

研究工作报告

(简 编)

1981-1982

中国科学院半导体研究所

前 言

为了活跃学术空气，促进学术交流，我所从1977年开始，每两年汇编一期《研究报告》（简编）。本期汇编了有关研究室组研究报告170篇，并增编了我所近两年部分应用性成果推广生产的简讯。由于我们缺乏经验，水平有限，有些研究工作做得不够深入，缺点错误在所难免，欢迎批评指正。

目 录

一、半导体材料研究室

1. 镓源真空烘焙对高纯VPE-GaAs质量的影响
.....林兰英、林耀望、钟兴儒、张彦云、李秀兰 (1)
2. 碳对硅晶体完整性影响以及碳在硅中固溶度和碳沉淀的研究
.....梁骏吾、邓礼生、郭钟光、郑红从、刘凤祥 (2)
3. 高纯度砷化镓残留受主BA、DA峰的电子声子偶合
.....陈廷杰、吴灵犀、徐寿定、孟庆惠、于鲲、李永康 (7)
4. LPE-GaAs高一低结材料的生长和性质.....龚秀英、赵建设 (8)
5. 在氩气氛中高纯GaAs外延生长.....林兰英、林耀望、张彦云、李秀兰 (9)
6. 纯度LPE-GaAs外延层中深能级的研究
.....向贤碧、杨锡权、方兆强、周伯骏、朱素珍、吴让元 (11)
7. 原生直拉无拉错硅单晶中漩涡缺陷的研究
.....钱家骏、范缙纹、褚一鸣、林兰英 (14)
8. 兰宝石-硅、尖晶石-硅界面层的俄歇分析
.....余觉觉、曹大年、咎育德、王维明、郁元桓、邓惠芳、王建华 (19)
9. 直拉硅单晶碳沾污的研究.....梁骏吾、黄大定、汪光川、尹恩华、杨雪珍 (20)
10. 掺钨的硅二极管中深能级的DLTS研究
.....阮圣央、郑秉茹、张砚华、吉秀江、周洁、李树英、谭飞 (24)
11. 用相敏检波器和基线恢复器构成的DLTS率窗
.....阮圣央、杨锡权、郑秉茹、张砚华 (25)
12. 有关深中心行为图形表示的探讨.....
.....阮圣央、张砚华、郑秉茹、杨锡权、吉秀江 (26)
13. In/PCl₃/H₂系统的热力学分析.....陆大成 (28)
14. 低温控温强磁场Hall效应测试仪及其分析
.....徐寿定、吴灵犀、廷证杰、孟庆惠、李永康、于鲲 (32)
15. GDa-Si:(Cl,H)薄膜的光学性质
.....廖显伯、杨喜荣、徐学敏、刘昌灵、孔光临 (34)
16. GDa-Si:H:Cl薄膜的ESR研究
.....廖显伯、刘昌灵、杨喜荣、孔光临、侯贵、徐广智 (37)
17. 非晶硅薄膜的光电导谱.....孔光临、杨喜荣、廖显伯、刘昌灵、秦大成 (39)
18. 掺Fe-InP晶体的某些性质的研究
.....叶式中、刘巽琅、柴喜云、焦景华、赵健群、曹惠梅、孙文荣 (43)
19. 掺Zn的无位错InP单晶制备及性质研究
.....叶式中、刘巽琅、柴喜云、焦景华、赵建群、曹惠梅、孙文荣 (46)
20. LPE生长In_{1-x}Ga_xAs/InP (100) 异质结时组分变化对生长速率、

- 带隙、荧光特性的影响.....彭少近、卢文宏 (47)
21. 生长方法对 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}/\text{InP}$ 外延层性质的影响.....张韵琴、唐代维 (51)
22. 热应力作用 降低LPE层 中的 位错.....涂相征 (53)

二、新电路新器件研究室

1. 极高速多元逻辑电路(DYL)线性“与或”门的研究
.....王守觉、李致洁、刘训春、朱荣华、卢希尧 (53)
2. 超高速 DYL 反相器.....王守觉、卢希尧、朱荣华、龚丽明、侯静媛 (56)
3. 变门限型触发电路——关于DYL 8 位计数器的研制.....刘盘泉、高俊华 (58)
4. 10兆高性能大规模集成电路测试图案发生器的研制.....林梅梅、林雨 (59)
5. 用拼图法设计随机逻辑电路.....林雨、陈宝钦、赵群增、勤学芝 (60)
6. 用拼图法设计大容量半导体存储器.....林雨、陈宝钦、赵群增、勤学芝 (60)
7. 磨片引入的沾污及对改进方法的建议
.....孙安纳、余倩萍、李秀琴、王柏林、严仁谨、薛正镠 (61)
8. 铝对硅中铁和铬的吸除.....赵书兰、李秀琴 (63)
9. 硅外延层中两种微缺陷与铁含量的关系.....孙安纳、教治有 (64)
10. 刻蚀钝化膜引线孔的新方法.....刘济民、李远镜、刘少青、郭增权、李大虹 (66)
11. 一种新型剥离技术的研究——氮化硅—光刻胶复合膜剥离
.....郭 良、刘德钧、杨亚丽 (67)
12. 无显影光刻机理探讨.....刘剂民、郭增权、李大虹 (69)
13. 砷化镓N型薄外延层的光反射谱测厚法.....王文沧 (71)
14. 自对准PN结隔离.....刘训春、侯静媛、朱荣华、王润梅、赵泉沐、曹秀兰 (72)
15. 某些硅平面晶体管 β -Ic特性异常现象的初步研究
.....王守觉、夏传钺、赵雅珠、刘荣寰、王润梅、宋振华、洪重光 (74)
16. 砷化镓或非门的开关时间的计算.....王文沧 (76)
17. 多芯片多层陶瓷片状载体的研制.....潘吉才、牛征虎、王玉坤 (78)
18. DYL时分式小型三用电话系统.....王守觉、尹元茂、景士平、田 宁 (80)
19. 多元电路DYL电子智能游戏机
.....王守觉、郑 洁、刘旭英、赵德泉、谭茂恒、刘盘泉 (82)

三、新工艺新技术研究室

1. 各种光致抗蚀剂的无显影刻蚀特性.....韩阶平、刘惠泉、寇清江 (84)
2. 离子注入无显影刻蚀技术.....王培大、韩阶平 (85)
3. EBE-VPE光刻参数特性
.....孙毓平、韩阶平、梁俊厚、梁久春、罗唐生、刘根庆、夏观初 (87)
4. 一种新颖的离子光刻技术——IBEEL
.....刘宗德、金才政、杨占坤、唐革非 (89)
5. 平板电极等离子刻蚀铝.....王玉玲、高士平、程秀玲 (91)
6. 新型、高性能离子源的设计和试验.....尤大伟、孟宪光、金维新、胥兴才 (92)

7. 钛、铌、钼及其它薄膜的干法腐蚀.....王玉玲 (93)
8. 铬的亚微米圆形刻蚀技术.....高士平、程秀玲 (94)
9. 反应离子束刻蚀及其应用.....金维新、孟宪光、尤大伟、胥兴才 (96)
10. 对提高离子束流稳定度的初步研究.....孟宪光、尤大伟、金维新、胥兴才 (99)
11. 电子透明膜的离子束致薄技术.....孟宪光、金维新、尤大伟、胥兴才 (100)
12. SEBL技术用于制作Nb-Notoryst微桥Josephson结D·C·SQUID
.....孙毓平、梁俊厚、葛璜、梁久春、罗唐生、刘根庆、肖育才 (101)
13. 电子束光刻中的辐照损伤
.....孙毓平、梁俊厚、朱文珍、葛璜、梁久春、罗唐生、刘根庆、常秀琴 (103)
14. 亚微米图形的电子束双层胶剥离技术
.....梁俊厚、孙毓平、葛璜、梁久春、罗唐生、杨占坤、刘根庆 (104)
15. 一种单层胶铝剥离技术.....刘宗德、孙宝银、杨占坤 (106)
16. 一种简易的X射线光刻试验装置.....顾柏春、张世华、邓弼兴 (107)
17. X射线光刻用的三层光刻胶.....顾柏春、王玉玲、邓弼兴、张世华 (108)
18. 一种新X光掩膜—PPQ掩膜的制备.....董清云、睦秀桐 (109)
19. 离子成象掩膜的研制
.....凌仲珪、高士平、王慧玲、程秀玲、曲会兰、三〇五组 (110)
20. 场致发射液体镱离子源的研制
.....马祥彬、王纯、陈春华、张立宝、李金荣、凌仲珪 (112)
21. 高剂量砷离子注入硅中的电子束退火.....王培大、孙慧玲 (116)
22. 砷化镱注硫的电子束退火
.....孙慧玲、王培大、李秀琼、唐革非、徐嘉东、何彩霞 (118)
23. 电子束掺杂磷.....李秀琼、孙慧玲、王培大、电工所电子束加工组 (119)
24. 染料脉冲激光诱导扩散.....谢宗钧、黄乐斌、刘世祥、姚德成、石万全 (123)
25. 钽玻璃脉冲激光退火.....黄乐斌、谢宗钧、司秉泰 (125)
26. 对J·C·C·Tsai转换公式的修正和讨论.....冶宏振 (126)
27. 矢量扫描电子束曝光机图案形成系统的性能测试
.....梁久春、孙毓平、梁俊厚、罗唐生、刘根庆、韩岩安、陈梦真、葛璜 (128)
28. 硅中红外应力双折射的显微观测.....卢纪、刘志开 (130)
29. 工程控制微型计算机 (ECM) 的设计与调试.....韩岩安 (131)
30. 袖珍电感电容测试仪.....徐维江、岳慧武 (132)

四、表面器件研究室

1. 一种新颖的氢敏元件—Pa-MOSFET
.....李建中、张秋江、刘家泰、黄启成、崔华坤、楼章和、陆文兰、海秀兰 (134)
2. 硅的氢氧合成水蒸气氧化.....和致经、付志煌、梁桂荣 (136)
3. 带浮置栅的反应溅射腐蚀工艺研究.....李秉臣 (139)
4. 高频C-V方法测量埋沟电荷耦合器件的沟道电势.....崔成烈、付志煌、吴瑞华 (142)
5. Nd-YAG连续激光对Si-SiO₂界面及电子束辐射损伤的退火作用

-朱美芳、石万全、朱文珍、常秀琴 (145)
6. 聚酰亚胺掩蔽高剂量离子注入的特性.....张桂亭、张永刚、茅冬生 (149)
7. 镍基微孔过滤膜的滤尘性能及其在氧化工艺中的应用.....和致经、傅志煌 (150)
8. SiO_2 中电子束辐照产生的电子陷阱
.....朱文珍、常秀勤、李月霞、安贵仁、宁华 (153)
9. 曲折埋沟二相CCD样品研制.....吴瑞华、崔成烈、崔华坤、傅志煌 (157)

五、半导体微波研究室

1. 平面Gunn器件中静止畴的研究.....王守武、郑一阳、郝小林、潘国雄 (158)
2. InP与氧化膜界面物理性质的研究
.....陈克铭、仇兰华、崔玉德、陈维德、简萍清 (160)
3. 8-10GHz GaAs雪崩管振荡器.....徐鸿达、邵全远、邹立寿 (161)
4. 三毫米GaAs肖特基势垒二极管混频器
.....王森、方浦明、柳吉林、高翠华、郑东、曹逸庭 (164)
5. 掩蔽层导致n-GaAs表面化学组分的变化对微波器件性能的影响
.....陈克铭、王森、陈维德、方浦明 (166)
6. InGaAsP与氧化膜界面物理性质的研究.....陈克铭、仇兰华、陈维德 (167)
7. 微波GaAs FET'S的有限元法二维数值分析.....汪正孝 (168)
8. 离子注入平面型锗光电雪崩二极管.....张执中、M·麦茨克、H·吕赛尔 (170)
9. 镜像栅匹配行波场效应器件的小信号计算.....魏策军 (170)
10. n型GaAs中的Be离子注入.....王茂增、张进昌、陈振荣 (173)
11. GaAs MESFET非饱和速度模型.....刘朝中 (174)
12. 化合物半导体材料速场特性测量.....黄碧莲、玉重云 (177)
13. GaAs体效应热阻计算及雪崩管热阻测量.....黄碧莲 (178)
14. GaAs体效应大功率脉冲器件.....505组 (179)

六、仪器设备研究室

1. 取样技术——原理与应用.....李锦林、刘文生 (181)
2. 用于输入/输出子系统产品测试的微处理机化的自动测试设备.....韩汝水 (181)
3. 俄歇谱仪数据采集装置.....范东华、庞秉娟、李平江、周仁楷 (183)
4. BOXCAR平均器的提高及功能开发研究.....邓兆杨、丁志学、许善兴 (185)
5. 光导仪.....宁华、安贵仁、朱文珍、李月霞、曹森柏、常秀琴 (187)
6. WS-1型数字式温湿度巡测仪
.....孙明方、尹伊丁、袁秉则、孙晓山、余立新、刘家义 (188)

七、半导体光电研究室

1. 一种适用于InP及其三元、四元化合物的光刻腐蚀液.....吕升、李静然 (190)
2. GaAs/AlGaAsDH激光器镀膜工艺中的膜厚控制.....马朝华 (193)
3. InGaAsP/InP双异质结激光器P侧低阻欧姆接触.....孙富荣、张凤君 (196)

4. (GaAl)As/GaAs质子轰击隔离条形DH激光器退化原因
.....庄婉如、杨培生、高季林、马英棟 (199)
5. $X=0-0.85$ 的 $Al_xGa_{1-x}As$ 的生长特性.....余金中、鞠静丽、陈琼 (201)
6. 埋层光波导条形激光器的模式设计分析.....彭怀德 (204)
7. 可见光GaAlAsDH激光器.....石志文、杨培生、马国荣、庄婉如 (207)
8. 一种内发射耦合的单纵模半导体激光器模型.....王仲明 (209)
9. 质子轰击条形 $1.3\mu InGaAsP/InPDH$ 激光器的电学特性、热特性和激射特性
.....朱龙德、汪孝杰、王莉、胡雄伟、张凤君、孙富荣、
张盛康、王丽明、史一京、高淑芬、 (211)
10. InP、InGaAsP质子轰击层的光学特性及其对激光器激射特性的影响
.....朱龙德、王莉、胡雄伟 (213)
11. InGaAsP/InP异质结的晶格匹配.....朱龙德、王莉 (215)
12. 半导体 $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAsDH$ 激光器张弛振荡效应的实验研究
.....赵礼庆、张存善、唐政、王启明 (217)
13. 用MOS方式研究四元混晶 $In_{0.75}Ga_{0.25}As_{0.53}P_{0.47}$ 中的深能级中心
.....鲍庆成、王启明、彭怀德、朱龙德、高季林 (219)
14. AlGaAs/GaAs DH共腔双二极管激光器稳态输出特性
.....王启明、杜宝勋、黄熙、赵礼庆 (222)
15. 半导体激光器的光注入调制.....史一京 (224)
16. GaAlAs发光二极管中深能级的光电容研究.....史一京 (228)
17. 不掺N的GaPLED中由于化学比偏离产生的深能级的光电容研究.....史一京 (230)
18. 半导体中毫微秒级的瞬态阴极荧光的研究
.....李成基、葛玉如、刘淑彬、庄蔚华、徐俊英 (232)
19. 半导体四层平板漏光波导的分析.....张敬明、郑宝真 (235)
20. 重掺补偿的P-GaAs的指数带尾和激光特性.....杜宝勋 (240)
21. 半导体激光器的小信号传输理论.....单永政、杜宝勋 (243)
22. 双光丝耦合半导体激光器的小信号传输特性.....单永政、杜宝勋 (243)
23. MOCVD法生长N-GaAs, N-Ga $_{1-x}$ Al $_x$ As薄层异质材料深能级及过渡区性质的研究
.....吴荣汉、D.Allsopp、A·R·Peaker (244)
24. 直拉法生长N型硅中金杂质施主及受主的俘获截面
.....吴荣汉、A·R·Peaker (245)
25. 室温连续激射的1.55微米质子轰击条型InGaAsP/InP DH激光器
.....王圻、张静媛、田慧良、孙富荣 (246)
26. $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 的液相外延生长.....王树堂、潘荣俊、曾靖、 (248)
27. 适用于长波光纤通信的 $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 光电二极管
.....曾靖、潘荣俊、王树堂 (251)
28. 1.8K-4.2K离子注N注Zn GaAs $_{1-x}P_x$ 光荧光谱
.....徐俊英、陈良惠、弓继书、徐仲英、庄蔚华、李玉璋、许继宗、吴灵犀 (254)
29. 激光高密度激发下的增益光谱对异质结构和GaN的研究.....庄蔚华 (257)

30. (AlGa) As/GaAs DH激光器低温负阻的研究
.....王守武、顾纯学、王仲明、庄婉如、杨培生 (260)
31. 离子注砷砷化镓的激光退火.....弓继书、郑宝贞、庄蔚华、徐仲英 (262)

八、半导体物理研究室

1. 多声子跃迁中的声子分析.....黄昆、顾宗权 (265)
2. 稀土离子电声子耦合 S 因子的计算.....顾宗权、王永良 (266)
3. 混晶半导体中的无序对本征光谱的影响.....王炳葵 (267)
4. GaAs等离子体阳极氧化膜的生长、结构特性及应用
.....沈光地、邢益荣、钟战天、戴国瑞、董志武、姜秀英 (268)
5. 闭管热生长的GaAs自体氧化膜的性质及其应用的研究
.....钟战天、沈光地、邢益荣、戴国瑞、姜秀英 (269)
6. a-Si:H:Cl薄膜的光电子谱研究
.....邢益荣、钟战天、沈光地、孔光临、廖显伯、**杨喜荣** (269)
7. 在GaAs圆柱面上氧吸附的晶向关系 I、光电子测量
.....W. Ranke、邢益荣、沈光地 (270)
8. 在GaAs圆柱面上氧吸附的晶向关系 II、俄歇电子测量
.....W. Ranke、邢益荣、沈光地 (271)
9. 非晶态硅的带隙态密度.....夏建白 (273)
10. 集团模型方法研究半导体的电子结构.....夏建白 (275)
11. Si GaAs (111)表面弛豫效应.....夏建白 (277)
12. 原子轨道集团方法 计算Si和GaAs中的空位.....夏建白 (279)
13. 考虑非局域势的Si能带的 紧束缚 计算.....王永良、顾宗权 (280)
14. CaP(N, Te, Zn)的静压发光研究.....赵学恕、李国华、韩和相、
汪兆平、唐汝明、胡静竹 (281)
15. 分子束外延不掺杂砷砷薄膜.....孔梅影、孙殿照、黄运衡、梁基本、
陈宗圭、李歧旺、唐正必、周增圻 (285)
16. 四极质谱计监测GaAs分子束外延生长及对系统污染的分析
.....孔梅影、黄运衡、梁基本、周增圻、唐正必 (287)

九、物理化学测试分析室

1. 离子注氮硅的光学性质
.....许振嘉、江德生、孙伯康、张泽华、刘继光、刘江夏 (290)
2. 荧光光谱测定硅中磷、硼含量
.....孟庆惠、于鲲、李永康、许振嘉、陈廷杰、吴灵犀、徐寿定 (291)
3. 无定形硅喇曼光谱和晶化问题的研究
.....江德生、韩和相、赵学恕、李国华、刘继光 (292)
4. 用光吸收法测量半绝缘GaAs中Cr浓度的定标 曲线
.....许振嘉、张泽华、孙伯康 (294)

5. Si中Pt的复合行为.....周洁、李树英、谭飞 (296)
6. 电阻率和霍尔系数的半自动测量系统.....马金泉、王万年、何广平 (297)
7. 低能氩离子激发的俄歇电子谱及其影响.....梁际翔、许振嘉、余觉觉 (301)
8. CW CO₂激光退火在Si中产生的氧沾污.....许振嘉、陈维德 (302)
9. 激光退火点缺陷的钝化消除.....卢励吾、许振嘉、蔡田海、阮圣央 (303)
10. 关于用离子束刻蚀作剖面分析时深度值的定标问题.....余觉觉、王维明 (306)
11. 热处理硅中的新施主.....许振嘉、孙伯康、王万年、张泽华、刘江夏、何广平 (307)
12. 硅中热施主的电子结构.....许振嘉、孙伯康、王万年、江德生、宋春英 (308)
13. 热处理硅中的氧、碳沉淀.....许振嘉、蒋四南、孙伯康、刘江夏 (309)
14. ESAUC2 的研制.....余觉觉 (310)
15. 半导体器件工艺过程中杂质沾污的研究之三
.....崔仙航、徐学敏、严性天、梁志成、李希云 (311)
16. 用离子背散射分析Pt与GaAs的接触界面
.....张敬平、殷士端、顾詮、戴爱平、刘世杰、谢葆珍 (312)
17. 在掺Si GaAs单晶中Ga小晶面生长区的界区结构状态的研究.....蒋四南 (313)
18. 用SEM-EBIC方法研究硅单晶中的缺陷.....葛玉如、刘津一 (315)
19. SEM电压衬度法在器件失效分析中的应用.....葛玉如、夏传铤、庄婉如 (318)

十、大规模集成电路试验线

1. 大规模集成电路工艺中的高纯水
.....闻瑞梅、朱章铨、董跃、余爱武、崔惠国 (320)
2. 强酸型阳离子交换树脂柱内再生技术的研究.....闻瑞梅、薛继周 (322)

十一、CAD组

1. TF-KS1多功能图形发生器系统
.....中国科学院半导体研究所
.....中国科学院自动化研究所
.....中国科学院长春光机所
.....电子工业部四五〇四厂 (324)
2. 图形发生器制版技术研究.....陈慎卿、卢国纲、丁林辉、王云莹等 (326)
3. JBY计算机辅助制版系统.....李全圣、沈永周、庄文君 (331)
4. 通道区布线的通道损益分析法.....庄文君 (334)

近两年我所部分应用性成果推广生产简讯。

镓源真空烘焙对高纯VPE-GaAs 质量的影响

林兰英 林耀望 钟兴儒 张彦云 李秀兰

在 $\text{AsCl}_3\text{-Ga-N}_2$ 系统中制备高纯VPE-GaAs中, 由于装镓过程常引入氧沾污, 致使镓源呈灰雾色。采用在真空中(2×10^{-5} 托)和在较低的温度下(720°C), 对镓源进行烘焙一小时左右, 可以有效地消除氧及其化合物的沾污, 致使Ga源表面十分光亮。

气相外延生长装置及外延工艺, 我们在已发表的文章中^{[1][2]}, 作了较详细的介绍, 在此不再赘述。在相同厂家的原材料条件, 我们对作真空烘焙和不作真空烘焙的镓源, 分别进行外延生长实验, 并对外延层进行了Van Der Pauw法电学测量。表I列出了电学测量的结果。从表I来看, 镓源真空烘焙对77K迁移率影响并不显著(可能还在测量误差范围之内)。采用Wolfe^[3]法推算了VPE-GaAs中的总离化杂质浓度 N_T 、施主浓度 N_D 、受主浓度 N_A 以及补偿度 K 。表II列出了计算的结果。在4.2K下, 对作真空烘焙与未作真空烘焙镓源的条件下列生的GaAs进行光致发光测量表明, 外延层中主要残留受主杂质都是碳。

从表II的结果来看, 两种不同外延工艺流程, 外延层的总离化杂质浓度均可低达 $1.76 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 。但是, 镓源作真空烘焙后外延生长的VPE-GaAs, 补偿度 K 较低, 而且稳定在0.30左右。

关于氧在气相外延GaAs中的作用与行为, 国内外均有过许多报道。当采用 $\text{Ga-AsCl}_3\text{-H}_2$ 系统制备高纯VPE-GaAs时, 我们曾提出氧可能与替位式杂质硅络合生成 $(\text{Si}_\text{Ga}\text{O}_i)^-$ 起受主作用。采用 $\text{Ga-AsCl}_3\text{-N}_2$ 系统制备高纯VPE-GaAs, 基于SIMS与4.2K下光致发光分析结果表明, 外延层中的硅受主抑制, 而碳是主要残留杂质。因此我们认为, 氧很可能与替代式杂质碳络合而生成 $(\text{C}_\text{Ga}\text{O}_i)^-$ 起受主作用。真空烘焙后, 系统中氧含量降低, $(\text{C}_\text{Ga}\text{O}_i)^-$ 生成率

表 I 高纯VPE-GaAs的电学参数

工 艺	样 品 号	载流子浓度 $n \times 10^{14} (\text{cm}^{-3})$		电子迁移率 $(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{S})$	
		300K	77K	300K	77K
未作真空烘焙	1661	0.485	0.593	6967	1.52×10^5
	0422	0.832	0.894	6344	1.57×10^5
	0423	0.334	0.497	8071	1.72×10^5
作真空烘焙	1832	1.380	1.680	8613	1.47×10^5
	1833	1.150	1.430	8544	1.61×10^5
	1834	0.780	0.910	8389	1.78×10^5

下降, C_{Ga} 作为施主则增加。我们认为这很可能是使真空烘焙Ga 源后生长外延层补偿度K 下降, 并达到稳定值的原因。当然, 进一步支持或否定上述模型还有大量工作要做。无论如何, 弄清氧在VPE-GaAs中的作用与行为是至关重要的研究课题, 我们将为此做更深入细致的工作。

表 I 高纯VPE-GaAs的电学参数

工 艺	样 品 号	N_I $\times 10^{14}(\text{cm}^{-3})$	N_D $\times 10^{14}(\text{cm}^{-3})$	N_A $\times 10^{14}(\text{cm}^{-3})$	$K = \frac{N_A}{N_D}$
未作真空烘焙	1611	2.63	1.61	1.01	0.63
	0422	2.51	1.70	0.81	0.48
	0423	1.76	1.13	0.63	0.56
作真空烘焙	1832	3.14	2.41	0.73	0.30
	1833	2.53	1.98	0.55	0.28
	1834	1.76	1.34	0.43	0.31

参 考 文 献

- (1) Lin Lan-Ying, Lin Yao-Wang, Zhong Xing-Ru, Zhang Yan-Yun Li Hsiu-Lan. J. of Crystal Growth 56 (1982) P.344-349.
(2) 林耀望, 钟兴儒, 张治平,《仪表材料》1980年第2期P.55
(3) C.M. Wolfe. G.E. Still man and J. O. Dimmock. J. Appl. Phys. , 1970, 41 (2) P.504

碳对硅晶体完整性影响以及碳在硅中固溶度和碳沉淀的研究

梁骏吾 邓礼生 郭钟光 郑红军 刘凤祥

第一部分 碳对硅晶体完整性的影响

由于氧碳在硅中含量远大于其它杂质, 所以在缺陷形成时应注意其影响。但氧、碳之中, 对碳的了解较少。目前对碳是否影响漩涡的形成尚无定论。如文献[1]在CZ硅中找到漩涡缺陷与氧含量有关联, 但与碳无关联。但在[2]中则认为碳是微缺陷的核心, 氧、碳共存时形成微缺陷。我们用气相掺碳方法, 研究了碳对区熔硅晶体完整性的影响。为此必须首先找到稳定生长无位错、无漩涡单晶的条件, 然后在此条件下用气相方法掺入碳, 并逐步改变碳的含量、观察区熔硅晶体的完整性变化。

用拉细颈的方法可以生长无位错单晶。而无漩涡生长还要求热场稳定、均匀, 生长速率

达到一定值克服局部回熔。硅晶体漩涡的消失与生长速率的关系如图一所示。



图一 无漩涡单晶与生长速率的关系

生长方向		CZ<100>	FZ<111>
生长速	无漩涡区	$>3.0 \frac{\text{mm}}{\text{分}}$	$>4.5 \frac{\text{mm}}{\text{分}}$
	有漩涡区	$1.5-2.5 \frac{\text{mm}}{\text{分}}$	$1.5-4 \frac{\text{mm}}{\text{分}}$

由于直拉炉的热场优于区熔炉的热场，所以前者要求的最低拉速 3.0mm/分 比后者的 4.5mm/分 要小，这些数值和使用的热系统有关。

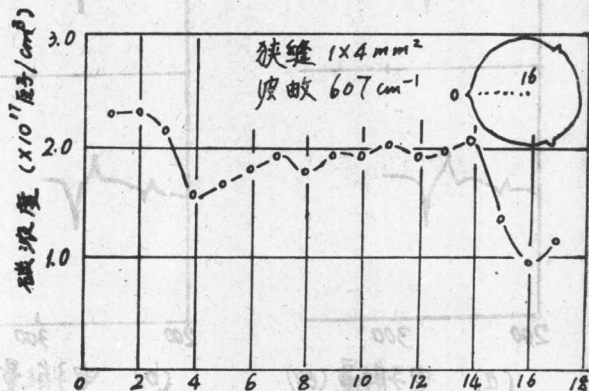
分别用 $\text{CH}_4 + \text{Ar}$ 和 $\text{CO} + \text{Ar}$ 通入区熔硅中掺碳及掺氧和碳。在单掺碳时，沿硅棒轴向碳分布由小于红外检测限逐渐增大至 $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ，在此范围内可得到无漩涡单晶。在同时掺氧、碳时，当无位错被破坏时，含碳为 $1.2 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ，含氧为 $1 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ ，而且无位错晶体内有漩涡花纹。

发现碳浓度与位错的产生有明显的关系。当碳浓度 $\sim 5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 时位错就出现；当碳浓度 $\sim 8.6 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 时，就出现多晶。

讨论了碳浓度和漩涡的关系。碳在硅中溶解时是代位形式，仍然是 Sp^3 杂化轨道，它扩散很慢， $D_{1300^\circ\text{C}} = 2.2 \times 10^{-10}\text{cm}^2/\text{秒}$ 。本工作第二部分已证明碳极不容易沉淀。一般在硅中观察到的是 SiO_2 沉淀，所以一旦用高生长速率成晶使碳和点缺陷都迅速冻结下来，在以后的冷却过程中碳由于难沉淀也就不会影响微缺陷的生成。

而氧、碳同时存在时，二者能共沉淀下来（见下文）微缺陷就容易出现。

Föll等^[3]认为碳与漩涡有关，仔细考察其数据，碳浓度在 $2.5 \times 10^{15} - 5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 之间变化，而大部分实验点即 $5 \times 10^{15} - 5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 范围内看不出碳与漩涡有明确关系。



图二 碳浓度沿径向分布FZ-硅<111>生长

又讨论了碳含量对位错的影响。一种可能性是晶格失配。掺碳时，碳(0.77 Å)取代硅(1.17 Å)会导致晶格收缩。在区熔硅中碳分布不均匀，如图二所示：

这种不均匀产生的应变是 $\epsilon = \frac{\Delta a}{a} = \beta[C]$ ， $\beta = \frac{1}{3} \left[1 - \left(\frac{R_c}{R_{Si}} \right)^3 \right] / N_{Si} R_c$ 和 R_{Si} 分别是碳和硅的共价半径， Δa 、 a 是晶格常数变化量和晶格常数。取 $[C] = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 产生应变 $= 2.38 \times 10^{-6}$ 。如果位错均匀成核，则要求应力为 $G/30$ ， G 为硅的切变模量。失配应力不足以产生位错均匀核化所需之量，即位错产生还不是碳分布不均匀失配所引起，很可能是在SiC颗粒上形成的位错。

第二部分 碳在硅晶体中的固溶度和碳的沉淀

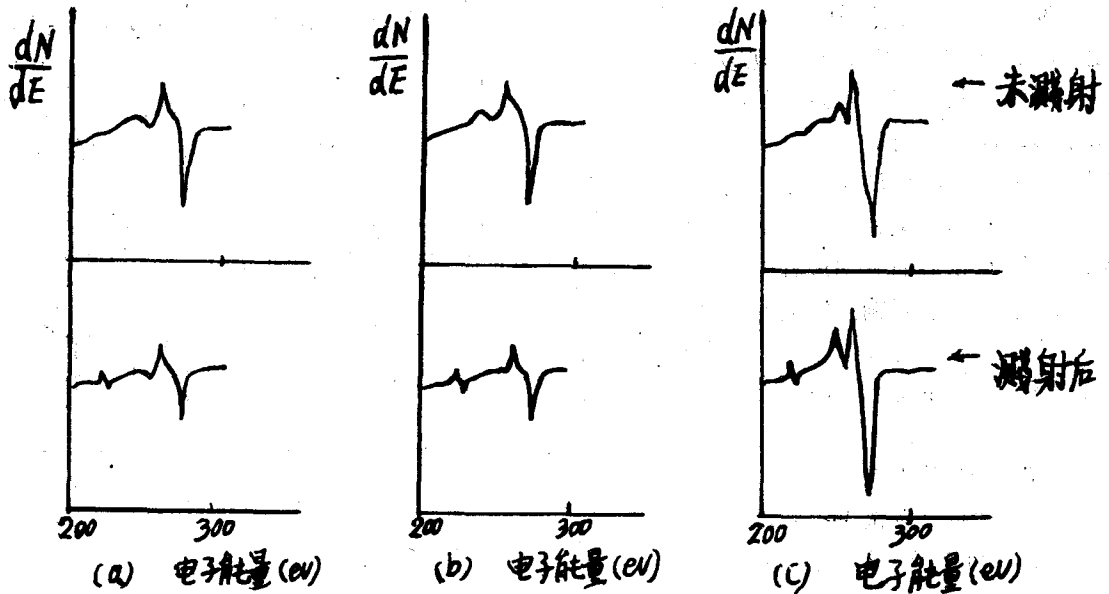
研究碳对硅晶体质量的影响必须了解其固溶度和碳的沉淀。这样才能了解碳对微缺陷的生成和热处理时的行为。

表 1 熔点附近碳在硅中固溶度

实 验 者	固 溶 度 (原子/cm ³)
R. N. Hall [4]	4.9×10^{17} (按液硅中溶解度推算)
R. I. Scace等 [5]	1.75×10^{17} (同上)
T. Nozaki等 [6]	3.5×10^{17} (区熔硅, 固体掺杂剂)
A. R. Bean等 [7]	4.5×10^{17} (外推值)
F. W. Voltmer等 [8]	9×10^{17} (直拉硅晶体数据)

然而文献中有关碳在硅熔点附近固溶度数值十分不一致。如表一所列举：

其中Nozaki等的结果一直到今为人们引用。他们用胶体石墨涂在硅棒表面进行区熔，当出现SiC膜时测硅中的碳浓度，定为溶解度。此法的问题是区熔过程中熔化时间短，很难保证固体碳颗粒充分溶解。此测定值偏小。而Voltmer用的是直拉硅，含氧很大，因而要考虑



图三 硅单晶表面的Auger峰位置和形状
(a)未掺碳、无位错硅表面 (b)掺碳无位错硅表面 (c)多晶表面膜的Auger峰

氧的影响。

本工作仍用区熔硅以消除氧的影响。但不用固相掺杂，而用气相掺杂，经多次区熔分凝。在研究碳对完整性影响时已测出固溶度，还测出碳浓度随温度的变化。

Ar中的CH₄量上升到1000ppm以上，表面有膜，出现多晶。用Auger谱仪分析其膜的谱线组不是石墨型，而是SiC型谱线组。即碳在硅中过饱和析出物是SiC型式。Auger谱见图三。

得到固溶度是 $8.6 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ （熔点附近），比Nozaki等的大，接近Votmer的数值。

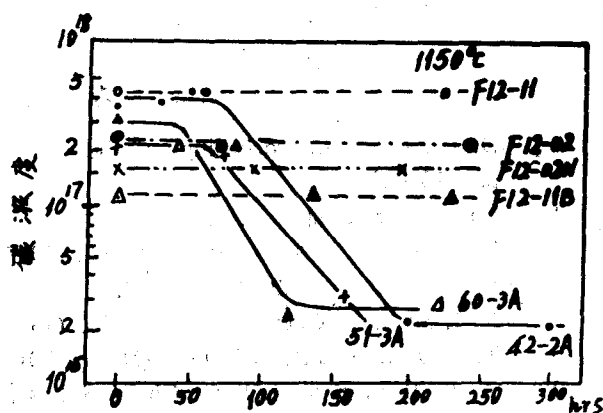
为了比较我们分析了直拉硅尾部的含碳量列于表二

表 II 直拉硅单晶尾部氧碳含量

样 品 号	氧 含 量 (原子/cm ³)	碳 含 量 (原子/cm ³)
0-571	1.1×10^{18}	1.3×10^{18}
0-48	1.1×10^{18}	5.18×10^{17}
0-572	1.1×10^{18}	1.2×10^{18}
0-623	1.9×10^{18}	1.0×10^{18}

由表二可以看出，在直拉硅中，有高氧含量时，碳含量可以高达 $1.3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 而不致破坏单晶，这是氧的影响。似乎可以考虑在硅中氧和碳反应产生[C-O]复合物从而影响碳的溶解度。然而[C-O]复合物在高温时不易形成，用这种复合物来解释不太可能。所以碳的溶解度提高可以解释为二杂质对晶格畸变的抵消：氧是间隙位置会导致晶格膨胀，原子半径小的碳是取代位置，导致晶格收缩。二者互相补偿，使碳溶解度提高。

我们研究了碳固溶度随温度、时间的变化。用区熔硅（氧含量低于红外检测限）和直拉硅原始氧含量 $\approx 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，在1300℃—1150℃作热处理。在1300℃—1250℃高温下，二类材料经历不同时间终能有碳沉淀，最后达到平衡值，然而在1150℃时，区熔和直拉硅表现很不一样，如图四。直拉硅中的碳经历长时间终于下降，最后到达平衡值。而区熔硅中的碳却很难沉淀。经230小时处理碳量不见减少。



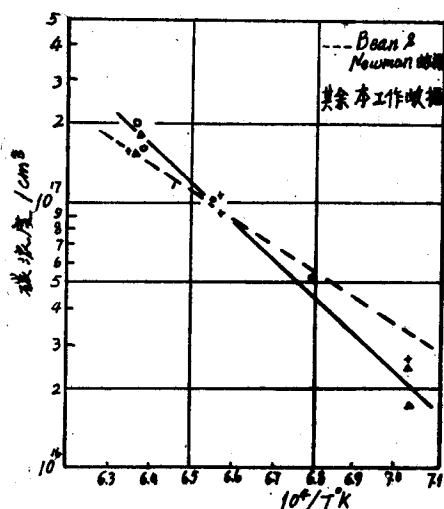
图四 等温退火时 [C] 和时间关系

将各温度下求得固溶度与温度关系示于图五。碳浓度与 $\frac{1}{T}$ 呈直线关系。 $[C] = 3.0 \times 10^{16} \exp(-\Delta H/RT)$, $\Delta H = 66$ 千卡/克分子，由此外推得到硅熔点处碳的固溶度为 $8.58 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。此数值和在液硅中掺杂得到的熔点附近碳的固溶度吻合得很好。

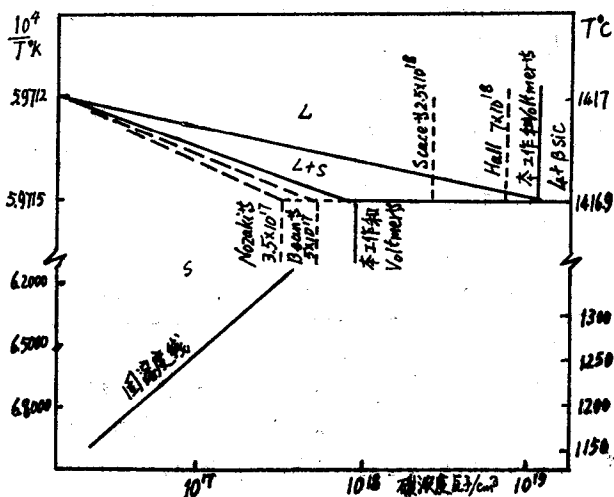
1150℃退火温度接近器件工艺温度，意义明显。硅中无氧时碳不易沉淀，这与碳在硅中扩散极慢的现象互相验证。在高速成晶以后，碳不易凝聚成微缺陷。然而在低生长速率下，

又有氧存在，二者共沉淀，从而核化微缺陷。从实验事实来看，本结果支持了氧沉淀均匀核化模型。至少在1150℃附近，某些文献所说氧是以碳沉淀为核心的说法是值得考虑的，相反，碳是以氧沉淀为核心。

由所求固溶度 $8.6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ，取 $k=0.07$ ，求得液硅在熔点附近溶解度为 $1.23 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ，按熔点降低公式求得熔点降低 0.1°K ，由此得到Si-C相图硅侧的液相线，固相线和固溶度线（图六）。为比较起见将文献数值也绘入图中，



图五 碳的固溶度曲线



图六 Si-C相图的硅侧

参 考 文 献

- [1] D. Huber et al, Proceedings of the 11th Conference on Solid State Devices (1979) p. 615-620.
- [2] Yasuo Tarui, 同上 p.15.
- [3] H. Föll et al, Semiconductor Silicon 1977 p.565.
- [4] R. N. Hall, JAP 29, 914 (1958).
- [5] R. I. Scace, J. Chem. Phys. 30, 1551 (1959).
- [6] T. Nozaki et al, JECS 117, 1561 (1970).
- [7] A. R. Bean et al, J. Phys. Chem. Solids 32, 1211 (1971).
- [8] R. W. Voltmer, Semiconductor Silicon 1977 p. 565.

高纯度砷化镓残留受主BA、DA峰的电子声子耦合

陈廷杰 吴灵犀 徐寿定 孟庆惠* 于鲲* 李永康*

我们研究了高纯LPE-和VPE-GaAs在4.2K的光致发光谱。已经查明,高纯LPE-GaAs中主要残留受主杂质为Si和C,而在Ga-As₂Cl₃-N₂系统生长的外延层主要残留受主杂质为C,有的还有少量Ge。这些残留受主的BA,DA峰在1.475—1.495eV范围内。我们观测到1.44—1.46eV有若干低能发射带,它们的特征是:

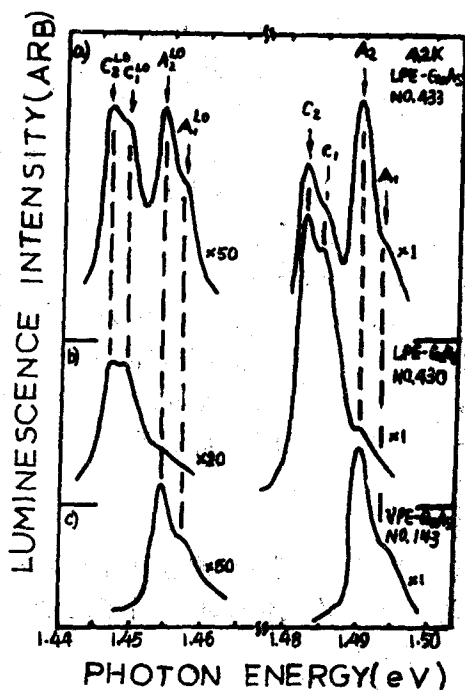
1) 所有LPE-和VPE-GaAs中都在此发射带。

2) 低能发射带的形状与残留受主的BA、DA峰形状十分相似,如图所示。图中A₁、A₂分别表示C_{As}的BA、DA峰,C₁、C₂分别表示Si_{As}的BA、DA峰。用角标LO表示它们相应的低能峰。

3) 各低能发射峰与其对应的BA、DA峰之能量差都等于 36 ± 0.5 meV。

4) 各低能峰的积分强度与其相应的BA、DA峰积分强度之比有确定数值。

根据以上特征,我们认为这些低能发射带是残留受主C_{As}和Si_{As}的BA、DA峰的一级声子、伴线,我们由一级声子伴线强度与零声子线强度之比算出Huang(黄昆)-Rhys参量S。实验结果表明,对于同一种受主,BA的S值大于DA的S值。这可定性解释如下:两种情况下的光跃迁初态都是电中性,但未态有较大差异,对于BA跃迁,末态为带负电的A⁻,其四周晶格产生较强的晶格弛豫,而对于DA跃迁,跃迁末态为带负电的A⁻和带正电的D⁺,从较远地方看来,它接近电中性,因而晶格弛豫较小。



图a) 典型的LPE-GaAs样品中,存在A₁, A₂, C₁, C₂峰,就有相应的A₁^{LO}, A₂^{LO}, C₁^{LO}, C₂^{LO}峰。b) A₁, A₂峰比C₁, C₂峰弱的高纯LPE-GaAs样品,其A₁^{LO}, A₂^{LO}峰也比C₁^{LO}, C₂^{LO}峰弱。c)只存在C_{As}沾污(体现在A₁, A₂峰)的VPE-GaAs样品中,只有相应的A₁^{LO}, A₂^{LO}峰。

* 中国科学院物理所

LPE GaAs高-低结材料的生长和性质

龚秀英 赵建设

本文叙述了液相外延法制备GaAs高低结材料的实验方法,研究了外延薄层的电学性质、均匀性、完整性和表面形貌。文中提出了一种滑动石英舟,在没有生长缓冲层的情况下,获得了质量较高的高-低结外延片。用Van der pauw法测量的结果表明,掺Sn薄层(3—5 μ)的 $n \approx 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 时, $\mu_{300K} \geq 6000 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$; $n \approx (1-2) \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 时, $\mu_{300K} = 4500-5060 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$, 达到了Rode和Knight提出的理论值。低温光荧光测量发现,出现在1.5143eV处的峰是施主的束缚激子峰, 1.492eV和1.484eV处的两个峰分别为 C_{As} 和 Si_{As} , 它们都是残留在外延层中的受主杂质。另外, 在1.507eV处还有一个峰, 至今还不清楚它的来源。

外延层中的深中心是用深能级瞬态电容谱仪(DLTS)测定的, 结果证明, 在外延薄层中, 不存在电子陷阱, 但在击穿特性较软的二极管中发现了三个空穴陷阱, 它们分别位于价带上面0.39eV、0.64eV和0.91eV处, 其中0.64eV这个能级, 可能与 V_{As} 有关。

我们在提高了外延薄膜层本底纯度的基础上进行了控制掺杂, 并获得了掺Sn量与外延层载流子浓度的关系曲线。

高-低二层的浓度分布是用汞探针C-V法测量的, 结果发现, 高-低结界面的过渡区最好可达400 $\text{\AA}$ 。层内的浓度分布相当均匀, 且界面很平坦。为了研究样品浓度分布的横向均匀性, 我们随意选取了七个样品, 每个样品的中心部位和边缘各测一点。若以 $n_{K(i)}$ 表示片子上某一点的载流子浓度, $\bar{n}_K$ 表示其平均浓度, 则一个片子上浓度的相对偏差 $R_{K(i)}$ 为

$$R_{K(i)} = \frac{n_{K(i)} - \bar{n}_K}{\bar{n}_K}$$

下表列出了七个样品的测量数据和根据上式算得的浓度的相对偏差。由表可以看出, 全部样品的横向不均匀性 $< 30\%$ (片子尺寸为 $15 \times 17 \text{mm}$), 其中一半以上的样品的浓度不均匀性 $< 5\%$ 。

表1 C-V法测量结果及其相对偏差

样 品 编 号	$n (\text{cm}^{-3})$		相 对 偏 差
	中 间	边 缘	
80303	4.46×10^{16}	4.92×10^{16}	4.9
80304	4.08×10^{16}	5.77×10^{16}	17.1
80210	6.0×10^{16}	6.3×10^{16}	2.44
80318	2.58×10^{16}	4.67×10^{16}	28.8
80313	1.24×10^{16}	1.35×10^{16}	4.2
80402	3.16×10^{16}	3.0×10^{16}	2.6
80301	7.01×10^{16}	8.10×10^{16}	7.2