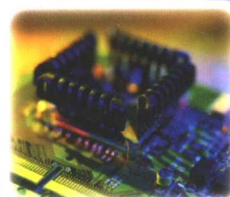
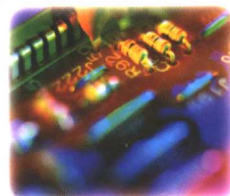




信息产业部电子行业特有工种职业技能鉴定指导丛书

半导体芯片制造 职业技能鉴定指南

信息产业部电子行业职业技能鉴定指导中心 审 定
赵丽华 主 编
李拴庆 主 审



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

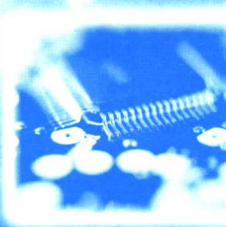
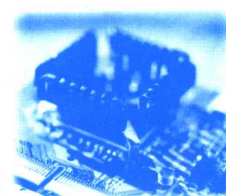


北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

半 身 体 芯 片 制 造

职 业 技 能 鉴 定 指 南

信息产业部电子行业职业技能鉴定指导中心 审 定
赵丽华 主 编
李拴庆 主 审



图书在版编目 (CIP) 数据

半导体芯片制造职业技能鉴定指南/赵丽华主编.

北京: 中国科学技术出版社, 2004.6

(信息产业部电子行业特有工种职业技能鉴定指导丛书)

ISBN 7-5046-3758-0

I.半... II.赵... III.芯片—半导体技术—技术工人—职业技能鉴定—自学参考资料 IV.TN43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 020816 号

- 系 列 名 : 信息产业部电子行业特有工种职业技能鉴定指导丛书
书 名 : 半导体芯片制造职业技能鉴定指南
文 本 著 者 : 赵丽华主编 李栓庆主审
责 任 编 辑 : 王楠楠 沈葆华
出版、发行者 : 中国科学技术出版社 北京希望电子出版社
地 址 : 北京市海淀区中关村南大街 16 号 100081
北京市海淀区知春路甲 63 号卫星大厦三层 100080
网址: www.bhp.com.cn E-mail: lwm@bhp.com.cn yb@bhp.com.cn
电话: 010-62520290, 62521724, 62528991, 62630301, 62524940, 62521921 (发行)
010-82675588-318, 62532258, 62562329 (门市)
010-82675588-501, 82675588-201 (编辑部)
- 经 销 : 各地新华书店、软件连锁店
排 版 : 王权
文 本 印 刷 者 : 北京双青印刷厂
开 本 / 规 格 : 787 毫米×1092 毫米 1/16 19.75 印张 456 千字
版 次 / 印 次 : 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷
印 数 : 0001~4000 册
本 版 号 : ISBN 7-5046-3758-0/TP · 242
定 价 : 30.00 元

内 容 简 介

本书是《信息产业部电子行业特有工种职业技能鉴定指导丛书》的一种。

本书首先介绍《半导体芯片制造工国家职业标准》，全书内容在技术难度上严格限定在此“标准”的范围之内，同时在具体的技术内容力求反映半导体芯片制造技术、当前发展的实际状况，按照中级、高级、技师和高级技师四个等级知识要求和技能要求编写了知识解答、专业知识练习以及职业技能鉴定用的模拟试题，书中还详尽地提供了芯片制造中各类化学制品安全使用的基本知识，供考生系统复习和检验自己的技能水平之用。

本书可供相关的职业技能鉴定机构组织升级考核复习和申请参加技能鉴定人员自学之用。对于各类职业技术学校师生、相关专业技术人员也有一定的参考价值。

版 权 声 明

本书版权归著作权人所有，未经著作权人书面许可，本教程的任何部分都不得直接或修改后复制或传播。

版权所有，翻印必究。

丛书前言

20 世纪 90 年代以来,随着全球信息化步伐的加快,我国电子信息产业也得到了迅速的发展,它已成为我国国民经济的支柱产业,是我国经济增长中一支重要的力量。知识含量高、技术更新快已成为这个行业的显著特点。为此,培养和造就一批高素质的技术人才队伍,努力提高这个行业从业人员的技术水平,使之适应时代发展的需要,是当今十分重要的工作任务。

为了落实国民经济发展“十五”计划对发展电子信息产业提出的要求,实现我国电子信息产业跨越式的发展,迎接我国加入 WTO 后带来的机遇和挑战,也为了落实《中华人民共和国劳动法》加强对技术工人的职业技能培训,推动职业技能鉴定工作在电子信息产业深入开展,我们组织编写了这套《信息产业部电子行业特有工种职业技能鉴定指导丛书》,作为电子行业特有工种从业人员进行职业技能鉴定的必读课本。我们希望这套丛书能在电子行业特有工种的职业技能鉴定中发挥积极的作用。

《信息产业部电子行业特有工种职业技能鉴定指导丛书》汇集了电子行业各个不同工种的职业技能标准,用知识问答的形式,讲解了每个工种各个级别所应掌握的知识要点。书中还配有大量的习题,对工人进行职业技能考核有着很强的针对性。在该书的编写过程中得到了信息产业部有关部门,部分省、市信息产业主管部门,信息产业部直属研究所,行业协会和企业界的大力支持,他们为这套丛书的编写付出了辛勤的劳动,在此特致谢忱。

由于我们水平有限,错误之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

信息产业部电子行业职业技能鉴定指导中心

前 言

《中华人民共和国劳动法》明确规定，国家对规定的职业应制定职业技能标准，实行职业资格证书制度，由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能鉴定。经劳动和社会保障部核准，曾批 44 个职业列为电子行业特有工种，实施国家职业技能鉴定。

职业技能鉴定是提高专业职工队伍技术素质，增强劳动者就业能力的有效措施。对劳动者进行考核鉴定，并通过职业资格证书制度予以确认，为企业合理使用劳动力以及劳动者自主择业提供了依据和凭证。同时，竞争上岗，以贡献定报酬的新型劳动、分配制度，也必将成为广大劳动者努力提高职业技能的动力。

为了适应职业技能鉴定工作的需要，推动职业培训教学改革，提高培训质量、统一鉴定水平，信息产业部电子行业职业技能鉴定指导中心委托中国电子科技集团公司第十三研究所组织有关专家、技术人员和职业培训教学管理人员编写了这本《半导体芯片制造工职业技能鉴定指南》，希望能对该行业职业技能考核有所帮助。

本书以《半导体芯片制造工国家职业标准》为依据，在技术难度上严格限定在此“标准”的范围之内，同时在具体的技术内容上力求反映半导体芯片制造技术当前发展的实际情况。根据上述标准的要求在编写上按照中级工、高级工、技师和高级技师四个等级的内容。每个等级按知识要求和技能要求收集和编写了专业知识解答，专业知识练习和职业技能鉴定用的模拟试题，其中高级工应同时掌握中级工的知识，技师应同时掌握中级工和高级工的知识，高级技师应掌握本书全部内容。书中还详尽地提供了各类化学制品安全使用的基本知识，供考生进行系统复习。本书还可用于相关鉴定机构组织技术培训，升级考核复习和准备申请参加技能鉴定的人员自学使用。

本书由中国电子科技集团公司第十三研究所人力资源处主持，并组织相关的专业人员参与编写。参与编写的人员有杨克武、李松法、赵丽华、李栓庆、宋马成、徐永强、殷绍祥。赵丽芳、吴全有、杨克武所长和本所科技委的主要领导对本书的编写和审定给予了直接的关注和支持。由于半导体技术发展日新月异，编写时间仓促，书中错漏实难避免，恳请读者斧正。

编者

目 录

第1章 半导体芯片制造工国家职业标准	1
1.1 职业概况	1
1.2 基本要求	3
1.3 工作要求	4
1.4 比重表	14
第2章 专业知识解答	15
2.1 中级部分	15
2.2 高级部分	54
2.3 技师部分	73
2.4 高级技师部分	109
第3章 专业知识练习	136
3.1 中级部分	136
3.2 高级部分	144
3.3 技师部分	152
3.4 高级技师部分	164
3.5 中级部分答案	174
3.6 高级部分答案	180
3.7 技师部分答案	187
3.8 高级技师部分答案	195
第4章 专业知识模拟试卷	202
4.1 中级模拟试卷	202
4.2 高级模拟试卷	207
4.3 技师模拟试卷	211
4.4 高级技师模拟试卷	215
4.5 中级模拟试卷答案	219
4.6 高级模拟试卷答案	222
4.7 技师模拟试卷答案	225
4.8 高级技师模拟试卷答案	228
附录	231
半导体器件和集成电路工艺常用化学制品的安全知识介绍	231
1. 正硅酸乙脂 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$) ₄ Si 安全信息卡	232
2. 硅烷 (SiH_4) 安全信息卡	233
3. 磷烷 (PH_3) 安全信息卡	234
4. 三氯化砷 (AsCl_3) 安全信息卡	235
5. 五氧化二磷 (P_2O_5) 安全信息卡	236
6. 氨 (NH_3) 安全信息卡	237

7. 氢气 (H_2) 安全信息卡	238
8. 二氯二氢硅 (SiH_2Cl_2) 安全信息卡	239
9. 四氟化碳 (CF_4) 安全信息卡	240
10. 六氟化硫 (SF_6) 安全信息卡	241
11. 甲苯 (C_7H_8) 安全信息卡	242
12. 丙酮 (C_3H_6O) 安全信息卡	243
13. 乙醇 (C_2H_6O) 安全信息卡	244
14. 酸类安全信息卡	245
15. 三氟化硼 (BF_3) 安全信息卡	246
16. 三氟甲烷 (CHF_3) 安全信息卡	247
17. 异丙醇 (C_3H_8O) 安全信息卡	248
18. 三氯乙烷 ($C_2H_3Cl_3$) 安全信息卡	249
19. 双氧水 (H_2O_2) 安全信息卡	250
20. 四甲基氢氧化铵 ($(CH_3)_4NOH$) 安全信息卡	251
21. 丙烯酸甲酯 ($C_4H_6O_2$) 安全信息卡	252
22. 磷化铟单晶安全信息卡	253
23. 氯化氢 (HCl) 安全信息卡	254
24. 微氰化物镀金液安全信息卡	255
25. 四氯化碳 (CCl_4) 安全信息卡	256
26. Az 系列光刻胶安全信息卡	257
27. 二乙基锌 [$Zn(C_2H_5)_2$] 安全信息卡	258
28. 三甲基铝 [$Al(CH_3)_3$] 安全信息卡	259
29. 砷烷 (AsH_3) 安全信息卡	260
30. 氟硼酸系列电镀锡铅电镀液安全信息卡	261
31. 丁酮 (C_4H_8O) 安全信息卡	262
32. 三甲基镓 [$Ga(CH_3)_3$] 安全信息卡	263
33. 三甲基铟安全信息卡	264
34. 氰化钾 (KCN) 安全信息卡	265
35. 氢氧化钠 ($NaOH$) 安全信息卡	266
36. 环己酮 ($C_6H_{10}O$) 安全信息卡	267
37. 松油醇 ($C_{10}H_{18}O$) 安全信息卡	268
38. 油墨 (热固化型) 安全信息卡	269
39. 铬酸溶液 (H_2CrO_4) 安全信息卡	270
40. 笑气 (N_2O) 安全信息卡	271
41. 八氟环丁烷 (C_4F_8) 安全信息卡	272
42. 甲烷 (CH_4) 安全信息卡	273
43. 氯气 (Cl_2) 安全信息卡	274
44. 砷 (As) 安全信息卡	275
45. 三氯乙烯 (C_2HCl_3) 安全信息卡	276

46. 邻苯二酚 ($C_6H_6O_2$) 安全信息卡	277
47. 吡嗪 ($C_4H_4O_4$) 安全信息卡	278
48. 乙酸 ($C_2H_4O_2$) 安全信息卡	279
49. 氢氧化钾 (KOH) 安全信息卡	280
50. 石墨 (C) 安全信息卡	281
51. 乙二胺 ($C_2H_8N_2$) 安全信息卡	282
52. 氟化铵 (NH_4F) 安全信息卡	283
53. 氯化铵 (NH_4Cl) 安全信息卡	284
54. 三氯甲烷 ($CHCl_3$) 安全信息卡	285
55. 六氟乙烷 (氟利昂 116, F_{116}) 安全信息卡	286
56. 正丁醇 ($C_4H_{10}O$) 安全信息卡	287
57. 甲醛 ($HCHO$) 安全信息卡	288
58. 乙酸丁脂 ($C_6H_{12}O_2$) 安全信息卡	289
59. 环己烷 (C_6H_{12}) 安全信息卡	290
60. 二甲基甲酰胺 (C_3H_7NO) 安全信息卡	291
61. 过硫酸铵 [$(NH_4)_2S_2O_8$] 安全信息卡	292
62. 石油醚安全信息卡	293
63. 柠檬酸胺 ($C_6H_{14}N_2O_7$) 安全信息卡	294
64. 氯苯 (C_6H_5Cl) 安全信息卡	295
65. 二甲苯 (C_8H_{10}) 安全信息卡	296
66. 苯 (C_6H_6) 安全信息卡	297
67. 甲醇 (CH_4O) 安全信息卡	298
68. 三乙醇胺 ($C_6H_{15}NO_3$) 安全信息卡	299
69. 三氯氢硅 ($SiHCl_3$) 安全信息卡	300
70. 氰化金钾 ($K_{Au}(CN)_2$) 安全信息卡	301
71. 丙酸 ($C_3H_6O_2$) 安全信息卡	302
72. 铍及其化合物 (Be) 安全信息卡	303
73. 三氯化硼 (BCl_3) 安全信息卡	304
74. 溴化氢 (HBr) 安全信息卡	305
75. 重铬酸钾 ($K_2Cr_2O_7$) 安全信息卡	306
76. 氢氧化铵 (NH_4OH) 安全信息卡	307
77. 四氟化硅 (SiF_4) 安全信息卡	308

第 1 章 半导体芯片制造工国家职业标准

1.1 职业概况

1.1.1 职业名称

半导体芯片制造工。

1.1.2 职业定义

使用设备制造半导体分立元器件、集成电路芯片的人员。本职业含下列工种：外延工、氧化扩散工、离子注入工、化学汽相淀积工、光刻工、台面成型工、半导体器件及集成电路电镀工。

1.1.3 职业等级

本职业共分四个等级，分别为：中级（国家职业资格四级）、高级（国家职业资格三级）、技师（国家职业资格二级）、高级技师（国家职业资格一级）。

1.1.4 职业环境

室内、常温。

1.1.5 职业能力特征

	非 常 重 要	重 要	一 般
一般智力			
表达能力			
色 觉			
听 觉			
手指灵活性			
手臂灵活性			
动作协调性			
形体知觉能力			

1.1.6 基本文化程度

高中毕业（或同等学历）。

1.1.7 培训要求

1. 培训期限

全日制职业学校教育，根据其培养目标和教学计划确定。晋级培训期间：中级不少于

260 标准学时；高级不少于 180 标准学时；技师不少于 150 标准学时；高级技师不少于 150 标准学时。

2. 培训教师

培训中、高级的教师应具有本职业技师以上职业资格证书或相关专业中、高级专业技术职业任职资格；培训技师的教师应具有本职业高级技师职业资格证书或相关专业的高级专业技术职务任职资格；培训高级技师的教师应具有本职业高级技师职业资格证书 3 年以上或相关高级专业技术职务任职资格。

3. 培训场地要求

理论培训场地应具有可容纳 20 名以上学员的标准教室，并配备示教设备。实际操作培训场所应是具备半导体分立元器件、集成电路芯片制造设备和测试仪器的实践场所。

1.1.8 鉴定要求

1. 适用对象

从事或准备从事本职业的人员。

2. 申报条件

——中级（具备以下条件之一者）

（1）连续从事本职业工作 5 年以上，经本职业中级正规培训达规定标准学时数，并取得毕（结）业证书。

（2）连续从事本职业工作 7 年以上。

（3）取得经劳动保障行政部门审核认定的、以中级技能为培养目标的中等以上职业学校本职业（专业）毕业证书。

——高级（具备以下条件之一者）

（1）取得本职业中级职业资格证书后，连续从事本职业工作 4 年以上，经本职业高级正规培训达规定标准学时数，并取得毕（结）业证书。

（2）取得本职业中级职业资格证书后，连续从事本职业工作 7 年以上。

（3）取得经劳动保障行政部门审核认定的、以高级技能为培养目标的高等职业学校本职业（专业）毕业证书。

（4）取得本职业中级职业资格证书的大专以上专业或相关专业毕业生，并连续从事本职业工作 2 年以上。

——技师（具备以下条件之一者）

（1）取得本职业高级职业资格证书后，连续从事本职业工作 5 年以上，经本职业技师正规培训达规定标准学时数，并取得毕（结）业证书。

（2）取得本职业高级职业资格证书后，连续从事本工作 8 年以上。

——高级技师（具备以下条件之一者）

（1）取得本职业高级职业资格证书后，连续从事本职业工作 3 年以上，经本职业高级技师正规培训达规定标准学时数，并取得毕（结）业证书。

（2）取得本职业中级职业资格证书后，连续从事本职业工作 5 年以上。

3. 鉴定方式

分为理论知识考试和技能操作考核。理论知识考试采用闭卷笔试方式，技能操作考核采用现场实际操作方式。理论知识考试和技能操作考核均实行百分制，成绩皆达 60 分以上者为合格。技师和高级技师还须进行综合评审。

4. 考评人员与考生配比

理论知识考试考评人员与考生配比为 1:15，每个标准教室不少于 2 名考评人员；技能操作考评员与考生配比为 1:5，且不少于 3 名考评员。综合评审委员会不少于 5 人。

5. 鉴定时间

理论知识考试为 90~120 分钟；技能操作考核为 150~180 分钟。综合评审时间不少于 40 分钟。

6. 鉴定场所设备

理论知识考试在标准教室进行；技能操作考核在具备必要实验设备的实践场所，设备要求能满足每人一批的待加工样件及相应的测试仪器和工具。

1.2 基本要求

1.2.1 职业道德

1. 职业道德基本知识

2. 职业守则

- (1) 敬业爱岗，实事求是。
- (2) 努力学习，不断提高理论水平和操作能力。
- (3) 工作热情、主动。
- (4) 严守纪律，不谋私利。
- (5) 自觉遵守工艺纪律和劳动纪律。
- (6) 遵守操作规程、注意安全。

1.2.2 基础知识

1. 半导体材料基本知识。
2. 晶体管原理基本知识。
3. 半导体集成电路基本知识。
4. 半导体器件工艺原理基本知识。
5. 半导体常用设备、仪器、仪表的基本知识。
6. 安全防护知识。
7. 《劳动法》等相关法律、法规知识。
8. 产品质量法相关知识
9. 环境保护法相关知识

1.3 工作要求

本标准对中级、高级、技师和高级技师的技能要求依次递进，高级别涵盖低级别的要求。

1.3.1 中级

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
一、准备工作	材料检查		能根据产品要求检查原材料是否合格	相关检查标准
	清洁处理		能按工艺要求清洁处理原材料、工具及器皿	1. 相关检验标准 2. 化学溶液的配制方法
	溶液的配制		能配制本工序所需要的腐蚀液、清洁液、保护胶等	
二、工艺操作	外延生长	工艺条件设定	能按工艺文件设定外延生长的工艺条件	1. 设备操作规程 2. 外延工艺基本要求 3. 外延质量检验规范 4. 位错的计算方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置设备运行参数 2. 能按工艺规定程序安全开炉,并能按规定程序完成外延生长操作,制作出合格的外延生长片 3. 能测量外延生长片的方块电阻并能测量计算其位错密度 4. 能对外延生长表面进行目检	
		质量判定	能按质量检验规范检验外延片的合格性	
	氧化扩散	工艺条件设定	能按工艺文件设定氧化扩散工艺条件	1. 设备操作规程 2. 氧化扩散工艺基本要求 3. 氧化扩散质量检验规范 4. 扩散片电阻率的计算方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置氧化扩散设备运行参数 2. 能按工艺规定程序安全开炉,并能按规定程序完成氧化扩散操作,制作出合格的氧化扩散片 3. 能测量扩散片的方块电阻及晶体管基本电参数 4. 能对氧化扩散表面进行目检	
		质量判定	能按质量检验规范检验氧化扩散片的合格性	
	离子注入	工艺条件设定	能按工艺文件设定离子注入工艺条件	1. 设备操作规程

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		操作	1. 能按工艺文件规定设置离子注入设备运行参数 2. 能按工艺规定程序安全开炉,并能按规定程序完成离子注入操作,制作出合格的离子注入片 3. 能测量离子注入片的方块电阻及晶体管基本电参数 4. 能对离子注入片表面进行目检	2. 离子注入工艺基本要求 3. 离子注入质量检验规范 4. 离子注入片电阻率的计算方法
		质量判断	能按质量检验规范检验离子注入片的合格性	
	化学汽相淀积	工艺条件设定	能按工艺文件设定化学汽相沉积的工艺条件	1. 设备操作规程 2. 化学汽相淀积的工艺基本要求 3. 膜厚测量方法 4. 化学汽相淀积质量检验规范
		操作	1. 能按工艺文件规定设置化学汽相淀积设备运行参数 2. 能按工艺规定程序安全开炉,并能按规定程序完成化学汽相淀积操作,制作出合格的化学汽相淀积片 3. 能测量化学汽相淀积层的厚度 4. 能对化学汽相淀积片表面进行目检	
		质量判定	能按质量检验规范检验化学汽相淀积片的合格性	
	光刻	工艺条件设定	1. 能按工艺文件设定光刻的工艺条件 2. 能根据不同的刻蚀对象设定匀胶厚度、曝光、坚膜时间	1. 设备操作规程 2. 光刻工艺基本要求 3. 光刻质量检验规范 4. 胶厚测量方法
		操作	1. 能按工艺文件设定设置光刻设备运行参数 2. 能按产品要求选择掩模版,并能按规定程序完成光刻操作,制作出合格的光刻片 3. 能测量氧化扩散片的氧化层的厚度 4. 能对光刻片表面进行目检	
		质量判定	能按质量检验规范检验光刻片的合格性	
	台面成型	工艺条件设定	能按工艺文件设定台面成型工艺条件	1. 设备操作规程 2. 台面成型工艺基本要求

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		操作	1. 能按工艺文件规定设置台面成型设备运行参数 2. 能按工艺要求完成台面成型操作, 制作出合格的台面成型片 3. 能测量台面管的反向电压和漏电流 4. 能对台面成型表面进行目检	3. 台面成型质量检验规范 4. 反向电压和漏电流的测量方法
		质量判定	能按质量检验规范检验台面成型片的合格性	
	半导体器件电镀	工艺条件设定	能按工艺文件设定电镀工艺条件	1. 设备操作规程 2. 半导体器件电镀工艺基础要求 3. 半导体器件电镀质量检验规范 4. 膜厚测量方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置半导体器件电镀设备运行参数 2. 能按工艺要求完成半导体器件电镀操作, 制作出合格的电镀片 3. 能测量镀层厚度 4. 能对电镀片表面进行目检	
		质量规定	能按质量检验规范检验半导体器件电镀片的合格性	
三、记录	工艺记录		1. 能填写工艺卡 2. 能填写工艺记录	工艺卡、工艺记录填写要求
四、设备仪器维护保养	设备仪器		1. 能对设备仪器进行日常维护保养 2. 能排除简单的设备仪器故障	设备仪器使用说明书

1.3.2 高级

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
一、准备工作	材料检查		能根据产品要求鉴定全部使用材料是否合格	化学清洗的基本原理
	清洁处理		能应用多种清洗方法	
	溶液配制		能配制多种自用腐蚀液、清洗液、保护胶	
二、工艺操作	外延生长	工艺条件	能按工艺文件调控外延生长工艺条件	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		操作	1. 能按工艺文条件规定设置外延生长设备运行程序 2. 能控制外延片的电阻率和厚度, 外延生长片的产品合格率超过国内外同行的平均水平 3. 能测量计算其层错密度 4. 能解决外延一般技术问题	1. 外延工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件点参数测试方法
		质量判定	1. 能按标准判定外延生长片的质量 2. 能分析解决外延生长较为复杂的质量问题	
	氧化扩散	工艺条件设定	能按工艺文件规定设置氧化扩散工艺条件	1. 氧化扩散工艺原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置氧化扩散设备运行程序 2. 能调控氧化片的厚度, 扩散片的电阻率和结深, 氧化扩散片的产品合格率超过国内同行业平均水平 3. 能测量扩散结深和氧化层的厚度 4. 能解决扩散结深一般技术问题	
		质量判定	1. 能准确判定氧化扩散质量 2. 能分析解决氧化扩散较为复杂的质量问题	
	离子注入	工艺条件设定	能按工艺文件调控离子注入工艺条件	1. 离子注入基本工艺原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置离子注入设备运行程序 2. 能调控离子注入片的电阻率和结深, 离子注入片的产品合格率超过国内同行业的平均水平 3. 能测量离子注入片结深 4. 能解决离子注入工艺一般技术问题	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
	化学 汽相 淀积	质量判定	1. 能准确判定离子注入质量 2. 能分析解决外延生长较为复杂的质量问题	1. 化学汽相淀积工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		工艺条件设定	能按工艺文件调控化学汽相淀积工艺条件	
		操作	1. 能按工艺文件条件规定设置化学汽相淀积设备运行程序 2. 能调控化学汽相淀积的厚度, 化学汽相淀积片的产品合格率超过国内同行业的平均水平 3. 能测量半导体器件一般电参数 4. 能分析解决汽相淀积工艺的一般技术问题	
		质量判定	1. 能准确判定化学汽相淀积的质量 2. 能分析解决汽相淀积较为复杂的质量问题	
		工艺条件设定	能按工艺文件调控光刻工艺条件	
	光刻	操作	1. 能按工艺文件规定设置光刻设备运行程序 2. 能刻蚀不同的材料, 光刻片的合格率超过国内同行业平均水平 3. 能测量金属膜的厚度和半导体器件一般电参数 4. 能解决光刻一般技术问题	1. 光刻工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		质量判定	1. 对工序的异常质量状况(如钻蚀、溶胶、针孔、小岛、染色等)判定准确 2. 能分析解决光刻工艺较为复杂的质量问题	
		工艺条件设定	能按工艺文件调控台面成型工艺条件	1. 台面成型工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
	台面 成型	操作	1. 能按工艺文件规定设置台面成型设备运行程序 2. 能调控台面成型的台面斜率和钝化层厚度, 台面成型的合格率超过国内同行业平均水平	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
			3. 能测量计算台面斜率 4. 能解决台面成型一般技术问题	
		质量判定	1. 能对工序的异常质量状况能正确判定 2. 能分析解决台面成型较为复杂的质量问题	
	半导体器件电镀	工艺条件设定	能按工艺文件调控半导体器件电镀工艺条件	1. 半导体器件电镀工艺基本原理 2. 产品工艺流程图 3. 半导体器件电参数测试方法
		操作	1. 能按工艺文件规定设置半导体器件电镀设备运行程序 2. 能调控半导体器件电镀的厚度和表面状态, 半导体器件电镀的合格率超过国内同行业水平 3. 能测量半导体器件一般电参数 4. 能解决半导体器件电镀工艺一般技术问题	
		质量判定	1. 能对工序的异常质量状况能正确判断 2. 能分析解决半导体器件电镀较为复杂的质量问题	
三、记录	工艺记录		能填写工艺异常报告单	工艺异常报告单填写知识
	质量纪录		1. 能按要求统计质量数据 2. 能提供书面质量异常报告	质量数据表填写方法
四、设备维护保养	设备		1. 能排除一般设备故障 2. 能进行设备仪器的年度保养	1. 一般设备故障排除方法
	仪器、仪表		能校准工序测量仪器	2. 测量仪器校准方法
五、培训及管理	管理		1. 能提出新产品试制方案 2. 能提出工艺试验方案并能组织工艺试验 3. 能对产品质量和成本管理提出改进意见	

1.3.3 技师

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
一、工艺操作	外延生长	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整不同外延生长工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 外延生长工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 外延生长新材料新工艺新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种材料的外延生长和多种生长工艺的操作 2. 能测量外延生长的物理参数 3. 能解决外延生长较为复杂的技术问题	
		质量判定	能解决外延生长工艺中较为复杂的质量问题, 并提出解决方案	
	氧化扩散	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整不同氧化扩散工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 氧化扩散工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 氧化扩散新材料新工艺新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种材料的氧化扩散和多种氧化扩散工艺的操作 2. 能测量氧化扩散片的物理参数 3. 能解决氧化扩散较为复杂的技术问题	
		质量判定	能分析氧化扩散工艺中较为复杂的质量问题, 并提出解决方案	
	离子注入	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整不同的离子注入工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 离子注入工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 离子注入新材料新工艺新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种掺杂的离子注入和多种离子注入工艺的操作 2. 能测量计算离子注入区的杂质浓度 3. 能解决离子注入较为复杂的技术问题	
		质量判定	能分析离子注入工艺中较为复杂的质量问题, 并提出解决方案	
	化学汽相淀积	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整化学汽相淀积工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 化学汽相淀积工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 化学汽相淀积新材料、新工艺、
		操作	1. 能完成多种淀积源的化学汽相淀积和多种化学汽相淀积工艺的操作 2. 能测量分化学汽相淀积层电性能 3. 能解决化学汽相淀积工艺中比较复杂	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
			的技术问题	新技术的国内外发展动态
		质量判定	能分析化学汽相淀积工艺中较为复杂的质量问题, 并提出解决方案	
	光刻	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整光刻工艺条件的工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 光刻工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 光刻新材料新工艺新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种材料的刻蚀和多种光刻工艺的操作 2. 能测量分析不同刻蚀层的电参数 3. 能解决光刻工艺中比较复杂的技术问题	
		质量判定	能解决光刻工艺中较为复杂的质量问题, 并提出解决方案	
	台面成型	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整台面成型工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 台面成型工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 台面成型新材料、新工艺、新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种台面形状, 多种钝化材料的台面形成和多种台面形成工艺的操作 2. 能测量台面成型器件的电性能及参数 3. 能解决台面成型工艺中较为复杂的技术问题	
		质量判定	能分析台面形成工艺中较为复杂的质量问题, 并提出解决方案	
	半导体器件电镀	工艺条件设定	能根据工艺实际情况调整半导体器件电镀工艺条件和工艺参数	1. 半导体器件工艺原理 2. 半导体器件电镀工艺参数规范表 3. 半导体物理 4. 半导体器件电镀新材料、新工艺、新技术的国内外发展动态
		操作	1. 能完成多种材料的半导体器件电镀和多种半导体器件电镀的工艺的操作 2. 能测量分析半导体器件电镀层的电性能及参数 3. 能解决半导体器件电镀工艺中较为复杂的技术问题	
		质量判定	能分析半导体器件电镀工艺中较为复杂的质量问题, 并提出解决方案	
二、设备维护保养		设备	1. 能参与复杂精密设备的安装调试和验收 2. 能排除较为复杂的设备故障	设备验收方法

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
		仪表、仪器	1. 能监督仪器仪表的周期检定 2. 能装接实验测量仪器	
三、培训及管理		培训指导	1. 能指导高级工及以下人员的工作 2. 能讲授制造工艺基础知识	1. 培训指导方法 2. 行业技术发展动态
		管理	1. 能提出新产品试制方案 2. 能提出工艺试验方案并能组织工艺试验 3. 能对产品质量和成本管理提出改进意见	

1.3.4 高级技师

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
一、工艺操作	外延生长	操作	1. 能完成新材料的外延和新外延工艺的操作 2. 能解决台面成型工艺中较为复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能解决外延及相关工序的全部质量问题,并能提出预防措施	
	氧化扩散	操作	1. 能完成新材料的氧化扩散和新氧化扩散工艺的操作 2. 能解决台面成型工艺中较为复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能解决氧化扩散及相关工序的全部质量问题,并能提出预防措施	
	离子注入	操作	1. 能完成新材料的离子注入和新离子注入工艺的操作 2. 能解决离子注入工艺中复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析离子注入及相关工序的全部质量问题,并能提出预防措施	
	化学汽相淀积	操作	1. 能完成新材料的化学汽相淀积和新化学汽相淀积的操作 2. 能解决化学汽相淀积工艺中复杂的技术问题	1. 晶体管原理设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析化学汽相淀积及相关工序的全部质量问题,并能提出预防措施	

(续表)

职业功能	工作内容		技能要求	相关知识
	光刻	操作	1. 能完成新材料的光刻和新光刻工艺的操作 2. 能解决光刻工艺中复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析解决光刻及相关工序的全部质量问题, 并能提出预防措施	
	台面成型	操作	1. 能完成新材料的台面成型和新台面成型工艺的操作 2. 能解决台面成型工艺中复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析解决台面成型及相关工序的全部质量问题, 并能提出预防措施	
	半导体器件电镀	操作	1. 能完成新材料的半导体器件电镀和新半导体器件电镀工艺的操作 2. 能解决半导体器件电镀工艺中较为复杂的技术问题	1. 晶体管原理与设计 2. 半导体器件的可靠性 3. 新型半导体器件制造技术
		质量判定	能分析解决半导体器件电镀及相关工序的全部质量问题, 并能提出预防措施	
二、设备维护保养	设备		1. 能组织复杂精密设备的安装调试验收 2. 能排除复杂的设备故障	相关电子线路知识
	仪器、仪表		1. 能组织精密仪器的安装调试和验收 2. 能排除复杂的设备故障	机电一体化知识
三、培训及管理	培训		1. 能指导技师以下人员工作 2. 能讲授工艺理论基础知识	1. 培训改进编写方法 2. 培训教学基础知识
	管理		1. 能组织新产品试制 2. 能组织新工艺实验 3. 能分析产品质量成本 4. 能编写专业论文	3. 制图知识 4. 计算机知识

1.4 比重表

1.4.1 理论

项 目			中级 (%)	高级 (%)	技师 (%)	高级技师 (%)
基本要求	职业道德		5	5	5	5
	基础知识		40	35	30	30
相 关 知 识	准备 工作	材料检查	2	2	—	—
		清洁处理	2	1	—	—
		溶液配制	4	2	—	—
	工艺 操作 *	工艺条件设定	5	5	5	—
		操作	30	25	15	10
		质量判定	5	10	5	5
	纪录	工艺记录	5	5	—	—
		质量记录	—	5	—	—
	设备仪器 维护保养	设备	2	3	8	8
		仪器、仪表	—	2	2	2
	培训及 管理	培训	—	—	10	10
		管理	—	—	20	30
合 计			100	100	100	100

*工艺操作——只考核在工作中的内容

1.4.2 操作技能

项 目			中级 (%)	高级 (%)	技师 (%)	高级技师 (%)
技 能 要 求	准备 工作	材料检查	2	2	—	—
		清洁处理	2	1	—	—
		溶液配制	4	2	—	—
	工艺 操作 *	工艺条件设定	15	15	15	—
		操作	50	45	40	30
		质量判定	15	15	25	30
	记录	工艺记录	10	5	—	—
		质量记录		5	—	—
	设备仪器 维护保养	设备	2	7	8	15
		仪器、仪表	—	3	2	5
	培训及 管理	培训	—	—	3	5
		管理	—	—	7	15
合 计			100	100	100	100

*工艺操作——只考核在工作中的内容

第2章 专业知识解答

2.1 中级部分

1. 简述半导体材料的现状。

半导体技术的飞速发展，给科学技术、我们的日常生活带来了很大的变革。在20世纪80年代，硅超大规模集成电路已进入实用阶段。同时以砷化镓为代表的化合物半导体材料及器件也迅速发展起来了。现在已得到应用并能批量生产的半导体晶体材料有硅、锗、砷化镓、磷化镓、磷化铟、锑化铟、碳化硅等。批量生产的外延片有硅、砷化镓、磷化镓等的同质外延片，还有砷化镓、磷化铟等的异质外延片。正在研究开发的有III~IV族、II~VI族量子阱超晶格材料。

半导体硅(Si)单晶和锗(Ge)单晶是第一代半导体材料，硅是现代最主要的半导体材料，锗是现代最重要的半导体材料之一。1950年，由蒂尔(G.Teal)用直拉法首先拉制出锗单晶，随着电子器件集成电路的发展，硅单晶发挥了至关重要的作用。目前，商用硅单晶片的直径为200毫米(8英寸)，实验室研究水平为300毫米(12英寸)，硅单晶片的质量几乎达到了无缺陷的水平。以单晶硅为基底的集成电路技术，最小线宽已经达到深亚微米尺度，集成度达到每平方厘米几十兆个晶体管的水平。

砷化镓(GaAs)和磷化铟(InP)化合物半导体单晶是典型的第二代半导体材料。与硅集成电路相比，以砷化镓为基底的集成电路具有更高的频率、更高的增益和更低的噪声。由于砷化镓和磷化铟等化合物半导体单晶属于直接能带隙半导体材料，它们也是制备发光二极管和半导体激光器的理想材料。在数字移动通信、光纤通信、全球定位和导航等领域中第二代半导体材料将发挥越来越重要的作用。

在第二代半导体材料中，砷化镓单晶是比较成熟的产品，半绝缘砷化镓单晶已经成为制造大功率微波、毫米波通信器件和集成电路的主要材料。目前生产最多的是直径为75毫米(3英寸)和100毫米(4英寸)的砷化镓单晶片，50毫米(2英寸)直径的砷化镓单晶片仍然有一定的应用需求。为了降低砷化镓产品的成本，今后150毫米(6英寸)直径的砷化镓单晶片将占主导地位。

但是，与硅单晶相比，化合物半导体材料中还存在着相当多的晶体缺陷。化合物半导体至少由两种元素构成，所以，可能形成的缺陷种类比第一代单质半导体材料要多，而且

结构更加复杂。由于半绝缘磷化铟单晶的制备工艺还不够成熟,磷化铟单晶具有的超高频率、超高速度和低噪声的优异性能还没有得到很好发挥。如何控制化合物半导体材料的化学配比是提高第二代半导体材料质量的关键。

2. 什么是导体、绝缘体、半导体?

容易导电的物质叫做导体,如:金属、石墨、人体、大地以及各种酸、碱、盐的水溶液等都是导体。

不容易导电的物质叫做绝缘体,如:橡胶、塑料、玻璃、云母、陶瓷、纯水、油、空气等都是绝缘体。

导电能力介于导体和绝缘体之间的物体叫做半导体,如:硅、锗、砷化镓、磷化铟、氮化镓、碳化硅等。

3. 半导体材料的特征有哪些?

(1) 导电能力介于导体和绝缘体之间。

(2) 当其纯度较高时,电导率的温度系数为正值,随温度升高电导率增大;金属导体则相反,电导率的温度系数为负值。

(3) 有两种载流子参加导电,具有两种导电类型:一种是电子,另一种是空穴。同一种半导体材料,既可形成以电子为主的导电,也可以形成以空穴为主的导电。

(4) 晶体的各向异性。

4. 半导体材料是如何分类的?

根据其性能可分为高温半导体、磁性半导体、热半导体;

根据其晶体结构可分为金刚石型、闪锌矿型、纤锌矿半导体;

根据其结晶程度可分为晶体半导体、非晶体半导体、微晶体半导体;

比较通用的则是根据其化学组成为元素半导体、化合物半导体、固溶半导体三大类;

化合物半导体可分为无机化合物半导体和有机化合物半导体。

5. 简述N型半导体。

常温下半导体的导电性能主要由杂质来决定。当半导体中掺有施主杂质时,主要靠施主提供电子导电,这种依靠电子导电的半导体叫做N型半导体。

例如:硅中掺有V族元素杂质磷(P)、砷(As)、锑(Sb)、铋(Bi)时,称为N型半导体。

砷化镓(GaAs)中掺有IV和VI族元素杂质硅(Si)、碲(Te)、硒(Se)时,称为N型半导体。

磷化铟 (InP) 中掺有元素杂质硫 (S)、锡 (Sn) 等时, 称为N型半导体。

氮化镓 (GaN) 中掺有IV和VI族元素杂质硅 (Si)、碲 (Te)、硒 (Se) 等时, 称为N型半导体。

碳化硅 (SiC) 中掺有元素杂质氮 (N)、磷、砷等时, 称为N型半导体。

6. 简述P型半导体。

当半导体中掺有受主杂质时, 主要靠受主提供空穴导电, 这种依靠空穴导电的半导体叫做P型半导体。

例如: 硅中掺有III族元素杂质硼 (B)、铝 (Al)、镓 (Ga)、铟 (In) 时, 称为P型半导体。

砷化镓 (GaAs) 中掺元素杂质锌、镉、镁、铍、碳时, 称为P型半导体。

磷化铟 (InP) 中掺有元素杂质锌 (Zn)、镉 (Cd) 等时, 称为P型半导体。

氮化镓 (GaN) 中掺有元素杂质锌、镉、镁、铍、碳时, 称为P型半导体。

碳化硅 (SiC) 中掺有掺元素杂质铝、镓、铍时, 称为P型半导体。

7. 什么是半绝缘半导体材料?

定义电阻率大于 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 的半导体材料称为半绝缘半导体材料。

如: 掺Cr的砷化镓, 非掺杂的砷化镓为半绝缘砷化镓材料。

掺Fe的磷化铟, 非掺杂的磷化铟经退火为半绝缘磷化铟材料。

8. 什么是单晶、多晶?

单晶是原子或离子沿着三个不同的方向按一定的周期有规则地排列, 并沿一致的晶体学取向所堆垛起来的远程有序的晶体。

多晶则是有多多个单晶晶粒组成的晶体, 在其晶界处的颗粒间的晶体学取向彼此不同, 其周期性与规则性也在此处受到破坏。

当前半导体生产和科研主要使用的是单晶材料。

9. 常用半导体材料的晶体结构有几种?

半导体材料的主要晶体结构有金刚石型、闪锌矿型、纤锌矿型。

常用的硅、锗都属于金刚石型晶体结构; 一些重要的化合物半导体砷化镓、磷化镓、磷化铟等属于闪锌矿型晶体结构; 硫化锌、氮化镓等属于纤锌矿型晶体结构。

10. 常用半导体材料的晶体生长方向有几种?

我们实际使用单晶材料都是按一定的方向生长的, 因此单晶表现出各向异性。单晶生长的这种方向直接来自晶格结构, 常用半导体材料的晶体生长方向是 $\langle 111 \rangle$ 和 $\langle 100 \rangle$ 。

规定用〈111〉和〈100〉表示晶向，用(111)和(100)表示晶面。

11. 什么是电导率和电阻率？

所有材料的电导率(σ)可用下式表达：

$$\sigma = ne\mu$$

其中 n 为载流子浓度，单位为 cm^{-3} ； e 为电子的电荷，单位为C（库仑）； μ 为载流子的迁移率，单位为 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ；电导率单位为 S/cm （S为西门子）。

电阻率 $\rho = 1/\sigma$ ，单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。

12. 迁移率表示什么？

迁移率是反映半导体中载流子导电能力的重要参数。掺杂半导体的电导率一方面取决于掺杂的浓度，另一方面取决于迁移率的大小。同样的掺杂浓度，载流子的迁移率越大，材料的电导率就越高。迁移率大小不仅关系着导电能力的强弱，而且直接决定载流子运动的快慢。它对半导体器件工作速度有直接的影响。不同的材料，电子和空穴的迁移率是不相同的。载流子的迁移率是随温度而变化的。这对器件的使用性能有直接的影响。载流子的迁移率受晶体散射和电离杂质散射的影响。载流子的迁移率与晶体质量有关，晶体完整性好，载流子的迁移率高。

13. 什么是方块电阻？

我们知道一个均匀导体的电阻 R 正比于导体的长度 L ，反比于导体的截面积 S 。如果这个导体是一个宽为 W 、厚度为 d 的薄层，则

$$R = \rho L/dW = (\rho/d)(L/W)$$

可以看出，这样一个薄层的电阻与 (L/W) 成正比，比例系数为 (ρ/d) 。这个比例系数就叫做方块电阻，用 $R_{\square}$ 表示：

$$R_{\square} = \rho/d,$$

$$R = R_{\square}(L/W)。$$

$R_{\square}$ 的单位为欧姆，通常用符号 $\Omega/\square$ 表示。从上式可以看出，当 $L=W$ 时有 $R=R_{\square}$ ，这时 $R_{\square}$ 表示一个正方形薄层的电阻，它与正方形边长的大小无关，这就是取名方块电阻的原因。

14. 什么是晶体缺陷？

晶体内的原子是按一定的原则周期性地排列着的。如果在晶体中的一些区域，这种排列遭到破坏，我们称这种破坏为晶体缺陷。晶体缺陷对半导体材料的使用性影响很大，在大多数的情况下，它使器件性能劣化直至失效。因此在材料的制备过程中都要尽量排除缺陷或降低其密度。晶体缺陷的控制是材料制备的重要技术之一。

晶体缺陷的分类:

- (1) 点缺陷, 如空位、间隙原子、反位缺陷、替位缺陷和由它们构成的复合体。
- (2) 线缺陷, 呈线状排列, 如位错就是这种缺陷。
- (3) 面缺陷, 呈面状, 如晶界、堆垛层错、相界等。
- (4) 体缺陷, 如空洞、夹杂物、杂质沉淀物等。
- (5) 微缺陷, 几何尺寸在微米级或更小, 如点缺陷聚集物、微沉淀物等。

15. 什么是位错?

当一种固体材料受到外力时就会发生形变, 如果外力消失后, 形变也随着消失, 这种形变称为弹性形变; 如果外力消失后, 形变不消失, 则称为范性形变。位错就是由范性形变造成的, 它可以使晶体内的一原子或离子脱离规则的周期排列而位移一段距离, 位移区与非位移区交界处必有原子的错位, 这样产生线缺陷称为位错。

16. 什么是层错?

简单地说, 层错是在密排晶面上缺少或多余一层原子而构成的缺陷, 层错是一种“面缺陷”。层错也是硅晶体中常见的一种缺陷, 层错对器件制备工艺以及成品性能都可以发生较大的影响。生产中最熟悉的是硅外延片中的层错。在硅外延生长时, 如果不采取特殊的措施, 生长出的外延层中将含有大量的层错, 以致严重地破坏了晶体的完整性。通过研究发现, 外延片中的层错主要起源于生长外延层的衬底晶体的表面。根据这个原因, 不仅找到了克服层错大量产生的途径, 而且发现利用层错测量外延层的厚度的方法。

17. 材料的常用表征参数有哪些?

电学参数、化学纯度、晶体学参数、几何尺寸。

电学参数包括电阻率、导电类型、载流子浓度、迁移率、少数载流子寿命、电阻率均匀性等。

化学纯度是指材料的本底纯度。

晶体学参数有晶向、位错密度。

几何尺寸包括直径、晶片的厚度、弯曲度、翘曲度、平行度和抛光片的平坦度等。

18. 简述元素半导体材料。

元素半导体材料: 已知有12个元素具有半导体性质, 它们分别是B、C、Si、P、S、Ge、As、Se、Sn、Sb、Te、I。其中Si具有优良的半导体性质, 是现代最主要的半导体材料。Ge具有良好的半导体性质, 是重要的半导体材料之一。Se的半导体性质被发现, 现用于制作整流器、光电导器件等。其他材料, 有的难以制备, 有的未得到应用。

19. 硅、锗单晶的基本物理性质和制备方法有哪些？

半导体硅、锗单晶制备的常用方法有直拉法（CZ）、区熔法（FZ）、磁控直拉法。

硅、锗的基本物理性质

性 质	硅	锗
熔点（℃）	1420	937.4
沸点（℃）	2355	2830
密度（g/cm ³ ）	2.329	5.323
硬度（摩氏）	6.5	6.3
熔化热（kJ/g）	16	0.466
热导率（W/m·K）	150	70
线性膨胀系数（10 ⁻⁶ /K）	2.6	6
比热（J/g·K）	0.7	0.322
比介电常数	11.9	16
室温下的禁带宽度（eV）	1.12	0.66
本征载流子浓度（cm ⁻³ ）	1.45×10^{10}	2.4×10^{13}
电子迁移率（cm ² /V·s）	1500	3900
空穴迁移率（cm ² /V·s）	450	1900
本征电阻率（Ω·cm）	2.3×10^5	47

20. 简述化合物半导体材料。

化合物半导体材料的种类繁多，性能各异，因此用途也就多种多样。化合物半导体材料按其构成元素的数量可分为二元、三元、四元等。按其构成元素在元素周期表的位置可分为Ⅲ~Ⅳ族、Ⅱ~Ⅵ族、Ⅱ~Ⅳ~Ⅵ族等。在20世纪80年代，以砷化镓（GaAs）和磷化铟（InP）为代表的化合物半导体材料及其器件得到迅速发展。国际上曾有人认为自20世纪80年代开始已进入砷化镓年代，这正反映了人们对化合物半导体材料及其器件的重视。化合物半导体材料具有优良的性质，化合物半导体单晶属于直接能带隙半导体材料，它们也是制备发光二极管和半导体激光器的理想材料。在数字移动通信、光纤通信、全球定位和导航等领域中将发挥越来越重要的作用。电子漂移速度和迁移率高，这不仅有利于发展微波和高速器件，而且也利于制作其他要求电子迁移率高的器件。

21. 简述几种典型的化合物半导体单晶的制备方法。

砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）单晶制备常用的方法有三种：一种是布里奇曼法（HB、VB）；另一种是液封直拉法（LEC）；第三种是梯度凝固法（VGF、HGF）。

GaN衬底单晶的制备非常困难，目前无商业化的GaN衬底可用。GaN单晶制备采用GaN外延生长。GaN外延一般采用蓝宝石（Al₂O₃）、碳化硅（SiC）、硅（Si）作为衬底，进行

异质外延。

SiC单晶的制备，因SiC的熔点和蒸气压很高，通常用升华法（Physical Vapor Transport 简称PVT）。

22. 砷化镓（GaAs）基本物理性质和制备方法有哪些？

砷化镓（GaAs）属于III~V族化合物半导体材料，是直接跃迁型的化合物半导体。它具有闪锌矿型晶体结构，其晶格可以看作是两个互穿的面心立方晶格，分别由镓原子和砷原子构成。

GaAs的基本物理性质

晶体结构	闪锌矿型
晶格常数（Å）	5.869
密度（g/cm ³ ）	5.32
熔点（℃）	1238
线性膨胀系数（10 ⁻⁶ /K）	5.92
热导率（W/cm℃）	0.46
室温下的禁带宽度（eV）	1.424
光学跃迁类型	直接
晶系	立方
比介电常数	13.1
本征载流子浓度（cm ⁻³ ）	2×10^6
电子迁移率（cm ² /V·s）	8500
空穴迁移率（cm ² /V·s）	400
本征电阻率（Ω·cm）	3×10^8

在晶体生长过程中掺入适量的杂质，可控制砷化镓材料的电学性质。掺入施主杂质Si等可获得N型低阻材料，通过控制熔体的配比和碳受主的含量或掺入Cr获得半绝缘单晶。

23. 砷化镓单晶材料的制备方法有几种？

砷化镓单晶材料的制备方法主要有三种：一种是布里奇曼法（HB）；另一种是高压液封直拉法（LEC）；第三种是梯度凝固法（VGF）。

24. 砷化镓单晶材料的主要应用有哪些？

砷化镓单晶抛光片用于制备GaAs器件的衬底材料，也可用于生长GaAs基外延片的衬底材料，制作微波器件、光电子器件等。

25. 磷化铟材料基本物理性质和制备方法有哪些？

磷化铟属于III~V族化合物半导体，是直接跃迁型，它具有闪锌矿型晶体结构。磷在InP的熔点（1062℃）处的离解压大约是27.5atm，因此在InP生长时，需要具备合适的温度和压力，以抑制磷的分解。

InP的基本物理性质

晶体结构	闪锌矿型
晶格常数 (Å)	5.869
密度 (g/cm ³)	4.787
熔点 (℃)	1062
熔点处的蒸气压 (atm)	27
线性膨胀系数 (10 ⁻⁶ /K)	4.5
热导率 (W/cm · K)	0.10
室温下的禁带宽度 (eV)	1.35
显微硬度 (kg/mm ²)	435±20
堆垛层错能 (mev/atom)	17
光学跃迁类型	直接
晶系	立方
比介电常数	12.5
本征载流子浓度 (cm ⁻³)	2×10 ⁷
电子迁移率 (cm ² /V · s)	4500
空穴迁移率 (cm ² /V · s)	150
本征电阻率 (Ω · cm)	8×10 ⁷

在晶体生长过程中掺入施主杂质S、Si等可获得N型低阻材料，掺入受主杂质Zn、Cd等可制备P型低阻材料。不像砷化镓那样通过控制熔体的配比和碳受主的含量获得半绝缘单晶，半绝缘磷化铟单晶的生长是通过掺入一定量的深受主杂质铁来实现的。

26. InP单晶材料的制备方法有几种？

InP单晶材料的制备方法主要有三种：一种是布里奇曼法（HB、VB）；另一种是高压液封直拉法（HPLEC、PCLEC、VCZ）；第三种是梯度凝固法（VGF、HGF）。由于磷的离解压高，水平布里奇曼法难以控制InP的单晶生长和实现大直径，目前多作为一种合成多晶料的中间工艺。目前，工业上InP单晶材料的制备实际上只采用高压液封直拉法和梯度凝固法。

27. InP单晶主要应用是什么？

N型InP单晶用于光电器件，InP基的长波长（1.3~1.55μm）发光二极管、激光器和探测器已用于光纤通信系统。P型InP主要用于高效抗辐射太阳能电池。InP光电子器件已进入以研究半导体超晶格材料和以这些材料为基础的光电子器件时期。

InP基的异质结双极晶体管（HBT）、高电子迁移率晶体管（HEMT）的制造技术已成熟，商品化的产品已正式推出，将用于新一代传输速度为40Gb/s的高速通信系统。

28. 几种常用的清洗剂的配方示什么？

（1）用于去除衬底表面的蜡、油等有机物的清洗剂 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{NH}_4\text{OH} = 2 : 5 : 1$ ；

（2）用于去除衬底表面金属杂质的清洗剂 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{HCl} = 2 : 7 : 1$ ； $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 5 : 1$ ；

（3）用于去除衬底表面的碳和有机物的清洗剂 $\text{HCl} : \text{H}_2\text{O} = 1 : 3$ 。

29. 衬底和石英器具清洗过程是什么？

衬底清洗过程为：

- （1）擦洗表面的大块污物；
- （2）浸泡；
- （3）化学腐蚀；
- （4）水清洗；
- （5）干燥。

石英器具清洗过程为：

- （1）洗液浸泡；
- （2）水清洗；
- （3）干燥。

30. 抛光片的质量检测项目主要有哪些？

几何参数：直径、厚度、主参考面、副参考面、平整度、弯曲度等；

电学参数：电阻率、载流子浓度、迁移率等；

晶体质量：晶向、位错密度。

31. 衬底抛光片的质量要求是什么？

- （1）表面要求平整、光亮、无损、少沾污；
- （2）晶向、导电类型、位错密度、迁移率等满足器件和外延工艺的要求。

32. 简述硅外延的衬底制备方法。

在高pH值下，用 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{NH}_4\text{OH}$ 腐蚀液，清洗除去有机沾污；在低pH值下，用 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{HCl}$ 氧化液，清洗除去金属沾污。

33. 简述GaAs抛光片的清洗。

- （1）将抛光好的衬底单晶片进行清洗处理，用清洗液煮沸后用去离子水冲洗干净。

(2) 用硫酸+过氧化氢+水(8:1:1)的混合液腐蚀5~10分钟,然后用去离子水冲至中性。

(3) 用MOS级无水乙醇脱水,在红外灯下烘干,放在干净的培养皿中备用。

34. 简述InP抛光片的清洗。

(1) 将抛光好的衬底单晶片进行清洗处理,用清洗液煮沸后用去离子水冲洗干净。

(2) 用 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=7:1.5:1.5$, 16°C 浸泡5分钟,然后用去离子水冲至中性。

(3) 用MOS级无水乙醇脱水,在红外灯下烘干,放在干净的培养皿中备用。

35. 外延片质量检测项目主要有哪些?

表面质量;

电学参数,包括载流子浓度、迁移率、方块电阻等;

外延厚度;

外延片的均匀性,包括厚度、浓度或方块电阻。

36. 什么是外延生长、同质外延和异质外延?

外延生长是指在单晶衬底上与衬底的晶体结构按一定的关系连续生长单晶层的过程。因此外延生长的结构是衬底与外延层呈一个连续的单晶体,但是衬底与外延层的物质成分不一定相同,晶体结构也不一定相同。根据衬底材料与外延层材料的化学组成可分为同质外延和异质外延。

同质外延是指衬底与外延层的主体构成元素是相同的,但掺杂剂的种类和浓度不相同。

异质外延是指衬底与外延层的化学组成中有一种或部分组元是相同的。

37. 既然已经能制出单晶片,那为什么还要外延呢?

(1) 薄膜在半导体材料中占有重要的地位。通过外延可以生产种类更多的材料,而且形成多种结构,使器件设计增加了更多的选择,随着超薄层材料制备技术的发展,通过生长超晶格和量子阱结构材料,为制备新的光电子器件、微电子器件和集成电路奠定了基础。

(2) 由于外延生长温度都低于从熔体生长单晶的温度,降低污染,可获得优质高纯的外延层。在重掺(即电阻率很低)的衬底上,生长具有高电阻率的外延层。

(3) 外延层的晶体完整性好,大面积均匀,界面陡峭。

(4) 生长三元或多元化合物或固溶体。

(5) 生长速度低,可控制到单原子层生长,可生长制备异质结、二维超晶格和量子

阱。

38. 外延生长分类有哪些？

外延生长方法比较多，其中主要的有化学汽相外延（VPE、CVD）、液相外延（LPE）、金属有机化学汽相外延（MOCVD）、分子束外延（MBE）、原子束外延、固相外延等。

外延生长方法及其应用

外延生长方法	原 理	应 用	现 状
化学汽相外延	无机化合物的还原、歧化或热分解	Si , GaAs, GaAsP	大批量生产
液相外延	饱和溶液随着温度的降低产生过饱和结晶	Si , GaAs, GaP, InP	批量生产
金属有机化学汽相外延	金属有机化合物与烷类的热分解	各种化合物半导体, 量子阱, 超晶格	批量生产
分子束外延	原子或分子束流的物理淀积	各种化合物半导体, 量子阱, 超晶格	批量生产
原子束外延	原子束流的物理淀积	各种化合物半导体, 量子阱, 超晶格	研究阶段

39. 请简述化学汽相外延。

在单晶衬底上气相化学生长半导体外延层是20世纪60年代以来发展起来的重要技术，化学汽相外延是利用气相化学反应进行淀积的外延生长方法。由于汽相外延生长的温度远低于所生长材料的熔点，因此有利于获得高纯度材料、具有高理解压难于从熔体中生长的材料和陡峭P-N结或异质结构材料。汽相外延生长速度典型值为每小时几到几十微米，广泛应用于半导体材料的研究和生产中。汽相外延生长的工艺技术已发展到相当成熟的程度，外延反应室的容量日益增大，硅外延已可容纳21片6英寸硅片，GaAs外延已发展到可容纳20片3英寸的衬底。

40. 请简述硅（Si）化学汽相外延。

用化学汽相外延法生产硅外延片已有30多年的历史，该技术之所以能够很快得到推广，其主要原因是容易工业化、产业化。从可获得掺杂类型和外延厚度来看，它既是一项通用技术，又是一项成熟技术。通过工艺和反应器的不断改进与自动化，现已形成大批量生产规模，并能够生产高质量的外延片，在今后的发展中，它仍将是最有生命力的外延生长技术。

41. 硅外延生长工艺有哪些？

- (1) 衬底制备，清洗除去有机沾污和金属沾污。
- (2) 原位HCl腐蚀。

(3) 外延生长参数的优化选择：硅源气体、生长温度、生长压力、生长速度、气流速度。

(4) 排出的尾气(HCl等)的处理。

42. 简述硅外延片的检测方法。

硅外延片的质量要检查表面平整度,表面光亮、无划痕,无桔皮、裂纹、崩边、凸起、灰雾等,显微镜下观察滑移线和堆垛层错应符合要求,用扩展电阻仪测外延层纵向杂质分布。

43. 简述硅外延片的应用。

(1) 二极管:普通二极管,检波二极管,开关二极管,稳压管,变容二极管;

(2) 三极管:点接触晶体管,场效应晶体管,双极晶体管;

(3) 电力电子器件:整流器,晶闸管;

(4) 大规模集成电路和超大规模集成电路。

44. 简述位错的计算方法。

(1) 位错的显示。根据测试材料,选择腐蚀剂与腐蚀条件,可查阅相关资料。

(2) 位错的观测。用金相显微镜观测位错。

(3) 通过视场面积和观测位错个数,计算位错的密度,单位是个/ cm^2 。

45. 什么是离子?

原子(原子团)、分子(分子团)失去或获得电子后所形成的带电粒子称为离子。失去电子带正电荷的粒子称正离子;获得电子带负电荷的粒子称负离子。在离子注入工艺和离子注入材料改性技术中,若无特殊说明,均指正离子,简称离子。根据带电荷(即失去电子)的多少,可分为单电荷离子,如硼离子 B^+ 、磷离子 P^+ 、砷离子 As^+ 、锑离子 Sb^+ 、硅离子 Si^+ 、硒离子 Se^+ 、铍离子 Be^+ 、镁离子 Mg^+ 、氧离子 O^+ 、氮离子 N^+ 、氢离子 H^+ (又叫质子)、氦离子 He^+ (又叫 α 粒子)等;双电荷离子,如双电荷硼离子 B^{++} (或 B^{+2})、双电荷磷离子 P^{++} (或 P^{+2})、双电荷砷离子 As^{++} (或 As^{+2})、双电荷锑离子 Sb^{++} (或 Sb^{+2})、双电荷硅离子 Si^{++} (或 Si^{+2})、双电荷硒离子 Se^{++} (或 Se^{+2})等;三电荷离子,如三电荷磷离子 P^{+++} (或 P^{+3})、三电荷砷离子 As^{+++} (或 As^{+3})、三电荷锑离子 Sb^{+++} (或 Sb^{+3})、三电荷硒离子 Se^{+++} (或 Se^{+3})等。根据离子的组成,又可分为原子型离子,以上所举的例子均属原子型离子;分子型离子,如二氟化硼离子 BF_2^+ 、氢分子离子 H_2^+ 、氧分子离子 O_2^+ 、氮分子离子 N_2^+ 和一氧化碳离子 CO^+ 等,以及原子团离子和分子团离子等等。

46. 符号 $_{11}\text{B}^+$ 表示什么含意?

$_{11}\text{B}^+$ 表示原子数为11的单电荷硼离子,简称硼11离子。“B”是硼的元素符号,左下角“11”表示原子质量单位数,简称原子数,右上角“+”表示硼原子失去1个电子,带1个正电荷。

注: $1\text{u} \approx 1.66 \times 10^{-27}\text{kg}$; u 为原子质量单位; kg 为公斤(质量单位)。

47. 什么是离子注入?

离子注入,简单地说,就是用具有一定能量的离子(即荷能离子)轰击固体靶并进入到固体靶中的物理现象。它的全过程都是在具有高真空系统的离子注入机中完成。在半导体芯片制造中,离子注入掺杂已成为重要的工艺之一。它把掺杂剂离子加速到所需要的能量,直接注入到半导体晶片中,经适当的温度退火后,改变注入层内半导体材料的组分和性能,达到了掺杂(或改性)的目的。

48. 离子注入机有哪几个主要组成部分?它们分别起什么作用?

离子注入机的主要组成部分有:离子源、质量分析器(磁分析器)、加速器、聚焦透镜、偏转和扫描系统、真空系统、电荷积分仪与靶室、计算机控制与显示系统。

离子源是用于产生离子并引出离子束;

质量分析器是从离子源引出的各种离子中“分析”出所需要注入的离子,成为单一元素的离子束;

加速器是对离子加速到实际工作所需要的注入能量;

聚焦透镜是使离子束起会聚作用,提高离子束的传输效率和质量。

偏转板的作用是使离子束偏离中性粒子束,避免剂量沾污;而扫描系统则是对离子束进行扫描注入,两者都为提高离子注入的均匀性;

真空系统是确保离子束自始至终都在高真空环境中传输;

电荷积分仪是对注入的离子进行计数,以确定注入的剂量;而靶室则是一个装卸与传输晶片及完成注入的高真空工作室;

计算机控制及显示系统是控制和显示离子注入机各个部分的工作参数,使注入机获得最佳的工作状态和注入参数值。

49. 如何安全地操作离子注入机?

离子注入机是体积最大、结构最复杂的半导体工艺设备。它的种类很多,整机设计各不相同,所以操作步骤也不一样。操作人员一定要严格按照离子注入机制造厂家所提供的操作程序操作。原则上,可分几个阶段:注入前的准备工作、建立系统的高真空度、建立最佳的起弧状态、建立最佳的引束扫描状态、选定最佳注入条件并完成注入、关机并检查。

现对各个阶段作简要介绍。

(1) 注入前的准备工作。

- ① 按芯片工艺质量要求把待注入的晶片进行表面洁净处理。
- ② 根据注入机具体的维护要求,对高压部位外露的零部件和加速管等表面的附着物进行干式清洁处理;若有必要,还需要清洗离子源内部的沉积物,防止注入机在工作过程中引起高压打火而损坏机器。
- ③ 检查动力条件、工作媒质(冷却水,压缩空气、氮气、冷泵的氦和源物质等)及环境条件(温度、湿度、洁净度等),确认能满足机器的正常运行。
- ④ 建立高真空度:通常离子源部位真空度优于 1×10^{-5} Torr,靶室部位真空度优于 1×10^{-6} Torr。
- ⑤ 确认计算机控制系统和晶片传输机构运行状态正常。
- ⑥ 确认机器整体性能正常后,把高压放电棒从高压部件上移开,安放到规定的安全位置上,合上所有的互锁安全门。

(2) 建立最佳的起弧状态。

根据离子源的不同类型,调节离子源的工作参数、源工作物的气压(或温度)和吸极电压,使之获得持续稳定的弧流和吸极电流。

(3) 建立最佳的引束扫描状态。

调节磁场电流、束光栏、聚焦电压、偏转与扫描电压等,获得分辨率高、聚焦良好、扫描合适、束流大小合理和稳定的扫描离子束流。

(4) 选定最佳的注入条件。

把装有待注入晶片的片盒放在进片架上,根据芯片工艺要求,选定离子注入的能量、剂量和靶片注入模式及晶片数量等参数进行注入,注入完毕后,从出片架上取下装有刚注入完的晶片盒,送给下一道工序。

(5) 关机检查。

严格按注入机的关机程序关机,关机后必须用高压放电棒把高压部位的剩余电荷对地完全释放,并把放电棒挂接在高压板架上,确认安全后,方可触及高压部分。

检查水、电、气的安全状况,保持冷泵正常运行状态,确认工作场所安全后,方可离开工作现场。

50. 离子注入的能量和能量单位是什么?

离子在通过静电场时所获得的电势能差即为离子所具有的能量,能量单位是eV(电子

伏特)。1eV是1个单位电荷通过1V的电位差所获得的能量。1个单位电荷通过100V电位差所获得的能量为100eV；2个单位电荷通过100V电位差，所获得的能量为200eV。

(例) $_{11}\text{B}^+$ 离子通过200KV电场，获得的能量为200KeV； $_{11}\text{B}^{++}$ 离子通过同样的200KV电场，获得的能量则为400KeV。

51. 什么是离子注入剂量？它的单位是什么？

注入剂量是单位靶面积内注入的离子数量，单位是 cm^{-2} ，即1/厘米²。有时也用 C/cm^2 ，两者的关系是： $q=1.6\times 10^{-19}\text{C}$ 。 q 表示单位电荷； C 是电荷单位，叫库仑。

52. 什么是离子注入剂量率？它的单位是什么？

离子注入剂量率是单位时间内的注入剂量，单位是 $1/\text{cm}^2\text{s}$ ，即1/厘米²秒，也有把剂量率称为电流密度或离子通量，其单位是 A/cm^2 ，即安培/厘米²。

53. 与传统的高温扩散掺杂相比，离子注入掺杂有些什么特点？

离子注入掺杂具有高温热扩散掺杂所没有的一系列优点，最主要的是：

(1) 离子注入是离子借其动能强行进入靶材料中的一个非平衡物理过程，其掺杂元素的种类和浓度原则上不受冶金学和平衡相图的限制，元素周期表中所有的稳定元素都可以用于离子注入掺杂，掺杂浓度范围很宽($10^{14}\text{cm}^{-3}\sim 10^{22}\text{cm}^{-3}$)，而且由于离子束通过质量分析器的分析，所以掺入杂质的纯度非常高。

(2) 由于离子带电，通过独立地调控离子注入的能量和剂量，可以简单而又非常准确地分别控制掺杂层的深度和浓度；同时由于进行扫描注入，所以掺杂浓度的均匀性和重复性非常好。

(3) 能准确地控制掺杂浓度的纵向分布，若采用多次能量叠加注入，则可获得任意形状的浓度分布。

(4) 由于离子注入具有直进性，横向扩展小，且掺杂层前沿平坦，所以非常适用于集成电路微细加工中的掺杂技术。

(5) 除了介质膜以外，金属膜、光刻胶均可作为离子注入选择掺杂的掩蔽层；或者根据需要，离子也可穿过掩蔽膜实现对晶片掺杂。

(6) 因为离子注入整个过程在高真空系统中常温下完成，所以晶片表面不易受沾污，也不会产生热形变。

(7) 离子注入可以实现在靶材料表面下面形成隐埋的掺杂层。

正是由于离子注入技术具有上述一系列独特的优点，所以它一出现就受到普遍重视，应用越来越广泛。不过，离子注入掺杂晶片一般还需要退火处理；另外，当离子注入层深

度超过几个微米时需要采用MeV高能离子注入机，设备造价昂贵，体积也更加庞大，这是离子注入工艺技术的局限性。

54. 如何计算离子注入表面薄层电阻？

对于与衬底导电类型相反的离子注入层，其表面薄层电阻 R_s 的近似表达式为：

$$R_s = 1/q \cdot \mu \cdot N_s \quad (\Omega)$$

式中， q 为单位电荷 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ； μ 为载流子迁移率 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ ； N_s 为载流子面密度 (cm^{-2}) ，若退火后注入杂质全电激活，且补偿后的载流子浓度仍然很高，则可认为 $N_s = N_D$ ，即

$$R_s = 1/q \cdot \mu \cdot N_D \quad (\Omega)$$

55. 为什么说洁净技术是半导体芯片制造过程中的一项重要技术？

半导体芯片制造，尤其是随着高度集成复杂电路和微波器件的发展，要求获得细线条、高精度、大面积的图形，各种形式的污染都将严重影响半导体芯片成品率和可靠性。生产中的污染，除了由于化学试剂不纯、气体纯化不良、去离子质量不佳引入之外，环境中的尘埃、杂质及有害气体、工作人员、设备、工具、日用杂品等引入的尘埃、毛发、皮屑、油脂、手汗、烟雾等都是重要污染来源。例如，PN结表面污染上尘埃、皮屑、油脂等将引起反向漏电或表面沟道，手汗引起的Na离子沾污会使MOS器件阈值电压漂移，甚至导致晶体管电流放大系数不稳定，空气中尘埃的沾污将引起器件性能下降，以致失效；光刻涂胶后尘埃的沾污将使二氧化硅层形成针孔或小岛；大颗粒尘埃附着在光刻胶表面，会使掩膜版与芯片间距不一致，使光刻图形模糊；高温扩散过程中，附着在硅片上的尘埃将引起局部掺杂和快速扩散，使结特性变坏。所以洁净技术是半导体芯片制造过程中的一项重要技术。

56. 半导体芯片制造对厂房洁净度有什么要求？

空气中的一个小尘埃将影响整个芯片的完整性、成品率，并影响其电学性能和可靠性，所以半导体芯片制造工艺需在超净厂房内进行。1977年5月，原四机部颁布的《电子工业洁净度等级试行规定》如下：

电子工业洁净度等级试行规定

洁净室等级	洁净度		温度 (℃)		相对湿度 (%)		正压值 (帕)	噪声 (A声级分贝)	适用范围 (以集成电路工艺为例)
	粒径 (微米)	浓度 (粒/升)	最高	最低	最高	最低			
1级	≥0.5	≤1	27	18	60	40	逐级相差 ≥66.661	≤70	超大规模、大规模集成电路的光刻制版
10级	≥0.5	≤10	27	18	60	40	同上	≤70	光刻、制版
100级	≥0.5	≤100	27	18	60	40	同上	≤70	扩散、氧化
1000级	≥0.5	≤1000	27	18	60	40	同上	≤70	封装、压焊
10000级	≥0.5	≤10000	27	18	60	40	同上	≤70	腐蚀、筛选

按器件产品种类和要求所采用的洁净标准

洁净室级别	适用的工序
100级	光刻
100~1000级	制版中精缩、显影
10000级	芯片工艺中的氧化、扩散、金属化、清洗
10000~100000级	中测、划片
100000级	组装、压焊
100000级以下	封装以后的各工序

57. 洁净区工作人员应注意些什么？

因人员走动会产生大量微粒，即使静坐也能有很多微粒产生。以下两个表格列出了操作人员的衣着及行动对环境的影响。

操作人员（不同的工作服）不同行动发尘量参考表

	0.5微米以上(个/分, 人)		
	普通工作服	防尘服	
		白衣型	全套型
立起	339000	113000	5580
坐下	302000	112000	7420
手腕上下动	2980000	298000	18600
上体前屈	2240000	538000	24200
腕自由运动	2240000	298000	20600
头部上下左右运动	631000	151000	11000
上体扭动	850000	266000	14900
屈身	3120000	605000	37400
脚动	2800000	861000	44600
步行	2920000	1010000	56000

注:白衣型防尘服是指一般的尼龙工作服,全套型是指从头到脚(除脸部外)全套起来的尼龙工作服。

操作人员对环境的影响

操作人员穿戴	使周围尘埃 增加倍数 $0.2\sim 50\mu\text{m}$	操作人员 本身	使周围尘埃 增加倍数	操作人员的 运动	使周围尘埃 增加倍数
搅动衣服袖	1.5~3	正常呼吸	无	几个人聚集在一起	1.5~3
无衣帽	10~50	吸烟20 分钟后	2~5	正常步行	1.2~2
有衣帽	1.5~20	喷嚏	5~20	快步行走	5~10
从口袋取手帕	3~10	摩擦手 或皮肤	0~2	平稳坐着	0~2

从以上两表所列数据,可清楚地看到操作人员的衣着和行动对环境洁净度的影响,所以洁净区要限制人数,而且洁净区工作人员应注意以下事项。

- (1) 进入洁净区要先穿戴好专用净化工作服、鞋、帽。
- (2) 进入洁净区前先在风淋室风淋30秒,然后才能入内。
- (3) 每周洗工作服,洗澡、理发、剪指甲,不用化妆品。
- (4) 与工作无关的纸张、书报等杂物不得带入。
- (5) 严禁在净化区做会造成粉末的活,工作中少走动。
- (6) 进入净化区的设备、试剂、气瓶等所有物品都要经严格清洁处理后才可进入。
- (7) 每天上班先清扫、擦洗设备,下班前清理好工作现场。
- (8) 定期检测洁净度,超标要停工整顿。

58. 半导体芯片制造工艺对水质有什么要求?

半导体芯片制造工艺对水质的要求极为严格,纯水质量对半导体芯片的性能、质量、成品率有极大的影响。随着高度集成复杂电路和微波器件的发展,对纯水质量的要求也不断提高。

超纯水水质指标的变化

项目 \ 年代	1973年	1976年	1979年	1981年	1983年
电阻率 ($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$) 25℃	13~15	15~17	16~18	17~18	17~18
总电介质 (ppb)	100	100	30	10~15	5~10
微粒 ($0.3\mu\text{m}$ 以上)	500~1000	200~500	<200	50~100	<50
粒径 (μm)	0.45~0.5	0.2~0.5	0.2	0.2	0.1~0.2
细菌	0~10/ml	100/100 ml	100/100 ml	50/100 ml	20/100 ml

(续表)

项目 \ 年代	1973年	1976年	1979年	1981年	1983年
TOC (ppm)	1	1	0.5~1	0.3~1	0.2~0.5
DOC (ppm)	8	1~8	0.3~8	0.3~8	0.3~1

16K~1M的RAM超大规模集成电路对水质的要求

RAM	16K	64K	256K	1M
电阻率 ($M\Omega \cdot cm$) 25℃	15	15~16	17~18	18
颗粒 (μm)	0.2	0.2~0.1	0.1	0.1~0.05
颗粒数 (个/ml)	200~300	50~150	20~50	
细菌 (个/ml)	1	0.5~1	0.02~0.2	0.01
TOC (ppm)	1	0.5~1	0.05~0.2	0.05
SiO ₂ (ppb)		20~30	10	10
溶解氧 (ppm)		0.1~0.5	0.1	

59. 半导体芯片制造工艺对气体有什么要求?

半导体芯片制造工艺中经常使用氧、氩、氢、氮等气体, 由于这些气体的微粒杂质和水汽对半导体芯片的性能、质量、成品率有极大的影响, 因此对这些气体的纯度要求较高。下表列出了对这些气体的具体要求。

半导体工艺中所需要的气体及纯度要求

工艺名称	气体名称	纯度要求
外延生长、氢氧合成	氢气 (H_2)	>99.999
扩散掺杂、退火、合金、反应溅射 器件封装、零件贮存等	氮气 (N_2)	>99.999
高温热氧化、氢氧合成、增密、反应溅射、 等离子腐蚀、等离子去胶等	氧气 (O_2)	>99.99
单晶炉、溅射、离子铣、RIE等	氩气 (Ar)	>99.999
氮化硅生长	氨气 (NH_3)	>99.999
硅片高温汽相腐蚀	氯化氢 (HCl)	>99.999
器件封装检漏、无油高真空设备	氦气 (He)	>99.999

大规模集成电路对气体纯度的要求

指标 气体 名称	纯度 %	O ₂ (ppm)	N ₂ (ppm)	H ₂ (ppm)	CO及 CO ₂ (ppm)	H ₂ S (ppm)	卤化物 (ppm)	H ₂ O (露 点 ℃)	含尘 量 ≥ 0.5 μm (个 /升)
氮气 (N ₂)	99.999	<1		<1	<2	<5	<1	<-70	<3.5
氧气 (O ₂)	99.999		<1	<1	<2	<5	<1	<-70	<3.5
氢气 (H ₂)	99.9999	<1			<2	<5	<1	<-70	<3.5
氩气 (Ar)	99.999	<1	<1	<1	<2		<1	<-70	<3.5

60. 简述硅片表面污染的来源。

硅片表面污染的来源主要有以下几方面：

(1) 有机物沾污：包括切、磨、抛工艺中的润滑油脂；石蜡、松香等粘合剂；手指分泌的油脂及光刻胶、有机溶剂的残留物等。

(2) 金属离子、氧化物及其他无机物质：包括腐蚀液中重金属杂质离子的残留；各种磨料中的氧化物或金属离子；使用的容器、镊子、水中金属离子的沾污；各种气体、人体汗液等引入的杂质离子。

(3) 其他可溶性杂质。

61. 简述化学清洗的去污原理。

(1) 有机溶剂的去污作用：硅片上的有机杂质（油脂、腊等）通常是用甲苯、丙酮、乙醇等有机溶剂来溶除的。这可由“结构相似的物质互溶”的规则解释。例如油脂和腊易溶于甲苯、丙酮，而很难溶于水，这是因为有机溶剂和甲苯等分子结构中都含碳氢基团而与水分子在结构上差异很大的缘故。

使用有机溶剂清洗时，按一定的顺序进行才能收到良好效果。如按甲苯→丙酮→乙醇的顺序进行，因为甲苯去油能力最强，所以先用甲苯清洗，由于甲苯易溶于丙酮，丙酮又易溶于乙醇，所以这样清洗不仅可把有机杂质完全除去，而且也能依次把留在片子上的甲苯、丙酮洗净，含有羟基的乙醇能与水以任何比例相溶，所以硅片最后才能用水冲洗。

(2) 无机酸在清洗中的作用：硅片表面受金属、金属离子、氧化物等物质的沾污必须

用各种酸来溶解。下面依次介绍盐酸、硫酸、硝酸、氢氟酸在清洗中的作用。

- 盐酸：在清洗中，利用盐酸具有强酸的特点来溶解硅表面的杂质。盐酸能与金属活动表中氢以前的金属、碱性氧化物、氢氧化物或两性氧化物作用，生成金属氧化物。反应生成的金属氧化物一般均能溶于水，所以多种金属杂质都能与盐酸作用生成可溶盐类，然后在大量高纯水的冲洗下溶除。

盐酸不能直接与铜、银、金等重金属作用。

- 硫酸：在半导体工艺中，硫酸常用于去除光刻胶和配制洗液等。清洗中主要利用其强酸性、氧化性来解脱吸附在硅片表面的金属和无机物。浓硫酸不仅能与金属活动表中氢以前的金属作用，而且在加热条件下还能与金属活动表中氢以后的金属铜、汞、银等金属发生氧化还原反应。生成的硫酸盐一般都溶于水。

硫酸不能与金、二氧化硅反应。

- 硝酸：化学清洗中是利用硝酸的强酸性和强氧化性将吸附在硅片表面的杂质除去。硝酸能与各种碱性氧化物、氢氧化物或两性氧化物作用，生成硝酸盐。浓、稀硝酸均能与铜、银、金等重金属作用，它们被稀硝酸氧化时主要放出一氧化氮，被浓硝酸氧化时主要放出二氧化氮，位与金属活动表中氢以前的较活泼的金属，如镁、锌等可将硝酸还原成一氧化二氮，并能将极稀的硝酸还原成铵盐。硝酸还能与某些非金属反应。与硝酸反应生成的硝酸盐之类的化合物一般都溶于水。

铁、铝、钙、镍等易溶于稀硝酸，但不溶于冷的浓硝酸。

- 氢氟酸：氢氟酸具有弱酸性（比盐酸、硝酸、硫酸弱得多）和很强的腐蚀性，化学清洗中主要利用它能腐蚀二氧化硅这一特点来腐蚀玻璃、石英及硅片表面的二氧化硅。氢氟酸能与二氧化硅作用生成易挥发的四氟化硅气体，四氟化硅能进一步与氢氟酸反应，生成可溶性的络合物六氟硅酸，六氟硅酸可用纯水冲除，由此达到去除二氧化硅的目的。

- 王水：三份浓盐酸和一份浓硝酸相混和而得到的溶液称为王水，它具有极强的氧化性、腐蚀性和酸性，不仅能溶解较活泼的金属和氧化物，而且几乎能溶解所有不活泼的金、铂等金属形成可溶性的络合物而溶于水，以达到清除硅片表面杂质的目的。

王水不能溶解二氧化硅。

（3）洗液的清洗作用：洗液是用饱和的重铬酸钾溶液和过量的浓硫酸混合而成的，混合时就有橙色的三氧化铬（铬酐）晶体析出。三氧化铬是最强的氧化剂之一，含有三氧化铬的洗液能氧化和溶解许多金属、氧化物以及其他无机化合物。热的洗液还能氧化沾在器皿上的有机油类薄层，使之成为能溶的醇、酸类化合物，以便溶除。所以一般玻璃石英器

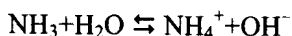
皿和金属用具用这种洗液去污效果较好。

三氧化铬氧化后,其本身被还原为三价铬的化合物,或成为难溶的三氧化二铬而析出,或成为三价铬离子留在溶液中。三价铬离子特征颜色为绿色或绿紫色,所以当洗液由橙红色变为绿色时,即表明已失去氧化能力,应更换新洗液。

(4) I号液、II号液的清洗作用: I号液、II号液是以过氧化氢为基础的硅的清洗液。过氧化氢在碱性溶液中被还原成 OH^- ;在酸性溶液中被还原成水,半导体芯片工艺中用得较多,其中一种是碱性的,一种是酸性的。

- I号液是碱性过氧化氢清洗液,由高纯水、过氧化氢(30%)、浓氨水(27%)组成,配比是5:1:1~5:2:1(体积比),其清洗作用主要是:

利用氨水的碱性除去能溶于碱的杂质,因为氨水既能提供氨分子,又能提供氢氧根离子,在氨水中存在着下述平衡关系:



利用氧化剂过氧化氢和络合剂氨将金属杂质氧化为溶于水的络合物。

- II号液是酸性过氧化氢清洗液,由高纯水、过氧化氢(30%)、浓盐酸(30%)组成,配比是6:1:1~8:2:1(体积比),其清洗作用主要是:

利用盐酸的强酸性将金属氧化物、氢氧化物、碳酸盐变为金属氯化物。

利用过氧化氢和盐酸(铬合剂)将金属杂质氧化为能溶于水的氯化物或络合物。

62. 石英器皿如何清洗?

石英器皿清洗步骤如下:

用去污粉或合成洗涤剂或净洗剂将新石英器皿擦洗干净,用自来水冲洗;

放在玻璃洗液中浸泡(玻璃洗液:重铬酸钾饱和溶液50~60ml,94%浓硫酸1000 ml,配制过程应该将浓硫酸徐徐倒入重铬酸钾饱和水溶液中);

自来水冲洗,再用稀氢氟酸($\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:5$)腐蚀15分钟;

用热去离子水冲洗干净,烘干备用。

63. 不锈钢镊子如何清洗?

不锈钢镊子清洗步骤如下:

(1) 用去污粉或合成洗涤剂或净洗剂将不锈钢镊子擦洗干净,用自来水冲洗;

(2) 放在金属洗液中浸泡(金属洗液:三氧化铬饱和溶液40ml,94%浓硫酸1000 ml,配制过程应该将浓硫酸徐徐倒入三氧化铬饱和水溶液中);

(3) 用热去离子水冲洗干净,烘干备用。

64. 硅片如何清洗?

硅平面器件工艺中,每道工序都要清洗,但处理方法各不相同,需针对各工序的杂质沾污情况来考虑,尤其是随着大规模集成电路集成度和微波器件的发展,线条越来越细、精度和集成度越来越高、图形面积越来越大,对硅片清洗的要求也越来越高,国际上不断有新的清洗液、新的清洗方法研制出来。下面将最基本的清洗方法举例如下:

(1) 一次氧化前的清洗。

浓硫酸和过氧化氢溶液($\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2=4:1$)煮→大量去离子水冲洗→王水煮至颜色变淡→去离子水冲洗8~10min→ $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:20$ 漂20~30秒→去离子水冲洗8~10min→甩干(或烘干)。

也可以先去油处理→I号液煮至沸腾(两遍)→去离子水冲洗→II号液煮(两遍)→去离子水冲洗8~10min→ $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:20$ 漂20~30秒→去离子水冲洗8~10min→甩干(或烘干)。

(2) 硼、磷扩散前的清洗。

I号液煮(两遍)→去离子水冲洗→II号液煮(两遍)→去离子水冲洗8~10min→甩干(或烘干)。

硼、磷扩散后用 $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:10$ 泡去硼、磷硅玻璃→去离子冲洗→烘干。

(3) 金属化前的清洗。

浓硫酸和过氧化氢溶液 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2=5:1$ 煮10~15min→大量去离子水冲洗→ $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:20$ 漂20~60秒(按器件情况定时间)→去离子水冲洗8~10min→甩干(或氮气保护烘干)。

65. 什么是台面工艺?

台面工艺是制作台面晶体管的一整套工艺的统称。此工艺特点是:

(1) 采用两个金属条作为发射极和基极电极;

(2) 管芯最后被腐蚀成台面状。

台面工艺的典型工艺过程是:

(1) 先在P型衬底上扩散一个N型层;

(2) 用真空蒸发的方法在其上制作两个金属电极,发射极是铝,基极是金锑合金;

(3) 腐蚀台面状,把发射区和基区以外的部分腐蚀掉。

台面工艺适用于制备锗高频器件,与合金扩散相比,采用台面工艺制作的半导体器件具有均匀性好、性能稳定、可靠性高、适合于大规模生产等特点。

66. 什么是平面工艺?

平面工艺是制作平面型器件的一整套工艺的统称,此工艺特点是:它通过外延、氧化、光刻、扩散或离子注入、金属化、表面钝化等工艺,使器件的表面呈平面状,因此而得名。平面工艺有两个主要特点:

(1) 在器件的全部制作过程中,充分利用了晶片表面的二氧化硅层,由于PN结始终都在氧化层的保护之下,避免了杂质和其他物质对PN结的沾污;

(2) 器件制成后,晶片表面基本上是一个平面,电极都在平面上引出。

平面工艺适合各种硅器件的制备。无论从器件性能的均匀性、稳定性、可靠性及工艺重复性和适合于大规模生产来说,平面工艺都是一种优越的器件制备工艺,因而在硅器件生产中被广泛应用。半导体集成电路的制备工艺也是以平面工艺为基础的。

67. 什么是氧化工艺?

氧化工艺是在晶片表面制备氧化层的工艺。如在硅表面生长二氧化硅层。

68. 二氧化硅的主要用途是什么?

二氧化硅的主要用途是:

(1) 扩散时能对杂质起掩蔽作用进行选择扩散;

(2) 钝化晶片表面,可提高器件性能及器件的可靠性和稳定性;

(3) 作绝缘层,如作介质隔离的绝缘层、集成电路中铝引线和各元件之间的绝缘层等;

(4) 作电容中的介质层。

69. 什么叫氯化氢氧化法?

把硅片置于氯化氢气和氧气的混合气体中进行氧化,称为氯化氢氧化。

70. 什么叫选择氧化?

选择氧化是在硅片上有些地方氧化,有些地方不氧化,有时也叫局部氧化。利用氮化硅可掩蔽热氧化的性质,首先在硅片上淀积氮化硅,再进行光刻,将需要氧化处的氮化硅去掉,不需氧化处的氮化硅保留,然后通过热氧化或高压水汽氧化即可达到选择氧化的目的。

71. 什么叫增密工艺?

增密工艺也叫致密工艺。在600~800℃下热分解有机氧硅烷淀积的二氧化硅,其结构比较疏松,与热生长的二氧化硅相比,对杂质的掩蔽能力较差,为弥补这一不足,可在900℃或更高温度下用干燥氮气或氧气进行处理(即稠化)。经稠化后的二氧化硅层,结构由疏松变紧密,增加了对杂质的掩蔽能力。这种工艺称为增密工艺。

72. 二氧化硅有哪些制备方法?

二氧化硅的制备方法很多,主要有高温氧化生长法(包括水汽氧化、干氧化、湿氧化等)、高压水汽氧化、热分解淀积法(包括LPCVD、PECVD)、溅射淀积(包括反应溅射、射频溅射)、阳极氧化等方法。其中最常用的是高温氧化生长和热分解淀积法。

73. 对氧化工艺质量有什么样的要求?

- (1) 厚度达到规定要求;
- (2) 颜色均匀、结构致密;
- (3) 表面无斑点、无白雾、不发花;
- (4) 表面无裂纹、无针孔;
- (5) 热氧化层错少;
- (6) 可动电荷(特别是 Na^+ 离子)含量少。

74. 采用目检可观察氧化工艺的哪些质量?

用肉眼或显微镜可观察二氧化硅的以下质量:颜色是否均匀、结构是否致密;表面有无斑点、有无白雾、是否发花;表面有无裂纹、有无针孔。

75. 有哪些方法测量二氧化硅膜的厚度?各有什么特点?

(1) 比色法:在白光照射二氧化硅时,不同的厚度有不同的干涉色,做一个比色板(标明每种颜色的厚度),将待测样品与之比较,即可粗略判定二氧化硅膜的厚度。该方法简单、方便,无破坏性,应用较广。但这种方法当厚度大于1微米,干涉色变得不明显,不易判别;另外带有主观因素,与观察者的视觉、光源方向有关,不同人可能有不同判断。二氧化硅厚度与颜色对照表如下:

二氧化硅厚度与颜色对照表(参考)

第一周期		第二周期		第三周期		第四周期		第五周期		第六周期	
厚度 (埃)	氧化膜颜色	厚度(埃)	氧化膜 颜色	厚度(埃)	氧化膜 颜色	厚度(埃)	氧化膜 颜色	厚度(埃)	氧化膜 颜色	厚度(埃)	氧化膜 颜色
500	黄褐										
750	棕色										
1000	紫罗兰										
1250	深兰										
1500	浅兰										
1750	金属色	3650	黄绿	5020	绿						
2000	淡金黄	3750	绿黄	5400	黄绿						
2250	黄橙 金色	3900	黄色	5600	绿~黄	7700	黄色				

(续表)

第一周期		第二周期		第三周期		第四周期		第五周期		第六周期	
厚度(埃)	氧化膜颜色	厚度(埃)	氧化膜颜色	厚度(埃)	氧化膜颜色	厚度(埃)	氧化膜颜色	厚度(埃)	氧化膜颜色	厚度(埃)	氧化膜颜色
2500	橙色	4120	浅橙	5740	黄~硅色	8000	橙色	9700	黄~硅色		
2750	红~紫罗蓝	4250	肉红色	5850	浅橙~粉红	8200	鲜肉红色	10000	肉红	12000	红
3000	紫蓝~蓝	4430	紫罗蓝~红	6000	肉红色	8500	暗红~子蓝	10200	紫蓝~红	12800	黄~硅色
3100	蓝	4650	红~紫蓝	6300	红~紫蓝	8600	紫蓝	10500	红~紫蓝	13200	天蓝~绿
3250	蓝~蓝绿	4750	紫蓝	6800	紫红~蓝绿	8900	蓝	10700	蓝	14000	橙色
3450	浅绿	4900	蓝	7200	蓝绿~绿黄	9200	蓝绿	11000	绿	15000	蓝
3500	绿~黄绿	5000	蓝~绿								

(2) 光干涉显微镜测量法: 制备好二氧化硅膜台阶的样品表面淀积一薄层金属, 用干涉显微镜测出相邻两条干涉条纹的间距 a 和干涉条纹通过台阶时的偏离距离 b , 氧化层厚度 d 为:

$$d = \frac{b}{a} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

λ : 显微镜采用的干涉光的波长

该方法的测量精度由干涉显微镜的读数精度决定。

(3) 台阶仪测量法: 制备好二氧化硅膜台阶的样品可在台阶仪上直接给出台阶高度, 精度可达 ± 50 埃, 操作简单、方便。但该仪器的价格较昂贵。

(4) 椭圆偏振光测量法: 该方法测量精度高, 可达几个埃, 是一种非破坏性的测量方法, 不仅可同时测出膜厚和折射率, 还可用来检验膜厚的均匀性。但该仪器价格较昂贵。

76. 什么是扩散工艺?

在高温下, 使杂质由半导体晶片表面向内部扩散, 以改变晶片内部的杂质分布和表面层的导电类型, 这一工艺统称扩散工艺。扩散工艺是制作半导体器件和集成电路的重要工艺, 不仅广泛用于制作PN结。还广泛用于制作集成电路的扩散电阻和埋层。用扩散制作PN结, 比用合金法优越得多, 它的结深可精确控制, 结面可有各种复杂形状, 机械性能和高频性能都较好。

77. 什么是扩散杂质源?

用扩散法制作PN结时所用的掺杂材料,称为扩散杂质源。

78. 什么是闭管扩散?

将半导体晶片和杂质源放在真空密闭的石英管中所进行的扩散,称为闭管扩散。

79. 什么是开管携带气体扩散?

将半导体晶片和杂质源放在两端都开口的石英管中,并有气体(氮气或惰性气体)从石英管的一端流向另一端,这种气体在流动时,将上方的杂质源的蒸气携带到晶片周围,其中一部分通过石英管的出口逸出,一部分向晶片体内扩散,这种扩散称为开管携带气体扩散。

80. 什么是箱法扩散?

箱法扩散是开管携带气体扩散的改进,又称半闭管扩散。与开管携带气体扩散相比,不同之处是半导体晶片和杂质源不再裸露在携带气体的气流中,而是放在一个特制的石英箱内,石英箱具有一定的密封性。扩散时,石英箱置于石英管中,管中也通以携带气体,这种扩散称为箱法扩散。由于采用了石英箱,因而减少了携带气体大小对扩散结果的影响,同时又因石英箱具有一定的密封性,因此,箱内可以建立一个比较稳定的杂质源蒸气压,使扩散有较好的重复性。

81. 什么是气态源扩散?

扩散的杂质源有采用元素单质的,有采用化合物的。它们有的是气态、有的是液态、有的是固态。

对于原始扩散源为气态的扩散工艺称之为气态源扩散。如以 PH_3 为源的磷扩散和以 B_2H_6 为源的硼扩散。

82. 什么是液态源扩散?

采用室温下为液态的杂质源进行的扩散工艺称之为液态源扩散。液态源扩散的工艺过程同开管携带气体扩散相似。如 POCl_3 为源的磷扩散和以 BBr_3 为源的硼扩散。

83. 什么是固态源扩散?

采用固态的杂质源进行的扩散工艺称之为固态源扩散。常用的固态源有 BN 、 B_2O_3 、 Sb_2O_3 、磷钙玻璃等。

84. 对扩散工艺质量有哪些要求?

- (1) 表面质量良好:无合金点、无破坏点、无白雾;表面光洁、再扩散后氧化硅均匀;
- (2) 结深符合扩散要求;

- (3) 方块电阻符合扩散要求;
- (4) 表面杂质浓度符合扩散要求;
- (5) 放大系数均匀;
- (6) 反向漏电小、击穿特性好。

85. 采用目检可观察扩散工艺的哪些质量?

用肉眼或显微镜可观察扩散工艺的以下质量: 有无合金点、有无破坏点、有无白雾; 表面是否光洁、再扩散后氧化硅是否均匀。

86. 如何测量扩散结深?

扩散结深可以通过磨角染色、滚槽或滚球、阳极氧化等方法进行测量。

(1) 磨角染色法: 先将样品用石蜡粘在磨角器上, 用水或金钢砂作磨料进行研磨, 得到光亮、清洁的斜面, 用硫酸铜染色或水解氧化的方法显结, 最后用三角函数计算或劈刀干涉法测量结深, 干涉法测量结深的公式为:

$$x_j = \frac{\lambda}{2} m$$

其中: x_j : 结深; λ : 使用光的波长; m : 干涉条纹数

(2) 滚槽(或滚球)法: 滚槽法就是使硅片表面在滚槽机上滚出一道半径为 R 的柱形浅槽, 剖面如图2-1所示; 经显结以后, 在显微镜下可测得 x 、 y 的数值, 按勾股定理和浅槽可得到:

$$x_j = \frac{xy}{2R}$$

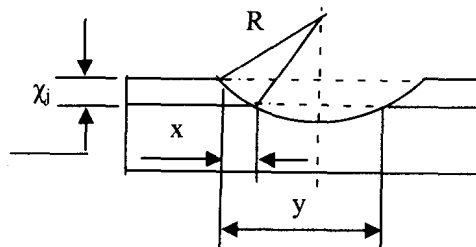


图2-1 滚槽剖面图

(3) 阳极氧化法: 在室温下, 先在硅表面用阳极氧化法生长一定厚度的二氧化硅, 然后用氢氟酸去除二氧化硅, 并测量其方块电阻 R_s 。接着重复上述步骤, 如此下去就会发现 R_s 一次比一次大。若在 N 次测量中发现 R_s 突然变小, 则PN结就在第 N 次去除二氧化硅后的位置。

$$x_j = F_c^N d_i$$

其中： F_c 是二氧化硅与硅的转换系数（热氧化二氧化硅与硅的转换系数是0.43）

N 是 去除二氧化硅的次数。

d_i 是每次去除二氧化硅的厚度。

87. 如何测量薄层电阻（方块电阻）？

一般用四探针法测量，四探针是四根彼此等距离为 S 的钨丝探针，其针尖保持在一条直线上，且以等量压力压在硅片的表面。一对外探针为电流探针，由稳压电源供电，在薄层中通过一定量的电流（ I ），相应有一定的电场分布。一对内探针为电位探针，测定距离为 S 的两点间的电位差（ V ）。如果硅片的长度、宽度比探针间距大得多，则方块电阻的表达式为：

$$R_s = C \frac{V}{I}$$

其中 C 是修正常数，由被测样品的长度、宽度、厚度及探针间距 S 来确定， C 可以查表得到。

88. 如何测定扩散层的表面杂质浓度？

直接测定表面杂质浓度 N_s 的方法有放射性示踪技术，但比较复杂，因此，在生产中，多采用间接的查图求解法。表面杂质浓度与表面平均电导率 σ 具有正比关系，表面平均电导率可有下式表示：

$$\sigma = \frac{1}{R_s x_j}$$

可先由 R_s 和 x_j 计算得到 σ ，再由 σ 和样品本体杂质浓度 N_B ，从 N_s 、 N_B 、 σ 的关系曲线中查出表面杂质浓度 N_s 。

89. 什么叫隔离工艺？

在半导体集成电路中，各元器件都是制作在同一晶片内。因此要使它们起着预定的作用而不互相影响，就必须使它们在电性能上相互绝缘，这种电绝缘及其形成的方法称为隔离工艺。

90. 什么叫PN结隔离？

当对一个PN结施加反向偏压时，它就有很高的反向电阻，即一个在反向偏压下工作的PN结可近似地看成是绝缘体，基于这一点，在制作半导体集成电路中可把需要相互绝缘的各元器件，用加有反向偏压的PN结来实现隔离，这种隔离方法就叫PN结隔离。

91. 什么叫介质隔离？

这是以绝缘性能良好的电介质作为“隔离墙”来实现电路中各元器件间彼此电绝缘的一种隔离方法。常用的电介质是二氧化硅层。

92. 什么叫空气隔离？

空气也是一种电绝缘的介质，以空气作为电介质来实现电路中各元器件间彼此电绝缘的一种隔离方法称为空气隔离。

93. 什么叫V形槽隔离？

V形槽隔离是双极集成电路的一种隔离技术，利用硅的某些晶面在一定的腐蚀液中腐蚀速度的不同，即所谓各向异性腐蚀，从而得到一个V形的可把元器件分开的隔离槽。

94. 什么叫光刻工艺？

光刻工艺是利用感光胶感光后抗腐蚀的特性在半导体晶片表面的掩膜层上刻制图形的工艺。

95. 简述光刻工艺步骤。

光刻工艺一般都要经过涂胶、前烘、曝光、显影、坚膜、腐蚀、去胶等步骤。

(1) 涂胶：在氧化硅或其他薄膜表面，涂布一层粘附良好、厚度适当、厚薄均匀的光刻胶膜。涂胶前硅片表面必须清洁干燥，如硅片搁置较久或光刻返工，应重新清洗并烘干后再涂胶。

(2) 前烘：在一定温度下，使胶膜里的溶剂缓慢挥发出来，使胶膜干燥，并增加其粘附性和耐磨性。

(3) 曝光：对涂有光刻胶的基片进行选择性的光化学反应，使曝光部分的光刻胶改变在显影液中的溶解性，经显影后在光刻胶膜上得到与掩膜相对应的图形。

(4) 显影：把曝光后的基片放在适当的溶剂里，将应去除的光刻胶膜溶除干净，以获得腐蚀时所需要的抗蚀剂膜的保护图形。

(5) 坚膜：在一定温度下对显影后硅片进行烘焙，去除显影时胶膜所吸收的显影液和残留的水份，改变胶膜与基片的粘附性，增强胶膜的抗蚀能力。

(6) 腐蚀：用适当的腐蚀剂，对未被胶膜覆盖的薄膜进行腐蚀，以获得完整、清晰、准确的光刻图形。达到选择性扩散或金属布线的目的。

(7) 去胶：将要腐蚀的薄膜图形腐蚀出来后，把覆盖在硅片上的胶膜去除干净。

96. 简述正性胶和负性胶的概念。

光致抗蚀剂在曝光前对某些溶剂是可溶的，曝光后硬化成不可溶解的物质，这一类抗蚀剂称为负性光致抗蚀剂，由此组成的光刻胶称为负性胶。

光致抗蚀剂在曝光前对某些溶剂是不可溶的，而曝光后变成可溶解的物质，这一类抗蚀剂称为正性光致抗蚀剂，由此组成的光刻胶称正性胶。

97. 简述对光刻工艺质量的基本要求。

对光刻工艺质量的基本要求有如下几条：

- (1) 刻蚀的图形完整、尺寸准确、边缘整齐、线条陡直；
- (2) 图形内无小岛、不染色、腐蚀干净；
- (3) 图形套合十分准确；
- (4) 介质膜或金属膜上无针孔；
- (5) 硅片表面清洁、不发花、无残留的被腐蚀物质。

98. 光刻工艺对掩膜版质量要求是什么？

- (1) 图形尺寸准确；
- (2) 图形黑白区域之间的反差要高；
- (3) 图形边缘陡直、无毛刺、边缘过渡区要尽量小；
- (4) 应有一定数量完全相同的图形，以利大圆片生产，套刻掩膜中的各次光刻版应能依次一一套准，套刻误差应尽量小；
- (5) 版面平整、光洁，无针孔、划痕和小岛；
- (6) 版面牢固耐磨，不宜变形。

99. 什么叫制版工艺？

制作光刻用的掩膜版的工艺，称为制版工艺。

100. 什么叫分辨率？

在半导体工艺中，分辨率是指感光材料（如底版、光刻胶等）、光学系数（如照相镜头、显微镜等）使细小图形清晰成像的能力。分辨率用1毫米内可以清晰辨别的最多直线数目来表示。

101. 什么叫套刻精度？

在半导体器件和集成电路的制造中都需要进行多次光刻。每次光刻的图形必须互相套准。互相套准的过程叫套刻，套刻图形边缘间的最小距离叫套刻间距或套刻精度。

102. 什么叫接触式曝光？

将预先制好的掩膜直接和涂有光致抗蚀剂的晶片表面接触，再用紫外光照射来进行曝光的方法，称为接触曝光。

103. 什么叫接近式曝光？

这是从接触式曝光发展而来的, 这种方法是使光刻掩膜不与涂有光致抗蚀剂的晶片表面相接触, 而是保持相距很近的距离, 利用高度平行的平行光束进行曝光。称这种曝光方法为接近式曝光。

104. 什么叫光学投影曝光?

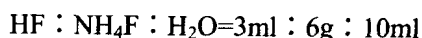
所谓投影曝光, 就是掩膜版不与硅片直接接触, 而是用光学投影的方法将掩膜版上的图形缩小, 聚焦于硅片表面的感光胶膜上, 使之曝光的一种方法。

105. 什么叫电子束曝光?

将直径非常小的高能电子束直接打到涂有光致抗蚀剂的晶片表面上, 通过控制电子束的偏转对晶片进行曝光, 这种曝光方法称为电子束曝光。

106. 如何用湿法化学腐蚀二氧化硅和氮化硅?

(1) 二氧化硅的腐蚀: 一般采用以氢氟酸为基础的水溶液, 氢氟酸浓度越高腐蚀速率越快, 加入氟化铵, 可使反应速度减缓, 起缓冲剂的作用。常用的配方如下:



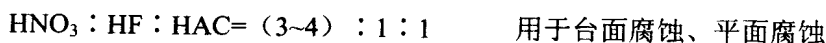
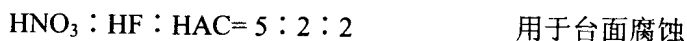
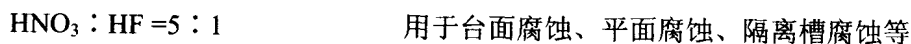
该腐蚀剂对不同方法生长的氧化硅有不同的腐蚀速率, 低温淀积的氧化硅比热氧化的腐蚀速率快得多, 含硼会使腐蚀速率降低, 含磷使腐蚀速率增大, 腐蚀速率随温度变化, 温度越高腐蚀越快, 一般在30~40℃范围内腐蚀。

(2) 氮化硅的腐蚀: 氢氟酸对氮化硅的腐蚀速率比氧化硅慢得多, 而热磷酸正与之相反, 在180℃热磷酸中氮化硅、氧化硅、硅的腐蚀速率为10nm/min、1nm/min、0.5nm/min。所以, 常用热磷酸腐蚀氮化硅, 由于光刻胶不耐热磷酸腐蚀, 必须在氮化硅上淀积一层氧化硅, 先刻出氧化硅的图形, 以氧化硅作掩蔽膜在180℃热磷酸里腐蚀。

虽然湿法化学腐蚀设备简单、成本低, 但侧向钻蚀严重, 腐蚀特性受温度和材料性质影响大, 不易控制, 只用于尺寸较宽的图形的腐蚀, 对于精细图形的腐蚀一般都采用等离子腐蚀或反应离子腐蚀等干法腐蚀方法。

107. 用什么方法腐蚀硅的台面?

(1) 湿法化学腐蚀: 一般采用各向同性的硝酸——氢氟酸腐蚀剂, 参考配方如下:



其中: 硝酸(HNO_3)是氧化剂; 氢氟酸(HF)是腐蚀剂; 冰醋酸(HAC)是缓冲剂。

(2) 干法腐蚀: 一般采用等离子腐蚀、反应离子腐蚀、ICP等干法腐蚀方法。反应气

体采用六氟化硫。

108. 对硅如何腐蚀V形槽?

一般采用各向异性的湿法化学腐蚀方法：主要有以下三种配方：

(1) 联氨——水二元系统

$\text{NH}_2\text{NH}_2 : \text{H}_2\text{O} = 80\% : 20\%$ (体积比) 100°C 腐蚀 (100)晶面腐蚀速率
约 $0.75 \mu\text{m}/\text{min}$

(2) 乙二胺——邻苯二酚——水三元系统

$\text{H}_2\text{N}(\text{CN}_2)_2\text{NH}_2 : \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2 : \text{H}_2\text{O} = 35.1\% : 3.7\% : 61.2\%$ (摩尔比),
 100°C 腐蚀, 腐蚀速率为: (100)晶面 : (110)晶面 : (111)晶面 = $50 : 30 : 3 (\mu\text{m}/\text{h})$

(3) 氢氧化钾——异丙醇~水三元系统

$\text{KOH} : (\text{CH}_3)_2\text{CHOH} : \text{H}_2\text{O} = 23.4\% : 13.3\% : 63.3\%$ (重量比); 80°C 腐蚀, 腐蚀速率为:

(100)晶面 : (111)晶面 = $1 \mu\text{m}/\text{min} : 0.7 \mu\text{m}/\text{min}$

109. 如何腐蚀铝?

(1) 湿法化学腐蚀：一般采用磷酸，腐蚀时反应激烈，会有气泡不断冒出，影响腐蚀的顺利进行和均匀性，为此在腐蚀液中加少量无水乙醇或采用超声腐蚀。腐蚀温度一般为 80°C 。要定期更换腐蚀液。该方法适用于尺寸较宽的图形的腐蚀，对于精细图形的腐蚀一般都采用反应离子腐蚀等干法腐蚀方法。

(2) 反应离子腐蚀：铝是活泼金属，和氯很容易起化学反应，可用氯等离子体腐蚀。但铝表面也易氧化生成致密的三氧化铝膜，氯离子对它几乎没有腐蚀作用，为此，在工作气体（如 CCl_4 ）中掺入质量较轻的惰性气体（如 Ar），在强电场作用下，以溅射和腐蚀相结合的方式腐蚀。也有以 BCl_3 作工作气体的。干法腐蚀清洁、干净、无脱胶现象、图形精度和分辨率高，所以越来越得到广泛应用。

110. 什么叫真空蒸发工艺?

在高真空中将金属加热使之熔化，并蒸发成蒸汽原子，这些金属蒸汽原子以直线运动“飞”出来，淀积到晶片上，在晶片表面形成薄膜的工艺叫真空蒸发工艺。按蒸发源加热方法的不同，真空蒸发工艺可分为：电阻加热蒸发、电子束蒸发、离子束蒸发等。

111. 什么叫溅射工艺?

溅射工艺是在半导体表面制备薄膜的一种常用工艺。向高真空中充入少量惰性气体（如氩气），通过高压电场的作用使氩气电离，产生的高能氩离子流迅速撞击阴极（溅射靶材），

使靶材原子飞溅出来,沉积在衬底上形成薄膜,这种工艺称为溅射工艺。溅射工艺包括直流溅射、射频溅射、磁控溅射、反应溅射、偏压溅射、四极溅射(等离子溅射)、离子束溅射等。

112. 什么叫直流溅射?

向高真空中充入少量惰性气体(如氩气),气体在低真空强电场下电离,产生高速运动的正离子,这些正离子以一定能量撞击靶材料,使靶材料原子飞溅出来,沉积在衬底上形成薄膜,这种工艺称为直流溅射工艺。

113. 什么叫射频溅射?

射频溅射也叫高频溅射,不仅能溅射金属,也能溅射绝缘材料。在绝缘体背面加上金属电极,并在此电极上加上射频电压,产生通过绝缘体的位移电流。溅射电压和等离子层的交替作用,在绝缘体和等离子体之间建立直流电场,直流电场在绝缘体表面产生负偏压,由于这负偏压而产生溅射,这就是射频溅射。

114. 什么叫磁控溅射?

磁控溅射就是在靶电极背面安装一个由永久磁铁构成的特定形状的磁场,使电离的电子在磁场作用下按一定轨迹运动,有效地增加电子与气体分子碰撞的几率,而增加了气体分子的电离效果,显著提高正离子流密度,从而可在较高工作真空、较低工作电压溅射,并能获得较高的溅射速率。这种溅射方法的特点是溅射电压低、溅射速率快、容易获得大面积均匀的优质薄膜,是应用最广的溅射方法。

115. 什么叫反应溅射?

在溅射时,向真空系统中引入一定的反应气体(如氧、氮),使之与被溅射材料发生反应,可获得化合物薄膜。这种溅射方法称为反应溅射。

116. 什么叫偏压溅射?

偏压溅射是使衬底与阳极绝缘,并加上 $-100\sim-200$ 伏的负偏压,这样在衬底上淀积薄膜的同时,不断受到弱离子的轰击,使吸附在衬底的气体原子跑出来,得到纯净薄膜。

117. 什么叫四极溅射?

在直流溅射(也称二极溅射)的基础上为增加电子密度和电离效率,增加一个热灯丝阴极和一个辅助阳极,由热阴极灯丝发射电子,电子在跑向阳极的途中与气体分子碰撞,使气体分子电离,辅助阳极对电子起加速的作用,在外磁场作用下将电子和离子聚焦成等离子束,其中气体正离子在靶电压(负高压)作用下快速轰击靶材料表面,使靶原子飞溅出来沉积在对面的衬底上形成薄膜。这种溅射方法称为四极溅射,也叫等离子溅射。

118. 什么叫金属剥离工艺?

基片经涂胶、曝光、显影后,以具有一定图形的光致抗蚀剂膜为掩膜,带胶蒸发或溅射所需的金属,然后在去除光致抗蚀剂膜的同时,把胶膜上的金属一起去除干净,在基片上只剩下原刻出图形的金属。这种工艺称为金属剥离工艺。

119. 什么叫表面钝化工艺?

半导体器件是很容易受污染的,当它长期暴露于空气中时,就极易使器件变质损坏,为防止器件变质损坏,除了将器件封入特制的外壳内外,还可在半导体芯片表面覆盖一层保护膜,使器件的表面与周围气氛隔离,这种工艺称为半导体器件的表面钝化工艺。

120. 简述钝化膜的质量要求。

- (1) 膜的结构致密,有一定的折射率;
- (2) 钝化膜稳定,抗离子沾污能力强,抗辐射能力强;
- (3) 绝缘性高;耐腐蚀性好;
- (4) 容易加工。

121. 氮化硅的膜厚如何测量?

氮化硅的膜厚精确测量要用椭圆偏振仪或制成台阶后用台阶仪测量,在生产中为了快速方便,常采用比色法进行粗略估计。氮化硅膜的颜色与厚度的对比表如下:

氮化硅膜的颜色与厚度的对比

颜色	厚度(埃)	颜色	厚度(埃)	颜色	厚度(埃)
硅本色	0~200	很淡蓝色	1000~1100	蓝色	2100~2300
褐色	200~400	硅本色	1100~1200	蓝绿色	2300~2500
黄褐色	400~500	淡黄色	1200~1300	浅绿色	2500~2800
红色	550~730	黄色	1300~1500	橙黄色	2800~3000
深蓝色	730~770	橙黄色	1500~1800	红色	3000~3300
蓝色	770~990	红色	1800~1900		
淡蓝色	930~1000	深红色	1900~2100		

122. 简述在芯片制造中对金属电极材料的要求?

无论是晶体管芯片制备金属电极还是集成电路内引线互连,都需要解决金属与半导体接触的问题,制备金属电极(或内引线互连)的材料应满足以下要求:

- (1) 电导率高;
- (2) 与二氧化硅或淀积的其他介质膜粘附性能好;
- (3) 无论对N型还是P型硅都能形成欧姆接触,接触电阻低;

- (4) 金属与金属, 金属与半导体之间不产生使器件性能退化的金属间化合物;
- (5) 便于淀积和光刻;
- (6) 抗电迁移能力强;
- (7) 抗电化学腐蚀能力强;
- (8) 金属在淀积过程中不引起半导体表面的不稳定性。

满足上述全部要求的单层电极材料几乎没有, 因此往往需要根据具体情况在多种材料和工艺之间折衷选择。

123. 简述电镀金在芯片制造中的应用。

在硅和砷化镓微波器件芯片制造中一般采用电镀金的方式加厚金层厚度, 包括正面镀金和背面镀金两种, 正面一般采用带胶选择电镀金的方式加厚金层厚度, 有利于形成满意的金属图形, 背面镀金是为了制造一个较好的热沉, 有利于器件散热。

124. 在芯片制造中对镀金层的质量要求是什么?

对镀金层的要求是: 厚度均匀、满足设计要求; 镀金层光亮、致密、应力小; 与底层金属粘附牢固。

对正面镀金层还要求金属图形边缘整齐、无连条。

125. 电镀层膜厚测量方法是什么?

对正面镀金层的厚度采用干涉显微镜或台阶仪测量, 镀前测出胶面与底层金层的台阶高度A, 镀后测出镀层与胶面的台阶高度B, 如镀层低于胶面, 则镀层厚度=A-B, 如镀层高于胶面, 则镀层厚度=A+B。

背面镀金层的厚度一般比较厚, 一般采用百分表或千分尺直接测量, 也有用称重量法计算得出。

126. 工艺人员的质量职责是什么?

- (1) 对设计文件进行工艺审查并对审查质量负责;
- (2) 按设计文件的要求和有关标准编写工艺文件, 并对其适用性负责;
- (3) 熟悉工艺规范要求及有关设备操作方法;
- (4) 负责分析并处理有关工艺质量问题。

127. 填写工艺记录有什么要求?

工艺人员完成工艺操作后要认真、及时填写工艺记录, 做到记录内容详细、真实、完整、书写工整、数据准确。

128. 工艺记录应包括哪些基本内容?

工艺记录一般包括工艺台账和工艺串联本(工艺卡),不同器件、不同工序对工艺记录的具体内容会有不同要求,但都应包括以下基本内容:接片时间、接片数量、接片时的质量检查结果(互检)、本工艺内容、工艺条件、工艺结果(质量自检)、交片数量、交片时间、操作员签字、若工艺中出现异常情况应登记在备注栏。关键工序要有专检员签字。

129. 操作人员的质量职责是什么?

- (1) 按规定接受培训考核,以达到所要求的技能、能力和知识;
- (2) 严格按工艺规范和工艺文件进行操作,对工艺质量负责;
- (3) 按规定填写质量记录,对其准确性、完整性负责;
- (4) 做好所使用的仪器、设备、工具的日常维护保养工作;
- (5) 对违章作业造成的质量事故负直接责任。

130. 为什么设备仪器必须维护保养?

随着社会生产力的大发展,半导体生产用设备仪表越来越先进,数字化、计算机控制化,精度高、生产率高,然而使用与维护保养不善,会造成设备仪表故障频频,效率低下,甚至造成成批产品报废,缩短设备仪表使用寿命。

对于关键设备仪表更应加强维护保养,因为它关系到生产线的整个生产过程,一台停下,其他都得等着。我们既要充分利用设备的能力,又要遵守安全技术操作规程,设备停下后就要进行维护保养、查找故障隐患,及时予以排除或报告专业维修人员,使设备仪表经常处于良好技术状态,从而创造更高效益。

要使用、维护、保养好设备仪表,必须严格遵守操作规程,还要懂一些电气知识和一些机械知识。

131. 对高精度精密设备如何使用维护?

对高精度精密设备使用维护必须做到:

(1) 对操作进行严格的操作培训,严格按操作规程进行操作。例电子束曝光机、图形发生器、精缩照相机、投影光刻、外延炉等数字化、计算机控制化的设备。

(2) 为保证精度和稳定性,除要较长时间停机外,一般自动控制系统24时不停机,即使要较长时间,真空室也应保持低真空状态,真空室不得放进大气,这样可使真空系统不被氧化腐蚀。

(3) 设备的恒温控制系统必须保证,不同温度下产生几何形变是不一样的,所以操作者必须经常注意恒温控制系统。

(4) 电控柜有冷却风扇,操作者在开机后,15分钟内必须检查一遍,特别是使用多年

的设备仪表、冷却风扇轴及轴承容易磨损或无润滑而停转。

(5) 水冷却系统不得有泥沙堵塞, 操作人员应经常注意观察。

水的流速用手感觉水的温度, 水冷管道堵塞可以使设备大大缩短寿命, 进水管前最好安装水过滤器, 新建厂房水、气管路无污秽、无砂子、无铁锈, 是我们保护设备仪表的重要环节。

(6) 开机后, 操作员得随时注意机柜上各种仪表显示状况, 静听设备有无异常声音, 有情况及时处理。不得一开机就走了, 若有急事请其他人关注。

132. 简述设备仪表供电方式。

设备仪表基本都利用正弦交流电供电, 通常采用有: 单相两线制、单相三线制、三相四线制、三相五线制, 如图2-2所示。

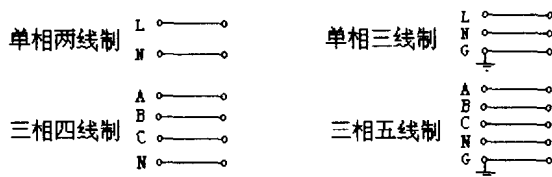


图2-2 设备仪表供电方式

单相正弦交流电压为220V, 频率为50Hz (也称工频)。三相四线、三相五线的相与相之间电压为380V /50Hz。任何一相线与中和线间的电压均为220V, 50Hz。相线与相线之间电压称为线电压, 相线与中和线之间电压称为相电压。

把三相五线制地G与中和线N接到一起就成为现役的三相四线制。

G为保护接地, 应直接与机器外壳相接。

L、A、B、C均为相线, 也称火线。N为中和线, 也就是我们通常说的零线。当三相负载平衡时, 中和线电流为0, 这也就是我们三相异步电机不需中和线的原因。

对于地线要求高的设备仪表, 就在设备仪表安装处另打一根接地电阻很小的地线。例3600F图形发生器、电子束曝光机等。

133. 单相三线插头插座三根线如何接?

单相三线插头插座三根线接法有严格规定: 规定为“左零”、“右火”, 若接错, 容易造成短路, 发生事故, 如图2-3所示。

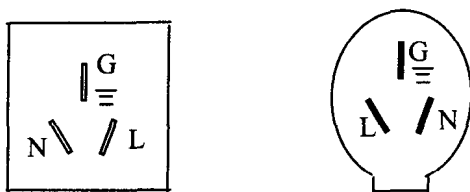


图2-3 单相三线插头插座三根线接法

G线上和接到设备外壳上的零线不能接保险丝，要直接接到设备外壳。一个插头插座不能过多接或功率过大的用电器。插头插座都标明使用的额定电流、电压。例：10A/220V等。

134. 设备仪表上标出的额定电压、额定电流、消耗功率是什么意思？

额定电压：指设备仪表长期正常工作时加到设备仪表上的电压。

额定电流：指设备仪表长期正常工作时加到设备仪表上的电流。

消耗功率：指设备仪表所有系统都开到额定技术指标时，总共消耗功率。这为我们配电源线提供条件。

135. 简述安全用电常识。

1毫安工频电流通过人体会使人有不愉快的感觉，50毫安的工频电流通过人体时就有生命危险，100毫安就致人于死命了。人体电阻通常为 $800\Omega \sim$ 几十千 Ω 不等，皮肤越嫩，电阻越小；身体出汗电阻就急剧减小，所以人们规定36伏以下电压为安全电压。

$36V/800\Omega=45Ma$ ，这个电流值使身体电阻最小的人都不会有生命危险，所以称安全电压。

在我们保养和操作设备时不能用湿手触摸带电的电器，如开关、插座等。用吸尘器吸掉设备电器的灰尘及容易造成电源短路的杂物。

2.2 高级部分

136. 衬底清洗原则是什么？

衬底表面的清洗目的是去除各类污染，并防止再污染，达到符合外延要求的衬底表面。

- (1) 去除有机物及无机物的污染；
- (2) 去除金属性杂质的沾污；
- (3) 去除粒子性沾污；
- (4) 去除表面氧化层；
- (5) 处理后的表面应光亮、平滑、无水渍、无划痕；
- (6) 干燥、防止再污染。

137. 层错的测量方法有哪些？

观察层错一般采用化学腐蚀和显微观察的方法。常用的腐蚀液是铬酸溶液： CrO_3 ： $\text{H}_2\text{O}=1:2$ （重量比），根据具体情况按适当的比例（从2:1到1:2）与浓氢氟酸混合配成。

（111）晶面上生长的外延层，经过腐蚀后，看到的层错往往是一些大小和方向都相同的、清晰的等边三角形。

138. 硅外延的特点有哪些？

（1）外延层可以通过各种含硅气体和不同的化学反应生长出来，每一种反应发生在一定的温度范围内。虽然生长温度范围远远低于硅的熔点，但能够生长出高质量的外延层。

（2）对P型和N型掺杂，多种化合物均可使用。掺杂浓度在 $10^{14}/\text{cm}^3 \sim 10^{18}/\text{cm}^3$ 范围均可获得。

（3）生长速度可调可控，外延的厚度范围很宽。

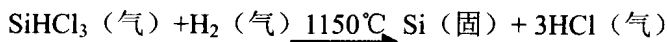
（4）外延层大面积高均匀，高质量，可规模生产。

139. 请简述硅外延的基本原理。

硅外延可以分为两个基本类型的反应：（1）还原反应；（2）高温分解反应。每种方法都有它的优点和缺点。

（1）还原反应。

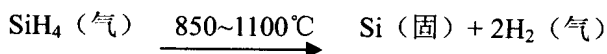
在 SiCl_4 （ SiHCl_3 ）/ H_2 系统，硅外延生长主要的硅源有四氯化硅（ SiCl_4 ）、三氯氢硅，以四氯化硅为主要用源。反应式为：



这个反应的缺点是想得到高质量的外延层,需要1150~1300℃的高温。 SiCl_4 和 SiHCl_3 在室温下都是液体,通常用 H_2 载气将硅的化合物输运到反应器中。

(2) 高温分解反应。

硅的淀积可以通过 SiH_4 热分解而得到:

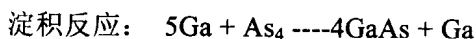
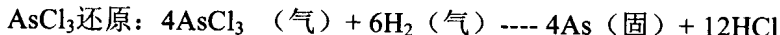


高温分解硅外延生长,反应温度可以低到850℃。

外延用掺杂剂有: N型掺杂用 PCl_3 、 PH_3 (气)、 AsH_3 (气); P型掺杂用 BBr_3 (液)、 B_2H_6 (气)。

140. 请简述砷化镓 (GaAs) 化学汽相外延的基本原理。?

在 $\text{Ga}/\text{AsCl}_3/\text{H}_2$ 系统,以 AsCl_3 为砷源,以 Ga 或 GaAs 为镓源,载气通常为 H_2 ,也可用 N_2 或 Ar 。镓源置于高温区(850℃), GaAs 衬底置于生长区(650~750℃)。化学反应式如下:



141. GaAs 汽相外延生长掺杂剂的选择是什么?

常用的N型掺杂剂为S, Se, Te和Sn, P型掺杂剂为Zn。液态的 SnCl_4 可以直接掺入 AsCl_3 中,被载气携入反应室。气态的 H_2S , H_2Se 等可以直接被载气携入反应室,其掺杂的重复性较好。掺杂的浓度与气体流量、衬底温度、衬底晶向等因素有关。

142. 请简述砷化镓汽相外延设备组成。

外延设备可分为四个主要部分,反应室、加热系统、气体分配系统、计算机控制系统。

反应室有水平式、圆筒式、圆盘式等。

加热系统有电阻加热、高频感应加热、灯辐射加热等。

气体分配系统由质量流量计、气动阀门、不锈钢管道等组成。

计算机控制系统控制流量、温度、时间等。

143. 请简述砷化镓汽相外延基本过程。

- (1) 源通过载气从主气流区输运到沉积区；
- (2) 源在高温沉积区内发生气相反应，产生反应物和副产物；
- (3) 反应物输运到衬底表面，吸附到生长表面；
- (4) 表面反应，生成的固相并入到生长膜中，进行外延生长；
- (5) 副产物随主气流流出反应室；
- (6) 尾气经处理后排出。

144. 简述砷化镓汽相外延工艺流程图。

反应室腐蚀→镓源处理→镓源饱和→衬底处理→工艺参数设定→气相腐蚀→外延生长→外延层测试

145. 请简述液相外延（LPE）。

液相外延是由饱和或过饱和溶液在单晶衬底上进行晶体生长的一种外延方法。作为形成饱和溶液的溶剂，它应该能溶解溶质（半导体或半导体组元），而且它溶化溶质的温度应当远低于半导体熔点，此外它应当是高纯的。

以GaAs液相外延为例。GaAs液相外延方法很多，有突然降温法、平衡降温法、稳态温度梯度法等，常用的方法是稳态温度梯度法。

GaAs液相外延生长是基于Ga-As体系的相图，在一定温度下饱和溶液随着温度的降低产生过饱和结晶。在饱和溶液中加入GaAs单晶片作为衬底，当达到饱和结晶时，以单晶的方式淀积在GaAs衬底上。这里的溶液是Ga，溶质是As，为了控制导电类型和载流子浓度也可掺入一定的杂质。液相外延生长的温度低，可获得纯度较高、缺陷较少的外延薄层，外延生长的薄膜广泛地用于光电子器件上。目前，这种方法用于制作红外发光管、P-N结注入式的半导体激光器以及大面积GaAs太阳能电池等光电器件的主要手段。

146. 请简述金属有机化学汽相外延？

金属有机化学汽相外延（MOCVD），在低压或常压反应室内，用载气带入金属有机化合物（TMGa、TMAl、TMIn等）和氢化物（AsH₃、PH₃等）原材料及掺杂剂的混合气体到反应室，在一定条件下发生化学反应，淀积在加热的衬底表面，生长所需的单晶外延层。MOCVD生长温度低，碳沾污少、纯度高、浓度分布陡峭，便于超薄生长，广泛应用于光电器件和微波器件的材料制备。用MOCVD方法，可以在GaAs衬底上外延材料有：

$(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{GaAs}$, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$, $\text{GaInAsP}/\text{GaAs}$ 等。

147. MOCVD掺杂源的选择是什么？

N型掺杂源为： H_2Se （气）、 SiH_4 （气）、 $\text{Sn}(\text{CH}_3)_2$ 液等；

P型掺杂源为： CCl_4 （液）、 $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ 、二茂镁等。

148. 金属有机化学汽相外延设备基本结构有哪些？

外延设备可分为五个主要部分，反应室、气体分配系统、计算机控制系统、尾气处理系统、报警系统。

反应室有水平式、圆盘式等，反应室的设计对外延层厚度和组分均匀性、异质界面梯度、本底掺杂浓度以及产量均有极大的影响。加热系统有高频感应加热、灯辐射加热等。

气体分配系统由质量流量计、气动阀门、不锈钢管道等组成。气体分配系统的功能是向反应室输送反应剂，并精确控制其浓度、生长时间和顺序以及流经反应室的总气体流量，生长出所需的成分与结构的外延层。

计算机控制系统控制气体流量、衬底温度、反应室压力、生长时间和气路中的各种阀门等。利用计算机控制可以使MOCVD装置按事先设计的程序运行。在生长超晶格、量子阱或组分梯度层时，计算机控制尤为重要。

尾气处理系统的功能是在尾气排放前去除有毒、自然的未反应的源和反应副产物。去除的方法包括活性炭过滤器和利用化学反应吸收毒气的干式或湿式过滤器。上述方法常常组合起来使用。为了保证MOCVD设备的安全运行，设备中应装有危险气体探测器等监测仪器并与报警系统相连，构成安全连锁装置。

报警系统包括气体流量、衬底温度、反应室压力和气路中的各种阀门出现异常时报警。控制系统中的安全连锁装置可以防止人工控制时的误操作，并在事故发生时自动使整个装置进入保护状态。

149. 简述MOCVD外延工艺流程图。

清洁反应室→源处理→清洗衬底→装片→工艺参数设定→衬底表面处理→外延生长→外延片测试

150. 什么是分子束（MBE）外延？

简单地说分子束外延是精细的真空蒸发，是在清洁的超高真空（ $P < 5 \times 10^{-11} \text{Torr}$ ）设备装有源材料（Ga、Al、As）及掺杂剂（Si、Be）的束源炉，当加热束源炉时，这些材料和掺杂剂被蒸发，以原子或分子束流的形式入射到加热的衬底表面，并发生物理和化学的相互作用，从而获得外延生长。

151. 分子束外延设备的组成有哪些？

外延设备由三个主要部分组成，即装片室、制备室、生长室。

装片室的作用是装取样品，装片室与制备室之间用真空阀门隔离。

制备室的主要部件是样品传递装置、样品储存台、样品预处理装置。

生长室的基本组成是束源炉、快门、样品架、高能电子衍射仪、质谱仪。

152. 简述分子束外延工艺流程图。

反应室真空处理→源处理→清洗衬底→装片→工艺参数设定→除气→热处理脱氧化层→缓冲层生长→有源层生长→欧姆接触层生长→外延片测试。

153. 外延片表面质量要求是什么？

外延片表面不应有沾污；

外延片表面不应有雾、麻点、划道、擦伤；

外延片表面应平整、光亮。

154. 简述外延片质量检测方法。

表面形貌的检测方法分别为：目测，光学显微镜观察，干涉相衬显微镜观察，扫描电子显微镜观察，电子力显微镜观察。

外延片内在质量检测方法

序号	参数名称	测试方法
1	外延层的载流子浓度	霍尔法
2	外延层的迁移率	霍尔法
3	外延层的电阻率（方块电阻）	霍尔法（范德堡——霍尔法）
4	外延层杂质浓度及其随深度的变化	电化学——电容浓度分布测试仪
5	外延层的光荧光光谱（各类化合物半导体材料发光强度随波长的变化，用以分析材料纯度、多元化合物组分、低维材料结构、发光效率等）	光荧光测试系统
6	外延层的晶格常数及失配度 多元化合物组分	X光双晶衍射

155. 分子束外延材料性能测试方法是什么？

薄层化合物的组分，通过X射线双晶衍射测试分析；薄层的掺杂浓度，通过电化学C-V法测试；材料组分均匀性可由X射线双晶衍射扫描测试分析；材料掺杂均匀性可以由方块电阻测试得出。

156. GaAs 激光器外延材料性能测试是什么?

各个薄层化合物的组分, 用X射线双晶衍射测试分析; 各个薄层的掺杂浓度, 用电化学C-V法测试; 有源区的发光波长, 用光荧光(PL)方法测试; 材料发光均匀性用光荧光扫描(PL-mapping)测试; 材料组分均匀性用X射线双晶衍射扫描测试分析。

157. 离子注入机有哪些主要的技术指标?

不同的注入机都有各自规定的性能要求。一般地说, 一台注入机主要的性能指标应包括: 加速能量范围、最大扫描束流、可分析的最大原子质量数、晶片尺寸、每小时生产能力、注入均匀性和重复性、真空度、装片台洁净度、可选择的靶片注入模式、离子源的种类和相关的安全性能。

随着集成电路的集成度不断提高, 特征线宽越来越小, 晶片尺寸日趋增大, 对注入机的性能也提出了越来越高要求, 并针对一些特定的应用, 相应地需要一些特殊的性能要求。

158. 离子注入机的低能机、中能机和高能机如何区分?

这是按注入机的最高加速能量 $E_{\max}$ 分类。国标上还没有统一标准, 一般认为: 低能机 $E_{\max} < 100\text{KeV}$; 中能机 $100\text{KeV} \leq E_{\max} \leq 400\text{KeV}$; 高能机 $E_{\max} > 400\text{KeV}$ 。

在Si和GaAs芯片工艺中, 普遍使用中能注入机。但在CMOS和BICOS集成电路中, 若采用离子注入形成深的反向阱或三重阱、隐埋屏蔽层、隐埋集电极、隐埋电阻层、隐埋绝缘层、邻近吸杂等工艺, 则需要 $400\text{KeV} \sim 4\text{MeV}$ 的高能注入机。另一方面, 随着集成电路工艺向着 $0.18\mu\text{m}$ 、 $0.13\mu\text{m}$ 乃至更微细的工艺发展时, 有源沟道的深度已小于 100nm (纳米), 这时只需要能量为几KeV的低能注入机。

159. 离子注入机的小束流机、中束流机和大束流机如何区分?

这是按到达靶上的离子束流 I_b 来分类, 尚无明确标准, 一般认为: 小束流机 $I_b \leq 100\mu\text{A}$; 中束流机 $100\mu\text{A} \leq I_b \leq \text{几个mA}$; 大束流机 $I_b > \text{几个mA}$ 。

在Si和GaAs芯片工艺中, 最常用的是中、小束流机。但随着SOI三维集成电路的日趋成熟, 及离子注入形成绝缘层、离子束混合低阻难熔硅化物等, 则需要大于 10mA 以上的大束流注入机。

160. 离子注入操作人员应注意哪些安全防范要求?

(1) 离子注入机机架外壳和高压放电棒必须良好接地, 其接地电阻小于 1Ω , 并定期检查。

(2) 离子源气瓶和源工作物要有明确标记, 拆卸下的源瓶、源工作物和待清洗的离子源, 必须安放在隔热、隔光照及排风良好的专柜中, 不得随意堆放。

(3) 清洗离子源必须在强排风的专用通风柜中进行。

(4) 高频电磁场和加速管屏蔽良好。

(5) 射线辐射剂量符合国家标准要求 $\leq 0.25\text{mr/hr}$ 。

最后一条, 离子注入机制造厂家会明确保证, 实现安全互锁, 否则设备不能出厂。

161. 离子射程是什么?

具有一定能量的离子入射靶中, 经过与靶原子核及电子的不断碰撞而逐渐损失能量, 最后在相应的位置上停止下来, 从靶表面的进入点到它的停止点总的路径长度称为离子射程, 用字母 R 表示。

162. 什么叫投影射程和横向射程?

离子射程 R 在离子入射方向上的按影, 也就是离子停止下来后, 离靶表面的纵向深度, 称为离子的投影射程, 用 R_p 表示。射程 R 在与入射方向垂直的平面上的投影称为横向射程, 用 R_t 表示。

163. 什么叫平均投影射程 $\bar{R}_p$ 及其标准偏差 $\Delta\bar{R}_p$?

大量能量相同的同种离子入射到靶中, 由于碰撞过程的随机性, 它们的投影射程 R_p 不尽相同, 其投影射程 R_p 的统计平均值, 称为平均投影射程, 用 $\bar{R}_p$ 表示; 各个投影射程 R_p 与它们的平均值 $\bar{R}_p$ 之间的偏差的统计平均值称为平均投影射程的标准偏差, 用 $\Delta\bar{R}_p$ 表示。同样, 横向射程偏差的统计平均值称为横向标准偏差, 用 $\Delta\bar{R}_t$ 表示。

$\bar{R}_p$ 、 $\Delta\bar{R}_p$ 和 $\Delta\bar{R}_t$ 是离子注入三个重要射程参数, 它们的计算过程相当复杂, 一般也用不着去计算, 因为许多有关离子注入的书已经用表格或曲线的形式给出了不同的半导体材料中, 常用的掺杂剂离子, 在不同能量下的射程参数值, 我们可以直接查用。

164. 硅中的常用掺杂剂离子有哪些?

在半导体硅工艺中, 根据离子注入改变硅材料性能的不同用途, 所选用的离子也不同。形成P型电导层的主要离子是 B^+ 、 BF_2^+ , 最常用的 B^+ ; 形成N型电导层的主要是 P^+ 、 As^+ 、 Sb^+ 、 PF_2^+ , 最常用的是 P^+ 、 As^+ ; 形成 SiO_2 层的是 O^+ 或 O_2^+ 离子, 形成 Si_3N_4 层的是 N^+ 或 N_3^+ 离子; 形成高阻层的主要是 Ar^+ 、 Si^+ 、 Ne^+ 等离子; 用于损伤吸杂的主要离子是 Ar^+ 。

165. GaAs中的常用掺杂剂离子有哪些?

离子注入GaAs中, 常用的N型掺杂剂离子是 Si^+ 和 Se^+ ; 常用的P型掺杂剂离子是 Be^+ 、 Mg^+ 、 Zn^+ ; 用于形成高阻隔离层的离子主要是 B^+ 、 O^+ 、 H^+ 、 He^+ 、 Ne^+ 等。

166. 如何计算注入层的平均浓度?

若注入剂量为 N_0 , 结深为 x_j , 则注入层平均浓度 $\bar{N}$, 可以近似地用下式估算, 即:

$$\bar{N} = N_0 / x_j$$

167. 简述硼微晶玻璃片状源扩散工艺过程。

(1) 新硼微晶玻璃片需清洗和预处理:

丙酮、乙醇超声→去离子水超声→去离子水冲洗、甩干→红外灯烘1~4小时→炉口(950℃左右)烘8小时→1000℃烘8小时→1040℃ N₂保护烘4小时。

(2) 预淀积:

根据器件要求设定炉温、气体流量(N₂)、预淀积时间等→炉温升到等待装片。

硅片清洗、甩干→装片: 两片背靠背地插立于石英舟刻槽上的两个片源之间, 要求各片等间距并保持平行→在炉口预热3~5分钟→按设定速度进炉→淀积完成后按设定速度出炉→在炉口冷却3~5分钟→测方块电阻, 填工艺记录。

(3) 再扩散:

根据器件要求设定炉温、气体流量(干氧——湿氧——干氧)、再扩散时间等→炉温升到等待装片。

硅片用HF:H₂O=1:10 漂15~20秒→去离子水冲洗、甩干→装电→在炉口预热3~5分钟→按设定速度进炉→再扩散完成后按设定速度出炉→在炉口冷却3~5分钟→测扩散结果, 填工艺记录。

扩散结果主要受温度、时间、流量的影响, 温度影响最大。

168. 高温氧化生长、LPCVD淀积、PECVD淀积二氧化硅介质膜各有什么特点?

(1) 高温氧化生长二氧化硅的设备简单、操作方便; 膜致密、抗蚀性好、掩蔽能力强; 硅器件用途最广。缺点是生长温度高(1000~1200℃), 对杂质再分布有影响, 易引入杂质沾污, 二氧化硅也易产生缺陷, 不适用于GaAs材料及硅器件PN结形成以后的工艺。

(2) LPCVD淀积二氧化硅温度适中(700~800℃), 对杂质再分布影响小, 但二氧化硅膜的质量不如热氧化膜致密, 需经适当的增密处理改善膜的质量。适用于已形成PN结但还未做金属化的硅器件工艺。

(3) PECVD淀积二氧化硅温度低(350℃以下), 适合于不宜作高温处理而又需要在表面形成二氧化硅的样品, 如金属、陶瓷、Ge、GaAs等, 这是热氧化无法做到的, 淀积速率快, 可以淀积较厚的二氧化硅。但二氧化硅膜的致密性较前两种差。

169. 简述热氧化生长二氧化硅的机理。

硅片与氧化剂(氧、水或其他含氧物质)在高温下进行反应而生长出一层致密、透明的二氧化硅膜, 氧化剂要达到硅表面并发生反应, 必须经历下列三个步骤:

- (1) 从气体内部输运到气体——氧化膜界面;
- (2) 扩散穿透已生成的氧化层;
- (3) 在硅表面发生反应。

氧化层的生长速率取决于扩散速率和化学反应速率,哪一个起主要作用,将取决于氧化时的工艺条件。对于干氧化,随着氧化膜的厚度增加,氧化层的生长速率不断下降,二氧化硅的厚度与时间基本近似抛物线的规律。

170. 简述热分解化学汽相淀积二氧化硅的机理。

热分解化学汽相淀积二氧化硅是利用含硅的化合物,经过热分解反应,在基片表面淀积二氧化硅,二氧化硅的厚度与时间基本符合线性关系。

171. 简述杂质在半导体中的扩散机理。

杂质原子在半导体中的扩散机理比较复杂,但主要可分为替位式扩散和间隙式扩散两种。在一定温度下杂质原子具有一定能量,能够克服阻力进入半导体并在其中作缓慢的迁移运动,有些杂质(如硼、磷等)在硅晶体中的迁移运动只占据晶体内晶格格点上的正常位置(空位),不改变其结构,这种扩散机构称之为替位式扩散;有些杂质(多数金属)原子进入硅晶体后,能从一个原子间隙到另一个原子间隙,逐次跳跃前进,这种扩散机构称之为间隙式扩散。

172. 什么是恒定表面源扩散?

恒定表面源扩散是指在扩散过程中晶片表面的杂质浓度始终不变。随时间改变的只有结深和进入硅衬底的杂质总量。如扩散工艺中的预淀积或扩散源始终存在的扩散都属于恒定表面源扩散。这类扩散的杂质分布在数学上称为余误差分布。

173. 什么是有限表面源扩散?

有限表面源扩散是指在扩散过程中,杂质源限于扩散前淀积在表面极薄层内的杂质。它们既无补充又无减少,全部扩入晶片内部,即杂质总量不变,随时间的加长,衬底中不同深度处杂质浓度在改变,结深在加深。这类扩散的杂质分布在数学上称为高斯分布。

174. 对扩散杂质源有什么要求?

要制备良好的扩散结,扩散杂质源需满足以下条件:

- (1) 必须是受主杂质或施主杂质;
- (2) 具有较低的扩散温度;
- (3) 具有适中的扩散速度;
- (4) 具有很高的纯度;

(5) 不能和半导体发生化学反应。

175. 常用的扩散杂质有哪些？

常用的扩散杂质

类型 半导体材料	杂 质	
	施主杂质	受主杂质
锗	铋、砷	镓、铟
硅	磷、砷、锑	硼
砷化镓	锡、硫、碲	锌、硫、锰

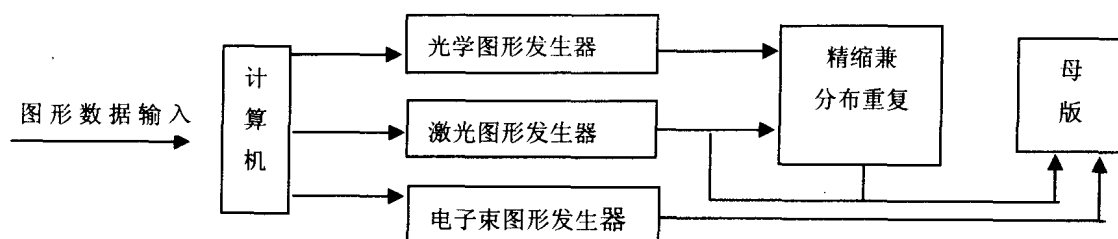
176. 有哪些曝光方式？

- (1) 光学曝光。
 - ① 接触式曝光；
 - ② 接近式曝光；
 - ③ 投影式曝光。
- (2) 电子束曝光。
 - ① 扫描式电子束曝光；
 - ② 投影式电子束曝光。
- (3) X射线曝光。
- (4) 离子束曝光。

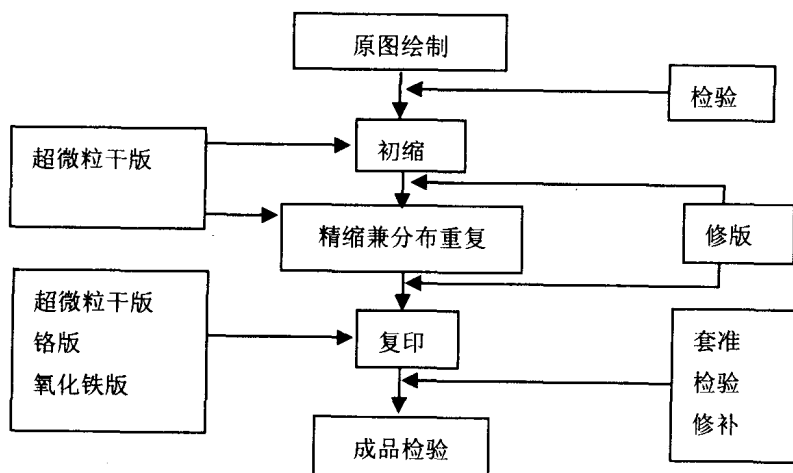
实际上，广泛用于超大规模集成电路及器件芯片生产的曝光技术主要是光学曝光和电子束曝光。因为每种曝光方式都有其局限性，光学曝光主要是存在衍射效应；电子束曝光存在邻近效应；X射线曝光中所需掩模版制造很困难；离子束曝光的掩模版制造和细聚焦离子源还有待进一步改进，而光学曝光与电子束曝光相比，光学曝光应用最普遍，其中以光学分步重复曝光和1:1扫描投影式曝光占主流。电子束曝光主要用于掩膜图形的制备，也已部分用于在晶片上直接扫描图形。

177. 自动制版有哪几种方法？

自动制版是将图形数据通过计算机去控制图形发生器，主要有以下三种方法：



178. 简介手工制版工艺流程。



179. 有哪些常用的金属膜制备方法?各有什么优缺点?

在芯片制造中，最常用的金属膜制备方法有以下几种：

(1) 电阻加热蒸发：这种方法主要用于铝、金、铬等易熔化、易气化材料的蒸镀。该方法的优点是：简单、便宜；不产生电离辐射；大面积源对台阶覆盖好。其缺点是存在来自加热器污染的可能。

(2) 电子束蒸发：这种方法能使熔点在3000℃左右的难熔金属或电介质熔化，并蒸发到衬底表面上形成薄膜。其优点是：薄膜纯度高，钠离子沾污少；消除了台阶效益；衬底采用红外线加热，直接烘烤基片表面，工作效率高，杂质沾污少；多坩锅系统还可连续淀积多层金属薄膜；利用多个源的共蒸发还可形成合金薄膜；可自动检测膜厚。其缺点是在衬底产生辐射缺陷，但可退火消除。

(3) 溅射法：由带能离子轰击靶材表面，使靶原子从靶表面飞溅出来淀积在衬底上形成薄膜。其优点是：可在低温下淀积高熔点材料薄膜；能在大面积上制作均匀的薄膜；薄膜纯度高，与衬底附着力强；可连续淀积多层薄膜；采用反应溅射可淀积化合物薄膜；采

用射频溅射可淀积绝缘材料薄膜等。其缺点是在衬底会引入辐射损伤，可退火消除。

180. 光刻腐蚀有哪些方法？其中最常用的方法有哪些？

- (1) 湿法化学腐蚀。
- (2) 干法腐蚀。
 - ① 等离子腐蚀 (PE);
 - ② 反应离子腐蚀 (RIE);
 - ③ 感应耦合等离子体腐蚀 (ICP-E);
 - ④ 电子回旋共振等离子腐蚀 (ECR-PE);
 - ⑤ 磁增强反应离子腐蚀 (MERIE);
 - ⑥ 溅射腐蚀 (SPE);
 - ⑦ 离子铣 (IM)。

其中应用最多的是湿法化学腐蚀、等离子腐蚀 (PE)、反应离子腐蚀 (RIE)、离子铣 (IM)。

181. 简述等离子腐蚀的机理。

等离子腐蚀是在湿法腐蚀基础上发展而来的，属纯化学腐蚀机理。此法是在高频激励下将反应气体电离成活性基的等离子体，基片沉浸在含有活性基的等离子体中，活性基与被腐蚀材料反应生成气态的反应物，被真空泵抽走。这种方法腐蚀均匀性好，损伤小；缺点是各向同性，对于 $1\mu\text{m}$ 以下的细线条线宽损失明显。

182. 简述反应离子腐蚀的机理。

反应离子腐蚀是在等离子腐蚀的基础上改变反应室结构和接电方式，将射频电源接到衬底上，使物理的溅射刻蚀和化学的反应刻蚀相结合，使活性基到达纵向方向的数目大大超过横向方向的数目，加快纵向的腐蚀速度，这样就具备了各向异性的腐蚀特点。对于 $1\mu\text{m}$ 以下的细线条线宽损失较小。

183. 简述离子铣（离子束刻蚀）的机理。

离子铣的基本原理是由一束平行的带能中性粒子轰击固体表面，使其能量超过固体表面原子结合能而将原子溅射出来的一种物理过程。

184. 有哪几种常用的化学汽相淀积薄膜的方法？并简述其主要应用。

有常压化学汽相淀积 (APCVD)、低压化学汽相淀积 (LPCVD)、等离子增强化学汽相淀积 (PECVD)、光化学汽相淀积等。

- (1) 常压化学汽相淀积 (APCVD) 的主要应用：

- ① 多晶硅薄膜的淀积、掺杂及其热氧化;
 - ② 氮化硅薄膜的淀积;
 - ③ 掺杂与非掺杂二氧化硅薄膜的淀积;
 - ④ 三氯化铝水解法淀积氧化铝薄膜;
 - ⑤ 难熔金属钨、钼的CVD淀积。
- (2) 低压化学汽相淀积 (LPCVD) 的主要应用:
- ① 多晶硅薄膜的淀积、掺杂;
 - ② 氮化硅薄膜的淀积;
 - ③ 掺杂与非掺杂二氧化硅薄膜的淀积。
- (3) 等离子增强化学汽相淀积 (PECVD) 的主要应用:
- ① 氮化硅薄膜的淀积;
 - ② 掺杂与非掺杂二氧化硅薄膜的淀积。
- (4) 光化学汽相淀积的主要应用:
- ① 制备氧化硅、氮化硅、氧化铝、PSG等介质膜;
 - ② 制备 α -Si、 α -Ge等半导体膜;
 - ③ 制备钼、钨和二硅化钛 (TiSi₂) 的导电膜。

185. 以表格形式简介LPCVD淀积膜的生产特性。

LPCVD淀积膜的生产特性简介表

淀积膜	多晶硅	掺杂多晶硅	氮化硅	二氧化硅		磷硅玻璃
化学体系	SiH ₄ -N ₂	SiH ₄ -PH ₃ -He	SiH ₂ Cl ₂ -NH ₃	SiH ₂ Cl ₂ -N ₂ O	TEOS-O ₂	SiH ₄ -PH ₃ -O ₂ /He
淀积温度/℃	590~630	580~630	700~800	800~850	700~750	350~450
淀积速度nm/min	约12	约15	约6	约14	20~30	约15

186. 典型的n-MOS工艺流程。

P型(100)硅衬底片→热氧化二氧化硅→LPCVD淀积氮化硅→光刻场区,干法腐蚀去除场区氮化硅→场区硼离子注入→去胶→水汽氧化厚场氧化层→腐蚀去除有源区的氮化硅和氧化硅→栅氧化→光刻耗尽区→注砷形成n区→去胶→光刻掩蔽耗尽区→注硼调增强区P⁺→去胶→退火→光刻埋孔、去胶→LPCVD淀积多晶硅→刻蚀多晶硅、栅氧、去胶→磷扩散、生长PSG→光刻引线孔、腐蚀PSG、去胶→蒸铝→光刻布线、腐蚀铝、去胶→PECVD淀积钝化膜→光刻键合区、腐蚀钝化膜、去胶→背面减薄→背面金属化。

以上为主要工艺流程。

187. 典型的场介质隔离TTL工艺流程。

P型硅衬底片→热氧化二氧化硅→光刻埋层→埋层砷扩散(或砷注入)→去除表面氧化硅→掺砷或锑外延硅薄层→热生长二氧化硅→LPCVD淀积氮化硅→隔离光刻, 腐蚀氮化硅、氧化硅、硅(约60%的外延层)→隔离区硼离子注入→去胶→场氧化厚氧化硅(与外延层等平面)→去除氮化硅→光刻基区→注硼→去胶→光刻引线孔, 腐蚀氧化硅、去胶→光刻发射区、集电区窗口→注砷→去胶→蒸铝→光刻布线、腐蚀铝、去胶→PECVD淀积钝化膜→光刻键合区、腐蚀钝化膜、去胶→背面减薄→背面金属化。

以上为主要工艺流程。

188. 典型的硅微波功率管工艺流程。

N型硅外延衬底→热氧化→光刻分压环→硼注入、退火→光刻高硼区→硼注入→光刻镇流电阻→硼注入、退火→光刻基区→硼注入、退火→LPCVD淀积氧化硅、增密→光刻发射区→砷注入、退火→LPCVD淀积氧化硅、增密→光刻E、B接触窗口→溅射淀积铂、合金形成SiPt→溅射淀积多层金属薄膜→光刻金属图形→电镀加厚金层→腐蚀金属→PECVD淀积钝化膜→光刻键合区→中测→划片→减薄→薄片、镜检。

以上为主要工艺流程, 其中光刻包括: 涂胶→前烘→曝光→显影→坚膜→刻蚀→去胶。

189. 典型的GaAs MESFET结构IC的工艺流程?

高阻半绝缘GaAs衬底→光刻欧姆接触图形→蒸发AuGeNi/Au→剥离→合金→光刻隔离区→隔离注入→去胶→光刻栅、凹槽腐蚀→蒸发栅金属→剥离→光刻第一层布线图→蒸发Ti-Pt-Au→剥离→涂聚砒亚胺或PECVD淀积氮化硅→光刻引线孔图形→蒸发Ti-Pt-Au→剥离。

以上为主要工艺流程。

190. 半导体集成电路生产中, 元件之间隔离有哪几种基本方法?

- (1) PN结隔离;
- (2) 介质隔离;
- (3) PN结-介质混合隔离。

这三种隔离方法各有优缺点, 但从发展的角度看, PN结隔离由于本身固有的缺点, 已不太适应大规模集成电路发展的需要, 但是由于它的工艺成熟, 目前在集成电路产品中仍占统治地位。二氧化硅介质隔离工艺复杂, 芯片所占面积大和成品率低等, 除特殊要求外, 它在大规模集成电路中应用较少。PN结——介质混合隔离有希望用于大规模集成电路中, 尤其是等平面隔离、多孔硅氧化隔离和V形槽工艺为基础的几种隔离是比较有前途的, 发

展较快。

191. 液态源扩散、固态源扩散、固——固扩散、闭管扩散各有什么特点？

(1) 液态源扩散：是一种较早、较成熟的工艺，操作方便，均匀性、重复性较好、适于批量生产。其缺点是均匀性依赖于气体流速和气流模型。

(2) 固态源扩散：包括箱法扩散和片状源扩散。

箱法扩散具有较好的均匀性和重复性，但受箱子尺寸的限制，不便于大批量生产。除梯扩散外，应用较少。

片状源扩散具有设备简单，操作方便，晶片缺陷少，均匀性、重复性和表面质量都较好，适于批量生产，应用越来越普遍。

(3) 固——固扩散：包括掺杂氧化物扩散、掺杂多晶硅扩散、乳胶源扩散等。

固——固扩散能在较低温度下得到杂质源，因此减少了一次预淀积的高温过程，并且可以在样品不同部位用不同杂质同时进行扩散，减轻了杂质再分布时的外扩散，减少了二次缺陷；控制好杂质源中的杂质含量可以在低于固溶度下扩散，减少了扩散层的缺陷；可以用杂质源中的杂质浓度控制表面浓度，扩散时间控制结深，两个参数独立控制增加了工艺控制的灵活性和准确性；扩散层的薄层电阻与固固界面特性有关，因此根据扩散杂质的不同，选择适当的扩散气氛是很重要的。

(4) 闭管扩散：重复性好，由于石英管是完全密封的，能避免在扩散温度下晶片的挥发，因此对在高温下会剧烈蒸发的半导体材料（如砷化镓）是很合适的。但每次扩散都要打破石英管和封接石英管，既不方便，又消耗很多石英管。

192. 简述光刻工艺原理及在芯片制造中的重要性。

光刻工艺是利用光刻胶的感光性和耐蚀性，在二氧化硅或金属膜上复印并刻蚀出与掩膜版完全对应的几何图形，以实现选择性扩散和金属膜布线的目的。光刻工艺是一种非常精细的表面加工技术，在平面器件和集成电路生产中得到广泛应用。器件的横向尺寸控制几乎全由光刻来实现，因此，光刻的精度和质量将直接影响器件的性能指标，同时也是影响器件成品率和可靠性的重要因素。

193. 简述电子束蒸发的工艺原理。

电子束蒸发比普通电阻加热蒸发增加了一个偏转电子枪，它有发射高速电子的电子枪和使电子作圆周运动的均匀磁场组成。在电子枪中，电子通过螺旋状灯丝，使其发热后发射电子，电子在电场、磁场的作用下，穿过加速阳极孔，形成电子束。电子进入均匀磁场后受洛伦兹力作用而作圆周运动，调节磁场强度可改变电子束的偏转半径，使电子束准确

地射到蒸发材料的表面, 大量的高速电子因碰撞而失去能量, 动能转变成热能, 使受电子轰击的蒸发源熔化蒸发并淀积到硅片表面, 少量在蒸发源表面反射出来的电子和二次电子也受磁场作用而偏转, 最后被接地的吸收器吸收, 而避免了这些高能电子对硅片的损伤。

194. 简述溅射的工艺原理。

溅射是与气体辉光放电现象相联系的一种薄膜淀积技术, 若在真空室内充入放电所需的惰性气体(如氩气), 在高压电场作用下使气体分子电离, 产生大量正离子, 带电离子被电场加速, 形成高能量的离子流, 去轰击靶材料表面, 由于离子的动能超过靶材料的分子结合能, 在离子轰击下, 靶材料的原子或分子将离开固体表面, 以高速溅射到衬底上淀积成薄膜。

195. 为何要测量PN结的击穿电压和反向漏电流? 如何在芯片上测量?

PN结的击穿电压和反向漏电流既是晶体管的重要直流参数, 也是评价扩散层质量的重要标志。在芯片制造中, 一般在扩散完成后, 采用二探针和晶体管特性曲线图示仪配合测量测试图形。具体操作是: 将带有测试图形的硅片放在二探针测试台上, 按器件的具体指标将图示仪的各旋钮调到合适位置, 调整探针, 将探针压在对应的图形上, 将反向偏压逐步加大, 图示仪上即出现伏安特性曲线, 便可在伏安特性曲线上读出击穿电压值和反向漏电流值, 一般规定取反向电流达到某一数值时的电压为击穿电压, 同是也规定取电压达到某一数值时的电流为反向漏电流。从伏安特性曲线的形状可分析有关扩散质量的问题。

196. 为何要测量 β 值? 如何在芯片上测量 β 值?

β 值称为共发射极电流放大系数, 是晶体管的一个重要参数, 也是检验晶体管经过硼、砷掺杂后的两个PN结质量优劣的重要标志。其定义为:

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

这是晶体管动态电流放大系数(或称交流放大系数), 生产中多测量静态情况下的电流放大系数(或称直流放大系数), 其定义为:

$$\bar{\beta} = \frac{I_c}{I_b}$$

采用二探针和晶体管特性曲线图示仪配合测量。具体操作是: 将带有测试图形的硅片放在二探针测试台上, 按器件的具体指标将图示仪的各旋钮调到合适位置, 调整探针, 将探针压在对应的图形上, 将反向偏压逐步加大, 图示仪上即出现晶体管输出特性曲线, 可从特性曲线族上读出 I_c 和 I_b 或 ΔI_c 和 ΔI_b 即定出 β 值。

197. 有哪些表面钝化方法？

有磷硅玻璃钝化法、氮化硅钝化法、三氧化二铝钝化法、多层介质钝化法、阳极氧化钝化法、化学汽相淀积钝化法、低温钝化法等。

198. 有哪些多层介质钝化膜？

用各种单层介质膜作为器件的钝化膜，各有其优缺点。如：低温淀积二氧化硅生长温度低、制作方便，但膜不够致密，耐潮性和抗离子沾污能力较差；磷硅玻璃抗钠离子沾污能力比二氧化硅强，但磷的浓度过高会出现极化现象，使防潮性变坏；高温氮化硅、三氧化二铝具有很强的抗离子能力，但高温氮化硅生长温度高，不适合铝电极之上等等。因此，如果将各种介质膜联合使用，取长补短，会收到良好效果，这就是多层介质钝化膜的由来和目的。常见的多层钝化膜有： SiO_2 -PSG- SiO_2 、 SiO_2 - P_2O_5 - Al_2O_3 - SiO_2 、 SiO_2 - Si_3N_4 - Al_2O_3 、 SiO_2 - Si_3N_4 - SiO_2 、 SiO_2 - P_2O_5 - Al_2O_3 等等。

199. 什么叫电路？

电流经过的闭合路，称电路。一个最简单最基本的电路必须由电源、负载和连接导线组成。例：实用电路都有一个保险和开关，如图2-4所示。

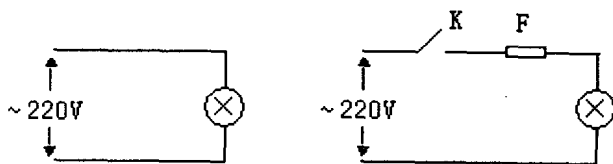


图2-4 电路示意图

200. 什么叫电压？

电路中任意两点之间的电位差称电压。

图2-5中 $V_{AB}=V_A-V_B$ 。可用万用表电压档直接测出，测量一般基准都是以电位相对低的一端为基准。因为普通老式万用表的表针都是单方向的，所以老式万用表测时以电位相对低的一端为基准。低端接黑表笔。数字电压表可显示正或负，所以两只表笔在电压档时可随便测量。

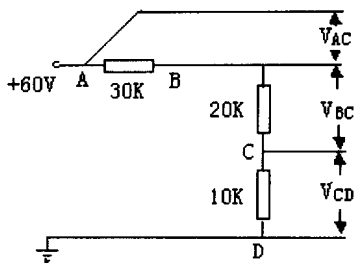


图2-5 电压示意图

201. 什么是带电现象？

电为物质本身所固有，平时因该物质的原子核所带正电荷的数量与其绕原子核旋转的电子所带的负电荷数量相等，而不显示出带电现象。物质一旦失去电子就表现出带正电，一旦得到电子就表现出带负电。

干燥季节，人们晚睡前脱毛衣或衬衣时会发现衣服上有火花，有时去开水笼头会感觉被电一下，这是因为衣服在身上受摩擦，使人体和衣服带上了不同电荷，放电产生火花，放电打了手。

上述带电属静电，与我们设备带电不一样。设备带电既有静电也有感应电，有时变压器感应电电压很高，最严重是设备电器部分绝缘损坏致使设备电人，所以设备外壳地线必须接牢，不能断。

202. 什么叫短路？

电源两端被电阻接近零的导体接通，这种情况叫做短路。

短路通常是由于绝缘损坏、负载损坏、负载太重、电极间落上或搭上了导电物质等造成。

负载短路时，电路电流骤增、导线迅速升温，烧毁导线绝缘、容易引起火灾。所以电路中负载短路是不允许的。

我们平时除经常对设备仪表除尘清洁外，还要对设备真空室内一些导电物质进行清除。如溅射台和电子束蒸发台等设备灯丝上易落上导电物质（钟罩和挡板上平时会淀积上一些金属分子，形成片块状金属，到一定时候会从钟罩上掉下来），造成灯丝短路。高压陶瓷柱和陶瓷垫圈被溅上导电物质也容易造成高压短路。

203. 保险丝的作用?

为防止电路负载短路或电路电流超过额定值,电路中都设有保险丝(或称熔断器),保险丝在 $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时就熔化,通常选保险丝熔断电流为电路额定电流的1.3~2.1倍。

一般按了启动开关后设备毫无反应,多数是保险丝已断,切断电源,更换保险后再重新启动。换符合额定电流的保险后,一开机立即又烧断,就该用万用表查一查电路是否有短路。若过一会再断,说明电流有些超额或保险丝、保险座接触不好。

204. 保险丝接触不好,为什么会熔断?

保险丝接触不好,接触点处电阻就大,接触点处就会因消耗功率而发热($Q=0.24I^2Rt$),长时间发热,氧化又容易更接触不好,熔丝就断了。

205. 为什么电路中有时线鼻子被烧断?

线鼻子烧断,是由于螺丝拧得不紧或压线压的不紧,接触电阻大,在接触电阻大处,产生很大功耗,产生高温,有时烧到发红,不断氧化,多次反复,即被烧断。扩散炉炉丝引线极容易烧断,我们操作人员平时应该经常查看一些线鼻子是否有发黑氧化的部分。

206. 二极管极性与好坏的判断?

因为二极管正向电阻小,反向电阻大,所以用万用表就能判断二极管极性与好坏。一般把万用表放在电阻 $R\times 100$ 或 $R\times 1000$ 档,测量二极管正反向电阻,如果量出电阻为几十~几百欧姆,则电表黑表棒相连的那一头为二极管正极,另一头为负极。反向电阻一般为 $200\text{K}\Omega$ 以上,反向电阻愈大,说明二极管反向漏电流愈小。

207. 使用万用表注意事项。

(1) 选择合适的档项,不要拿起表笔就测量。

(2) 表笔插入位置要正确,特别是现代数字万用表,更要插得合适,万用表要放置平稳,档位要对准。

(3) 测量电压或电流时,若估计不准,可以先放大量程档进行测量,然后选择较合适者。千万注意,不能在电阻档上测电压、电流。

(4) 用电阻档测量设备仪表或线路的电阻时,设备要先断电,否则易烧表。

(5) 测量大阻值电阻时,人双手不能同时接触表笔导体部分,因为这时读数是人体电阻与被测电阻的并联阻值。

(6) 在变换档位时,应先停止测量。特别是在测量高电压、大电流时,变档会打火,烧糊、烧坏触点。

(7) 测量完毕,把表置于空档或OFF位置。

2.3 技师部分

208. 影响汽相外延生长速度的因素有哪些？

- (1) 衬底表面晶向；
- (2) 气体流量；
- (3) 输入 AsCl_3 的分压；
- (4) 反应室的压力；
- (5) 载气的种类。

209. 影响汽相外延层的质量因素有哪些？

- (1) 衬底晶向和抛光质量；
- (2) 源材料和载气的纯度；
- (3) 外延设备的气密性和温场分布；
- (4) 外延生长的温度和工艺。

210. 如何确定GaAs汽相外延工艺的条件？

- (1) 生长温度 $680\sim 720^\circ\text{C}$ ，源温 $-15\sim 0^\circ\text{C}$ 。
- (2) 外延层的厚度主要由生长温度、气体流量、生长时间来控制。通过已确定外延生长速率，来决定所需的外延层的生长温度、气体流量、生长时间等。生长速率约为 $5\sim 8\mu\text{m/h}$ 。
- (3) 外延层的载流子浓度主要由掺杂剂的浓度、源温和流量来控制。

211. 液相外延的特点是什么？

- (1) 外延层的纯度高。
- (2) 生长速度较慢，生长温度低。
- (3) 与其他外延方法相比，设备简单。
- (4) 外延层的厚度及其均匀性较难控制。
- (5) 外延层表面形貌不如气相外延层。

212. MOCVD生长外延层的质量控制？

- (1) 衬底的晶向。常用的III-V族半导体衬底表面晶向是(100)面。(100)面易于化学抛光，易于获得镜面外延层形貌，适于选择外延生长，也适于器件工艺要求。偏离(100)面向(110)面倾斜 $1^\circ\sim 5^\circ$ 的小角度的衬底的表面，更容易获得镜面光洁的外延

层。不同的衬底的晶向，对外延层的载流子浓度和迁移率都有影响。

(2) 生长温度。生长温度影响外延层的生长速度，杂质浓度，表面形貌和晶体完整性。

(3) 输入的V/III比。为了避免GaAs外延层表面出现Ga滴，输入反应室的V/III比必须大于1。输入的V/III比对外延层中的剩余杂质浓度有较大影响。

(4) 反应室的压力。反应室的压力对生长速度的影响较弱。降低反应室的压力，有利于改善外延层的厚度与组分均匀性以及异质界面组分变化的陡峭程度。

(5) 载气的纯度。 H_2 纯度大于7N。 H_2 纯度对外延层的载流子浓度，迁移率和表面形貌都有影响。

213. MOCVD外延的优点和缺点有哪些？

MOCVD外延的优点有：

- (1) 可生长各种III-V族、II-VI族化物及其固溶体；
- (2) 外延温度比一般化学气相要低，减少来自衬底的污染，生长界面较陡；
- (3) 生长速度可控，可以生长超晶格、量子阱等微结构；
- (4) 易于生长含Al化合物；
- (5) 适用于批量生产。

MOCVD的缺点有：

- (1) 所用的反应气体都具有很大的毒性、易燃、易爆；
- (2) 反应气体制造复杂，成本高。

214. MOCVD的源材料有什么要求？

金属有机化合物源的要求：

(1) 室温下为液体，并有适当而且稳定的蒸汽压，可保证能精确控制源的剂量，得到适当的反应速度。

(2) 适宜的热分解温度，在外延生长温度下基本完全分解，提高源的利用率。在储存温度下是稳定的。

(3) 反应活性较低。不与其他源发生预淀积反应。

(4) 易于合成与提纯。纯度大于5N。

(5) 低毒性与价格便宜。

MOCVD常用源的蒸汽压

化合物及缩写名称	状态	蒸汽压 (298K, hPa)	蒸汽压常数	
			A	B
Ga (CH ₃) ₃ TMGa	液态	317.3	1703	10.19
Ga (C ₂ H ₅) ₃ TEGa	液态	6.4	2222	10.34
Al ₂ (CH ₃) ₆ TMAI	液态	18.9	2134	10.35
In (CH ₃) ₃ TMIIn	固态	2.3	3014	12.64
In (C ₂ H ₅) ₃ TE In	液态	0.4	2815	11.05
Zn (CH ₃) ₂ DM Zn	液态	490	1560	9.926
Zn (C ₂ H ₅) ₂ DE Zn	液态	11.4	2190	10.40
Cd (CH ₃) ₂ DM Cd	液态	47.5	1850	9.888
Hg (CH ₃) ₂ DM Hg	液态	68	1750	9.699
PH ₃	气态	4.45x10 ⁴	--	--
H ₂ PC (CH ₃) ₃ TBP	液态	354.6	1539	9.709
AsH ₃	气态	2.52x10 ⁴	--	--
H ₂ AsC (CH ₃) ₃ TBAs	液态	200	1562	9.624

蒸汽压的计算公式: $\lg P (\text{Pa}) = B - A/T (\text{K})$ $T (\text{K})$ 为绝对温度。

215. 如何确定MOCVD外延工艺的条件?

(1) 生长温度650-750℃, MO源温-15~0℃。

(2) 外延层的厚度主要由生长温度、气体流量、生长时间来控制。通过已确定外延生长速率, 来决定所需的外延层的生长温度、气体流量、生长时间等。生长速率约为1 μm/h。

(3) 外延层的载流子浓度主要由掺杂剂的浓度和MO源温, 流量来控制。

(4) 反应室的压力, 50~1000mb。

216. 分子束外延层的质量控制。

外延工艺参数有异质结界面的控制、外延厚度和浓度的控制、外延的均匀性、外延的重复性等。

源材料要求: 金属镓、固态砷、金属铝、金属铟纯度≥7N。

衬底材料要求: 平整、光亮、无损、少沾污。

衬底温度500~520℃; 束源炉温度。

217. 如何确定分子束外延工艺的条件？

(1) 生长温度500~550℃，束源炉温度。

(2) 外延层的厚度主要由生长温度、束源炉温度、生长时间来控制。通过已确定外延生长速率，来决定所需外延厚度的生长温度、束源炉温度、生长时间等。生长速率约为1 $\mu\text{m/h}$ 。

(3) 外延层的载流子浓度（电阻率）主要由掺杂束源炉温度来控制。

218. 衬底腐蚀不良对外延片质量的影响？

(1) 粗糙的衬底表面使生长的外延表面也粗糙，特别是薄层外延更明显；

(2) 衬底晶格缺陷是造成外延层晶格不完整的重要因素之一；

(3) 衬底表面的沾污，自体氧化层，化学计量比的失配等将影响与衬底交界面处的外延材料的电学性质。

219. 衬底表面处理状态对外延材料有什么影响？

衬底表面处理状态对外延材料的影响

表面状态	影 响
表面划痕	损伤材料表面，杂质易于在损伤处堆积，引起材料掺杂不均匀
表面水渍	半导体表面氧化，造成材料外延不均匀
氧化膜	使外延材料生长的浓度、厚度不均匀
残留金属杂质	使外延材料掺杂不均匀
残留有机物	外延片表面不光亮，引入碳的沾污
残留尘粒	使外延材料生长不均匀
腐蚀速度太快	使外延材料表面出现雾状的缺陷

220. 外延片表面不光亮的影响因素有哪些？

(1) 衬底表面抛光质量不高；

(2) 衬底表面残留有机物；

(3) 衬底表面有水渍；

(4) 衬底腐蚀速度太快；

(5) 载气纯度不够；

(6) 系统漏气；

(7) 生长工艺条件不适宜。

221. 影响外延层迁移率低的因素是什么？

- (1) 原材料纯度不够；
- (2) 反应室漏气；
- (3) 外延层的晶体质量差；
- (4) 系统沾污；
- (5) 载气纯度不够；
- (6) 外延层晶体缺陷多；
- (7) 生长工艺条件不适宜。

222. 造成材料外延不均匀的因素是什么？

- (1) 衬底表面有划痕，有水渍，有氧化膜；
- (2) 生长速度快；
- (3) 衬底残留尘粒；
- (4) 衬底温度分布不均匀；
- (5) 材料掺杂不均匀；
- (6) 厚度不均匀。

223. 如何计算离子注入杂质浓度分布？

要正确计算离子射程分布相当复杂。不过，在半导体掺杂的离子注入常用能量范围内，入射离子的投影射程分布，即注入杂质深度方向上的浓度分布 $N(X)$ ，作为一级近似，通常用高斯分布来描述，相当实用的。其浓度分布 $N(X)$ 表达式为

$$N(X) = \frac{N_{\text{t}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta \bar{R}_p} \exp \left[-\frac{(x - \bar{R}_p)^2}{2\Delta \bar{R}_p^2} \right] \quad (\text{cm}^{-3})$$

式中， N_{t} 为离子的注入剂量 (cm^{-2})； $\bar{R}_p$ 和 $\Delta \bar{R}_p$ 分别为离子的平均投影射程及其标准偏差 (cm)，其值取决于离子的注入能量，可直接查表。 X 为离靶表面的深度 (cm)。

采用高斯分布近似描述离子投影射程的几率分布，最早是由三位著名的丹麦科学家在1963年的一篇论文中提出来的，于是人们分别取他们姓氏的第一个字母组合LSS命名，这就是人们常说的LSS理论。

224. 离子注入杂质的高斯浓度分布有什么特点?

(1) 在深度 $X=R_p$ 处, 有一个峰值浓度 $\hat{N}$,

$$\hat{N} = \frac{N_0}{\sqrt{2\pi}\Delta R_p} \approx \frac{0.4N_0}{\Delta R_p}$$

(2) 浓度分布呈对称性: 若深度表示为 $X = \bar{R}_p \pm m\Delta\bar{R}_p$, 则 X 处的杂质浓度 $N(X)$ 与峰值浓度 $\hat{N}$ 的比值 $N(X)/\hat{N}$, 随深度因子 m 的变化关系如下表所示。

浓度分布随深度因子 m 的变化关系

m	0	1	1.18	2.15	3.03	3.74	4.29	4.80	5.26	5.68	6.06
$N(X)/\hat{N}$	1	0.607	0.5	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}

(3) 晶片表面浓度 $N(0) = \hat{N}e^{-\left(\frac{\bar{R}_p}{\Delta R_p}\right)^2/2}$

225. 如何计算离子注入的结深?

若离子注入掺杂用于形成PN结, 显然注入杂质浓度下降到衬底浓度时的深度, 即为结深 x_j , 设晶片衬底浓度为 N_b , 则有 $N(x_j) = N_b$, 代入离子注入杂质浓度分布公式中, 则得到:

$$x_j = \bar{R}_p + \Delta R_p \left(2 \ln \frac{\hat{N}}{N_b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

如果, 离子的能量足够大, 则将在衬底中形成隐埋的掺杂层, 即在靠近表面处还形成一个PN结, 其结深为:

$$x_j = \bar{R}_p - \Delta R_p \left(2 \ln \frac{\hat{N}}{N_b} \right)^{\frac{1}{2}}$$

226. 如何计算离子注入层深度 x_j ?

随着离子注入应用的不断拓宽, 在许多离子注入应用中并不仅仅用于形成PN结, 而是改变材料注入层内的其他性能。这时“注入层深度”的意义就要根据具体的工程应用要求而定, 确切地说, 注入层深度 x_j 是指注入到超过该深度的杂质数对有关材料性能的变化已可以忽略不计。更简便地说, 在 x_j 处的杂质浓度 $N(x_j)$ 降低到峰值浓度 $\hat{N}$ 的 $1/n$ 时, 即可忽略对有关材料性能的影响, 这时注入层深度 x_j 为:

$$x_j = \bar{R}_p + \Delta R_p (2 \ln n)^{\frac{1}{2}}$$

其中： $n = \hat{N} / N(x_j)$ 。如果离子的注入能量足够大，则将形成一个隐埋的注入层，其埋层厚度 d 为：

$$d = 2\Delta R_p (2\ln n)^{\frac{1}{2}}$$

227. 如何选择离子注入掩蔽层的厚度？

在离子注入半导体掺杂中，通常为选择注入，即把不希望注入的区域用掩蔽膜（如 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、金属膜、光刻胶等）保护起来，阻止入射离子穿透掩蔽层进入到晶片中去。在这种情况下，必须认真选择掩蔽膜的种类和厚度。在实际工作中，膜的类型一般在工艺流程中已被限定，通常是选择合适的厚度，掩蔽膜太薄，达不到掩蔽效果；太厚，掩蔽效果虽然好，但不利于精细线条的光刻。一般最小的掩蔽层厚度 $d_{\min}$ 为

$$d_{\min} = \overline{R_p} + 4\overline{\Delta R_p}$$

R_p 和 ΔR_p 为离子在掩蔽膜中的平均投影射程及其标准偏差。这时，离子注入穿透掩蔽层进入到晶片中的杂质数量约为入射离子总量的十万分之四，即 4×10^{-5} ，或者说，掩蔽层在衬底的界面处的离子浓度下降到峰值浓度的万分之三，即 3×10^{-4} 。在具体的工程应用中，最好进行一、二次实验，以达到最佳的掩蔽工艺效果。

228. 什么是晶体中的离子注入沟道效应及如何避免沟道效应？

由于晶体中的原子按一定规则周期性地重复排列成晶格点阵。因此，相邻晶列（或晶面）会围成一个“长管道”。当离子沿着这些“长管道”入射时，发生碰撞的几率大大减小，可以穿入很深。离子在晶体靶中沿某一特定方向（晶轴或晶面）穿入得很深的现象称为离子在晶体中的沟道效应，沿晶轴方向的沟道称为轴沟道；沿晶面方向的沟道称为面沟道。当离子束的入射方向与晶轴（或晶面）的夹角大于某一个值时，就不会发生沟道效应，这一角度称为沟道临界角。

在半导体离子注入掺杂工艺中，为了提高掺杂的均匀性和重复性，一般总是避免产生沟道效应，最有效的方法是倾斜注入，对硅和砷化镓晶片，离子束入射方向偏离晶向 $7^\circ \sim 9^\circ$ ，就不会发生轴沟道效应。

另外，如果在晶片表面生长一层很薄的非晶层，也可以避免离子注入沟道效应。

229. 什么叫离子注入辐射损伤？

入射离子进入靶材料中，与靶原子及电子相互碰撞，在碰撞过程中它把能量传递给靶原子和电子，若靶原子获得的能量大于原子移位阈能 E_d 时，则该原子发生移位。原子移位

的结果，在晶格位置上留下一个“空位”，同时产生一个间隙原子，这是一种最简单的晶格缺陷：空位——间隙原子对，又叫弗仑克尔对。

如果被初次碰撞所击出的移位原子，其能量仍远大于移位阈能，则会使别的晶格原子产生原子移位而离开它的平衡位置，发生次级移位原子，产生新的空位——间隙原子对，如此不断地继续下去，形成原子级联碰撞，产生原子级联移位，形成了各种结构复杂的缺陷。

由于离子注入的能量一般都足够大，在发生初次碰后，仍具有较大能量，入射离子将继续与别的原子和电子不断地发生碰撞，直到它的能量完全损失而停止，于是在入射离子行进的路径附近区域，产生一系列缺陷串，像一串串葡萄那样的局部损伤区。

随着离子剂量不断增加，单个的缺陷串不断增加和扩展，形成更加复杂的缺陷。当注入剂量增加到一定程度时，缺陷串开始相互重叠，最后形成了一个无定形损伤层。

以上离子注入产生的各种缺陷统称为离子注入辐射损伤。

230. 为什么离子注入掺杂晶片要进行退火，其作用是什么？

因为：一是离子注入在晶片中产生了辐射损伤，破坏了晶格的完整性；二是注入的杂质原子大多处于间隙位置，对电导没有贡献。为此，通过退火处理，一是消除辐射损伤，恢复晶格完整性；二是使注入的掺杂剂原子进入到晶格替位上，成为施主或受主，对电导产生贡献。这也就是通常所说的注入杂质的电激活。

231. 离子注入晶片最常用的退火方法及其退火条件是什么？

目前最常用的退火方法有二类，一是快速热退火，它的最主要的优点是操作简便、快捷，载流子浓度分布陡峭、拖尾小，其应用也越来越广泛；二是传统的管式炉恒温退火。

退火条件的选择主要取决于注入层损伤的程度并结合具体的工艺流程。常用的退火条件范围如下：

常用的退火条件范围

	快速热退火	恒温退火
硅片	1000~1200℃、2~20s; 高纯干燥N ₂ 气	B ⁺ 注入：900℃、20~30min; P ⁺ 、As ⁺ 注入：950~1100℃、20~30min; 高纯干燥N ₂ 气
砷化镓片	900~1000℃、5~15s 高纯干燥N ₂ +H ₂ 气	750~850℃、20~30min; 过饱和As气压中

232. 什么是移位阈能 E_d 、原子移位和移位原子?

移位阈能是指晶格原子克服晶格束缚和断开化学键而离开晶格位置所需要的最小能量,用 E_d 表示。影响 E_d 的因素非常多,计算相当复杂,需要时可直接查表。一般硅材料的 E_d 约为14eV, GaAs材料的 E_d 约25eV。

当晶格原子获得的能量大于移位阈能 E_d 时,它将离开原来的平衡位置而产生移位,进入间隙状态,这一过程为原子移位;发生移位的原子称移位原子。移位原子数 $N(E)$ 与它的能量 E 有关,通常可以用下面的公式来估算:

$$N(E) = 0.42E/E_d$$

233. 有哪些原因会造成热氧化生长的二氧化硅不均匀? 如何解决?

造成氧化硅不均匀的原因有:

- (1) 氧化反应管中的氧气和水汽的蒸汽压不均匀;
- (2) 氧化炉的恒温区太短;
- (3) 氧化时炉温不稳定;
- (4) 水温有变化;
- (5) 硅片表面状态不良。

解决的方法有:

- (1) 采用长恒温区的氧化炉;
- (2) 严格控制炉温和水浴温度;
- (3) 保证硅片表面平整、无划痕;
- (4) 选择合理的气体流量等。

234. 有哪些原因会造成热氧化生长的二氧化硅表面有斑点? 如何解决?

造成热氧化生长的二氧化硅表面有斑点的原因如下:

(1) 氧化前硅片清洗不彻底或又受到污染,表面有杂质微粒,在高温下杂质微粒被碳化并粘在硅片表面,形成了黑点;

(2) 氧化石英管长期处于高温下,在管壁上产生一些白色薄膜,当薄膜微粒掉落在硅片表面上,造成氧化层表面有突起;

(3) 在氧化过程中,有水珠飞溅在硅片表面上,造成二氧化硅薄膜表面出现斑点。

解决的办法:

- (1) 硅片要严格清洗,并防止微粒杂质的沾污;

(2) 石英管要定期清洗,“老化”严重的石英管要更换新的;

(3) 为防止水珠飞溅在硅片上,石英管进气端的炉外部分要尽量短,水浴瓶的纯水不要过多;

(4) 硅片清洗后,要充分烘干,表面无水迹。

235. 有哪些原因会造成热氧化生长的二氧化硅表面有针孔? 如何解决?

若硅片上有位错和层错,在该处容易引起杂质的积累,造成该处不能很好地生长氧化层,从而形成氧化膜上的针孔。若位错、层错密度过高,则氧化层上的针孔数目相应增多。

解决办法是:

(1) 保证硅片表面质量,选用位错、层错密度很低的硅片;

(2) 硅片表面平整、光亮;

(3) 加强工艺中的清洗,避免有害杂质沾污硅片。

236. 有哪些原因会造成热氧化生长的二氧化硅的钠离子沾污? 如何解决?

氧化层中的钠离子沾污是造成器件漏电流增大、击穿特性变化、器件性能不稳定的重要原因之一。氧化层中的钠离子沾污的来源有:

(1) 清洗硅片的用具、化学试剂、纯水;

(2) 操作者身上的汗液、呼出的气体、人体皮肤屑等;

(3) 在氧化炉、扩散炉中炉管和耐火砖等材料中含有大量的钠离子,在高温下穿过石英管,造成氧化层钠离子沾污。

解决办法是:

(1) 加强工艺操作、人体卫生、环境卫生;

(2) 使用高纯化学试剂、高纯水和超净设备;

(3) 采用HCl氧化工艺,减少氧化过程中由氧化炉引入的钠离子沾污。

237. 什么叫发射极陷落效应? 发射极陷落效应有什么不良后果?

发射极陷落效应也叫发射极推进效应。即在晶体管制作过程中,进行发射极扩散时,在发射区下面的基区杂质扩散速度要比发射区以外的基区杂质扩散速度快。这样就使基区宽度难以缩小,有碍于提高频率性能,同时在发射极和集电极之间容易引起局部电流集中,造成低击穿、漏电流增大等后果。

238. 产生发射极陷落效应的原因是什么?

一般认为产生发射极陷落效应的原因是在发射极扩散中,当杂质原子的共价半径比硅小得多而引起位错运动产生了过剩空位,这些过剩空位使发射区下面的基区杂质扩散速度

加快。

239. 如何减小发射极陷落效应?

采用砷扩散代替磷扩散或在磷扩散同时掺锡都能减小发射极陷落效应。

240. 有哪些原因会造成扩散层表面的合金点、破坏点? 如何解决?

扩散后观察到扩散窗口内有一层白雾状的东西, 或有小突起。在显微镜下观察, 前者是一些黑色小圆点, 称为合金点; 后者是一些黄亮色、透明的小突起, 称为破坏点; 有时也统称为合金点。产生的原因如下:

合金点是过多的杂质原子堆积在一起与硅合金, 往往是由杂质和氧化硅组成的玻璃体;

破坏点是在扩散过程中, 由于腐蚀不当、硅表面有缺陷、表面有沾污、硅片没有烘干、室内湿度太大、源变质等原因, 而在硅片表面造成局部损伤。

解决的办法:

- (1) 如果合金点很小, 用95%~98%的浓硫酸煮30分钟左右, 可得到一定程度的消除;
- (2) 在液态源磷扩时, 多通入一些氧气, 对减少表面缺陷有明显效果;
- (3) 采用固——固扩散或二氧化硅乳胶源扩散, 可得到较理想的表面状态;
- (4) 加强硅片表面清洁处理, 并充分烘干, 防止杂质沾污。

241. 有哪些原因会造成扩散层表面玻璃层? 如何解决?

经硼或磷扩散后, 往往在硅片表面生成一层硼硅玻璃或磷硅玻璃, 这是由于源温度过高、扩散温度过高或扩散时间过长产生的。玻璃层与光刻胶的粘附性极差, 光刻腐蚀时易脱胶或钻蚀。

解决的办法:

- (1) 要严格控制扩散温度、时间和气体流量;
- (2) 液态源扩散时, 硅片、管道要烘干; 箱法扩散前, 要将源脱水干净。

242. 有哪些原因会造成扩散层表面白雾现象? 如何解决?

用固——固扩散及液态源磷扩散时, 硅片表面有时出现白雾现象, 在磷扩散时, 磷杂质浓度过高以及石英管中偏磷酸产生大量的烟雾喷射在硅片表面, 在快速冷却过程中就产生了白雾。有白雾的硅片, 与光刻胶的粘附性差, 光刻腐蚀时易脱胶或钻蚀。

解决的办法:

- (1) 控制好气体流量, 磷源浓度不要过高;

(2) 要经常清洁处理扩散石英管道。

243. 有哪些原因会造成扩散的方块电阻偏大？如何解决？

造成扩散的方块电阻偏大的原因：

(1) 扩散窗口有氧化层，阻止了杂质向硅内扩散。这是由携带源的氮气中含有较多的水分和氧；杂质源中含水量较多；光刻不彻底，未将扩散窗口氧化层去除干净等因素造成。

(2) 扩散系统内的杂质蒸汽压低，在一定扩散条件下使进入硅体内的杂质含量减少。主要原因有：杂质源变质；源使用时间过长，使源中含杂质质量降低；系统漏气；石英管内源蒸汽饱和不充分；携带源的气流过小；液态源扩散时氧气流量过小，使源分解不充分等。

(3) 温度低或时间短，扩散系数将变小，进入硅中的杂质总量减少。

(4) 再扩散时，湿氧化时间过长或温度过高，使氧化硅吸收了大量杂质原子，结果使方块电阻变大。

解决的办法：

(1) 气体要经过纯化系统；

(2) 提高光刻技术，将扩散窗口的氧化硅去除干净；

(3) 扩散源使用时间过长或变质，应及时更换新源；

(4) 严格控制扩散温度、时间和气体流量；

(5) 气体纯化系统和扩散系统要严密，防止漏气。

244. 有哪些原因会造成扩散的方块电阻偏小？如何解决？

扩散的方块电阻偏小的原因与偏大的原因正好相反，主要是由于杂质蒸汽压过高、扩散温度太高或扩散时间太长、或携带源的气体流量过大等原因造成。

解决的办法是：

严格控制扩散温度、时间和气体流量。预淀积时发现方块电阻偏小或偏大，则在再分布时可通过改变通干氧、湿氧的先后顺序或时间来调整。

245. 有哪些原因会造成扩散的均匀性差？如何解决？

造成扩散的均匀性差的原因有：

(1) 衬底材料（硅片）本身质量问题；

(2) 硅片清洁处理不好，表面有局部沾污和氧化物。在相同的扩散条件下，在有沾污和氧化物的区域杂质原子扩散进去的数量、结的深度就与其他地方不一样；

(3) 杂质扩散系数和固溶度都与温度有关，石英舟中各处的温度若有差异，就会影响

扩散均匀性。特别是长石英舟、短恒温区，其影响更明显；

(4) 扩散时，石英舟各处的杂质蒸汽压是不完全相同的，也会造成扩散结果不均匀。

解决的办法：

(1) 选用质量高的硅片，表面光亮、平整、无划痕等；

(2) 认真清洗硅片，尽量做到表面无沾污、无氧化物；

(3) 使用长恒温区的扩散炉。

246. 有哪些原因会造成扩散的重复性差？如何解决？

造成扩散的重复性差的原因有：

(1) 各次扩散过程中，炉温、时间变化较大；

(2) 石英管内的杂质蒸汽压变化大；

(3) 各次硅片清洁处理程度有区别、即硅片表面清洁度不一样；

(4) 工艺条件和工艺操作有小的改动，如石英舟推进石英管恒温区里的位置各次不一样等。

解决的办法：

(1) 精确控制炉温和扩散时间；

(2) 每天第一次扩散前，将石英管道和石英舟在源蒸汽中饱和10分钟左右，对扩散重复性大有好处；

(3) 每次的硅片清洗和工艺操作要严格认真。

247. 有哪些原因会造成PN结反向漏电流大？如何解决？

造成PN结反向漏电流大的原因有：

(1) 硅片表面沾污了重金属杂质，在高温下，它们会很快扩散进入硅片体内，沉积在晶格缺陷中，发生局部击穿，造成很大反向漏电流；

(2) 硅表面缺陷过多或吸附了水分、杂质离子，导致表面漏电流大；

(3) SiO_2 表面吸附了气体、离子及 SiO_2 本身的缺陷，使 SiO_2 层带上了正电荷，形成表面沟道效应，使反向漏电流增大；

(4) 图形边缘不完整，出现尖峰毛刺，硅表面有合金点、破坏点，都会引起纵向扩散不均匀，PN结上出现尖峰，使电场集中，漏电流大。

解决的办法：

(1) 采用低位错密度的硅材料；

(2) 严格清洗工艺，使硅片表面高清洁度；

- (3) 使用高纯气体;
- (4) 使用质量高的扩散源, 源变质应及时更换;
- (5) 提高光刻质量;
- (6) 采用杂质吸收工艺等。

248. 影响 β 均匀性的因素有哪些? 如何解决?

影响 β 均匀性的因素, 主要有以下几方面:

- (1) 基区宽度大小;
- (2) 发射区和基区杂质浓度比;
- (3) 半导体材料的位错密度大;
- (4) 表面有杂质沾污, 特别是金属杂质沾污, 会降低载流子寿命, 造成 β 值下降等。

解决的办法:

- (1) 选择低位错密度的硅材料;
- (2) 严格工艺条件;
- (3) 加强清洁处理工作, 避免杂质沾污。

249. 造成光刻分辨率低的原因有哪些? 如何解决?

造成光刻分辨率低的原因有:

(1) 光刻掩膜版与光刻胶膜的接触不良, 对光刻分辨率影响很大。原因有: 硅片本身平整度差、经高温处理硅片变形、硅片表面有突状物或灰尘、胶膜厚度不均匀、定位设备不良等;

(2) 掩膜版的套刻精度直接影响光刻精度, 掩膜版图形的边缘过薄(即存在过渡区), 也会造成分辨率下降;

(3) 曝光光线通过透镜后应形成平行光束, 并与掩膜版和胶膜的表面垂直。否则光刻图形要变形或图形模糊而影响分辨率;

(4) 由于光刻在胶膜中的散射现象, 要产生侧向光聚合效应, 形成图形边缘的过渡区。胶膜越厚, 粘度越大, 过渡区越严重, 分辨率越低; 胶越稠, 干燥后胶膜厚, 分辨率就低;

(5) 光通过细小间隙的图形边缘时, 引起衍射现象, 造成应掩蔽部分的胶膜感光(反应不完全), 经显影, 会留下一层薄胶膜, 在腐蚀时形成递减过渡区, 使分辨率变差;

(6) 由于光的衍射和散射, 曝光时间越长则分辨率越低, 但若曝光不足使光聚合不充分, 同样影响光刻质量;

(7) 显影时间过长, 要引起钻溶, 边缘变坏, 影响分辨率。

解决办法:

- (1) 提高掩膜版的质量;
- (2) 光刻胶的稠稀程度与胶膜厚度要适中;
- (3) 提高光刻技术, 认真操作;
- (4) 严格掌握曝光、显影、腐蚀时间;
- (5) 保证硅片表面清洁、无突起物、无灰尘、无油脂物;
- (6) 确保硅片的平整度良好;
- (7) 光刻设备的质量要高。

250. 光刻出现浮胶现象有什么影响?

显影时, 硅片表面的胶膜皱起, 呈桔皮状或胶膜大片剥离, 这是显影时的浮胶。它直接影响光刻质量, 一般应去胶重新做。

在腐蚀氧化层或金属膜时, 胶膜皱起或脱落, 掩蔽区的氧化层或金属膜遭到破坏, 会造成芯片报废。

251. 造成光刻的浮胶的原因有哪些? 如何解决?

造成光刻浮胶的原因有:

- (1) 硅片表面沾有油污、水汽、室内湿度太大, 使胶与硅片表面粘附不牢;
- (2) 光刻胶配制不妥或胶液陈旧, 胶的光化学反应不良, 与硅片表面成键能力差;
- (3) 前烘不足, 胶膜内层溶剂未及时挥发掉, 显影时胶膜被溶解。前烘过度, 胶膜翘曲硬化, 胶感光变坏;
- (4) 曝光时间不足, 显影时间过长, 使胶膜软化, 易浮胶;
- (5) 坚膜温度过高, 时间过长; 坚膜温度过低, 时间过短, 使胶膜质量变差;
- (6) 腐蚀液配比不当、或温度过高、或腐蚀时间过长;
- (7) 磷扩散后, 硅片表面磷硅玻璃与胶粘附能力差, 易浮胶。

解决的办法:

- (1) 新出炉(如氧化、扩散)的硅片立即涂胶, 注意硅片保护好, 少接触空气, 以防沾污杂质和水汽;
- (2) 存放时间长的硅片, 要经过表面处理后才能涂胶;
- (3) 注意光刻工艺的干燥、清洁、湿度适中;

(4) 根据硅片表面状况、光刻胶的性能、湿度等,严格控制前烘、曝光、显影、坚膜和腐蚀时间;

(5) 要配好光刻胶,并保存好,胶变质不能用;

(6) 磷扩散后的硅片,可采用700~800℃通干氮30~50分钟的处理。

252. 光刻出现毛刺、钻蚀现象对器件有什么影响?

如果在氧化层或金属光刻窗口出现毛刺和钻蚀时,会使PN结不平整,影响结特性,严重时形成短路,使器件成品率、稳定性、可靠性明显下降。

253. 造成光刻的毛刺和钻蚀的原因有哪些? 如何解决?

造成光刻的毛刺和钻蚀的原因有:

- (1) 硅片表面存在污物、小颗粒、水汽等,使硅片与光刻胶粘附不牢;
- (2) 氧化层表面存在磷硅玻璃;它们与光刻胶粘附不良;
- (3) 光刻胶过滤不好或太陈旧,有颗粒物质存在,会造成局部粘附性差;
- (4) 胶层太薄,抗腐蚀能力差;
- (5) 显影时间过长,图形边缘发生钻蚀;
- (6) 坚膜温度较低或时间过短;
- (7) 腐蚀液温度过高或腐蚀时间过长;
- (8) 掩膜图形的黑区边缘有毛刺状缺陷等。

解决的办法:

- (1) 硅片保持清洁和干燥;
- (2) 自配制的光刻胶要过滤好,不宜久存,以防变质;
- (3) 胶层不要太薄,有的采取2次涂胶;
- (4) 要控制好显影、坚膜、腐蚀的时间和温度。

254. 光刻的针孔有什么影响?

- (1) 光刻针孔的存在会使该处的 SiO_2 掩蔽层失效;
- (2) 在光刻隔离区产生针孔,经隔离扩散工艺,这些针孔将形成P型管道;
- (3) 针孔若产生在基区位子上,会使晶体管的基区对地的漏电流增大,严重时甚至短路;

(4) 在光刻金属引线时产生针孔,会造成不该连接的区域相互连接,导致短路或漏电流增大;

(5) 若针孔出现在PN结上, 将使结特性变坏。

255. 造成光刻针孔的原因有哪些? 如何解决?

造成光刻针孔的原因有:

(1) 掩膜版质量不好, 版的黑区上有黑点、灰尘等;

(2) 硅片表面有灰尘, 涂胶操作环境中的灰尘沾污, 胶本身含有污物, 都会导致胶层中有颗粒物存在;

(3) 胶层过薄或抗腐蚀能力差;

(4) 曝光时间短, 交联不充分; 曝光时间长, 胶层发生皱皮, 使掩膜失效;

(5) 腐蚀液配比不当, 腐蚀剂过量, 使腐蚀速率过快而产生较多的针孔;

(6) 扩散氧化后, 硅片表面上有突状物, 也会造成针孔。

解决的办法:

(1) 采用质量高的掩膜版, 加强版的检验工作;

(2) 曝光时间、腐蚀液配比要选择得当;

(3) 扩散和氧化后的硅片表面要保持清洁、光亮、平整和无凸起物;

(4) 胶膜厚薄要控制好;

(5) 可在显影坚膜后再涂第二次胶;

(6) 在蒸铝电极前, 用低温淀积法淀一层二氧化硅, 再进行套刻;

(7) 光刻工序在超净工作室内进行。

256. 光刻出现的小岛有什么影响?

由于氧化层小岛的存在, 会阻碍正常的杂质扩散, 在这些位置上形成异常区, 使器件反向漏电流变大、击穿电压降低、特性不正常。

257. 造成光刻小岛的原因有哪些? 如何解决?

造成光刻小岛的原因有:

(1) 光刻掩膜版上有针孔, 形成了漏光点, 使该处的 SiO_2 不能腐蚀掉, 留下了小岛;

(2) 显影不足, 造成某些区域留有残余的胶, 使这些地方的氧化硅不能被腐蚀掉;

(3) 曝光过量, 使局部区域的光刻胶显影不净;

(4) 腐蚀液不纯, 特别是沾有灰尘等污物, 腐蚀时对氧化硅层起到阻碍作用, 形成小岛。

解决的办法:

- (1) 用质量高的掩膜版, 做好掩膜版的检查工作, 发现版有损伤点应换新版;
- (2) 适当增加显影时间;
- (3) 保持腐蚀液的纯度, 定期更换新腐蚀液;
- (4) 可采用两次套刻的方法来消除小岛。

258. 铝膜表面氧化的原因有哪些? 如何解决?

铝膜应光亮如镜, 表明真空镀膜质量较好, 当表面呈白色但不光亮, 说明表面已被氧化。

钨丝蒸发产生铝膜氧化的原因:

- (1) 油蒸气污染;
- (2) 蒸发时的真空度不够高;
- (3) 蒸发源加热的钨丝清洁处理不干净;
- (4) 蒸发前铝丝表面氧化层未去除干净;
- (5) 操作时过早打开挡板;
- (6) 蒸发室不清洁等。

解决的办法:

- (1) 严格工艺操作, 一定要在真空度为 5×10^{-5} 托以上进行蒸发;
- (2) 保证钨丝和铝丝高度清洁, 并在蒸发前去净氧化层;
- (3) 适当增加铝量, 预热时充分让铝表面的氧化物挥发干净, 然后再打开挡板进行蒸发。

电子束蒸发产生铝膜氧化的原因:

- (1) 本底真空度太低;
- (2) 蒸发过程真空度下降太多;
- (3) 铝源去气不够;
- (4) 衬底温度太高、铝膜太厚;
- (5) 一次蒸发时间太长, 蒸发速度太慢等。

解决的办法:

- (1) 保证真空系统不漏气;
- (2) 本底真空要高于 2×10^{-5} 托;
- (3) 铝源蒸发前应先用电子束来回扫描“熔融除气”充分。

259. 铝膜表面有污点的原因有哪些? 如何解决?

铝膜表面有污点的原因有：

- (1) 蒸发时挡板打开过早，铝源表面的挥发物落在硅片表面上；
- (2) 硅片表面本身有颗粒状物、污物；
- (3) 铝源不纯，有污物；
- (4) 真空室、钨丝、铝源未清洗干净。

解决的办法：

- (1) 等铝源表面挥发物除净（注意观察，积累经验，控制时间）后，再打开挡板；
- (2) 入真空室前硅片表面要高度清洁；
- (3) 加强真空室、钨丝的清洁处理。

260. 铝膜与氧化硅粘附性差的原因有哪些？如何解决？

铝膜与氧化硅粘附性差的原因有：

- (1) 清洁处理不干净；
- (2) 有油气污染；
- (3) 硅片表面不干燥。

解决的办法：

- (1) 硅片、蒸发室、蒸发源、加热器等要保证清洁和干燥；
- (2) 避免油气污染，操作人员要戴口罩、手套等。

261. 为什么有些器件可以采用铝电极，而有些器件必须采用金的多层金属电极？

因为铝的电导率高、与氧化硅的粘附性好、与N型硅或P型硅都能形成低阻欧姆接触、制备方便、成本低，所以在一般的平面晶体管和集成电路生产中，普遍采用铝作电极。但是在生产实践中发现：铝在高温大电流密度下抗电迁移能力差；在高温（400℃以上）硅向铝中的溶解，硅表面产生腐蚀坑，易造成EB结短路；在潮湿气氛下抗电化学腐蚀能力差等。为解决这些问题，有两种途径，一种是在铝的基础上改进，采用铝——铜或铝——硅合金；一种是采用抗电迁移、抗电化学腐蚀能力强的金电极。而由于金与氧化硅的粘附差、与硅的共晶点低、接触电阻大，金与硅之间必须加衬膜（改善与氧化硅的粘附性能）、阻挡膜（防止金硅合金）、硅表面要有接触膜（与硅形成低阻欧姆接触），所以一般金电极都是以金为导电层的多层金属电极。可见，金系统的制作成本要比铝系统高的多。凡是可靠性要求较多的器件或金属条上电流密度较大的器件（如高频大功率晶体管和微波器件），为保证其可靠性，一般都必须采用以金为主体的多层金属化电极。

262. 采用铂硅合金作欧姆接触时，接触电阻大的原因有哪些？如何解决？

接触电阻大的原因有：

- (1) 接触窗口氧化硅未腐蚀净，铂硅合金不能形成；
- (2) 硅片装入真空室前在空气中放置时间长，接触窗口又形成新的很薄的氧化膜，铂硅合金不能形成；
- (3) 接触窗口有其他污染物，铂硅合金不能形成；
- (4) 合金环境含氧量或含水汽量过高，铂硅合金不能形成；
- (5) 在清洗过程中，铂硅合金被王水去除了；
- (6) 接触窗口硅的掺杂浓度太低。

解决的办法：

- (1) 接触窗口氧化硅一定要腐蚀干净；
- (2) 硅片装入真空室前硅片经认真清洗，用稀HF酸漂洗后，在空气中停留时间尽量短，以防生成新的氧化层；
- (3) 在真空或干燥氮气保护下合金；
- (4) 铂硅合金形成后煮王水时间要合适；
- (5) 接触窗口硅应采用高掺杂，尤其是N型硅。

263. 金的多层金属化系统与氧化硅粘附不牢的原因有哪些？如何解决？

金的多层金属化系统一般采用钛、铬、钯等金属作粘附层，其中钛应用更多些。与氧化硅粘附不牢的原因有：

- (1) 氧化硅表面清洁处理不干净，有油气污染；
- (2) 硅片表面不干燥；
- (3) 铂硅合金形成后，多余的铂未去除净。

解决的办法：

- (1) 硅片表面要保证清洁和干燥；
- (2) 避免油气污染，操作人员要戴口罩、手套等；
- (3) 铂硅合金形成后，多余的铂应去除干净。

264. 亚硫酸盐镀金工艺中，镀层粗糙无光泽的原因是什么？如何解决？

镀层粗糙无光泽的原因有：

- (1) 亚硫酸盐含量低；

- (2) 温度低;
- (3) 络合剂或有机添加剂含量低。

解决的办法:

- (1) 添加亚硫酸盐;
- (2) 适当提高温度;
- (3) 适当提高络合剂或有机添加剂的相应含量。

265. 亚硫酸盐镀金工艺中, 镀层出现脆性的原因是什么? 如何解决?

镀层出现脆性的原因有:

- (1) 光亮剂过多;
- (2) 温度过低;
- (3) 阴极电流密度过高。

解决的办法:

- (1) 活性碳处理;
- (2) 适当提高温度;
- (3) 适当降低阴极电流密度。

266. 哪些情况下属工艺异常? 工艺出现异常应如何处理?

工艺操作人员应严格按工艺规范和工艺文件进行操作, 对工艺质量负责。若发现以下情况应属工艺异常:

- (1) 工艺条件和工艺质量已偏出要求范围(好、坏都包括);
- (2) 工艺结果出现批次性偏差, 几批或多批连续上升或连续下降;
- (3) 虽然工艺结果在控制范围内, 但工艺设备和条件已不受控;
- (4) 检验员发现异常情况, 处理不了的。

工艺操作人员一旦发现上述异常现象应填写工艺异常报告单及时提交工艺线有关技术负责人, 进一步分析原因, 找出整改措施, 进行整改, 一定达到闭环管理。

267. 工艺异常报告单应包括哪些基本内容?

工艺异常报告单应包括: 报告时间、发现的异常现象的具体内容、原因初步分析、初步处理意见等内容。

268. 试述集成电路微细加工技术的要点。

集成电路微细加工技术是制造现代集成电路的核心技术, 它主要是指最小图形尺寸为

0.1~1.0微米的集成电路芯片制造技术（0.1微米以下即100~1纳米范围的加工称为纳米加工技术）。

微细加工技术是集成电路全套制造技术的统称，主要包括微细图形加工技术，薄膜、超薄膜生长技术，精确控制的掺杂技术以及厂房设施的净化技术等。对于这些技术可进一步细述如下：

微细图形加工技术包括光刻掩模制造、圆片光刻（微细图形的精确套刻、曝光、刻蚀、去胶等）、微细图形检测和缺陷检查等。

薄膜、超薄膜技术是指半导体外延膜和各种绝缘介质膜、金属膜的生长、淀积和加工技术、外延层、氧化层、金属膜的厚度一般在纳米量级至微米量级内，对于电力电子器件外延层可以厚至几十微米以上。

净化技术属微细加工所必须的环境条件，涉及对工艺场所、工艺装备、纯水、试剂和各种气体以及各项工艺加工的环境气体、化学试剂的颗粒污染的分级控制。

269. 集成电路芯片内部的接触和互连是怎样制造的？

在硅片上做好互相隔离的元器件之后，必须制备欧姆接触或者肖特基接触并将电极引出，再按照一定的设计要求，将它们相互连接起来才能构成一个完整的电路。这一过程称为接触和互连，或称金属化。

硅集成电路中，接触和互连的材料通常是各种金属膜（例如铝及其合金），掺杂多晶硅以及金属硅化物的薄膜。

实现集成电路芯片接触和互连的一般步骤是：① 在做完芯片元件后硅片表面的介质钝化膜上刻蚀出接触窗口；② 用蒸发、溅射或CVD法在开好接触窗口介质膜上形成互连材料薄膜（一般厚度为 $3\times 10\sim 2\times 10^3\text{nm}$ ）；③ 将此膜光刻成互连布线图形；④ 在 $400\sim 500^\circ\text{C}$ 的氮氢混合气氛中加热硅片适当时间，以降低接触电阻（这一步称“合金”）。

270. 试述集成电路芯片内部互连的重要性和难度。

集成电路芯片内部的互连技术随着集成电路整体技术的发展变得越来越复杂，0.13微米级硅大规模集成电路包含有8层互连布线，以每平方厘米芯片面积计，在其上互连线的总长度在4000米以上，互连线不仅是实现电路功能所必须的而且对芯片电性能具有重要的影响，在实现有效导电互连的同时，还必须将与互连相关的寄生参量降到最小，集成电路的互连越来越精细，必须考虑导电能力，抗电迁徙能力，降低寄生电阻、提高可靠性，同时多层互连布线必须要有良好的层间隔离，一方面要保证通过非常精细的接触孔实现层间有

效的互连,同时要降低寄生电容,这样把好的金属化层和好的介质层结合起来,才能实现良好的互连,保证集成电路芯片电性能和可靠性。

271. 集成电路互连金属化层的质量指标有哪些?

衡量金属化层的质量指标主要有四个:

(1) 膜厚:集成电路中所用的金属化膜的厚度随材料和用途而定,例如欧姆接触用的Pt的厚度仅为30~60nm;用作导体层的铝膜厚度为600~1500nm,在现代大规模集成电路中的互连金属膜的材料及其厚度都有严格的规定。

(2) 接触电阻:实际的金属——半导体之间的欧姆接触不可能是理想的欧姆接触,在两者之间的界面处总存在一个附加电阻,称接触电阻,它的大小与接触材料、接触孔的面积和工艺过程有关。

(3) 台阶覆盖:采用蒸发溅射或化学汽相淀积的任何薄膜都存在台阶覆盖的问题,良好的覆盖应是共形覆盖,即在台阶的任何部位都有相同的膜厚覆盖。台阶高度的阻挡是影响复该质量的主要原因,改善台阶复盖的主要办法是改善台阶形貌,例如通过介质平面化技术降低台阶高度,减小坡度,通过选择淀积金属回填接触孔与通孔等。

(4) 电迁移:金属原子在电流的作用下移动,使金属布线局部形貌改变,导致局部金属连接失效,通过选择金属层材料可以提高抗电迁移的能力。

272. 为什么大规模集成电路需要采取多层布线技术?

集成电路的多层布线是指层间有介质隔离的多层金属布线,不包括扩散层互连线和多晶硅互连线,它与替代单层铝(或金)和硅直接接触的复合金属层接触互连系统(亦称多层金属化系统)是不同的,从导电功能看直接与硅接触的多层金属化系统只能算一层布线。

随着集成电路芯片功能的增加和集成度的提高,芯片面积不断增大,内部互连也越来越复杂,互连线的交叉更加频繁,采用多层布线可以充分利用芯片上层空间,有效地压缩芯片面积,缩短布线长度,从而提高电路的工作速度并给设计带来更多的灵活性,多层布线已成为超大规模集成电路的一项关键技术。

273. 多层布线技术的关键技术难点有哪些?

多层布线技术需解决的主要技术问题有三个:

(1) 台阶覆盖与介质平面化:随着布线层数的增加和最小线宽的下降,由于台阶的存在使布线断裂的几率增大,所以必须设法使介质平面化,至少应该使层间介质表面台阶平滑化。

(2) 通孔刻蚀与回填: 随着特征线宽的缩小, 相对地将通孔变得小而深, 而且由于介质平面化的结果又使金属介质上各处厚度不同, 使通孔的深浅不一, 这不仅增加了通孔的刻蚀难度, 而且使金属膜在通孔处的覆盖状态恶化, 影响成品率。

(3) 金属层间介质隔离失效: 金属膜在合金时会因应力释放而在表面产生小丘, 特别是铝, 在布线交叉处, 小丘可穿透介质而导致层间短路, 通过采用铝合金和采用复合介质层等措施可以改善这一问题。

针对多层布线的技术难点, 多年来国外一直在发展化学机械抛光, 铜互连, 低K介质等一系列技术措施, 使得多层布线技术取得了长足的进步和发展。

274. 什么是半导体?

所谓半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。半导体大体上可以分为两类, 即本征半导体和杂质半导体。本征半导体是指纯净的半导体, 这里的纯净包括两个意思, 一是指半导体材料中只含一种元素的原子; 二是指原子与原子之间的排列是有一定规律的。本征半导体的特点是导电能力极弱, 且随温度变化导电能力有显著变化。杂质半导体是指人为地在本征半导体中掺入微量其他元素(称杂质)所形成的半导体。杂质半导体有两类: N型半导体和P型半导体。

275. 半导体为什么适合于制作晶体管?

绝大多数半导体是晶体, 因而往往把半导体材料就称为晶体。晶体管的名称就是这样得来的。半导体之所以能做成晶体管, 并不是由于它的导电能力介于导体与绝缘体之间这一性质, 而是在于它具有下述的一些独特性质。

在本征半导体中适当地掺入极微量的外来杂质, 则半导体的导电能力就会有上百万倍的增加, 这是半导体最突出最宝贵的性质。利用半导体的这个特性, 可以制造出各种不同性质、不同用途晶体管。

半导体的导电能力随外界条件的变化会有显著的不同。例如: 当照射在半导体上的光线改变时, 或者半导体所处的环境温度变化时, 半导体的导电能力均将随着发生显著的变化。利用半导体的这种特性, 可以制成各种光敏元件(如光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管等)和热敏元件(如热敏电阻等)。

276. PN结是如何形成的? 它具有什么特性?

如果用工艺的方法, 把一边是N型半导体另一边是P型半导体结合在一起, 这时N型半导体中的多数载流子电子就要向P型半导体一边渗透扩散。结果是N型区域中邻近P型区一

边的薄层A中有一部分电子扩散到P型区域中去了,如图2-6所示。薄层A中因失去了这一部分电子而带有正电。同样,P型区域中邻近N型区域一边的薄层B中有一部分空穴扩散到N型区域一边去了,如图2-7所示。结果使薄层B带有负电。这样就在N型和P型两种不同类型半导体的交界面两侧形成了带电薄层A和B(其中A带正电,B带负电)。A、B间便产生了一个电场,这个带电的薄层A和B,叫做PN结,又叫做阻挡层。

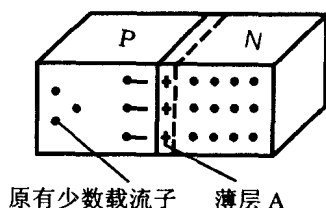


图2-6 电子扩散至P型区域

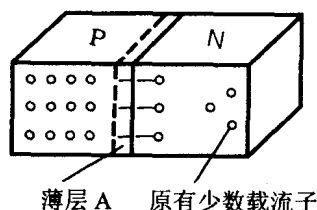


图2-7 空穴扩散至N型区域

当P型区域接到电池的正极,N型区域接到电池的负极时,漂移和扩散的动态平衡被破坏,在PN结中流过的电流很大(这种接法称为正向连接)。这时,电池在PN结中所产生的电场的方向恰好与PN结原来存在的电场方向相反,而且外加电场比PN结电场强,这两个电场叠加后电场是由P型区域指向N型区域的。因此,PN结中原先存在的电场被削弱了,阻挡层的厚度减小了,所以正向电流将随着外加正向电压的增加而迅速地上升。

当P型区域接电池负极、N型区域接电池正极时,在PN结中流过的电流很小(这种接法称为反向连接)。这是由于外加电压在PN结中所产生的电场方向是由N型区指向P型区,也即与原先在PN结中存在的电场方向是一致的。这两个电场叠加的结果,加强了电场阻止多数载流子的扩散运动,此时,阻挡层的厚度比原来增大,原来漂移和扩散的动态平衡也被破坏了,漂移电流大于扩散电流,正是这个电流造成反向漏电流。PN结的这种性质叫做单向导电性。

277. 半导体二极管如何分类?

半导体二极管是具有明显的单向导电特性或非线性伏安特性的半导体两极器件。

半导体二极管可分为结型二极管和金属——半导体接触二极管两种。

按照材料来划分可分为锗二极管、硅二极管、砷化镓二极管、碳化硅二极管、氮化镓二极管等。按照结构划分,半导体二极管可分为点接触二极管、PN结二极管、异质结二极管、肖特基势垒二极管、PIN二极管。按照用途划分,可分为:整流二极管、开关二极管、稳压二极管、参数二极管、混频二极管、检波二极管。按照工作原理划分,可分为:雪崩二极管、隧道二极管、肖特势垒二极管、发光二极管、光电二极管。

278. 什么是点接触二极管?

点接触二极管是整个半导体器件家族的始祖。它是最早期无线电广播中所作使用的“晶体和触须”检波器在形式上的发展,它是由一块半导体材料(硅和锗)和在材料表面上压上一根有尖端的金属丝触须组成的。因为接触面积很小,所以叫做点接触二极管。这种二极管过去广泛用于微波信号接收机中作混频和检波用。现在它基本上已被PN结二极管所代替。

279. 何谓硅整流二极管?

硅整流二极管是将交流电流变为直流电流的一种硅PN结二极管。这种二极管是一种大面积的功率器件。它击穿电压高,反向漏电流小,散热性能良好。因为这种器件的结面积较大,结电容也较大,因而工作频率很低,一般在几十千赫兹以下。通常电流容量在1安以下的器件叫整流二极管,在1安以上的叫整流器。

280. 试述什么是检波二极管?

检波二极管是用来把叠加在高频电磁波上的低频信号检出来的二极管。良好的检波二极管要求少数载流子注入效应小、结电容小、串联电阻小。因此检波二极管,特别是用于微波频段的检波二极管,要采用硅点接触二极管或肖特基势垒二极管。

281. 试述什么是变容二极管。

变容二极管是利用半导体PN结电容或金属——半导体接触势垒电容随外加电压的非线性变化而制成的。它在电路中可作为可变电抗的二极管,所以也叫可变电抗二极管。变容二极管一般是在反向偏压下工作的。它多用硅及砷化镓制成,有扩散PN结与肖特基势垒两种结构。工艺上多采用外延技术,以减小串联电阻。用于微波电路的变容二极管要求耗尽层宽度的变化能跟上微波信号电压的变化,为此半导体材料的电阻不能太大。在微波电路中变容二极管主要用于参量放大,电调谐及产生谐波。

282. 试述什么是光电二极管。

当光照到PN结上时,光能被吸收进入晶格,使电子的能级提高,这就导致某些电子脱离它们的原子,因此产生了自由电子与空穴。在光电导光电二极管中,在PN结上加一反向电压,由光能在结构附近产生电子与空穴,它们被电场吸引从相反的方向穿过结形成电流,电流从负载电阻流出产生了输出信号。光的强度越高,产生的空穴与自由电子就越多,电流也就越大。没有光时,电流只有PN结的小的反向漏电流,这种电流称为暗电流。

283. 何谓欧姆接触?

金属与半导体间没有整流作用的接触称为欧姆接触。实际上的欧姆接触几乎都是采用金属—— N^+N 半导体或金属—— P^+P 半导体的形式制成的。在这种接触中,金属与重掺杂的半导体区接触,接触界面附近存在大量的复合中心,而且电流通过接触时的压降也往往小到可以不计。

制造欧姆接触的方法有两种。如果金属本身是半导体的施主或受主元素,而且在半导体中有高的固溶度,就用合金法直接在半导体中形成金属—— N^+ 或金属—— P^+ 区。如果金属本身不是施主或受主元素,可在金属中掺入施主或受主元素,用合金法形成欧姆接触。另一种方法是在半导体中先扩散形成重掺杂区,然后使金属与半导体接触,形成欧姆接触。

284. 何谓PN结的击穿特性?

对PN结施加的反向偏压增大到某一数值时,反向电流突然开始迅速增大,这种现象称为PN结击穿。发生击穿时的反向偏压称为击穿电压,以 V_B 表示。击穿现象中,电流增大基本原因不是由于迁移率的增大,而是由于载流子数目的增加。到目前为止,基本上有三种击穿机构:热电击穿、雪崩击穿和隧道击穿。从击穿的后果来看,可以分为物理上可恢复的和不可恢复的击穿两类。热电击穿属于后一类情况,它将造成PN结的永久性损坏,在器件应用时应尽量避免发生此类击穿。雪崩击穿和隧道击穿属于可恢复性的,即撤掉电压后,在PN结内没有物理损伤。

285. 晶体管基本结构如何?

晶体管的品种繁多,按用途划分为低频管和高频管、小功率管和大功率管、低噪声管、高反压管及开关管等;按制造工艺和管芯结构分别划分为合金管、扩散管、离子注入管和台面管、平面管;但各种晶体管的基本结构是相同的,即由两层同种导电类型的材料夹一相反导电类型的薄层而构成,中间夹层的厚度必须远小于该层材料中少数载流子的扩散长度。这样的组合有两种情况,即P-N-P和N-P-N结构,分别称为PNP和NPN晶体管。

从基本结构来看,晶体管实质上是两个彼此十分靠近的背靠背的PN结,分别称为发射结和集电结。两个PN结隔离开的三个区域分别称为发射区、基区和集电区。从三个区引出的电极则称发射极、基极和集电极,用符号E、B、C表示。

在实际的晶体管中,在发射结和集电结边沿还有弯曲的二维部分,不过所占比例很小,如图2-8所示。

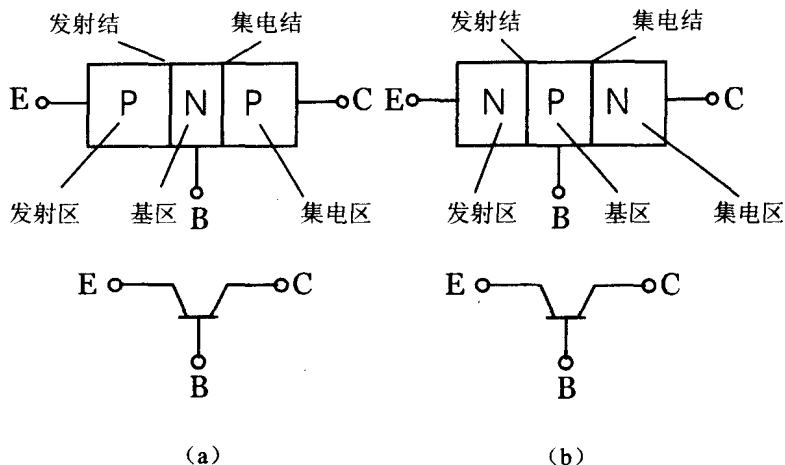


图 2-8 晶体管基本结构

286. 晶体管有哪几种？

晶体管是对信号有放大和开关等作用，有三个或四个电极的半导体器件。目前晶体管可以分为两大类：一类是结型晶体管；一类是场效应晶体管。结型晶体管是由两个PN结组成的，有PNP和NPN两种结构。这类晶体管工作时，半导体中的电子和空穴两种载流子同时起主要的作用，所以又叫双极晶体管。场效应晶体管有结栅场效应晶体管、金属——氧化物——半导体场效应晶体管及肖特基势垒栅场效应晶体管等结构。这类晶体管工作时，只有半导体中的多数载流子起主要作用，所以又叫单极晶体管。

287. 晶体管的极限参数包括哪几个？

各种电子元件都有一个使用极限值，晶体管也有自己的使用极限值，工作时只能运用于极限值范围以内。

当基极开路时，集电结在反向电压作用下有一个漏电流 I_{ce0} 。这个反向电压应该是有限度的，不能无限制地加上去。当反向电压增到一定值时， I_{ce0} 就会剧烈增加，集电结就有击穿的危险。为了便于测试，一般把 I_{ce0} 大到一定值（小功率管约 $\leq 2\text{mA}$ ）时加在集电极和发射极间的反向直流电压叫做这个管子的 BV_{ce0} ，它离开真正的击穿点还有1倍左右，这是个最常用的电压极限参数。

三极管的集电结是工作在反向电压下的，而集电结的反向电阻是很大的，当反向电流（ I_c ）流过时，它就因功率损耗而发热，当结温（ T_j ）上升到一定限值时集电结就要烧毁。一般就根据集电结允许的温度定出集电极的最大允许耗散功率。

集电极电流 I_c 超过一定数值时,三极管的参数开始发生变化,特别是电流放大系数 β 将下降。一般规定,三极管的参数变化不超过允许值时的集电极电流值称为集电极最大允许电流 I_{CM} 。

288. 晶体管与温度有什么关系?

一般说来,半导体对温度是非常敏感的,三极管也不例外,这是应当引起注意的问题。晶体管的PN结都有一定的电阻,在反向接法下其阻值更大,而三极管的集电结都是在反向电压下工作的。电流流过PN结就要消耗功率,这功率是以热的形式散发在结面的。

I_{cbo} 是由集电区的少数载流子所构成的,而少数载流子的数量与环境温度 T_a 有很大的关系,根据理论分析和实践证明, I_{cbo} 是随着温度按指数函数的规律急剧地变化的。不但如此,温度对管子的反向击穿电压 BV_{ceo} 和集电极最大耗散功率 P_{CM} 都有密切的关系,上述参数都会随着温度增高而下降。

289. 三极管的简易测试方法是什么?

半导体器件手册上给出的参数是典型数据,仅供参考,在使用前还须测试一下每个管子的实际参数。首先应根据管子型号在手册中查出该型号的管脚分布图和测试条件。测试时可以根据手册上给出的测试条件,以便与同类型管子进行比较;也可以根据晶体管在电路中的具体使用条件(如应用的 U_{ce} 是几伏, I_o 是几毫安)来测试,这样更切合实际。

290. 试述什么是微波晶体管?

微波晶体管是指在超高频或微波波段工作的晶体管。根据结构的不同,微波晶体管可以分为微波双极晶体管(通常称为微波晶体管)及微波单极晶体管(即微波场效应晶体管)。按功能来分,微波晶体管又包括微波低噪声晶体管及微波大功率晶体管。

随着平面工艺的发展,特别是低温薄层外延生长技术、投影曝光、电子束曝光技术、浅结高浓度扩散、砷扩散及离子注入技术的发展和运用,微波晶体管在高频、大功率、低噪声领域内已得到迅速发展。

291. 试述什么是开关双极晶体管?

这是为在电路中对电流起开关作用而设计的一种双极晶体管,通常简称为开关晶体管。

没有信号时,晶体管的发射结与集电结都是反偏结,三个电极中都只有很小的电流,晶体管处于截止或关闭状态。

在基极上加信号,使发射结转变为正偏结。这时,集电结仍为反偏结。如果基极上的信号电压相当大,也可使集电结转变成正偏结。在前一情形中,晶体管在放大区工作,晶

晶体管上的电压较大；在后一情形中，晶体管在饱和区工作，晶体管上的电压较小。

晶体管在放大区或饱和区工作时，都处于通导状态。晶体管基区中有注入的载流子电荷储存，两个结的电容及基区宽度都发生了变化。所以，由关态到通态的转变需要时间，由通态到关态的转变同样也需要时间。前者叫接通时间，后者叫关闭时间，两者总和叫开关时间。

为了尽量减小开关晶体管的开关时间，开关晶体管的电流放大系数要大，特征频率要高。在制造时，在半导体中扩散金作为复合中心，减小注入载流子的寿命。

292. 何谓二次击穿？

二次击穿是在一次击穿发生后的又一次击穿。也就是说，当晶体管集电结反向偏压加到一定值时，发生雪崩击穿，电流 I_c 急剧上升，即第一次击穿。若此时集电结反向偏压继续升高，电流 I_c 增大到某一值后，CB结上压降突然降低而 I_c 却继续上升，即出现负阻效应，这种现象称为二次击穿。在没有保护措施情况下，会产生很大的电流，使晶体管烧毁。

当 $I_b > 0$ 时，出现的二次击穿现象称为正向二次击穿；当 $I_b < 0$ 时，出现的二次击穿称为反向二次击穿。二次击穿的机理较为复杂，至今尚没有一个较为完整的理论对二次击穿做严格定量的分析解释。目前比较一致的解释是电流集中二次击穿和雪崩击穿二次击穿。

293. 晶体管的安全工作区是什么？

不使晶体管损坏和老化，而且可靠性又较高的安全工作范围称为晶体管的安全工作区。安全工作区不仅由集电极最大耐压、集电极最大电流、集电极最大功耗所限制，而且还由二次击穿所限制。

晶体管的安全工作区的大小同晶体管工作状态有关。脉冲工作的晶体管安全工作区比直流工作时大，而且随着脉宽的减小而逐渐扩大。这是因为晶体管脉冲工作时，集电极最大电流要比直流工作时大，耗散功率也就大，所以安全工作区范围就大。从集电极最大电流考虑，脉宽越窄，安全工作区越大。

294. 双极晶体管的基极电阻含义是什么？

从基区接触（基极）到双极晶体管的实际工作结面之间的电阻，称为双极晶体管的基极电阻 r_b 。

基极电阻 r_b 由两部分组成：（1）直接在发射结下面的基区“扩展”电阻；（2）从发射结边缘到基极之间的基区电阻。

基极电阻的存在对晶体管的运用带来了一系列不利的影响：产生发射极电流集边效应，

高频时造成反馈使功率增益下降及噪声系数增大等。

295. 特征频率 f_T 是如何定义的?

特征频率是晶体管电流增益开始下降的频率起始点,即晶体管的 β 下降到1(或0分贝)时的频率,称为特征频率。它是晶体管作电流放大时的极限频率。当晶体管的 β 下降到1(或0分贝)时,双极晶体管就没有电流放大作用了。

在大电流下,由于集电结耗尽层的电导调制效应(柯克效应),使基区有效宽度增大,因而引起特征频率的下降。由于 β 反映了晶体管的电流增益,频率 f 表示从低频 f_0 算起到高频 f (f 远大于 f_0)为止的某个“频带宽度”,因此, f_T 又称为双极晶体管的“增益带宽乘积”。

296. 功率增益如何表示?

双极晶体管的功率放大作用通常以功率增益 K_p 来表示,它等于输出信号功率 P_o 与输入信号功率 P_i 之比,即 $K_p = P_o/P_i$ 。

在共发射极接法下,输出功率 $P_o = i_c^2 R_L$ (i_c 是集电极交流电流, R_L 是集电极负载电阻)。在高频下,功率晶体管的输入阻抗基本上等于基极电阻 r_b ,输入功率 $P_i = i_b^2 r_b$ (i_b 是基极交流电流)。所以,功率增益随频率的增加而减小。

297. 最高振荡频率 f_m 是如何定义的?

双极晶体管的功率增益 K_p 随频率 f 的增高而减小,功率增益 K_p 下降到1(或0分贝)时的频率,称为双极晶体管的最高振荡频率 f_m 。

f_m 是晶体管作振荡和功率放大时的极限频率,若 $f > f_m$,则 $K_p < 1$ 。

要提高双极晶体管的最高振荡频率,必须提高它的特征频率、减小基极电阻与集电结电容。对大多数晶体管来说,由于基极电阻与集电结电容的乘积较小,所以最高振荡频率 f_m 大于特征频率 f_T ,当 $f \geq f_T$ 时,双极晶体管虽然没有电流放大作用,但还有功率放大作用。

298. 何谓噪声系数?

衡量噪声的大小常常采用一个叫做“信噪比”的量,它是信号功率与噪声功率之比,信噪比愈大,表示噪声相对于信号来讲愈小。

如果在双极晶体管输入端加上信号功率与噪声功率,那么信号与噪声经过晶体管都得到了放大。但是,在输出端的噪声中还附加了晶体管本身的噪声(例如热噪声、散粒噪声、配分噪声、 $1/f$ 噪声等),这样,输出端信噪比就比输入端的信噪比降低了。晶体管本身的噪声愈大,输出端信噪比就降低得愈多。因此,我们把晶体管的“输入信噪比”与“输出信噪比”的相对比值定义为晶体管的噪声系数。噪声系数通常以NF表示,以分贝为单位。所有晶体管的噪声系数都是大于1的,噪声系数愈大,晶体管的噪声特性就愈差。一般硅平面

晶体管的噪声系数约为几分贝到十几分贝。

299. 试述什么是场效应?

在半导体表面上施加垂直于表面的电场,改变所加电场的方向和大小,可以控制半导体表面层中的多数载流子密度及类型,这种现象叫做表面场效应。场效应是绝缘栅场效应晶体管的基础。

在PN结上加反向电压,改变反向电压的大小,可以控制PN结耗尽层的宽度,这种现象叫做PN结界面场效应。它是结型场效应晶体管的基础。

在金属与半导体接触上加反向电压,改变电压的大小,可以控制肖特基势垒层的厚度,这种现象叫做肖特基结界面场效应。它是肖特基势垒栅场效应晶体管的基础。

300. 场效应晶体管及其特点是什么?

场效应晶体管又叫单极晶体管。它是利用场效应控制电流通路(沟道)中的多数载流子密度,以控制沟道电流的半导体器件。

场效应晶体管有三种:一种是利用表面场效应的绝缘栅场效应晶体管;一种是利用PN结界面场效应的结栅场效应晶体管;一种是利用肖特基结界面场效应的肖特基势垒栅场效应晶体管。三种场效应晶体管都有一个半导体材料的沟道。绝缘栅器件的沟道在半导体表面层中;结栅器件的沟道夹在两边的PN缝之间;肖特基势垒栅器件的沟道在肖特基势垒下面。沟道两端各有一个电极:一个叫源极,一个叫漏极。两者一般可以互换。

各种场效应晶体管都有一个施加控制电压或电场的栅极。在绝缘栅器件中,金属栅极与沟道间被绝缘层(即二氧化硅层)隔开。改变加在金属栅极上的电压,可以改变表面沟道中的多数载流子密度。结栅器件的栅极是沟道对面的半导体欧姆接触。改变加在结栅上的反偏压,可改变PN结耗尽层的宽度,从而改变沟道的厚度及沟道电阻。肖特基势垒栅器件的栅极是与半导体接触的金属。改变加在金属栅极上的电压,可以改变肖特基势垒层的厚度,从而改变沟道的厚度及电阻。

场效应晶体管的特点是:输入阻抗大,噪音小、极限频率高,抗辐射能力强等。它目前已广泛用于包括放大及数字电路在内的各种电路中。场效应晶体管也是集成电路的关键元件之一。

301. 简述肖特基栅场效应晶体管(MESFET)。

MESFET是用金——半接触代替了JFET的P-N结做栅电极,它的工作原理与JFET相同,而且其电学性质与JFET相仿。所以把它与JFET归为一类讨论。MESFET是在半绝缘衬底上的外延层上制成的,用以减小寄生电容。将金属栅直接作在半导体表面上可以避免表面态

的影响。由于一般半导体材料的电子迁移率均大于空穴迁移率,所以高频场效应晶体管都采用N沟,又由于GaAs与硅相比,电子迁移率大5倍。峰值漂移速度大一倍,所以GaAs-MESFET在高频领域内得到广泛的应用。它在工作频率、低噪声、高饱和电平、高可靠性等方面大大超过了硅微波双极晶体管。

302. 跨导是如何定义的?

跨导是场效应晶体管的一个重要参数。它标志着栅极电压对漏极电流的控制能力。跨导定义为漏源电压 V_{DS} 一定时,漏极电流的微分增量与栅极电压的微分增量之比。

跨导的单位是西门子S ($1S=1A/V$)。器件的跨导与沟道的宽长比 W/L 成正比,所以在设计器件时通常都是依靠调节沟道的宽长比来达到所需要的跨导值。

303. 噪声来源有哪几种?

晶体管产生噪声的来源有热噪声、散粒噪声和 $1/f$ 噪声。只要温度大于0K,晶体管中载流子就要做无规则的热运动,这种无规则的运动叠加在载流子的规则运动上就产生了电流的起伏,成为热噪声。温度越高,热运动越剧烈,热运动产生的电流起伏在电阻上引起电压的起伏也越大。所以热噪声不仅与温度有关,也与电阻有关。

PN结处于正向偏置状态时,发射区向基区注入少数载流子,而运载电流的是带电量 q 的粒子,他们在运动过程中不断与晶格碰撞而改变其运动方向,因而使载流子的运动速度出现涨落。此外,通过PN结的载流子也会由于复合或热激发而产生数量上的涨落。载流子在数量上和速度上发生涨落,引起注入载流子在平均值附近发生载流子起伏所产生的电流脉冲具有颗粒性,因而将此种噪声称为散粒噪声。

$1/f$ 噪声是一种低频噪声,一般出现在1000Hz以下的低频频段。产生 $1/f$ 噪声的原因,目前认为可能与晶体结构的不完整性及表面状态或表面稳定性有关。晶体管制造过程中,一般都会在晶体内造成某些缺陷,如位错等。这些缺陷将起复合中心的作用。载流子占据复合中心,将引起复合电流变化,而产生 $1/f$ 噪声。

304. 与双极晶体管相比,场效应晶体管有哪些优点?

场效应晶体管是依靠多数载流子工作的器件,这使它具有许多优点,没有少子存贮效应,适合高频工作,抗辐照能力强;具有负的电流温度系数(由迁移率决定),可以避免热不稳定性二次击穿等。后一优点,使它特别适于制造大功率器件,而在双极功率晶体管中,二次击穿问题是令人感到十分棘手的问题。

场效应晶体管在很低的温度下仍有较高的跨导(常常高于室温下跨导值),可以工作在液氮甚至液氢的温度下,但双极晶体管的电流放大倍数随温度降低而迅速衰退,不能用在

低温范围。场效应晶体管输入阻抗高,有时成为一个优点,例如输入电路功耗小,便于级间直接耦合等等。

305. 试述电子速度过冲。

假如电子在不均匀电场中运动(如场效应晶体管的沟道中),突然从高迁移率的低电场区进入低迁移率的高电场区时,电子从高迁移率改变为低迁移率并不是立刻实现的,而是需要一个过渡时间,经过足够次数的碰撞,在这个时间内,一方面电子处于很高的电场中,另一方面又保持着低场下的高迁移率,因此电子的漂移速度可以达到极高的瞬态值,其值远高于稳态的速度——电场关系中所对应的速度值,甚至可以高于饱和漂移速度数倍,这种现象称为速度过冲。

306. 试述晶体管的开关时间。

晶体管作开关应用时,多半采用共发射极接法(发射极电位是零电平)。

对于NPN硅开关管来说,当基极输入是负脉冲或者是零电平时,发射结处于反偏或零偏,基极没有注入电流,集电极电流 I_c 也就很小。这时晶体管进入“截止区”,又称关态。当输入是正脉冲或正电平时,基极有了注入电流,就引起了很大的集电极电流 I_{CM} 。这时,晶体管进入“饱和区”(集电结处于“正偏”),又称开态。

晶体管从关态到开态和从开态到关态的转变都有一个过程,需要一定的时间。从关态转变到开态所需的时间,叫做开启时间;从开态转变到关态所需的时间,叫做关闭时间;这两个时间总和为开关时间。开关时间愈短,电路的开关速度愈快。

在饱和型开关电路中,晶体管的开关参数(延迟时间,上升时间,存储时间,下降时间)分别有如下的意义:(1)表示从截止区转变到放大区的边缘(临界通导)所需的时间;(2)表示从放大区的边缘转变到饱和区的边缘(临界饱和)所需的时间;(3)表示从饱和区转变到饱和区的边缘(临界饱和)所需的时间;(4)表示从饱和区的边缘转变到放大区的边缘(临界通导)所需的时间。所以,晶体管的开启时间等于延迟时间与上升时间之和;关闭时间等于存储时间与下降时间之和。

307. 功率场效应晶体管结构设计应考虑哪些因素?

结构设计中包括增加栅宽、提高漏源烧毁电压、降低热阻、减小寄生参数等诸方面的考虑。提高最大输出功率的最主要方法就是增加栅宽以提高最大输出电流 I_F ,但是每个栅的栅宽 z 不能太大,因此必须依赖于许多栅的并联。如果栅宽 z 太大,将因输入信号沿栅电极传播过程中的衰减而造成功率增益下降。

对于普通封装结构的功率FET,为了降低热阻,有源区的总体几何形状(即大量栅并

联后的总图形)以窄长为好。为了减小热阻,必须增大栅与栅的间距和减薄半导体片的厚度。

漏源烧毁电压低是提高FET输出功率的最大障碍。不管烧毁的真正机理如何,可以肯定击穿烧毁电压的直接起因之一是漏接触附近的电场过强。为了降低这个区域的电场强度,可以加厚接触区附近有源层的厚度。

308. 晶体管最大输出功率与频率的关系。

限制最大输出功率的两大主要因素是最大栅宽和最大漏源电压,后者由结构决定。而最大栅宽不能随心所欲的增加:(1)由于多栅并联时源引线电感不能随栅长增加成比例的减小而使增益降低;(2)寄生参量的影响使并联后输入阻抗不均匀导致输入功率不能均匀馈入各个子晶体管;(3)为了提高工作频率而减小栅长时必须同时缩短栅宽,由于以上原因,使得工作频率愈高的器件可以达到的最大栅宽愈小(在保证一定增益的前提下),因而最大输出功率随工作频率增加而下降。

309. 设备真空系统有哪几部分组成?

(1) 真空泵机组部分:包括机械泵、增压泵(罗茨泵)、分子泵(扩散泵或冷凝泵)等;

(2) 真空传输部分:包括真空管道、低阀、高阀、节流阀等;

(3) 真空测量部分:包括真空计、传感器等。

310. 真空度常用单位换算。

真空度常用单位是托和帕斯卡。

1托=133帕斯卡, 1帕=7.5×10⁻³托

一个大气压=760毫米汞柱=760托

311. 机械泵使用中应注意问题有哪些?

(1) 泵应安装在清洁干燥的地方;

(2) 经常检查泵的油面应符合油标位置,注意加油;

(3) 新安装的泵接通电源后应先试电机的转向,当转向正确后再安装试机;

(4) 泵停后需将泵的进气口放气,以防返油或下次启动困难;

(5) 如泵长期不用,应封闭进气口;

(6) 泵油选择标号要适中,且加油要适量。如果油过稀,则易挥发,起不到密封作用;如果油过稠,则阻力过大,不能抽气;加油过多则会发生喷油现象;过少则抽不上真空,所以选泵油标号要适中,且加油适量。

312. 电机转动正常，但为什么机械泵真空老抽不到其技术指标？

- (1) 可能因机械泵转速变慢，皮带松引起。排除方法是调整距离，张紧皮带；
- (2) 可能油量不足，应加合适油类，达到油标位置；
- (3) 油已发黑氧化，应清洗换油；
- (4) 个别密封圈漏气，换密封圈较复杂，应换整个泵试试。拆下的泵找专修人员维修。

313. 采用光纤传输的设备仪表如何保养？

有些设备仪表光信号利用光纤传输，优点是几乎无损耗地拐弯曲线传输且不受电磁干扰。平时要保持传输头干净，过一段时间用酒精擦洗一次。

314. 为什么设备仪表电子控制系统怕高温、高湿？

高温、高湿易造成半导体器件工作失灵，严重时烧毁器件，引发设备仪表的各种故障，是设备仪表电子控制系统的大忌。

每次开机后都应该检查一遍排风扇是否转动，排风好不好。例 PC 计算机，若经常出现死机，多数是 CPU 上风机不转了。遇上风机不转应及时更换。

现代计算机抗湿能力较强，老式计算机在湿度较大时，就不能正常工作，甚至乱了套，所以一般计算机应工作在相对湿度 60% 以下的环境中。

2.4 高级技师部分

315. 减少外延层缺陷的主要措施有那些?

- (1) 衬底的缺陷少;
- (2) 衬底的清洗符合要求;
- (3) 外延时, 衬底的处理适宜;
- (4) 外延生长工艺参数匹配合适。

316. 为什么需要发展分子束(MBE)外延?

随着光电子、微电子技术的发展, 要求器件的小型化及充分利用各种量子效应, 进一步提高频率、速度及研制特种新器件。为此, 需要发展新型的、生产过程能精确控制的外延技术, 可以制备人工新材料, 在原子尺度上精确控制外延层的厚度、组分、掺杂及异质界面平整度。这是我们常用的汽相和液相外延技术很难实现的。分子束外延是制备半导体多层超薄单晶薄膜的外延技术, 现在已扩展到金属、绝缘介质等多种材料体系, 成为现代外延生长技术的重要组成部分。

317. 请简述GaAs/AlGaAs 分子束外延。

GaAs/AlGaAs分子束外延具有代表性, 其生长工艺研究最完善, 应用也最广泛。

外延生长的基本工艺步骤如下:

(1) GaAs衬底的准备。在外延生长前获得清洁表面时非常重要的, 往往决定生长成功与否。

(2) 衬底温度与V/III束流比。是生长过程的关键环节, 它决定了外延层质量及表面形貌。对于GaAs(100)面上的生长GaAs及高Al组分的AlGaAs材料的生长温度分别控制在580℃~700℃。高质量的外延生长要求表面处于适当的V/III束流比。

(3) 异质结界面质量控制。改善GaAs/AlGaAs质量, 提高生长温度, 选择适宜的衬底晶向, 对改善界面质量都是有效的。

(4) 掺杂剂。在III-V族体系里, Si和Be被广泛用于N型和P型掺杂剂。

(5) 调制掺杂。利用异质结构在宽禁带材料一侧掺杂, 呈现二维特性。二维电子或空穴的迁移率远高于均匀掺杂材料, 利用这种结构, 制备出高电子迁移率场效应晶体管(HEMT)。

318. 分子束外延的特点有哪些?

- (1) 生长高纯度、高性能的外延薄膜。

(2) 生长速率慢, 约为 $1\mu\text{m/h}$, 可达到层厚、组分、掺杂的原子尺度控制。

(3) 生长温度低, 可以减少异质界面的互扩散, 实现突变结。适用于薄层、超薄层, 形成陡峭界面、多层次异质结生长。

(4) 大面积、均匀性良好。

(5) 装有高能电子衍射仪, 控制外延质量。

319. 请简述GaAs基量子阱激光器MOCVD外延材料。

MOCVD外延, 薄层外延的厚度可以控制在纳米尺度。因此量子阱的外延就突破了晶格匹配的限制, 经过仔细的计算和精确的控制, 可以得到无失配位错的应变量子阱材料。例如: 有GaInP、InGaAs、GaAsP、GaInNAs等多种应变材料可以作为激光器的有源区。应变量子阱的使用大大拓展了GaAs激光器的波长范围, 可以得到600nm~1200nm范围的各种波长。应变量子阱的采用还改善了激光器的性能和可靠性。GaAs基激光器MOCVD主要外延工艺参数有异质结界面的控制、外延的均匀性、外延的重复性等。另外, 衬底的选择也是外延的重要部分, 一般要求衬底位错密度小于 $500/\text{cm}^2$ 。

320. 简述GaN材料的外延及应用。

GaN衬底的制备非常困难, 目前无商业化的GaN衬底可用。GaN外延一般采用蓝宝石(Al_2O_3)、碳化硅(SiC)、硅(Si)作为衬底, 但它们与GaN的晶格失配度比较大, 其热匹配性能也差。为此, 人们采用低温缓冲层的三步生长法以及横向过渡生长的外延工艺, 降低外延材料的位错和缺陷密度, 提高材料质量和可靠性。

GaN光电子材料用于高亮度InGaN/AlGaIn/GaN蓝、绿色LED和激光器; GaN微波材料主要在高温、大功率、高频方面具有优势, 应用于功率开关, 功率放大器, 光电调制器和振荡器等。

321. GaN外延材料性能如何测试?

材料纯度、背景浓度、迁移率、位错密度是GaN外延材料的主要性能数据, 它们决定了GaN微波器件的频率(速度)、功率密度、可靠性等基本性能。其中, 材料浓度、迁移率由霍尔效应(Hall)测试得到, 位错密度可以通过腐蚀、观察测得, 也可以由双晶衍射分析得出。

322. 激光器外延材料分类有哪些?

一般按激光器的工作波长区分, 不同的波长对应不同的材料体系和应用领域, 简单明了。有时按有源区特征分类, 如按应变情况可分为压应变、张应变、无应变量子阱激光器; 按有源区有无铝元素可分为无铝激光器和有铝激光器; 按有源区量子化程度可分为量子阱

激光器、量子线激光器、量子点激光器。

323. 请简述GaP液相外延。

随着显示器的发展,发光二极管的需求大大增加。最近在图像显示、交通信号,甚至在照明等方面也广泛使用发光二极管。要求发光二极管的亮度大,效率高。迄今为止,最好的发光二极管都是用液相外延生长的。GaP红色发光二极管是由掺Zn, O晶体构成。N型掺杂剂为S, P型掺杂剂为Zn, 含氧浓度由加入镓溶液中 Ga_2O_3 的量来控制, 镓液可以重复使用, 也可以连续生长。

GaP液相外延生长过程: 镓溶液中放入GaP, 并掺入S, 经 1000°C 稳定1小时, 镓溶液中磷原子饱和后推入N型GaP衬底, 15分钟后, 降温生长, 生长1小时后降到 950°C 。关闭出气口, 并抽真空, 将镓溶液中的S真空蒸发掉, 经120分钟真空蒸发, 通入 H_2+NH_3 , 掺N, 并降温生长过渡层, 经45分钟生长, 温度降到 900°C 。加热Zn源, 通入Zn蒸汽, 然后继续降温, 当温度降到 810°C 时, 将GaP片脱离Ga溶液。

324. 请简述四元化合物的液相外延。

$\text{Ga}_x\text{In}_{(1-x)}\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ 四元化合物与InP匹配, 界面复合速度低, 用液相外延生长的 $\text{Ga}_{0.18}\text{In}_{0.82}\text{As}_{0.32}\text{P}_{0.68}$, $1.06\mu\text{m}$ 波长处的量子产额为7.5%。 $\text{Ga}_x\text{In}_{(1-x)}\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ /InP的激光器波长范围为 $0.95\sim 1.68\mu\text{m}$, 作为光纤通讯的光源。 $\text{Ga}_x\text{In}_{(1-x)}\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ 通常用于光电器件上, 从晶体缺陷以及发光效率来看, 用液相外延是最好的。外延装置与GaAs或GaP的液相外延装置相似, 只是In母液中按所要求的化学配比溶入一定量的Ga, As, P元素。生长常用降温法生长方法。

325. 分子束外延的展望。

分子束外延实现了在高真空的环境下, 在原子尺度上的晶体生长过程; 制备了各种不同材料体系的异质结、量子阱和超晶格结构; 促进了新一代微电子和光电子器件的发展。分子束外延作为新的超薄单晶薄膜生长技术, 还会不断的发展和完善, 其发展方向为:

(1) MBE生长的基本过程研究, 进一步提高材料质量;

(2) MBE技术研究, 包括新技术, 新设备的发展, 低维结构量子线, 量子点的直接生长等;

(3) MBE技术实用化, 促使成熟器件规模性生产, 形成材料的规模化生产, 提高竞争力。

326. 简述半导体材料的发展。

由于电子器件将不断应用于深海和外层空间技术, 使得器件的工作环境变得越来越恶

劣。以碳化硅和Ⅲ族氮化物为代表的第三代半导体材料能满足此应用要求。碳化硅和Ⅲ族氮化物材料的主要特点是具有宽禁带，在击穿电场和电子平均速度等方面更胜一筹，抗辐射能力更强。用碳化硅和Ⅲ族氮化物材料制备的器件和电路在高达500℃的环境中仍然能够正常工作。在21世纪，第三代半导体材料的质量将得到大幅度提高，进入实用化阶段。

在今后相当长的时期，硅单晶在信息产业中仍然会起重要的作用，第一代、第二代和第三代半导体材料将分别发挥各自的优势，起到互相补充的作用。

随着超薄层材料制备技术的发展，通过生长超晶格和量子阱结构材料，为制备新的光电子器件、微电子器件和集成电路奠定了基础。用分子束外延（MBE）方法生长的二维电子气材料的低温电子迁移率高，砷化镓基的高电子迁移率晶体管（HEMT）的特征工作频率达到200GHz，磷化铟基的高电子迁移率晶体管的特征工作频率超过300GHz，磷化铟基高电子迁移率晶体管（PHEMT）的最高工作频率已经达到600GHz。金属有机化学汽相沉积技术（MOCVD）已经成为制备光电子器件的重要手段之一，基于量子阱结构的光电子器件具有低的阈值电流、高的量子效率、高的调制速度、窄的线宽、较高的特征温度和极低的功耗等特点。

在硅单晶片上外延生长的锗硅合金是一种新型半导体材料。锗硅合金材料具有高速、高频和低功耗的特点。在加工技术上，锗硅合金与目前较成熟的硅加工工艺相兼容。因此，锗硅合金同时受到微电子领域和光电子领域的重视。

低维结构材料是相对三维块体材料而言的二维超晶格和量子阱、一维量子线及零维量子点材料。当器件的尺度缩小到纳米量级时，目前较成熟的硅集成电路工艺将不再适用，器件的制备工艺将发生本质的变化。完成电路功能设计之后，低维结构器件和器件之间的互联均要依靠低维结构材料生长技术来完成，材料制备工艺和器件制备工艺将紧密地结合在一起。低维结构信息功能器件和低维结构信息功能电路将是21世纪信息功能材料、器件领域研究的重点和奋斗的目标，它已经成为国际科学界和工程技术界关注的热点。

327. 什么是反冲注入？

离子在穿过介质膜或光刻胶注入时，或者通过窗口选择注入时，由于原子级联碰撞，介质膜或光刻胶的组分原子若获得远大于移动阈能 E_d 的能量，将产生移位并越过界面注入到衬底中的物理现象，称为反冲注入。反冲原子注入的数量与注入离子的能量、剂量、剂量率以及表面薄膜的类型和厚度等有关。

328. 什么叫多能量叠加注入？

多能量叠加注入是指同一种离子先后以不同能量、不同剂量的离子注入组合，其目的

是为了获得更宽更深的杂质浓度分布或特殊形状的杂质浓度分布。

329. 什么是双电荷离子注入, 进行双电荷注入需要具备什么条件?

把带二个正电荷的离子进行注入叫双电荷离子注入。因为双电荷离子通过相同的电位差所获得的能量比单电荷离子的能量大一倍, 所以同样一台离子注入机, 若采用双电荷离子注入, 其能量使用范围可扩大一倍。注意, 双电荷离子注入实际剂量是单电荷离子注入剂量的一半。

实现双电荷离子注入必须具备二个条件:

- (1) 离子源中要产生一定比例的待注入的双电荷离子;
- (2) 质量分析器后面要装有双电荷“过滤器”。

这是因为双电荷离子 A^{++} 和它的分子离子 A_2^+ 解体后的离子 A^+ 在磁分析器中具有相同的运动轨迹, 虽然它们都属于同种元素, 但它们的能量相差很大, 需要把解体后的单电荷离子 A^+ “过滤”掉, 只允许双电荷离子继续前进, 否则将造成所谓的“能量沾污”, 即入射离子的能量不一致。

330. 什么是离子注入损伤吸杂?

在半导体器件和集成电路的制造过程中, 往往会在有源区引入各种害的金属杂质和缺陷, 它们严重影响器件的电性能、成品率及可靠性, 为此采取了一些人为措施, 把分布在有源区及其附近的有害杂质缺陷转移到对器件性能没有影响的区域, 称为吸杂技术, 又叫吸除技术。已有多重吸杂技术, 其中, 利用离子注入在晶片背面所产生的辐射损伤在随后的热处理过程中成为有害杂质和缺陷的有效吸除核, 达到了吸杂的目的。由于离子注入损伤能准确控制, 使用方便, 特别在较低温度下表现出显著的吸杂效果, 所以离子注入损伤吸杂已成为常规工艺之一。

实验表明, 在相同的条件下, 硅中离子注入吸杂效果的顺序分别是 $Ar^+ > O^+ \geq P^+ > Si > As^+ > B^+$ 。所以, 常用 Ar^+ 离子注入损伤吸杂。

331. 如何定义离子注入掺杂的均匀性? 通常分别用什么方法测量离子注入均匀性、载流子浓度分布和杂质浓度分布?

设退火后注入掺杂层的薄层电阻为 R_s , 在同一圆片上测量了 M 个数据点: Rs_1 、 Rs_2 、 Rs_3 ... , Rs_M , 则该圆片上薄层电阻的平均值 $\bar{R}_s$ 为:

$$\bar{R}_s = 1/M \times (Rs_1 + Rs_2 + Rs_3 + \dots + Rs_M)$$

其标准偏差 σ 为:

$$\sigma = \left\{ 1/M - 1 \times \left[(Rs_1 - \bar{R}_s)^2 + (Rs_2 - \bar{R}_s)^2 + \dots + (Rs_M - \bar{R}_s)^2 \right] \right\}^{1/2}$$

只要M足够大(如 $M>100$),测量值 R_{si} 将符合正态分布。根据正态分布的特点,在 1σ 内,包含的测量数据点为68.3%;在 2σ 内,包含测量数据点为95.5%。比较多的是用 1σ 来定义均匀性,即用相对标准偏差的百分比 η 来表示不均匀性偏差,则有:

$$\eta = \sigma / \bar{R}_s \times 100\%$$

习惯上,把 η 值作为均匀性的指标。

随着集成电路掺杂对离子注入均匀性提出越来越高的要求,更为合理的应该用包含95.5%(2σ)的测量数据点的数值来定义均匀性。已经有很多离子注入机设备厂家在说明书上分别给出了 1σ 和 2σ 的均匀性指标。

在半导体芯片工艺中,一般用四探针 R_s 图谱仪测量注入晶片的薄层电阻来检测和验收注入机的均匀性和重复性;用扩展电阻法、C-V法或阈值电压法测量硅晶片中的载流子浓度分布;用C-V法或范德堡尔法测量GaAs晶片中的载流子浓度分布;用二次离子质谱仪(即SIMS)测量注入杂质的浓度分布等。

332. 硅集成电路中离子注入掺杂常用的能量和剂量范围是多少?

随着集成电路特征线宽的不断减小,圆片尺寸及集成度的不断增大,对离子注入的条件要求越来越苛刻。集成电路结构不同及特征线宽不一样,所用的离子注入条件也不一样。下面分别给出离子注入在双极型、MOS型和CMOS集成电路中的常用范围。

离子注入在双极型集成电路中的常用范围

用 途	注入的离子	能量范围 (KeV)	剂量范围 (cm^{-2})
制作(有源和无源)基区	B^+	20~200	$10^{13} \sim 10^{15}$
制作发射区	As^+	100~400	$10^{15} \sim 10^{16}$
制作 I^2L 发射区	P^+	>500	$10^{12} \sim 10^{13}$
制作电阻	B^+	50~200	$10^{12} \sim 10^{15}$
制作埋层	As^+ 、 Sb^+	150~500	$10^{15} \sim 10^{16}$
制作肖特基二极管	P^+ 、 As^+ 、 Sb^+	50~200	$10^{11} \sim 10^{13}$
制作沟道阻断环	B^+	200~400	$10^{14} \sim 10^{15}$
损伤吸杂	Ar^+ 、 P^+	100~200	$10^{15} \sim 10^{17}$

离子注入在MOS型集成电路中的常用范围

用 途	注入的离子	能量范围 (KeV)	剂量范围 (cm^{-2})
调节阈值电压	B^+ 、 P^+ 、 As^+	5~150	$10^{10} \sim 10^{12}$
制作P阱	B^+ 、 BF_2^+	20~200	$10^{12} \sim 10^{13}$
制作N阱	P^+ 、 PF_2^+	50~200	$10^{12} \sim 10^{13}$
制作源、漏区	B^+ 、 BF_2^+	20~100	$10^{15} \sim 10^{16}$
	P^+ 、 PF_2^+ 、 As^+	100~200	$10^{15} \sim 10^{16}$
提高耐压防止穿通	B^+ 、 P^+	150~300	$10^{11} \sim 10^{12}$
阻沟环	B^+ 、 P^+	50~200	$10^{12} \sim 10^{14}$
制作电阻	As^+ 、 Sb^+	100~200	$10^{13} \sim 10^{14}$
制作SOI	O^+ 、 N^+	200~1000	$10^{17} \sim 10^{18}$
形成高阻层	Ne^+ 、 Ar^+ 、 Si^+	100~400	$10^{15} \sim 10^{16}$
损伤吸杂	Ar^+ 、 P^+	100~200	$10^{15} \sim 10^{17}$

0.25 μm CMOS器件的离子注入应用实例

用 途	注入的离子	能量范围 (KeV)	剂量范围 (cm^{-2})
N型深反向阱注入	P^+	800~1000	$1 \times 10^{13} \sim 3 \times 10^{13}$
P型深反向阱注入	B^+	200~300	$1 \times 10^{13} \sim 3 \times 10^{13}$
N阱注入2#	P^+	~300	1×10^{15}
场阈值电压调节注入	B^+	~80	$\sim 4 \times 10^{16}$
N沟穿通阻止环注入	B^+	~65	$\sim 5 \times 10^{12}$
N沟阈值电压调节注入	B^+	~15	$\sim 3.5 \times 10^{12}$
P沟穿通阻止环注入	As^+	~180	$\sim 2.5 \times 10^{12}$
P沟阈值电压调节注入	As^+	~35	$\sim 1 \times 10^{12}$
多晶硅栅注入	P^+	~30	$\sim 5 \times 10^{15}$
N型器件LDD注入	P^+	~10	$\sim 3 \times 10^{12}$
P型器件LDD注入	B^+	~10	$\sim 8 \times 10^{12}$
N型器件源、漏区注入	As^+	10~30	$3 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{15}$
P型器件源、漏区注入	BF_2^+	~5	$3 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{15}$

333. 砷化镓集成电路中离子注入掺杂常用的能量和剂量范围是多少？

在实际工艺过程中，由于器件和电路的结构不同，选用的工艺途径也不尽相同，则离子注入的条件也不一样。下表分别给出凹槽栅和自对准全离子注入GaAs 集成电路常用的能量和剂量范围。

离子注入砷化镓集成电路常用的能量和剂量范围

用途	注入的离子	能量范围 (KeV)	剂量范围 (cm^{-2})
埋P型层	Be^+ 、 Mg^+	100~200	$10^{12} \sim 10^{13}$
n ⁺ -n层	Si^+ 、 Se^+	60~200	$10^{12} \sim 10^{13}$
自对准N型有源沟道注入	Si^+ 、 Se^+	50~150	$10^{12} \sim 10^{13}$
自对准源、漏区注入	Si^+ 、 Se^+	100~400 宜多次能量叠加注入	$10^{13} \sim 10^{14}$
平面隔离注入	B^+	100~200 宜多次能量叠加注入	$10^{12} \sim 10^{14}$
	O^+	200~400 宜多次能量叠加注入	$10^{12} \sim 10^{14}$

334. 离子注入有些什么新的应用？

离子注入除了应用于半导体芯片工艺外，还广泛地应用于离子束材料改性。这些材料包括金属材料、超导材料、高分子材料、压电材料、声光材料、磁性材料、陶瓷材料、生物材料……通过选择不同的离子注入，改变了材料的相关性能。例如：分别用不同离子的大剂量注入，可以提高金属材料的表面硬度，减小磨擦系数，增强耐磨性能，提高疲劳寿命，以及抗氧化抗腐蚀性能；提高超导材料的临界温度；改变高分子材料的电阻率；改变压电材料的光折射率，制作光波导和光栅滤波器……总之，离子注入技术的应用非常广泛，在此不一一介绍。

335. 什么是离子注入的三维模式？

随着硅集成电路向着深亚微米、深亚半微米乃至纳米工艺的推进，掺杂层高宽比相对增大，原来二维模式的掺杂曝露出它的局限性。由于离子束扫描注入时存在一定的扫描角，并在经过圆片表面的扫描过程中不断变化，导致栅电极一端侧面的掺杂屏蔽效应（又叫暗区效应），尤其是在LDD（轻掺杂漏）结构中，栅极端部杂质浓度的任何微小变化都会使器件电性能恶化。另一方面，在沟槽式电容中，也产生明显的掺杂暗区效应，造成掺杂不均匀，为此采用第三维的旋轴注入。即为了避免轴沟道效应采用可调倾斜角度（ $0^\circ \sim 60^\circ$ ）

注入；为了避免面沟道效应，采用可调方位角（ $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ ）注入；为了避免掺杂暗区效应，采用可调转速的旋转注入，从而实现离子注入的三维模式。

336. 离子注入晶片常出现的质量问题及其原因是什么？如何解决？

即使离子注入机和退火的工作人员操作正确无误，有些注入后的晶片仍会出现以下常见的质量问题。

- （1）目检晶片表面有轻微“染色”；
- （2）退火后注入杂质电激活率不高；
- （3）杂质晶片表面的浓度均匀性差；
- （4）杂质晶片深度方向上的浓度分布不整齐；
- （5）晶片上的介质层有损坏点。

排除其他因素，单从离子注入本身分析，第（1）点是各种微粒沾污晶片所致；第（2）点无疑是质量数沾污；第（3）点应该是注入的剂量沾污和注入模式是否正确选择；第（4）点是由于注入的能量沾污和注入模式是否正确选择；第（5）点一定是在晶片表面的介质层上电荷积累到一定程度产生静电放电的缘故。这些因素都会影响离子注入层的质量及其均匀性和重复性。

解决措施：一是尽量提高系统的真空度；二是作为半导体芯片生产用的注入机必须一机一用，避免交叉沾污；三是加一个电子流中和装置或减小注入剂量率。当然从注入机本身来说，设备制造厂家不断地改进离子注入机的设计，提高机器的性能是最根本的。

337. 何谓MOSFET？

金属——氧化物——半导体场效应晶体管简称MOS场效应晶体管。图2-9所示是N沟道硅MOS场效应晶体管。如图2-9所示，在P型硅衬底上有两个 N^{+} 区，分别叫源极和漏极。栅极上没有外加电压时，源、漏极之间不通导。栅极上加上相当大电压（源极接地）时，栅极下面的P型硅表面上出现N型反型层，成为连接源、漏极的沟道。改变栅压，可改变沟道中的电子密度，从而改变沟道电阻。

出现沟道后，保持栅压不变，在漏极上加一个小的正电压 V_D ，这时沟道是一个电阻，漏、源极之间的沟道电流 I_D 随 V_D 而线性增加。 V_D 增大时，栅极与沟道各点间的电位差减小，沟道电阻增大，这时 I_D - V_D 特性曲线向下弯曲。 V_D 进一步增大时，栅极与沟道漏端的电位差减小到不足以在漏端维持反型层，沟道在漏端中断。这时的 V_D 叫饱和漏极电压。 V_D 进一步增大，沟道中断点向源极移动，但沟道两端的电压及电流几乎保持不变。此时沟道与漏极的关系类似于双极晶体管基区与集电区之间的关系。

上述MOS场效应晶体管在零栅压下不导通, 需要加正栅压才能在P型硅表面出现连接源、漏极的N型沟道。这种MOS场效应晶体管, 称为N沟道增强型场效应晶体管。

如果P型硅衬底表面上不加栅压就已存在N型反型层沟道, 加上适当的栅压, 可使沟道电阻增大或减小。这样的MOS场效应晶体管, 称为N沟道耗尽型场效应晶体管。

若上述MOS场效应晶体管的衬底是N型硅, 则同样可以有P沟道增强型及耗尽型MOS场效应晶体管。图2-10所示是P沟道增强型硅场效应晶体管。

MOS场效应晶体管的金属栅极由二氧化硅膜所绝缘, 所以又称为绝缘栅场效应晶体管。

MOS场效应晶体管具有很高的输入阻抗在电路中便于直接耦合, 用于集成电路中, 具有结构简单等优点。

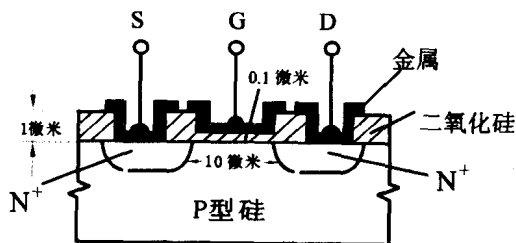


图2-9 N沟道增强型硅场效应晶体管

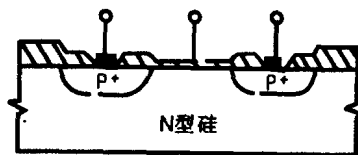


图2-10 P沟道增强型硅场效应晶体管

338. 微波大功率MOS场效应晶体管与双极晶体管相比有什么优点?

MOS场效应晶体管作为微波功率器件, 与双极晶体管相比, 具有以下优点: (1) 制造工艺简单, 封装结构更为简单; (2) 反馈系数低, 电源电压高, 便于电路应用; (3) MOS场效应晶体管放大器具有平方律特性, 特别是MOS场效应晶体管在大电流下有负的温度系数, 热稳定性好, 可避免热逃逸及二次击穿, 有更宽的安全工作区。

339. 何谓微波低噪声场效应晶体管?

微波低噪声场效应晶体管是指在微波频率下噪声系数较低的场效应晶体管, 目前主要是指肖特基势垒栅场效应晶体管。这种晶体管主要用砷化镓材料制作, 也有采用硅材料的。

肖特基势垒栅场效应晶体管的工作原理与结型场效应晶体管相似, 是通过栅极的输入信号使肖特基势垒耗尽层厚度发生变化, 以使源、漏间电流通路(沟道)的厚度发生变化(电导发生变化), 从而引起漏极电流的变化。

与硅双极晶体管相比, 砷化镓肖特基势垒栅场效应晶体管有工作频率高、寄生效应小、输入阻抗大、增益高、输出功率较大、噪声低、工艺简单、成品率高、抗辐射、耐高温等许多优点。

340. 何谓硅闸流管?

硅闸流管是一种由硅单晶制成的, 包含三个或更多个PN结的双稳态半导体器件的总称。它具有与普通闸流管相似的控制特性。

这类器件主要包括可控硅整流器、双向可控硅、光激可控硅、可控硅开关及硅双向开关等。

341. 何谓薄膜晶体管?

薄膜晶体管是由淀积在绝缘衬底上的金属、半导体、绝缘体等薄膜构成的一种金属—绝缘体—半导体场效应晶体管。它是全薄膜化电路中的一种重要元件。

按薄膜淀积次序的不同, 薄膜晶体管的结构有多种形式, 如交叉结构及共平面结构。绝缘衬底一般用硫化镉或硒化镉, 金属电极用金或铝, 绝缘层用二氧化硅或氧化铝。

薄膜晶体管的电特性基本上与金属—氧化物—半导体场效应晶体管相同。薄膜晶体管的电特性会随时间、温度而变化, 有时还随外加电压而变化, 再现性较差, 这些缺点限制了全薄膜化集成电路的发展。

342. 试述高电子迁移率晶体管。

电子迁移率和载流子浓度都比较高的一种新型晶体管, 它是基于调制掺杂的异质界面上二维电子气的性质而制成的。这种晶体管的结构与场效应晶体管相似, 但跨导、最高工作频率、噪声系数等性能都优于后者, 可用于高性能逻辑线路, 毫米波混频器与振荡器等方面。

343. HBT与FET有什么不同?

HBT和FET在结构上有几个显著不同之处, 使之在特性方面也有相应的差别。HBT是垂直器件, 电子从发射极到收集极垂直地穿越外延生长层。采用现代晶体生长技术, 能重复性很好地将渡越的总距离制作得很小, 大多只有几百埃, 可短时间渡越。在FET中, 电子是横向穿越器件, 渡越的总距离由光刻限定的栅长决定。对FET的制造来说, 主要的挑战就是如何重复制造具有亚微米尺寸的栅, 以获得高 f_T 。

在HBT中, 整个发射极面积都可以导通电流, 故其单位芯片面积的电流处理能力相当高。对双极晶体管来说, 输出电流随输入电压呈指数变化, 这种变化实质上比FET的变化(通常为线性或二次方)更急剧。这是因为在FET中, 所加的电压大部分是加到栅与沟道之间的隔离区上, 而不是对沟道内的载流子密度进行直接调制, 这样双极晶体管的跨导超过FET的10~100倍(由所用的输出电流的大小而定)。

在HBT中, 为使电流导通所需的阈值电压是PN结的内建电位所决定, 其大小主要取决

于半导体的组分及其制造重复性的好坏。在FET中, 阈值电压是由沟道的掺杂和厚度来决定。

344. 请简述双极晶体管的噪声——频率响应特性。

由于噪声是无规则变化的电压或电流起伏, 因此它含有各种频率成分, 从低频到高频都有, 而且各种频率成分的噪声功率也不相同。所以噪声系数公式中的 PN_o 和 PN_i 是指某一种特定频率(例如30兆赫)附近单位频带宽度(1赫)内的输出和输入噪声功率。双极晶体管的噪声系数随频率的变化。一般来说, 在低频和高频段, 噪声系数显著增大, 中间一段频率, 噪声系数最小, 且基本上不随频率变化。

在高频段, 噪声系数的增大是由于晶体管功率增益的下降; 在低频段, 噪声系数的增大是由于晶体管的 $1/f$ 噪声起了主要作用。因为半导体中的一部分载流子在表面产生和复合, 这种产生和复合受表面状态的影响比较大, 如果表面处理不好, 晶体管的 $1/f$ 噪声就会很大。 $1/f$ 噪声只在低频时起作用, 当晶体管作高频应用时, 它的影响可以忽略不计。

晶体管的特征频率愈高, 它的基区宽度就愈小, 少数载流子渡越基区的时间也愈短, 则由于基区复合的起伏而使集电极电流也随着发生起伏的配分噪声可以忽略不计。这时, 基极电阻上的热噪声就成为最突出的矛盾了。

因此, 对于高频晶体管来说, 降低它的噪声系数的途径是: (1) 减小基极电阻; (2) 提高特征频率; (3) 要求有足够高的电流放大系数。

此外, 晶体管的噪声系数还与发射极电流、信号源内阻、环境温度等有关。

345. 双极晶体管集电结耗尽层电导调制效应(柯克效应)。

当双极晶体管发射极电流相当大, 注入基区中的少数载流子密度接近或大于集电结耗尽层中的掺杂浓度时, 在一定的集电结电压下, 耗尽层向集电区方向移动, 从而使基区宽度增加。这种现象, 称为集电结耗尽层电导调制效应, 即柯克效应。

在PNP晶体管中, 没有电流或电流不大时, 集电结耗尽层中的电荷在基区一侧是带正电的杂质离子电荷, 在集电极一侧是带负电的杂质离子电荷。在大电流下, 注入基区的空穴以有限速度通过集电结耗尽层, 因而基区附近的集电结耗尽层中正电荷密度增加, 而耗尽层的另一侧负电荷密度减小。为了保持电中性, 整个集电结向集电区方向移动, 因而基区宽度增加。这种现象在基区掺杂浓度小于集电区时特别显著。基区宽度增加, 注入载流子在基区中的渡越时间增加, 使晶体管的特征频率下降。这种现象对高频大功率晶体管很重要, 是限制高频大功率晶体管最大电流密度一个重要因素。

346. 请简述双极晶体管基区宽度调制效应(尔来效应)。

双极晶体管的有效基区宽度随集电结反向电压而变化的现象,称为基区宽度调制效应,也称为尔来效应。基区掺杂浓度小于集电区时,这种现象最为显著。

基区宽度调制效应会引起晶体管电流放大系数 α 及 β 的变化,产生由集电极到发射极的电压回授,并使输出电阻减小。

晶体管的有效基区宽度发射结及集电结在基区中的边界之间的距离。加在集电结上的反向电压增大时,集电结耗尽层宽度增大,它的边界向基区延伸,使基区宽度减小;在发射极电流为一定值时,集电极电流必然因此而增大,表明输出电阻减小, α 及 β 增大。

在发射极电压为一定值时,如基区宽度因集电极电压的增大而减小,发射极电流也因此而增大;要保持发射极电流不变,发射极电压必然减小,因而出电压回授。

347. 何谓双极晶体管的穿通及穿通电压?

在双极晶体管的发射极与集电极间加上反向电压时,大部分反向电压分配在集电结上作为反偏压,因而集电结耗尽层宽度增加。若基区的掺杂浓度比集电区小,则耗尽层在反偏压下向基区伸展,使基区宽度减小。反向电压增大到一定值时,基区宽度减小到零,此时晶体管发射极与集电极处于短路状态,电流急剧增大,这种现象叫做“穿通”。发生穿通时的发射极与集电极间的电压叫做“穿通电压”。穿通是双极晶体管发射极与集电极间的两种击穿之一,另一种是雪崩击穿。晶体管的穿通电压小于雪崩击穿电压时,穿通电压才有意义。

基区较薄的合金晶体管,它的发射极与集电极间的最高工作电压常受穿通电压的限制。台式及平面晶体管不易发生穿通现象,它们的发射极和集电极间的最高工作电压常受雪崩击穿电压的限制。

348. 试述双极晶体管发射极电流集边效应。

功率晶体管在大电流下工作时,基极电流也较大。基极电流在横向基区扩展电阻上产生一个较大的电压降,其结果是:发射结不同部位上的正偏压值不相等。愈靠近中央部位,发射结正偏压越小,甚至可能反向。靠近基极接触的发射结部位,正偏压较大。因此,发射极电流密度中央部位小,电流基本上集中在发射结边缘。基极电流很大时,发射结的有效面积集中在结的边缘。这种现象叫做发射极集边效应,或者叫基区自偏压效应。

射频功率晶体管的工作频率与 f_T 很接近,故基极电流很大,约等于发射极电流,此时电流集边效应最显著,晶体管发射结的有效面积显著减小,为了尽量减小晶体管的发射结无效面积,提高晶体管的高频性能,在设计高频晶体管时,发射结周长要尽可能大,面积要尽可能小,即两者之比要尽可能大。

349. 何谓阈值电压和夹断电压？

MOS增强型场效应晶体管由截止状态转变到通导状态所需的最小栅——源电压，称为阈值电压，以 V_T 表示。 V_T 也称开启电压。N沟、P沟MOSFET都可作成增强型器件。

夹断电压 V_{DO} 是指耗尽型场效应晶体管通导状态转变到截止状态的相应栅——源电压。N沟、P沟MOSFET都可作成耗尽型器件。

GaAs MESFET通常是耗尽型器件，其夹断电压在2~3伏范围。

硅结型场效应晶体管通常是耗尽型器件。

350. 试述双极晶体管基区电导调制。

晶体管基区的电导率随发射极电流增加而增加的现象，称为基区电导调制。

晶体管发射极电流很大时，注入基区中的少数载流子密度可能大大超过基区中的掺杂浓度或基区中原有的多数载流子密度。因为基区要保持电中性，基区中的非平衡电子及空穴密度必须相等。因此，基区中的多数载流子密度也必须随同注入的少数载流子密度一起增加。在大电流下，晶体管基区中的载流子密度大大增加，因而基区电阻减小。

基区中多数载流子密度增大，发射极的发射效率减小。因此，在大电流下，晶体管的电流放大系数 α 及 β 随发射电流的增大而减小。

351. 何谓光电晶体管？

光电晶体管也是一种结型晶体管，但是光能够照到集电结附近的结构上。光的作用是增大通过反向偏置的集电结的电流，如果晶体管的基极端开路，那么电流的增量被晶体管放大，形成更高的集电极电流，这与共发射连接中集电极——基极漏电流放大完全相似。光电二极管和光电晶体管的重要特点之一就是器件的作用面积很小，因此它们就能很成功地用作位置指示器。同样如果入射光从一个大的面积被聚集到作用区域上，就可以得到很高的灵敏度。

352. 集成电路是什么？

采用适当的工艺加工，将电子电路中的有源器件（二极管、晶体管等），无源元件（电阻、电容、电感）及其互连线制作在半导体基片或绝缘基板上形成具有特殊功能的电子电路，即为集成电路。

集成电路的概念最先是由英国皇家雷达研究所的达默提出的，1952年5月他认为随着晶体管工艺和半导体技术的进展，可能实现在一块固体上制成无连线的电子设备。1958年美国德克萨斯州仪器公司的奇尔比研制成功第一块集成电路（锗），并因此获得了2000年度的诺贝尔物理学奖。1964年十三所在石家庄研制出我国的第一块集成电路。

353. 集成电路是如何分类的?

从1958年第一块集成电路问世至今已将近半个世纪,近50年来,集成电路取得了持续不断的飞跃发展。科学地将集成电路分类,对于了解集成电路,促进集成电路的研制和生产,推广集成电路的应用都是十分必要的。

集成电路按它的结构和制造技术分类,可以分为单片集成电路和混合集成电路两大类。这两大类内又可分以分为若干小类,例如,单片集成电路又可分为硅单片集成电路、砷化镓单片集成电路等。

集成电路按功能用途可分为数字集成电路、模拟集成电路、微波集成电路、光电集成电路等几大类。同样,在大类里面也包含着很多专门功能的门类。

集成电路按集成度(单个集成电路芯片所包含元器件的数量),可以分为小规模集成电路、中规模集成电路、大规模集成电路、超大规模集成电路和系统芯片等。

354. 什么是单片集成电路?

在半导体基片上,全部采用半导体工艺制作有源器件和无源元件的集成电路,称为半导体单片集成电路或半导体集成电路,第一块锗、硅集成电路是1958年先后由美国德克萨斯州仪器公司的奇比尔和仙童公司的诺伊斯分别发明的。几十年来硅集成电路一直快速发展,成为当今微电子技术的主流,现代半导体集成电路是用一整套硅平面工艺(即氧化、外延、扩散、光刻、离子注入、蒸发、溅射等),将电路中的元器件制作在一块半导体基片上,即集成电路芯片上。在制作过程中,一方面用特殊的结构和/或工艺技术对元器件在电性能上实施隔离,使它们不会互相影响(诸如短路等),同时实现必要的互连,实现电路的总体功能。硅集成电路是半导体微电子产业的主流。后来,在微波超高速领域使用GaAs材料,称之为GaAs集成电路;在单晶绝缘基片上外延半导体材料,制作具有特殊功能的电路,也属单片集成的范畴,称为SOI(绝缘体上生长硅材料)结构集成电路,例如蓝宝石上外延硅,可制成抗辐照性能良好的单片集成电路。

355. 试述混合集成电路的基本特点。

混合集成电路与单片集成电路同属于集成电路的范畴,它的特点是在绝缘基片上(陶瓷或其他介质),用薄膜或厚膜工艺做成元件构成无源网络,然后焊上分立的半导体器件或半导体集成电路以及其他元件构成的集成电路。

混合集成电路的尺寸相对较大,电阻、电容采用精度高、温度性能好的薄膜、厚膜工艺制造,采用的有源件或芯片经过严格的测试和可靠性筛选,从而使整个电路达到良好的状态。

混合集成技术较多地用于制造大功率集成电路、混合微波集成电路以及特殊功能的组件或子系统，它与单片集成互相补充实现高性能、高难度的功能集成，或用于制造一些用量较少、体积重量要求稍宽的电路产品。

半导体器件和单片集成电路往往构成混合集成电路的关键器件。

356. 数字集成电路是什么？它主要包括哪些门类？

数字电路最基本的定义是在它的输入端和输出端用数字信号工作的集成电路，它们通常以“开”和“关”两个状态或者以高、低电平来对应“1”和“0”二进制数字信号进行数字运算。

采用二进制计数进行数字运算、逻辑函数运算、存储传输及转换的集成电路属数字集成电路。通常的数字成电路由各种门电路、触发器电路、记忆元件组成。将它们进行组合后可以构成各种类型的数字集成电路如存储器、计数器、寄存器、编码器、译码器、数值比较器、函数发生器等。

各种数字电路应用最广泛，在整个半导体、微电子产品中，数字电路产业品种最多，产量最大。在现代文明社会的各个领域，从战略武器装备、现代工业的先进设备一直到家用电器乃至儿童玩具都要采用到各种形式的数字电路。

制造数字电路的基本技术就是本书所介绍的半导体芯片制造工艺。

357. 什么是模拟集成电路？它们又有哪些类别？

这是一类用来处理模拟量的集成电路，即主要对电压或电流进行放大、转换、传输、运算等的集成电路。模拟集成电路是从线性放大器开始发展的，此后又出现振荡器、模拟乘法器等非线性电路，因此，它又可以分线性集成电路和非线性集成电路两大类。

模拟集成电路按用途可以分为如下五类：

- (1) 通用模拟电路，包括运算放大器、稳压电源电路等；
- (2) 工业控制与测量电路，包括波形发生器、传感器电路、功率控制电路等；
- (3) 通信电路，包括电话传真机电路、移动通信电路等；
- (4) 消费类电路，包括电视机电路、音响电路等；
- (5) 军用电子装备电路。

358. 什么是微波单片集成电路？

以微波半导体有源器件和微波无源元件为基础，设计、制造的工作在微波频段的单片集成电路称微波单片集成电路（MMIC），微波单片集成电路完全用半导体集成电路技术制成的，它的重量和尺寸比混合微波集成电路（HMIC）要小得多。

目前, MMIC主要是用化合物半导体材料制造的, 由于半绝缘GaAs的电阻率高达 $10^7 \sim 10^8$ 欧姆-厘米, 是很好的微波传输介质, 成为目前首选的衬底材料, 有源器件主要是MESFET、HBT、HEMT、PHEMT和MHEMT等各种GaAs微波晶体管。应用GaAs MMIC技术, 可设计制造各种微波电路包括低噪声放大器、功率放大器、VCO、变频、开关、移相、衰减以及各种宽带、超宽带微波单片集成电路等, 目前进一步发展成为多功能芯片或单片子系统, 例如单芯片T/R组件等。

微波单片集成电路在通信卫星、雷达等领域具有重要的用途。

359. 集成电路按器件结构分类可以有哪些?

集成电路按器件结构分类, 主要是根据构成集成电路的有源器件, 特别是晶体管的类别来划分的。可以分为双极型集成电路、金属氧化物半导体集成电路和双极——金属氧化物半导体集成电路。此外, 还有以各种微波晶体管为主体的微波集成电路以及光电综合的光电集成电路等。

360. 什么是双极型集成电路?

用双极晶体管作为基本的有源器件, 再结合使用二极管、无源元件等设计制造的集成电路叫双极型集成电路。双极晶体管的得名是由于器件工作时存在两种极性的载流子, 即电子和空穴, 它们同时在器件工作过程中起着重要的作用。

在双极型集成电路使用的晶体管可以有NPN晶体管、PNP晶体管和异质结双极晶体管等。

双极型集成电路是半导体集成电路中最早出现的一种电路类型。在功能上, 它可以设计成为数字电路、模拟电路以及微波电路等。

双极型集成电路的优点是速度快, 工作频率高, 负载能力强, 稳定性好, 主要缺点是功耗较大, 集成度较低。

361. 试述金属氧化物半导体集成电路的基本结构、类别和特点?

金属氧化物半导体集成电路又称MOS集成电路, 它是采用金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET), 作为有源器件的集成电路, 由于MOSFET的输入阻抗高、功耗低、工艺可控性好, 因此它成为大规模集成电路的核心器件。

由MOSFET构成的集成电路有PMOS集成电路、NMOS集成电路和CMOS集成电路, 它们分别以P沟道MOSFET、N沟道MOSFET以及用PMOSFET和NMOSFET互补构成集成电路的有源器件。

特别要提出的是CMOS集成电路的优点十分突出, 它静态功耗低, 允许电流电压波动

范围大,抗干扰能力强,工作速度快、扇出系数大,输出逻辑振幅大,因而成为超大规模集成电路的主流技术。

362. 什么是双极——金属氧化物半导体集成电路?

双极型集成电路在速度和驱动能力(负载能力)方面具有明显的优势,但功耗较大,集成度较低而金属氧化物半导体(MOS)集成电路则具有低功耗,抗干扰能力强和集成度高的优点。综合两者优点,结合双极和MOS两种工艺进行设计,以实现特定功能要求的集成电路称作双极——金属氧化物半导体集成电路,简称BiMOS电路。BiMOS集成电路中采用CMOS技术(设计和工艺),则称该电路为BiCMOS电路。

363. 集成电路的规模是如何定义和划分的?

集成电路所包含的元器件数,称为集成度。集成电路的规模是以它的集成度,即它所包含的元器件数的多少来划分的。

集成电路(IC)一般分为小规模集成电路(SSSI)、中规模集成电路(MSL)、大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI)、特大规模集成电路(ULSI)和巨大规模集成电路(GLSI)。如上所述,规模大小通常以集成度或每个芯片所含门数来划分的,如下表所示。

集成电路规模划分

	SSI	MSI	LSI	VLSI	ULSI	GLSI
芯片所含元器件数	$<10^2$	$10^2 \sim 10^3$	$10^3 \sim 10^5$	$10^5 \sim 10^7$	$10^7 \sim 10^9$	$>10^9$
芯片所含门数	<10	$10 \sim 10^2$	$10^2 \sim 10^4$	$10^4 \sim 10^6$	$10^6 \sim 10^7$	$>10^8$

1958年出现的第一块硅集成电路上含12个元件,而今GLSI的集成度已超过 10^9 个,并且在功能上发展把一个电子系统集成到一个芯片上(SOC)。

364. 为什么要采用专用集成电路?制造专用集成电路的基础条件是什么?

随着集成电路的迅速发展,应用领域不断扩大,由于电子产品特殊功能的要求,保护知识产权以及一些特殊应用的保密要求等因素,采用通用的标准逻辑电路或通用的集成电路已不能适应实际应用和竞争的要求,专用集成电路便应运而生,顾名思义,专用集成电路(ASIC)是为特殊用途或特定用户设计和制造的集成电路。

制造专用电路的基本条件是要有工艺较全的标准加工线和成熟的IC CAD工具,它们是实现ASIC的两大支柱。

365. 集成电路计算机辅助制造是指哪些内容?

(1) 高度自动化的集成电路生产线:构成工艺线的设备仪器都已实现计算机控制,单

机高度自动化。

(2) 全工艺过程模拟系统。

① 对工艺过程进行物理模拟, 优化工艺, 优化器件结构;

② 三维工艺模拟, 减小工艺改进的消耗;

③ 可靠性模拟, 通过设定器件结构, 如掺杂浓度、氧化层厚度等等, 评估工艺对器件特性和成品率的作用, 快速确定新工艺的制造结果。

(3) 通过计算机管理系统, 对生产线的运转状态进行实时管理, 一般包括在线生产过程监控(PCM)和在线工艺成品率统计分析(SPC), 缩短生产周期及合理使用资源的晶片跟踪和调度系统, 控制颗粒污染的无纸管理系统等。

通过实施集成电路计算机辅助制造, 可以有效地保证工艺的一致性, 高效率和高成品率。

366. 什么是集成电路设计中心? 它有哪些类型?

集成电路设计中心是专门从事集成电路设计的实体组织。在集成电路发展的初期, 集成电路的设计与生产制造通常是一个整体, 随着集成电路CAD技术的迅速发展、工艺水平日益完善、生产制造技术标准化, 集成电路设计逐渐与加工制造部门分离形成独立的设计中心, 专门从事集成电路的设计工作。

目前存在着四种类型的设计中心:

(1) 与集成电路生产、制造部门同属于一个公司的设计中心。

(2) 无晶片制造部门的集成电路设计中心, 它可以自行完成集成电路的设计及相应的版图设计, 委托代加工线(Foundry线)加工制造, 这类设计中心又称Fabless, 意思是无制造厂的集成电路公司。

(3) 接受客户委托设计的集成电路设计公司, 亦称Design house, 意为设计所, 它的特点是用户委托设计并买断知识产权, 设计出的IC全套资料交用户所有。

(4) 电子整机厂家成立的IC设计中心设计自己需要的专用集成电路(ASIC)为自己的产品服务。

367. 什么是标准工艺生产线?

进入到20世纪80年代中期后, 一方面集成电路制造技术成熟生产工艺技术可以实现标准化, 另一方面由于集成电路的应用越来越广泛, 集成电路厂家提供的各种标准集成电路产品已不能满足进一步降低电子系统的价格和提高性能的要求, 对专用电路的需求量剧增, 因而出现由用户设计芯片, 委托具有标准工艺能力生产线进行加工的芯片制造方式。习惯

上,把这类生产线称为芯片代加工线,或标准工艺生产线或Foundry线。

标准工艺生产线必须工艺稳定、可重复,它以成套的设计规则、设计参数以及它们在工艺上的兑现对用户负责,同时,它应具有较强的柔性,能在适当的技术规则范围内,完成不同用户,不同设计的芯片加工。

368. 为什么要重视集成电路的可靠性?影响集成电路可靠性质量的因素有哪些?

集成电路的可靠性和集成电路的功能及电参数特性一样,是集成电路的重要品质因素,它在很大程度上决定了使用集成电路的设备和系统的可靠性。集成电路的可靠性主要取决于设计、工艺和制造过程的控制。影响集成电路可靠性的因素除工作时电压、电流和耗散功率容量不足外,常与集成电路内部氧化层及其他介质层的质量,欧姆接触的质量,互连金属条的电流容量和抗电迁移能力,以及集成电路装配和封装时带来的缺陷有关。在正确解决了可靠性设计之后保证芯片制造的工艺质量是提高集成电路可靠性的关键。

369. 试述集成电路失效的定义。集成电路失效的模式和机理是什么?

集成电路在使用过程中,丧失规定的功能即为失效。

集成电路的失效模式是失效的表现形式,例如开路、短路、增益降低等等。

集成电路失效的物理、化学变化等内在的原因称为集成电路的失效机理。

370. 什么是集成电路的失效率?

工作到某一定时刻尚未失效的集成电路在该时刻发生失效的概率称为失效率。失效率是表征集成电路可靠性质量的主要标志。平均寿命为 10^6 小时的集成电路,其失效率为 10^{-6} /小时,质量良好的集成电路的失效率可以达到 10^{-8} /小时甚至更低。

371. 集成电路生产应具备的环境条件有哪些?它的影响是什么?

集成电路的生产环境是指生产集成电路的必须的空间和物质条件,通常涉及到空气环境、工作环境、人身、水、各种气体、化学试剂、工具器具、电磁环境、机械能量以及人机关系等十类。

合适的生产环境可以提高产品的性能水平,成品率,可靠性质量和生产效率,反之,则对产品的研究和生产造成危害、这种危害可以表现为直接对工作或成品造成污染,影响产品的性能、成品率、可靠性及寿命;还可能表现为影响操作人员的工作情绪和设备仪器正常工作,进而影响产品的质量、成品率和生产效率。

上述十大类环境因素,对集成电路产品质量、成品率和生产效率的具体要素如下表所示。

集成电路生产环境条件的要素分析

环境条件	影响环境条件的质量要素
空气环境	温度、湿度、尘埃、微粒、细菌、有害气体、辐射能
水	无机离子、微细颗粒、有机物、微生物、溶解气体
各种气体	尘埃微粒、气体杂质、有机杂质、水分
化学试剂	微生物、试剂纯度（杂质含量）、无机离子、微细颗粒
工作环境	建筑条件、整洁程度、卫生状况、照明质量、环境色彩
电磁环境	辐射电磁场、感应电磁场、静电场
人机关系	人与操作范围、控制距离、视野及视界、信息显示、控制机构
人身	尘埃微粒、皮肤碎屑、有机物、细菌、纤维
工具与器具	细菌、有机物、无机离子、尘埃微粒
机械能量	振动、冲击、噪声

372. 集成电路生产过程中的污染和污染物是什么？它们有什么危害？

集成电路生产中的污染，指的是由于某种物质的存在，对集成电路产品、生产过程、生产设备和操作人员所产生的有害作用和不良影响。造成污染的物质统称为污染物。

集成电路生产的污染物主要有微粒杂质，无机离子、有机物质、微生物、以及气体杂质等，从广义上讲，不适宜的温度、湿度、照度、超过限度的静电、电磁噪声、空气噪声以及微振动都是特殊的污染物。

在上述污染物中，微粒、无机离子、有机物质、微生物以及气体中的杂质超过一定限度时，会使集成电路产品表面擦伤、图形断线、短路、针孔、剥离等现象，导致电路漏电、电特性异常。轻者影响电路性能，使用寿命，严重时可导致电路报废；不适宜的温度、湿度、照度以及超限的静电、噪声和振动不仅影响工艺设备、测试仪器工作精度和使用寿命，而且，还会影响操作人员的情绪，进而影响集成电路产品质量，成品率和生产效率。

373. 什么是静电？试述静电防护的重要性？

当两个固体物质摩擦，液体、气体在管道内流动时，均可能产生局部有电荷产生和积累的现象，这就是通常所说的静电。例如在用高分子聚合物材料装修的洁净间中，工作人员走动，鞋底与地板、工作服与内衣、工作服与桌椅之间的摩擦，均会产生静电。

静电的存在，其电位可以高达几百伏至几千伏，最高时可达1万伏以上，这对周围空间会产生作用力和放电现象。几百伏的静电电位就可以使半导体芯片损坏，这对集成电路的生产具有很大的危害性，必须采取有效的防护措施。

某洁净间静电电位实测值

实 测 静 电 位 (V) 实 测 项 目	房 间 个 数	扩散间 蒸发间	清洗间	光刻间	走道日光室
塑料地面		500~1500	0~1500	500~1000	100
金属活动椅子		500~3000			
穿尼龙服人体		1000~3000	1000~2000		1000
穿塑料拖鞋		2000~3000	1000~2000		1000~2000
人长时间活动		3000~5000			

374. 静电效应对集成电路生产的危害性有哪些表现？

(1) 静电吸附和放电现象，会产生吸尘和电击，损坏集成电路芯片，破坏集成电路生产，影响产品成品率，甚至使之完全损坏。

(2) 造成电子设备故障，使之产生误动作，因静电导致大量吸附尘埃，影响设备通风散热，造成机械零件磨损，影响使用寿命。

(3) 产生电击现象，危及操作人员安全，在一些特殊环境下，甚至会引起燃烧和爆炸事故。

人体电击的静电电位界限一般为3000V，当静电位为1000伏时，人体没有任何感觉，当静电位超过2000V时，人体开始会有感觉，但不疼痛，3000V时有针刺痛感，4000V时会有较强的针刺痛感，伴有放电发光。实际上，1000伏的静电位就足以损坏多数未经采取特殊保护措施半导体器件和集成电路。

(4) 干扰电子计算机等各种电子装备的正常工作。

随着集成电路工业的不断发展，高分子材料应用不断普及，生产过程中发生静电放电，电击操作人员，击穿半导体器件，损害产品成品率，干扰损坏电子设备正常工作的现象，正在不断增多，造成各种损失，静电防护已经引起人们的高度重视。

375. 对静电的消除与防护可以有哪些方法？

消除和防护静电的方法较多，常用的有以下几种。生产中可结合具体情况选用一种，或几方法同时使用。

(1) 接地。这是消除静电最为普通、经济、简便、可靠的方法，它的作用是A. 泄放带电导体的静电；B. 防止带电体附近物体感应带电；C. 限制带电体电位升高，防止产生静电放电。接地方式有直接接地和间接接地两种。

(2) 中和。这是利用带电体周围空气离子化后，带电离子在电磁场作用下发生迁移，带电体吸引异性电荷，从而达到中和消除静电。

(3) 泄漏。可以有多种方法：A. 提高环境温度，一般以45~55%为宜；B. 添加抗静电剂，提高绝缘材料的导电性；C. 采用防静电材料及器件，如防静电地板、工作台；防静电工作服、工作鞋、腕带等。

(4) 工艺控制。方法主要有A. 利用物料与不同材料制成的设备发生摩擦产生的正、负静电互相抵消；B. 降低液体、气体、粉料输送流速，减少静电的产生。

376. 晶体管特性图示器 (JT-1型)。

晶体管特性图示器是一种能在示波管荧光屏上直接观察PNP或NPN型晶体管的各种特性曲线簇的专用仪器。它能测量不同接法时（共发射极、共基极、共集电极）的输入、输出特性，反向截止电流，反向击穿电压，电流放大系数，极限参数和 h 参数，还可以挑选配对管和比较两个晶体管的特性。另外，还能测量硅稳压管、单结晶体管、可控硅和场效应管等多种半导体器件的主要参数，并可通过摄影装置，将荧光屏上的特性曲线连同标尺刻度一起拍摄下来，以备对半导体器件的参量研究分析使用。

面板分四大部分，主要功能：

(1) Y轴作用：主要显示集电极电流。

(2) X轴作用：主要显示集电极电压。

(3) 基极阶梯信号：主要作用向基极提供阶梯电压或电流信号。可正可负，每簇4~12级。

(4) 集电极扫描信号：0~20V，正或负的电压连续可调，0~200V，正或负的电压连续可调。

测试步骤：

(1) 将集电极扫描的全部旋钮（峰值电压范围，极性，峰值电压，功耗限制电阻）调到预见需要的范围。

(2) Y轴作用的毫安——伏/度与倍率调到待测的范围。

(3) X轴作用伏/度调到所需的范围。

(4) 基极阶梯信号的极性，串联电阻阶梯选择（毫安/级或伏/级）调到所需的范围。

阶梯作用位于重复、关、单族视需要选择。级/秒一般选200级/秒为宜。

(5) 将测试台接地开关置于需要的位置上, 然后插上被测晶体管, 调节峰值电压等, 此时即有曲线显示。再经Y轴、X轴、阶梯三部分的适当修正, 即能进行有关的测试。

使用注意事项:

(1) 集电极扫描的各旋钮与基极阶梯信号(极性、毫安/级、伏/级、串联电阻)不能随便调节, 要视管子的极限参数而定, 否则容易损坏管子或仪器, 因此要特别注意, 切勿粗心大意。

(2) 仪器用完后即关闭电源。再将集电极扫描“峰值电压范围”拨到“0~20”, “峰值电压”减小到零, “功耗限制电阻”拨到“1K”左右, Y轴作用“毫安——伏/度”拨到“1毫安/度”, X轴作用“伏/度”拨到“1伏/度”; 基极阶梯信号的“阶梯选择”拨到“0.01毫安/级”, “阶梯作用”拨到“关”, 以便下次别人使用仪器时, 不致于由于粗心大意而损坏管子。

377. 如何调整射频(RF)的反射功率?

对很多设备来说, 反射功率的调整都由设备自动完成的, 但当自动调整不能达到最佳状态时, 必须由手动完成, 步骤如下:

- (1) 起动设备, 使设备起辉, 将反射功率的调整开关拨到手动位置。
- (2) 调整电容, 使反射功率最小。
- (3) 调整电感, 使反射功率最低。
- (4) 不断地重复②、③, 使反射功率小于5%。

378. 真空系统维护保养?

真空系统使用时, 必须特别注意清洁, 当停机后应抽低真空保存以备下次再用; 一般情况下, 不要拆卸, 如需拆卸则应按照安装与调试的方法进行。熟悉设备, 严禁错动误动阀门, 遵守操作程序; 随时注意冷却水畅通与否; 若遇停电, 工作人员需保持冷静, 立即关闭真空计和高真空阀。

379. 设备的日常维护包括哪些内容?

设备的日常维护应包括下列几方面的内容:

- (1) 开机前要检查水、电、气各指示仪表的读数是否在正常范围。
- (2) 开机后, 要检查机器的响声、机械泵的油面是否正常。
- (3) 对运动导轨及齿轮要经常或定期加润滑油, 润滑油品种要选合适, 加润滑油要适量, 多了会跑到一些继电器或开关里导致电器故障, 掉到光学镜头上就会使光路出错。

(4) 用完设备之后, 对设备进行清洁, 包括台面及设备内部。

380. 显微镜的使用注意事项。

(1) 观察时应先从小倍数开始调整, 然后换成大倍数。

(2) 调焦要先调到最上, 在眼睛观察目镜时, 从上往下调节, 避免物镜与样品相撞。

(3) 应从小倍数调起, 因为低倍物镜短, 其距离和样品较远, 这样, 目前的显微镜大都是齐焦设计的, 更换大倍数时只需细调便可, 可有效的避免物镜与样品相撞。

(4) 目前显微镜大都有上止点限位装置, 在观察时, 一定要先调整此装置, 在更换观察样品时, 特别是换更厚更高样品时, 要及时调整上止点。

381. 热偶规管工作原理。

热偶规管由加热丝和热电偶组成。热电偶的热电动势由加热丝的温度决定。将热偶管与真空系统相连, 加热丝电流保持恒定, 所以热电偶的热电动势只和周围气体的分子密度有关。当气体分子被抽走, 分子密度小的气体的导热率低, 造成加热丝的温度升高, 因此热电动势随之增加, 根据已知的热电动势和压强的关系, 就可直接读出压强值。

382. 恒温控制原理。

半导体芯片制造和半导体分立元器件、集成电路装调中, 使用的很多设备都必须有恒温控制, 其控制原理如下:

反应工作室温度热电偶输出的电动势与定值器输出的代表温度的电压值进行比较, 其偏差信号经放大及PID处理后控制触发电路输出的脉冲信号, 去控制可控硅导通角来控制发热元件的电流而获得恒定的温度。

设定值和放大器的高度稳定决定着恒定温度的稳定度。开始工作室是室温状态, 热偶上热电动势很小, 偏差信号最大, 导通程度最大, 全速升温, 工作室升温时, 插在工作室里的热偶就产生热电势, 使偏差信号越来越小, 接近0时, 可控硅关断, 有偏差就升温, 无偏差停止升温。再加一些保温措施就能恒温了。

如果热偶断路, 通常表现为超温状态; 热偶短路, 通常表现为一直升温。

383. 三相异步电动机常见故障。

(1) 转速慢、带不动负载、伴有“嗡嗡”声, 发热严重, 有烘烤油漆气味, 这种现象是电机缺一相电或电机定子绕组有一相线圈断(包括线圈引线断)。诊断方法用万用表先测电压, 如不缺一相电或保险丝未断, 就测三相线圈电阻, 三相线圈如断一相, 那么只有两根线通。还可以用钳形电流判断那一相没电流。上述现象称缺相运行。

(2) 电机严重发热, 甚至散发绝缘漆烧焦的气味, 但电机运转正常, 只是温升超过定

值且各部分发热均匀,这种现象一般负载过重,例如机械泵阀片碎而卡住。如果只是局部发热并伴有杂音,多数是轴承损坏或轴承内有脏物,需拆洗加油或换轴承。

(3) 电机运行中冒烟,是定子绕组之间或绕组与机壳之间有短路,这必须把电机拆开检查,根据情况处理。

384. 机械泵的工作原理。

机械泵一般由泵壳、泵腔、转子、阀片、吸气室、排气室、消气阀、排气阀等组成。当转子按指定方向旋转时,进气室容积不断增大,从进气嘴不断吸入气体,排气室的容积随进气室容积的不断增大而不断减小,其中的气体不断受到压缩,压强增大。排气室压强增大到能克服外界大气压力和排气阀的阻力时,排气室中的气体就通过排气阀排到大气中。转子不断旋转,上述抽气过程就不断进行,一直到泵的极限。

机械泵既可单独使用,也可作为高真空泵的前级泵。

385. 椭偏仪的测量对象?

椭偏仪是利用光的偏振原理来进行透明和半透明的薄膜测量的精密测量仪器,其分辨率可达 $1\text{\AA}$,精度 $\pm 3\text{\AA}$,重复性 $2\text{\AA}$ 。

386. 电离规管工作原理。

电离规管是一只真空三极管,其收集极对于灯丝为负 25V (-25V),栅极对于灯丝具有正 200V 电压,当加热阴极发射电子,电子向栅极运动时与规管内的气体分子相碰,使气体分子电离。如果阴极发射电流恒定不变,则离子流的大小与气体压强成正比。离子流经放大后,即可读出相应的压强值。

387. 台阶仪的使用注意事项有哪些?几种测厚仪的选用思路。

台阶仪的原理和轮廓仪相同,一般由电感传感器或电容传感器加控制电路和数据处理电路构成。台阶仪使用中最需注意事项:

(1) 在加装样片时,一定要让工作台下落到足够量,台阶仪最关键的部位为金刚石触针,一旦遇碰,将整台仪器报废。

(2) 样品要求,样品台阶不要超过要求,不可太粗糙,平面度要在仪器量程内。

微电子领域内几种测厚仪的选用思路:

按有无台阶:有:台阶仪、干涉显微镜、光切显微镜、扫描电镜;

无:椭偏仪、金属涂层厚度测量仪、X射线测厚。

按透明和不透明:透明:椭偏仪、光学测厚仪;

不透明:台阶仪、干涉法、光切法等。

388. 电子束蒸发台的膜厚是如何控制的?

蒸发台的膜厚一般用石英晶体监控法。石英晶体振子的振荡频率,随表面上蒸镀的物质质量而变化(基本呈线性),因此,测量振荡频率的变化即可控制膜厚。

$$\rho_E/\rho_0 = \Delta f / \Delta d \cdot d / f_0$$

式中 ρ_E —石英振子的密度; ρ_0 —蒸镀物质的密度; Δf —频率变化量; Δd —厚度变化量; d —振子厚度; f_0 —振子固有频率。

389. 冷凝泵的工作原理?

冷凝泵是利用极低温度(小于 20°K)下的固体表面凝结气体或蒸汽的抽气机。

主要由压缩机、膨胀机和传输管组成。随着压缩机和膨胀机的不断工作,冷泵的抽气面(冷伞)上温度越来越低,钟罩里的很多气体分子不断地碰到冷泵的抽气面上而被冷凝下来,钟罩里的气体压强越来越低,直到泵的极限压强。冷泵是最清洁、抽速最大、极限真空最高的超高真空泵,是无油泵。

390. 光刻工艺应注意哪些设备问题?

光刻工艺包括很多工序,但设备都有很多共同的东西,需要操作者注意:

- (1) 涂胶头的转速和真空度是否满足要求;
- (2) 曝光机的光强及均匀性是否在规定范围内;
- (3) 显影系统的排废管路是否畅通;
- (4) 刻蚀装置的真空度及反射功率是否在规定的数值。

第3章 专业知识练习

3.1 中级部分

一、判断题（用 √、× 表示下列命题是否正确）

1. 半导体硅和锗单晶是第一代半导体材料，硅是现代最主要的半导体材料，锗是现代最重要的半导体材料之一。()
2. 砷化镓和磷化铟化合物半导体单晶是典型的第二代半导体材料。与硅集成电路相比，以砷化镓为基底的集成电路具有更高的频率、更高的增益和更低的噪声。()
3. 单晶是原子或离子沿着三个不同的方向按一定的周期有规则的排列，并沿一致的晶体学取向所堆垛起来的远程有序的晶体。()
4. 我们实际使用单晶材料都是按一定的方向生长的，因此单晶表现出各向异性。单晶生长的这种方向直接来自晶格结构，常用半导体材料的晶体生长方向是〈111〉和〈100〉。()
5. 迁移率是反映半导体中载流子导电能力的重要参数。掺杂半导体的电导率一方面取决于掺杂的浓度，另一方面取决于迁移率的大小。同样的掺杂浓度，载流子的迁移率越大，材料的电导率就越高。()
6. 同一种材料，电子和空穴的迁移率是相同的。()
7. 点缺陷，如空位、间隙原子、反位缺陷、替位缺陷，和由它们构成的复合体。()
8. 晶体缺陷对半导体材料的使用性影响不大，在大多数的情况下，它不使器件性能劣化直至失效。()
9. 位错就是由范性形变造成的，它可以使晶体内的一原子或离子脱离规则的周期排列而位移一段距离，位移区与非位移区交界处必有原子的错位，这样产生线缺陷称为位错。()
10. 材料的常用表征参数有电学参数、化学纯度、晶体学参数、几何尺寸。()
11. 抛光片的电学参数包括电阻率、载流子浓度、迁移率、直径、厚度、主参考面等。()
12. 抛光片的几何参数包括直径、厚度、主参考面、副参考面、平整度、弯曲度等。()
13. 化学气相外延的原理是无机化合物的还原、歧化或热分解。()
14. 硅外延片的质量要求表面平整度、表面光亮、无划痕、无桔皮、裂纹、崩边、凸起、

灰雾等，显微镜下观察滑移线和堆垛层错应符合要求，用扩展电阻仪测外延层纵向杂质分布。()

15. 液相外延的原理是饱和溶液随着温度的降低产生过饱和结晶。()
16. 金属有机化学气相外延的原理是原子或分子束流的物理淀积。()
17. 原子失去电子带正电荷称正离子；获得电子带负电荷称负离子。()
18. 离子源是产生离子的装置。()
19. 小王在作开机前的准备工作时，用刚拧干的湿布揩高压区零部件和加速管上的粘污物。()
20. 加速管的作用是使离子获得所需要的注入能量。()
21. 离子束能量单位KeV读作千电子伏特；离子束束流单位 μA 读作微安。()
22. 半导体芯片制造工艺对水质的要求一般。()
23. 光致抗蚀剂在曝光前对某些溶剂是可溶的，曝光后硬化成不可溶解的物质，这一类抗蚀剂称为负性光致抗蚀剂，由此组成的光刻胶称为负性胶。()
24. 固-固扩散可以用杂质源中的杂质浓度控制表面浓度，扩散时间控制结深，两个参数独立控制，增加了工艺控制的灵活性和准确性。()
25. 设备、试剂、气瓶等所有物品不需经严格清洁处理，可直接进入净化区。()
26. 进入洁净区的工艺人员可用化妆品。()
27. 化学清洗中主要利用氢氟酸能腐蚀二氧化硅这一特点来腐蚀玻璃、石英及硅片表面的二氧化硅。()
28. 一般采用各向同性的湿法化学腐蚀方法腐蚀V形槽。()
29. 干法腐蚀清洁、干净、无脱胶现象，图形精度和分辨率高。()
30. 在硅微波功率器件芯片制造中一般采用电镀金的方式加厚金层厚度。()
31. 光刻工艺要求掩膜版图形黑白区域之间的反差要低。()
32. 硅片表面受金属、金属离子、氧化物等物质的沾污必须用各种酸来溶解。()
33. 平面工艺是制作平面型器件的一整套工艺的统称。()
34. 在半导体集成电路中，各元器件都是制作在同一晶片内。因此要使它们起着预定的作用而不互相影响，就必须使它们在电性能上相互绝缘。()
35. 当对一个PN结施加反向偏压时，它就有很高的正向电阻。()
36. 金属剥离工艺是以具有一定图形的光致抗蚀剂膜为掩膜，带胶蒸发或溅射所需的金属，然后在去除光致抗蚀剂膜的同时，把胶膜上的金属一起去除干净。()

37. 表面钝化工艺是在半导体芯片表面覆盖一层保护膜,使器件的表面与周围气氛隔离。

()

38. 三相五线制的地与中和线N接到一起就成为现役的三相四线制。()

二、选择题

1. 属于半导体材料的正确选项是_____。
 - A. 金属、石墨、人体、大地
 - B. 橡胶、塑料、玻璃、陶瓷
 - C. 硅、锗、砷化镓、磷化铟
 - D. 纯水、油、空气、云母
2. 下列材料属于N型半导体是_____。
 - A. 硅中掺有元素杂质磷(P)、砷(As)
 - B. 硅中掺有元素杂质硼(B)、铝(Al)
 - C. 砷化镓掺有元素杂质硅(Si)、碲(Te)
 - D. 砷化镓中掺元素杂质锌、镉、镁
3. 下面材料属于P型半导体是_____。
 - A. 硅中掺有III族元素杂质硼(B)、铝(Al)
 - B. 砷化镓中掺元素杂质锌、镉、镁
 - C. 磷化铟中掺有元素杂质锌(Zn)、镉(Cd)
 - D. 以上三种都正确
4. 属于绝缘体的正确答案是_____。
 - A. 金属、石墨、人体、大地
 - B. 橡胶、塑料、玻璃、云母、陶瓷
 - C. 硅、锗、砷化镓、磷化铟
 - D. 各种酸、碱、盐的水溶液
5. 描述面缺陷的下列选项正确是_____。
 - A. 呈面状,如晶界、堆垛层错、相界
 - B. 呈线状排列,如位错就是这种缺陷
 - C. 如空洞、夹杂物、杂质沉淀物等
 - D. 几何尺寸在微米级或更小
6. 位错的形成原因是_____。
 - A. 是由弹性形变造成的
 - B. 是由重力造成的
 - C. 是由范性形变造成的
 - D. 以上答案都不对
7. 衬底表面状态对外延材料有影响的是_____。
 - A. 表面划痕和表面水渍
 - B. 氧化膜和残留金属杂质
 - C. 残留有机物和残留尘粒
 - D. 以上答案都对
8. 硅外延生长工艺包括_____。
 - A. 衬底制备
 - B. 原位HCl腐蚀
 - C. 生长温度,生长压力,生长速度
 - D. 尾气的处理

9. 半导体材料的电学参数包括_____。
- A. 电阻率、导电类型、载流子浓度
B. 迁移率、少数载流子寿命、电阻率均匀性等
C. 晶向、位错密度
D. 晶片的厚度、弯曲度、翘曲度
10. 硅外延片的应用包括_____。
- A. 二极管和三极管
B. 电力电子器件
C. 大规模集成电路
D. 超大规模集成电路
11. 从离子源引出的是_____。
- A. 原子束
B. 离子束
C. 分子束
12. B^+ 离子通过100KV的电场获得的能量是_____。
- A. 50KeV
B. 100KeV
C. 200KeV
13. 离子注入机的接地电阻越小越好, 必须小于_____。
- A. 1Ω
B. 5Ω
C. 10Ω
14. 离子注入层的深度主要取决于离子注入的_____。
- A. 能量
B. 剂量
15. 离子注入层的杂质浓度主要取决于离子注入的_____。
- A. 能量
B. 剂量
16. 王水是有_____浓盐酸和一份浓硝酸相混和而得到的溶液。
- A. 三份
B. 二份
C. 一份
17. I号液是_____过氧化氢清洗液。
- A. 碱性
B. 酸性
C. 中性
18. 使用有机溶剂清洗时, 按_____的顺序进行才能收到良好效果。
- A. 乙醇→丙酮→甲苯
B. 丙酮→甲苯→乙醇
C. 甲苯→丙酮→乙醇
19. 二氧化硅在扩散时能对杂质起掩蔽作用进行_____扩散。
- A. 预
B. 再
C. 选择
20. 在高温下, 使杂质由半导体晶片表面向内部扩散, 以改变晶片内部的杂质分布和表面层的导电类型, 这一工艺统称_____工艺。
- A. 氧化
B. 扩散
C. 淀积
21. 将半导体晶片和杂质源放在真空密闭的石英管中所进行的扩散, 称为_____扩散。

三、填空题

1. 元素半导体材料含有12个元素，其中_____具有优良的半导体性质，是现代最主要的半导体材料。_____具有良好的半导体性质，是重要的半导体材料之一。
2. 当半导体中掺有_____杂质时，主要靠施主提供的电子导电，这种依靠_____的半导体叫做N型半导体。
3. 半导体材料有两种载流子参加导电，具有两种导电类型。一种是_____；另一种是_____。同一种半导体材料，既可形成以电子为主的导电，也可以形成以空穴为主的导电。
4. 半导体材料可根据其性能、晶体结构、结晶程度、化学组成分类。比较通用的则是根据其化学组成可分为_____半导体、_____半导体、固溶半导体三大类。
5. 当半导体中掺有_____杂质时，主要靠受主提供的空穴导电，这种依靠_____的半导体叫做P型半导体。
6. 单晶是原子或离子沿着三个不同的方向按一定的周期有_____的排列，并沿一致的晶体学取向所堆垛起来的_____的晶体。
7. 半导体材料的主要晶体结构有_____型、_____型、纤锌矿型。
8. 晶体内的原子是按一定的原则_____地排列着的。如果在晶体中的一些区域，这种排列遭到_____，我们称这种破坏为晶体缺陷。
9. 抛光片的质量检测项目包括：_____，直径、厚度、主参考面、副参考面、平整度、弯曲度等；_____，电阻率，载流子浓度，迁移率等；晶体质量，晶向，位错密度。
10. 衬底抛光片要求_____平整、光亮、无损、少沾污；晶向、导电类型、_____、迁移率等满足器件和外延工艺的要求。
11. 外延生长方法比较多，其中主要的有_____外延、_____外延、金属有机化学汽相外延、_____外延、原子束外延、固相外延等。
12. 离子注入是借其_____强行进入靶材料中的一个_____物理过程。
13. 请分别写出硼11离子符号_____，磷31离子符号_____，砷75离子符号_____。
14. 半导体中的离子注入掺杂是把掺杂剂_____加速到的需要的_____，直接注入到半导体晶片，并经适当温度的_____。
15. 离子注入机的主要组成部分是_____、_____、_____、_____。

- _____、_____、_____、_____、和_____。
16. 由于离子带电,所以可以通过分别调节离子注入的_____和_____,达到独立地控制离子注入掺杂层的_____和_____。
17. 空气中的一个小尘埃将影响整个芯片的_____性、_____率,并影响其电学性能和_____性,所以半导体芯片制造工艺需在超净厂房内进行。
18. 硅片上的有机杂质(油脂、腊等)通常是用_____、_____、_____等有机溶剂来溶除的。
19. 在白光照射二氧化硅时,不同的厚度有不同的_____。
20. 扩散结深可以通过磨角_____、滚槽或滚球、_____等方法进行测量。
21. 半导体芯片制造工艺中经常使用氧、氩、氢、氮等气体,由于这些气体的_____和_____对半导体芯片的性能、质量、成品率有极大的影响,因此对这些气体的纯度要求较高。
22. 在半导体工艺中,硫酸常用于去除_____和配制_____等。
23. 化学清洗中是利用硝酸的强_____和强_____将吸附在硅片表面的杂质除去。
24. 把硅片置于氯化氢气和氧气的混合气体中进行氧化,称为_____氧化。
25. 用肉眼或显微镜可观察二氧化硅的以下质量:颜色_____,结构_____;表面无_____,无_____,不发花;表面无裂纹、无针孔。
26. 用扩散法制作PN结时所用的掺杂材料,称为_____源。
27. 采用室温下为液态的杂质源进行的扩散工艺称之为_____扩散。
28. 腐蚀V形槽一般采用_____的湿法化学腐蚀方法。
29. 四探针是四根彼此等距离为S的钨丝探针,其针尖保持在_____直线上,且以_____压力压在硅片的表面。
30. V形槽隔离是双极集成电路的一种_____技术。
31. 光刻工艺一般都要经过涂胶、前烘、_____,显影、坚膜、_____,去胶等步骤。
32. 制作光刻用的_____的工艺,称为制版工艺。
33. 对镀金层的要求是:_____均匀、满足设计要求;镀金层光亮、致密、_____;与底层金属_____。
34. 工艺人员完成工艺操作后要认真、及时填写工艺记录,做到记录内容详细、_____,完整、书写工整、_____。
35. 设备仪表使用与维护不善,会造成设备仪表_____,效率低下,甚至造成成批

_____, 缩短设备仪表_____。

36. 单相正弦交流电电压为_____伏, 频率为_____Hz。三相正弦交流电相线与相线之间的电压为_____伏, 频率为_____Hz, 相线与相线之间电压称为_____电压, 三相正弦交流电中任何一根相线与中线(或称零线)之间电压都为_____伏。

四、综合题

1. 半导体材料的常用表征参数有哪些?
2. 衬底清洗过程包括哪几个步骤?
3. 什么是外延生长?
4. 简述GaAs和InP抛光片的清洗。
5. 外延片质量检测项目主要有哪些?
6. 什么是离子?
7. 离子注入的能量单位是什么?
8. 离子注入的剂量单位是什么?
9. 离子注入操作可分几个阶段?
10. 剂量 N_0 为 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ B^+ 离子注入Si 晶片中, 假定退火后注入杂质全电激活, 求表面薄层电阻 R_s 值多少(设Si中空穴迁移率 $\mu_p = 300 \text{ cm}^2/\text{V.s}$)?
11. 简述对光刻工艺质量的基本要求。
12. 对氧化工艺质量有什么样的要求?
13. 对扩散质量的有哪些要求?
14. 光刻工艺对掩膜版质量要求是什么?
15. 简述在芯片制造中对金属电极材料有什么要求。
16. 操作人员的质量职责是什么?

3.2 高级部分

一、判断题

1. 硅外延可以分为两个基本类型的反应：(1) 还原反应；(2) 高温分解反应。()
2. 硅外延N型掺杂用 PCl_3 , PH_3 (气), AsH_3 (气), BBr_3 (液), B_2H_6 (气)。()
3. GaAs 汽相外延常用的N型掺杂剂为S, Se, Te和Sn, P型掺杂剂为Zn。()
4. 砷化镓汽相外延设备主要包括反应室、加热系统、气体分配系统、计算机控制系统。()
5. 砷化镓汽相外延计算机控制系统控制流量、温度、时间等。()
6. 液相外延生长的温度高, 可获得纯度较高、缺陷较少的外延薄层, 外延生长的薄膜广泛地用于光电子器件上。()
7. 外延层化合物的组分, 可以通过X射线双晶衍射(XRD)测试分析得出; 各个薄层的掺杂浓度, 通过电化学C-V法测试; 材料组分均匀性可以由X射线双晶衍射(XRD)扫描测试分析得出; 材料掺杂均匀性可以由方块电阻测试得出。()
8. 激光器外延材料有源区的发光波长, 用光莹光(PL)方法测试。()
9. 离子注入是一个热平衡过程。()
10. 离子注入结束后, 不需要用高压放电棒挂接高压部位对地放电就可以操作高压区的另部件。()
11. 注入剂量是整圆片内注入的离子总数量。()
12. 半导体芯片工艺的离子注入掺杂不需要高能离子注入机。()
13. 通俗地说, 离子注入到晶片中最后停止下来, 该点离晶片表面的深度距离即为投影射程, 并用符号 R_p 表示。()
14. 高温氧化生长二氧化硅不适用于 GaAs 材料及硅器件PN结形成以后的工艺。()
15. PECVD淀积二氧化硅温度低(350°C 以下), 适合于不宜作高温处理而又需要在表面形成二氧化硅的样品。()
16. 恒定表面源扩散是指在扩散过程中晶片表面的杂质浓度始终不变。随时间改变的只有结深和进入硅衬底的杂质总量。()
17. 锗常用的施主杂质有镓、铟。()
18. 电阻加热蒸发主要用于铝、金、钨等易熔化、易气化材料的蒸镀。()
19. 电子束蒸发能使熔点在 3000°C 左右的难熔金属或电介质熔化, 并蒸发到衬底表面上形

成薄膜。()

20. 溅射法是由中性粒子轰击靶材表面,使靶原子从靶表面飞溅出来淀积在衬底上形成薄膜。()
21. 采用射频溅射可淀积绝缘材料薄膜。()
22. 应用最多的腐蚀方法有湿法化学腐蚀、等离子腐蚀、反应离子腐蚀、离子铣等。()
23. 等离子腐蚀是在湿法腐蚀基础上发展而来的,属纯物理腐蚀机理。()
24. 液态源扩散是一种较早、较成熟的工艺,操作方便,均匀性、重复性较好、适于批量生产。其缺点是均匀性依赖于气体流速和气流模型。()
25. 箱法扩散具有较好的均匀性和重复性,但受箱子尺寸的限制,不便于大批量生产。除锑扩散外,应用较少。()
26. 片状源扩散具有设备简单,操作方便,晶片缺陷少,均匀性、重复性和表面质量都较好,适于批量生产,应用越来越普遍。()
27. 闭管扩散每次扩散都要打破石英管和封接石英管。()
28. β 值称为共发射极电流放大系数,是晶体管的一个重要参数,也是检验晶体管经过硼、砷掺杂后的两个PN结质量优劣的重要标志。()
29. 低温淀积二氧化硅生长温度低、制作方便,但膜不够致密,耐潮性和抗离子沾污能力较差。()

二、选择题

1. 硅外延的特点有_____。
 - A. 掺杂浓度在 $10^{14}/\text{cm}^3 \sim 10^{18}/\text{cm}^3$ 范围均可控
 - B. 对P型和N型掺杂,多种化合物均可使用
 - C. 生长速度不可调可控
 - D. 外延层高均匀,高质量,但不可规模生产
2. GaAs汽相外延常用的N型掺杂剂为_____。
 - A. S
 - B. Zn
 - C. As
 - D. Sn
3. 砷化镓汽相外延设备主要部分包括_____。
 - A. 质量流量计
 - B. 加热系统
 - C. 电阻加热器
 - D. 反应室
4. 液相外延生长的特点有_____。
 - A. 生长的温度低
 - B. 外延层的纯度较高、缺陷较少
 - C. 制作红外发光管
 - D. 制作太阳能电池

5. MOCVD外延P型掺杂源为_____。
- A. H_2Se (气) B. CCl_4 (气) C. SiH_4 (气) D. $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
6. MOCVD气体分配系统包括_____。
- A. 质量流量计 B. 反应室 C. 气动阀门 D. 尾气处理
7. 金属有机化学汽相外延设备的主要部分包括_____。
- A. 反应室 B. 气体分配系统 C. 尾气处理系统 D. 报警系统
8. 外延片的表面质量要求包括_____。
- A. 表面平整度 B. 无桔皮堆垛层错的数量
C. 表面光亮、无划痕 D. 外延层纵向杂质分布
9. 外延片表面形貌检测方法有_____。
- A. 目测 B. 光学显微镜观察
C. 干涉相衬显微镜观察 D. 扫描电子显微镜观察
10. 外延片内在质量检测方法包括_____。
- A. 霍尔法 B. 电化学——电容浓度分布测试仪
C. 光荧光测试 D. X光双晶衍射
11. 用电化学——电容浓度分布测试仪(电化学C-V)可测试外延材料性能包括_____。
- A. 外延层的载流子浓度 B. 外延层的迁移率
C. 外延层杂质浓度及其随深度的变化 D. 晶格常数及失配度
12. 用霍尔法测试仪可测试外延材料性能包括_____。
- A. 外延层的载流子浓度 B. 外延层的迁移率
C. 外延层杂质浓度及其随深度的变化 D. 晶格常数及失配度
13. 硅中形成P型电导层常用的注入离子是_____。
- A. P^+ 离子 B. B^+ 离子 C. Si^+ 离子 D. BF_2^+ 离子
14. 硅中形成N型电导层常用的注入离子是_____。
- A. P^+ 离子 B. B^+ 离子 C. As^+ 离子 D. Si^+ 离子
15. GaAs中形成P型电导层常用的注入离子是_____。
- A. B^+ 离子 B. Be^+ 离子 C. Si^+ 离子 D. Mg^+ 离子
16. GaAs中形成N型电导层常用的注入离子是_____。
- A. As^+ 离子 B. Si^+ 离子 C. Se^+ 离子 D. O^+ 离子

17. 常用于N型或P型GaAs电导层形成高阻隔离注入的离子有_____。
- A. B^+ 离子 B. H^+ 离子 C. Si^+ 离子 D. O^+ 离子
18. LPCVD淀积二氧化硅温度适中 ($700\sim 800^\circ C$), 对杂质再分布影响小, _____。
- A. 适用于GaAs材料
B. 适用于已形成PN结但还未做金属化的硅器件工艺
C. 适用于已做完金属化的硅器件工艺
D. 适用于形成PN结前的硅器件工艺
19. 扩散结果主要受温度、时间、流量的影响, _____影响最大。
- A. 温度 B. 时间 C. 流量
20. 一般采用以氢氟酸为基础的水溶液腐蚀二氧化硅, 氢氟酸浓度越高腐蚀速率越快, 如加入氟化铵, 可使反应速度_____。
- A. 加速 B. 减缓 C. 停止
21. 溅射法是由_____轰击靶材表面, 使靶原子从靶表面飞溅出来淀积在衬底上形成薄膜。
- A. 电子 B. 中性粒子 C. 带能离子
22. 二氧化硅的生长速率取决于扩散速率和化学反应速率, 哪一个起主要作用, 将取决于氧化时的_____。
- A. 扩散速率 B. 化学反应速率 C. 工艺条件
23. 热分解化学汽相淀积二氧化硅的厚度与时间基本符合_____关系。
- A. 线性 B. 抛物线 C. 指数
24. 恒定表面源扩散的杂质分布在数学上称为_____分布。
- A. 高斯 B. 余误差 C. 指数
25. 硅常用的受主杂质有_____。
- A. 硼 B. 镓、铟 C. 锌、硫、锰
26. 砷化镓常用的施主杂质有_____。
- A. 锑、砷 B. 磷、锗 C. 锡、硫、碲
27. 反应离子腐蚀是_____。
- A. 化学刻蚀机理 B. 物理刻蚀机理
C. 物理的溅射刻蚀和化学的反应刻蚀相结合
28. 离子铣是_____。

A. 化学刻蚀机理 B. 物理刻蚀机理

C. 物理刻蚀机理和化学刻蚀机理相结合

29. 器件的横向尺寸控制几乎全由_____来实现。

A. 掩膜版 B. 扩散 C. 光刻

30. 电子束蒸发比普通电阻加热蒸发增加了一个_____。

A. 偏转电子枪 B. 螺旋状灯丝 C. 均匀磁场

31. PN结的击穿电压和反向漏电流既是晶体管的重要直流参数,也是评价_____的重要标志。

A. 扩散层质量 B. 设计 C. 光刻

32. 保险丝熔断原因:_____。

A. 电流过大 B. 与保险丝相接的触点接触不良而发热

三、填空题

1. 硅外延可以分为两个基本类型的反应:(1)_____反应;(2)_____反应。每种方法都有它的优点和缺点。
2. 砷化镓(GaAs) 化学汽相外延的化学反应有_____反应, 歧化反应, _____反应。
3. GaAs汽相外延掺杂的浓度与_____流量、衬底温度、衬底_____等因素有关。
4. 汽相外延过程中, 源通过载气从主气流区输运到沉积区; 源在高温沉积区内发生_____, 产生反应物和副产物; 反应物输运到衬底表面, 吸附到生长表面; 表面反应, 生成的固相并入到生长膜中, 进行_____。
5. GaAs液相外延方法很多, 有_____降温法、平衡降温法、_____梯度法等, 常用的方法是稳态温度梯度法。
6. 金属有机化学汽相外延设备可分为五个主要部分, _____、气体分配系统、计算机控制系统、_____、报警系统。
7. 金属有机化学汽相外延气体分配系统由_____, 气动阀门、不锈钢管道等组成。气体分配系统的功能是向反应室输送_____, 并精确控制其浓度、生长时间和顺序以及流经反应室的总气体流量, 生长出所需的成分与结构的外延层。
8. 分子束外延工艺流程图: 反应室真空处理→_____→清洗衬底→装片→_____设定→除气→热处理脱氧化层→缓冲层生长→有源层生长→欧姆接触层生长→外延片测试。
9. 外延层的载流子浓度、电阻率(方块电阻)和迁移率用_____方法。外延层杂质浓度

及其随深度的变化用电化学-电容浓度分布测试仪测试。外延层的光荧光光谱用光荧光测试系统测试。外延层的晶格常数及失配度、多元化合物组分用_____衍射测试。

10. 影响外延层的迁移率低的因素有原材料纯度_____；反应室漏气；外延层的晶体_____；系统沾污等；载气纯度不够；外延层晶体缺陷多；生长工艺条件不适宜。
11. 外延片表面形貌的检测方法分别为：_____，_____观察，干涉相衬显微镜观察，扫描电子显微镜观察，电子力显微镜观察。
12. 具有一定能量的离子注入到靶材料中，经过与靶_____及_____的不断碰撞而损失_____，最后在相应的位置上停止下来，该停止点离靶表面的纵向深度即为离子的_____。
13. 离子注入杂质浓度分布中最重要的二个射程参数是_____和_____。
14. GaAs中常用的N型掺杂剂离子是_____和_____离子；常用的P型掺杂剂离子是_____和_____离子。
15. 质量分析器的作用是从离子源来的各种离子中_____出所需要注入的离子，从而成为_____离子束，也就是说，只允许_____离子通过分析器。
16. 为了获得任意形状的离子注入浓度分布，可以采用_____注入。
17. 二氧化硅的制备方法很多，其中最常用的是高温_____、_____淀积、PECVD淀积。
18. 用肉眼或显微镜可观察二氧化硅的以下质量：颜色_____、结构_____；表面有无_____、有无_____、是否_____；表面有无裂纹、有无针孔。
19. 半导体集成电路生产中，元件之间隔离有_____隔离、_____隔离、_____隔离等三种基本方法。
20. 广泛用于超大规模集成电路及器件芯片生产的曝光技术主要是_____曝光和_____曝光。
21. 最常用的金属膜制备方法有_____加热蒸发、_____蒸发、_____。
22. 热分解化学汽相淀积二氧化硅是利用_____化合物，经过热分解反应，在基片表面淀积二氧化硅。
23. 杂质原子在半导体中的扩散机理比较复杂，但主要可分为_____扩散和_____扩散两种。
24. 有限表面源扩散的杂质分布在数学上称为_____分布。
25. 自动制版是将图形数据通过计算机去控制图形发生器，主要有_____图形发生器、

_____图形发生器、_____图形发生器。

26. 光学曝光有_____曝光、_____曝光、_____曝光。
27. 电子束曝光有_____电子束曝光、_____电子束曝光。
28. 固态源扩散包括_____扩散和_____扩散。
29. 固—固扩散可以用杂质源中的杂质浓度控制_____, 扩散时间控制_____。
30. 光刻的精度和质量将直接影响器件的_____指标, 同时也是影响器件_____和可靠性的重要因素。
31. 溅射是与气体_____现象相联系的一种薄膜淀积技术。
32. 电流经过的闭合路称电路。一个最简单最基本的电路必须由电源、_____和_____组成。
33. 保险丝选熔断电流为负载额定电流的_____倍。
34. 电源两端被电阻接近零的导体接通, 这种情况叫做_____。负载_____时电路电流_____。导线迅速升温, 烧毁导线绝缘容易引起火灾。_____是不允许的。
35. 我们平时除经常对设备除尘清洁外, 还要对设备真空室内部一些杂散导电物质进行清除, 溅射台、电子束、蒸发台等设备灯丝上易落上导电物质, 造成局部或全部_____。高压瓷柱、垫圈被溅上导电物质也容易造成短路。

四、综合题

1. 衬底清洗原则是什么?
2. 层错的测量方法?
3. 硅外延的特点有哪些?
4. 外延片表面质量要求是什么?
5. 分子束外延材料性能测试方法?
6. 什么叫平均投影射程和平均投影射程标准偏差?
7. 若离子源吸极电压为20KV, 加速电压为180KV, 问 B^+ 离子到达靶上的注入能量是多少?
8. 离子注入机的主要技术指标是什么?
9. 中能离子注入机的能量范围是多少? 中束流离子注入机的束流范围是多少?
10. B^+ 离子注入剂量 N_0 是 $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$, 测得的结深 X_j 为 $0.4 \mu\text{m}$, 假定退火后注入杂质全电激活, 求注入层的平均载流子浓度 N 是多少?

11. 对扩散杂质源有什么要求?
12. 简述光刻工艺原理及在芯片制造中的重要性。
13. 光刻腐蚀有哪些方法? 最常用的有哪些?
14. 有哪几种常用的化学汽相淀积薄膜的方法? 简述其主要应用。
15. 有哪些常用的金属膜制备方法? 各有什么优缺点?
16. 简述溅射的工艺原理。
17. 典型的硅微波功率管芯片的工艺流程是什么?
18. 典型的GaAsMESFET结构IC的工艺流程是什么?
19. 电路中有时线鼻子烧断是什么原因?

3.3 技师部分

一、判断题

1. 影响汽相外延生长速度的因素只有衬底表面晶向和气体流量。()
2. 影响汽相外延层的质量因素包括衬底晶向和抛光质量, 源材料和载气的纯度; 外延设备的气密性和温场分布, 外延生长的温度和工艺。()
3. 外延层的厚度主要由生长时间来控制, 与生长温度、气体流量无关。()
4. 液相外延层表面形貌与气相外延层表面质量相当。()
5. 液相外延的特点是外延层的纯度高, 生长速度较慢, 生长温度低, 设备简单。()
6. 不同的衬底的晶向, 对外延层的载流子浓度和迁移率都有影响。()
7. 粗糙的衬底表面不会使生长的外延表面液粗糙, 特别是薄层外延更不明显。()
8. 衬底晶格缺陷是造成外延层晶格不完整的重要因素之一。()
9. 衬底表面的沾污, 自体氧化层, 化学计量比的失配等将不会影响与衬底交界面处的外延材料的电学性质。()
10. MOCVD的缺点是所用的反应气体都具有毒、易燃、易爆, 制造复杂, 成本高。()
11. 半导体芯片工艺中, 离子注入掩蔽层只能使用 SiO_2 , 而且越厚越好。()
12. 用高斯分布来近似描述离子注入浓度分布, 通常又称之为离子注入射程分布的LSS理论。()
13. 在半导体掺杂工艺中, 经离子注入后的晶片不需要进行退火处理。()
14. 拆卸和清洗离子源必须在强排风的专用通风柜中操作。()
15. 在原子碰撞过程中, 晶格原子被碰撞后就离开晶格位置而产生原子移位。()
16. 氧化反应管中的氧气和水汽的蒸汽压不均匀是造成氧化硅不均匀的原因之一。()
17. 在氧化过程中, 有水珠飞溅在硅片表面上, 造成二氧化硅薄膜表面出现斑点。()
18. 若位错、层错密度过高, 则氧化层上的针孔数目相应减少。()
19. 操纵者身上的汗液、呼出的气体、人体皮肤屑等是氧化层中的钠离子沾污的唯一来源。()
20. 发射极陷落效应是指: 在晶体管制作过程中, 进行发射极扩散时, 在发射区下面的基区杂质扩散速度要比发射区以外的基区杂质扩散速度快。()
21. 有白雾的硅片, 与光刻胶的沾附性差, 光刻腐蚀时易脱胶或钻蚀。()
22. 在相同的扩散条件下, 在有沾污和氧化物的区域杂质原子扩散进去的数量、结的深度

就与其他地方不一样。()

23. 光刻掩膜版与光刻胶膜的接触不良, 对光刻分辨率影响不大。()
24. 胶膜越厚, 粘度越大, 过渡区越严重。分辨率越低; 胶越稠, 干燥后胶膜厚, 分辨率就低。()
25. 由于氧化层小岛的存在, 会阻碍正常的杂质扩散, 在这些位置上形成异常区, 使器件反向漏电流变大、击穿电压降低、特性不正常。()
26. 硅片装入真空室前在空气中放置时间长, 又形成新的很薄的氧化膜, 铂硅合金能形成。()
27. 集成电路的多层布线是指层间有介质隔离的多层金属布线。()
28. 当Si中的电子受到热能、光能或电能的作用时, 电子的能量会增加, 从而摆脱原子核的束缚成为自由电子。()
29. 对PN结施加的电压增大到某一数值时, 电流突然开始迅速增大, 这种现象称为PN结击穿。()
30. 对于NPN晶体管, 电子电流是晶体管中流动的主要电流成分。()
31. 在缓变基区晶体管中, 基区的掺杂浓度是不均匀的, 这将在基区产生一个电场, 称为基区自建电场。()
32. 反向电流和击穿电压是表征晶体管性能的主要参数。()
33. 特征频率随晶体管的工作点的变化而变化, 它与集电极电流无关。()
34. 晶体管是对信号有放大和开关作用的半导体器件。()
35. MOSFET是双极半导体器件。()
36. 在PN结上加上反向电压, 改变反向电压的大小, 就可以控制PN结耗尽层的厚度。()
37. 硅闸流管是一种由硅单晶制成的包含三个或更多个PN结的双稳态半导体器件的总称。()
38. 由异质结组成的二极管称为异质结二极管。()
39. PIN二极管又叫移相开关二极管, 它是一种结构为 P^+NP^- 或 NP^+N 的二极管。()
40. 结型晶体管又叫双极晶体管, 结型晶体管工作时, 半导体中的电子及空穴都起主要作用。()
41. 以发射极为输入端, 以集电极为输出端, 以基极为输入、输出公共端的接法叫共基极接法。()

42. 微波功率晶体管是指在微波频率下输出100mW以上功率的双极晶体管。()
43. 在不同输出电压下, 输入电流随输入电压变化的曲线, 称为双极晶体管的输出特性。()
44. 在一定的环境温度下, 为了提高晶体的最大功耗, 最好使用热阻低和结温高的硅平面晶体管。()
45. 上升时间 t_r 表示集电极电流 I_C 从 $0.1I_{CM}$ 上升到 $0.5I_{CM}$ 所需的时间。()
46. 场效应晶体管的源——漏电压 V_{DS} 保持一定时, 电流 I_D 的变化与引起 I_D 变化的栅——源电压变化之比叫做场效应晶体管的跨导。()
47. 阈值电压又叫开启电压, 是指MOS增强型场效应晶体管, 由不通导变为通导的栅——源电压。()
48. 电功率既指用电器单位时间内消耗电能的多少, 又指用电器允许承受的功率。()
49. 在工作中, 如果觉得机械真空泵电动机反转了, 只要停一下电后, 把三相电源中任意两根线相互倒一下就变成正转了。()

二、选择题

1. 影响汽相外延生长速度的因素有_____。
- A. 衬底表面晶向 B. 气体纯度 C. 反应室的压力 D. 原材料纯度
2. 影响汽相外延层的质量因素有_____。
- A. 源材料和载气的纯度 B. 设备的气密性和温场分布
C. 衬底晶向和抛光质量 D. 与外延生长的温度无关
3. 液相外延的特点有_____。
- A. 生长速度较慢, 生长温度低 B. 与其他外延方法相比, 设备简单
C. 外延层的厚度及其均匀性易控制 D. 外延层的纯度不高
4. GaAs汽相外延工艺参数包括_____。
- A. 生长温度 B. 生长时间 C. 气体流量 D. 掺杂剂的浓度
5. MOCVD生长外延层的质量控制包括_____。
- A. 衬底的晶向 B. 生长温度 C. 输入的V/III比 D. 反应室的压力
6. MOCVD的优点有_____。
- A. 可生长各种III-V族、II-VI族化合物
B. 所用的反应气体都具有很大的毒性、易燃、易爆
C. 外延温度低, 减少污染, 生长界面较陡

B. 800~850℃ 20~30min

C. 950~1000℃ 20~30min

17. 造成氧化硅不均匀的原因有：_____。

A. 氧化反应管中的氧气和水汽的蒸汽压不均匀

B. 氧化炉的恒温区太短

C. 氧化时炉温不稳定

D. 水温有变化

E. 硅片表面状态不良

18. 预防热氧化生长的二氧化硅表面有斑点的措施有：_____。

A. 硅片要严格清洗，并防止微粒杂质的沾污

B. 石英管要定期清洗，“老化”严重的石英管要更换新的

C. 为防止水珠飞溅在硅片上，石英管进气端的炉外部分要尽量短，水浴瓶的纯水不要过多

D. 硅片清洗后，要充分烘干，表面无水迹

19. 解决氧化层钠离子沾污的办法有：_____。

A. 加强工艺操作、人体卫生、环境卫生

B. 使用高纯化学试剂、高纯水和超净设备

C. 采用HCl氧化工艺，减少氧化过程中由氧化炉引入的钠离子沾污

D. 硅片清洗后，要充分烘干，表面无水迹

20. 发射极陷落效应引起的后果是：_____。

A. 影响器件的功率性能

B. 基区宽度难以缩小，有碍于提高频率性能

C. 发射极和集电极之间容易引起局部电流集中，造成低击穿、漏电流增大

21. 杂质扩散系数和固溶度都与_____有关，石英舟中各处的_____若有差异，就会影响扩散均匀性。

A. 温度

B. 气流

C. 杂质

22. 显影时，硅片表面的胶膜皱起，呈桔皮状或胶膜大片剥离，这是显影时的浮胶。它直接影响光刻质量，一般应_____。

A. 去胶重新做

B. 修补后向下流

C. 继续向下流

23. 造成光刻小岛的原因有：_____。

- A. 光刻掩膜版上有针孔, 形成了漏光点, 使该处的 SiO_2 不能腐蚀掉, 留下了小岛
 B. 显影不足, 造成某些区域留有残余的胶, 使这些地方的氧化硅不能被腐蚀掉
 C. 曝光过量, 使局部区域的光刻胶显影不净
 D. 腐蚀液不纯, 特别是沾有灰尘等污物, 腐蚀时对氧化硅层起到阻碍作用, 形成小岛
24. 铝膜与氧化硅粘附性差的原因有: _____。
- A. 清洁处理不干净
 B. 有油气污染
 C. 硅片表面不干燥
 D. 衬底温度过高
25. 工艺操作人员一旦发现工艺异常现象应填写工艺异常报告单及时提交工艺线有关技术负责人, 进一步分析原因, 找出整改措施, 进行整改, 一定达到_____。
- A. 原因清楚
 B. 解决问题
 C. 闭环管理
26. 集成电路微细加工技术是制造现代集成电路的核心技术, 它主要是指最小图形尺寸为_____微米的集成电路芯片制造技术。
- A. 0.1~0.5
 B. 0.5~1.0
 C. 0.1~1.0
27. 半导体二极管按结构来分有_____, PN结二极管、PIN二极管和异质结二极管。
- A. 点接触二极管
 B. 开关二极管
 C. 检波二极管
28. 通常电流容量在_____安以下的器件叫整流二极管, 在_____安以上的叫整流器。
- A. 1 1
 B. 5 5
 C. 1 5
29. 与PN结二极管相比, 肖特基二极管的起始电压_____, 储存电荷效应很小, 所以能在很高的频率下工作。
- A. 较大
 B. 相当
 C. 较小
30. 微波晶体管是指在_____或微波波段工作的晶体管。
- A. 中频
 B. 高频
 C. 超高频
31. 以基极为输入端, 以集电极为输出端, 以发射极为输入输出公共端的接法叫做_____。
- A. 共基极接法
 B. 共发射极接法
 C. 共集电极接法
32. 晶体管的电流放大系数及功率随信号频率的增加而_____。
- A. 增加
 B. 减小
 C. 保持不变
33. 晶体管发生正向二次击穿时, I_b 值应_____零。

- A. 低频 B. 中频 C. 高频

35. 下降时间表示集电极电流从 $0.9I_{cm}$ 下降到 I_{cm} 所需的时间。

- A. 0.5 B. 0.3 C. 0.1

36. MOSFET输出特性可分为三个区域,即饱和区、不饱和区和击穿区,只有工作在_____才具有放大能力。

- A. 饱和区 B. 不饱和区 C. 击穿区

37. 与本征半导体相比, 杂质半导体的导电能力_____。

- A. 增强 B. 变弱 C. 无变化

38. 在二极管中，外加反向电压超过某一数值后，反向电流突然增大，这个电压叫_____。

- A. 饱和电压 B. 击穿电压 C. 启动电压

39. 在晶体管中复合与基区厚薄有关,基区越厚,复合越多,因此基区应做得_____。

- A. 较厚 B. 较薄 C. 很薄

40. 一般环境温度 25°C 以下, 把 P_{CM} 大于_____ W的管子称为大功率管。

- A. 0.5 B. 1 C. 2

41. 结型场效应晶体管主要参数有三个即夹断电压、饱和漏极电流和_____。

- A. 基极电阻 B. 结温 C. 跨导

42. 晶闸管除整流作用外, 还可以作为可控_____使用。

- A. 电阻 B. 电容 C. 开关

43. 热阻是衡量散热能力一个基本参量, 它表示传导单位_____时所造成的温差。

- A. 电流 B. 功率 C. 热量

44. 通常采用晶体管等效电路的_____参数作为分析、设计晶体管放大器的基础。

- A. h B. y C. z

45. 各种场效应晶体管都有一个施加控制电压或电极的_____极。

- A. 源 B. 漏 C. 栅

46. 晶体管的老化, 一般是随_____的升高而加速。

- A. 热阻 B. 结温 C. 基极电阻

47. 机械泵加油_____。

A. 必须选泵油标号适中, 且加油适量

B. 油选择越稠, 加油量越多越好

C. 任选机械泵油, 加到油的标位就行

48. 一台在用设备从某一厂房搬到另一厂房, 设备上有两个三相异步电动机, 一个是机械泵电机, 一是钟罩升降电机, 搬家过程中只拆装了总电源。通电后, 逐步试机, 首先发现机械泵反转, 应这样倒线: _____。

A. 把接机械泵马达的任意两根相线倒一下

B. 把总电源中的任意两根相线倒一下

C. 分别倒两个马达上的任意两根相线

三、填空题

1. 影响汽相外延生长速度的因素有_____晶向, 气体流量, 输入 AsCl_3 的分压, _____的压力, 载气的种类。
2. 影响汽相外延层的质量因素有衬底晶向和_____, 源材料和载气的_____。
3. 汽相外延层的厚度主要由_____, 气体流量, 生长时间来控制。外延层的载流子浓度主要由掺杂剂的浓度, 源温和_____来控制。
4. 液相外延层的纯度高, 生长_____, 生长温度低; 与其他外延方法相比, 设备_____。
5. MOCVD反应室的压力对生长速度的影响较弱。降低反应室的压力, 有利于改善外延层的厚度与组分_____以及异质界面组分变化的_____程度。
6. 常用的III-V族半导体衬底表面晶向是(100)面。(100)面易于化学抛光, 易于获得_____外延层形貌, 适于选择外延生长, 也适于_____工艺要求。
7. MOCVD的源材料室温下为_____, 并有适当而且稳定的_____, 可保证能精确控制源的剂量, 得到适当的反应速度。
8. 分子束外延源材料要求: 金属镓、固态砷、金属铝、金属铟纯度 $\geq$ _____。衬底材料要求: 平整、_____、无损、少沾污。
9. 气相外延层的厚度主要由外延生长_____, 外延生长气体_____, 外延生长时间来控制。通过已确定外延生长速率, 来决定所需的外延层的生长温度, 气体流量, 生长时间等。
10. 衬底表面划痕损伤材料表面, 杂质易于在损伤处堆积, 引起材料_____不均匀; 氧化膜使外延材料生长的浓度、_____不均匀。
11. 半导体芯片工艺中离子注入的掩蔽层可以采用_____、_____、_____。

和_____。

12. 离子注入沿晶轴方向所形成的沟道称_____；沿晶面方向的沟道称_____。
13. 在原子碰撞过程中，若晶格原子获得的能量大于原子的_____，则它将离开原来的平衡位置而发生_____，进入_____状态，这一物理过程称为_____，又叫原子反冲。
14. 常用的退火方法有_____和_____。
15. 离子注入晶片中最简单的晶格缺陷是_____，又叫弗仑克尔对。
16. 解决氧化硅不均匀的方法有：采用_____的氧化炉；严格控制_____温度；保证硅片表面平整、无划痕；选择合理的_____等。
17. 若硅片上有位错和层错，在该处容易引起_____的积累，造成该处不能很好地生长氧化层，从而形成氧化膜上的_____。
18. 氧化层中的钠离子沾污是造成器件_____增大、_____变化、器件性能不稳定的重要原因之一。
19. 产生发射极陷落效应的原因是在发射极扩散中，当杂质原子的_____比硅小得多而引起位错运动产生了过剩空位，这些过剩空位使发射区下面的基区杂质扩散速度加快。
20. 采用_____代替磷扩散或在磷扩散同时_____都能减小发射极陷落效应。
21. 扩散后观察到扩散窗口内有一层白雾状的东西，或有小突起。在显微镜下观察，前者是一些黑色小圆点，称为_____；后者是一些黄亮色、透明的小突起，称为_____；有时也统称为合金点。
22. 经硼或磷扩散后，往往在硅片表面生成一层_____或_____，这是由于源温度过高、扩散温度过高或扩散时间过长产生的。
23. 在磷扩散时，磷杂质浓度过高以及石英管中偏磷酸产生大量的烟雾喷射在硅片表面，在快速冷却过程中就产生了_____。
24. 掩膜版的套刻精度直接影响光刻精度，掩膜版图形的边缘过薄（即存在过渡区），也会造成分辨率_____。
25. 在氧化层或金属光刻窗口出现毛刺和钻蚀时，会使PN结不平整，影响_____，严重时形成_____，使器件成品率、稳定性、可靠性明显下降。
26. 光刻针孔的存在会使该处的_____失效。
27. 铝膜应光亮如镜，表明真空镀膜质量较好，当表面呈_____，说明表面已被氧化。

28. 微细加工技术是集成电路全套制造技术的统称, 主要包括_____加工技术, 薄膜、超薄膜生长技术, 精确控制的_____以及厂房设施的_____等。
29. 硅集成电路中, 接触和互连的材料通常是各种_____, _____以及_____的薄膜。
30. 集成电路互连金属化层的质量指标包括_____, _____、_____, _____等。
31. 采用多层布线可以充分利用芯片_____, 有效地压缩芯片_____, 缩短布线长度, 从而提高电路的工作速度并给设计带来更多的灵活性。
32. 多层布线技术需解决的主要技术问题有: _____与介质平面化、_____与回填、金属层间_____。
33. 晶体二极管按结构可分为 _____和 _____两种。
34. 二极管的主要参数包括_____, _____和 _____。
35. PN结的电特性主要是指 _____。
36. 三极管由两个_____结和 _____电极构成。
37. 三极管都分为 _____、_____和 _____等三个区域。
38. 三极管具有放大作用的基本条件是发射结加_____电压, 集电结加_____电压。
39. 晶体三极管的特性曲线是指三极管各极的_____与_____之间的关系曲线。
40. 场效应晶体管也是一种具有PN结结构的半导体器件, 但它与普通三极管的不同之处在于它是_____控制器件。
41. 晶闸管也是一种半导体器件, 它除了具有_____的整流作用外, 还可做为_____使用。
42. MOS场效应晶体管, 有_____和_____两大类, 每一类又有 _____和_____之分。
43. 半导体是指导电能力介于_____和 _____之间的物质。
44. 扩散与漂移运动方向相反, 随着扩散运动的削弱与漂移运动的_____, 最终必然会达到动态平衡。
45. 在二极管中, 外加反向电压超过某一值后, 反向电流突然增大, 这种现象称为 _____。
46. 三极管的发射极、基极和集电极分别用 _____、_____, _____来表示。
47. 晶体管目前可以分为_____和_____两大类。

48. 为了尽量减小开关晶体管的开关时间, 开关晶体管的 _____ 要大, _____ 要高。
49. 对高频信号有电流及功率放大作用的双极晶体管, 通常称为 _____。
50. 当基极流 $I_b > 0$ 时, 出现的二次击穿现象, 称为 _____ 二次击穿。
51. 安全工作区受 _____、_____、_____ 和 _____ 限制。
52. 双极晶体管的功率放大作用通常以 k_p 来表示, $k_p =$ _____。
53. 真空设备停机一段时间不用, 真空室应保持 _____, 不得放进大气, 避免真空室被 _____。
54. 用万用表测量大阻值电阻时, 人双手不能同时接触表笔导体部分, 因为这时的读数是人体 _____ 与被测 _____ 的并联。
55. 晶体管特性图示器是一种能在示波管荧光屏上直接观 _____ 或 _____ 型晶体管的各种特性曲线簇的专用仪器。
56. 机械泵油起 _____ 和 _____ 的作用。
57. 表示真空度的常用单位是 _____ 或 _____。其换算关系是1托= _____ 帕, 5×10^{-4} 帕= _____ 托。

四、综合题

1. 影响汽相外延生长速度的因素有哪些?
2. 影响汽相外延层的质量因素有哪些?
3. 外延片表面不光亮的影响因素有那些?
4. 影响外延层的迁移率低因素是什么?
5. 造成材料外延不均匀的因素是什么?
6. 离子注入杂质浓度的高斯分布有什么特点?
7. 为了在半绝缘GaAs晶片表面形成深度 X_i 为 $0.25 \mu m$ 、平均浓度 N 为 $1 \times 10^{17} cm^{-3}$ 的N型掺杂层, 假定退火后注入杂质全电激活, 问需要 Si^+ 离子注入的剂量 N_D 多少?
8. 硅芯片工艺中, 100KeV B^+ 离子选择注入, 用 SiO_2 作掩蔽层, 问 SiO_2 最小厚度 d_m 需要多少 (已知100KeV B^+ 离子在硅中的平均投影射程 $\bar{R}_p = 2990 \text{ \AA}$ 、标准偏差 $\Delta \bar{R}_p = 710 \text{ \AA}$) ?
(注: $\text{\AA}$ 为长度单位之一, $1 \text{ \AA} = 10^{-8} cm$)
9. 分别回答离子注入硅晶片和砷化镓晶片快速热退火的条件范围?
10. 100KeV、 $4.0 \times 10^{12} cm^{-2}$ $_{29}Si^+$ 离子注入半绝缘GaAs晶片中, 经快速热退火后 (注入杂质

全电激活), 求N型掺杂层的峰值浓度、GaAs片表面浓度 N_0 以及要求在 $5.0 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 处截止的N型掺杂层的深度和杂质浓度分布(已知100 KeV $_{29}\text{Si}^+$ 在GaAs中的平均投影射程 $R_p=870\text{\AA}$ 、标准偏差 $\Delta R_p=450\text{\AA}$)?

11. 有哪些原因会造成扩散的方块电阻偏大? 如何解决?
12. 有哪些原因会造成PN结反向漏电流大? 如何解决?
13. 影响 β 均匀性的因素有哪些? 如何解决?
14. 造成光刻的浮胶的原因有哪些? 如何解决?
15. 为什么有些器件可以采用铝电极, 而有些器件必须采用金的多层金属电极?
16. 试述集成电路芯片内部互连的重要性和难度。
17. 设备的真空系统有哪几部分组成?

3.4 高级技师部分

一、判断题

1. 减少外延层缺陷只要选择衬底的缺陷少就可以。()
2. 硅外延层可以通过各种含硅气体和不同的化学反应生长出来,每一种反应发生在一定的温度范围内。虽然生长温度范围远远低于硅的熔点,但能够生长出高质量的外延层。()
3. 应变量子阱的使用大大拓展了GaAs激光器的波长范围,可以得到600nm~1200nm范围的各种波长。应变量子阱的采用还改善了激光器的性能和可靠性。()
4. MOCVD反应室的压力对生长速度的影响较弱。降低反应室的压力,不影响外延层的厚度与组分均匀性以及异质界面组分变化的陡峭程度。()
5. 分子束外延实现了在高真空的环境下,在原子尺度上的晶体生长过程;制备了各种不同材料体系的异质结、量子阱和超晶格结构;促进了新一代微电子和光电子器件的发展。()
6. 分子束外延生长速率慢,约为 $1\mu\text{m/h}$,可达到层厚、组分、掺杂的原子尺度控制。()
7. 用分子束外延方法生长的二维电子气材料的电子迁移率高。砷化镓基的高电子迁移率晶体管(HEMT)的特征工作频率达到200GHz。()
8. 金属有机化学汽相淀积技术已经成为制备光电子器件的重要手段之一,基于量子阱结构的光电子器件具有低的阈值电流、高的量子效率、高的调制速度、窄的线宽、较高的特征温度和极低的功耗等特点。()
9. 以碳化硅和III族氮化物为代表的材料是典型的第三代半导体材料。主要特点是具有宽禁带,在击穿电场和电子平均速度等方面与第二代半导体材料相同。()
10. 在硅单晶片上外延生长的锗硅合金是一种新型半导体材料。锗硅合金材料具有高速、高频和低功耗的特点。()
11. 低维结构材料是相对三维块体材料而言的二维超晶格和量子阱、一维量子线及零维量子点材料。()
12. 离子注入损伤吸杂是把有源区及其附近的有害金属杂质及缺陷转移到晶片背面离子注入辐射损伤区中的物理过程。()
13. 为了克服离子注入掺杂的暗区效应,选用倾角注入模式。()
14. 离子注入技术除了用于半导体芯片工艺,还广泛地应用于离子束材料改性。()

15. 双电荷离子注入可以使同一台离子注入机的能量使用范围扩大了一倍。()
16. 由于离子注入的全过程是在高真空系统中完成的, 所以离子注入层的质量与真空度没有什么关系。()
17. 金属与半导体的没有整流作用的接触属于欧姆接触。()
18. 点接触二极管及肖特基势垒二极管基本上是多数载流子器件。()
19. 场效应晶体管工作时, 半导体中的空穴及电子都起主要作用。()
20. 共基极接法的特点是: 输入阻抗高、输出阻抗低、功率增益高。()
21. 集电极电流与发射极电流之比叫做晶体管的直流共基极电流放大系数。()
22. 导电沟道夹断的基本观点是: 导电沟道中载流子迁移率可以近似视为常数, 当漏源电压增加到一定程度时, 漏极电流趋于饱和的原因是表面沟道的近漏端反型层的消失。()
23. 在微波频率下, 测量电压、电流比较困难, 因而广泛采用测量线等技术测量驻波系数和反射系数, 由此产生了用网络二端的反射系数来描写网络的矩阵参数, 这种参数就是Y参数。()
24. 基区电导指的是晶体管基区的电导率随发射极电流增加而减小的现象。()
25. 厄来(Early)效应指的是双极晶体管的有效基区宽度随集电结反向电压而变化的现象。()
26. MOS耗尽型场效应晶体管的夹断电压是指没有源-漏电压时, 使表面沟道完全消失的栅——源电压。()
27. 金属与半导体的有整流作用的接触属于整流接触。()
28. 共集电极接法是三种接法中增益最高的一种, 输入阻抗高。输出阻抗低。()
29. 薄膜晶体管是由淀积在绝缘衬底上的金属、半导体、绝缘体等薄膜的双极晶体管。()
30. 在双极晶体管中饱和态是指发射结与集电结都变为正偏时的一种状态。()
31. 基区宽度调制效应会引起晶体管电流放大系数 α 和 β 的变化, 产生由集电极到发射极的电压回授, 并使输出电阻减小。()
32. 高频可控硅是一种可在较高频率下工作的器件, 一般可在几到几十千赫的频率下工作。()
33. 集成电路设计中心是专门从事集成电路设计、生产的实体组织。()
34. 在正确解决了可靠性设计之后保证芯片制造的工艺质量是提高集成电路可靠性的关

键。()

二、选择题

- 在Ga/AsCl₃/H₂系统,以AsCl₃为砷源,以Ga或GaAs为镓源,载气通常为H₂,影响汽相外延生长速度的因素是_____。
 - 衬底表面晶向
 - 气体流量
 - 输入AsCl₃的分压
 - 反应室的压力
- 化学汽相外延基本过程包括_____。
 - 源通过载气从主气流区输运到沉积区
 - 源在高温沉积区内发生气相反应,产生反应物和副产物
 - 反应物输运到衬底表面,吸附到生长表面
 - 表面反应,生成的固相并入到生长膜中,进行外延生长
- 砷化镓化学汽相外延的基本原理包括_____。
 - AsCl₃还原反应
 - GaCl的歧化反应
 - 淀积反应
 - 包括以上三个反应
- 分子束外延是制备半导体多层超薄单晶薄膜的外延技术其中包括_____。
 - 生产过程能精确控制的外延技术
 - 常用的汽相外延技术
 - 精确控制外延层的厚度、组分
 - 精确控制外延层掺杂及异质界面平整度
- 金属有机化学汽相外延反应室的设计对外延层的影响有_____。
 - 外延层厚度和组分均匀性
 - 外延层厚度和浓度
 - 本底掺杂浓度以及产量均无影响
 - 外延层的纯度
- 分子束外延的特点有_____。
 - 生长高纯度、高性能的外延薄膜
 - 生长速率慢,约为1 μm/h
 - 生长温度高
 - 外延质量不易控制
- 减少外延层缺陷的主要措施有_____。
 - 衬底的缺陷少
 - 衬底的清洗符合要求
 - 与生长工艺参数无关
 - 提高生长温度
- 外延层的电阻率工艺调控措施有_____。
 - 控制掺杂剂的量
 - 控制生长速度
 - 控制生长温度
 - 控制掺杂剂源的温度
- 降低外延层的迁移率因素包括_____。
 - 外延层的晶体质量差
 - 载气纯度不够

- C. 生长时间
- D. 系统沾污
10. 外延层缺陷的来源包括_____。
 - A. 衬底的缺陷
 - B. 衬底的清洗
 - C. 外延生长工艺参数
 - D. 外延生长时间
11. 具有发展前途的半导体材料包括_____。
 - A. 砷化镓基的高电子迁移率晶体管 (HEMT) 的材料
 - B. 磷化铟基高电子迁移率晶体管 (PHEMT) 的材料
 - C. 以碳化硅和III族氮化物为代表的第三代半导体材料
 - D. 以上答案都对
12. 双电荷离子注入时, 设定的注入剂量应是实际所要求注入剂量的_____。
 - A. 2倍
 - B. 一半
 - C. 相等
13. 砷化镓晶体材料中平均的原子移位阈能大约是_____。
 - A. 10eV
 - B. 25eV
 - C. 40eV
14. B^{++} 双电荷离子通过200 KV电位差所获得的能量是_____。
 - A. 100KeV
 - B. 200KeV
 - C. 400KeV
15. 在原子级联碰撞过程中, 若硅晶片中某个Si原子获得14 KeV能量, 则它将产生_____个Si移位原子。
 - A. 42
 - B. 420
 - C. 4200
16. 硅晶片的离子注入损伤吸杂中, 吸杂效果最好的注入离子是_____。
 - A. B^+
 - B. P^+
 - C. As^+
 - D. Ar^+
 - E. Si^+
17. PN结二极管在正向导通时, 电流随电压指数增加, 呈显明显的_____特性。
 - A. 非线性
 - B. 线性
 - C. 对数性
18. 半导体二极管可用于_____电路中, 对电流起接通和关断作用。
 - A. 混频
 - B. 开关
 - C. 整流
19. 功率晶体管的主要性能参数是_____及输出功率。
 - A. 功率增益
 - B. 输出阻抗
 - C. 噪声系数
20. 对于硅双极晶体管来说, 反向电流随温度升高而迅速增大, 在室温附近, 温度每升高_____℃, 反向电流增大1倍。
 - A. 6
 - B. 8
 - C. 10
21. f_m 是晶体管作振荡和功率放大时的极限频率, 若频率 f 大于 f_m , 则功率增益 k_p _____1。

- A. MMIC B. HMIC C. MOS
32. 结合双极和MOS两种工艺进行设计, 以实现特定功能要求的集成电路称作双极——金属氧化物半导体集成电路, 简称_____电路。
- A. ASIC B. BiMOS C. MOS
33. _____集成电路是为特殊用途或特定用户设计和制造的集成电路。
- A. 专用 B. 混合 C. 模拟
34. MMIC主要是用化合物半导体材料制造的, 由于半绝缘GaAs的电阻率高达 $10^7 \sim 10^8$ 欧姆——厘米, 是很好的微波传输介质, 成为目前首选的_____材料。
- A. 衬底 B. 介质 C. 半导体
35. 显微镜调焦时, _____。
- A. 从上往下调 B. 从下往上调 C. 可随意从哪调起都行
36. 设备接保护地线时, _____。
- A. 地线(G线)或零线不能接保险丝, 要直接接到设备外壳上
- B. 随便 C. 接到设备上的线都该接保险丝
37. 使用显微镜时, _____。
- A. 应用小倍数镜头开始调整, 然后换成大倍数镜头
- B. 为了快应直接用大倍数镜头观察
38. 在恒温控制中_____。
- A. 热偶断了, 显示为超温; 热偶短路, 显示为总是升温
- B. 热偶断了, 显示为总是升温; 热偶短路, 显示为超温

三、填空题

- 分子束外延技术, 可以制备人工新材料, 在_____尺度上精确控制外延层的厚度、组分、掺杂及_____界面平整度。
- 分子束外延是制备半导体_____超薄单晶薄膜的外延技术, 现在已扩展到金属、绝缘介质等多种_____体系, 成为现代外延生长技术的重要组成部分。
- 四元化合物的液相外延时, $\text{Ga}_x\text{In}_{(1-x)}\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ 四元化合物与InP_____, 界面复合速度低, 用液相外延生长的 $\text{Ga}_{0.18}\text{In}_{0.82}\text{As}_{0.32}\text{P}_{0.68}$, $1.06\mu\text{m}$ _____处的量子产额为7.5%。
- 由于外延技术的成熟, 薄层外延的厚度可以控制在_____尺度。因此量子阱的外延就突破了晶格匹配的限制, 经过仔细的_____和精确的控制, 可以得到无失配

位错的应变量子阱材料。

5. GaN外延一般采用_____、碳化硅(SiC)、_____作为衬底,但它们与GaN的晶格失配度比较大,其热匹配性能也差。
6. GaN外延材料性能测试:材料纯度、背景浓度、_____,位错密度是GaN外延材料的主要性能数据,它们决定了GaN微波器件的_____ (速度)、功率密度、可靠性等基本性能。
7. 激光器按有源区量子化程度可分为_____激光器、量子线激光器、_____激光器。
8. 碳化硅和III族氮化物材料的主要特点是具有_____禁带,在击穿电场和电子平均速度等方面更胜一筹,_____能力更强。
9. 随着显示器的发展,发光二极管的需求大大增加。最近在图像显示、交通信号,甚至在照明等方面也广泛使用发光二极管。要求发光二极管的_____,效率高。迄今为止,最好的发光二极管都是用_____外延生长的。
10. 低维结构材料是相对三维块体材料而言的二维超晶格和量子阱、一维_____及零维_____材料。
11. 多能量叠加注入是指_____离子先后以不同的_____和_____进行的离子注入。
12. 双电荷离子注入在质量分析器后面加双电荷_____的目的是为了避免_____。
13. 通常用四探针法测量离子注入层的_____值,薄层电阻值的标准偏差与它平均值之比值的百分比定义为离子注入的_____指标。
14. 离子注入晶片表面轻微“染色”主要原因是_____引起的。
15. 当前半导体芯片工艺中,为了提高离子注入的均匀性,靶晶片注入的模式有_____,_____和_____等三种。
16. 半导体可分为两大类,即_____和_____。
17. 半导体二极管按用途来分包括_____,_____,_____,_____,_____,_____等。
18. 能够产生隧道效应的PN结二极管通常结的两边_____都很重,_____分布很陡。
19. 微波功率晶体管是指微波频率下输出_____以上功率的双极晶体管。

20. 延迟时间由四个部分组成：①_____②_____③_____④_____。
21. 限制集电极最大功耗的主要参数是双极晶体管的_____、_____和_____温度。
22. 晶体管产生噪声的来源有_____、_____和_____。
23. MOSFET中产生的击穿有_____和_____。
24. 对于普通的MESFET，当栅下杂质浓度达到一定值时，肖特基势垒结的_____增大，器件特性变坏。
25. 反向电流代表晶体管内的失控现象，它不受输入电流的控制，对放大作用没有贡献，反向电流主要包括_____、_____、_____。
26. 在半导体物质中，加入精选的用量精确控制的杂质能大大提高它的导电能力，这一过程称为_____。
27. 隧道二极管伏安特性中的峰谷比指的是_____与_____之比。
28. GaAs MESFET结构设计中应包括增加_____、提高_____、降低_____和减小_____参数等诸方面的考虑。
29. 根据漏源电压和栅源电压的大小，MOSFET的伏安特性可分为四个区域：_____、_____、_____和_____。
30. 场效应晶体管的输出特性可划分为两个区：漏——源电压较小时的_____，漏——源电压较大时_____。
31. 可控硅开关是一个有两个控制极的_____器件。
32. 采用适当的工艺加工，将电子电路中的_____，_____及其_____制作在半导体基片或绝缘基板上形成具有特殊功能的电子电路，即为集成电路。
33. 集成电路按它的结构和制造技术分类，可以分为_____集成电路和_____集成电路两大类。
34. 集成电路按功能用途可分为_____集成电路、_____集成电路、_____集成电路、_____集成电路等几大类。
35. 集成电路按集成度可以分为_____集成电路、_____集成电路、_____集成电路、_____集成电路和系统芯片等。
36. 模拟集成电路又可以分_____集成电路和_____集成电路两大类。

37. 以微波半导体_____和微波_____为基础,设计、制造的工作在微波频段的单片集成电路称微波单片集成电路(MMIC)。
38. 混合微波集成电路(HMIC)是在_____设计制造微波电路,将微波有源器件(或它的芯片)和部分微波元件焊接到电路内而制成的。
39. 由MOSFET构成的集成电路有_____集成电路、_____集成电路和CMOS集成电路。
40. 结合双极和MOS两种工艺进行设计,以实现特定功能要求的集成电路称作双极——金属氧化物半导体集成电路,简称_____电路。
41. 集成电路的可靠性主要取决于_____、_____和制造过程的控制。
42. 在用高分子聚合物材料装修的洁净间中,工作人员走动,鞋底与地板、工作服与内衣、工作服与桌椅之间的摩擦,均会产生_____。
43. 50mA的工频电流通过人体时就会有生命危险,_____mA工频电流就致人于死命了,人体电阻通常为 $800\Omega \sim$ 几十 $K\Omega$ 不等,皮肤越嫩电阻越小,因为 $36\text{伏}/800\Omega = 45\text{mA}$ 的电流对人没有危险,所以规定_____为安全电压。
44. 冷凝泵是_____,_____,_____的无油泵。

四、综合题

1. 减少外延层缺陷的主要措施有哪些?
2. 分子束外延的特点有哪些?
3. 简述GaAs/AlGaAs 分子束外延。
4. 简述第三代半导体材料的发展。
5. 简述低维结构材料。
6. 半导体芯片工艺中,离子注入晶片退火的目的是什么?
7. 能量为400 KeV、剂量 N_D 为 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 的 P^+ 离子注入到浓度为 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的P型Si衬底片上,退火后(注入杂质全电激活)形成隐埋的N型掺杂层,若忽略退火期间的杂质扩散,分别求N型注入层的峰值浓度、N型埋层厚度及其结深多少(已知400 KeV P^+ 离子在硅中的平均投影射程 $R_p=5030\text{\AA}$ 、标准偏差 $\Delta R_p=450\text{\AA}$)?
8. 为什么GaAs中N型离子注入掺杂剂通常选用 $^{29}\text{Si}^+$ 离子,而不用 $^{28}\text{Si}^+$ 离子?
9. 影响离子注入晶片的质量及其均匀性有哪些因素?
10. 半导体芯片工艺中,离子注入掺杂层有哪些测试方法?
11. 试述集成电路失效的定义,集成电路失效的模式和机理是什么?

12. 集成电路生产过程中的污染和污染物是什么？它们有什么危害？
13. 静电效应对集成电路生产的危害性有哪些表现？
14. 对静电的消除与防护可以有哪些方法？
15. 说明一下热偶规管的工作原理。
16. 简单说明使用晶体管图示仪的使用注意事项。

3.5 中级部分答案

一、判断题

1. ✓
2. ✓
3. ✓
4. ✓
5. ✓
6. ×
7. ✓
8. ×
9. ✓
10. ✓
11. ×
12. ✓
13. ✓
14. ✓
15. ✓
16. ×
17. ✓
18. ✓
19. ×
20. ✓
21. ✓
22. ×
23. ✓
24. ✓
25. ×
26. ×
27. ✓
28. ×

29. ✓

30. ✓

31. ×

32. ✓

33. ✓

34. ✓

35. ×

36. ✓

37. ✓

38. ✓

二、选择题

1. C

2. A C

3. D

4. B

5. A

6. C

7. D

8. A B C D

9. A B

10. A B C D

11. B

12. B

13. A

14. A

15. B

16. A

17. A

18. C

19. C

20. B

21. A

22. C

23. A

24. B

25. A

26. C

27. B

28. A B

29. C

30. C

31. A

32. A

三、填空题

1. 硅 锗

2. 施主 电子导电

3. 电子 空穴

4. 元素 化合物

5. 受主 空穴导电

6. 规则 远程有序

7. 金刚石 闪锌矿

8. 周期性 破坏

9. 几何参数 电学参数

10. 表面 位错密度

11. 化学气相 液相 分子束

12. 动能,非平衡

13. $_{11}\text{B}^+$ $_{31}\text{P}^+$ $_{75}\text{As}^+$

14. 离子 能量 退火处理

15. 离子源 质量分析器 加速器 聚焦透镜 偏转和扫描系统 真空系统 电荷
积分仪与靶室 计算机控制与显示系统

16. 能量 剂量 深度 浓度
17. 完整 成品 可靠
18. 甲苯 丙酮 乙醇
19. 干涉色
20. 染色 阳极氧化
21. 微粒杂质 水汽
22. 光刻胶 洗液
23. 酸性 氧化性
24. 氯化氢
25. 是否均匀 是否致密 斑点 白雾
26. 扩散杂质
27. 液态源
28. 各向异性
29. 一条 等量
30. 隔离
31. 曝光 腐蚀
32. 掩膜版
33. 厚度 应力小 粘附牢固
34. 真实 数据准确
35. 故障频频 产品报废 使用寿命
36. 220 50 380 50 线电压 220

四、综合题

1. 答：电学参数、化学纯度、晶体学参数、几何尺寸。电学参数包括电阻率、导电类型、载流子浓度、迁移率、少数载流子寿命、电阻率均匀性等。化学纯度是指材料的本底纯度。晶体学参数有晶向、位错密度。几何尺寸包括直径、晶片的厚度、弯曲度、翘曲度、平行度，抛光片的平坦度等。
2. 答：（1）擦洗表面的大块污物；（2）浸泡；（3）化学腐蚀；（4）水清洗；（5）干燥。
3. 答：外延生长是指在单晶衬底上与衬底的晶体结构按一定的关系连续生长单晶层的过程。因此外延生长的结构是衬底与外延层呈一个连续的单晶体，但是衬底与外延层的物质成分不一定相同，晶体结构也不一定相同。根据衬底材料与外延层材料的化学组

成可分为同质外延和异质外延。

4. 答：GaAs抛光片的清洗：（1）将抛光好的衬底单晶片进行清洗处理，用清洗液煮沸后用去离子水冲洗干净。（2）用硫酸+过氧化氢+水（8:1:1）的混合液腐蚀5~10分钟，然后用去离子水冲至中性。（3）用MOS级无水乙醇脱水，在红外灯下烘干，放在干净的培养皿中备用。InP抛光片的清洗：（1）将抛光好的衬底单晶片进行清洗处理，用清洗液煮沸后用去离子水冲洗干净。（2）用 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=7:1.5:1.5$ ，16℃浸泡5分钟，然后用去离子水冲至中性。（3）用MOS级无水乙醇脱水，在红外灯下烘干，放在干净的培养皿中备用。
5. 答：表面质量；电学参数，包括载流子浓度，迁移率，方块电阻等；外延厚度；外延片的均匀性，包括厚度，浓度或方块电阻。
6. 答：原子（原子团）、分子（分子团）失去或获得电子后所形成的带电粒子称为离子
7. 答：离子注入的能量单位是KeV。
8. 答：离子注入的剂量单位是 cm^{-2} 。
9. 答：主要分为以下阶段：注入前的准备工作、建立系统的高真空度、建立最佳起弧状态、建立最佳的引束扫描状态、选定最佳的注入条件并完成注入、关机和检查。
10. 答：表面薄层电阻值为208 Ω 。
11. 答：对光刻工艺质量的基本要求是：刻蚀的图形完整、尺寸准确、边缘整齐、线条陡直；图形内无小岛、不染色、腐蚀干净；图形套合十分准确；介质膜或金属膜上无针孔；硅片表面清洁、不发花、无残留的被腐蚀物质。
12. 答：对氧化工艺质量的要求是：（1）厚度达到规定要求；（2）颜色均匀、结构致密；（3）表面无斑点、无白雾、不发花；（4）表面无裂纹、无针孔；（5）热氧化层错少；（6）可动电荷（特别是 Na^+ 离子）含量少。
13. 答：对扩散质量的要求是：（1）表面质量良好：无合金点、无破坏点、无白雾；表面光洁、再扩散后氧化硅均匀。（2）结深符合扩散要求；（3）方块电阻符合扩散要求；（4）表面杂质浓度符合扩散要求；（5）放大系数均匀；（6）反向漏电小、击穿特性好。
14. 答：光刻工艺对掩膜版质量要求是：（1）图形尺寸准确；（2）图形黑白区域之间的反差要高；（3）图形边缘陡直、无毛刺、边缘过渡区要尽量小；（4）应有一定数量完全相同的图形，以利大圆片生产，套刻掩膜中的各次光刻版应能依次一套准，套刻误差应尽量小；（5）版面平整、光洁，无针孔、划痕和小岛；（6）版面牢固耐磨，不宜变形。

15. 答：在芯片制造中对金属电极材料的要求是：（1）电导率高；（2）与二氧化硅或淀积的其他介质膜粘附性能好；（3）无论对N型还是P型硅都能形成欧姆接触,接触电阻低；（4）金属与金属,金属与半导体之间不产生使器件性能退化的金属间化合物；（5）便于淀积和光刻；（6）抗电迁移能力强；（7）抗电化学腐蚀能力强；（8）金属在淀积过程中不引起半导体表面的不稳定性。满足上述全部要求的单层电极材料几乎没有，因此往往需要根据具体情况在多种材料和工艺之间折衷选择。
16. 答：操作人员的质量职责是：（1）按规定接受培训考核，以达到所要求的技能、能力和知识；（2）严格按工艺规范和工艺文件进行操作，对工艺质量负责；（3）按规定填写质量记录，对其准确性、完整性负责；（4）做好所使用的仪器、设备、工具的日常维护保养工作；（6）对违章作业造成的质量事故负直接责任。

3.6 高级部分答案

一、判断题

1. √
2. ×
3. √
4. √
5. √
6. ×
7. √
8. √
9. ×
10. ×
11. ×
12. ×
13. √
14. √
15. √
16. √
17. ×
18. √
19. √
20. ×
21. √
22. √
23. ×
24. √
25. √
26. √
27. √
28. √

29. ✓

二、选择题

1. A B
2. A D
3. B D
4. A B
5. A B
6. A C
7. A B C D
8. A C
9. A B C D
10. A B C D
11. A C
12. A B
13. B D
14. A C
15. B D
16. B C
17. A B C
18. B
19. A
20. B
21. C
22. C
23. A
24. B
25. A
26. C
27. C
28. B

29. C

30. A

31. A

32. A B

三、填空题

1. 还原 高温分解
2. 还原 淀积
3. 气体 晶向
4. 气相反应 外延生长
5. 突然 稳态温度
6. 反应室 尾气处理系统
7. 质量流量计 反应剂
8. 源处理 工艺参数
9. 霍尔测试 X光双晶
10. 不够 质量差
11. 目测 光学显微镜
12. 原子核 电子 能量 投影射程
13. 平均投影射程 $\bar{R}_p$ 平均投影射程标准偏差 $\Delta \bar{R}_p$
14. Si^+ 离子 Se^- 离子, Be^+ 离子 Mg^+ 离子
15. “分析” 单一的 所需要注入的
16. 多次能量叠加
17. 氧化生长 LPCVD
18. 均匀 致密 斑点 白雾 发花
19. PN结 介质 PN结——介质混合
20. 光学 电子束
21. 电阻 电子束 溅射法
22. 含硅的
23. 替位式 间隙式
24. 高斯
25. 光学 激光 电子束

26. 接触式 接近式 投影式
27. 扫描式 投影式
28. 箱法 片状源
29. 表面浓度 结深
30. 性能 成品率
31. 辉光放电
32. 负载 导线
33. 1.3~2.1倍
34. 短路 短路 骤增 电路中负载短路
35. 短路

四、综合题

1. 答：衬底表面的清洗目的是去除各类污染，并防止再污染，达到符合外延要求的衬底表面。（1）去除有机物及无机物的污染；（2）去除金属性杂质的沾污；（3）去除粒子性沾污；（4）去除表面氧化层；（5）处理后的表面应光亮、平滑、无水渍、无化痕；（6）干燥、防止再污染。
2. 答：观察层错一般采用化学腐蚀和显微观察的方法。常用的腐蚀液是铬酸溶液： CrO_3 ： $\text{H}_2\text{O}=1:2$ （重量比），根据具体情况按适当的比例（从2:1到1:2）与浓氢氟酸混合配成。（111）晶面上生长的外延层，经过腐蚀后，看到的层错往往是一些大小和方向都相同的、清晰的等边三角形。
3. 答：（1）外延层可以通过各种含硅气体和不同的化学反应生长出来，每一种反应发生在一定的温度范围内。虽然生长温度范围远远低于硅的熔点，但能够生长出高质量的外延层。（2）对P型和N型掺杂，多种化合物均可使用。掺杂浓度在 $10^{14}/\text{cm}^3 \sim 10^{18}/\text{cm}^3$ 范围均可获得。（3）生长速度可调可控，外延的厚度范围很宽。（4）外延层大面积高均匀，高质量，可规模生产。
4. 答：外延片表面不应有沾污；外延片表面不应有雾、麻点、划道、擦伤；外延片表面应平整、光亮。
5. 答：薄层化合物的组分，通过X射线双晶衍射测试分析；薄层的掺杂浓度，通过电化学C-V法测试；材料组分均匀性可由X射线双晶衍射扫描测试分析；材料掺杂均匀性可以由方块电阻测试得出。
6. 答：在离子束扫描注入过程中，大量的离子投影射程的统计平均值叫平均投影射程；

离子各自的投影射程分别与它们的平均投影射程之间的偏差的统计平均值称平均投影射程标准偏差。

7. 答：为200 KeV。
8. 答：离子注入机的主要技术指标有：加速能量范围、最大扫描束流、可分析的最大原子质量数、可加工的圆片尺寸、每小时的生产量、注入的均匀性和重复性、可选择的注入模式、真空度和离子源的种类等。
9. 答：中能机能量范围一般定义在 $100\text{KeV} \leq E_{\max} \leq 400\text{KeV}$ ；中束流机的束流范围一般在 $100\mu\text{A} \leq I_b \leq \text{几个mA}$ 。
10. 答：把有关数值代入公式,即得平均载流子浓度为 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。
11. 答：要制备良好的扩散结，扩散杂质源需满足以下条件：（1）必须是受主杂质或施主杂质；（2）具有较低的扩散温度；（3）具有适中的扩散速度；（4）具有很高的纯度；（5）不能和半导体发生化学反应。
12. 答：光刻工艺是利用光刻胶的感光性和耐蚀性，在二氧化硅或金属膜上复印并刻蚀出与掩膜版完全对应的几何图形，以实现选择性扩散和金属膜布线的目的。光刻工艺是一种非常精细的表面加工技术，在平面器件和集成电路生产中得到广泛应用。器件的横向尺寸控制几乎全由光刻来实现，因此，光刻的精度和质量将直接影响器件的性能指标，同时也是影响器件成品率和可靠性的重要因素。
13. 答：（1）湿法化学腐蚀；（2）干法腐蚀：① 等离子腐蚀；② 反应离子腐蚀；③ 感应耦合等离子体腐蚀；④ 电子回旋共振等离子腐蚀；⑤ 磁增强反应离子腐蚀；⑥ 溅射腐蚀；⑦ 离子铣。其中应用最多的是湿法化学腐蚀、等离子腐蚀、反应离子腐蚀、离子铣。
14. 答：有常压化学汽相淀积（APCVD）、低压化学汽相淀积（LPCVD）、等离子增强化学汽相淀积（PECVD）、光化学汽相淀积等。

（1）常压化学汽相淀积（APCVD）的主要应用：

- ① 多晶硅薄膜的淀积、掺杂及其热氧化；
- ② 氮化硅薄膜的淀积；
- ③ 掺杂与非掺杂二氧化硅薄膜的淀积；
- ④ 三氯化铝水解法淀积氧化铝薄膜；
- ⑤ 难熔金属钨、钼的CVD淀积。

（2）低压化学汽相淀积（LPCVD）的主要应用：

- ① 多晶硅薄膜的淀积、掺杂；
- ② 氮化硅薄膜的淀积；
- ③ 掺杂与非掺杂二氧化硅薄膜的淀积。

(3) 等离子增强化学汽相淀积 (PECVD) 的主要应用：

- ① 氮化硅薄膜的淀积；
- ② 掺杂与非掺杂二氧化硅薄膜的淀积。

(4) 光化学汽相淀积的主要应用：

- ① 制备氧化硅、氮化硅、氧化铝、PSG等介质膜；
- ② 制备 α -Si、 α -Ge等半导体膜；
- ③ 制备钼、钨和二硅化钛 (TiSi_2) 的导电膜。

15. 答：在芯片制造中,最常用的金属膜制备方法有以下几种：

(1) 电阻加热蒸发：这种方法主要用于铝、金、钼等易熔化、易气化材料的蒸镀。该方法的优点是：简单、便宜；不产生电离辐射；大面积源对台阶复盖好。其缺点是存在来自加热器污染的可能。

(2) 电子束蒸发：这种方法能使熔点在3000℃左右的难熔金属或电介质熔化，并蒸发到衬底表面上形成薄膜。其优点是：薄膜纯度高，钠离子沾污少；消除了台阶效益；衬底采用红外线加热，直接烘烤基片表面，工作效率高，杂质沾污少；多坩锅系统还可连续淀积多层金属薄膜；利用多个源的共蒸发还可形成合金薄膜；可自动检测膜厚。其缺点是在衬底产生辐射缺陷，但可退火消除。

(3) 溅射法：由带能离子轰击靶材表面，使靶原子从靶表面飞溅出来淀积在衬底上形成薄膜。其优点是：可在低温下淀积高熔点材料薄膜；能在大面积上制作均匀的薄膜；薄膜纯度高，与衬底附着力强；可连续淀积多层薄膜；采用反应溅射可淀积化合物薄膜；采用射频溅射可淀积绝缘材料薄膜等。其缺点是在衬底会引入辐射损伤，可退火消除。

16. 答：溅射是与气体辉光放电现象相联系的一种薄膜淀积技术，若在真空室内充入放电所需的惰性气体（如氩气），在高压电场作用下使气体分子电离，产生大量正离子，带电离子被电场加速，形成高能量的离子流，去轰击靶材料表面，由于离子的动能超过靶材料的分子结合能，在离子轰击下，靶材料的原子或分子将离开固体表面，以高速溅射到衬底上淀积成薄膜。这种淀积薄膜技术称为溅射。

17. 答：N型硅外延衬底→热氧化→光刻分压环（或保护环）→硼注入、退火→光刻高硼

区→硼注入→光刻镇流电阻→硼注入、退火→光刻基区→硼注入、退火→LPCVD淀积氧化硅、增密→光刻发射区→砷注入、退火→LPCVD淀积氧化硅、增密→光刻E、B接触窗口→溅射淀积铂、合金形成SiPt→溅射淀积多层金属薄膜→光刻金属图形→电镀加厚金层→去胶、腐蚀金属→PECVD淀积钝化膜→光刻键合区→中测→划片→减薄→薄片、镜检。

18. 答：高阻半绝缘GaAs衬底→光刻欧姆接触图形→蒸发AuGeNi/Au→剥离→合金→光刻隔离区→隔离注入→去胶→光刻栅、凹槽腐蚀→蒸发栅金属→剥离→光刻第一层布线图→蒸发Ti-Pt-Au →剥离→涂聚砒亚胺或PECVD淀积氮化硅→光刻引线孔图形→蒸发Ti-Pt-Au →剥离。
19. 答：线鼻子烧断，是由于螺丝拧得不紧或压线压的不紧，接触电阻大，在接触电阻大处产生很大功耗，产生高温，有时烧到发红，不断氧化，多次反复，即被烧断。

3.7 技师部分答案

一、判断题

1. ×
2. √
3. ×
4. ×
5. √
6. √
7. ×
8. √
9. ×
10. √
11. ×
12. √
13. ×
14. √
15. ×
16. √
17. √
18. ×
19. ×
20. √
21. √
22. √
23. ×
24. √
25. √
26. ×
27. √
28. √

29. ×

30. √

31. √

32. √

33. ×

34. √

35. ×

36. √

37. √

38. √

39. ×

40. √

41. √

42. ×

43. ×

44. √

45. ×

46. √

47. ×

48. √

49. √

二、选择题

1. A C

2. A B C

3. A B

4. A B C

5. A B C D

6. A C

7. A B C D

8. A B C D

-
9. B C D
10. A D
11. A C D
12. A
13. B
14. B
15. B
16. B
17. A B C D E
18. A B C D
19. A B C
20. B C
21. A
22. A
23. A B C D
24. A B C
25. C
26. C
27. A
28. A
29. C
30. C
31. B
32. B
33. A
34. A
35. C
36. A
37. A
38. B

39. C

40. B

41. C

42. C

43. B

44. A

45. C

46. B

47. A

48. B

三、填空题

1. 衬底 反应室

2. 抛光质量 纯度

3. 生长温度 流量

4. 速度慢 简单

5. 均匀性 陡峭

6. 镜面 器件

7. 液体 蒸汽压

8. 7N 光亮

9. 温度 流量

10. 掺杂 厚度

11. SiO_2 膜 Si_3N_4 膜 光刻胶 金属膜

12. 轴沟道 面沟道

13. 移位阈能 移位 间隙 原子移位

14. 快速热退火 恒温退火

15. 空位 间隙原子对

16. 长恒温区 炉温和水浴 气体流量

17. 杂质 针孔

18. 漏电流 击穿特性

19. 共价半径

20. 砷扩散 掺锡
21. 合金点 破坏点
22. 硼硅玻璃 磷硅玻璃
23. 白雾
24. 下降
25. 结特性 短路
26. SiO_2 掩蔽层
27. 白色但不光亮
28. 微细图形 掺杂技术 净化技术
29. 金属膜 掺杂多晶硅 金属硅化物
30. 膜厚 接触电阻 台阶复盖 电迁移
31. 上层空间 面积
32. 台阶覆盖 通孔刻蚀 介质隔离失效
33. 点接触 面接触
34. 最大整流电流 最大反向电压 最大反向电流
35. 单向导电性
36. PN 三个
37. 发射区 基区 集电区
38. 正向 反向
39. 电压 电流
40. 电压
41. 单向导电 可控开关
42. 耗尽型 增强型 N沟道 P沟道
43. 导体 绝缘体
44. 加强
45. 击穿
46. B C E
47. 结型晶体管 场效应晶体管
48. 电流放大系数 特征频率
49. 高频晶体管

50. 正向

51. 集电极最大耐压 集电极最大允许电流 集电极最大功耗 二次击穿

52. 输出信号功率 P_o 与输入信号 P_i 之比 即 $k_p=P_o/P_i$

53. 真空 氧化腐蚀

54. 电阻 电阻

55. NPN PNP

56. 密封 润滑

57. 毛 帕斯卡 133 3.8×10^{-6} 毛

四、综合题

1. 答：(1) 衬底表面晶向；(2) 气体流量；(3) 输入 $AsCl_3$ 的分压；(4) 反应室的压力；(5) 载气的种类。
2. 答：(1) 衬底晶向和抛光质量；(2) 源材料和载气的纯度；(3) 外延设备的气密性和温场分布；(4) 外延生长的温度和工艺。
3. 答：(1) 衬底表面抛光质量不高；(2) 衬底表面残留有机物；(3) 衬底表面有水渍；(4) 衬底腐蚀速度太快；(5) 载气纯度不够；(6) 系统漏气；(7) 生长工艺条件不适宜。
4. 答：(1) 原材料纯度不够；(2) 反应室漏气；(3) 外延层的晶体质量差；(4) 系统沾污；(5) 载气纯度不够；(6) 外延层晶体缺陷多；(7) 生长工艺条件不适宜。
5. 答：(1) 衬底表面有划痕，有水渍，有氧化膜；(2) 生长速度快；(3) 衬底残留尘粒；(4) 衬底温度分布不均匀；(5) 材料掺杂不均匀；(6) 厚度不均匀。
6. 有二个基本特点：一是在深度 $X=\bar{R}_p$ 处，有一个浓度峰值；二是浓度分布相对于浓度峰值呈对称下降。
7. 答：把有关数值代入公式，即得所需的 Si^+ 离子注入的剂量为 $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 。
8. 答：把有关数值代入公式，即算得掩蔽膜 SiO_2 最小厚度 $d_m \approx 6000 \text{ \AA}$ 。
9. 答：离子注入Si晶片快速热退火的条件范围：1000~1200℃，2~20s，高纯干氮保护气氛中；离子注入GaAs晶片快速热退火的条件范围900~1000℃，2~15s，高纯形成保护气氛中。
10. 答： n 型掺杂层的峰值浓度为 $3.56 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ；表面浓度为 $4.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ，截止处N型掺杂层的深度为 $0.18 \mu\text{m}$ ；利用基础知识22的公式和表格，分别计算出不同深度 X 处对应的 $N \times \sqrt{N}$ 值和杂质浓度 $N \times$ 值，见下表中所列。然后在单对数坐标纸上画出对应

的 $N(X)$ — X 点,并用平滑的连线把对应点连成一条高斯浓度分布曲线。

X (Å)	0	340	420	870	1320	1400	1840	2230	2550	2800
$N(X)/N(\times)$	0.135	0.5	0.607	1	0.607	0.5	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
$N(x)(\times)10^{16}\text{cm}^{-3}$	4.81	17.8	21.6	35.6	21.6	17.8	3.56	0.356	0.0356	0.00356

11. 答:造成扩散的方块电阻偏大的原因:(1)扩散窗口有氧化层,阻止了杂质向硅内扩散。这是由携带源的氮气中含有较多的水份和氧;杂质源中含水量较多;光刻不彻底,未将扩散窗口的氧化层去除干净等因素造成。(2)扩散系统内的杂质蒸汽压低,在一定扩散条件下使进入硅体内的杂质含量减少。主要原因有:杂质源变质;源使用时间过长,使源中含杂质质量降低;系统漏气;石英管内源蒸汽饱和不充分;携带源的气流过小;液态源扩散时氧气流量过小,使源分解不充分等。(3)温度低或时间短,扩散系数将变小,进入硅中的杂质总量减少。(4)再扩散时,湿氧化时间过长或温度过高,使氧化硅吸收了大量杂质原子,结果使方块电阻变大。解决的办法:(1)气体要经过纯化系统;(2)提高光刻技术,将扩散窗口的氧化硅去除干净;(3)扩散源使用时间过长或变质,应及时更换新源;(4)严格控制扩散温度、时间和气体流量;(5)气体纯化系统和扩散系统要严密,防止漏气。
12. 答:造成PN结反向漏电流大的原因有:(1)硅片表面沾污了重金属杂质,在高温下,它们会很快扩散进入硅片体内,沉积在晶格缺陷中,发生局部击穿,造成很大反向漏电流;(2)硅表面缺陷过多或吸附了水分、杂质离子,导致表面漏电流大;(3) SiO_2 表面吸附了气体、离子及 SiO_2 本身的缺陷,使 SiO_2 层带上了正电荷,形成表面沟道效应,使反向漏电流增大;(4)图形边缘不完整,出现尖峰毛刺,硅表面有合金点、破坏点,都会引起纵向扩散不均匀,PN结上出现尖峰,使电场集中,漏电流大。解决的办法:(1)采用低位错密度的硅材料;(2)严格清洗工艺,使硅片表面高清洁度;(3)扩散系统定期清洗,保证清洁;(4)使用高纯气体;(5)使用质量高的扩散源,源变质应及时更换;(6)提高光刻质量;(7)采用杂质吸收工艺等。
13. 答:影响 β 均匀性的因素,主要有以下几方面:(1)基区宽度大小;(2)发射区和基区杂质浓度比;(3)半导体材料的位错密度大;(4)表面有杂质沾污,特别是金属杂质沾污,会降低载流子寿命,造成 β 值下降等。解决的办法:(1)选择低位错密度的硅材料;(2)严格工艺条件;(3)加强清洁处理工作,避免杂质沾污。
14. 答:造成光刻浮胶的原因有:(1)硅片表面沾有油污、水汽、室内湿度太大,使胶与硅片表面粘附不牢;(2)光刻胶配制不妥或胶液陈旧,胶的光化学反应不良,与硅

片表面成键能力差；(3) 前烘不足，胶膜内层溶剂未及时挥发掉，显影时胶膜被溶解。前烘过度，胶膜翘曲硬化，胶感光变坏；(4) 曝光时间不足，显影时间过长，使胶膜软化，易浮胶；(5) 坚膜温度过高，时间过长；坚膜温度过低，时间过短，使胶膜质量变差；(6) 腐蚀液配比不当、或温度过高、或腐蚀时间过长；(7) 磷扩散后，硅片表面磷硅玻璃与胶粘附能力差，易浮胶。解决的办法：(1) 新出炉（如氧化、扩散）的硅片立即涂胶，注意硅片保护好，少接触空气，以防沾污杂质和水汽；(2) 存放时间长的硅片，要经过表面处理后才能涂胶；(3) 注意光刻工艺的干燥、清洁、湿度适中；(4) 根据硅片表面状况、光刻胶的性能、湿度等，严格控制前烘、曝光、显影、坚膜和腐蚀时间；(5) 要配好光刻胶，并保存好，胶变质不能用；(6) 磷扩散后的硅片，可采用700~800℃通干氮30~50分钟的处理。

15. 答：因为铝的电导率高、与氧化硅的粘附性好、与N型硅或P型硅都能形成低阻欧姆接触、制备方便、成本低，所以在一般的平面晶体管和集成电路（功耗很小）生产中，普遍采用铝作电极。但是在生产实践中发现：铝在高温大电流密度下抗电迁移能力差；在高温（400℃以上）硅向铝中的溶解，硅表面产生腐蚀坑，易造成EB结短路；在潮湿气氛下抗电化学腐蚀能力差等。为解决这些问题，有两种途径，一种是在铝的基础上改进，采用铝——铜或铝——硅合金；一种是采用抗电迁移、抗电化学腐蚀能力强的金电极。而由于金与氧化硅的粘附差、与硅的共晶点低、接触电阻大，金与硅之间必须加衬膜（改善与氧化硅的粘附性能）、阻挡膜（防止金硅合金）、硅表面要有接触膜（与硅形成低阻欧姆接触），所以一般金电极都是以金为导电层的多层金属电极。可见，金系统的制作成本要比铝系统高的多。凡是可靠性要求较多的器件或金属条上电流密度较大的器件（如高频大功率晶体管和微波器件），为保证其可靠性，一般都必须采用以金为主体的多层金属化电极。
16. 答：集成电路芯片内部的互连技术随着集成电路整体技术的发展变得越来越复杂，0.13微米长度在4000米以上，互连线不仅是实现电路功能所必须的而且对芯片电性能具有重要的影响，在实现有效导电互连的同时，还必须将与互连相关的寄生参量降到最小，集成电路的互连越来越精细，必须考虑导电能力，抗电迁徙，以降低寄生电阻、提高可靠性，同时多层互连布线必须要有良好的层间隔离，一方面要保证通过非常精细的接触孔实现层间有效的互连，同时要降低寄生电容，这样把好的金属化层和好的介质层结合起来，才能实现良好的互连，保证集成电路芯片电性能和可靠性。
17. 答：真空泵机组部分、真空传输部分、真空测量部分。

3.8 高级技师答案

一、判断题

1. ×
2. √
3. √
4. ×
5. √
6. √
7. √
8. √
9. ×
10. √
11. √
12. √
13. ×
14. √
15. √
16. ×
17. √
18. √
19. ×
20. ×
21. √
22. √
23. ×
24. ×
25. √
26. √
27. √
28. ×

29. ×

30. √

31. √

32. √

33. ×

34. √

二、选择题

1. A B C

2. A B C D

3. D

4. A C D

5. A

6. A B

7. A B

8. A D

9. A B D

10. A B C

11. D

12. A

13. B

14. C

15. B

16. D

17. A

18. B

19. A

20. B

21. C

22. A

23. A

- 24. B
- 25. A
- 26. B
- 27. B
- 28. C
- 29. A
- 30. B
- 31. C
- 32. B
- 33. A
- 34. A
- 35. A
- 36. A
- 37. A
- 38. A

三、填空题

- 1. 原子 异质
- 2. 多层 材料
- 3. 匹配 波长
- 4. 纳米 计算
- 5. 蓝宝石 (Al_2O_3) 硅 (Si)
- 6. 迁移率 频率
- 7. 量子阱 量子点
- 8. 宽 抗辐射
- 9. 亮度大 液相
- 10. 量子线 量子点
- 11. 同一种 能量 剂量
- 12. “过滤器” 能量沾污
- 13. 薄层电阻 均匀性
- 14. 表面沾污

15. 倾角注入 方位角注入和旋转注入
16. 本征半导体 杂质半导体
17. 检波二极管 混频二极管 参数二极管 开关二极管 稳压二极管 整流二极管
18. 掺杂 杂质
19. 1W
20. ① 发射结电容充电时间 ② 注入载流子在基区的渡越时间 ③ 载流子通过集电结的渡越时间 ④ 集电结电容充电时间
21. 热阻 集电结最高温度 环境
22. 热噪声 散粒噪声 $1/f$ 噪声
23. 漏源击穿 栅绝缘层击穿
24. 漏泄电流
25. I_{CBO} I_{EBO} I_{CEO}
26. 掺杂
27. 峰值电流 谷值电流
28. 栅宽 漏源烧毁电压 热阻 寄生
29. 非饱和区 饱和区 截止区 击穿区
30. 非饱和区 饱和区
31. PNP
32. 有源器件 无源元件 互连线
33. 单片 混合
34. 数字 模拟 微波 光电
35. 小规模 中规模 大规模 超大规模
36. 线性 非线性
37. 有源器件 无源元件
38. 陶瓷或介质基片上
39. PMOS NMOS
40. BiMOS
41. 设计 工艺
42. 静电

43. 100 36伏以下电压

44. 最清洁 抽速最大 极限真空最高

四、综合题

1. 答：(1) 衬底的缺陷少；(2) 衬底的清洗符合要求；(3) 外延时，衬底的处理适宜；(4) 外延生长工艺参数匹配合适。
2. 答：(1) 生长高纯度、高性能的外延薄膜。(2) 生长速率慢，约为 $1\mu\text{m/h}$ ，可达到层厚、组分、掺杂的原子尺度控制。(3) 生长温度低，可以减少异质界面的互扩散，实现突变结。(4) 大面积、均匀性良好。(5) 装有高能电子衍射仪，控制外延质量。
3. 答：(1) GaAs衬底的准备，在外延生长前获得清洁表面是非常重要的。(2) 衬底温度与V/III束流比。生长温度分别控制在 580°C 至 700°C ，适当控制V/III束流比。(3) 异质结界面质量控制，改善GaAs/AlGaAs质量，提高生长温度，选择适宜的衬底晶向，对改善界面质量都是有效的。(4) 掺杂剂，在III-V族体系里，Si和Be被广泛用于N型和P型掺杂剂。(5) 调制掺杂，利用异质结构在宽禁带材料一侧掺杂，呈现二维特性。
4. 答：由于电子器件将不断应用于深海和外层空间技术，使得器件的工作环境变得越来越恶劣。以碳化硅和III族氮化物为代表的第三代半导体材料能满足此应用要求。碳化硅和III族氮化物材料的主要特点是具有宽禁带，在击穿电场和电子平均速度等方面更胜一筹，抗辐射能力更强。用碳化硅和III族氮化物材料制备的器件和电路在高达 500°C 的环境中仍然能够正常工作。在21世纪，第三代半导体材料的质量将得到大幅度提高，进入实用化阶段。
5. 答：低维结构材料是相对三维块体材料而言的二维超晶格和量子阱、一维量子线及零维量子点材料。当器件的尺度缩小到纳米量级时，目前较成熟的硅集成电路工艺将不再适用，器件的制备工艺将发生本质的变化。完成电路功能设计之后，低维结构器件和器件之间的互联均要依靠低维结构材料生长技术来完成，材料制备工艺和器件制备工艺将紧密地结合在一起。
6. 答：目的有二：一是消除离子注入辐射损伤，恢复晶格的完整性；二是使注入杂质进入晶格的替代位置，产生电激活，对电导有贡献。
7. 答：峰值浓度为 $1.7\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ ；N型埋层厚度为 $9260\text{\AA}$ ；N型埋层的二个PN结的结深分别为 $X_{j0}=400\text{\AA}$ ； $X_j=9660\text{\AA}$ 。即在Si片表面下 $400\text{\AA}$ 到 $9660\text{\AA}$ 处形成厚度为 $9260\text{\AA}$ 的N型埋层，近表面处的PN结深度为 $400\text{\AA}$ ；内部深处的一个PN结的结深为 $9660\text{\AA}$ 。
8. 答：因为离子注入机高真空系统中残余 N_2 和CO的原子质量数也是28,为避免质量数沾

污,所以一般采用 $_{29}\text{Si}^+$ 离子注入,而不用 $_{28}\text{Si}^+$ 离子。

9. 答:影响离子注入晶片的质量及其均匀性的因素很多。单从离子注入本身分析,主要有:微粒沾污、质量数沾污、剂量沾污、能量沾污和晶片表面的电荷积累等。
10. 答:通常,用四探针 Rs 图谱仪测量晶片的均匀性和重复性;用扩展电阻法、 C-V 法或阈值电压法测量硅晶片中的载流子浓度分布;用 C-V 法或范德堡尔法测量 GaAs 晶片中的载流子浓度分布;用二次离子质谱仪(即 SIMS)测量注入杂质的浓度分布等。
11. 答:集成电路在使用过程中,丧失规定的功能即为失效。集成电路的失效模式是失效的表现形式,例如开路、短路、增益降低等等。集成电路失效的物理、化学变化等内在的原因称为集成电路的失效机理。
12. 答:集成电路生产中的污染,指的是由于某种物质的存在,对集成电路产品、生产过程、生产设备和操作人员所产生的有害作用和不良影响。造成污染的物质统称为污染物。集成电路生产的污染物主要有微粒杂质,无机离子、有机物质、微生物、以及气体杂质等,从广义上讲,不适宜的温度、湿度、照度、超过限度的静电、电磁噪声、空气噪声以及微振动都是特殊的污染物。在上述污染物中,微粒、无机离子、有机物质、微生物以及气体中的杂质超过一定限度时,会使集成电路产品出现表面擦伤、图形断线、短路、针孔、剥离等现象,导致电路漏电、电特性异常。轻者影响电路性能,使用寿命,严重时可导致电路报废。不适宜的温度、湿度、照度以及超限的静电、噪声和振动不仅影响工艺设备、测试仪器工作精度和使用寿命,还会影响操作人员的情绪,进而影响集成电路产品质量,成品率和生产效率。
13. 答:① 静电吸附和放电现象,会产生吸尘和电击,损坏集成电路芯片,破坏集成电路生产影响产品成品率,甚至使之完全损坏;② 造成电子设备故障,使之产生误动作,因静电导致大量吸附尘埃,影响设备通风散热,造成机械零件磨损,影响使用寿命;③ 产生电击现象,危及操作人员安全,在一些特殊环境下,甚至会引起燃烧和爆炸事故;人体电击的静电电位界限一般为 3000V ,当静电位为 1000V 时,人体没有任何感觉,当静电位超过 2000V 时,人体开始会有感觉,但不疼痛, 3000V 时有针刺痛感, 4000V 时会有较强的针刺痛感,伴有放电发光。实际上, 1000V 的静电位就足以损坏多数未经采取特殊保护措施半导体器件和集成电路;④ 干扰电子计算机等各种电子装备的正常工作,随着集成电路工业的不断发展,高分子材料应用不断普及,生产过程中发生静电放电,电击操作人员,击穿半导体器件,损害产品成品率,干扰损坏电子设备正常工作的现象,正在不断增多,造成各种损失,静电防护已经引起人们的高度重视。

14. 答：消除和防护静电的方法较多，常用的有以下几种，生产中可结合具体情况选用一种，或几种方法同时使用。
- ① 接地。这是消除静电最为普通、经济、简便、可靠方法，它的作用是：A. 泄放带电导体的静电；B. 防止带电体附近物体感应带电；C. 限制带电体电位升高，防止产生静电放电。接地方式有直接接地和间接接地两种。
- ② 中和。这是利用带电体周围空气离子化后，带电离子在电磁场作用下发生迁移，带电体吸引异性电荷，从而达到中和消除静电。
- ③ 泄漏。可以有多种方法：A. 提高环境温度，一般以45%~55%为宜；B. 添加抗静电剂，提高绝缘材料的导电性；C. 采用防静电材料及器件，如防静电地板、工作台；防静电工作服、工作鞋、腕带等。
- ④ 工艺控制。方法主要有：A. 利用物料与不同材料制成的设备发生摩擦产生的正、负静电互相抵消；B. 降低液体、气体、粉料输送流速，减少静电的产生。
15. 答：热偶规管的热电偶的热电动势由加热丝的温度决定，加热丝由恒流供电，热偶的电动势大小只和周围气体的密度有关，当气体分子被抽走，分子密度小的气体导热率低，造成加热丝的温度升高，从而使热偶的电动势随之增加。
16. 答：（1）集电极扫描的各旋钮与基极阶梯信号不能随便调节。（2）仪器用完后即关闭电源。再将集电极扫描电压调到零，功耗拨到“1K”、Y轴作用拨到1mA/度，X轴作用拨到1伏/度、阶梯选择拨到0.01mA/级，阶梯作用拨到关。

第4章 专业知识模拟试卷

4.1 中级模拟试卷

一、判断题（用√、×表示下列命题是否正确，每题1分，共20分）

1. 半导体硅和锗单晶是第一代半导体材料，硅是现代最主要的半导体材料，锗是现代最重要的半导体材料之一。（ ）
2. 砷化镓和磷化铟化合物半导体单晶是典型的第二代半导体材料。与硅集成电路相比，以砷化镓为基底的集成电路具有更高的频率、更高的增益和更低的噪声。（ ）
3. 我们实际使用单晶材料都是按一定的方向生长的，因此单晶表现出各向异性。单晶生长的这种方向直接来自晶格结构，常用半导体材料的晶体生长方向是〈111〉和〈100〉。（ ）
4. 迁移率是反映半导体中载流子导电能力的重要参数。掺杂半导体的电导率一方面取决于掺杂的浓度，另一方面取决于迁移率的大小。同样的掺杂浓度，载流子的迁移率越大，材料的电导率就越高。（ ）
5. 晶体缺陷对半导体材料的使用性影响不大，在大多数的情况下，它不使器件性能劣化直至失效。（ ）
6. 材料的常用表征参数有电学参数、化学纯度、晶体学参数、几何尺寸。（ ）
7. 抛光片的电学参数包括电阻率，载流子浓度，迁移率，直径、厚度、主参考面等。（ ）
8. 硅外延片的质量要求表面平整度，表面光亮、无划痕，无桔皮、裂纹、崩边、凸起、灰雾等，显微镜下观察滑移线和堆垛层错应符合要求，用扩展电阻仪测外延层纵向杂质分布。（ ）
9. 原子失去电子带正电荷称正离子；获得电子带负电荷称负离子。（ ）
10. 离子源是产生离子的装置。（ ）
11. 离子束能量单位KeV读作千电子伏特；离子束束流单位 μA 读作微安。（ ）
12. 光致抗蚀剂在曝光前对某些溶剂是可溶的，曝光后硬化成不可溶解的物质，这一类抗蚀剂称为负性光致抗蚀剂，由此组成的光刻胶称为负性胶。（ ）
13. 设备、试剂、气瓶等所有物品不需经严格清洁处理，可直接进入净化区。（ ）
14. 进入洁净区的工艺人员可用化妆品。（ ）
15. 干法腐蚀清洁、干净、无脱胶现象、图形精度和分辨率高。（ ）

16. 光刻工艺要求掩膜版图形黑白区域之间的反差要低。()
17. 平面工艺是制作平面型器件的一整套工艺的统称。()
18. 在半导体集成电路中,各元器件都是制作在同一晶片内。因此要使它们起着预定的作用而不互相影响,就必须使它们在电性能上相互绝缘。()
19. 金属剥离工艺是以具有一定图形的光致抗蚀剂膜为掩膜,带胶蒸发或溅射所需的金属,然后在去除光致抗蚀剂膜的同时,把胶膜上的金属一起去除干净。()
20. 三相五线制的地与中和线N接到一起就成为现役的三相四线制。()

二、选择题(每题1分,共20分)

- 属于半导体材料的正确选项是_____。

A. 金属、石墨、人体、大地	B. 橡胶、塑料、玻璃、陶瓷
C. 硅、锗、砷化镓、磷化铟	D. 纯水、油、空气、云母
- 下列材料属于N型半导体是_____。

A. 硅中掺有元素杂质磷(P)、砷(As)
B. 硅中掺有元素杂质硼(B)、铝(Al)
C. 砷化镓掺有元素杂质硅(Si)、碲(Te)
D. 砷化镓中掺元素杂质锌、镉、镁
- 下面材料属于P型半导体是_____。

A. 硅中掺有III族元素杂质硼(B)、铝(Al)
B. 砷化镓中掺元素杂质锌、镉、镁
C. 磷化铟中掺有元素杂质锌(Zn)、镉(Cd)
D. 以上三种都正确
- 位错的形成原因是_____。

A. 位错就是由弹性形变造成的	B. 位错就是由重力造成的
C. 位错就是由范性形变造成的	D. 以上答案都不对
- 硅外延生长工艺包括_____。

A. 衬底制备	B. 原位HCl腐蚀
C. 生长温度,生长压力,生长速度	D. 尾气的处理
- 半导体材料的电学参数包括_____。

A. 电阻率、导电类型、载流子浓度
B. 迁移率、少数载流子寿命、电阻率均匀性等

- C. 晶向、位错密度
D. 晶片的厚度、弯曲度、翘曲度
7. 从离子源引出的是_____。
A. 原子束 B. 离子束 C. 分子束
8. 离子注入机的接地电阻越小越好, 必须小于_____。
A. $1\ \Omega$ B. $5\ \Omega$ C. $10\ \Omega$
9. 离子注入层的深度主要取决于离子注入的_____。
A. 能量 B. 剂量
10. 离子注入层的杂质浓度主要取决于离子注入的_____。
A. 能量 B. 剂量
11. 王水是有_____浓盐酸和一份浓硝酸相混和而得到的溶液。
A. 三份 B. 二份 C. 一份
12. 使用有机溶剂清洗时, 按_____的顺序进行才能收到良好效果。
A. 乙醇→丙酮→甲苯 B. 丙酮→甲苯→乙醇 C. 甲苯→丙酮→乙醇
13. 在高温下, 使杂质由半导体晶片表面向内部扩散, 以改变晶片内部的杂质分布和表面层的导电类型, 这一工艺统称_____工艺。
A. 氧化 B. 扩散 C. 淀积
14. 介质隔离是以绝缘性能良好的电介质作为“隔离墙”来实现电路中各元器件间彼此电绝缘的一种隔离方法。常用的电介质是_____层。
A. 多晶硅 B. 氮化硅 C. 二氧化硅
15. 光刻工艺是利用感光胶感光后抗腐蚀的特性在半导体晶片表面的掩膜层上_____的工艺。
A. 刻制图形 B. 绘制图形 C. 制作图形
16. 分辨率用1毫米内可以清晰辨别的最多_____数目来表示。
A. 图形 B. 直线 C. 方块
17. 二氧化硅的腐蚀: 一般采用以_____为基础的水溶液。
A. 盐酸 B. 硝酸 C. 氢氟酸
18. 按蒸发源加热方法的不同, 真空蒸发工艺可分为: _____蒸发、_____蒸发、离子束蒸发等。
A. 电阻加热 B. 电子束 C. 蒸汽原子

15. 工艺人员完成工艺操作后要认真、及时填写工艺记录,做到记录内容详细、_____、

完整、书写工整、_____。

四、综合题（每题15分，共30分）

1. 衬底清洗过程包括哪几个步骤？
2. 简述对光刻工艺质量的基本要求。

4.2 高级模拟试卷

一、判断题（用 $\checkmark$ 、 $\times$ 表示下列命题是否正确，每题1分，共15分）

1. 硅外延可以分为两个基本类型的反应：（1）还原反应；（2）高温分解反应。（ ）
2. GaAs汽相外延常用的N型掺杂剂为S, Se, Te和Sn, P型掺杂剂为Zn。（ ）
3. 砷化镓汽相外延计算机系统控制流量、温度、时间等。（ ）
4. 外延层化合物的组分，可以通过X射线双晶衍射（XRD）测试分析得出；各个薄层的掺杂浓度，通过电化学C-V法测试；材料组分均匀性可以由X射线双晶衍射（XRD）扫描测试分析得出；材料掺杂均匀性可以由方块电阻测试得出。（ ）
5. 离子注入是一个热平衡过程。（ ）
6. 注入剂量是整个圆片内注入的离子总数量。（ ）
7. 通俗地说，离子注入到晶片中最后停止下来，该点离晶片表面的深度距离即为投影射程，并用符号 R_p 表示。（ ）
8. PECVD淀积二氧化硅温度低（350℃以下），适合于不宜作高温处理而又需要在表面形成二氧化硅的样品。（ ）
9. 电阻加热蒸发主要用于铝、金、钼等易熔化、易气化材料的蒸镀。（ ）
10. 溅射法是由中性粒子轰击靶材表面，使靶原子从靶表面飞溅出来淀积在衬底上形成薄膜。（ ）
11. 等离子腐蚀是在湿法腐蚀基础上发展而来的，属纯物理腐蚀机理。（ ）
12. 箱法扩散具有较好的均匀性和重复性，但受箱子尺寸的限制，不便于大批量生产。除锑扩散外，应用较少。（ ）
13. 片状源扩散具有设备简单，操作方便，晶片缺陷少，均匀性、重复性和表面质量都较好，适于批量生产，应用越来越普遍。（ ）
14. β 值称为共发射极电流放大系数，是晶体管的一个重要参数，也是检验晶体管经过硼、砷掺杂后的两个PN结质量优劣的重要标志。（ ）
15. 低温淀积二氧化硅生长温度低、制作方便，但膜不够致密，耐潮性和抗离子沾污能力较差。（ ）

二、选择题（每题1分，共15分）

1. GaAs汽相外延常用的N型掺杂剂为_____。

A. S

B. Zn

C. As

D. Sn

A. 高斯

B. 余误差

C. 指数

13. 砷化镓常用的施主杂质有_____。

A. 锑、砷

B. 磷、锑

C. 锡、硫、碲

14. 离子铣是_____。

A. 化学刻蚀机理

B. 物理刻蚀机理

C. 物理刻蚀机理和化学刻蚀机理相结合

15. PN结的击穿电压和反向漏电流既是晶体管的重要直流参数,也是评价_____的重要标志。

A. 扩散层质量

B. 设计

C. 光刻

三、填空题(每题2分,共30分)

1. 砷化镓(GaAs) 化学汽相外延的化学反应有____反应,歧化反应,____反应。
2. 汽相外延过程中,源通过载气从主气流区输运到沉积区;源在高温沉积区内发生____,产生反应物和副产物;反应物输运到衬底表面,吸附到生长表面;表面反应,生成的固相并入到生长膜中,进行_____。
3. 金属有机化学汽相外延设备可分为五个主要部分,____、气体分配系统、计算机控制系统、____、报警系统。
4. 分子束外延工艺流程图为:反应室真空处理→____→清洗衬底→装片→____设定→除气→热处理脱氧化层→缓冲层生长→有源层生长→欧姆接触层生长→外延片测试。
5. 影响外延层的迁移率低的因素有原材料纯度____;反应室漏气;外延层的晶体____;系统沾污等;载气纯度不够;外延层晶体缺陷多;生长工艺条件不适宜。
6. 具有一定能量的离子注入到靶材料中,经过与靶____及____的不断碰撞而损失____,最后在相应的位置上停止下来,该停止点离靶表面的纵向深度即为离子的_____。
7. 质量分析器的作用是从离子源来的各种离子中____出所需要注入的离子,从而成为____离子束,也就是说,只允许____离子通过分析器。
8. 用肉眼或显微镜可观察二氧化硅的以下质量:颜色____、结构____;表面有无____、有无____、是否____;表面无裂纹、无针孔。
9. 广泛用于超大规模集成电路及器件芯片生产的曝光技术主要是_____曝光和_____曝光。

10. 杂质原子在半导体中的扩散机理比较复杂, 但主要可分为_____扩散和_____扩散两种。
11. 光学曝光有_____曝光、_____曝光、_____曝光。
12. 固态源扩散包括_____扩散和_____扩散。
13. 光刻的精度和质量将直接影响器件的_____指标, 同时也是影响器件_____和可靠性的重要因素。
14. 电流经过的闭合路称电路。一个最简单最基本的电路必须由电源、_____和_____组成。
15. 保险丝选熔断电流为负载额定电流的_____倍。

四、综合题 (共40分)

1. 衬底清洗原则是什么? (12分)
2. 什么叫平均投影射程和平均投影射程标准偏差? (14分)
3. 有哪几种常用的化学汽相淀积薄膜的方法? 简述其主要应用。(14分)

4.3 技师模拟试卷

一、判断题（用 √、× 表示下列命题是否正确，每题1分，共15分）

1. 影响汽相外延生长速度的因素只有衬底表面晶向和气体流量。（ ）
2. 液相外延层表面形貌与气相外延层表面质量相当。（ ）
3. 粗糙的衬底表面不会使生长的外延表面液粗糙，特别是薄层外延更不明显。（ ）
4. MOCVD的缺点是所用的反应气体都具有毒、易燃、易爆，制造复杂，成本高。（ ）
5. 在半导体掺杂工艺中，经离子注入后的晶片不需要进行退火处理。（ ）
6. 氧化反应管中的氧气和水汽的蒸汽压不均匀是造成氧化硅不均匀的原因之一。（ ）
7. 操纵者身上的汗液、呼出的气体、人体皮肤屑等是氧化层中的钠离子沾污的唯一来源。（ ）
8. 在相同的扩散条件下，在有沾污和氧化物的区域杂质原子扩散进去的数量、结的深度就与其他地方不一样。（ ）
9. 由于氧化层小岛的存在，会阻碍正常的杂质扩散，在这些位置上形成异常区，使器件反向漏电流变大、击穿电压降低、特性不正常。（ ）
10. 当Si中的电子受到热能、光能或电能的作用时，电子的能量会增加，从而摆脱原子核的束缚成为自由电子。（ ）
11. 在缓变基区晶体管中，基区的掺杂浓度是不均匀的，这将在基区产生一个电场，称为基区自建电场。（ ）
12. 晶体管是对信号有放大和开关作用的半导体器件。（ ）
13. 由异质结组成的二极管称为异质结二极管。（ ）
14. 以发射极为输入端，以集电极为输出端，以基极为输入、输出公共端的接法叫共基极接法。（ ）
15. 在一定的环境温度下，为了提高晶体管的最大功耗，最好使用热阻低和结温高的硅平面晶体管。（ ）

二、选择题（每题1分，共15分）

1. 影响汽相外延层的质量因素有_____。

A. 源材料和载气的纯度	B. 设备的气密性和温场分布
C. 衬底晶向和抛光质量	D. 与外延生长的温度无关
2. MOCVD生长外延层的质量控制包括_____。

- A. 衬底的晶向 B. 生长温度 C. 输入的V/III比 D. 反应室的压力
3. 分子束外延层的质量控制包括_____。
- A. 金属源纯度 $\geq 7N$ B. 异质结界面的控制
C. 外延厚度和浓度的控制 D. 外延的均匀性
4. 影响外延片表面不光亮的因素包括_____。
- A. 衬底腐蚀速度太快 B. 与生长工艺无关
C. 衬底表面残留有机物 D. 衬底表面抛光质量不高
5. 为了避免晶体中的离子注入沟道效应, 常采用倾斜注入, 其倾角一般为_____。
- A. $2^\circ \sim 3^\circ$ B. $7^\circ \sim 9^\circ$ C. $15^\circ \sim 20^\circ$
6. 造成氧化硅不均匀的原因有: _____。
- A. 氧化反应管中的氧气和水汽的蒸汽压不均匀
B. 氧化炉的恒温区太短
C. 氧化时炉温不稳定
D. 水温有变化
E. 硅片表面状态不良
7. 解决氧化层钠离子沾污的办法有: _____。
- A. 加强工艺操作、人体卫生、环境卫生
B. 使用高纯化学试剂、高纯水和超净设备
C. 采用HCl氧化工艺, 减少氧化过程中由氧化炉引入的钠离子沾污
D. 硅片清洗后, 要充分烘干, 表面无水迹
8. 显影时, 硅片表面的胶膜皱起, 呈桔皮状或胶膜大片剥离, 这是显影时的浮胶。它直接影响光刻质量, 一般应_____。
- A. 去胶重新做 B. 修补后向下流 C. 继续向下流
9. 工艺操作人员一旦发现工艺异常现象应填写工艺异常报告单, 及时提交工艺线有关技术负责人, 进一步分析原因, 找出整改措施, 进行整改, 一定达到_____。
- A. 原因清楚 B. 解决问题 C. 闭环管理
10. 微波晶体管是指在_____或微波波段工作的晶体管。
- A. 中频 B. 高频 C. 超高频
11. 晶体管发生正向二次击穿时, I_b 值应_____零。
- A. 大于 B. 等于 C. 小于

12. MOSFET输出特性可分为三个区域,即饱和区、不饱和区和击穿区,只有工作在____才具有放大能力。
- A. 饱和区 B. 不饱和区 C. 击穿区
13. 在晶体管中复合与基区厚薄有关,基区越厚,复合越多,因此基区应做得_____。
- A. 较厚 B. 较薄 C. 很薄
14. 热阻是衡量散热能力一个基本参量,它表示传导单位_____时所造成的温差。
- A. 电流 B. 功率 C. 热量
15. 机械泵加油_____。
- A. 必须选泵油标号适中,且加油适量。
- B. 油选择越稠,加油量越多越好。
- C. 任选机械泵油,加到油的标位就行

三、填空题 (每题2分,共40分)

1. 汽相外延层的厚度主要由_____,气体流量,生长时间来控制。外延层的载流子浓度主要由掺杂剂的浓度,源温和_____来控制。
2. 常用的III-V族半导体衬底表面晶向是(100)面。(100)面易于化学抛光,易于获得_____外延层形貌,适于选择外延生长,也适于_____工艺要求。
3. 气相外延层的厚度主要由外延生长_____,外延生长气体_____,外延生长时间来控制。通过已确定外延生长速率,来决定所需的外延层的生长温度,气体流量,生长时间等。
4. 离子注入沿晶轴方向所形成的沟道称_____;沿晶面方向的沟道称_____。
5. 离子注入晶片中最简单的晶格缺陷是_____,又叫弗仑克尔对。
6. 氧化层中的钠离子沾污是造成器件_____增大、_____变化、器件性能不稳定的重要原因之一。
7. 扩散后观察到扩散窗口内有一层白雾状的东西,或有小突起。在显微镜下观察,前者是一些黑色小圆点,称为_____;后者是一些黄亮色、透明的小突起,称为_____;有时也统称为合金点。
8. 掩膜版的套刻精度直接影响光刻精度,掩膜版图形的边缘过薄(即存在过渡区),也会造成分辨率_____。
9. 铝膜应光亮如镜,表明真空镀膜质量较好,当表面呈_____,说明表面已被氧化。

10. 集成电路互连金属化层的质量指标包括_____、_____、_____、_____等。
11. 晶体二极管按结构可分为_____和_____两种。
12. 三极管由两个_____结和_____电极构成。
13. 晶体三极管的特性曲线是指三极管各极的_____与_____之间的关系曲线。
14. 晶闸管也是一种半导体器件, 它除了具有_____的整流作用外, 还可做为_____使用。
15. 半导体是指导电能力介于_____和_____之间的物质。
16. 在二极管中, 外加反向电压超过某一值后, 反向电流突然增大, 这种现象称为_____。
17. 为了尽量减小开关晶体管的开关时间, 开关晶体管的_____要大, _____要高。
18. 安全工作区受_____、_____、_____和_____限制。
19. 用万用表测量大阻值电阻时, 人双手不能同时接触表笔导体部分, 因为这时的读数是人体_____与被测_____的并联。
20. 机械泵油起_____和_____的作用。

四、综合题(每题10分, 共30分)

1. 影响汽相外延层的质量因素有哪些?
2. 离子注入杂质浓度的高斯分布有什么特点?
3. 有哪些原因会造成扩散的方块电阻偏大? 如何解决?

4.4 高级技师模拟试卷

一、判断题（用 √、× 表示下列命题是否正确，每题1分，共15分）

1. 硅外延层可以通过各种含硅气体和不同的化学反应生长出来，每一种反应发生在一定的温度范围内。虽然生长温度范围远远低于硅的熔点，但能够生长出高质量的外延层。（ ）
2. MOCVD反应室的压力对生长速度的影响较弱。降低反应室的压力，不影响外延层的厚度与组分均匀性以及异质界面组分变化的陡峭程度。（ ）
3. 分子束外延生长速率慢，约为 $1\mu\text{m/h}$ ，可达到层厚、组分、掺杂的原子尺度控制。（ ）
4. 金属有机化学汽相淀积技术已经成为制备光电子器件的重要手段之一，基于量子阱结构的光电子器件具有低的阈值电流、高的量子效率、高的调制速度、窄的线宽、较高的特征温度和极低的功耗等特点。（ ）
5. 在硅单晶片上外延生长的锗硅合金是一种新型半导体材料。锗硅合金材料具有高速、高频和低功耗的特点。（ ）
6. 离子注入损伤吸杂是把有源区及其附近的有害金属杂质及缺陷转移到晶片背面离子注入辐射损伤区中的物理过程。（ ）
7. 离子注入技术除了用于半导体芯片工艺，还广泛地应用于离子束材料改性。（ ）
8. 发射极陷落效应是指：在晶体管制作过程中，进行发射极扩散时，在发射区下面的基区杂质扩散速度要比发射区以外的基区杂质扩散速度快。（ ）
9. 由于氧化层小岛的存在，会阻碍正常的杂质扩散，在这些位置上形成异常区，使器件反向漏电流变大、击穿电压降低、特性不正常。（ ）
10. 场效应晶体管工作时，半导体中的空穴及电子都起主要作用。（ ）
11. 导电沟道夹断的基本观点是：导电沟道中载流子迁移率可以近似视为常数，当漏源电压增加到一定程度时，漏极电流趋于饱和的原因是表面沟道的近漏端反型层的消失。（ ）
12. 基区电导指的是晶体管基区的电导率随发射极电流增加而减小的现象。（ ）
13. 金属与半导体的有整流作用的接触属于整流接触。（ ）
14. 基区宽度调制效应会引起晶体管电流放大系数 α 和 β 的变化，产生由集电极到发射极的电压回授，并使输出电阻减小。（ ）
15. 在正确解决了可靠性设计之后保证芯片制造的工艺质量是提高集成电路可靠性的关

键。()

二、选择题 (每题1分, 共15分)

1. 化学汽相外延基本过程包括_____。
 - A. 源通过载气从主气流区输运到沉积区
 - B. 源在高温沉积区内发生气相反应, 产生反应物和副产物
 - C. 反应物输运到衬底表面, 吸附到生长表面
 - D. 表面反应, 生成的固相并入到生长膜中, 进行外延生长
2. 分子束外延是制备半导体多层超薄单晶薄膜的外延技术其中包括_____。
 - A. 生产过程能精确控制的外延技术
 - B. 常用的汽相外延技术
 - C. 精确控制外延层的厚度、组分
 - D. 精确控制外延层掺杂及异质界面平整度
3. 减少外延层缺陷的主要措施有_____。
 - A. 衬底的缺陷少
 - B. 衬底的清洗符合要求
 - C. 与生长工艺参数无关
 - D. 提高生长温度
4. 降低外延层的迁移率因素包括_____。
 - A. 外延层的晶体质量差
 - B. 载气纯度不够
 - C. 生长时间
 - D. 系统沾污
5. 双电荷离子注入时, 设定的注入剂量应是实际所要求注入剂量的_____。
 - A. 2倍
 - B. 一半
 - C. 相等
6. 硅晶片的离子注入损伤吸杂中, 吸杂效果最好的注入离子是_____。
 - A. B^+
 - B. P^+
 - C. As^+
 - D. Ar^+
 - E. Si^+
7. 溅射法是由_____轰击靶材表面, 使靶原子从靶表面飞溅出来淀积在衬底上形成薄膜。
 - A. 电子
 - B. 中性粒子
 - C. 带能离子
8. 器件的横向尺寸控制几乎全由_____来实现。
 - A. 掩膜版
 - B. 扩散
 - C. 光刻
9. 扩散结果主要受温度、时间、流量的影响, _____影响最大。
 - A. 温度
 - B. 时间
 - C. 流量
10. 功率晶体管的主要性能参数是_____及输出功率。
 - A. 功率增益
 - B. 输出阻抗
 - C. 噪声系数
11. 一般的雪崩二极管实质上都是单漂移区器件, 双漂移雪崩二极管是有两个漂移区的器

件,其结构为_____。

A. PNP

B. P^+PNN^+

C. P^+NN^+P

12. 在半导体基片上,全部采用半导体工艺制作有源器件和无源元件的集成电路,称为半导体_____集成电路。

A. 数字

B. 光电

C. 单片

13. 用双极晶体管作为基本的有源器件,再结合使用二极管、无源元件等设计制造的集成电路叫_____集成电路。

A. 双极——金属氧化物半导体

B. 双极型

C. 混合

14. _____集成电路是为特殊用途或特定用户设计和制造的集成电路。

A. 专用

B. 混合

C. 模拟

15. 设备接保护地线时,_____。

A. 地线(G线)或零线不能接保险丝,要直接接到设备外壳上

B. 随便

C. 接到设备上的线都该接保险丝

三、填空题(每题2分,共30分)

1. 分子束外延是制备半导体_____超薄单晶薄膜的外延技术,现在已扩展到金属、绝缘介质等多种_____体系,成为现代外延生长技术的重要组成部分。
2. 由于外延技术的成熟,薄层外延的厚度可以控制在_____尺度。因此量子阱的外延就突破了晶格匹配的限制,经过仔细的_____和精确的控制,可以得到无失配位错的应变量子阱材料。
3. 激光器按有源区量子化程度可分为_____激光器、量子线激光器、_____激光器。
4. 随着显示器的发展,发光二极管的需求大大增加。最近在图像显示、交通信号,甚至在照明等方面也广泛使用发光二极管。要求发光二极管的_____,效率高。迄今为止,最好的发光二极管都是用_____外延生长的。
5. 多能量叠加注入是指_____离子先后以不同的_____和_____进行的离子注入。
6. 离子注入晶片表面轻微“染色”主要原因是_____引起的。
7. 微波功率晶体管是指微波频率下输出_____以上功率的双极晶体管。
8. 晶体管产生噪声的来源有_____,_____和_____。
9. 反向电流代表晶体管内的失控现象,它不受输入电流的控制,对放大作用没有贡献,

反向电流主要包括_____、_____、_____。

10. 场效应晶体管的输出特性可划分为两个区：漏——源电压较小时的_____，漏——源电压较大时_____。
11. 采用适当的工艺加工，将电子电路中的_____，_____及其_____制作在半导体基片或绝缘基板上形成具有特殊功能的电子电路，即为集成电路。
12. 集成电路按集成度可以分为_____集成电路、_____集成电路、_____集成电路、_____集成电路和系统芯片等。
13. 由MOSFET构成的集成电路有_____集成电路、_____集成电路和CMOS集成电路。
14. 集成电路的可靠性主要取决于_____、_____和制造过程的控制。
15. 50mA的工频电流通过人体时就会有生命危险，_____mA工频电流就致人于死命了，人体电阻通常为 $800\Omega \sim 几十K\Omega$ 不等，皮肤越嫩电阻越小，因为 $36\text{伏}/800\Omega = 45\text{mA}$ 的电流对人没有危险，所以规定_____为安全电压。

四、综合题（共40分）

1. 减少外延层缺陷的主要措施有那些？（10分）
2. 半导体芯片工艺中，离子注入晶片退火的目的是什么？（10分）
3. 静电效应对集成电路生产的危害性有哪些表现？（20分）

4.5 中级模拟试卷答案

一、判断题

1. √
2. √
3. √
4. √
5. ×
6. √
7. ×
8. √
9. √
10. √
11. √
12. √
13. ×
14. ×
15. √
16. ×
17. √
18. √
19. √
20. √

二、选择题

1. C
2. A C
3. D
4. C
5. A B C D
6. A B
7. B

8. A
9. A
10. B
11. A
12. C
13. B
14. C
15. A
16. B
17. C
18. A B
19. C
20. A

三、填空题

1. 硅 锗
2. 电子 空穴
3. 受主 空穴导电
4. 金刚石 闪锌矿
5. 表面 位错密度
6. 动能,非平衡
7. 离子 能量 退火处理
8. 能量 剂量 深度 浓度
9. 甲苯 丙酮 乙醇
10. 染色 阳极氧化
11. 光刻胶 洗液
12. 氯化氢
13. 扩散杂质
14. 曝光 腐蚀
15. 真实 数据准确

四、综合题

1. 答：(1) 擦洗表面的大块污物；(2) 浸泡；(3) 化学腐蚀；(4) 水清洗；(5) 干燥。
2. 答：对光刻工艺质量的基本要求是：刻蚀的图形完整、尺寸准确、边缘整齐、线条陡直；图形内无小岛、不染色、腐蚀干净；图形套合十分准确；介质膜或金属膜上无针孔；硅片表面清洁、不发花、无残留的被腐蚀物质。

4.6 高级模拟试卷答案

一、判断题

1. √
2. √
3. √
4. √
5. ×
6. ×
7. √
8. √
9. √
10. ×
11. ×
12. √
13. √
14. √
15. √

二、选择题

1. A D
2. A B
3. A C
4. A C
5. A B C D
6. A B
7. A C
8. B C
9. B
10. B
11. C
12. B

13. C

14. B

15. A

三、填空题

1. 还原 淀积

2. 气相反应 外延生长

3. 反应室 尾气处理系统

4. 源处理 工艺参数

5. 不够 质量差

6. 原子核 电子 能量 投影射程

7. “分析” 单一的 所需要注入的

8. 是否均匀 是否致密 斑点 白雾 发花

9. 光学 电子束

10. 替位式 间隙式

11. 接触式 接近式 投影式

12. 箱法 片状源

13. 性能 成品率

14. 负载 导线

15. 1.3~2.1倍

四、综合题

1. 答：衬底表面的清洗目的是去除各类污染，并防止再污染，达到符合外延要求的衬底表面。(1) 去除有机物及无机物的污染；(2) 去除金属性杂质的沾污；(3) 去除粒子性沾污；(4) 去除表面氧化层；(5) 处理后的表面应光亮、平滑、无水渍、无划痕；(6) 干燥、防止再污染。
2. 答：在离子束扫描注入过程中，大量的离子投影射程的统计平均值叫平均投影射程；离子各自的投影射程分别与它们的平均投影射程之间的偏差的统计平均值称平均投影射程标准偏差。
3. 答：有常压化学汽相淀积（APCVD）、低压化学汽相淀积（LPCVD）、等离子增强化学汽相淀积（PECVD）、光化学汽相淀积等。常压化学汽相淀积（APCVD）的主要应用：① 多晶硅薄膜的淀积、掺杂及其热氧化；② 氮化硅薄膜的淀积；③ 掺杂与非掺

杂二氧化硅薄膜的淀积；④ 三氯化铝水解法淀积氧化铝薄膜；⑤ 难熔金属钨、钼的CVD淀积。低压化学汽相淀积（LPCVD）的主要应用：①多晶硅薄膜的淀积、掺杂；② 氮化硅薄膜的淀积；③ 掺杂与非掺杂二氧化硅薄膜的淀积。等离子增强化学汽相淀积（PECVD）的主要应用：① 氮化硅薄膜的淀积；② 掺杂与非掺杂二氧化硅薄膜的淀积。光化学汽相淀积的主要应用：① 制备氧化硅、氮化硅、氧化铝、PSG等介质膜；② 制备 α -Si、 α -Ge等半导体膜；③ 制备钼、钨和二硅化钛（ TiSi_2 ）的导电膜。

4.7 技师模拟试卷答案

一、判断题

1. ×
2. ×
3. ×
4. √
5. ×
6. √
7. ×
8. √
9. √
10. √
11. √
12. √
13. √
14. √
15. √

二、选择题

1. A B C
2. A B C D
3. A B C D
4. A C D
5. B
6. A B C D E
7. A B C
8. A
9. C
10. C
11. A
12. A

13. C

14. B

15. A

三、填空题

1. 生长温度 流量
2. 镜面 器件
3. 温度 流量
4. 轴沟道 面沟道
5. 空位 间隙原子对
6. 漏电流 击穿特性
7. 合金点 破坏点
8. 下降
9. 白色但不光亮
10. 膜厚 接触电阻 台阶复盖 电迁移
11. 点接触 面接触
12. PN 三个
13. 电压 电流
14. 单向导电 可控开关
15. 导体 绝缘体
16. 击穿
17. 电流放大系数 特征频率
18. 集电极最大耐压 集电极最大允许电流 集电极最大功耗 二次击穿
19. 电阻 电阻
20. 密封 润滑

四、综合题

1. 答：(1) 衬底晶向和抛光质量；(2) 源材料和载气的纯度；(3) 外延设备的气密性和温场分布；(4) 外延生长的温度和工艺。
2. 有二个基本特点：一是在深度 $X=\bar{R}_p$ 处，有一个浓度峰值；二是浓度分布相对于浓度峰值呈对称下降。
3. 答：造成扩散的方块电阻偏大的原因：(1) 扩散窗口有氧化层，阻止了杂质向硅内扩

散。这是由携带源的氮气中含有较多的水分和氧；杂质源中含水量较多；光刻不彻底，未将扩散窗口的氧化层去除干净等因素造成。（2）扩散系统内的杂质蒸汽压低，在一定扩散条件下使进入硅体内的杂质含量减少。主要原因有：杂质源变质；源使用时间过长，使源中含杂质质量降低；系统漏气；石英管内源蒸汽饱和不充分；携带源的气流过小；液态源扩散时氧气流量过小，使源分解不充分等。（3）温度低或时间短，扩散系数将变小，进入硅中的杂质总量减少。（4）再扩散时，湿氧化时间过长或温度过高，使氧化硅吸收了大量杂质原子，结果使方块电阻变大。解决的办法：（1）气体要经过纯化系统；（2）提高光刻技术，将扩散窗口的氧化硅去除干净；（3）扩散源使用时间过长或变质，应及时更换新源；（4）严格控制扩散温度、时间和气体流量；（5）气体纯化系统和扩散系统要严密，防止漏气。

4.8 高级技师模拟试卷答案

一、判断题

1. √
2. ×
3. √
4. √
5. √
6. √
7. √
8. √
9. √
10. ×
11. √
12. ×
13. √
14. √
15. √

二、选择题

1. A B C D
2. A C D
3. A B
4. A B D
5. A
6. D
7. C
8. C
9. A
10. A
11. B
12. C

13. B

14. A

15. A

三、填空题

1. 多层 材料

2. 纳米 计算

3. 量子阱 量子点

4. 亮度大 液相

5. 同一种 能量 剂量

6. 表面沾污

7. 1W

8. 热噪声 散粒噪声 $1/f$ 噪声

9. I_{CBO} I_{EBO} I_{CEO}

10. 非饱和区 饱和区

11. 有源器件 无源元件 互连线

12. 小规模 中规模 大规模 超大规模

13. PMOS NMOS

14. 设计 工艺

15. 100 36伏以下电压

四、综合题

1. 答：(1) 衬底的缺陷少；(2) 衬底的清洗符合要求；(3) 外延时，衬底的处理适宜；(4) 外延生长工艺参数匹配合适。
2. 答：目的有二：一是消除离子注入辐射损伤，恢复晶格的完整性；二是使注入杂质进入晶格的替代位置，产生电激活，对电导有贡献。
3. 答：(1) 静电吸附和放电现象，会产生吸尘和电击，损坏集成电路芯片，破坏集成电路生产，影响产品成品率，甚至使之完全损坏；(2) 造成电子设备故障，使之产生误动作，因静电导致大量吸附尘埃，影响设备通风散热，造成机械零件磨损，影响使用寿命；(3) 产生电击现象，危及操作人员安全，在一些特殊环境下，甚至会引起燃烧和爆炸事故；人体电击的静电电位界限一般为3000V，当静电位为1000伏时，人体没有任何感觉；当静电位超过2000V时，人体开始会有感觉，但不疼痛；3000V时有针刺

痛感；4000V时会有较强的针刺痛感，伴有放电发光。实际上，1000伏的静电位就足以损坏多数未经采取特殊保护措施半导体器件和集成电路；（4）干扰电子计算机等各种电子装备的正常工作随着集成电路工业的不断发展，高分子材料应用不断普及，生产过程中发生静电放电，电击操作人员，击穿半导体器件，损害产品成品率，干扰损坏电子设备正常工作的现象，正在不断增多，造成各种损失，静电防护已经引起人们的高度重视。

附 录

半导体器件和集成电路工艺常用化学制品的安全知识介绍

本节采用安全信息卡的形式介绍了半导体器件和集成电路制造工艺中常用的77种化学制品的安全使用知识，其中至少有60种化学制品是半导体器件和集成电路从业人员会普遍、经常遇到的。为了安全生产和操作人员的人身安全防护，了解这些安全知识，并在工作过程中切实贯彻是非常重要的。

1. 正硅酸乙脂 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$)₄Si 安全信息卡

危险性:

1. 遇明火、高热或氧化剂引起燃烧
2. 受热放出易燃气体
3. 有毒
4. 具有刺激性

防护措施:

1. 通风
2. 与氧化剂分放
3. 穿戴防毒护品 (具)
4. 备灭火器

泄漏处置:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 切断气源
5. 尽可能将泄漏液收集容器中待处理

急救措施:

1. 脱去污染衣着, 用清水和肥皂水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火器:

使用1211灭火器

2. 硅烷 (SiH_4) 安全信息卡

危险性:

1. 浓度>3%时自燃
2. 在空气、氯气中能发生爆炸性燃烧
3. 遇空气、氧气引起爆炸
4. 对呼吸道、皮肤有刺激性

防护措施:

1. 禁烟火
2. 通风
3. 经常检查瓶阀、管道系统密封是否良好
4. 穿戴使用防毒护品(具)
5. 氮气保护
6. 备灭火器

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品(具)
2. 系统充氮气
3. 喷水
4. 切断气源
5. 气瓶阀门关不紧速通知主管部门处理

急救措施:

1. 眼、皮肤接触用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

1. 容器降温
2. 系统充氮气
3. 切断气源
4. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、抗醇灭火剂

3. 磷烷 (PH₃) 安全信息卡

危险性:

1. 对神经系统、心、肝、肾有损害
2. 暴露在空气中能自燃
3. 遇明火、高热极易燃烧爆炸
4. 接触可灼伤眼、皮肤

防护措施:

1. 严格操作规程
2. 禁烟火
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 通风, 滤毒
5. 氮气保护
6. 避禁忌物和禁忌
7. 经常检查瓶阀、管道系统密封是否良好
8. 备水、1211灭火器、吸收中和剂

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 切断气源
5. 强力通风
6. 气瓶阀门关不紧, 迅速通知主管部门, 同时将钢瓶移室外安全处置吸收中和剂 (高锰酸钾的硫酸水溶液) 中
7. 禁排下水道

急救措施:

1. 脱离现场到空气新鲜处
2. 立即就医

灭火方法:

1. 喷水冷却容器
2. 系统充氮
3. 切断电源
4. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

空气、氧化剂、氯酸、卤化烃/ 潮湿

4. 三氯化砷 (AsCl_3) 安全信息卡

危险性:

1. 高毒、致癌
2. 遇水放出有毒的腐蚀性气体
3. 具有较强的腐蚀性

防护措施:

1. 通风柜内操作
2. 穿戴防毒护品 (具)
3. 与酸、碱分开放置
4. 残液、旧过滤罐在通风处集中保管, 统一处理
5. 备1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 不直接接触泄漏物
4. 泄漏液尽量收集容器中处理, 禁止排入下水道

急救措施:

1. 脱去污染衣着, 用清水和肥皂水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法: (本品不燃, 如因其他原因着火则采用如下方法)

1. 使用1211灭火器
2. 禁止用水

禁忌物/禁忌:

活泼金属/水、热

5. 五氧化二磷 (P_2O_5) 安全信息卡

危险性:

1. 高毒
2. 受热或遇水放出有毒的腐蚀性气体
3. 具有较强的腐蚀性
4. 接触有机物可致燃烧

防护措施:

1. 通风柜内操作
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 与易 (可) 燃物分开放置
4. 远离火种、热源
5. 备1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 不直接接触泄漏物
4. 收集后移置大量水中中和处理, 禁排下水道

急救措施:

1. 脱去污染衣着, 用流动清水冲洗污染部位
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 用1211灭火器
2. 禁止用水

禁忌物/禁忌:

活泼金属/水、热

6. 氨 (NH₃) 安全信息卡

危险性:

1. 毒害
2. 具强烈刺激性
3. 遇明火、高热能引起燃烧爆炸
4. 与空气混合有燃烧爆炸的危险
5. 与水银接触形成爆炸性混合物

防护措施:

1. 通风
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 与卤素 (氟、氯、溴)、酸类等分开放置
4. 对气瓶、系统经常进行检漏
5. 气瓶架固定
6. 禁用易产生火花的工具
7. 备水、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 切断气源
4. 高浓度泄漏喷含盐酸的水中和、稀释、溶解
5. 强通风

急救措施:

1. 脱去污染衣着, 用流动清水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、金、银、钙、次氯酸、漂白剂、卤素 /烟火

7. 氢气 (H₂) 安全信息卡

危险性:

1. 高浓度可引起窒息、麻醉
2. 遇明火能引起爆炸
3. 与空气、氧气、甲烷混合有燃烧爆炸的危险
4. 与氟化合可发生爆炸
5. 与卤素发生剧烈反应

防护措施:

1. 通风、禁烟火、防静电
2. 专人操作、严格操作规程
3. 使用防毒护品(具)、防爆电器和工具
4. 对气瓶、系统定期检验、检漏
5. 配氢气报警器
6. 系统装回火器
7. 备氮气、水、1211灭火器

泄漏处理:

1. 通风
2. 禁止一切明火
3. 使用防毒护品(具)和防爆工具
4. 系统充氮, 无明火可切断气源
5. 气瓶阀门关不紧, 迅速将瓶移至室外安全处慢慢放空

急救措施:

1. 脱离现场到空气新鲜处
2. 就医

灭火方法:

关小气源、系统充氮气、1211灭火、关闭阀门

禁忌物/禁忌:

氧、臭氧、氧化亚氮、甲烷、光气、氟、氯、/高温、明火、静电火花

8. 二氯二氢硅 (SiH_2Cl_2) 安全信息卡

危险性:

1. 有毒
2. 具强刺激性
3. 与空气混合有燃烧爆炸的危险
4. 遇水放出有毒腐蚀气体
5. 蒸气能扩散到远处、遇明火引着回燃

防护措施:

1. 通风
2. 使用防毒护品 (具)
3. 与氧化剂分开放置
4. 照明设施防爆
5. 经常检查气瓶、系统密封是否良好
6. 禁用易产生火花的工具
7. 备吸收中和剂 (碱性水溶液)、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 强通风
3. 切断火源、热源、气源
4. 使用防毒护品 (具)
5. 用苛性钾等碱性水溶液吸收中和
6. 气瓶阀门关不紧, 可将其置于吸收剂中中和

急救措施:

1. 皮肤等接触部位用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

切断气源、喷水冷却容器、使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

水、空气、氧气、铝及合金、黄铜、铜硅合金/高温、阳光

9. 四氟化碳 (CF₄) 安全信息卡

危险性:

1. 容器遇火压力增加, 有爆炸危险
2. 与可燃气体一同燃烧时分解、产生有毒氟化物
3. 接触液体导致冻伤

防护措施:

1. 通风
2. 使用防毒护品 (具)
3. 与易 (可) 燃物分开放置
4. 容器定期检漏
5. 备水、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 通风
3. 使用防毒护品 (具)
4. 站上风向、关闭气源
5. 气瓶阀门关不紧, 将其移到室外安全处放空

急救措施:

1. 皮肤等接触部位用温水浸泡
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 喷水冷却容器
2. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

可燃气体、铅、锌、金属粉末/高温

10. 六氟化硫 (SF₆) 安全信息卡

危险性:

1. 受高热容器内压力增加, 有爆炸危险
2. 具窒息性

防护措施:

1. 通风
2. 使用防毒护品 (具)
3. 与易 (可) 燃物分开放置
4. 对系统经常进行安全检查
5. 备水、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 通风
3. 使用防毒护品 (具)
4. 站上风向、关闭气源
5. 气瓶阀门关不紧, 将其移到室外安全处放空

急救措施:

1. 脱离现场到空气新鲜处
2. 就医

灭火方法:

1. 本品不燃
2. 切断气源
3. 喷水冷却容器、尽量将容器从火场移至空旷处
4. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

可 (易) 燃物/高温

11. 甲苯 (C_7H_8) 安全信息卡

危险性:

1. 遇热、明火、氧化剂易燃烧, 产生浓烟
2. 蒸气易挥发、贴地面扩散遇火回燃
3. 蒸气与空气混合形成爆炸性混合物
4. 遇明火或与 N_2O_4 、 $AgClO_4$ 、 $H_2SO_4+HNO_3$ 反应易爆炸
5. 具刺激性、麻醉作用

防护措施:

1. 严格操作规程
2. 严禁烟火
3. 使用防毒护品 (具)
4. 通风柜内操作
5. 水浴加热
6. 与强氧化剂、氧化物分开放置
7. 废液统一集中处理、禁止倒入下水道
8. 备1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 使用防毒护品 (具)
4. 通风
5. 收集置容器中处理

急救措施:

1. 皮肤等接触部位用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 用湿毛巾将容器覆盖
2. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、氧化物/高温、明火

12. 丙酮 (C₃H₆O) 安全信息卡

危险性:

1. 蒸气易在地面扩散至远处遇明火回燃
2. 遇明火、高温引起燃烧爆炸
3. 蒸气与空气混合能形成爆炸性混合物
4. 有毒、麻醉作用, 刺激眼、皮肤

防护措施:

1. 严格操作规程
2. 严禁烟火
3. 使用防毒护品 (具)
4. 通风柜内操作
5. 水浴加热
6. 与氧化剂、酸分开放置
7. 备1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 通风
4. 使用防毒护品 (具)
5. 废液收集容器中统一集中处理
6. 禁止倒入下水道

急救措施:

1. 皮肤等接触部位用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 用湿毛巾将容器覆盖
2. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

氧化剂、酸/高温、明火

13. 乙醇 (C₂H₆O) 安全信息卡

危险性:

1. 蒸气贴地面扩散遇火回燃
2. 遇热、明火有燃烧爆炸的危险
3. 蒸气与空气混合能形成爆炸性混合物
4. 与氧化剂反应剧烈, 有燃烧爆炸的危险
5. 有毒、麻醉作用, 刺激眼、皮肤

防护措施:

1. 严格操作规程
2. 严禁烟火
3. 使用防毒护品 (具)
4. 通风柜内操作
5. 水浴加热
6. 与氧化剂分开放置
7. 备1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 通风
4. 使用防毒护品 (具)
5. 废液收集容器中统一集中处理
6. 禁止倒入下水道

急救措施:

1. 皮肤等接触部位用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 用湿毛巾将容器覆盖
2. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

氧化剂 (铬酸、次氯酸钙、硝酸) / 高温、烟火

14. 酸类安全信息卡

危险性:

1. 有腐蚀性、刺激性
2. 硫酸接触有机易燃物引起燃烧, 遇氢化物产生剧毒气体, 遇水大量放热
3. 盐酸遇H发孔剂立即燃烧, 与氰化物接触产生剧毒气体
4. 硝酸与硫化氢、磷化氢、碘化氢、乙炔反应引起燃烧爆炸, 与CO₂、胺类等混合燃烧爆炸, 与有机物接触自燃
5. 磷酸加热分解放出有毒磷氧化物烟、遇H发孔剂引起燃烧
6. 氢氟酸加热会放出高腐蚀性的氟化物气体、与水或蒸气反应产生有毒腐蚀气体, 与金属反应生成易燃爆的氢气

防护措施:

1. 严格操作规程
2. 使用防毒护品(具)
3. 通风柜内操作
4. 避禁忌物和禁忌, 与易(可)燃物分开放置
5. 备碱性吸收中和剂、水源、灭火器
6. 废酸液统一集中处理, 禁止排入下水道

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 现场通风
3. 使用防毒护品(具)
4. 勿直接接触泄漏物
5. 用碱性液中和收集容器中处理

急救措施:

1. 皮肤等接触部位用大量流动清水冲洗,
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 盐酸、硝酸、氢氟酸用水、1211灭火器
2. 硫酸用1211灭火器, 禁止用水

禁忌物/禁忌:

1. 硫酸: H发孔剂、可燃物、有机物、氰化物、金属/水入硫酸
2. 盐酸: H发孔剂、氰化物、碱、金属粉末、纤维等
3. 硝酸: 易燃的有机物, 木材、松节油、金属粉末、硫化氢等易氧化物、强碱
4. 磷酸: H发孔剂、强腐蚀剂、碱类、大多数金属
5. 氢氟酸: 金属、水泥、玻璃、陶瓷

15. 三氟化硼 (BF₃) 安全信息卡

危险性:

1. 容器受热、压力增加有爆炸危险
2. 湿气体有强腐蚀性
3. 遇水迅速分解
4. 气体和烟雾对皮肤、眼睛、呼吸道有刺激性, 吸入可中毒窒息

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 通风
3. 使用防毒护品 (具)
4. 系统密闭, 定期检漏
5. 与强碱、碱土金属、烷基氨、氧化钙和水分开放置
6. 备水、吸收中和剂 (苛性钾等碱性溶液)、灭火器

泄漏处理:

1. 撤离周围无关人员
2. 使用防毒护品
3. 切断气源
4. 喷水雾稀释
5. 强力通风
6. 如瓶阀关不死, 将钢瓶置于吸收剂溶液中

急救措施:

1. 皮肤等接触部位立即用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

1. 喷水
2. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强碱、碱土金属、烷基氮、氧化钙、水

16. 三氟甲烷 (CHF₃) 安全信息卡

危险性:

1. 容器受热压力增加, 有爆炸危险
2. 有麻醉作用
3. 具窒息性

防护措施:

1. 通风
2. 与易(可)燃物分开放置
3. 穿戴使用防毒护品
4. 容器定期检漏

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品(具)
3. 切断气源
4. 通风对流
5. 不直接接触泄漏物
6. 瓶阀关死移室外安全处放置

急救措施:

1. 眼、皮肤接触用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

禁忌物/禁忌:

可燃性气体、活泼金属/高温

17. 异丙醇 (C₃H₈O) 安全信息卡

危险性:

1. 易燃易爆, 遇明火、热易着火, 高温发生燃烧爆炸
2. 遇氧化剂反应有燃烧爆炸危险
3. 具有刺激性

防护措施:

1. 严格操作规程
2. 严禁烟火
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 通风柜内操作
5. 避禁忌物和禁忌
6. 备灭火器

泄漏处理:

1. 切断火源
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风
4. 废液统一集中处理, 禁排下水道
5. 备1211灭火器

急救措施:

1. 眼睛、皮肤接触用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂/高温、明火

18. 三氯乙烷 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$) 安全信息卡

危险性:

1. 遇高温、明火引起燃烧爆炸
2. 高浓度有麻醉性
3. 刺激眼、鼻、皮肤、呼吸道、消化道
4. 与强氧化剂能发生反应

防护措施:

1. 穿戴使用防毒护品
2. 通风良好
3. 通风柜内操作
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 使用防毒护品 (具)
4. 通风
5. 不直接接触泄漏物
6. 废液收集容器中统一集中处理
7. 禁止排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、强碱、活泼金属 (铝、镁、钠、钾等) / 高温、明火

19. 双氧水 (H_2O_2) 安全信息卡

危险性:

1. 易爆
2. 有腐蚀性
3. 致癌

防护措施:

1. 禁烟火
2. 严格操作规程
3. 使用防毒护品
4. 通风柜内操作
5. 避禁忌物和禁忌
6. 禁连续加热
7. 使用时防杂质混入
8. 使用后容器不留残双氧水
9. 备水、灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 使用防毒护品
4. 用大量水充分稀释冲洗
5. 禁直接将泄漏物排入下水道

急救措施:

1. 接触部位用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

1. 容器遇火先撤离到安全处
2. 使用水、1211灭火器

禁忌物/禁忌:

氧化物、重金属、碱金属、可燃有机物/高热、曝晒

20. 四甲基氢氧化铵[(CH₃)₄NOH]安全信息卡

危险性:

1. 有腐蚀性
2. 对眼、皮肤、黏膜有强烈刺激作用
3. 受高热产生有毒烟气

防护措施:

1. 穿戴使用防毒护品
2. 通风柜内操作
3. 严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备水、中和剂(酸)、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品
3. 通风
4. 不直接接触泄漏物
5. 喷水后用酸中和(注意放热)
6. 泄漏物及冲洗液收集容器中待处理
7. 禁止排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

酸/热

21. 丙烯酸甲酯 ($C_4H_6O_2$) 安全信息卡

危险性:

1. 蒸气与空气混合有燃烧爆炸的危险。
2. 与氧化剂发生剧烈反应
3. 蒸气能扩散至远处, 遇明火引着可燃
4. 具刺激性
5. 损害肺、肝、肾

防护措施:

1. 严格操作规程
2. 严禁烟火
3. 穿戴使用防毒护品(具)
4. 避禁忌物和禁忌
5. 通风柜内操作(水浴加热)
6. 备1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品(具)
4. 通风
5. 泄漏物收集容器中待处理
6. 禁排下水道

急救措施:

1. 脱去污染衣物, 用清水和肥皂水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

硝酸盐、氧化物、过氧化物、聚合物

22. 磷化铟单晶安全信息卡

危险性:

1. 易燃
2. 易爆
3. 刺激眼睛、烧伤皮肤致皮炎

防护措施:

1. 通风, 尾气滤毒
2. 穿戴使用防毒护品(具)
3. 避禁忌物和禁忌
4. 磷须由专人保管, 严格控制使用量
5. 高压单晶炉一旦处于工作状态, 必须加上高压炉门
6. 定期更换高压密封罗母线
7. 废磷必须放入不锈钢废物桶, 并且桶内加水
8. 已经填封好的磷泡, 必须存放在铁皮柜内, 放置平稳, 避免互相碰撞, 铁皮柜尽量密封, 防止外界空气进入
9. 高压容器一旦泄漏, 立即停用, 经真空检验合格, 方可充压试验
10. 备灭火器、耐火石棉手套

泄漏处理:

1. 撤离无关人员
2. 切断火源
3. 使用防毒护品
4. 用水润湿
5. 使用无火花工具
6. 收集到干燥洁净的有盖容器中, 通知主管部门处理
7. 禁止排入下水道

急救措施:

脱离现场、立即就医

灭火处理:

使用水及1211灭火器

禁忌物/禁忌:

氧化剂、酸类、氯化钾(钠)、还原物、有机物/热摩擦、潮湿

23. 氯化氢 (HCl) 安全信息卡

危险性:

1. 容器受热, 压力增加有爆炸危险
2. 与金属反应产生氢气
3. 遇氰化物产生剧毒气体 (HCN)
4. 刺激、腐蚀、灼伤皮肤、眼、呼吸道、消化道等

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 穿戴使用防护用品 (具)
3. 通风, 滤毒
4. 避禁忌物和禁忌
5. 系统密封、定期检漏
6. 钢瓶定期检验
7. 备吸收中和剂、灭火器、苛性碱等碱性水溶液

泄漏处理:

1. 撤离周围无关人员
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 切断电源
4. 禁止直接喷水
5. 将容器移安全处置吸收中和剂溶液中
6. 禁排下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水清洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

氰化物、碱、金属粉末

24. 微氰化物镀金液安全信息卡

主要成分:

氰化金钾[K(AuCN)₂]、柠檬酸、柠檬酸钾、硫酸铵

危险性:

1. 遇酸能产生剧毒的HCN
2. 对呼吸道、皮肤均具腐蚀性

防护措施:

1. 通风柜内操作
2. 使用防毒护品(具)
3. 避禁忌物和禁忌
4. 备水、硫酸亚铁盐水、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 使用防毒护品(具)
3. 不直接接触泄漏物
4. 用硫酸亚铁盐水处理或用大量水冲洗后收集容器中待处理
5. 禁排下水道

急救措施:

1. 先用大量水冲洗皮肤所接触的部位再用硫酸亚铁盐水溶液清洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

酸/高温

25. 四氯化碳 (CCl₄) 安全信息卡

危险性:

1. 有刺激和麻醉作用
2. 引起肝、肾损害
3. 受热放出剧毒光气

防护措施:

1. 通风柜内操作
2. 穿戴使用防毒护品
3. 与活泼金属、硫酸分开放置
4. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品
3. 通风
4. 不直接接触泄漏物
5. 收集到有盖容器中待处理
6. 禁排下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤等接触部位用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

活泼及炽热金属、发烟硫酸/湿、高温

26. Az 系列光刻胶安全信息卡

危险性:

1. 刺激呼吸道
2. 麻醉神经
3. 易燃

防护措施:

1. 通风柜内操作
2. 穿戴使用防毒护品
3. 备丙酮棉
4. 密封保存
5. 避禁忌物和禁忌

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品
2. 不直接接触泄漏物
3. 用丙酮棉擦除（大量的先用纸擦除）后收集到有盖容器内待处理
4. 禁排下水道

急救措施:

1. 皮肤等部位接触用大量水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

酸/强光、潮湿、高温

27. 二乙基锌[Zn (C₂H₅)₂]安全信息卡

危险性:

1. 能在空气中自燃
2. 遇水发生爆炸
3. 遇氯气、氧化剂湿气引起燃烧产生有毒氧化物
4. 对人体呼吸道、眼有刺激作用、皮肤接触可被灼伤

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 防火防爆
3. 在高纯氮气保护下装卸料
4. 通风
5. 系统密闭、定期检漏
6. 使用防毒护品
7. 避禁忌物和禁忌
8. 备高纯氮气、灭火器、煤油、95%工业乙醇

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品
4. 系统充N₂、用高纯氮气保护待处理
5. 通风
6. 添加煤油覆盖, 滴加95%工业乙醇, 稀释到流动良好后装入废液桶中统一处理
7. 禁止倒入下水道

急救措施:

1. 用大量水冲洗皮肤、眼等接触部位
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

水、氧、空气、醇、胺、氧化剂

28. 三甲基铝[Al (CH₃)₃]安全信息卡

危险性:

1. 能在空气中自燃
2. 遇水发生爆炸
3. 分解时放出有毒气体
4. 对呼吸道、眼、支气管有刺激性, 皮肤接触可被灼伤

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 防火防爆
3. 在高纯氮气保护下装卸料
4. 通风
5. 系统密闭、定期检漏
6. 使用防毒护品
7. 避禁忌物和禁忌
8. 备高纯氮气、灭火器、煤油、95%工业乙醇

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品(具)
3. 通风
4. 用高纯氮气保护, 添加煤油覆盖, 滴加95%工业乙醇, 稀释到流动良好后装入废液桶中待处理
5. 禁排下水道

急救措施:

1. 用水冲洗皮肤、眼等接触部位
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

水、氧、空气、氧化剂、酸、卤化烷烃类、不饱和烃气体、醇类、烷类

29. 砷烷 (AsH_3) 安全信息卡

危险性:

1. 高毒、致癌, 吸入可发生中毒
2. 具溶血作用
3. 具强还原性
4. 容器在高温下易爆, 与空气混合有燃烧爆炸的危险
5. 有水存在时助长起火, 遇火产生剧毒气体
6. 刺激眼、鼻、嘴、皮肤、呼吸道、黏膜

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 严禁烟火
3. 穿戴使用防毒护品
4. 容器定期检验
5. 系统密闭、通 N_2 、定期检漏
6. 配报警器, 备吸收中和剂、灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员迅速撤离现场
2. 切断火源
3. 应急处理人员戴防毒护品
4. 强力通风
5. 系统充 N_2
6. 切断气源
7. 喷雾水稀释
8. 用稀释中和剂中和

急救措施:

1. 脱离现场到空气新鲜处
2. 立即就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、氯气、硝酸/明火、高温

30. 氟硼酸系列电镀锡铅电镀液安全信息卡

主要成分:

氟硼酸、氟硼酸锡、氟硼酸铅、有机添加剂苯烯醛、邻位甲基苯胺醚

危险性:

1. 具有很强腐蚀性
2. 损伤皮肤
3. 刺激呼吸道黏膜

防护措施:

1. 通风
2. 使用防毒护品(具)
3. 备水、碱、灭火器
4. 避禁忌物和禁忌

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 使用防毒护品(具)
3. 不直接接触泄漏物
4. 大量水冲洗并收集于容器中待处理

急救措施:

1. 大量水冲洗并用碱中和
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

玻璃器皿/高温

31. 丁酮 (C₄H₈O) 安全信息卡

危险性:

1. 蒸气与空气混合有燃烧爆炸的危险
2. 与氧化剂发生剧烈反应
3. 蒸气贴地面扩散, 遇明火回燃
4. 刺激眼、鼻、咽喉、呼吸道黏膜, 长期接触可致皮炎

防护措施:

1. 严格操作规程
2. 严禁烟火
3. 避禁忌物和禁忌
4. 穿戴使用防护用品
5. 通风柜内操作
6. 水浴加热
7. 备1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 使用防毒护品(具)
4. 通风
5. 大量水冲洗, 洗液收集容器统一处理
6. 禁排下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、氯磺酸、发烟硫酸/高温、明火

32. 三甲基镓[$\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$]安全信息卡

危险性:

1. 能在空气中自燃
2. 遇水发生爆炸
3. 有毒, 对呼吸道、眼、支气管有刺激性, 可引起肺水肿
4. 皮肤接触可被灼伤

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 在高纯氮气保护下装卸料
3. 通风
4. 系统密闭, 定期检漏
5. 穿戴使用防毒护品
6. 避禁忌物和禁忌
7. 备灭火器、高纯氮气、煤油、95%工业乙醇

泄漏处理:

1. 无关人员迅速撤离现场
2. 应急处理人员穿戴防毒护品
3. 切断火源
4. 通风
5. 高纯氮气保护
6. 添加煤油覆盖, 滴加95%工业乙醇, 稀释到流动性良好后装入废液桶中统一处理
7. 禁止排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触用水冲洗
2. 就医

灭火方法:

1. 系统充 N_2
2. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

水、氧、空气、酸

33. 三甲基钢安全信息卡

危险性:

1. 能在空气中自燃
2. 遇水发生爆炸
3. 有毒,对呼吸道、眼、支气管有刺激性,可致肺水肿,皮肤接触可被灼伤

防护措施:

1. 专人操作,严格操作规程
2. 防火防爆
3. 在高纯氮气保护下装卸料
4. 通风
5. 系统密闭,定期检漏
6. 使用防毒护品
7. 避禁忌物和禁忌
8. 备高纯氮气、灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品
3. 用高纯氮气保护
4. 通风
5. 沙土覆盖并收集容器中待处理
6. 禁排下水道

急救处理:

1. 眼、皮肤接触用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 系统充N₂
2. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

水、氧、空气、氧化剂

34. 氰化钾 (KCN) 安全信息卡

危险性:

1. 受高热或接触酸产生剧毒气体
2. 与亚硝酸盐等发生剧烈反应
3. 水溶液有腐蚀性, 沾在皮肤受伤处或吸入会中毒

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 穿戴防毒护品
3. 通风良好
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备吸收中和剂、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 不直接接触泄漏物
3. 穿戴使用防毒护品
4. 小心收集, 移入水中, 加过量次氯酸钠, 放置后待处理
5. 禁止直接排入下水道

急救措施:

1. 脱去污染衣着, 用大量流动水清洗接触部位
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 立即就医

灭火方法:

1. 使用1211灭火器
2. 禁止用酸碱和二氧化碳灭火器

禁忌物/禁忌:

氧化剂、酸、水、水蒸气/热

35. 氢氧化钠 (NaOH) 安全信息卡

危险性:

1. 遇水、酸放热使可燃物着火
2. 水溶液呈强碱性具有腐蚀性, 接触可伤害皮肤
3. 对眼、呼吸道等有刺激性

防护措施:

1. 严格操作规程, 通风柜内操作
2. 穿戴使用防护用品
3. 避禁忌物和禁忌
4. 备水、灭火器、中和剂

泄漏处理:

1. 不直接接触泄漏物
2. 穿戴使用防护用品
3. 通风
4. 收集并移至大量水中用酸中和后待处理
5. 禁止直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤等接触用大量流动水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 立即就医

灭火方法:

1. 使用1211灭火器
2. 禁止用水灭火

禁忌物/禁忌:

酸、水、可燃液体、有机卤素、金属、硝基化和物

36. 环己酮 (C₆H₁₀O) 安全信息卡

危险性:

1. 易燃、易爆, 遇明火、高热、接触氧化剂能引起燃烧爆炸
2. 蒸气贴地面扩散遇火回燃
3. 对人体有害
4. 有刺激和麻醉作用

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 避禁忌物和禁忌
3. 穿戴使用防毒护品
4. 通风柜内操作
5. 水浴加热
6. 备灭火器

泄漏处理:

1. 撤离现场无关人员
2. 切断火源
3. 穿戴使用防护用品
4. 通风
5. 不直接接触泄漏物
6. 用沙土等惰性材料吸附收集置容器中待处理
7. 禁止直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤等接触用大量流动水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 立即就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、硝酸/高温、明火

37. 松油醇 (C₃H₈O) 安全信息卡

危险性:

1. 易燃、易爆, 遇明火、热易着火
2. 刺激眼、鼻、喉、皮肤等

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品
3. 通风操作
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 撤离现场无关人员
2. 切断火源
3. 穿戴使用防护用品
4. 通风
5. 收集置容器中待处理
6. 禁止直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤等接触用大量流动水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 立即就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂/高温、明火

38. 油墨（热固化型）安全信息卡

危险性:

1. 易燃、易爆
2. 有毒, 刺激眼、呼吸道黏膜、皮肤等

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品
3. 局部通风
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 切断火源
2. 穿戴使用防毒护品
3. 通风
4. 勿直接接触泄漏物
5. 收集容器中待处理
6. 禁止排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤等接触用大量流动肥皂水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 立即就医

灭火方法:

使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

强氧化剂/高温、明火

39. 铬酸溶液 (H_2CrO_4) 安全信息卡

危险性:

1. 具腐蚀性
2. 致癌
3. 接触有机物能引起燃烧

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 穿戴使用防毒护品
3. 通风良好
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备水、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 避免泄漏物接触可燃物
3. 穿戴使用防毒护品, 不直接接触泄漏物
4. 用大量水冲洗, 洗水集中容器中统一处理
5. 禁止直接排入下水道

急救措施:

1. 脱去污染衣着, 用大量流动水清洗接触部位
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 立即就医

灭火方法:

使用水、1211灭火器

禁忌物/禁忌:

易(可)燃物、还原剂、有机物/火种、热源

40. 笑气 (N₂O) 安全信息卡

危险性:

1. 与可燃气体混合可形成爆炸性混合物
2. 遇高温、明火有发生燃烧爆炸的危险
3. 室温下能和强氧化剂 (PH₃、SCl₂等) 剧烈反应
4. 有麻醉性、吸入使人发笑、高浓度时缺氧致昏迷
5. 液体致冻伤

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 通风
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备吸收中和剂 (高效氯漂白粉液、纯碱等碱性液)
6. 钢瓶定期检验、系统定期检漏
7. 备水、灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 局部通风
4. 关闭并切断气源, 若瓶阀无法关死, 速将钢瓶移室外安全处放空或置吸收中和剂溶液中

急救措施:

1. 脱离现场到空气新鲜处
2. 就医

灭火方法:

1. 使用灭火器
2. 喷水冷却火中容器以免爆炸

禁忌物/禁忌:

有机过氧火物、氨、氢、磷化氢、硫化氢、一氧化碳、二氯化锡/高温、明火、热源

41. 八氟环丁烷 (C₄F₈) 安全信息卡

危险性:

1. 不燃、容器在火中易爆炸
2. 对呼吸道、皮肤有刺激性

防护措施:

1. 穿戴使用防毒护品(具)
2. 通风、远离热源
3. 容器密闭

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品(具)
2. 通风
3. 切断气源
4. 气瓶阀门关不紧,可将其移室外安全处放空

急救措施:

1. 脱离现场到空气新鲜处
2. 眼、皮肤接触用大量水冲洗
3. 就医

灭火方法:

1. 选用适合周围火源的灭火剂
2. 用水冷却暴露在火中的容器以免爆炸

禁忌物/禁忌:

热

42. 甲烷 (CH₄) 安全信息卡

危险性:

1. 易燃, 引燃能量小
2. 易爆, 与空气、氧气混合可生成爆炸性混合气体, 遇高温、明火爆炸
3. 高浓度吸入致缺氧、呼吸困难、窒息
4. 接触液体甲烷会灼伤皮肤、眼、嘴等

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 通风、禁烟火
3. 避禁忌物和禁忌
4. 使用防爆电器及工具
5. 备氮气、灭火器
6. 气瓶固定、定期检验、系统定期检漏
7. 穿防静电工作服、使用防毒护品 (具)

泄漏处理:

1. 禁一切明火
2. 通风
3. 使用防毒护品 (具)
4. 使用防爆工具
5. 站上风向
6. 切断气源, 若瓶阀关不紧, 速将钢瓶移室外安全处慢慢放空
7. 喷水降低气体浓度

急救措施:

1. 脱离现场到空气新鲜处
2. 就医

灭火方法:

1. 使用1211灭火器
2. 容器浇水冷却降温
3. 切断气源、系统充氮气

禁忌物/禁忌:

氧气、压缩空气、氟、氯、氧化剂/高温、明火、静电火花

43. 氯气 (Cl₂) 安全信息卡

危险性:

1. 活泼, 除稀有气体外, 几乎可与所有元素形成化合物, 有氧化作用
2. 助燃, 在阳光下与易燃气体混合易爆炸
3. 强腐蚀性, 刺激眼、鼻等黏膜
4. 高浓度中毒有窒息作用

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 通风
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备吸收中和剂 (碱性溶液)
6. 容器定期检验、系统定期检漏
7. 备水、灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风、站上风向
4. 关闭并切断气源, 若瓶阀无法关死, 速将钢瓶移室外安全处置吸收中和剂溶液中
5. 喷水、冷却
6. 禁排下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 使用灭火器
2. 喷水

禁忌物/禁忌:

可燃物、易燃气体、金属、细粉 / 热、水汽

44. 砷 (As) 安全信息卡

危险性:

1. 遇火可产生有毒气体
2. 长期接触影响神经系统及血液系统
3. 对皮肤、呼吸道、消化道有刺激作用

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、滤毒
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备吸收剂

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品 (具)
2. 避粉尘飞扬
3. 避直接接触
4. 将泄漏固体收入容器中、如为液体用吸收剂覆盖收入容器中处理
5. 禁排下水道

急救措施:

1. 眼接触用流动清水冲洗
2. 皮肤接触用肥皂水冲洗
3. 脱离现场到空气新鲜处
4. 就医

灭火方法:

1. 使用灭火器
2. 喷水

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、酸、活泼金属/水

45. 三氯乙烯 (C_2HCl_3) 安全信息卡

危险性:

1. 可燃爆, 其蒸汽与空气混合可生成爆炸性混合物, 遇高温、明火发生燃烧爆炸, 与固体氢氧化钾反应有爆炸危险。
2. 遇金属、酸、水在氧存在时分解有毒光气, 在紫外线下分解加速。
3. 有毒, 刺激眼、皮肤、呼吸道、消化道, 抑制中枢神经系统等。

防护措施:

1. 禁烟火, 通风, 尽可能降低抽风口高度
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 勿明火直接加热
5. 系统密封、检漏、滤毒
6. 备灭火器材

泄漏处理:

1. 切断火源
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 现场通风, 站上风向
4. 避直接接触
5. 用砂土或惰性材料将泄漏物吸附到容器中密封待处理
6. 禁排下水道

急救措施:

1. 眼接触立即用大量水冲洗
2. 皮肤接触立即用肥皂水冲洗
3. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
4. 就医

灭火方法:

1. 使用灭火器
2. 用水冷却火中容器以免爆炸

禁忌物/禁忌:

强碱、酸、活泼金属、紫外线/高温、明火

46. 邻苯二酚 ($C_6H_6O_2$) 安全信息卡

危险性:

1. 高毒
2. 具强烈刺激性
3. 损害中枢神经系统、肝、肾等
4. 遇明火、高热可燃
5. 与强氧化剂能发生反应
6. 受高热放出有毒的气体

防护措施:

1. 通风
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 远离火种、热源
5. 容器系统密封
6. 备灭火器材

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品 (具)
2. 避免直接接触泄漏物
3. 用水浸湿泄漏物后, 收集于适当容器中, 再将所有废弃物装入气密塑料袋, 待处理

急救措施:

1. 脱去污染衣着, 用流动清水洗污染部位
2. 眼接触立即用大量水冲洗至少30分钟
3. 皮肤接触用大量肥皂水和清水冲洗
4. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
5. 就医

灭火方法:

使用雾状水、灭火器、砂土

禁忌物/禁忌:

氧化剂/光

47. 吡嗪 ($C_4H_4O_4$) 安全信息卡

危险性:

1. 易燃
2. 有毒
3. 有刺激性

防护措施:

1. 通风
2. 穿戴使用防毒护品(具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 远离火种、热源
5. 备灭火器材

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品(具)
2. 避免直接接触泄漏物
3. 妥善收集于适当容器中密封待处理

急救措施:

1. 脱去污染衣着,用流动清水洗污染部位
2. 眼接触立即用大量水冲洗至少30分钟
3. 皮肤接触用大量肥皂水和清水冲洗
4. 吸入者:脱离现场到空气新鲜处
5. 就医

灭火方法:

使用灭火器

禁忌物/禁忌:

明火、高温

48. 乙酸 ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) 安全信息卡

危险性:

1. 易燃, 遇明火、高温、氧化剂有燃烧危险
2. 其蒸气与空气混合达到爆炸极限, 遇明火、高温发生爆炸
3. 具有腐蚀性、刺激性、灼伤眼、皮肤、呼吸道、消化道

防护措施:

1. 禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品(具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 禁明火直接加热(用水浴加热)
5. 备吸附剂(苏打灰或砂土)、水源、灭火剂

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品(具)
2. 避免直接接触泄漏物
3. 用水浸湿泄漏物后, 收集于适当容器中, 再将所有废弃物装入气密塑料袋, 待处理

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用大量清水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火器、砂土

禁忌物/禁忌:

氧化剂、铬酸、过氧化钠、硝酸、强碱、有机胺/高温、明火

49. 氢氧化钾（KOH）安全信息卡

危险性:

1. 不燃，但吸水后放热，可点燃其它物质
2. 遇酸中和反应放出大量热
3. 遇水、水蒸气大量放热，生成强腐蚀液体
4. 直接接触刺激灼伤眼、皮肤，吸入刺激呼吸道，食入烧伤消化道

防护措施:

1. 穿戴使用防毒护品（具）
2. 通风柜内操作、严格操作规程
3. 避禁忌物和禁忌
4. 备水源、灭火剂、中和剂

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品（具）
2. 通风
3. 避免直接接触泄漏物
4. 用砂土覆盖吸附收集于耐腐蚀容器中待处理，也可用酸中和后（注意放热）水冲洗
5. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用大量流动水冲洗
2. 吸入者：脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火剂、砂土（勿用水灭火）

禁忌物/禁忌:

金属、酸、易燃物、易爆物、有机过氧化剂、水/潮湿

50. 石墨 (C) 安全信息卡

危险性:

长期接触可能产生尘肺病

防护措施:

1. 戴防尘口罩
2. 通风
3. 定期检查呼吸系统、肺部、心血管系统

急救措施:

1. 眼、皮肤接触用大量清水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

禁忌物/禁忌:

强氧化物质 (氟、三氟化氯、过氧化钾)

51. 乙二醇（C₂H₈N₂）安全信息卡

危险性:

1. 具腐蚀性
2. 具刺激性
3. 遇明火、高热或接触氧化剂，能引起燃烧爆炸
4. 与强酸发生剧烈反应

防护措施:

1. 穿戴使用防毒护品（具）
2. 通风柜内操作、严格操作规程
3. 严禁烟火
4. 备水源、灭火剂

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品（具）
4. 避免接触泄漏物
5. 用砂土、干石灰等混和，收集处理
6. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用大量清水冲洗
2. 吸入者：脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用水、灭火剂、砂土

禁忌物/禁忌:

强酸、强氧化剂、氯化有机化合物、烟火

52. 氟化铵 (NH₄F) 安全信息卡

危险性:

1. 加热分解放出有毒氟离子、氮氧化物和氨烟
2. 对玻璃有腐蚀性
3. 在火灾温度下腐蚀金属, 分解氨和氟化氢
4. 遇酸释放出氟化氢
5. 遇碱类物品释放出氨

防护措施:

1. 禁烟火、通风
2. 穿戴使用防尘毒护品(具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备水源、灭火器

泄漏处理:

1. 撤离无关人员
2. 穿戴使用防尘毒护品(具)
3. 不直接接触泄漏物
4. 避泄漏尘飞扬, 用简便、安全方法收集于干燥、密闭容器中待处理,
5. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 无关人员撤离现场
2. 眼、皮肤接触立即用清水冲洗
3. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
4. 就医

灭火方法:

使用雾状水、灭火剂、(注意防毒)

禁忌物/禁忌:

酸、碱、三氟化氯、奎宁、可溶性钙盐/热、水

53. 氯化铵 (NH_4Cl) 安全信息卡

危险性:

1. 接触后轻微刺激皮肤、呼吸系统
2. 食入后可引起低度中毒

防护措施:

1. 密封操作
2. 局部排风
3. 穿戴使用防尘毒护品 (具)
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备水源

泄漏处理:

1. 穿戴使用防尘毒护品 (具)
2. 不直接接触泄漏物
3. 避泄漏尘飞扬,
4. 收集于干燥、密闭容器中待处理,
5. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼接触立即用大量流动清水冲洗 (不少于15分钟)
2. 皮肤接触, 脱掉被污染衣物, 大量清水冲洗
3. 就医

灭火方法:

喷水灭火

禁忌物/禁忌:

酸、碱、银盐/容器损伤

54. 三氯甲烷 (CHCl_3) 安全信息卡

危险性:

1. 比空气重, 易在地面低洼处积聚和扩散
2. 与铬酸等强化剂作用生成有毒光气和氯气
3. 与火焰和热表面接触燃烧分解有毒光气、氯气、氯化氢
4. 容器在火中会爆炸
5. 刺激眼、鼻、皮肤、消化道、呼吸道
6. 高浓度吸入致麻醉、抑制中枢神经系统

防护措施:

1. 禁烟火
2. 穿戴使用防尘毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 抽风口尽可能降低高度
5. 避禁忌物和禁忌
6. 备水源、灭火器

泄漏处理:

1. 切断火源
2. 穿戴使用防尘毒护品 (具)
3. 现场通风
4. 站上风向、不直接接触泄漏物
5. 喷水减少挥发, 用砂土或不然物吸附, 收集于密闭容器中待处理
6. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼接触立即用清水 (皮肤接触用肥皂水) 冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用雾状水、灭火剂

禁忌物/禁忌:

强氧化剂 (铬酸等)、强碱、活泼金属/高温、明火

55. 六氟乙烷（氟利昂 116.F₁₁₆）安全信息卡

危险性:

1. 容器受热压力增加有爆炸危险
2. 与可燃性气体一同燃烧时分解产生有毒的氟化物
3. 接毒液体可冻伤
4. 吸入因缺氧引起头昏，高浓度可窒息

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 通风
3. 穿戴使用防护用品（具）
4. 专人操作
5. 避禁忌物和禁忌
6. 气瓶定期检验、系统定期检漏
7. 备灭火器

泄漏处理:

1. 切断火源
2. 关闭、切断气源
3. 现场通风
4. 穿戴使用防护用品（具）
5. 站上风向、不直接接触泄漏物
6. 瓶阀关不死移室外安全处放空
7. 泄漏液体用砂土吸收，收集于密闭容器中待处理

急救措施:

1. 皮肤接触：将患处侵入温水
2. 吸入者：脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

灭火剂

禁忌物/禁忌:

活泼金属/高温

56. 正丁醇 ($C_4H_{10}O$) 安全信息卡

危险性:

1. 蒸气与空气混合有燃烧爆炸的危险
2. 与氧化剂发生剧烈反应
3. 刺激眼睛、咽喉、皮肤

防护措施:

1. 禁烟火
2. 通风
3. 穿戴使用防护用品 (具)
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防护用品 (具)
4. 泄漏物用砂土等吸收, 收集于密闭容器中待处理

急救措施:

1. 皮肤接触: 用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

灭火剂

禁忌物/禁忌:

强氧化剂/高温、明火

57. 甲醛 (HCHO) 安全信息卡

危险性:

1. 能燃烧, 与火种、氧化剂接触有燃烧危险
2. 蒸气与空气混合能形成爆炸性混合物
3. 与火焰和热表面接触燃烧分解有毒光气、氯气、氯化氢
4. 容器在火中会爆炸
5. 刺激眼、鼻、皮肤、消化道、呼吸道
6. 高浓度吸入致麻醉、抑制中枢神经系统

防护措施:

1. 禁烟火
2. 穿戴使用防尘毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 抽风口尽可能降低高度
5. 避禁忌物和禁忌
6. 备水源、灭火器

泄漏处理:

1. 切断火源
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 现场通风
4. 站上风向、不直接接触泄漏物
5. 喷水减少挥发, 用砂土或不然物吸附, 收集于密闭容器中待处理
6. 禁止直接排入下水道

急救措施:

1. 眼接触立即用清水 (皮肤接触用肥皂水) 冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用雾状水、灭火剂

禁忌物/禁忌:

强氧化剂 (铬酸等)、强碱、活泼金属/高温、明火

58. 乙酸丁脂 ($C_6H_{12}O_2$) 安全信息卡

危险性:

1. 遇高温、明火、氧化剂可发生燃烧爆炸
2. 蒸气与空气混合能形成爆炸性混合物
3. 蒸气贴地面扩散遇火回燃
4. 刺激眼、皮肤、呼吸道

防护措施:

1. 禁烟火
2. 穿戴使用防尘毒护品(具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品(具)
4. 现场通风
5. 站上风向、不直接接触泄漏物
6. 用砂土或活性炭吸附,收集于密闭容器中待处理
7. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者:脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

灭火剂

禁忌物/禁忌:

硝酸盐、强氧化剂、强碱、强酸/高温、烟火

59. 环己烷 (C₆H₁₂) 安全信息卡

危险性:

1. 与氧化剂接触强烈反应引起燃烧
2. 蒸气与空气混合能形成爆炸性混合物
3. 蒸气贴地面扩散遇火回燃
4. 遇高温明火发生燃烧爆炸
5. 刺激眼、皮肤、呼吸道

防护措施:

1. 禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 现场通风
5. 站上风向、不直接接触泄漏物
6. 用砂土或活性碳吸附, 收集于密闭容器中待处理
7. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

灭火剂

禁忌物/禁忌:

氧化剂/高温、明火

60. 二甲基甲酰胺 (C₃H₇NO) 安全信息卡

危险性:

1. 遇明火、高热能引起燃烧爆炸
2. 与浓硫酸、发烟硝酸猛烈反应
3. 与卤化物发生剧烈反应
4. 具刺激性

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 现场通风
5. 站上风向、不直接接触泄漏物
6. 用砂土吸附收集于密闭容器中待处理
7. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

灭火剂

禁忌物/禁忌:

四氯化物、卤化物、铁、烷基铝、强氧化剂/明火

61. 过硫酸铵[(NH₄)₂S₂O₈]安全信息卡

危险性:

1. 具氧化性
2. 与还原剂、有机物、易燃物混合形成爆炸性混合物, 急剧加热可发生爆炸
3. 具腐蚀性
4. 具致敏作用

防护措施:

1. 密闭操作
2. 局部排风
3. 穿戴使用防毒护品(具)
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品(具)
4. 避免泄漏物接触可燃物
5. 用水冲洗泄露物污染的表面
6. 用安全方法收集至密闭容器处理
7. 冲洗液禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

灭火剂、雾状水、砂土

禁忌物/禁忌:

易燃物、过氧化钠/水

62. 石油醚安全信息卡

危险性:

1. 蒸气与空气混合有燃烧爆炸的危险
2. 与氧化剂发生剧烈反应
3. 蒸气能扩散至远处, 遇明火引着回燃
4. 具刺激性

防护措施:

1. 禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品(具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品(具)
4. 现场通风
5. 用砂土吸附收集于密闭容器中待处理
6. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

灭火剂、砂土

禁忌物/禁忌:

氧化剂/明火、高热

63. 柠檬酸胺 ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_7$) 安全信息卡

危险性:

1. 可燃, 但不易点燃
2. 具刺激性

防护措施:

1. 密闭操作
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 局部通风
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 切断火源
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 现场通风
4. 用安全方法收集于密闭容器中待处理

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 就医

灭火方法:

灭火剂、水

禁忌物/禁忌:

腐蚀剂/明火

64. 氯苯 (C₆H₅Cl) 安全信息卡

危险性:

1. 易燃易爆, 遇明火、高热或氧化剂引起燃烧爆炸
2. 与过氯酸银、二甲亚砷反应剧烈
3. 易灼烧皮肤
4. 具刺激性

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风、隔热
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 现场通风
5. 用砂土吸附收集于密闭容器中待处理
6. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火剂、喷水

禁忌物/禁忌:

强氧化剂/明火、高热

65. 二甲苯 (C₈H₁₀) 安全信息卡

危险性:

1. 遇高温、明火、强氧化剂有燃烧爆炸的危险
2. 蒸气贴地面扩散遇火回燃
3. 易爆, 蒸气与空气能形成爆炸性混合物
4. 具刺激性
5. 抑制中枢神经产生麻醉

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 现场通风, 站上风向
5. 用砂土吸附收集于密闭容器中待处理
6. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火剂

禁忌物/禁忌:

强氧化剂 (氯、溴、氟) / 明火、高温

66. 苯 (C₆H₆) 安全信息卡

危险性:

1. 遇高温、明火引起燃烧爆炸
2. 与氧化剂接触反应强烈
3. 蒸气与空气能形成爆炸性混合物
4. 易产生积聚静电
5. 具刺激性
6. 抑制中枢神经产生麻醉

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 现场通风, 站上风向
5. 用砂土吸附收集于密闭容器中待处理
6. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火剂

禁忌物/禁忌:

强氧化剂/明火、高温

67. 甲醇(CH₄O)安全信息卡

危险性:

1. 遇高温、明火、氧化剂发生燃烧爆炸
2. 与铬酸、高氯酸、高氯酸铅反应激烈,有爆炸危险
3. 蒸气与空气能形成爆炸性混合物
4. 蒸气贴地面扩散,遇火回燃
5. 具刺激性
6. 有麻醉性

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品(具)
3. 通风柜内严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品(具)
4. 现场通风,站上风向
5. 用砂土吸附收集于密闭容器中待处理
6. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者:脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火剂

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、BeO₂、氯仿、叔丁醇、金属、铬酸、高氯酸、高氯酸铅/烟火、高温

68. 三乙醇胺 ($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) 安全信息卡

危险性:

1. 对眼、鼻、喉、肺有刺激性
2. 皮肤接触易被刺痛、灼伤

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 现场通风, 站上风向
5. 用砂土吸附收集于密闭容器中待处理
6. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火剂

禁忌物/禁忌:

强氧化剂、强酸/烟火、高温

69. 三氯氢硅 (SiHCl_3) 安全信息卡

危险性:

1. 遇高温分解放出氯化物有毒烟雾。
2. 遇水和水蒸气产生有毒腐蚀性烟雾
3. 与氧化剂反应有燃烧爆炸危险
4. 遇明火强烈燃烧
5. 具刺激性

防护措施:

1. 严禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火器、吸收中和剂 (水、碱性水溶液)

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 切断火源
3. 穿戴使用防毒护品 (具)
4. 现场通风, 站上风向
5. 用水、碱性水溶液吸收中和收集于密闭容器中待处理
6. 勿触摸泄漏物
7. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火剂

禁忌物/禁忌:

酸类、碱类、水、氧化剂/烟火

70. 氰化金钾[K_{Au}(CN)₂]安全信息卡

危险性:

1. 火中产生有毒气体
2. 剧毒, 大剂量吸入可突然失去知觉, 呼吸停止, 致死
3. 小剂量吸入1小时后可致死
4. 咽喉麻木、呼吸反常、心跳缓慢、麻痹、失去知觉

防护措施:

1. 专人操作, 严格操作规程
2. 穿戴防毒护品
3. 通风良好, 通风柜内操作
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备砂或不燃吸附剂、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 不直接接触泄漏物
3. 穿戴使用防毒护品
4. 喷水减少泄漏物挥发, 避扬尘
5. 用砂或不燃吸附剂吸附收集到容器中密封处理
6. 禁止直接排入下水道

急救措施:

1. 脱去污染衣着, 用大量流动水清洗接触部位
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 立即就医

灭火方法:

使用灭火器

禁忌物/禁忌:

氧化剂、酸/热源、明火

71. 丙酸 ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$) 安全信息卡

危险性:

1. 与氧化剂发生剧烈反应
2. 蒸气与空气混合有燃烧爆炸的危险
3. 具腐蚀性

防护措施:

1. 禁接触火源或热源
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备吸附剂 (苏打灰或砂土)、水源、灭火剂
6. 禁止直接排入下水道

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品 (具)
2. 无关人员撤离现场
3. 避免直接接触泄漏物
4. 现场通风
5. 用苏打或砂土吸附泄漏物后, 收集于适当容器中待处理
6. 喷水减少泄漏物挥发量

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用大量清水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火器、砂土

禁忌物/禁忌:

氧化剂/高热、空气

72. 铍及其化合物 (Be) 安全信息卡

危险性:

1. 极细粉尘接触明火有燃烧爆炸的危险
2. 氧气中能燃, 蒸气在空气中易被氧化为轻的氧化铍粉尘
3. 吸入易中毒, 导致呼吸道疾病
4. 长期接触易发生皮炎

防护措施:

1. 禁接触火源或热源
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风柜内操作、严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备灭火剂

泄漏处理:

1. 穿戴使用防毒护品 (具)
2. 排除一切火情隐患
3. 现场保持通风
4. 无关人员撤离现场
5. 避免直接接触泄漏物
6. 用简便、安全方法收集泄漏粉末于容器中密封待处理

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用大量清水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

使用灭火器、砂土

禁忌物/禁忌:

酸、碱、氧化剂、氧化烃/高温

73. 三氯化硼 (BCl_3) 安全信息卡

危险性:

1. 有水存在时水解为硼酸和盐酸, 腐蚀性很强
2. 与磷化氢、砷烷等生成加成化合物
3. 容器遇火压力增加, 有爆炸危险
4. 刺激皮肤黏膜, 致支气管炎, 吸入可窒息, 接触会冻伤

防护措施:

1. 穿戴使用防毒护品(具)
2. 专人操作, 严格操作规程
3. 通风良好
4. 避禁忌物和禁忌
5. 系统定期检漏, 钢瓶定期检验
6. 备吸收中和剂(水、碱性溶液)

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 穿戴使用防毒护品(具)
3. 关闭切断气源, 气瓶阀门关不死可移室外安全处放空
4. 现场通风, 站上风向
5. 喷水减少泄漏物挥发
6. 用碱性水溶液吸收中和收集于密闭容器中待处理
7. 勿触摸泄漏物
8. 禁直接排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 吸入者: 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

选择使用适合周围火源的灭火剂

禁忌物/禁忌:

苯胺、二氧化氮、磷、有机物、氧气、脂类、氮的过氧化物/水、高温、明火

74. 溴化氢 (HBr) 安全信息卡

危险性:

1. 受热易挥发出有毒和腐蚀性的气体
2. 与活泼金属粉末反应放出氢气有爆炸危险
3. 遇氰化物产生剧毒气体 (HCN)
4. 刺激、腐蚀、灼伤皮肤、眼、呼吸道、消化道等

防护措施:

1. 专人通风柜内操作, 严格操作规程
2. 穿戴使用防护用品 (具)
3. 避禁忌物和禁忌
4. 备水源、中和剂、干砂、灭火剂等

泄漏处理:

1. 撤离周围无关人员
2. 穿戴使用防毒护品 (具)
3. 通风、站上风向
4. 勿直接接触泄漏物
5. 喷氨水或稀碱液中和, 收集到耐腐蚀容器中处理
6. 禁排下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触立即用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

使用灭火器、干砂、雾状水

禁忌物/禁忌:

氰化物、碱、活泼金属、强氧化剂/潮湿

75. 重铬酸钾 ($K_2Cr_2O_7$) 安全信息卡

危险性:

1. 与还原剂、有机物、易燃物混合形成爆炸性混合物
2. 摩擦、震动、撞击、可致燃烧或爆炸
3. 皮肤接触可溃瘍
4. 高浓度时有局部刺激和腐蚀作用

防护措施:

1. 专人通风柜内操作, 严格操作规程
2. 穿戴使用防毒护品
3. 避禁忌物和禁忌
4. 备水、1211灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 避免直接接触泄漏物
3. 穿戴使用防毒护品
4. 勿使泄漏物与可燃物接触
5. 收集加入水中, 用硫酸调PH值至2, 再加入过量亚硫酸氢钠, 待反应完后废弃
6. 用大量水冲洗稀释, 洗水集中容器中统一处理
7. 禁止直接排入下水道

急救措施:

1. 用大量流动水清洗接触部位
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 立即就医

灭火方法:

使用水、砂土、灭火器

禁忌物/禁忌:

易燃物、还原剂、有机物、酸/火、热源

76. 氢氧化铵 (NH₄OH) 安全信息卡

危险性:

1. 有腐蚀性
2. 对眼、皮肤、粘膜有刺激性
3. 遇高温、明火可发生爆炸
4. 与空气混合生成爆炸性混合物
5. 蒸气可燃
6. 温度越高分解出氨的速度越快

防护措施:

1. 禁烟火
2. 穿戴使用防毒护品
3. 通风柜内操作, 严格操作规程
4. 避禁忌物和禁忌
5. 备水、中和剂(酸)、灭火器

泄漏处理:

1. 切断火源
2. 无关人员撤离现场
3. 穿戴使用防毒护品
4. 通风, 站上风向
5. 不直接接触泄漏物
6. 喷水后用酸中和(注意放热)
7. 用砂土吸附泄漏物收集容器中待处理
8. 禁止排入下水道

急救措施:

1. 眼、皮肤接触用水冲洗
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火处理:

使用灭火器、水、砂土

禁忌物/禁忌:

酸、银盐/热

77. 四氟化硅 (SiF_4) 安全信息卡

危险性:

1. 容器受热有爆炸危险
2. 有水存在时因水解而有腐蚀性
3. 刺激黏膜等组织

防护措施:

1. 通风滤毒
2. 通风柜内操作, 严格操作规程
3. 使用防毒护品(具)
4. 系统密闭、定期检漏, 容器定期检验
5. 备吸收中和剂(水、碱性溶液)、灭火器

泄漏处理:

1. 无关人员撤离现场
2. 通风
3. 使用防毒护品(具)
4. 站上风向、关闭气源
5. 气瓶阀门关不紧, 将其移到吸收中和剂溶液中

急救措施:

1. 皮肤等接触部位用温水浸泡
2. 脱离现场到空气新鲜处
3. 就医

灭火方法:

1. 喷水冷却容器
2. 使用1211灭火器

禁忌物/禁忌:

酒精、水、热

本书特点:

本书首先介绍《半导体芯片制造工国家职业标准》,全书内容在技术难度上严格限定在此“标准”的范围之内,同时在具体的技术内容力求反映半导体芯片制造技术、当前发展的实际状况,按照中级、高级、技师和高级技师四个等级知识要求和技能要求编写了知识解答、专业知识练习以及职业技能鉴定用的模拟试题,书中还详尽地提供了芯片制造中各类化学制品安全使用的基本知识,供考生系统复习和检验自己的技能水平之用。

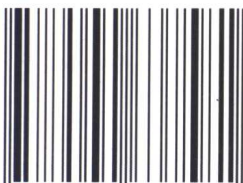
本书适用于:

本书可供相关的职业技能鉴定机构组织升级考核复习和申请参加技能鉴定人员自学之用。对于各类职业技术学校师生、相关专业技术人员也有一定的参考价值。

需要本书或技术支持的读者,请与北京中关村 083 信箱(邮编 100080)发行部联系

电话: 010-62528991, 62524940	传真: 010-62520573
62521921, 62521724	E-mail: yanmc@bhp.com.cn
82610344, 82675588 (总机)	投稿: lwm@bhp.com.cn

ISBN 7-5046-3758-0



9 787504 637581 >

ISBN 7-5046-3758-0/TP·242

定价: 30.00 元

[General Information]

书名=半导体芯片制造职业技能鉴定指南

SS号=11225499