



针对电子通信专业考研复试，我们精心打磨了两款极具针对性的备考资料——《16 科面试题库》与《电子通信面试百科》。

【星峰研学——16 科面试题库系列】

该系列共包含 16 个科目：数字电子技术、通信原理、模拟电子技术、电路分析(邱关源、李瀚荪)、半导体物理、大学物理、量子力学、高频电子线路数字信号处理、单片机与微机原理、信号与系统、电磁场电磁波、C 语言、数据结构、计算机网络。所有科目定期更新，购买后可享当前版本永久免费更新服务，请大家支持正版！本次版本为 2025 年 1 月 12 日第 5 次更新版。

《16 科面试题库》紧密围绕电子通信专业核心课程及相关常见科目的固定性面试问题。经过严谨的筛选、科学的分类以及深度的提炼整合，为考生搭建起一个完备且精准的知识框架。此类固定性问题在历年面试中呈现出显著的规律性与重现性，熟练掌握这些问题的解析思路与作答要点，能够助力考生在面试过程中展现出扎实的专业基础与沉稳自信的应考状态。

《16 科面试题库》有着极为广泛的适用性，是电子通信专业考研复试的“通用宝典”。无论你志在冲击顶尖名校，还是希望考入地方强校，无论院校风格如何，只要在复试环节涉及到这 16 个科目中的任何一门，这套题库均可使用，为每一位有志于攻读电子通信专业研究生的考生，提供了极具针对性和实用性的备考支持，帮助大家从容应对不同院校的复试挑战。

【星峰研学——电子通信面试百科】

《电子通信面试百科》着重整理总结开放性、综合性的面试问题。以“谈谈你对 ChatGPT 的理解”为例，其考查维度已超越单纯的知识背诵范畴，旨在全方位评估考生的综合素质、临场应变能力以及思维深度。此类问题要求考生不仅具备扎实的专业知识储备，还需拥有敏锐的洞察力、清晰的逻辑思维以及良好的语言表达能力，能够从多元角度对问题进行深入剖析，并提出独到且富有前瞻性的见解。

在电子通信专业考研面试的综合评价体系，开放性、综合性问题的回答质量往往成为决定考生能否顺利被录取的关键因素。这一环节不仅是对考生既往学习成果的直观检验，更

是对其未来在学术研究领域的发展潜力、专业实践中的创新能力以及综合素质的全面考量。

然而，在考研复试综合面试场景下，其主观性、开放性与综合性，使众多考生面临严峻挑战。面对考官提问题，考生常陷入迷茫状态，难以精准把握问题背后的核心与关键要点。即便部分考生积累了较为丰富的专业知识储备，也可能因**表达欠佳、思维深度不足，未能充分彰显严谨的思维逻辑与科学的分析能力**，导致无法有效展示自身的专业素养与综合能力，最终错失在面试中脱颖而出的宝贵契机。

鉴于此，星峰研学教研团队精心组建了一支专业过硬、经验丰富的研发团队。团队成员由**5位**深耕电子通信专业领域、在考研面试指导方面颇有建树的资深教师构成，其中**3位拥有硕士学位，2位具备博士学位**。耗时**400余天**，经过**8轮**修改优化，开展了超过**24次**深度研讨会议，会议讨论超过**24次**，累计会议时长逾**1000分钟**，深入分析超过**80所**知名院校电子通信专业历年各类面试真题以及部分行业领军企业秋招面试真题，隆重推出了第一版《电子信息面试百科全书》。

在第一版推出后，广受各位同学好评，也同时给我们提供了部分非常有参考价值的改进建议。因此，今年我们带着对考生高度负责的态度，决定对这部作品进行升级。以第一版为基础，我们再次投入大量精力。专门组织人力对书中内容进行全面审查，精心修正其中存在的细微错误，让内容更加准确无误；依据最新的考试形势与人才需求变化，审慎地删除了一些不再契合当下要求的题型；紧密追踪行业动态和学术前沿，精心筛选并增添许多贴合当下热点的新题目，最终精心打造出更加完善、更具时效性的第二版，只为给广大考生提供最优质、最实用的备考资料。

全书精心规划创作，**主题内容284页，超18万字**，内容丰富详实。鉴于每年面试问题的开放性与不确定性，难以确保本书中的题目覆盖所有考点，我们对海量面试问题进行了细致梳理与科学归纳，将其精准划分为**生活常识类、系统设计类、毕业设计类三大类别**。针对每一类问题，均提供了详尽完备、逻辑严密的回答模板。这些模板不仅结构清晰、层次分明，而且蕴含着科学的思维路径与专业的分析方法。考生若能熟练运用这些模板，结合自身知识储备进行灵活应答，有望在面试中斩获理想成绩。

本次版本为2025年1月12日第2次更新版。

本备考资料凝聚教研团队诸多心血，从真题收集到精心编纂、多次校对，得来殊为不易。为保护知识产权，上述题库PDF文件已严格加密，无法编辑、复制，也不会提供密码。我们诚恳希望购买题库的同学尊重知识产权，遵守市场规则。任何盗卖行为均属侵权违法，我们将依法追究责任，毫不姑息！

【星峰研学面试系列】全套资料							
序号	科目	PDF	配套视频	题数	适用教材	单科价格/元	全套价格/元
1	数字电子技术	√	√	151	阎石第五/六版及所有数电教材	9.9	99元，额外赠送面试礼包（简历、礼仪、自我介绍中英文模板及注意事项、常见英文面试问答模板）
2	信号与系统	√	√	178	郑君里、奥本海默、吴大正、管致中等所有信号教材	9.9	
3	通信原理	√		249	樊昌信等所有通原教材	9.9	
4	模拟电子技术	√		180	童诗白、康华光等所有模电教材	9.9	
5	电路分析——邱关源	√		122	邱关源等所有电路教材	9.9	
6	电路分析——李瀚荪	√		100	李瀚荪等所有电路教材	9.9	
7	半导体物理	√	√	181	刘恩科、朱秉升、罗晋生等所有半导体物理教材	9.9	
8	大学物理	√	√	161	舒幼生老师的《力学》 秦允豪老师的《热学》 梁灿彬老师的《电磁学》 赵凯华老师的《光学》以及上述科目所有版本教材	9.9	
9	量子力学	√	√	80	所有量子力学同类型教材	9.9	
10	高频电子线路	√		100	胡宴如等所有高频教材	9.9	
11	数字信号处理/DSP	√	√	184	程佩青、高西全等所有数字信号处理教材	9.9	
12	单片机和微机原理	√	√	140	所有同类型教材	9.9	
13	电磁场与电磁波	√	√	204	所有同类型教材	9.9	
14	C语言面试题库	√		109	常见教材综合版	19.9	
15	数据结构	√		10道常考大题+7个常考数据结构类型			
16	计算机网络	√		85			
17	操作系统	√		65			
18	电子通信综合面试题百科	√	√	针对开放性面试题，总结三大类，总计19w+字。服务万名考生，获得万条好评。刨根问底教方法，摆平面试过程中所有开放性、综合性问题		79	需单独购买，不在上述套餐内
题目总数				2306			

【购买渠道】

1) 关注公众号：星峰研学电子与通信考研，或扫描下方二维码，回复【商城】获取购买链接

2) 或通过伯索云平台【[点击蓝字，进入商场](#)】

【星峰研学公众号】



【小峰学长微信】





【关于我们】

星峰研学考研辅导班，在电子、通信、电气考研专业课辅导领域精耕细作逾六载，凭借深厚的行业积淀与丰富的教学实践，树立了卓越的辅导口碑。

本团队的创立源于中科大、厦门大学、福州大学在读研究生的教育热忱。成立伊始，凭借先进的教学理念与扎实的专业基础，在短短一年内便吸引了众多来自国内顶尖学府的优秀人才加入，其中不乏清华大学、四川大学、西安电子科技大学、贵州大学、南昌大学、华中科技大学、浙江大学、电子科技大学、西安邮电大学、重庆邮电大学等知名院校的学子。

随着辅导班的稳定发展，越来越多志同道合之士汇聚于此。目前，团队专业课服务人员已超过 60 人，成员囊括清华大学 (硕士)、北京大学 (硕士)、中科大 (博士)、福州大学 (硕博)、厦门大学 (硕博)、浙大 (硕博)、成电 (硕博)、中南大学 (硕博)、湖南大学 (硕士)、西电 (硕博)、华中科大 (硕博)、四川大学 (硕博)、哈尔滨工程大学 (硕士)、哈尔滨工业大学 (硕博)、东南大学 (硕士)、南昌大学 (硕士)、西安邮电大学 (硕士)、重庆邮电大学 (硕士) 等高校的在读硕博研究生。

团队的辅导科目全面覆盖电子、通信、电气考研的核心课程，包括《信号与系统》、《数字电路》、《模拟电路》、《数字信号处理》、《通信原理》、《电路分析》、《自控原理》等，能够精准对接所有“985”“211”院校相关专业的考研需求，为考生提供全方位、专业化的辅导。

在教学过程中，授课的老师始终恪守“高标准、高要求、高水平”的教学原则，以严谨的治学态度和高度的责任感投入工作。区别于市面上的传统培训机构，团队成员作为在读硕博研究生，能够凭借自身的学习经历，更能设身处地从学生视角出发，迅速且妥善地解决学生在学习与生活中遭遇的难题。

我们的核心授课教师均为星峰研学的全职教员，毕业于中国科学技术大学、哈尔滨工业大学、厦门大学、福州大学等知名高校，且都拥有多年的教学实践经验，教学成果斐然。

同时，我们组建了一支专属的答疑团队，每位负责教学答疑的学长学姐都具备丰富的一线教学经验，能够精准定位学生复习过程中的薄弱环节，并提供针对性的讲解与全方位的课后一对一答疑服务，确保辅导覆盖电子、通信、电气考研的所有常见科目。此外，鉴于团队成员及部分学员在境外深造、考公考编方面的成功经验，我们可为有需求的同学提供相关领域的一对一专业答疑与指导服务。

新的一年，星峰研学考研辅导班将不忘初心，砥砺前行，持续以高品质的教学与高效率的服务，为每一位学子的考研之路保驾护航。

在此,我们诚邀各大院校电子、通信专业有志于投身考研教育事业的同学加入我们团队,共同为热爱的教育事业拼搏奋进!若您有意向,请通过微信:18620724423(小峰学长)与我们取得联系,或扫描下方二维码,开启您在研究生阶段实现自我价值与经济独立的崭新征程!



【小峰学长微信】

【团队招聘】

助教老师	院校招生人员
<p>【工资组成】</p> <p>1. 基本底薪 双非: 120/h起 211: 150/h起 985: 180/h起 C9: 210/h起 TOP2: 是个谜 (请与小峰学长个人联系)</p> <p>2. 成绩奖励 根据当年班级考试成绩和学生上岸情况而定</p> <p>3. 年终奖励 根据全年表现、月度学生评价而定 全年综合工资8000~20000元</p> <p>【要求】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、有强烈的责任心 2、专业课或总分排名前五 3、愿意学习新知 4、积极备课, 主动答疑 5、需15-20分钟的知识点讲解试课 	<p>【工资组成】</p> <p>1. 基本底薪 固定底薪300~1000元/月</p> <p>2. 招生提成 高额提成, 根据实际成交价格阶梯型提成比例</p> <p>3. 年终奖励 根据全年表现、本院校任务完成情况辛苦程度而定。 正常情况全年综合收入15000~30000</p> <p>【要求】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、有强烈责任心, 有耐心 2、熟悉本院校考试情况 3、水群小能手或社交达人

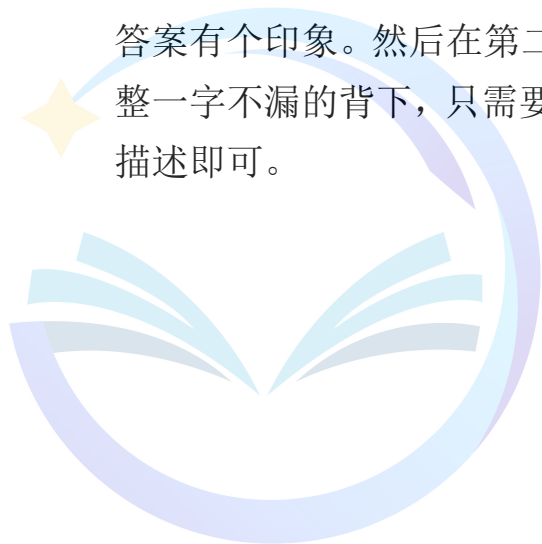
有意向的同学,添加微信:18620724423(小峰学长)时,请按“院校+专业代码+科目+排名”格式发送验证信息,如“福州大学 866 信号与系统排名第1”,期待您的加入~

半导体物理面试题库 181 题

本题库参考教材：《半导体物理学》（刘恩科，朱秉升，罗晋生）第 7 版，适用于所有半导体物理学教材。

1. 章节顺序以《半导体物理学》（刘恩科，朱秉升，罗晋生）教材为准；其余版本教材只是章节顺序不同，内容完全重合。可适用于所有版本《半导体物理学》教材。

2. 本题库精选《半导体物理学》面试常问 181 题，部分题目由于涉及到的面较宽，所以会有部分内容上的补充。考生拿到本题库时，先通读一遍，对于答案内容较多的题目，勾画出重点部分，对题目的答案有个印象。然后在第二遍的时候开始背诵。背诵的时候，无需完整一字不漏的背下，只需要把基本意思背下即可，然后用自己的话语描述即可。



星峰研学
XING FENG YANXUE

目录

第一章 导体中的电子状态.....	7
1、 简述什么是晶胞、原胞及其主要区别?	7
2、 原子量子态的四个量子数及其各自取值.....	7
3、 简述什么是金刚石结构?	7
4、 比较金刚石结构与闪锌矿结构, 哪些重要半导体材料属于这种结构? 物理性能方面有什么异同点?	7
5、 简述什么是极性半导体?	7
6、 简述单电子近似.....	7
7、 什么是电子共有化运动? (选择其一记忆即可)	7
8、 半导体晶体当中电子的波函数形式是什么? 物理意义是什么?	8
9、 在周期性势场中运动的电子具有哪些一般属性?	8
10、 比较孤立原子的电子势场、自由电子势场和晶体中电子势场的区别.....	8
11、 晶体中的内层电子和外层电子运动状态及能量有什么区别?	8
12、 什么是紧束缚近似?	8
13、 什么是能带?	8
14、 为什么能级是准连续的?	8
15、 什么是导带? 什么是价带?	8
16、 什么是禁带宽度? 如何测量禁带宽度?	9
17、 从能带理论出发, 分析金属、绝缘体和半导体在导电性能方面的差异.....	9
18、 什么是简约布里渊区?	9
19、 什么是 k 空间等能面?	9
20、 引入有效质量有什么意义?	9
21、 有效质量有关的几个概念 (大致掌握就好, 应对面试超纲问题)	9
22、 什么是空穴?	10
23、 什么叫做本征激发?	10
24、 什么是直接能带结构? 什么是间接能带结构?	10
25、 简述砷化镓的能带、硅的能带、锗的能带, 并阐述它们有什么异同点?	10
26、 为什么砷化镓达到极限工作温度比硅高?	10
27、 简述宽禁带半导体.....	10
第二章 半导体中杂质和缺陷能级.....	11
28、 实际半导体和理想半导体有什么区别.....	11
29、 本征半导体.....	11
30、 什么是替位式杂质、间隙式杂质?	11
31、 什么是施主杂质电离能、受主杂质电离能? 如何测量?	11
32、 施主杂质能级和能带能级是否一样? 为什么?	11
33、 什么是浅能级杂质、深能级杂质?	11
34、 简述半导体单晶硅中的主要缺陷.....	11
35、 什么是弗仑克尔缺陷、肖特基缺陷?	12
36、 什么是位错?	12
37、 请分别说明浅能级杂质和深能级杂质主要影响半导体材料的哪些电学参数? ...	12
38、 什么是杂质补偿? 简述杂质补偿在半导体中的应用与危害.....	12

39、两性杂质和其他杂质有何异同？	12
40、什么是等电子陷阱？	12
41、什么是等电子杂质？	12
42、什么是类氢杂质？	12
43、说明类氢模型的优点和缺点	13
44、什么是束缚激子？	13
第三章 半导体中载流子的统计分布	14
45、什么是状态密度？怎么求解状态密度？	14
46、什么是状态密度有效质量？ N_C 、 N_V 与哪些因素有关？	14
47、电子的费米分布函数表达式和物理意义是什么？	14
48、费米能级的物理意义是什么？当 $E - E_F \gg k_B T$ 时,就可以把电子从服从费米统计分布转化为服从玻尔兹曼统计分布,为什么?二者的区别是什么?	14
49、在半导体材料中,费米能级的位置受哪些因素影响?	14
50、分析杂质半导体掺杂浓度和温度对载流子浓度和费米能级的影响	14
51、简述热平衡状态	15
52、热平衡判断依据以及热平衡标志	15
53、什么是热平衡载流子?	15
54、改变半导体工作温度范围的方法	15
55、什么是非简并性系统、简并性系统	15
56、什么是非简并半导体?	15
57、什么是简并半导体?	15
58、简述载流子的简并化	16
59、什么是弱电离?强电离标准?	16
60、简述低温载流子冻析效应	16
61、简述禁带变窄效应	16
62、什么是杂质带导电?	16
第四章 半导体的导电性	17
63、简述漂移运动	17
64、电子迁移率表达式是什么?与哪些因素有关?物理意义是什么?并说明其大小主要由哪些因素决定?	17
65、什么是平均自由程、平均自由时间?	17
66、发生散射的原因?	17
67、简述电离杂质散射	17
68、什么是散射概率?	17
69、什么是弹性散射和非弹性散射?	17
70、简述晶格振动散射	17
71、什么是声学波?什么是光学波?	17
72、简述等同的能谷间散射	18
73、什么是多能谷散射?	18
74、什么是位错散射?	18
75、写出在低温、高温以及室温时轻掺杂、重掺杂半导体中起主要作用的散射机构	18
76、分析 Si、Ge、GaAs 的散射机制异同	18
77、以硅杂质半导体为例,简述载流子的主要散射机构及迁移率随温度的变化规律	

.....	18
78、电导有效质量.....	18
79、怎么测量电阻率?	18
80、下图为中等掺杂的硅的电阻率随温度的变化关系, 分析其变化的原因.....	18
81、什么是热载流子?	19
82、随温度的升高, 热载流子的迁移率将怎么变化? 为什么?	19
83、简述耿氏效应.....	19
84、什么是强电场效应?	19
85、强电场下载流子迁移率不再是常数, 将出现什么样的规律性? 解释原因.....	19
86、简述负阻效应.....	20
87、试由砷化镓的能带结构说明负微分电导及耿氏振荡(耿氏效应)的机理.....	20
第五章 非平衡载流子	21
88、什么是非平衡状态?	21
89、什么是非平衡载流子?.....	21
90、简述非平衡载流子的注入与复合.....	21
91、什么是小注入?	21
92、什么是光注入? 特点是什么?	21
93、什么是大注入?	21
94、什么是非平衡载流子寿命?	21
95、非平衡载流子有哪些方式产生? 主要的测量非平衡载流子寿命的方法有哪些?	21
.....	21
96、什么是准费米能级?	21
97、如何理解准费米能级是系统偏离平衡状态的标志?	22
98、半导体中载流子的复合过程有哪几种? 试分类并说明机理.....	22
99、什么是复合率?	22
100、什么是直接复合、间接复合?	22
101、间接复合的四个微观过程?	22
102、间接复合的动力.....	23
103、在间接复合中影响少子寿命的因素有哪些.....	23
104、什么是电子俘获率?	23
105、什么是俘获截面?	23
106、什么是表面复合?	23
107、什么是表面复合率? 与什么因素有关?	23
108、什么是表面复合速度?	23
109、什么是俄歇复合?	23
110、什么是陷阱效应、陷阱中心?	23
111、什么是电子陷阱?	24
112、什么是扩散运动?	24
113、什么是稳定扩散?	24
114、什么是扩散长度?	24
115、爱因斯坦关系式是针对平衡载流子推导出来的, 其是否适用于非平衡载流子?	24
.....	24
第六章 PN 结	25
116、PN 结的制备方法	25

117、理想 PN 结模型的四个条件.....	25
118、简述少子抽取.....	25
119、简述空间电荷区,并说明什么位置的电场最大?	25
120、简述接触电势差.....	25
121、简述势垒高度.....	25
122、简述耗尽层近似并尝试说明其物理依据.....	25
123、简述 PN 结 I-V 特性.....	26
124、PN 结单向导电性的内部物理机制	26
125、PN 结电流电压偏离理想情况因素	26
126、杂质扩散和载流子扩散主要区别.....	26
127、PN 结电容主要包括哪两大类?分析说明 PN 结的电容特性,各自的影响因素有 哪些?变化趋势如何?.....	26
128、PN 结击穿类型以及各自发生的条件	27
129、简述至少 5 种 PN 结的作用(性质)及其用途。	27
130、简述 PN 结隧道效应	28
131、简述隧道二极管的特点.....	28
132、简述什么是隧道结?	28
第七章 金属和半导体的接触.....	29
133、简述电子亲和能.....	29
134、简述半导体功函数和金属功函数,分析功函数的物理意义以及影响功函数的因 素	29
135、金属和半导体的接触可以分为哪两种接触?	29
136、简述热电子发射理论.....	29
137、简述肖特基势垒以及影响势垒高度和厚度的因素.....	29
138、肖特基势垒二极管与 PN 结二极管特性有什么异同?	29
139、什么是欧姆接触?形成欧姆接触的方法有哪些?欧姆接触的应用?	29
140、简述镜像力.....	30
141、简述隧道效应.....	30
第八章 半导体表面和 MIS 结构.....	31
142、简述表面态.....	31
143、理想 MIS 结构所需要满足的条件有哪些?	31
144、简述平带电压、平带状态、平带电容.....	31
145、什么是费米能级?	31
146、简述表面积累.....	31
147、简述表面耗尽.....	31
148、简述强反型.....	31
149、简述深耗尽状态.....	31
150、简述热弛豫时间.....	32
151、在 MOS (金属-二氧化硅-硅) 电容结构中存在固定表面电荷和可移动钠离子 电荷,说明二者的特性.....	32
152、MIS 结构电容电压变化曲线可以分为哪几个区?在哪个区域高频特性和低频特 性有明显差异,解释出现差异的原因.....	32

153、 简述施主型界面态、受主型界面态.....	32
154、 简述表面电导.....	32
第九章 半导体异质结构.....	33
155、 什么是异质结、反型异质结、同型异质结？	33
156、 什么是突变异质结、缓变异质结？	33
157、 简述两种的异质结的区别.....	33
158、 简述形成好的异质结应满足什么要求.....	33
159、 简述异质结的应用及具体用途.....	33
160、 简述超注入现象.....	33
161、 什么是异质结的调制掺杂结构？	33
162、 什么是二维电子气？	34
163、 简述单量子阱结构.....	34
164、 简述半导体超晶格.....	34
第十章 半导体的光学性质和光电与发光现象.....	35
165、 什么是本征吸收.....	35
166、 简述满足选择定则.....	35
167、 简述光生伏特效应？ 光生伏特效应的应用？	35
168、 激光发射的三个基本条件？.....	35
169、 简述自发辐射、受激辐射？	35
第十一章 半导体的热电性质.....	36
170、 什么是塞贝克效应？	36
171、 什么是玻耳帖效应？	36
172、 什么是汤姆逊效应？	36
173、 什么是晶体的热导率？	36
174、 半导体热电效应的应用有哪些？	36
第十二章 半导体磁和压阻效应.....	37
175、 什么是霍尔效应？	37
176、 测量霍尔电压时，如果两极点不垂直于 x 方向的电流，对霍尔电压的测量结果有什么影响？如何通过改变磁场方向来修正测量误差？	37
177、 简述霍尔效应如何测定半导体的导电类型？	37
178、 什么是光磁电效应？	37
179、 什么是压阻效应？	37
180、 压阻效应的应用有哪些？	37
第十三章 非晶态半导体.....	38
181、 简述非晶态半导体.....	38

第一章 导体中的电子状态

1、简述什么是晶胞、原胞及其主要区别？

晶体结构的基本单元，即反应周期性，又反应了各种对称性，整块晶体由晶胞重复排列而成。

最小周期单元，只反映周期性，而不反映各种对称性。

2、原子量子态的四个量子数及其各自取值

量子数 n ：电子壳层，取值：1、2、3…；

角量子数 L ：支壳层，取值：0、1、2、3…；

磁量子数 M_L ：支壳层中的量子态，取值：0、 ± 1 、 ± 2 、 ± 3 …

可旋量子数 M_S ：电子可旋方向，取值： $\pm \frac{1}{2}$

3、简述什么是金刚石结构？

金刚石结构具有立方对称晶胞，硅、锗均属于金刚石结构，是由两个同类原子各自组成的面心立方晶胞沿体对角线互相平移 $\frac{1}{4}$ 的空间对角线长度套构而成的，每个原子和周围 4 个最近邻原子组成 4 个共价键，他们之间的夹角 $109^\circ 28'$ ，通过 4 个共价键组成正四面体结构。

4、比较金刚石结构与闪锌矿结构，哪些重要半导体材料属于这种结构？物理性能方面有什么异同点？

二者晶体结构相同。

金刚石结构是由同种元素构成的，化学键为共价键，主要的半导体材料有硅，锗；

闪锌矿由两类不同元素构成，主要为共价键，同时具有离子键的混合成分，主要的半导体材料有砷化镓等。

5、简述什么是极性半导体？

在共价性化合物半导体中，结构的性质具有不同程度的离子性，常称这类半导体为极性半导体，例如 GaAs 等材料。

6、简述单电子近似

假设每个电子在周期性排列且固定不动的原子核势场及其他电子的平均势场中运动，该势场是具有与晶格同周期的周期性势场

7、什么是电子共有化运动？（选择其一记忆即可）

解释一：原子结合成晶体的过程中，由于原子间距非常小，电子壳层发生交叠，导致电子不再完全局限在某一个原子上，可以由一个原子转移到相邻的原子上去，因而，电子可以在整个晶体中运动，这种运动称为电子的共有化运动。由于内外壳层交叠程度很不相同，所以只有最外层电子的共有化运动才显著。

解释二：电子不再完全局限于某一个原子上，而是可以从晶胞中某一点自由的运动到其

他晶胞内的对应点，因而电子可以在整个晶体内运动，这种运动称为电子在晶体内的共有化运动。

8、半导体晶体当中电子的波函数形式是什么？物理意义是什么？

形式：晶体中的电子在周期性势场中运动的波函数以一个被调幅的平面波在晶体中传播

物理意义：在空间某一点找到电子的概率与波函数在该点的强度成比例

9、在周期性势场中运动的电子具有哪些一般属性？

- 晶体中的电子在严格周期性重复排列的原子间运动，单电子近似认为，晶体中的某一个电子是在周期性排列且固定不动的原子核势场，以及其他大量电子的平均势场中运动的，这个势场是具有与晶格同周期的周期性势场；
- 根据布洛赫定理，晶体中的电子在周期性势场中运动的波函数以一个被调幅的平面波在晶体中传播，波函数的强度也随晶格周期性变化，在晶体中各点找到该电子的概率也具有周期性变化性质；电子不再完全局限在某一个原子上，而是可以从晶胞中某一点自由地运动到其他晶胞内的对应点，电子在晶体内共有化运动。

10、比较孤立原子的电子势场、自由电子势场和晶体中电子势场的区别

孤立原子中的电子是在该原子核和其他电子的势场中运动；

自由电子是在一个恒为 0 的势场中运动；

晶体中的电子是在固定不动且周期性排列的原子核势场以及其他电子的平均势场中运动，这个势场周期性变化，而且周期与晶格同周期。

11、晶体中的内层电子和外层电子运动状态及能量有什么区别？

内层电子共有化运动较弱，其行为与孤立原子中的电子近似。

外层电子共有化运动较强，行为与自由电子相似，称之为准自由电子。外层电子能量高于内层电子。

12、什么是紧束缚近似？

从孤立原子核外电子状态出发，将晶体看作原子相互靠拢的结果，此时电子将做共有化运动，根据测不准原理，能级将会展宽为能带。

13、什么是能带？

当 N 个原子相互靠近结合成晶体后，每个电子都要受到周围原子势场的作用，其结果是每个 N 度简并的能级都分裂成 N 个彼此相距很近的能级，这 N 个能级组成一个能带

这时电子不再属于某个原子而是在晶体中做共有化运动，分裂的每个能带都称为允带，允带间因为没有能级称为禁带。

14、为什么能级是准连续的？

每个允带中电子能量不连续，允带是由许多密集能级组成，因 N 很大 ($N \sim 10^{22}$ 个，而允带宽度约有几个 eV，所以能级间隔很小，近似连续。

15、什么是导带？什么是价带？

对于被电子部分占满的能带，在外电场的作用下，电子可以从外电场中吸收能量跃迁到未被电子占据的能级上，形成电流，起导电作用，这种能带称为导带；

已被价电子占满的能带称为价带。

16、什么是禁带宽度？如何测量禁带宽度？

在一定温度下，共价键上的电子依靠热激发，获得能量脱离共价键成为在晶体中自由运动的准自由电子。脱离共价键所需的最低能量就是禁带宽度。

测量禁带宽度：利用本征半导体做变温实验，绘制 $\ln(n_i T^{-\frac{3}{2}}) \sim \frac{1}{T}$ 的图像，利用斜率 $-\frac{E_g(0)}{2k_0}$

即可求解得到禁带宽度。（或简单描述为：利用本征半导体做变温实验，计算图像斜率，进而得到禁带宽度）。

17、从能带理论出发，分析金属、绝缘体和半导体在导电性能方面的差异

从能带理论看，电子的能量变化就是电子从一个能级跃迁到另一个能级上。对于满带，其中的能级已被电子占满，在外电场的作用下满带中的电子并不形成电流，对导电没有贡献。对于被电子部分占满的能带，在外电场的作用下，电子可以从外电场中吸收能量跃迁到未被电子占据的能级，形成电流，起导电作用。

金属中，由于组成金属的原子中的价电子占据的能级是部分占满的。所以金属是良好的导体；绝缘体和半导体类似，下面都是已被电子占满的满带，中间是禁带，上面是空带，所以在热力学温度零度时，在外电场的作用下并不导电。当外界条件变化时，就有少量电子被激发到空带上去，在外电场的作用下就会参与导电；而绝缘体只是禁带宽度太大，激发电子需要很大的能量，在通常温度下，激发上去的电子很少，导电性差。

18、什么是简约布里渊区？

对于给定的晶体，利用倒格矢的定义，求出所对应的倒格子基矢，作所有倒格子基矢的垂直平分面，这些垂直平分面所围成完整的最小体积就是第一布里渊区，也为晶体倒格子点阵的魏格纳—塞兹晶胞，又称简约布里渊区。

19、什么是k空间等能面？

以 (k_x, k_y, k_z) 为坐标轴构成的K空间中，对应于某一 $E(K)$ 值，有许多组不同的 (k_x, k_y, k_z) ，这些组 (k_x, k_y, k_z) 构成一个封闭面，在这个面上能量为一恒值，这个面称为等能量面，简称等能面。

20、引入有效质量有什么意义？

引入有效质量的意义在于它概括了半导体内部势场的作用，使得在解决半导体中电子在外力作用下的运动规律时，可以不涉及半导体内部势场的作用。特别是它可以直接由实验测定，因而可以很方便地解决电子的运动规律。

21、有效质量有关的几个概念（大致掌握就好，应对面试超纲问题）

➤ 横向有效质量和纵向有效质量：

若等能面是各向异性的旋转椭球面，椭球长轴方向的有效质量为纵向有效质量，其他两个轴方向的有效质量相等，为横向有效质量。

➤ 状态密度有效质量：有效质量的几何平均，通常用来研究材料中有关电子统计的各种问题。

➤ 电导有效质量：有效质量的调和平均，用来描述材料的导电性能，最常用于计算载流子迁移率。

22、什么是空穴？

共价键上失去一个电子，在原来的位置留下一个空状态，电子的失去破坏了局部电中性，出现一个未被抵消的正电荷，这个正电荷为空状态所有，称这些空状态为空穴，空穴是一种假想的粒子。引入空穴，可以用少量的空穴运动代替大量的电子运动。

23、什么叫做本征激发？

一般来说，半导体的价电子从外界获取一定的能量、挣脱共价键束缚形成近似自由电子，同时产生一个空穴，这就是本征激发。

24、什么是直接能带结构？什么是间接能带结构？

在能带结构中，导带底和价带顶的极值对应的波矢 k 若相等，就为直接能带结构；若不同，则为间接能带结构。

25、简述砷化镓的能带、硅的能带、锗的能带，并阐述它们有什么异同点？

硅的能带结构：

导带结构：长轴沿着 $\langle 100 \rangle$ 方向的六个旋转椭球等能面，旋转椭球的中心（导带极小值），位于第一布里渊区中心至边界的 0.85 倍处；

价带结构：价带顶位于 $k=0$ 处（布里渊区中心），同时价带是简并的，具有一个轻空穴带、重空穴带、自旋轨道耦合而分裂出来的第三带。

禁带：1.12eV

锗的能带结构：

导带结构：长轴沿着 $\langle 111 \rangle$ 空间对角线方向上的八个半旋转椭球等能面，旋转椭球的中心（导带极小值）恰好位于第一布里渊区的边界上。

价带结构：价带顶位于 $k=0$ 处（布里渊区中心），同时价带是简并的，具有一个轻空穴带、重空穴带、自旋轨道耦合而分裂出来的第三带。

禁带：0.67eV

砷化镓的能带结构：

导带结构：极小值位于 $k=0$ 处（布里渊区中心），在 $\langle 111 \rangle$ 方向还有一个次极小值（上能谷），其能量比 $k=0$ 处高 0.29eV

价带结构：一个重空穴带（偏离布里渊区中心），一个轻空穴带和一个自旋轨道耦合分裂出的第三带。

禁带：1.43eV

区别：硅和锗均属于间接带隙半导体，砷化镓属于直接带隙半导体

26、为什么砷化镓达到极限工作温度比硅高？

硅的禁带宽度比砷化镓小，且相同温度下，硅的本征激发强于砷化镓，很容易就达到了较高的本征载流子浓度，使器件失去性能。

27、简述宽禁带半导体

一般把禁带宽度等于或大于 2.3eV 的半导体材料归类为宽禁带半导体材料；

- 特性：禁带宽度大、热导率高、介电常数低、电子漂移饱和速度高等；
- 应用：利用其宽禁带的特点，可以制作蓝光、绿光、紫外光的发光器件和光探测器件。

第二章 半导体中杂质和缺陷能级

28、实际半导体和理想半导体有什么区别

- 理想半导体的晶格原子严格按照周期性排列并静止在格点上；实际半导体中的原子不是静止的，而是在其平衡位置附近振动；
- 理想半导体是纯净而不含杂质的；实际半导体含有若干杂质
- 理想半导体的晶格结构是完整的；实际半导体中存在缺陷

29、本征半导体

完全不含杂质且无晶格缺陷的纯净半导体。称为本征半导体

30、什么是替位式杂质、间隙式杂质？

- 替位式：杂质原子进入硅、锗等半导体以后，取代晶格原子而位于晶格点处，称为替位式杂质；
- 间隙式：杂质原子进入半导体以后，位于晶格原子间的间隙位置，称为间隙式杂质。

31、什么是施主杂质电离能、受主杂质电离能？如何测量？

- 半导体中掺入施主杂质后，电子脱离杂质原子的束缚成为导电电子的过程称为杂质电离，使这个多余的价电子挣脱束缚成为导电电子所需要的能量称为施主杂质电离能；
- 使空穴挣脱受主杂质的束缚成为导电空穴所需要的能量称为受主杂质电离能。

测量方法：利用对杂质半导体进行变温实验，绘制 $\ln(n_D T^{-\frac{3}{4}}) \sim T$ 的图像，利用斜率 $-\frac{\Delta E_D}{2k_0}$

即可求解得到电离能。

32、施主杂质能级和能带能级是否一样？为什么？

施主杂质能级和能带能级不一样，施主杂质能级不允许同时被自旋方向相反的两个电子占据，

能带能级可容纳自旋方向相反的两个电子。

33、什么是浅能级杂质、深能级杂质？

硅锗中的三、五族杂质的电离能都很小，所以受主能级很接近价带顶，施主能级很接近于导带底，通常将这些杂质能级称为浅能级，将产生的浅能级的杂质称为浅能级杂质。

非三、五族杂质在硅、锗的禁带中产生的施主能级距离导带底较远，它们产生的受主能级距离价带顶也较远，通常称这种能级为深能级，相应的杂质称为深能级杂质。

34、简述半导体单晶硅中的主要缺陷

半导体单晶硅中的缺陷可分为本征缺陷和杂质缺陷。

- 本征缺陷主要包括点缺陷（弗仑克尔缺陷、肖特基缺陷和反肖特基缺陷）、线缺陷（也称位错，有刃位错、螺位错）、面缺陷及体缺陷。
- 杂质缺陷根据存在方式，可以分成替位式杂质和间隙式杂质。

35、什么是弗仑克尔缺陷、肖特基缺陷？

- 晶格点上的原子可能得一定动能脱离正常晶格点位置而进入晶格点位置间隙位置形成间隙原子，同时在原来的晶格点位置上留下空位，那么晶体中将存在等浓度的空位和间隙原子，空位和间隙原子成对出现，称为弗仑克尔缺陷。
- 由于晶体表面附近的原子热运动到表面，在原来的原子位置留出空位，然后内部邻近的原子再进入这个空位，这样逐步进行而造成的只在晶体内部形成空位而无间隙原子时，称为肖特基缺陷。

36、什么是位错？

位错属于一种线缺陷，可视为晶体中已滑移部分与未滑移部分的分界线

37、请分别说明浅能级杂质和深能级杂质主要影响半导体材料的哪些电学参数？

- 浅能级杂质在半导体中起施主或受主的作用，能向导带提供电子或价带提供空穴，改变半导体的导电性能；
- 深能级杂质对于载流子的复合能力较强，故在半导体中起复合中心的作用，通常用来制造高速开关半导体器件，提高器件速度。

38、什么是杂质补偿？简述杂质补偿在半导体中的应用与危害

当半导体中既有施主杂质，又有受主杂质时，施主杂质和受主杂质相互抵消，剩余的杂质最后电离，向导带提供电子或向价带提供空穴，称为杂质补偿效应。

在制造半导体器件的过程中，通过采用杂质补偿的方法来改变半导体某个区域的导电类型或电阻率。若控制不当，会出现施主杂质浓度与受主杂质浓度相差不大或二者相等，则不能提供电子或空穴，这种情况称为杂质的高度补偿。这种材料容易被误认为是高纯度半导体，实际上含杂质很多，性能很差，一般不能用来制造半导体器件。

39、两性杂质和其他杂质有何异同？

两性杂质是指在半导体中既可作为施主又可作为受主的杂质。以硅在砷化镓中的行为为例，硅取代砷化镓中的镓原子则起施主作用；硅取代砷化镓中的砷原子则起受主作用。导带中电子浓度随硅杂质浓度的增加而增加，当硅杂质浓度增加到一定程度时趋于饱和。硅先取代镓原子起施主作用，随着硅浓度的增加，硅取代砷原子起受主作用。

40、什么是等电子陷阱？

与基质晶体原子具有相同数量价电子的杂质原子，代替了格点上的同族原子后，仍是电中性的，但由于原子序数不同，这些原子的共价半径和电负性有差别，因而它们能俘获某种载流子而成为带电中心，这个带电中心就称为等电子陷阱。

41、什么是等电子杂质？

与基质晶体原子具有相同数量价电子的杂质原子，它们替代了格点上的同族原子后，基本上仍是电中性的。例如：III族和V族掺入不是由自身构成的III-V族化合物半导体中，禁带中不引入能级。

42、什么是类氢杂质？

对于浅能级杂质，电离能很低，电子和空穴受到正电中心或负电中心的束缚很微弱，这

些杂质能级的位置可以采用氢原子电离能计算公式来估算,这种施主或受主杂质就称为类氢杂质。

43、说明类氢模型的优点和缺点

优点:

- 基本上能够解释浅能级杂质电离能的小的差异
- 计算简单;

缺点

只有电子轨道半径较大时,该模型才较适用(如锗)。相反,对电子轨道半径较小的(如硅),简单的库仑势场不能计入引入杂质中心带来的全部影响。

44、什么是束缚激子?

等电子陷阱俘获某种载流子称为带电中心,这一带电中心由于库仑力的作用,又可以俘获带相反电荷载流子,形成束缚激子



星峰研学
XING FENG YANXUE

第三章 半导体中载流子的统计分布

45、什么是状态密度？怎么求解状态密度？

将能带分为一个一个能量很小的间隔来处理，假设在能带中能量 $E \sim E + dE$ 之间无限小的能量间隔内有 dZ 个量子态，则状态密度

$$g(E) = dZ/dE,$$

即在能带中能量 E 附近每单位能量间隔内的量子态数，计算状态密度的步骤：

- 求出 k 空间的量子态密度；
- 计算能量为常数在 k 空间所围成体积，再乘以 k 空间量子态密度，即得到 $Z(E)$ ；
- $g(E) = dZ/dE$

46、什么是状态密度有效质量？ N_C 、 N_V 与哪些因素有关？

为了方便讨论，导带底不在布里渊区中心的半导体（如硅）载流子的能量状态密度函数，还引入了所谓状态密度有效质量。这种半导体的导带底等能面是旋转椭球面，则其中电子的有效质量不是一个分量（有一个纵向有效质量和两个横向有效质量）；这种非球形导带底的能量状态密度分布函数比较复杂，但是如果把电子有效质量带换成所谓的状态密度有效质量，则可认为它的能态密度分布函数为球形等能面。

N_C 、 N_V 与有效质量和温度有关，并与它们乘积的 $3/2$ 次方的指数成正比

47、电子的费米分布函数表达式和物理意义是什么？

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{E-E_F}{k_0T}\right)}}$$

物理意义：描写热平衡状态下，能量 E 的量子态被一个电子占据的概率

48、费米能级的物理意义是什么？当 $E - E_F \gg k_0T$ 时，就可以把电子从服从费米统计分布转化为服从玻尔兹曼统计分布，为什么？二者的区别是什么？

意义（费米能级的名词解释）：当系统处于热平衡状态，也不对外界做功的情况下，系统中增加一个电子所引起的系统自由能的变化，等于系统的化学势，也就是等于系统的费米能级。

当 $E - E_F \gg k_0T$ 时，有 $\exp[(E - E_F)/(k_0T)] \gg 1$ ，电子从服从费米统计分布转化为服从玻尔兹曼统计分布；

费米统计分布主要适用于杂质浓度较高的简并半导体，考虑了泡利不相容原理，玻尔兹曼统计分布主要适用于杂质浓度较低的非简并半导体，不考虑泡利不相容原理。

49、在半导体材料中，费米能级的位置受哪些因素影响？

费米能级的位置受掺杂类型、杂质浓度和温度等因素的影响。

- 对于 N 型半导体，当杂质浓度升高时，费米能级向导带底移动；
- 对于 P 型半导体，费米能级的位置随杂质浓度的增加向价带顶移动。
- 无论是 N 型半导体、P 型半导体，费米能级均会随温度的增加向本征费米能级移动。

50、分析杂质半导体掺杂浓度和温度对载流子浓度和费米能级的影响

掺有某种杂质的半导体的载流子浓度和费米能级由温度和杂质浓度所决定。

对于杂质浓度一定的半导体，随着温度的升高，载流子则是从以杂质电离为主要来源过度到以本征激发为主要来源的过程，相应地，费米能级则是从位于杂质能级附近逐渐移近禁带中线处。在杂质半导体中，费米能级的位置不但反映了半导体导电类型，而且还反映了半导体的掺杂水平。

对于 N 型半导体，费米能级位于禁带中线以上，施主浓度越大，费米能级越高。对于 P 型半导体，费米能级位于中线以下，受主浓度越大费米能级位置越低。

51、简述热平衡状态

在一定的温度下，若没有受到外界作用(即无电压、光照等)，半导体的导电电子和空穴是依靠电子的热激发作用而产生的，电子从不断振动的晶格中获得一定的能量，就可能从低能量的量子态跃迁到高能级的量子态（例如本征激发）。电子和空穴也可以通过杂质电离的方式产生（电子从施主能级跃迁到导带产生导电电子和电子从价带激发到受主能级产生空穴）；

同时，电子也会从高能级的量子态跃迁到低能级的量子态，向晶格释放一定的能量，使导带电子和价带空穴不断减少，这一过程称为载流子复合。

在一定温度下，两个相反过程建立起动态平衡，称为热平衡状态。

52、热平衡判断依据以及热平衡标志

热平衡判断依据：

$$n_i^2 = n_0 p_0 = N_c N_v e^{-\frac{E_g}{k_0 T}}$$

统一的费米能级是半导体处于热平衡态的标志

53、什么是热平衡载流子？

半导体的导电电子浓度和空穴浓度都保持一个稳定的数值，这种处于热平衡状态下的导电电子和空穴称为热平衡载流子。

54、改变半导体工作温度范围的方法

- 更换材料：GaAs > Si > Ge
- 实现重掺杂
- 使用宽禁带半导体材料

55、什么是非简并性系统、简并性系统

- 服从玻尔兹曼统计率的电子系统称为非简并性系统；
- 服从费米统计率的电子系统称为简并性系统。

56、什么是非简并半导体？

将满足玻尔兹曼统计分布函数的 $E_c - E_f \gg k_0 T$ 或者 $E_f - E_v \gg k_0 T$ 的半导体称为简并半导体；

57、什么是简并半导体？

是杂质半导体的一种，它具有较高的掺杂浓度，其电子系统服从费米统计分布。

对于 n 型半导体，导带底附近的量子态基本上已被电子占据，有 $E_c - E_f \leq 0$ ；

对于 p 型半导体，价带顶附近的量子态基本上已被空穴占据，有 $E_F - E_v \leq 0$ ；

58、简述载流子的简并化

当导带中的电子及价带中的空穴的统计分布不能再应用玻尔兹曼分布函数，而必须使用费米分布函数的情况称为载流子简并化。发生简并化的半导体称为简并半导体。

59、什么是弱电离？强电离标准？

当温度很低时，大部分施主杂质能级仍为电子所占据，只有很少量的施主杂质发生电离，这少量的电子进入导带，称为弱电离。

未离化施主占总施主的 10% 以下或离化的施主占总数的 90% 以上

60、简述低温载流子冻析效应

在温度低于 100K 时，施主或受主杂质只有部分电离，尚有部分载流子被冻析在杂质能级上，对导电没有贡献，这种现象称为低温载流子冻析效应。

61、简述禁带变窄效应

当杂质浓度较高时，杂质原子之间电子波函数发生交叠，使孤立的杂质能级扩展为杂质能带，导致杂质电离能减少，杂质能带进入了导带或价带，并与导带或价带相连，形成了新的简并能带，使能带的状态密度发生了变化，简并能带的尾部伸入禁带中，导致禁带宽度减小。这种由于重掺杂导致禁带宽度变窄的效应称为禁带变窄效应。

62、什么是杂质带导电？

杂质能带中的电子通过在杂质原子之间的公有化运动参加导电的现象

第四章 半导体的导电性

63、简述漂移运动

在外加电压时，导体内部的自由电子受到电场力的作用，沿着电场的反方向作定向运动构成电流。电子在电场力作用下的这种运动称为漂移运动。

64、电子迁移率表达式是什么？与哪些因素有关？物理意义是什么？并说明其大小主要由哪些因素决定？

$$\mu_n = \frac{q\tau_n}{m_n^*}$$

迁移率是单位电场强度下载流子的平均漂移速度，是反映半导体中载流子导电能力的重要参数。迁移率的大小取决于有效质量和平均自由时间，其中平均自由时间又取决于杂质浓度和温度。

65、什么是平均自由程、平均自由时间？

载流子在连续两次散射间自由运动的平均路程称为平均自由程；

载流子在连续两次散射间所经历的自由时间的平均值称为平均自由时间。

66、发生散射的原因？

固体物理认为，载流子遭到散射的根本原因是周期性势场遭到破坏而引入了附加势场

67、简述电离杂质散射

施主杂质和受主杂质电离后，在电离施主或受主周围形成一个库仑势场，这一库仑势场局部地破坏了杂质附近的周期性势场，而载流子运动到电离杂质附近时，使其运动速度和方向均发生改变，即为电离杂质散射。

68、什么是散射概率？

散射概率是指单位时间内一个载流子受到散射的次数

69、什么是弹性散射和非弹性散射？

弹性散射：散射前后电子能量基本不变的散射；

非弹性散射：散射前后电子能量有较大变化的散射

70、简述晶格振动散射

在一定温度下，晶体中原子都各自在其平衡位置附近做微振动，载流子在半导体中运动时，会不断地与这些热振动着的晶格原子发生碰撞，这种由于晶格热振动的碰撞使载流子速度的大小和方向不断改变，即为晶格振动散射。

晶格振动散射包括声学波和光学波散射，分别对应长纵声学波和长纵光学波会造成原子分布的疏密变化，形成体变，即疏松处体积膨胀，密处压缩，产生一附加势场破坏了原来势场的严格周期性，产生散射。

71、什么是声学波？什么是光学波？

声学波：相邻原子作相位一致的振动，质心有运动。长纵声学波其主要的散射作用

光学波：相邻原子作相位相反的振动，质心无运动。长纵光学波对 GaAs 等化合物半导体起主要的散射作用

72、简述等同的能谷间散射

硅的导带具有极值能量相同的 6 个旋转椭球等能面，载流子在这些能谷中分布相同，这些能谷称为等同的能谷。对这种多能谷半导体，电子可以从一个极值附近散射到另一个极值附近，这种散射称为谷间散射。

73、什么是多能谷散射？

在电场作用下，电子从电场中获取能量，可在能谷间转移，即能谷间散射，电子的准动量有较大的改变，伴随散射发射或吸收光学声子。同时，电子的有效质量，迁移率，平均漂移速度，电导率均将发生变化。

74、什么是位错散射？

在 n 型（p 型）材料中，位错线俘获电子成为一串负电（正电）中心，其周围形成了一个圆柱形正（负）空间电荷区，其内部存在的电场就是引起载流子散射的附加势场。位错散射具有各向异性，电子垂直于空间电荷圆柱体运动时将受到散射。

75、写出在低温、高温以及室温时轻掺杂、重掺杂半导体中起主要作用的散射机构

重掺杂半导体低温时电离杂质散射为主要作用；高温时晶格振动散射起主要作用；轻掺杂半导体无论高温还是低温都是晶格振动散射起主要作用。

76、分析 Si、Ge、GaAs 的散射机制异同

Si、Ge、GaAs 中均含有电离杂质散射和声学波散射，但是 GaAs 中还含有光学波散射

77、以硅杂质半导体为例，简述载流子的主要散射机构及迁移率随温度的变化规律

对掺杂的硅，其主要的散射机构是声学波散射和电离杂质散射。

➤ 杂质浓度较低时

可以忽略电离杂质散射的影响，即迁移率主要受晶格振动散射的影响，随温度升高迁移率逐渐下降。

➤ 杂质浓度较高时

- 低温时晶格振动散射较弱，主要为电离杂质散射，即随温度升高迁移率缓慢增大；
- 当高温时晶格振动加剧，主要为晶格振动散射，即高温时迁移率随温度升高而降低。

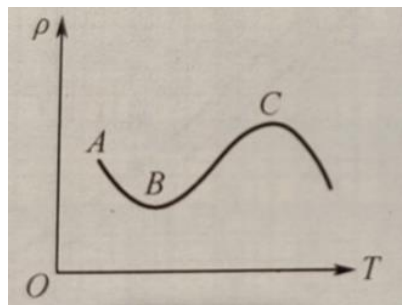
78、电导有效质量

对于等能面是旋转椭球面的多极值半导体，沿晶体的不同方向，有效质量不同。例如：硅有 6 个极值，旋转椭球等能面，横向有效质量 m_t 和纵向有效质量 m_l ，引入电导有效质量 m_c ，关系为 $m_c = 3m_t m_l / (2m_l + m_t)$ ，引入之后载流子迁移率与有效质量的关系不变

79、怎么测量电阻率？

四探针法

80、下图为中等掺杂的硅的电阻率随温度的变化关系，分析其变化的原因



AB 段: 温度很低, 本征激发可以忽略, 载流子主要由杂质电离提供, 它随温度升高而增加, 散射以电离杂质为主, 迁移率也随温度升高而增大。因此电阻率随温度升高而下降;

BC 段: 温度继续升高 (包括室温), 杂质全部电离, 本征激发还不十分明显, 载流子浓度基本不随温度变化, 晶格振动散射开始起主导作用, 迁移率随温度升高而降低, 电阻率随温度升高而增大;

C 段: 温度继续升高, 本征激发很快增加, 本征载流子数量快速增加远远超过迁移率变化对电阻率的影响, 电阻率随温度升高而急剧地下降。

81、什么是热载流子?

在强电场作用下, 载流子从电场中获得的能量很多, 载流子的平均动能显著超过热平衡载流子的平均动能, 因而载流子和晶格系统不再处于热平衡状态, 这种状态的载流子称为热载流子。

82、随温度的升高, 热载流子的迁移率将怎么变化? 为什么?

由于热载流子能量高, 速度大于热平衡状态下的速度, 根据公式 $\tau = l/v$ 可知, 在平均自由程保持不变的情况下, 平均自由时间减小, 因而迁移率下降。

83、简述耿氏效应

在 N 型砷化镓两端电极上加以电压, 当半导体内电场高于 3×10^3 V/cm 时, 半导体电流便以很高频率振荡, 这种效应称为耿氏效应。

84、什么是强电场效应?

迁移率随电场强度增强而变化的效应称为强电场效应。

85、强电下载流子迁移率不再是常数, 将出现什么样的规律性? 解释原因

规律: 电场强度超过 10^3 V/cm, 电流密度和电场强度呈非线性关系——电导率不再是常数, 平均漂移速度 v 与外加电场强度 E 不再成正比, 随电场强度的增加而增大的趋势放缓, 迁移率降低, 当电场强度继续增大, 平均漂移速度将达到一饱和值, 不再随 E 变化。

原因:

- 无电场时, 载流子和晶格散射时将通过吸收和发射声子实现与晶格交换动量和能量, 交换的净能量为零, 载流子的平均能量与晶格的相同, 两者处于热平衡状态。
- 低电场时, 载流子从电场中获得能量, 随后又以发射声子的形式将能量传给晶格。这时, 平均的说, 载流子发射的声子数多于吸收的声子数。到达稳定状态时, 单位时间载流子从电场中获得的能量同给予晶格的能量相同。
- 强电场时, 载流子从电场中获得的能量很多, 载流子的平均能量比热平衡状态时的大, 因而载流子和晶格系统不再处于热平衡状态而成为热载流子, 热载流子与晶格散射时,

速度大于热平衡状态下的速度，在平均自由程不变的情况下，平均自由时间减少，因而迁移率降低。

- 电场进一步增强，热载流子的能量高到可以和光学波声子比拟，散射时可以发射光学波声子，迅速释放大能量，平均漂移速度达到饱和。

86、简述负阻效应

在 N 型的砷化镓和磷化铟(InP)等双能谷半导体中，在高电场作用下载流子获得足够的能量从低能谷转移到卫星谷，有效质量增加，迁移率下降，平均漂移速度减小，电导率下降，称为负阻效应。

87、试由砷化镓的能带结构说明负微分电导及耿氏振荡（耿氏效应）的机理

砷化镓能带结构中，导带最低能谷 1 位于布里渊区中心处，在[111]方向布里渊区边界处还有一个极值约高出 0.29eV 的能谷 2，称为卫星谷。能谷 2 的曲率比能谷 1 小，所以能谷 2 的有效质量较大，电子迁移率更小。

当温度不太高，电场不太强时，导带电子大部分位于能谷 1。当电场达到 $3 \times 10^3 \text{V/cm}$ 后，能谷 1 中的电子可从电场中获得足够的能量而开始转移到能谷 2 中，发生能谷间的散射，但这两个能谷不是完全相同的，进入能谷 2 的电子，有效质量大为增加，迁移率大大降低，平均漂移速度减小，电导率下降，产生负微分电导。

以耿氏效应为例，当外加电压超过阈值时，导带极值所在的能谷中部分电子转移到卫星谷，由于两个能谷曲率不同，有效质量不同，会形成两类平均漂移速度不同的电子，进一步形成电子积累层和耗尽层，进而形成畴，畴增长至稳定并以恒定速度向阳极漂移最终被阳极“吸收”而消失，电场恢复到阈值，电流达到最大值，同时形成新畴，重复该过程即为耿氏振荡。

第五章 非平衡载流子

88、什么是非平衡状态？

对半导体施加外界作用，破坏了其热平衡状态，迫使它处于与平衡状态相偏离的状态。

89、什么是非平衡载流子？

如果对半导体施加外界作用(比如光照、电场和磁场等)，破坏了热平衡条件，其载流子浓度不再是热平衡状态时的电子浓度 n_0 和空穴浓度 p_0 ，比平衡状态多出来的这部分载流子称为非平衡载流子，有时也称为过剩载流子。

90、简述非平衡载流子的注入与复合

- 对半导体施加外界作用，使得半导体内部产生非平衡载流子的方法，称为非平衡载流子的注入，常用的有光注入、电注入；
- 产生非平衡载流子的外部作用撤除后，由于半导体的内部作用，使它由非平衡态恢复到平衡态，过剩载流子逐渐消失，这一过程称为非平衡载流子的复合。

91、什么是小注入？

一般情况下，注入的非平衡载流子比平衡时的多数载流子浓度小的多

92、什么是光注入？特点是什么？

用光照使半导体内部产生非平衡载流子的方法称为光注入。

光注入的特点：产生的非平衡载流子浓度等于非平衡空穴浓度

93、什么是大注入？

当注入到半导体的非平衡载流子浓度接近或大于原来的多数载流子时，称为大注入

94、什么是非平衡载流子寿命？

非平衡载流子的平均生存时间，标志着非平衡载流子浓度减小到原值 $1/e$ 所经历的时间

95、非平衡载流子有哪些方式产生？主要的测量非平衡载流子寿命的方法有哪些？

产生方法通常有光注入、电注入、外加磁场等。

测量寿命的方法主要有：

- 直流光电导衰减法：测量时用脉冲光照射半导体，在示波器上直接观察非平衡载流子随时间衰减的规律，由指数衰减曲线确定寿命。
- 高频光电导衰减法：同上，加在样品上的是高频电场。
- 光磁电法：适合测量短的寿命，在III-V族化合物半导体中用的最多。
- 扩散长度法，双脉冲法，漂移法

96、什么是准费米能级？

当半导体的平衡遭到破坏，导带和价带之间处于不平衡状态，但是在导带和价带中，电子基本处于平衡状态。因而费米能级和统计分布函数对导带和价带各自仍然适用。可以分别引入导带费米能级和价带费米能级，它们都是局部的费米能级，称为准费米能级。

导带的准费米能级称为电子准费米能级，用 E_{Fn} 表示；相应地，价带的准费米能级称为空穴准费米能级，用 E_{Fp} 表示。

97、如何理解准费米能级是系统偏离平衡状态的标志？

准费米能级是为了方便讨论非平衡载流子的统计分布及载流子浓度的能级而引入的。准费米能级是局部的费米能级，导带和价带的不平衡就表现在它们的准费米能级是不重合的。无论是电子还是空穴，非平衡载流子越多，导带准费米能级 E_{Fn} 和价带准费米能级 E_{Fp} 偏离 E_F 就越远。

一般在非平衡状态时，多数载流子的准费米能级和平衡时的费米能级偏离不多，少数载流子的准费米能级则偏离较大。因此， E_{Fn} 和 E_{Fp} 偏离大小直接反映了半导体偏离热平衡状态的程度。

98、半导体中载流子的复合过程有哪几种？试分类并说明机理

- 根据微观机构：
 - 直接复合—电子在导带和价带之间的直接跃迁，引起电子空穴的直接复合
 - 间接复合—电子和空穴通过禁带的能级(复合中心)进行复合
- 根据复合过程发生的位置：
 - 体内复合
 - 表面复合（属于间接复合）
- 根据载流子复合时释放出多余的能量方法：
 - 发射光子。伴随着复合，将有发光现象，常称为发光复合或辐射复合
 - 发射声子。载流子将多余的能量传给晶格，加强晶格的振动
 - 将能量给予其他载流子，增加它们的动能，称为俄歇复合

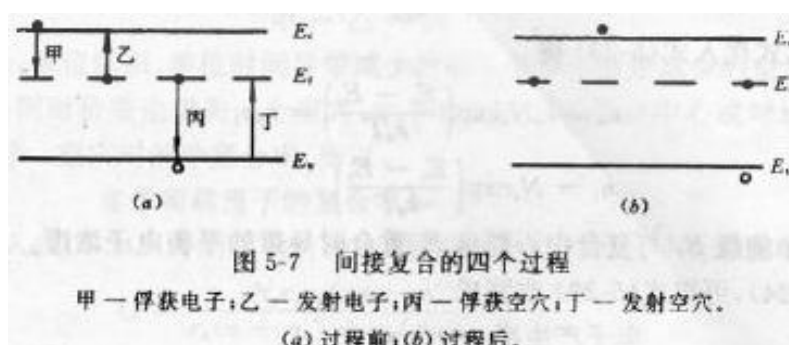
99、什么是复合率？

单位时间单位体积内净复合消失的电子--空穴对数

100、什么是直接复合、间接复合？

- 电子在导带与价带间直接跃迁而引起非平衡载流子复合过程即直接复合。
- 非平衡载流子通过半导体中的杂质和缺陷在禁带中形成的复合中心的复合过程就是间接复合。

101、间接复合的四个微观过程？



- 甲：俘获电子过程。复合中心能级从导带俘获电子。
- 乙：发射电子过程。复合中心能级上的电子被激发到导带。（甲逆）
- 丙：俘获空穴过程。电子由复合中心落入价带与空穴复合。
- 丁：发射空穴过程。价带电子被激发到复合中心上。（丙逆）

102、间接复合的动力

对复合率来说，非平衡偏离的程度 $np - n_i^2$ 是复合的动力

103、在间接复合中影响少子寿命的因素有哪些

(1) 寿命 τ 取决于 E_i 和 E_f 的位置（即与 n_0, p_0, n_1, p_1 有关），而非平衡载流子浓度无关。

(2) 影响因素：

- 复合中心种类，(r_n, r_p , 浓度)
- 掺杂浓度 (E_f)
- 温度 (n, p, r_n, r_p)
- 注入大小 $\Delta n, \Delta p$

104、什么是电子俘获率？

单位体积单位时间内被复合中心俘获的电子数

105、什么是俘获截面？

设想复合中心是具有一定半径的球体，其截面积为 σ ，截面积越大，载流子在运动过程中碰上复合中心而被俘获的概率就越大。因而，可以用 σ 来代表复合中心俘获载流子的本领，称为俘获截面。

106、什么是表面复合？

是指位于半导体表面发生的复合过程。表面处的杂质和表面特有的缺陷在禁带形成复合中心能级。因而就复合机构而言，表面复合仍然是间接复合。

107、什么是表面复合率？与什么因素有关？

单位时间单位面积复合掉的电子-空穴对数，与表面处的非平衡载流子浓度有关。

108、什么是表面复合速度？

表面复合率与表面处非平衡载流子浓度之比的比例系数，称为表面复合速度，它具有速度的量纲，表示表面复合的强弱。表面复合速度的大小，很大程度上要受到表面物理性质和外界气氛的影响。

109、什么是俄歇复合？

载流子从高能级向低能级跃迁，发生电子与空穴复合时，把多余的能量传给另一个载流子，使这个载流子被激发到能量更高的能级上去，当它重新跃迁回低能级时，多余的能量常以声子形式（周期性晶格振动量子化的最小单位，即格波的能量子）放出，这种复合称为俄歇复合。

110、什么是陷阱效应、陷阱中心？

陷阱效应：杂质能级俘获并能积累非平衡载流子的作用就称为陷阱效应。

陷阱中心：有显著陷阱效应的杂质能级，比如它所积累的非平衡载流子的数目可以与导带和价带中非平衡载流子数目相比拟，其相应的杂质和缺陷称为陷阱中心。陷阱中心只存储一种载流子，常为浅能级杂质。

111、什么是电子陷阱？

若 $\tau_n \gg \tau_p$ ，陷阱俘获电子后，很难俘获空穴，因而被俘获的电子往往在复合前就受到热激发又重新释放回导带，这种陷阱称为电子陷阱。

112、什么是扩散运动？

微观粒子只要浓度不均匀，就会在（气体、液体、固体）中发生扩散现象，扩散运动是由于粒子无规则热运动所引起的由高浓度向低浓度处定向运动，即：无规则热运动导致有规则定向运动。

113、什么是稳定扩散？

由于表面不断注入非平衡载流子，半导体内部的各点的空穴浓度也不随时间改变，形成稳定分布。

114、什么是扩散长度？

表示非平衡载流子边扩散边复合的过程中，浓度减少至原值的 $1/e$ 时所扩散的距离。

115、爱因斯坦关系式是针对平衡载流子推导出来的，其是否适用于非平衡载流子？

适用。实验证明，这个关系可直接用于非平衡载流子。这说明刚刚激发的载流子虽然具有和平衡载流子不同的速度和能量，但由于晶格的作用，在比寿命 τ 短得多的时间内就取得了与该温度相适应的速度分布，因此在复合前绝大部分时间内已和平衡载流子没什么区别。

第六章 PN 结

116、PN 结的制备方法

合金法（合金法所制备的是突变结）、扩散法、生长法、离子注入法

117、理想 PN 结模型的四个条件

- 小注入条件，即注入少数载流子浓度比平衡多数载流子浓度小得多。
- 突变耗尽层条件，即外加电压和接触电势差都落在耗尽层上，耗尽层中的电荷由电离施主和受主的电荷组成，耗尽层外的半导体是电中性的，注入的少数载流子在 p 区和 n 区是纯扩散运动。
- 通过耗尽层的载流子电流为常量，不考虑耗尽层中载流子的产生与复合作用。
- 玻尔兹曼边界条件，即在耗尽层两端，载流子分布满足玻尔兹曼统计分布。

118、简述少子抽取

在半导体上加上反偏压，使得 P 区边界电子被驱向 N 区，N 区边界空穴被驱向 P 区，当这些少子被驱走后内部的少子补充，这种情况像少子被不断抽出，称之为少子抽取。

119、简述空间电荷区，并说明什么位置的电场最大？

PN 结的 P 区和 N 区之间存在着载流子浓度梯度，导致了空穴从 P 区到 N 区、电子从 N 区到 P 区的扩散运动，其结果是在 P 区留下了不可动的带负电荷的电离受主，没有正电荷与之保持电中性。因此，在 PN 结附近 P 区一侧出现了一个负电荷区。同理，在 PN 结附近 N 区一侧出现了由电离施主构成的一个正电荷区，通常就把在 PN 结附近的这些电离施主和电离受主所带电荷称为空间电荷。它们所存在的区域称为空间电荷区。空间电荷区中的这些电荷产生了从 N 区指向 P 区的电场，称为内建电场。在 P 区和 N 区的交界面处，电场强度最大。

120、简述接触电势差

平衡 PN 结的空间电荷区两端间的电势差 V_D 称为接触电势差。

121、简述势垒高度

平衡 PN 结内建（接触）电势差相对应的电子电势能之差，即能带的弯曲量 qV_D 称为 PN 结的势垒高度

122、简述耗尽层近似并尝试说明其物理依据

对于一般的 PN 结，通常在空间电荷区中的载流子数量不会太多，可以近似认为空间电荷区中的电荷绝大多数是由电离杂质中心所提供的，即可简单地把空间电荷区近似看成是耗尽层，这就是所谓的耗尽层近似。

一般在室温附近，PN 结中载流子浓度比 N 区和 P 区的多数载流子浓度小得多，好像已耗尽了。即认为其中载流子浓度很小，可以忽略，空间电荷密度就等于电离杂质浓度。

123、简述 PN 结 I-V 特性

PN 结正向偏压时，外电场与内建电场方向相反，势垒区电场减弱，势垒区变薄；多子扩散大于漂移电流，形成正向导通电流；外偏电压为 0 时，多子扩散等于漂移电流达到动态平衡，净电流为 0；反向偏压时，外电场与内建电场方向相同，势垒区电场增强，势垒区增厚；多子扩散小于漂移电流，形成少子的反向抽取电流，电流很小。

124、PN 结单向导电性的内部物理机制

正向电压增加，注入的非平衡少数子增加使得扩散电流增加；

反向电压增加，少数子抽取不变，只是空间电荷区略有增加反向扩散电流不变

125、PN 结电流电压偏离理想情况因素

- 表面效应
- 势垒区中的产生与复合
- 大注入条件
- 串联电阻效应

126、杂质扩散和载流子扩散主要区别

- 杂质扩散
 - 高温条件下进行；
 - 中性原子的扩散，不形成电流；
 - 一定条件下可以改变材料的导电类型；
 - 以替位方式进行；
 - 不存在产生与复合
- 载流子扩散
 - 与温度关系不大；
 - 带电粒子的扩散，形成电流；
 - 不改变材料的导电类型；
 - 逆浓度梯度的方向运动；
 - 存在产生与复合

127、PN 结电容主要包括哪两大类？分析说明 PN 结的电容特性，各自的影响因素有哪些？

变化趋势如何？

PN 结电容主要包含势垒电容 C_T 和扩散电容 C_D 两大类。当外加电压发生变化时，空间电荷宽度要相应地随之改变，即存储的电荷数量要随之变化，如同电容充、放电。反偏时，势垒电容主导，正偏时，扩散电容主导。

- 势垒电容：当 PN 结加正向偏压时，势垒区的电场随正向偏压的增加而减弱，势垒区宽度变窄，空间电荷数量减少，空间电荷的减小是由于 N 区的电子和 P 区的空穴过来中和了势垒区两侧的电离施主和电离受主。这就是说，在外加正

向偏压增加时,将有一部分电子和空穴“存入”势垒区。反之,当正向偏压减小时,势垒区的电场增强,势垒区宽度增加,空间电荷数量增多,这就是有一部分电子和空穴从势垒区中“取出”。加反向偏压时类似。总之,PN 结上外加电压的变化,引起了电子和空穴在势垒区的“存入”和“取出”作用,导致势垒区的空间电荷数量随外加电压而变化,这与一个电容器的充放电作用相似,这种 PN 结的电容效应称为势垒电容。

- 扩散电容:正向偏压时,有空穴从 P 区注入 N 区,于是在势垒区与 N 区边界 N 区一侧一个扩散长度内,便形成了非平衡空穴和电子的积累,同样在 P 区也有非平衡电子和空穴的积累。当正向偏压增加时,由 P 区注入到 N 区的空穴增加,注入的空穴一部分扩散走了,一部分则增加了 N 区的空穴积累,增加了浓度梯度,所以外加电压变化时, N 区扩散区内 积累的非平衡空穴也增加,与它保持电中性的电子也相应增加。同样, P 区扩散区内积累的非平衡电子和与它保持电中性的空穴也要增加。这种由于扩散区的电荷数量随外加电压的变化所产生的电容效应,称为 PN 结的扩散电容

影响因素:

势垒电容大小和结面积、杂质浓度有关。突变结的势垒电容与结的面积及轻掺杂一侧的杂质浓度的平方根成正比,和电压(V_D-V)的平方根成反比。而线性缓变结的势垒电容和结的面积及杂质浓度梯度的平方根成正比,和电压(V_D-V)的平方根成反比。

扩散电容随正向偏压按指数关系增加,并随频率的增加而减小。

128、PN 结击穿类型以及各自发生的条件

小电压齐纳,大电压雪崩;轻掺杂齐纳,重掺杂雪崩。

- 雪崩击穿:反向偏压很大时,势垒区中的电场很强,在势垒区内的电子和空穴由于受到强电场的漂移作用,具有很大的动能,它们与势垒区内的晶格原子发生碰撞时,能把共价键上的电子碰撞出来,成为导电电子,同时产生一个空穴,于是一个载流子变成了三个载流子。这三个载流子(电子和空穴)在强电场作用下,向相反的方向运动,还会继续发生碰撞,产生第三代的电子—空穴对。空穴也如此产生第二代、第三代的载流子。如此继续下去,载流子数目大量增加,这种繁殖载流子的方式称为载流子的倍增效应。由于倍增效应,使势垒区单位时间内产生大量载流子,迅速增大了反向电流,从而发生 PN 结击穿,叫做雪崩击穿。
- 隧道(齐纳)击穿:在强电场作用下,由于隧道效应,使大量电子从价带穿过禁带而进入到导带引起的一种击穿现象,叫做隧道击穿。
- 热电击穿:当 PN 结上施加反向电压时,流过 PN 结的反向电流要引起热损耗。反向电压逐渐增大时,对应于一定的反向电流所损耗的功率也增大,这将产生大量热能。如果没有良好的散热条件使这些热能及时传递出去,则将引起结温上升,反向饱和电流密度随温度按指数规律上升,产生的热能也迅速增大,进而又导致结温上升,反向饱和电流密度增大。如此反复循环下去,最后无限增大而发生击穿。这种由于热不稳定性引起的击穿,称为热电击穿。对于禁带宽度比较小的半导体如锗 pn 结,由于反向饱和电流密度较大,在室温下这种击穿很重要。

129、简述至少 5 种 PN 结的作用(性质)及其用途。

- 单向导电性,可以制作整流二极管和检波二极管;

- 击穿特性，可以制作稳压二极管和雪崩二极管；
- 隧道效应，高掺杂 PN 结利用隧道效应制作隧道二极管；
- 电容特性，利用结电容随外电压变化效应制作变容二极管；
- 光生伏特效应，可以制作太阳能电池；
- 光电效应，使半导体的光电效应与 PN 结相结合还可以制作多种光电器件。如利用前向偏置异质结的载流子注入与复合，可以制造半导体激光二极管与半导体发光二极管；利用光辐射对 PN 结反向电流的调制作用，可以制成光电探测器。

130、简述 PN 结隧道效应

在简并重掺杂半导体中，由于势垒区很薄，且 P 区在价带上费米能级以上有空量子态，N 区导带费米能级以下有量子态被电子占据时，N 区导带中电子直接穿过隧道进入 P 区价带的效应。

131、简述隧道二极管的特点

- 多子器件
- 噪声较低
- 工作温度范围大
- 速度快，频率高

132、简述什么是隧道结？

一个半导体器件与金属接触形成 PN 结时，若半导体为重掺杂，金属与半导体之间的电阻非常小，不存在整流效应，电子可以依据隧道效应穿透金半接触的势垒层，这种接触称为欧姆接触，形成的结叫隧道结。

第七章 金属和半导体的接触

133、简述电子亲和能

对半导体而言，电子亲和能表示使半导体导带底的电子逸出体外所需要的最小能量。

134、简述半导体功函数和金属功函数，分析功函数的物理意义以及影响功函数的因素

- 功函数（金属）：金属的功函数： $W_m = E_0 - (E_F)_m$ ，一个起始能量等于费米能级的电子，从金属内部逸出到真空中所需要的最小能级，不同金属的功函数不同，功函数越大，说明金属对电子的束缚能力越强。
- 功函数（半导体）：半导体的功函数： $W_s = E_0 - (E_F)_s$ ，一个起始能量等于费米能级的电子，从半导体中逸出到真空中所需要的最小能级。

功函数物理意义：起始能量 E_F 的电子逸出到表面真空的最小能量。

影响功函数的因素：费米能级 E_F ，而费米能级与半导体温度、杂质浓度和杂质种类有关。

135、金属和半导体的接触可以分为哪两种接触？

整流接触、非整流接触（欧姆接触）

136、简述热电子发射理论

以 N 型半导体为例，当 N 型阻挡层很薄，以至于电子平均自由程远大于势垒宽度时，电子在势垒区的碰撞可以忽略，因此，这时起决定作用的是势垒高度。半导体内部的电子只要有足够的能量超越势垒的顶点，就可以自由地通过阻挡层进入金属；同样，金属中能超越势垒顶的电子也能到达半导体内，计算电流就归结为计算超越势垒的载流子数目，这就是热电子发射理论。

137、简述肖特基势垒以及影响势垒高度和厚度的因素

金属与 N 型半导体接触形成阻挡层，其势垒厚度随外加电压的变化而变化，这就是肖特基势垒。

影响势垒高度的因素：两种材料的功函数

影响势垒厚度的因素：材料（掺杂浓度等）和外加电压

138、肖特基势垒二极管与 PN 结二极管特性有什么异同？

1) 利用金属半导体整流接触特性制成的二极管称为肖特基二极管，它与 PN 结二极管有类似的电流-电压关系，均有单向导电性。但是二者又具有以下区别：

- PN 结二极管：存在电荷存储效应，严重影响了 PN 结的高频特性，反向饱和电流较小，正向导通电压较大（0.7V 左右）为少数载流子器件。
- 肖特基势垒二极管：不存在电荷存储效应，具有更好的高频特性，反向饱和电流较大，正向导通电压较低（0.3V 左右），为多数载流子器件。

139、什么是欧姆接触？形成欧姆接触的方法有哪些？欧姆接触的应用？

1) 欧姆接触是指金属与半导体接触时形成非整流接触即欧姆接触，它不产生明显的附加阻抗，不会使半导体内部的平衡载流子浓度发生显著的改变，当有电流流过时，欧姆接触上的电压降应远小于样品或器件本身的电压降，不影响器件的电流-电压特性。

2) 形成欧姆接触的方法主要有：低势垒接触、高复合接触和高掺杂接触。

3) 欧姆接触常用于实现半导体的电互联。

140、简述镜像力

金属和半导体接触时，半导体中电荷在金属表面感应出带电符号相反的电荷，同时半导体中的电荷受金属中的感应电荷的库仑吸引力，这种吸引力称为镜像力。

141、简述隧道效应

能量低于势垒顶的电子有一定几率穿过势垒，这种效应即隧道效应。对于一定能量的电子，存在一个临界势垒厚度 x_c 。若势垒厚度大于 x_c ，则电子完全不能穿过势垒；如果势垒厚度小于 x_c ，电子可以直接穿过它。



星峰研学
XING FENG YANXUE

第八章 半导体表面和 MIS 结构

142、简述表面态

晶体自由表面的存在使其周期性势场在表面处发生中断，从而在禁带中引入附加能级。这些附加能级上的电子局限在表面附近，并沿与表面相垂直的方向向体内指数衰减，这些附加的电子能态就是表面态。

143、理想 MIS 结构所需要满足的条件有哪些？

- 1) 金属与半导体间功函数之差为零；
- 2) 在绝缘层内没有任何电荷且绝缘层完全不导电；
- 3) 绝缘体与半导体界面处不存在任何界面态。

144、简述平带电压、平带状态、平带电容

- $V_G=0$ 时，一些因素的存在导致能带发生弯曲，半导体表面不处于平带状态，需加一电压才能恢复平带状态，抵消这些因素引起的能带弯曲，这一外加电压称之为平带电压。
- 当 MIS 结构外加电压 $V_G=0$ 时，表面势 $V_s=0$ ，表面处能带不发生弯曲称作平带状态；
- 平带状态时的 MIS 结构的电容称作平带电容。

(补：MIS 结构实际就是一个电容。电荷聚集在绝缘层两边、半导体空间电荷层载流子运动至平衡态都相当于电容的充电过程。MIS 结构电容相当于绝缘层电容和半导体空间电荷层电容的串联。)

145、什么是快界面态？

是指存在于硅-二氧化硅界面处而能值位于硅禁带中的一些分立的或连续的电子能态（能级）。

146、简述表面积累

当金属表面所加的电压使得半导体表面出现多子积累时，称之为表面积累。

147、简述表面耗尽

当金属表面所加电压使得半导体表面载流子浓度几乎为零时，此时称为表面耗尽

148、简述强反型

半导体表面的少数载流子浓度超过体内的多数载流子浓度时，半导体表面开始形成与原来半导体衬底导电类型相反的一层，称作反型层。反型状态有强反型和弱反型两种情况，当表面势大于等于二倍的费米势时，发生强反型。

149、简述深耗尽状态

如在金属与半导体之间加一高频电压时，由于空间电荷层内的少数载流子的产生速率跟不上电压的变化，反型层来不及建立，只有靠耗尽层延伸向半导体内深处而产生大量受主负电荷以满足电中性条件。这种情况的耗尽层宽度可远大于强反型的最大耗尽层宽度，且随电压 V_G 的增大而增大，这种状态称为深耗尽状态。

150、简述热弛豫时间

由初始的深耗尽状态过渡到热平衡反型层状态所经历的时间。

151、在 MOS（金属-二氧化硅-硅）电容结构中存在固定表面电荷和可移动钠离子电荷，说明二者的特性

1) 固定表面电荷特征主要有：电荷的面密度是固定的，不能充放电；电荷位于硅-二氧化硅界面的 20nm 范围以内；固定表面电荷的密度不明显地受氧化层厚度或硅中杂质类型及浓度的影响；固定表面电荷的密度与氧化和退火条件，以及硅晶体的取向有很显著的关系。固定表面电荷也会引起能带向下弯曲，需要加负电压才能恢复平带状态。

2) 可移动钠离子电荷特征主要有：其所带正电会引起半导体表面能带向下弯曲，需要加负电压才能恢复平带状态，在二氧化硅中的扩散率和迁移率都很大；温度达到 100°C 以上可在电场作用下以较大的迁移率发生漂移运动；钠离子的漂移可引起二氧化硅层中电荷分布的变化。

152、MIS 结构电容电压变化曲线可以分为哪几个区？在哪个区域高频特性和低频特性有明显差异，解释出现差异的原因

MIS 结构电容电压变化曲线可以分为：积累区、平带区、耗尽区、反型区
反型层高频特性和低频特性有明显差异。

- 低频时：强反型出现后，在半导体表面聚集了大量的电子，绝缘层两边都有电荷，如同只有绝缘层电容一样。
- 高频时：当信号频率较高时，反型层中电子的产生与复合跟不上高频信号的变化，即反型层电子的数量不随高频信号的变化而变化。造成高频时，反型层中电子对电容没有贡献。这时空间电荷区的电容由耗尽层决定。由于强反型时耗尽层宽度达到最大值，不随外加偏压变化，耗尽层电容将达到极小值并保持不变。

153、简述施主型界面态、受主型界面态

1) 不论能级在禁带中的位置如何，若能级被电子占据时呈电中性，施放电子后呈正电性，则称为施主型界面态；

2) 若能级空着的时候为电中性状态，而接受电子后带负电，则称为受主型界面态。

（补：受主界面态接受电子后带负电，施主界面态施放电子后带正电。）

154、简述表面电导

半导体表面薄层内沿平行表面方向的电导称为表面电导。大小取决于表面层内载流子数量及迁移率，载流子数量及迁移率越大，表面电导越大。垂直于表面方向的电场对表面电导起控制作用，MOS 场效应管正是利用这种效应而制成的。

第九章 半导体异质结构

155、什么是异质结、反型异质结、同型异质结？

- 1) 由两种不同的半导体单晶材料组成的结称为异质结；
- 2) 由导电类型相反的两种不同的半导体单晶材料形成的异质结称为反型异质结；
- 3) 由导电类型相同的两种不同的半导体单晶材料形成的异质结称为同型异质结。

(补：PN 结是有导电类型相反的同一种半导体单晶材料组成的，又称为同质结。与之对应的，不同半导体单晶材料组成的称为异质结。根据导电类型的异同，异质结又分为反型与同型异质结。)

156、什么是突变异质结、缓变异质结？

1) 如果从一种半导体材料向另一种半导体材料的过渡只发生在几个原子距离范围内，则称为突变异质结。

2) 如果从一种半导体材料向另一种半导体材料的过渡发生在几个扩散长度范围内，则称为缓变异质结。

(补：可以这么理解：突变，顾名思义范围很小，所以过渡只发生在几个原子范围内；缓变，变化缓慢，故过渡范围发生在几个扩散长度范围内。)

157、简述两种的异质结的区别

- 反型异质结：两种半导体材料交界面处两边都形成耗尽层（即势垒区）
- 同型异质结：一边为耗尽层，一边为积累层

158、简述形成好的异质结应满足什么要求

好的异质结的要求是晶格匹配，即：

- 结构相同或类似
- 晶格常数相差很小
- 热膨胀系数接近

159、简述异质结的应用及具体用途

应用：

- 提高少子注入效率
- 调制掺杂技术提高载流子的迁移率
- 窗口效应
- 异质结激光器

具体应用：制作发光组件、激光二极管、高速开关器件、太阳能电池

160、简述超注入现象

在异质 PN 结中，由宽禁带半导体注入到窄禁带半导体中的少数载流子浓度可超过宽禁带半导体中多数载流子浓度，这一现象称之为超注入现象。

161、什么是异质结的调制掺杂结构？

由宽禁带重掺杂的 N 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ （铝砷化镓）与不掺杂 GaAs 组成的异质结称为调制掺杂结构。

(补：可以这么理解：在异质结宽禁带一边重掺杂，窄禁带一边不掺杂，就构成了调制

掺杂结构。)

162、什么是二维电子气?

势阱中的电子在与结平行的平面内作自由运动,实际就是在量子阱区内的准二维运动,故称为二维电子气。

(补:可以这么理解:窄禁带半导体中获得的高密度电子仅存在于很薄的近似三角形的势阱中,在平行于结面方向,是一种准二维运动,称它为二维电子气。)

163、简述单量子阱结构

在宽禁带半导体 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 材料上异质外延极薄的 GaAs ,然后再异质外延极厚的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$,就可形成单量子阱结构。

164、简述半导体超晶格

半导体超晶格是指由交替生长的两种半导体材料薄层组成的一维周期性结构,而其薄层厚度的周期小于电子的平均自由程的人造材料。其主要分为成分超晶格和掺杂超晶格两类。其中掺杂超晶格是周期性改变同一成分的各薄层中掺杂类型而形成的超晶格。



星峰研学
XING FENG YANXUE

第十章 半导体的光学性质和光电与发光现象

165、什么是本征吸收

理想半导体在热力学温度零度时，价带是完全被电子占满的，因此价带内的电子不可能被激发到更高的能级。唯一可能的吸收是足够能量的光子使电子激发，越过禁带跃迁入空的导带，而在价带中留下一个空穴，形成电子-空穴对。这种由于电子由能带与能带之间的跃迁所形成的吸收过程称为本征吸收。

（补：本征吸收是最重要的一种吸收，是指价带中的电子吸收能量为 $h\nu$ 的光子后，直接跃迁入导带。其特点是电子-空穴对成对产生。）

166、简述满足选择定则

在光照下，电子吸收光子的跃迁过程，除了能量必须守恒之外，还必须满足动量守恒，即所谓满足选择定则。

167、简述光生伏特效应？光生伏特效应的应用？

当用适当波长的光照射非均匀半导体(PN 结等)时，由于内建电场的作用(不加外电场)，半导体内部产生电动势(光生电压)，这种内建电场引起的光电效应称为光生伏特效应。

应用：主要用于光谱仪器的光接收器，光电转换，红外检测，光电开关等方面。

168、激光发射的三个基本条件？

- 形成分布反转，使受激辐射占优势
- 具有共振腔，以实现光量子放大
- 至少达阈值电流密度，使增益至少等于损耗

169、简述自发辐射、受激辐射？

1) 不受外界因素的作用，原子自发地从激发态回到基态引起光子发射的过程，称为自发辐射；

2) 在外来辐射的刺激下，受激原子从激发态向低能态或基态跃迁的辐射光子的现象，称为受激辐射。

第十一章 半导体的热电性质

170、什么是塞贝克效应？

是指由于两种不同导体或半导体两端相接，组成一个闭合回路，若两个接头具有不同的温度，则线路中便有电流，产生电流的电动势称为温差电动势，这种热电现象称为塞贝克效应。

171、什么是珀耳帖效应？

两种不同导体连接后通以电流，在接头处便有吸热、放热的现象，称为珀耳帖效应。

172、什么是汤姆逊效应？

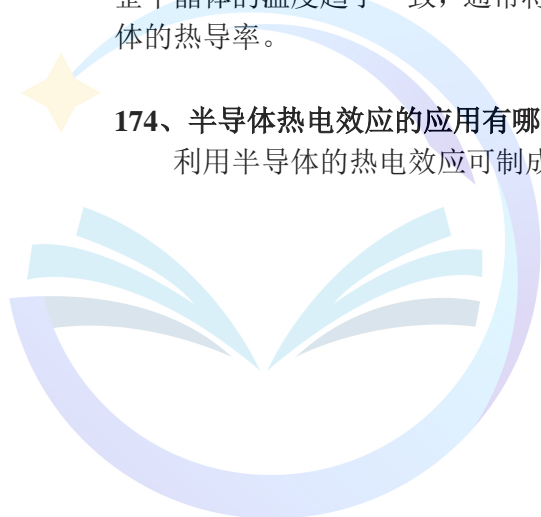
是指当存在温度梯度的均匀导体中通有电流时，导体中除产生和电阻有关的焦耳热外，还要吸收或放出热量，这种吸收或放出热量的效应称为汤姆逊效应。

173、什么是晶体的热导率？

当晶体的某一部分温度升高时，则能量将由晶体的高温部分传导到低温部分，使整个晶体的温度趋于一致，通常将单位温度梯度、单位时间通过单位面积的热量称为晶体的热导率。

174、半导体热电效应的应用有哪些？

利用半导体的热电效应可制成温差发电机、制冷器和发热器。



星峰研学
XING FENG YANXUE

第十二章 半导体磁和压阻效应

175、什么是霍尔效应？

把通有电流的半导体放在均匀磁场中，若磁场与电流的方向相垂直，则在磁场的作用下，载流子(电子或空穴)的运动方向发生偏转。这样，在垂直于电流和磁场的方向上就会形成电荷积累，出现电势差(电场)，这种现象称为霍尔效应。

(补：可以这么理解：把通有电流的半导体放在磁场中，在垂直于电流和磁场的方向上会产生横向电场，这个现象称为霍尔效应。横向电场称为霍尔电场。霍尔效应的实质是带电粒子在磁场中运动收到洛伦兹力作用的结果。霍尔效应可以测得半导体的导电类型、载流子浓度、迁移率和电导率等)

176、测量霍尔电压时，如果两极点不垂直于 x 方向的电流，对霍尔电压的测量结果有什么影响？如何通过改变磁场方向来修正测量误差？

- 霍尔电极两极点不垂直于电流方向，会导致只要有电流沿 X 方向流过，即使没有磁场，也会测量出电势差，导致霍尔电压测量不准确。
- 在确定的磁场 B 和电流 I 下，测出的电压是霍尔电压和副效应产生的附加电压的代数和，采用取绝对值之和再取平均值的方法消除误差，即对称测量法。

$$V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4) / 4$$

177、简述霍尔效应如何测定半导体的导电类型？

N 型和 P 型半导体的霍尔系数符号相反，也即霍尔电压 V_H 的正负相反，故从霍尔电压的正负可以判别半导体的导电类型。

178、什么是光磁电效应？

在垂直光照方向再加以磁场，由于洛伦兹力的作用，电荷发生偏转，引起与霍尔效应类似的效应，在横向(垂直光及磁场方向)引起电场，产生电势差，这个效应称为光磁电效应。

179、什么是压阻效应？

对半导体施加应力时，半导体的电阻率要发生改变，这种现象称为压阻效应。

(补：可以这么理解：由于应力的作用使电阻率发生改变的现象称作压阻效应。对半导体施加应力，样品会发生形变，并且其能带结构也会发生改变，因此样品的电阻率要发生变化。)

180、压阻效应的应用有哪些？

利用半导体压阻效应可制成半导体应变计、压敏二极管、压敏三极管等。

(补：半导体应变计是利用半导体电阻随应力变化的这一现象制成的；压敏二极管和压敏三极管是利用应力可以改变 PN 结的伏安特性这一压敏特性制成的。)

第十三章 非晶态半导体

181、简述非晶态半导体

- 1) 非晶态半导体主要分为以下两类：四面体结构非晶态半导体（也称为硅系非晶态半导体）和硫系非晶态半导体；
- 2) 主要特性为短程有序、亚稳性；
- 3) 制备非晶态半导体有以下两类办法：熔体急冷法、气相淀积（如真空蒸发、溅射和各种化学气相淀积 CVD 等）



星峰研学
XING FENG YANXUE