



高等学校教材配套辅导及
考研专业课应试指导丛书(通信电子类)

博士系列



模拟电子线路 辅导 及

考研应试指导

编写 通信电子类教材辅导及
考研应试指导委员会

总策划 胡东华

课程同步辅导

典型考题分析

考研真题荟萃

考研过关必备

机械工业出版社
China machine Press



高等学校教材配套辅导及考研专业课应试指导丛书(通信电子类)

模 拟 电 子 线 路

辅导及考研应试指导

编 写 通信电子类教材辅导及考研应试指导委员会
总策划 胡东华



机 械 工 业 出 版 社

<http://www.bbdd.cc>

“考研押题讲座”免费授课计划

一、内容:考研政治、英语、数学(一、二、三、四)、西医综合科目考前一个半月押题讲座

二、讲座总策划及献爱心人:胡东华

三、讲座资料提供:

北大、清华、人大考研辅导班资料采编组 联合提供
京城考研命题信息搜集研究组

四、免费讲座时间:2003年12月1日~2004年1月15日

五、网站:中国教育考试双博士网站:<http://www.bbdd.cc>

六、课程表:

时 间 科 目	12月第1周	12月第2周	12月第3周	12月第4周	1月第1周	1月第2周
政 治	马克思主义哲学、 马克思主义 政治经济学	毛泽东思想概论	邓小平理论 与“三个代表” 重要思想概论	当代世界经济 与政治 形势与政策	网上通知	网上通知
英 语	听力	英语知识运用	阅读理解 A (命题趋势)	阅读理解 B (英译汉)	写作命题预测 及背诵范文	网上通知
数 学 一	高数 (1~5)	高数 (6~11)	线性代数	概率论与 数理统计	网上通知	网上通知
数 学 二	高数(1~3)	高数(4~6)	高数(7~11)	线性代数	网上通知	网上通知
数 学 三	微积分 (1~5)	微积分 (6~10)	线性代数	概率论与 数理统计	网上通知	网上通知
数 学 四	微积分 (1~5)	微积分 (6~10)	线性代数	概率论	网上通知	网上通知
西医综合	生理学 生物化学	病理学	外科学	内科学	网上通知	网上通知

(如有变化,另行通知)

双博士品牌 真情大奉献

来自北京大学研究生会的感谢信

双博士:

您好!

首先感谢您对北京大学“十佳教师”评选活动的热情支持和无私帮助!师恩难忘,北京大学“十佳教师”评选活动是北京大学研究生会的品牌活动之一,是北京大学所有在校研究生和本科生对恩师情谊的最朴素表达。双博士作为大学教学辅导及考研领域全国最大的图书品牌之一,不忘北大莘莘学子和传道授业的老师,其行为将永久的被北大师生感怀和铭记。

作为考研漫漫征途上的过来人,双博士曾陪伴我们度过考研岁月的无数个日日夜夜,曾带给我们无数个明示和启发,当然也带给我们今天的成功。

特致此信,向双博士表达我们内心长久以来的感激之情,并祝愿双博士事业蒸蒸日上。

北京大学研究生会

二零零二年十二月

郑州某大学学生的来信

双博士:

您好!

.....

我曾购买了“双博士”的《大学英语精读课文辅导》(3)、(4)册,我认为质量很好,因为我在准备2001年6月份的全国四级考试前没买太多的辅导资料,仅是每天背《辅导》上的知识点,另外又做(看)了双博士的模拟题、真题解析及词汇,而我却考出了94.5分的骄人成绩,真应感谢双博士为我们带来了如此上乘的资料。我信赖双博士,也相信考研中借助双博士的力量,会取得更好的成绩。所以我在您寄来的书目中挑了一下,如果可以的话,我想得到代号为“RB12”的《考研应试教程(英语分册)》,或者是代号为“B18A”的《研究生入学考试英语词汇·考点·记忆法·用法详解》。两本书中的任何一本,我都相信会给我带来好运!

另外,.....

李XX

2001年11月22日

天津某高校学生的来信

双博士:

你们好!

.....

我们都知道,英语学习中,口语是非常重要的,而《英美流行口语》正是我们所需要的,是一场及时雨。五一、五四前后,我校将举办一次口语演讲比赛,我们将把这几本书作为奖品赠送给口语出色的同学,相信他们会很意外,也会很高兴的。双博士为我们着想,我们也希望能以微小之力量,给她的工作以支持和回报。其实,我想,只要我们真正为爱好英语的同学做了事,使他们从中受了益,英语有了提高,就是对“双博士”最好的回报了,对不对?

还有,我校对购买“双博士”图书比较困难,到书店买,常被抢购一空,由老师订购又“姗姗来迟”,所以,我想与你们联系,能否帮同学们统一订购?如可以,请将你们的订购时间、办法等以传真方式告诉我。

.....

英语俱乐部部长:于XX

2002年4月24日

Q.T.A.N. Y.A.N.

前言

双博士品牌考研丛书,已成为全国最著名的考研图书品牌,其市场的覆盖率约占全国考研市场的三分之一。

据调查,缺乏对专业课命题侧重点及考试要求的了解,已成为众多考生专业课考试失利的原因,进而与继续深造的机会失之交臂。因此,选取一本好的专业课辅导教材,对于有志于考研的莘莘学子来说,至关重要。本丛书涉及法学、金融、经管、西医、通信电子、计算机、机械、控制理论与控制工程及其他热门专业。策划本丛书的指导精神是既方便于在校本科生同步学习时参考,更适合于准备参加硕士研究生入学考试的学生作为专业课辅导用书。

本丛书的编写,以普通高等学校普遍采用的教材为蓝本,针对性强,信息含量高,具有明确的参考价值和实用意义,是考研专业课不可多得的工具与助手。本书各章在编排上有以下特色:

1. **基本概念及重点、热点、考点内容精要:**对与本章相关的知识点进行课后阐述,使考生既能熟练掌握基础知识,又可把握重点、要点。
2. **典型例题、考题分析:**这一部分精选了名校历年试题作为本书的例题,并提供详细的解析过程,强调解题思路。还附有知识点小结。本部分内容既可使考生把握命题原则,又可熟悉题目类型,触类旁通。
3. **自测题及模拟训练题:**该部分为考生自行练习而提供,备有详细的解答过程。便于考生及时总结,查漏补缺。
4. **在全书最后一章为模拟试题。**这些模拟试卷也是名校近年的真题,并配有详细解析。

综合起来,本书凸显以下特色:

1. **专题化的编写体例。**面对普通高等学校专业课教材的泛泛的讲解,本书从更深的层次,对常考的知识要点加重了讲解的力度。
2. **极富针对性的题型训练。**在每章或每部分的典型例题、模拟试题中,均编排名校近几年的考研真题,并附有详细的参考答案。
3. **资料翔实、全面、新颖。**一般情况下,真题在研究生入学考试中极易重复。
4. **本科生各科目考试,试题也常常选用考研真题。**故本书有利于本科生在期末考试中获得高分。

“双博士”品牌系列丛书,以其独有的魅力和卓越的品质被誉为最受欢迎的教学辅导丛书,销量居全国同类书榜首。全国约有三分之一的大学生读过或正在使用本品牌丛书(不含盗版)。本品牌丛书封面、封底都带有双博士的书标。此书标已由国家商标局注册。该系列品牌丛书,在读者中已树立起不可替代的品牌形象,引起了媒介的广泛关注。中央电视台1999年9月15日-10月15日在“99全球财富论坛”特别节目及《东方时空》黄金时间强档推出该品牌系列丛书,成为当时图书界传媒热点。1999年11月5日《光明日报》第9版以“图书市场面临商标竞争时代”为标题,以“胡东华系列双博士品牌文教图书引起关注”为副标题做了报道。后被多家报纸转载。《中国青年报》、《新闻出版报》、《中国文化报》、《中国教育报》和《中国大学生》等报刊对该品牌系列丛书也做了相应报道。

本书采用60克胶版纸印刷,双色排版,便于阅读和记忆。双博士全体同仁非常感谢考生对双博士品牌的厚爱。

虽然我们力求呈现给广大考生一本完美适用的专业课辅导用书,无奈时间有限,且因本丛书涉及面广,本数多,如有错误,敬请广大读者谅解,也可发电子邮件(shuangboshi@sina.com)交流指正。

“双博士”网站留言选登

自从2001年双博士网站举办免费的考研及四、六级讲座以来,每天都有大量读者留言,交流考试心得和对双博士丛书的观感。现将部分留言选登如下:



作者: 考研人 **来自:** 湖北, 2003-2-16, 23:31:04

留言内容: 今天上网把你们的考研网上押题讲座和你们上传的真题对比来看,押中的题还真不少来!希望双博士在2004年考研政治理论方面继续给广大考生押题!!



作者: 奋斗 **来自:** 福建, 2003-2-16, 23:40:00

留言内容: 是的,我认为政治理论做的最好的部分是形势与政策部分,其中有关16大的考题共8分全部押中了;毛概部分押中了中国共产党的最低纲领和最高纲领部分;当代部分即最后的两个选作题,都能从押题的相关部分找到答案,这对我特别有用,因为我是一名理科生,对当代部分的内容不熟悉。谢谢双博士!!!



作者: liutancai **来自:** 广东, 2003-5-25, 13:37:51

留言内容: 我购买了双博士的书觉得非常不错,现在上到她的网站,看到这么多对我等有用的东西,而且免费,更喜欢双博士了,感谢双博士!



作者: 小林 **来自:** 广东, 2003-7-13, 22:58:32

留言内容: 贵网页提供的内容非常丰富,对我们广大学生有很大的帮助。我经常浏览您们的网页,对我的帮助极大,可以说我能过六级、并考上研究生少不了您们的功劳。在此,想对您们说:谢谢!!!



作者: 吴光华 **来自:** 黑龙江, 2002-12-3, 18:07:19

留言内容: 你们的東西对我帮助很大,你们的书也挺出色,希望你们能够再接再厉,办得更好,谢谢!



作者: kaoyan **来自:** 北京, 2002-11-30, 10:53:31

留言内容: 以前用你们的大学英语资料考四六级感觉很好,最近买了一套考研数学最后冲刺题,也还不错,希望你们多多努力,做好这个网站!很感谢你



作者: 谢军华 **来自:** 湖北, 2002-12-6, 19:06:05

留言内容: 谢谢主编为我们提供这么方便的讲座!!……你们能全心为我们着想!太难得了。



作者: mmer **来自:** 四川, 2003-2-9, 17:16:50

留言内容: 双博士教辅真的很不错,我和身边的同学用了都说好!谢谢胡东华老师和编书老师,谢谢你们!



作者: 杨杨 **来自:** 江苏, 2002-11-28, 18:18:47

留言内容: 双博士教育网的同志们,你们出版的双博士《四级、六级预测试题》一书很好,押中了好几道题。



作者: MATTHEW **来自:** 四川, 2002-12-2, 12:01:37

留言内容: 双博士考研单词记忆法非常棒,这次政治押题讲座上传的内容很不错。还有我想问一下胡老师是否是个基督徒!?

第一章 半导体二极管及其基本电路	(1)
1.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(1)
1.2 典型例题、考题分析	(9)
1.3 自测题及模拟训练题	(10)
第二章 晶体三极管及其基本放大电路	(11)
2.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(11)
2.2 典型例题、考题分析	(24)
2.3 自测题及模拟训练题	(37)
第三章 场效应管及其放大电路	(43)
3.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(43)
3.2 典型例题、考题分析	(48)
3.3 自测题及模拟训练题	(53)
第四章 放大器的频率响应	(55)
4.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(55)
4.2 典型例题、考题分析	(61)
4.3 自测题及模拟训练题	(71)
第五章 反馈	(73)
5.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(73)
5.2 典型例题、考题分析	(78)
5.3 自测题及模拟训练题	(83)
第六章 集成运算放大器及其线性应用	(87)
6.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(87)
6.2 典型例题、考题分析	(95)
6.3 自测题及模拟训练题	(100)
第七章 功率放大电路及直流稳压电路	(103)
7.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(103)
7.2 典型例题、考题分析	(111)
7.3 自测题及模拟训练题	(115)
第八章 波形发生与变换电路	(118)
8.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(118)
8.2 典型例题、考题分析	(123)
8.3 自测题及模拟训练题	(129)
第九章 各章自测题及模拟训练题参考答案	(131)
1.3 自测题及模拟训练题参考答案	(131)
2.3 自测题及模拟训练题参考答案	(132)
3.3 自测题及模拟训练题参考答案	(142)
4.3 自测题及模拟训练题参考答案	(143)
5.3 自测题及模拟训练题参考答案	(146)
6.3 自测题及模拟训练题参考答案	(148)
7.3 自测题及模拟训练题参考答案	(153)

目 录

8.3 自测题及模拟训练题参考答案	(156)
第十章 硕士研究生入学考试全真模拟试卷及详解	(159)
模拟试卷一	
(北京航空航天大学 2000 年电子线路——模拟电路)	(159)
模拟试卷二	
(北京航空航天大学 2001 年电子线路——模拟电路)	(160)
模拟试卷三	
(北京航空航天大学 2002 年电子线路——模拟电路)	(162)
模拟试卷四	
(北京邮电大学 2002 年电子线路——模拟电路)	(164)



第一章 半导体二极管及其基本电路

1.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要

1.1.1 半导体基础及 PN 结的基本特性

1. 半导体基础

半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间,受温度、光照和掺杂程度影响极大。半导体器件是构成电子线路的基本元件,它们所用的材料是经过特殊加工且性能可控的半导体材料。

(1) 本征半导体

本征半导体是纯净的具有晶体结构的半导体。

1) 硅(Si) 和锗(Ge)。硅和锗是常用的半导体材料,均为 4 价元素。其能级图如图 1-1(a) ~ (b) 所示。硅和锗原子组成十分严密的共价键结构,共价键中的电子(价电子) 能量小,不能参与导电。

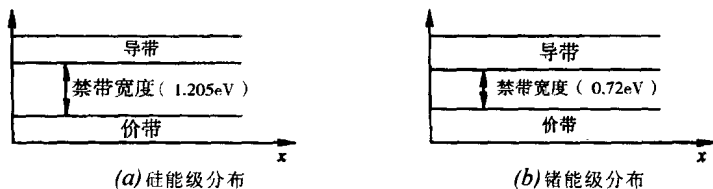


图 1-1 硅和锗能级图

2) 本征激发和复合。当本征半导体受到光照或加温,价电子得到足够的能量而摆脱共价键的束缚时,会产生电子 - 空穴对。从能量角度看,此过程就是价电子获得足够的能量,从“价带”跃迁到“导带”,成为可以参与导电的载流子 - 自由电子,而同时在价带中留下空位,形成另一种载流子 - 空穴的过程。这种过程称为本征激发。本征激发随温度增加而急剧增大。由于硅原子的外层电子离原子核比锗近,受原子核束缚力强(禁带宽度 E_{G_0} 比锗宽),因此,在同样温度下,硅的本征激发比锗小,故硅的温度稳定性比锗好。

本征激发产生电子 - 空穴对。而相反的过程,即自由电子失去能量,回到“价带”,电子 - 空穴对消失,称为“复合”。在一定温度条件下,本征激发和复合达到动态平衡,此时半导体中的载流子浓度为

$$n_i = p_i = A_0 T^{3/2} e^{-E_{G_0}/2kT}$$

(2) 杂质半导体

用一定的工艺,在本征半导体中掺入其他元素,就形成了杂质半导体。按掺入的杂质元素不同,可分为 N 型和 P 型两类;控制掺杂浓度,就可控制杂质半导体的导电性能。

1) N 型半导体 掺入 5 价元素(磷、锑等)杂质原子就替代了晶格中某些硅原子的位置,它的五个价电子中有四个与周围的硅原子结成共价键,多余的一个电子处在共价键外,可以被激发成自由电子。由于杂质原子可以提供电子,故称为施主。如图 1-2 所示。

在常温下,施主全部电离而产生自由电子和正离子,所以在 N 型半导体中,自由电子浓度远大于空穴浓度,故称自由电子为多数载流子,空穴为少数载流子,即

$$n_N \gg p_N$$

式中, n_N 为 N 型半导体中的自由电子浓度; p_N 为 N 型半导体中的空穴浓度。但 N 型半导体并不带“负电”,而仍保持电中性,这是因为

$$n_N = p_N + N_d$$

式中, N_d 为正离子浓度, 等于 5 价元素的掺杂浓度。

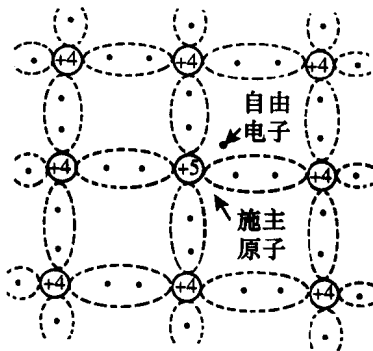


图 1-2 N 型半导体结构示意图

2) P 型半导体 掺入 3 价元素 (铟、硼等)。此时杂质原子的空位吸收电子, 故称为受主原子。在常温下, 受主全部电离而产生空穴和负离子, 所以在 P 型半导体中, 空穴浓度远大于自由电子浓度, 故称空穴为多数载流子, 自由电子为少数载流子, 即

$$p_p \gg n_p$$

式中, p_p 为 P 型半导体中的空穴浓度; n_p 为 P 型半导体中的自由电子浓度。这并不意味着 P 型半导体带“正电”, 因为

$$p_p = n_p + N_A$$

式中, N_A 为负离子浓度, 等于 3 价元素的掺杂浓度。P 型半导体结构示意图, 如图 1-3 所示。

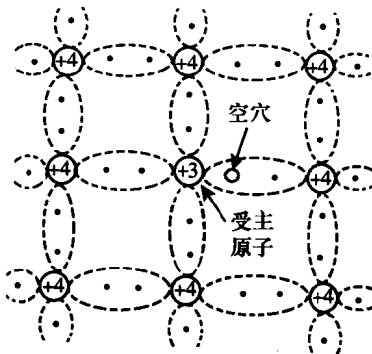


图 1-3 P 型半导体结构示意图

由于多数载流子主要是靠“掺杂”产生的, 因而与温度关系不大, 只决定于掺杂浓度。而少数载流子是由本征激发引起的, 对温度十分敏感, 温度每升高 10°C , 其浓度翻一翻。这是半导体器件在工作中受温度影响不稳定的主要原因。

(3) 半导体中的电流

1) 漂移电流 电场 (即电位差) 作用下载流子定向运动所形成的电流, 即

$$i_{(\text{漂移})} = -qn_N\mu_N\mathbf{E} + qp_N\mu_p\mathbf{E}$$

式中, $\mathbf{E}$ 为电场强度 (或电位梯度); μ 为迁移率 (即单位电场作用下的载流子运动速度)。

由于自由电子在共价键外运动, 而空穴在共价键内运动 (即价电子的反方向递补运动), 所以有

$$\mu_N > \mu_p$$

2) 扩散电流 浓度差作用下载流子定向运动所形成的电流, 即



$$i_{(\text{扩散})} = -qD_N \frac{dn}{dx}$$

或

$$i_{(\text{扩散})} = qD_P \frac{dp}{dx}$$

式中, D_N 为电子扩散系数; D_P 为空穴扩散系数; $\frac{dn}{dx}$ 为电子浓度梯度; $\frac{dp}{dx}$ 为空穴浓度梯度。

可见, 漂移电流与载流子浓度以及电场强度(电位梯度)成正比, 而扩散电流与浓度梯度成正比, 与载流子浓度的大小无直接关系。

2. PN 结的基本特性

(1) PN 结的形成

通过一定的工艺, 使 N 型半导体和 P 型半导体接触, 则会由于双边载流子浓度的差异形成载流子的扩散运动, 使交界面上各自显露出正负离子, 从而产生自建电场(该电场方向由 N 型指向 P 型)如图 1-4 所示。自建电场的出现, 会阻止多数载流子扩散, 而有利于少数载流子向反方向漂移, 当扩散力与漂移力达到动态平衡时, 便形成了 PN 结。此时空间电荷区具有一定的宽度, 电位差为 U_{ho} , 电流为零。

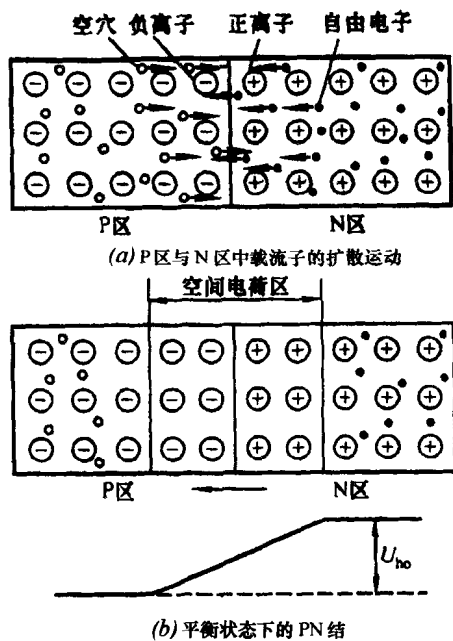


图 1-4 PN 结的形成

PN 结又称阻挡层、空间电荷区等。PN 结内存在电场称为内建电场, PN 结外仍为电中性区。

PN 结宽度与掺杂浓度有关。掺杂浓度越高, PN 结越薄, 若两边掺杂浓度不等, 则 PN 结宽度将不对称。

(2) PN 结伏安特性

1) PN 结加正偏压时(P 区为正, N 区为负, 如图 1-5 所示), PN 结变薄, 势垒变低, 有利于多数载流子扩散, 不利于少数载流子漂移, 从而产生正向电流。

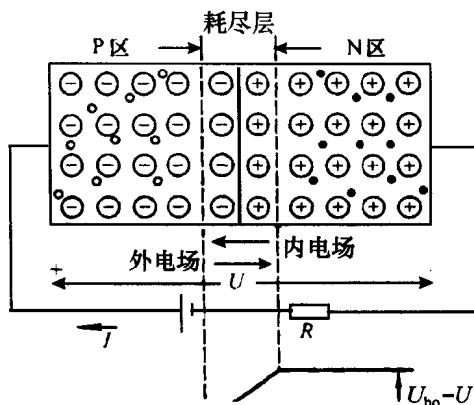


图 1-5 PN 结加正向电压时导通

2) PN 结加反偏压时(P 区为负,N 区为正,如图 1-6 所示),则 PN 结变厚,不利于多数载流子扩散,有利于少数载流子漂移,从而产生反向电流。由于反向电流是由少数载流子漂移引起的,所以非常小,且对温度十分敏感。

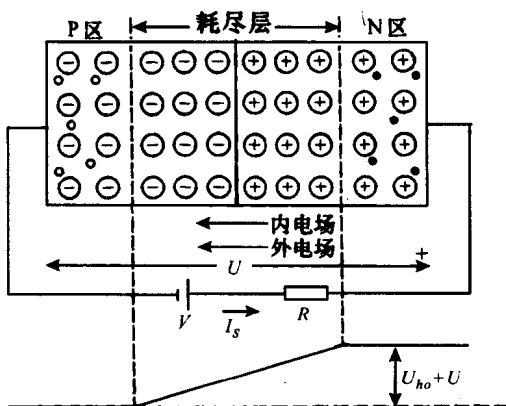


图 1-6 PN 结加反向电压时截止

3) PN 结电流与外加结电压成指数关系,即

$$i = I_s (e^{\frac{u}{U_T}} - 1)$$

式中, U_T 为热电压或温度电压当量, $U_T = \frac{kT}{q}$ 。常温下,即 $T = 300\text{K}$ 时, $U_T \approx 26\text{mV}$; I_s 为反向饱和电流,硅材料约为 nA 数量级,锗材料要大些。

当 PN 结加正向偏压,且有 $u > U_T$ 时,则

$$i \approx I_s e^{\frac{u}{U_T}}$$

而当 PN 结加反向偏压,且有 $|u| > U_T$ 时,则

$$i \approx -I_s$$

故 PN 结伏安特性如图 1-7 所示。

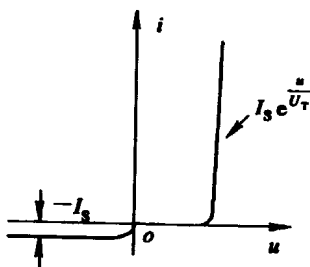


图 1-7 PN 结伏安特性

(3) PN 结的反向击穿特性

当反向偏压加得很大,超过某一极限值 $U_{(BR)}$ 时,反向电流突然猛增,这种现象称为“击穿”,如图 1-7 所示。击穿机理有两种:雪崩击穿和齐纳击穿。

1) 雪崩击穿 少数载流子在高反压加速下,以很大的能量与 PN 结共价键中的价电子发生碰撞,从而产生许多新的电子 - 空穴对,此种使反向电流剧增的击穿机理称为“雪崩击穿”。雪崩击穿大多发生在掺杂浓度较小,PN 结较宽,反压较高的 PN 结中。

2) 齐纳击穿 当掺杂浓度很大,PN 结较薄时,在反压不太大的情况下,空间电荷区就会产生很强的电场,将共价键中的价电子直接吸引出来而产生大量电子 - 空穴对,这种击穿机理为“齐纳击穿”。通常而言,齐纳击穿的击穿电压比雪崩击穿要低些。

对于硅材料 PN 结,反向击穿电压在 7V 以上为雪崩击穿;4V 以下为齐纳击穿;在 4 - 7V 之间则两种情况都有。无论哪种击穿,若对电流不加限制,都可能造成 PN 结的永久性损坏。

(4) PN 结的温度特性

1) PN 结结电压为负温度系数,即温度升高时,结电压下降。

$$\frac{\Delta u}{\Delta T} = -(2.0 \sim 2.5) \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$$

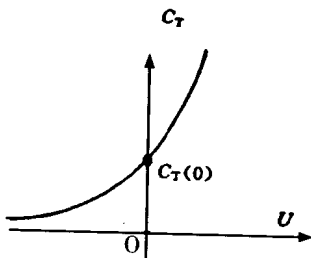
2) 反向饱和电流 I_s 随温度升高而迅速增大。

$$I_s(T_2) = I_s(T_1) 2^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

3) 雪崩击穿电压为正温度系数,即温度升高,雪崩击穿电压将增大。齐纳击穿电压为负温度系数,即温度升高,齐纳击穿电压反而减小。

(5) PN 结的电容特性

PN 结除呈现非线性电阻特性外,还具有非线性电容特性。有势垒电容 C_T 和扩散电容 C_D 之分。当 PN 结正偏时,主要是扩散电容 C_D ,它是耗尽层宽窄变化所等效的电容,其大小与扩散电流成正比。当 PN 结反偏时,主要是势垒电容 C_T ,它表示正扩散区内的电荷积累和释放过程。它随外加反偏电压的变化而变化,其关系特性的定性描述如图 1-8 所示。

图 1-8 C_T 与 U 的关系特性

PN 结的结电容 C_j 是 C_D 与 C_T 之和, 即 $C_j = C_D + C_T$ 。

PN 结的电容特性是限制由 PN 结制造的半导体器件上限工作频率的基本因素。

1.1.2 晶体二极管

晶体二极管实质上就是一个 PN 结。PN 结的所有特性, 晶体二极管都是具备的, 再补充如下几点。

1. 死区电压 (又称为导通电压或门限电压 U_{on})

实践证明, 当正向电压大于某一死区电压 (门限电压) 时, 二极管才出现较为明显的正向电流, 对硅材料二极管, $U_{on} = 0.6 \sim 0.7V$ 左右, 而对于锗材料二极管, $U_{on} = 0.2 \sim 0.3V$ 左右, 如图 1-9 所示。

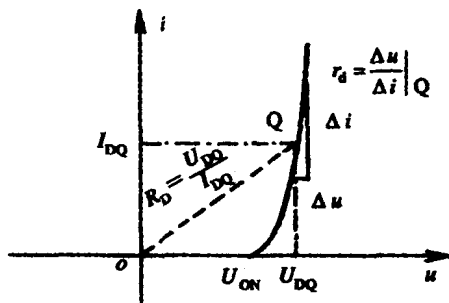


图 1-9 死区电压及二极管等效电阻的含义

2. 直流电阻及交流电阻

1) 直流电阻 R_D

$$R_D = \frac{U_{DQ}}{I_{DQ}}$$

即曲线上某一点到原点的斜率工作点电流 I_{DQ} 越大, R_D 越小。当用指针式万用表测量二极管的直流电阻, 对于同一个二极管的直流电阻, 采用不同档 ($R \times 1, \dots, R \times 1k \dots$) 测量时, R_D 值均不同, 这说明了二极管直流电阻的非线性特性。

2) 交流电阻 r_d

$$r_d = \left. \frac{du}{di} \right|_Q$$

即曲线上某点的斜率。

因为

$$i_D = I_s e^{\frac{u_D}{U_T}}$$

所以

$$r_d = \frac{U_T}{I_{DQ}} = \frac{26mV}{I_{DQ}}$$

I_{DQ} 越大, r_d 越小, 且有 $r_d \ll R_D$ 。

3. 二极管模型

(1) 由伏安特性折线化得到的等效电路

1) 理想开关模型

导通时 (正偏), 管压降为零 ($U_D \approx 0, R_D, r_d \approx 0$), 电流 I_D 由外电路决定。断开时 (反偏), $R_D, r_d \rightarrow \infty, I_D \approx 0$, 反向管压降由外电路决定, 二极管理想开关模型如图 1-10(a) 所示。

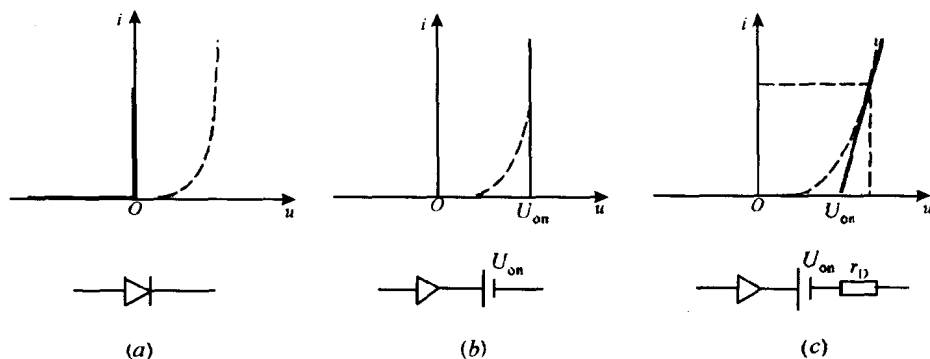


图 1-10 理想二极管模型

2) 考虑到死区电压时的开关模型

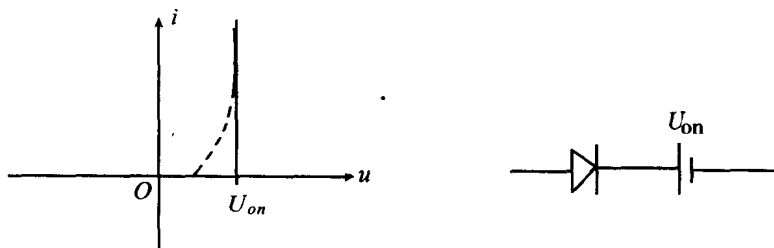


图 1-11 考虑到死区电压影响时的等效开关模型

图 1-11 所示的折线化伏安特性表明二极管的正向导通压降为 U_{on} , 截止时反向电流为零, 因而等效电路是理想开关和一个直流电压源的串联。

3) 折线等效模型

为了更好的近似, 可以用折线来近似二极管的特性曲线, 见图 1-12(a) 所示。可以看出, 二极管两端的电压小于导通电压 U_{on} 时, 电流为零; 超过 U_{on} 时, 特性曲线用一条斜线来近似, 斜线的斜率为工作范围内电流, 电压的比值, 其倒数为等效的电阻 $r_{d(on)} = \Delta U / \Delta I$ 。根据折线的特性可得到如图 1-12(b) 所示的等效电路。

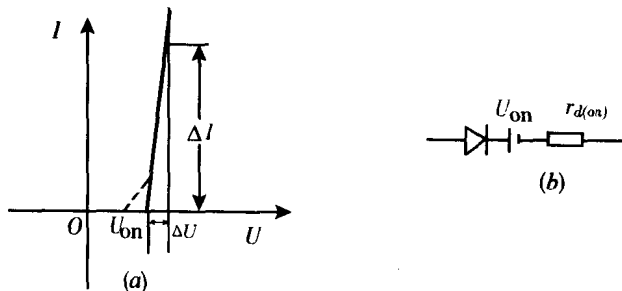


图 1-12 折线等效模型

(2) 微变等效电路

如果只考虑二极管两端的电压在某一固定值附近作微小变化时所引起的电流变化(或反之), 可以用曲线在该固定值处的切线来近似表示这一小段曲线, 如图 1-13(a) 所示。此情况下, 二极管的等效电路是一个微变等效电阻 r_d , 见图 1-13(b), $r_d = \Delta U / \Delta I$ 。这种等效电路只适用于二极管正向导通且信号变化幅值小的情况。故又称为交流小信号模型。

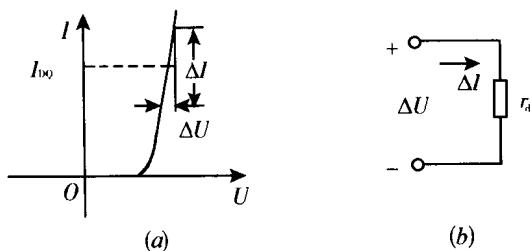


图 1-13 微变等效电路

4. 稳压二极管

稳压二极管是一种硅材料制成的面接触型晶体二极管,简称稳压管。它反向击穿时,在一定的电流范围或是功率范围内,电压几乎保持不变,从而达到稳压目的。其符号及特性如图 1-14(a) 所示。对稳压二极管的要求主要有以下三点。

(1) 反向击穿电压 U_Z 稳定。

1) 温度系数小。方法之一是使一管内兼有雪崩击穿和齐纳击穿两种击穿机理,正负温度系数互相抵消,使 U_Z 的稳定性提高。通常 U_Z 在 5 ~ 7V 之间,温度系数最小。方法之二是采用两管对接,让反向雪崩击穿的正温度系数和正向导通的负温度系数互为补偿,以达到减小温度系数之目的,如图 1-14(b) 所示。

2) 击穿特性的动态电阻 r_Z 要小,即 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ 要小。为减小 r_Z 的影响,有时采用恒流源供电,如图 1-14(c) 所示。

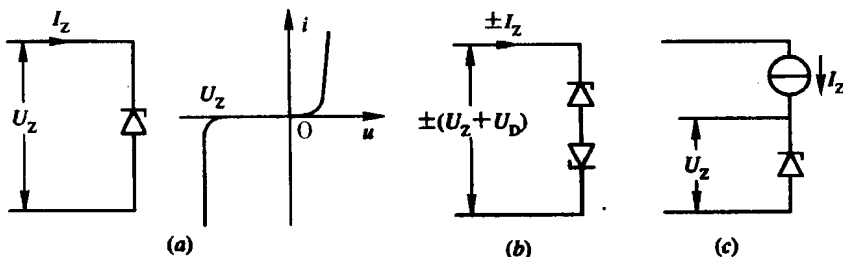


图 1-14 稳压二极管

(a) 符号及特性;(b) 具有温度补偿作用的稳压管;(c) 恒流源供电的稳压管

(2) 击穿要彻底(即 I_Z 一般要大于 2 ~ 3mA)。

(3) 功耗不要超过最大功耗(即 $P_Z = I_Z U_Z < P_{ZM}$)。

稳压二极管广泛应用于稳压电源与限幅电路当中。

5. 二极管的极限参数

最大电流 I_{DM} 。

最大功耗 $P_{DM} = I_{DM} \cdot U_D$ 。

最大允许反压 U_{BRO} (击穿电压)。

最大工作频率 f_m (与 PN 结电容有关,结电容越大,则 f_m 越大)。

1.1.3 二极管和稳压管的基本应用电路

二极管的最重要的应用是作为“开关”。由此而引申出来的有整流、限幅、门电路、箝位等诸多方面的应用。在任何应用电路中,最核心的问题是如何判断二极管是处于导通还是截止状态。如果是导通的,二极管即可视为短路或 0.7V (锗材料为 0.3V);反之,是截止的,即可视为开路。那么,如何判断二极管是导通或截止



呢?办法是先假设二极管断开,再观察二极管两端电压,若是正偏,立即认为导通;若为反偏,即可认为截止而断开。状态判断完毕后,再根据电路的连接与结构判断输出电压的波形和数值。在所有二极管的应用电路中,是不允许反向击穿的。

稳压管的主要作用是稳压和限幅。其分析电路的关键是判断稳压管是否反向击穿。方法是先假设稳压管不工作(既不反向击穿,也不正向导通)而断开,然后判断其管压降是否可能超过其稳定电压 U_Z , 如果超过,则可进入稳压状态,若不够,则仍保持截止。

1.2 典型例题、考题分析

【例题 1-1】N 型半导体中多数载流子是____;P 型半导体中多数载流子是____。(A. 空穴;B. 电子)(南航 2000)

【答案】B,A

【分析】因为 N 型半导体掺杂 5 价杂质,产生自由电子;而 P 型半导体掺杂了 3 价杂质,产生空穴。

【例题 1-2】稳压管____(A. 是二极管;B. 不是二极管;C. 是特殊的二极管),它通常工作在____状态。(A. 正向导通;B. 反向截止;C. 反向击穿)(南航 2000)

【答案】C,C

【分析】稳压管在二极管反向击穿区工作,具有稳压作用,因此是特殊的二极管。它通常工作在反向击穿状态。

【例题 1-3】在常温下,杂质半导体中的多数载流子主要因____而产生,而少数载流子因____而产生。

【答案】杂质电离;本征激发

【分析】常温下,杂质半导体中杂质元素基本完全电离,会产生大量多数载流子,因此多数载流子主要因杂质电离而产生。在杂质半导体中,仍然存在本征激发,从而产生自由电子和空穴,但其数目是非常少的。

【例题 1-4】在下面有关 PN 结的论述中,() 不正确。

- A. PN 结内的载流子浓度 P 区和 N 区都少。
- B. PN 结内的电场阻碍 P 区和 N 区的多数载流子越结扩散。
- C. 不外加电压时,PN 结内是电中性的。
- D. P 区和 N 区掺入杂质越多,PN 结越薄。

【答案】C

【分析】A:PN 结内的载流子由于扩散、漂移、复合,因此浓度极低,故 A 正确。

B:PN 结内自建电场的出现,电场方向由 N 区指向 P 区,因此会阻挡空穴由 PN 扩散入 N 区,电子由 N 区扩散入 P 区,故 B 正确。

C:不加外电压时,PN 结内也会形成内建电场,故不是电中性,所以 C 错误。

D:P 区和 N 区掺杂浓度越高,P 区的负离子和 N 区的正离子浓度也越高,因此,会排斥空穴和电子的扩散,故 P 区和 N 区掺杂浓度越高,PN 结越薄的说法是正确的。

【例题 1-5】变容二极管是利用 PN 结()效应的半导体管。

- A. 反偏扩散电容
- B. 反偏势垒电容
- C. 正偏扩散电容
- D. 正偏势垒电容

【答案】B

【分析】势垒电容是由耗尽层引起的,耗尽层中的电荷量随外加电压的变化而改变时,就形成了电容效应,也就是势垒电容。由理论推导可知,反向偏置电压越高,势垒电容越小,现代电子设备中常把反向偏置的 PN 结作为压控可变电容器使用。因此,变容二极管是利用 PN 结反偏势垒电容效应的半导体管,正确答案为 B。

【例题 1-6】在图 1-15 所示的二极管应用电路中, u_i 的波形应为()。

【答案】C

【分析】当不考虑二极管 D_1 和 D_2 的导通电压时,分析电路可知,当 u_i 为正半周时, D_1 截止, D_2 导通,电流的方向与图示 u_o 的正向相反;当 u_i 为负半周时, D_1 导通, D_2 截止,电流的方向也与图示 u_o 的正向相反,所以 u_o 的波形应如 C 答案所示。