.9 第 10 章两级训练题参考答案	291
E.9.1 达标训练题答案	291
E.9.2 考研挑战题答案	293
参考文献	295



第 1 章 绪 论

1.1 电子信号与电子系统

电子电路是实现电子信号处理的载体, 电子信号处理的多样性和复杂性也决定了电子系统在组成结构上的具体特点(其关系如图 1.1 所示), 从而决定了本课程所学习的主要知识内容。

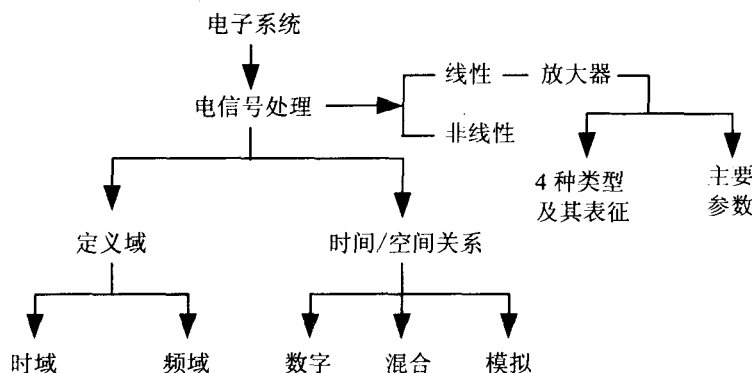


图 1.1

1.2 主要内容

电子电路基础(模拟电路)是一门电类专业的电子电路基础课程, 为电类专业本科学生在电子电路的分析、设计和应用方面奠定基础, 强调与工程实际和时代发展的紧密结合。本课程的目的是掌握基本电子器件、基本单元或功能电路的工作原理、特性和参数分析、等效模型模拟和偏置方法, 以及小信号线性分析与大信号非线性的分析方法; 了解集成模拟电路构成的机理和主要的结构特点, 能够设计并应用简单的功能电路。

本课程应学习并掌握以下内容:

- (1) 二极管、BJT、JFET、MOSFET 的工作原理和 $I-V$ 特性;
- (2) 二极管、BJT、JFET、MOSFET 的物理结构及其构成电路的主要参数, 包括静态、交流(动态)和极限参数, 小信号与大信号的区别, 有源器件的微变等效电路;
- (3) BJT、JFET 和 MOSFET 电路的基本偏置方法, CE/CS、CB/CG、CC/CD 3 种基本电路组态的构成原理和特点, 基本组态之间的配合应用, 基本电路及各种组合电路的静态工作点、交流特性和频率特性的分析与计算;
- (4) 差分电路的结构和计算, 有源负载的应用;

(5) 影响电路功率输出和功率转换效率的主要因素, 甲类、乙类和甲乙类偏置的特点, 功放电路的主要特点, OTL 和 OCL 电路的原理和效率、功率的计算;

(6) 反馈的基本概念, 反馈对电路性能的影响, 4 种类型负反馈的判断及闭环特性估算; 负反馈电路稳定性判别和频率补偿方法;

(7) 正弦波起振条件、平衡条件以及相应的判断方法; RC 文式桥、三点式(电感、电容、晶振)振荡器的基本原理和频率估算; 电压比较器、触发器和集成定时器进行波形生成及整形的原理和计算方法;

(8) 有源滤波器的原理和电路模型; 带通、带阻、高通和全通滤波电路; 模拟乘法器;

(9) 线性稳压源、开关稳压源的基本原理和典型电路结构, 交流-直流稳压的基本过程。

根据以上内容, 总结得到本课程的内容体系结构如图 1.2 所示。

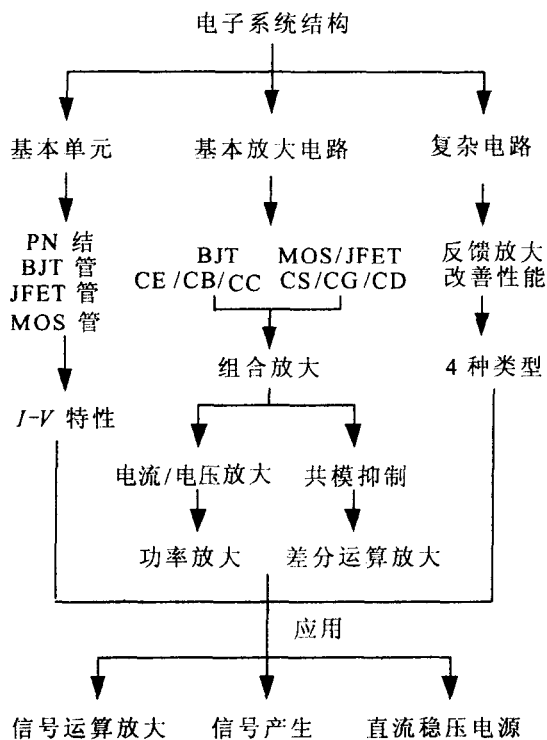


图 1.2

第 2 章 半导体二极管及其基本电路

2.1 本章知识结构图

半导体材料是构成当代电子电路系统的基础与核心材料，其地位如图 2.1 所示。性质及其运动规律可控的半导体是构成电路系统的关键，如图 2.2 所示。所有半导体器件的物理基础都来源于同一个物理对象——PN 结，PN 结的特性与应用如图 2.3 所示。本章知识点贯穿以上 3 方面内容(半导体材料，半导体的性质与运动规律和半导体的物理基础)而展开，重点是掌握 PN 结的原理、特性及其应用。

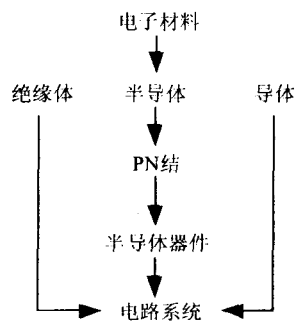


图 2.1

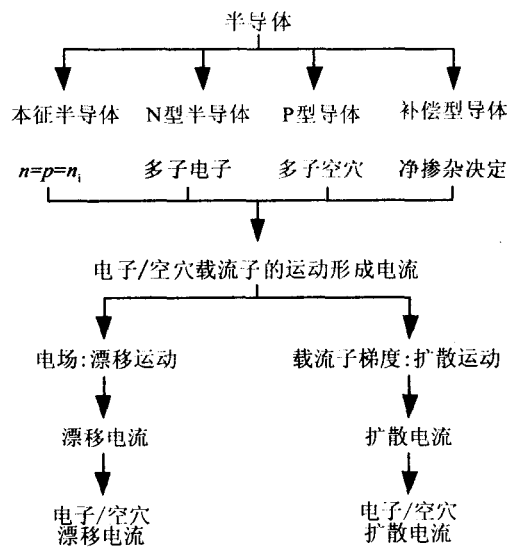


图 2.2

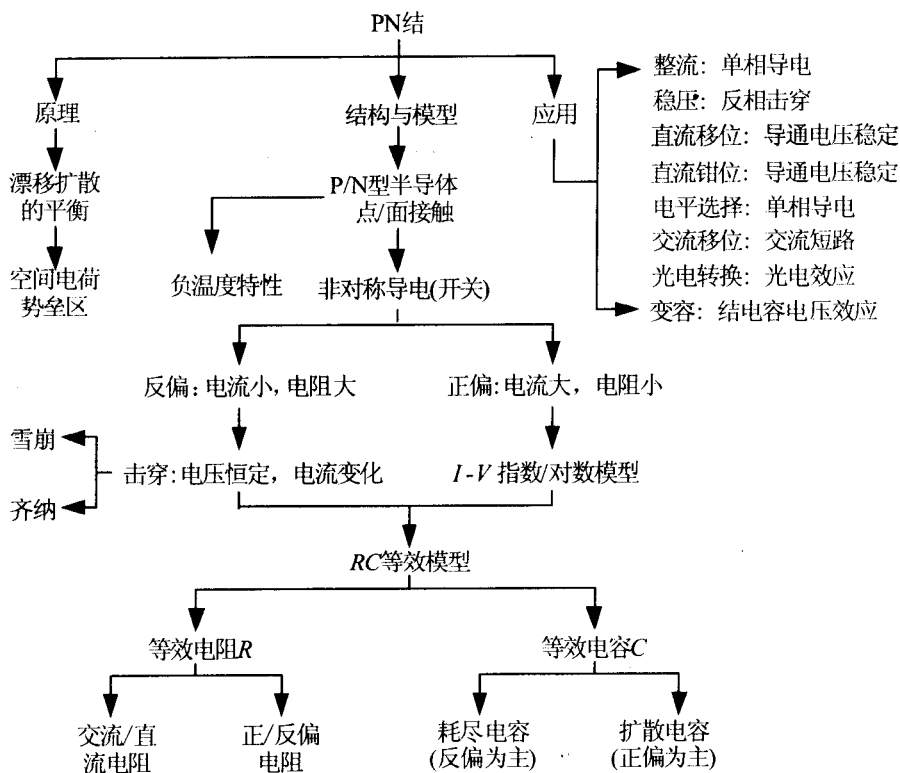


图 2.3

2.2 疑难解惑

问题 2.2.1 何为本征半导体, 本征半导体是否导电?

【指点迷津】

电子和空穴仅依靠本征激发而形成, 此类半导体称为本征半导体, 或纯净半导体。结构完整且不掺杂的本征半导体材料, 其电子浓度与空穴浓度相等, 只与温度有关, 常温下近似为常数。对于硅, 其本征载流子浓度 $n_i \approx 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 导电性接近绝缘体。随着温度的升高, 本征载流子浓度以指数规律提高, 导电性显著增强。 n_i 的温度特性是决定半导体器件有关参数温度特性的重要影响因素。

需要说明的是, 在补偿半导体中, 若杂质完全补偿, 即 $N_A = N_D$, 则有 $n = p = n_i$, 半导体在导电性方面表现出本征半导体的特性。

问题 2.2.2 N 型半导体与 P 型半导体一定是通过掺杂形成的吗?

【指点迷津】

对半导体导电性的控制主要通过两种不同的方式。常规的是掺杂进行控制方式, 掺磷



或砷形成电子导电的 N 型半导体, 掺硼则可形成空穴导电的 P 型半导体。常温下杂质全电离近似成立, 则载流子浓度等于掺杂浓度。掺杂的数量和物理空间可以由半导体工艺精确控制, 从而实现了载流子浓度即半导体导电性的精确控制。因此, 半导体导电性可在介于导体与绝缘体之间很宽的范围内变化。

电场感应是形成 N 型或 P 型半导体的另一种方式, 增强型 MOSFET 就是利用电场感应的原理形成的。当然, 掺杂是基础, 掺杂是在半导体中引入足够的自由载流子浓度, 而电场则是改变或利用这种自由载流子以形成新的分布。因此, 半导体器件中的载流子问题最终归结为掺杂与电场相互作用的问题。

问题 2.2.3 多子浓度一定大于少子浓度吗?

【指点迷津】

不一定。N 型半导体中的电子为多子, 空穴为少子; 相反, P 型半导体中, 空穴为多子, 电子为少子。对于温度均匀且无外加电场半导体, 即热平衡半导体, 很显然, N 型中电子浓度远大于其空穴浓度; 而 P 型半导体中的空穴浓度远大于对应的电子浓度, 即多子浓度一定大于少子浓度。在多子浓度确定后, 热平衡态下的少子浓度可以通过 $np = n_i^2$ 关系求出。

对于非平衡半导体, 则以上结论并不成立。如半导体中存在非平衡电场的作用, 可感应或注入大量的非平衡载流子。以 PN 结为例, 当 P 结接正电压、N 结接负电压使 PN 结正偏时, P 区中大量的空穴注入 N 区中, 该类空穴到达 N 区后成为少子, 但浓度接近甚至大于 N 区中的电子即多子浓度。

明确多子与少子的关系, 对理解半导体中载流子的运动规律有很大帮助。

问题 2.2.4 半导体中的电流是如何形成的?

【指点迷津】

半导体中的电流是自由载流子的运动形成的。载流子的运动应有内在的动力, 并形成规律, 能加以利用则可以形成稳定可控的电流, 以及稳定的器件功能和特性。

载流子内在运动的动力表现为电场和浓度梯度。电场为电势梯度的负值, 电势梯度的存在必然使带电粒子发生运动, 电子反电场方向而动, 空穴则沿电场方向而动, 这种由电场引起的运动称为漂移运动, 漂移运动形成的电流与电场方向相同。

当半导体中的载流子浓度存在梯度时, 将引起载流子沿与梯度相反的方向运动, 称为扩散运动, 形成扩散电流。

因此, 半导体在最复杂的条件下应包含 4 种电流分量, 即电子漂移电流、电子扩散电流、空穴漂移电流和空穴扩散电流。包含漂移与扩散成分的电子电流与空穴电流分别为:

$$J_n = qnv + qD_n \nabla n = -qn\mu_n \frac{\partial V}{\partial x} + qV_T \mu_n \frac{\partial n}{\partial x}$$

$$J_p = qp v - qD_p \nabla p = -qp\mu_p \frac{\partial V}{\partial x} - qV_T \mu_p \frac{\partial p}{\partial x}$$

式中 q 为电子电荷, v 、 μ 、 D 为载流子漂移速度、迁移率和扩散系数, 电势梯度的负数