

CIE



中国电子学会论文集

全国固体薄膜学术会论文集

中国电子学会电子材料专业学会编

一九九〇年

前 言

固体薄膜科学和技术与高科技中许多重要领域密切相联，也是半导体工业，新材料工业和许多近代工业的重要基础，其发展十分迅速。我国科技工作者在这一领域也取得了相当大的进展。为了交流学术研究成果，传播技术经验、促进固体薄膜科学进步，中国电子学会电子材料学会继续举办了第二届全国固体薄膜学术会议。

本论文集收印了本届会议论文共 180 篇，其中大会报告 3 篇，分组报告 177 篇。在分组报告中半导体薄膜 41 篇，介质薄膜 26 篇，功能薄膜 56 篇，特性测试和设备 54 篇。这些报告反映了最近二年来我国在固体薄膜领域里取得的新成绩。根据广大科技工作者的要求，我们出版了本论文集。

本论文集的出版应感谢在薄膜科技战线上的科技工作者的辛勤劳动和踊跃投稿，感谢他们所在单位的支持。河北工学院材料研究中心的同志们热情地承担了本届学术会议的筹备工作和论文集的出版。各兄弟学会也热情地支持并参加了本届会议。对此我们表示衷心的感谢。

会议组织委员会主席

梁骏吾

一九九〇年七月

目录

前言

大会报告

MOVPE 技术的现状	梁骏吾 (1)
2-4 μ m 光电子材料的 MOCVD 生长与特征	金亿鑫 袁金山 (2)
光学薄膜的新发展	李懋廉 (4)

半导体薄膜

InSb 磁敏霍尔器件中 InSb 薄膜的淀积及其性能研究	郭玲 黄仲平 (5)
微晶硅/非晶硅超晶格的制备及性质	马良桓等 (7)
硅片上导电聚合物 PAN 膜的制备和结构特性的研究	袁仁宽等 (10)
蒸 Al-Si 薄膜工艺的优化	高长明 (12)
用阳极氧化方法制备 AlGaAs 自身氧化膜	陈诺夫 安振峰 (13)
A ₁ ⁺ 激光区域 LPCVD 多晶硅膜	王英民等 (15)
改进 CVD 薄膜的厚度均匀性的两种新方法	陶萌 (17)
同质异型双重硅 CVD 薄膜技术	孙景山 (18)
薄膜 IV-V 族半导体材料的精细干法腐蚀	李建中 陈纪瑛 (18)
氢等离子体原位清洁硅衬底表面	沈复初等 (22)
离子束外延生长 Si/CoSi ₂ /Si 多层结构	秦复光等 (24)
AlN 薄膜研制	王克礼等 (26)
等离子体增强化学气相淀积氧化硅、氮化硅和复合膜	毛贻如 刘凌 (27)
Ga/PCl ₃ /H ₂ 体系生长 GAP/Si	王本总等 (28)
GaSb 薄膜的 MOCVD 生长	张宝林等 (30)
外延层 Al _x Ga _{1-x} As 深能级及其退火行为	刘文杰等 (31)
GaAs 扩散层中 Zn 原子浓度的分布	刘文杰 (34)
TiSi ₂ 薄膜应用于 VLSI 的工艺技术和电特性研究	杨林安等 (36)
亚微米硅外延生长特性研究	赵仲镛等 (38)
金属氧化物半导体粉末溅射薄膜气敏特性和电特性的研究 (I)(II)	辛永保等 (41)
液相外延 GaAs/GaAlAs 生长层厚度及其生长速率的研究	张冰阳等 (45)
非晶碳化硅薄膜的光电性能	朱尧江等 (46)
减压对外延层均匀性的影响	龚晨光等 (49)
Zn _x Cd _{1-x} Te 多晶薄膜的光电特性	张显焱 王旭升 (51)
非晶硅图像传感器中光电元件特性的研究	赵伯芳等 (53)
硅外延系统的流体力学和化学热力学分析	杨辉 梁骏吾 (55)
在硅上制备的 SnO ₂	张鹰等 (56)
HF-醇溶液中多孔硅膜的 formation 及其特性的研究	李慎敏等 (58)
Co 与 Si 和 SiO ₂ 在快热退火中的反应	陈维德等 (59)

超薄 TiN 膜与 GaAs 的互扩散研究	龚彬等(61)
液相外延 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 层中杂质掺杂的热力学行为及其相图的研究	王新桥(63)
硅上钛膜与硅的快速热反应	陈存礼等(65)
多层超薄 Si-Pt / GaAs 界面的相互作用研究	龚彬等(66)
MOCVD-GaAs 外延层的迁移率和补偿比	孟宪章等(68)
国产在直径辐射加热 Si 外延系统的微机控制	杨辉等(69)
✓硅外延片生产若干问题的探讨	田光炎 田鸿芸(70)
半导体薄膜的单能正电子技术	韩玉杰(73)
非晶碳化硅薄膜的电致发光特性	陈治明等(75)
等离子体氢处理对 Si-SiO ₂ 结构的影响	蔡跃明 吕世骥(77)
液相外生长 GaP / Si 材料的研究	邓希敏等(79)

介质薄膜

用于 GaAs MESFET 钝化的 PECVD 氮化硅薄膜	宫俊(81)
WSi ₂ / Si 薄膜的多层溅射技术研究	赵特秀等(82)
金刚石薄膜的微波等离子体化学气相沉积法制备	王春林等(84)
✓微波 ECR-CVD 低温生长 SiO ₂ 薄膜	周帮伟 李朝勇等(86)
✓电子束蒸发氮化硅减反射薄膜	刘明大等(88)
磁控射频溅射 AlN 薄膜	李秉臣 邵晓风等(89)
作为半导体器件隔离和散热介质的选择性生长金刚石薄膜的制备研究	于三等(91)
✓相薄膜的淀积方法与刻蚀	邵传芳(93)
InP 系光电器件介质膜工艺研究	瞿伟(96)
离子束增强沉积碳化钨膜的研究	闵章(98)
✓光化学气相淀积氮化硅薄膜的研究	蔡琪玉 朱文玉等(100)
薄膜磁盘表面润滑膜	丁桂甫等(102)
✓热解 CVD 方法制备氧化铍薄膜的研究	徐宝琨等(104)
反应蒸发制备 Al ₂ O ₃ 膜	邓希敏 李宏伟(105)
射频等离子体气相沉积非晶态碳膜	钱苗根 蒋学渊(107)
无窗口光 CVD 非晶硅薄膜	陈存礼等(108)
PECVD 法制备 SiN _{1.5} 薄膜的电学力学性质	张克云等(109)
射频溅射 Ta ₂ O ₅ 绝缘膜研究	周祯华等(111)
SiO 抗反射薄膜的研究	魏占林等(113)
a-C:H 膜的沉积速率	钱苗根 蒋学渊(116)
沉积功率与气体流量对类金刚石膜应力的影响	张凯明 陈树光等(117)
a-C:H TFT 的 SiN ₂ 绝缘介质膜的特性研究	梁尊清等(119)
铁表面吸氢膜的形成机理初探	章燕豪等(121)
✓热氮化 SiO ₂ 膜的结构分析及性质研究	邓芝文(122)
✓参氧半绝缘多晶硅薄膜浓度的测定及其性质的研究	邓红军等(125)
用光发射谱等方法研究 SnO ₂ 薄膜在射频等离子体中的生长过程	阎大卫等(126)

MOCVD 法制备高温氧化物超导薄膜现状和研究课题	彭定坤 孟广耀(129)
氧化物高温超导薄膜生长技术研究现状和研究课题	黄廷荣(130)
非晶硅光位敏探测器开发	杜开瑛等(131)
茶色 ITO 导电薄膜	崔元日等(133)
SnO_2/ITO 复合透明导电膜	宿昌厚等(135)
CuInSe_2 薄膜的制备和特性	高卫东等(137)
聚 N-乙基吡唑 LB 膜的制备及其光电转换的研究	朱平等(139)
熔断电阻器导电膜的制备与熔断特性的探讨	康翠荣等(141)
电子束多层蒸发 YBCO 高温超导薄膜光刻技术的研究	王玲杰等(144)
热蒸发法制备 CuInSe_2 薄膜的组分控制	齐仲甫等(145)
$\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 外延超导薄膜的制备和研究	李宏成等(146)
有机金属淀积法制备高 $\text{TcYBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 超导膜	郭忠诚等(147)
用一个平面磁控溅射靶合成金属多层膜	王剑峰等(148)
制备 TAO 和 ITO 膜的超导波汽相淀积技术	吴曾谟(152)
超导器件掩模制作程序	邢宝华 李国真(155)
超导薄膜的原位溅射	严康宁等(157)
光化学气相淀积氢化非晶硅的制备及其结构特性的研究	郭述文等(159)
sol-gel 方法制备 PLT 薄膜的研究	刘梅冬 陈志雄等(161)
用溶胶—凝胶方法制备 BaTiO_3 薄膜	王培英 陈志雄等(164)
以醇酸水解法包裹 SnO_2 制取薄膜材料的探讨	张建成等(165)
溶胶法制备 SnO_2 气敏薄膜的若干性能研究	夏阳等(168)
RFPCVD 法沉积类金刚石薄膜及其物理性能	居建华 夏义本(169)
SnO_2 透明导电薄膜的研制	周雪梅等(171)
一种新型酞菁铜衍生物 LB 膜的制备及气敏特性的研究	李亚君等(173)
射频溅射法制备 RZ7 铁电薄膜的实验研究	徐静平等(174)
用丝网印刷法制备 TiBaCaCuO 超导膜的研究	曾令文等(177)
SbO_3 薄膜的制备及其分子筛功能研究	戴国瑞等(179)
Fe_2O_3 薄膜的制备及其结构研究	戴国瑞等(180)
a-Si:H(Y)薄膜的低温电导特性	王家俭等(181)
光辉 CVD 在非晶硅太阳能电池研制中的应用	田金法等(184)
LB 膜敏感元件的设计及湿敏特性的研究	顾长志等(185)
高 Tc 超导薄膜的研究	雷清等(188)
CoCrTa/Cr 薄膜制备工艺参数对薄膜性能影响的研究	张中山等(189)
利用高温超导薄膜 YBaCuO 制作红外探测器	章清 史济群(190)
非晶—微晶硅混合相薄膜的退火效应	王长安等(192)
化学镀非晶镍磷膜热磁稳定性研究	丁桂甫等(193)
多层结构 CoNiCr/Cr 水平磁记录介质的研究	熊伟等(195)

A-Si : H(P) / C-Si(n) 异质结构的性质及其应用	杜家方等(197)
多层膜固态反应非晶化	严志华等(198)
氢化非晶硅薄膜压敏及热敏特性研究	惠恒荣等(199)
非晶硅薄膜叠层太阳能电池的研究	徐重阳等(201)
SnO ₂ / Fe ₂ O ₃ 多层膜与 SnO ₂ 单层膜的气敏灵敏度差异研究	马晓翠等(204)
钽铝合金电阻薄膜性能的研究	杨邦朝 贾宇明(206)
功率密度对类金刚石碳膜性质的影响	陈树光 张凯明等(209)
MIG 磁头用 FeSiAl 软磁合金薄膜的研究	周洪波等(210)
垂直磁化 Co-Cr 薄膜的计算机软盘动态特性的研究	姜恩永等(211)
Sol-Gel 方法制备 PLT 薄膜的机理和性能的研究	丁军勇 陈志雄等(213)
薄膜银离子导体的结构、性质和应用	潘孝仁等(215)
激光量子共振气相合成金刚石薄膜的微观机制探索	刘世瑞(216)
热处理时 YBCO 膜的表面组成变化及膜与衬底的相互作用	赵良仲等(217)
金刚石薄膜中杂质的研究	皇甫萍等(218)
XRD 研究快速退火 Co / Si 固相反应中 CoSi ₂ 薄膜的择优晶向生长	刘平 李炳宗(220)

a-Si : H / a-SiC : H 多层膜(超晶格)材料的制备及其低角 X 射线衍射研究	王彦斌等(222)
---	-----------

正向偏置下的 SPV 实验——a-Si : H 薄膜中的电子俘获现象	林鸿生(225)
--	----------

精密金属膜电阻器用溅射靶的研究	冯金生(227)
-----------------------	----------

S-枪磁控溅射高 Tc 超导薄膜、靶材研制	金心宇等(229)
-----------------------------	-----------

薄膜的特性测试

掺杂非晶硅的微晶化研究	耿新华等(232)
InP 上 Au / AuGeNi 薄膜特性分析	夏瑞东(233)
GeTe 系非晶薄膜的开关及温度特性的研究	李燕等(235)
温度元件高分子薄膜的特征研究	茅有福 许德霖(237)
非晶硅薄膜的硬度研究	钟伯强(238)
MISIS 结构 C-V 特性的研究	吕世骥等(240)
对向靶溅射法制备 NiCr-NiSi 薄膜热电偶及其动态特性的研究	刘裕光等(242)
等离子体旋镀中的冶金效应研究	王敬义等(243)
MOCVD-InAs _x P _{1-x} 渐变层的光学特性	蒋红等(245)
汽相沉积非晶态薄膜对原子排布随机特性的研究	白哲(247)
a-Si : H 薄膜的微结构分析	林鸿溢 莫中和等(248)
TiN 薄膜的结构和物性的研究	刘裕光等(249)
Yb 和 As 在 Si 中 1.13μm 发光的分析	曹望和等(251)
薄膜界面缺陷的计算机模拟研究	欧阳吉庭等(252)
氢化非晶硅薄膜 SPV 测量中载流子表观扩散长度与光强关系的计算机模拟分析	林鸿生(254)

热 CVD 淀积非晶硅数学分析.....	王宇等(256)
解吸分子的角分布	李星文等(258)
CVD 冷壁反应器混合对流的数值分析	金希卓等(261)
外延薄膜与衬底之间取向偏差的 X 射线衍射法检测.....	葛中久(263)
硅衬底上化学镀镍薄膜的原位加热 X 射线衍射相分析.....	毛大立 颜本达(265)
Au 基多层金属薄膜的 SAE 研究	毛大立等(266)
掺硼非晶硅薄膜的核反应分析研究	廖常庚等(268)
薄膜厚度及光学常数的一种简便测定方法	陈治明(269)
InP/SiN _x O _{1-x} 系统的 XPS 研究	严如岳等(272)
氧化锡、氧化锌双层薄膜的 XPS 研究	娄向东等(273)
多层膜在软 X 射线波段反射特性的模拟计算.....	何贤昶等(275)
超导单晶薄膜的微波吸收各向异性	侯碧辉等(278)
内应力对多层膜 a-Si:H/a-SiN _x :H 光致发光的影响.....	王万录 史群礼等(279)
薄膜电致发光中的深能级	雷刚 徐征(281)
Ni-FeCr 多层膜的自旋波谱	陈慧余等(282)
影响薄膜双晶衍射摇摆曲线的若干因素	麦振洪等(285)
X 射线动力学理论模拟弯曲对外延膜结构的影响	李超荣等(286)
FTIR 反射法对固体润滑膜的检测	姚洪熹等(289)
低能离子注入形成氮化硅薄膜的椭圆偏光性	朱文玉等(291)
低压化学蒸汽淀积选择性钨设备(LPCVD-W 设备)	王焕杰等(292)
硅衬底表面质量对外延层的影响	李养贤等(294)
微波激励氙 VUV 光源直接光 CVD 设备及其应用	杜开瑛 周心明(296)
简易的椭圆偏光测量法	李楚容等(298)
电弧式等离子体镀制黑色钛膜的研究	党长民 钟生东(300)
一种高灵敏度的薄膜测厚仪	陈章其等(301)
氧化膜对硅衬底表面质量的影响	李养贤等(303)
IG 技术在 P/P ⁺ 硅外延制备中的应用	任丙彦等(304)
外延埋层图形畸变与衬底晶向效应的关系	鞠玉林等(306)
波长为 2.94μm 激光对腔膜损伤的研究	张秀荣等(309)
磁控溅射工艺和热处理规范对 Ni 膜电阻率的影响	张随新 陈国平(310)
一种高灵敏度磁敏器件的研制	唐兴海等(312)
结型场效应晶体管的磁敏特性	齐洁明等(314)
硅外延衬底的内吸收	邓礼生等(316)
平面多层 GaAs 液相外延生长的计算机模拟	陈国鹰等(317)
射频溅射 Pd 膜的电阻率研究	施一生等(319)
TiSi ₂ 薄膜的高温稳定性	周有衡等(321)
钨、硅化钨成膜材料研制	吕夺英 王九梅(323)
N 型 GaP(111)衬底制备	张丕春等(323)
Si ₃ N ₄ 敏感膜氢含量测量及对 ISFET 敏感特性的影响	吕惠云等(325)

MOVPE 技术的现状

梁骏吾

(中国科学院半导体研究所)

氯化物气相外延和液相外延在纯度、迁移率和器件性质方面都曾取得很大进展。然而由于这二种方法本身的限制，特别是在超薄层生长方面的限制难以满足新一代材料的要求。MOVPE 应用了 III 族，II 族的 MO 源，V 族，VI 族氢化物或 MO 源，可以降低生长温度，更关键的是没有可逆反应，所以能控制超薄层生长。

1969 年开始的 MOVPE，于 1977 年制得低阈值电流的 DH 激光器。目前，适于激光光盘的 760mm 的激光器，用 MOVPE 生产。MOVPE 可以生长陡度与 MBE 方法接近，有时甚至能生长更好的异质结构材料，生长周期为几十原子层到二原子层周期的超晶格。利用 TEM 和光致发光 (PL) 可以得知其陡度已达单原子层。

TEM 是有力的观察手段，明暗间隔的 TEM 象也很直观，但是 TEM 象仍是整个样品厚的平均。探测界面陡度的另一方法是 PL 法。由于量子阱 (QL) Z 方向能量量子化，可以在 PL 谱上看到，其误差只有一个原子层。PL 还可监测晶体质量。因为光激发区若阱宽不均匀，PL 谱线变宽，反之则窄。所以半高宽可以估计界面不平度。

MOVPE $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ 用于规模生产光盘用激光器，优点是片内与片——片间均匀性好，适于离子注入。MOVPE 可以设定程序来控制外延组份的截面分布。这种分布对许多器件是至为重要的。例如 HBT 器件要求 EB 区有组份变化，减小电子由发射区注入的势垒高，这些是 MOVPE 的优势。

MOVPE 生长材料类型多，长波长 GaInAs/InP ， $\text{GaInAsP}/\text{InP}$ 研究得很多。生长在 InP 上的 $\text{GaInAs}/\text{AlInAs}$ 是很有前途的超高速器件材料，它具有很好的品质因素 $n\mu$ 。这种材料也可长出 $\sim 10\text{A}$ 的 QL，当 $n = 2 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ 下 μ 可达 $12000\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{S}^{-1}$ 。

MOVPE 生长的高频器件——HEMT 也进入生产。这种器件要求 $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ 有很陡的界面，另外特别要求杂质限制在阱外，否则电子迁移率不可能高。MOVPE 目前达到的水平也接近 MBE 的水平：即 $\mu_{300} = 8,000\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{S}^{-1}$ ， $\mu_n = 150,000\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{S}^{-1}$ 。HEMT 器件水平也较高。

国内的 MOVPE 水平距国际先进水平还有相当距离。为了发展我国的 MOVPE 科研及未来（希望快）的生产，必须研究和解决以下几方面：

(1) 源和其它气体的质量，MO 源与外延质量有明显对应关系，国外对此有许多实验。国内 MO 源的来源有限，缺少必要的数据，经验少，情况不明。MO 源和其它气体质量必需解决。

(2) 生长系统的合理性。国内有自制系统，也有进口系统，但型号有限，重复多。许

多设备不合理的部分十分明显。许多元件的延时很可观，这样给超薄、陡过渡区结构生长增加困难。又如一些进口炉的温度受限制，这样，以硅为衬底的多种外延就难以进行。生长系统的管理配置十分关键。应最大限度使用组合式，减少“记忆”效应。

(3)MOVPE 生长机理工作应开展，化学动力学问题应阐明。MOVPE 系统中生长机理是什么？主要生长步骤是什么？这些问题国内外均未充分解决。

(4)气体动力学的研究。为了解决大面积均匀生长必须解决气体动力学问题。

(5)衬底表面制备。MO 源没有腐蚀衬底作用，而在 MOVPE 中使用 HCl，目前还未得好结果，所以衬底抛光质量和化学处理更急需完善。

(6)冲稀和保护用气体的利用。在 MOVPE 中惰性气体使用十分关键。在优质 InP, InGaAs (P) 的生长中是使用了 H_2+N_2 混合气体。显然，这与质量输运和化学动力学有关。

(7)低压 MOVPE 的研究。虽然我们只希望在衬底表面出现晶核和其生长，但往往有不希望的气相反应出现，低压 MOVPE 有利于抑制气相反应，改善晶体质量。

降低压力则要求更高气密性反应器。为达此目的可以设计一种密封，使系统仍处于相对正压，这样可以保证系统的纯度。

2~4 μ m 光电子材料的 MOCVD

生长与表征

金亿鑫 袁金山

(中国科学院长春物理研究所)

近年来，波长范围 2~4 μ m 的光电子材料的研究很活跃。这主要是因为这个波长范围对超低损耗光纤通讯具有潜在的重要性。长波长光纤通讯系统可望有很低的损耗和很长的传输距离，这主要是因为瑞利散射损失是随波长四次幂的倒数而减小的。理论上已预言，工作于 2~4 μ m 波长范围的光纤的损耗可达 10^{-3} db/km，实验上已发现，重金属氟化物玻璃光纤在 2.55 μ m 波长处损耗有一个极小并已达到 0.7db/km。因此，波长范围在 2~4 μ m 的光电子材料是很重要的，因为它是超低损耗光纤系统所需要的光源和探测器的基础。2~4 μ m 的光纤除了在超低损耗光纤通讯方面有应用前景外，在光纤传输器（特别是温度的测量，液体和气体的分析等方面）、红外像技术等领域也都有广泛的应用前景。

本文中所述及的 2~4 μ m 光电子材料主要是指可用于制备工作于 2~4 μ m 波长范围的光源和探测器的半导体材料。满足于这一波长要求的 II~V 半导体材料主要有三类：GaInAsSb/GaSb, InAsPSb/InAs 和 $In_{1-x}Ga_xAs/InP$ ($x < 0.47$)。前两类材料是晶格匹配的材料，即只要适当地选择合金的组份，外延层与衬底是晶格匹配的；而第三类材料 $In_{1-x}Ga_xAs/InP$ ($x < 0.47$)，当满足 2~4 μ m 的波长要求时，外延层与衬底之间有相当大的晶格失配，例如 $x = 0.18 \sim 0.20$ 即 $In_{1-x}Ga_xAs$ 的能带为 0.48ev（相应于

2.55 μm), 此时衬底与外延层之间的晶格失配约为 2%, 因此这是一种在失配衬底上的外延。由于 $\text{InAsPSb}/\text{InAs}$ 材料所制备的器件多在低温下工作, 考虑到作为光纤通讯系统的光源与探测器应在室温或接近于室温的条件下工作, 因此本文主要考虑 $\text{GaInAsSb}/\text{GaSb}$ 和 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$ ($X < 0.47$) 两类材料。

如上所述, 只要适当地选择组份, GaInAsSb 合金可与 GaSb 衬底很好地晶格匹配, 并可提供 2~4 μm 波段范围内光源与探测器的材料, 该类材料可用液相外延 (LPE)、气相外延 (VPE)、金属有机化合物汽相化学淀积 (MOCVD 或 MOVPE) 和分子束外延 (MBE) 等方法制备。由于该类材料中混溶隙的存在, 热平衡的 LPE 生长只能局限于某些组份, 而且动力学控制的 MBE 与 MOCVD 可能更适合 2~4 μm 波长范围内所有组份的生长。

近年来国际上已先后报导制成了室温工作的、发射波长大于 2 μm 的 $\text{GaInAsSb}/\text{GaSb}$ 双导质结激光器和高效的 $\text{GaInAsSb}/\text{GaSb}$ 光探测器, 其波长响应在 1.8~2.3 μm 范围内。这些器件的结构和特性将在文中作详细介绍。

在 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$ 系统中, 外延层与衬底之间存在着很大的晶格失配, 为了减少由于大的晶格失配所产生和失配位错, 常常在外延层与衬底间加入一组份渐变层, 这一层由于组份的变化, 它的一面与衬底的晶格相匹配, 另一面与外延层的晶格相匹配, 从而减少了外延层中的位错密度。

近年来国际上已先后报导了波长响应大于 2 μm 的、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ ($X < 0.47, Y > 0$) pin 光二极管和 InGaAs 的光二极管以及输出波长在 1.58~2.45 μm $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InAsP}$ 激光器。本文将详细地介绍这些器件的结构与性能。

我们实验室用常压金属有机化合物汽相化学淀积技术研究了 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ ($X < 0.46$) 外延层和 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 组份渐变层的生长, 并对它们进行了详细的表征研究。

本文中所述及的 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ ($X < 0.47$) 外延层和 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 组份渐变层都是在我们自己组装的、计算机控制的常压 MOCVD 系统上生长的, 这系统有一个水平反应器, 以三甲基铟 (TmIn)、三甲基钾 (TMGa)、砷烷 (AsH_3) 和磷烷 (PH_3) 为原材料, 在 $\langle 100 \rangle$ 向 $\langle 110 \rangle$ 偏 2° 的晶向的半绝缘 Fe: InP 衬底上进行外延。

$\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ 外延层的组份值 X 是用电子探针和 X 射线衍射分别确定的, 二者所得的结果吻合得很好。用范德堡法给出了外延层的电学参数: 载流子浓度和迁移率。 $\text{In}_{0.96}\text{Ga}_{0.04}\text{As}$ 外延层的 X-光双晶衍射峰的半宽度为 180 arc-sec, 虽然外延层与衬底的晶格失配高达 2.96%。

组份渐变层的组份可以有两种方式改变: 一种是连续地变化, 另一种是阶梯状地改变。我们采用的是阶梯式组份渐变层, 因为它比组份连续改变的渐变层能够更有效地减少因失配引起的位错密度, 这是因为大多数的位错在阶梯界面处弯曲, 且不沿着生长方向传播。

对 MOCVD 生长的 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 组份阶梯渐变层进行了详细的表征研究, 包括二次离子质谱分析 (SIMS)、X-射线、光致发光光谱测量和渐变层的表面与界面的形貌观察。SIMS 的结果和 X 射线衍射结果表明很好地形成了组份阶梯变化的 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 渐变层。我们用阶梯腐蚀方法揭示了渐变层的各界面状态, 表征研究的结果表明组份阶梯变化的 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 渐变层在减少失配位错方面起着巨大的作用。文中将详细地介绍上述表征的结

果。

文章的最后一部分介绍了我们实验室在用 MOCVD 技术制备 GaSb 及其合金外延层的进展。

小结：在叙述了高技术发展对 $2\sim 4\mu\text{m}$ 光电子材料需求之后，综述了 GaInAsSb/GaSb 和 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$ ($x < 0.47$) 的研究，详细地介绍了本实验室 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InP}$ ($x < 0.47$) 和 GaSb 的研究进展。

光学薄膜的新发展

李懋康

(中科院长春光机所)

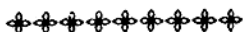
近年来随着科学技术的发展光学薄膜正在向宽、广、高深方向进军。在激光与光学仪器用光学薄膜领域，一方面在极力拓宽光学薄膜的光谱领域，努力开发真空紫外和软 X 光等短波区的光学薄膜，研制出该波段所急需的成象和色散元件；另一方面则努力提高现有各种薄膜的光学性能。例如对增透、反射和分光等膜系努力拓宽他们的带宽；对单色滤光片主要提高他们的矩形化程度和截止带深度；对激光薄膜则主要是加强他们抗激光损伤能力。与此同时，光学功能膜近年来也得到迅速的发展。为发展光计算和光通讯技术而急需的薄膜光双稳器件，薄膜声光器件以及其他电光、磁光等薄膜器件，如雨后春笋似地蓬勃发展起来。

为了适应上述薄膜技术飞跃发展的需要，主要是为了消除薄膜由于多孔性微观柱状结构所产生光学和机械性能差等严重缺陷，首先利用先进的表面技术，对光学薄膜的成分和微观结构进行了广泛深入的研究，并利用微机对薄膜表面形貌的显微密度等进行了分析和图象处理。其次是改进薄膜制备技术；例如开展磁控溅射、离子束辅助淀积，离子团束和离子淀积技术，增加淀积粒子的能量以及开展微观结构和宏观特性之间关系的研究，使薄膜的微观结构及其宏观特性尽量接近大块材料。

另外，近年来为提高薄膜的光谱性能还开展了宽波段膜系光谱透过（或反射）曲线实时显示的膜厚监控方法的研制工作，并在制备过程中将实时显示出的曲线用微机与设计曲线进行比较，并通过调整多层膜系的结构对曲线实时给予修正，以便使其光谱性能尽量接近设计水平。此外，为改进膜系制备工艺的重复性和提高产品的成品率与减轻操作人员的劳动强度，在镀膜过程全自动化方面也取得了可喜的成果。



半导体薄膜



InSb 磁敏霍尔器件中 InSb 薄膜的 淀积及其性能研究

郭玲 黄仲平
(南京电子器件研究所)

半导体霍尔器件的工作原理是基于半导体材料在交叉电磁场作用下表现出来的霍尔 (Hall) 效应。我们希望在同样的控制电流 I_c 和同样的磁感应强度 B 下, 霍尔电压 V_H 越大越好, 但这受到限制。对于 N 型半导体材料而言, $V_H = R_H I_c B / d$, 即霍尔电压 V_H 与霍尔系数 R_H 成正比, 与霍尔器件片厚成反比。而霍尔系数 $R_H = \rho \cdot \mu_n$,

其中 ρ 为半导体的电阻率, μ_n 为电子迁移率

为了得到适于做 Hall 器件的高电子迁移率和 Hall 系数大、薄膜生长好的半导体层, 这就要求适当选择材料并摸索合适的制作霍尔器件的工艺。

在所有 III-V 族半导体材料中, 砷化铟的电子迁移率最高、低温性能好; 用砷化铟制成的霍尔器件不但霍尔电压大而且输出效率也大, 因此砷化铟是制作 Hall 器件的最合适的材料。

一、多晶砷化铟薄膜的淀积工艺

单晶 InSb 材料质地很脆, 极易破碎, 难加工成 $10\mu\text{m}$ 以下的 InSb 薄片, 实用中已不采用。多晶 InSb 材料虽然电子迁移率比单晶 InSb 小得多, 但可运用比较成熟的真空蒸发成膜技术做成 $1\mu\text{m}$ 以下的薄膜, 其霍尔器件的乘积灵敏度并不比单晶 InSb 器件低, 而且生产量大、成本低, 被广泛采用。

我们在镀膜机中进行 InSb 多晶薄膜的真空沉积。其关键工艺包括:

1. 选择适当的衬底材料以及适当的表面处理工艺: 实验中因地制宜采用了经氧化生有 $1\mu\text{m}$ 厚二氧化硅的 N 型单晶硅片, 常规工艺清洗。
2. 选择适当的蒸发舟材料。
3. InSb 蒸发源材料的试验。实验中采用过两种源材料: 一种是纯度为 99.999% 的多晶 InSb 颗粒; 一种是在上述材料中掺加纯度 99.999% 的 Sb 颗粒混合物作源。
4. 选择适当的蒸发舟温以控制适当的淀积速率。
5. 选择适当的衬底加热温度。
6. 膜厚根据需要制取: 我们一般采用几千 Å 的薄膜。

二、InSb 薄膜性能、测试分析结果并讨论:

薄膜测试分析包括用 6JA 干涉显微镜和滚球法测膜厚; 用四点法测 InSb 膜的方块电阻; 霍尔测试: 载流子浓度、电阻率及电子迁移率; 刻蚀成霍尔器件图形后用手动探针仪观察其霍尔电压输出; 用扫描电镜作 InSb 薄膜表面显微形貌观察和元素成分分析; 用 X

射线衍射仪作薄膜相结构分析；用 AES-350 俄歇电子谱仪作薄膜的表面及深度元素成分分析等等。主要结果如下：

1. 多晶 InSb 呈灰色，其扫描电镜形貌放大照片如图 1。InSb 晶粒为微米级。

2. 多晶 InSb 膜的电阻率为 $0.01\Omega \cdot \text{cm}$ 左右。

3. 分别对掺加 Sb 和未掺 Sb 的 InSb 料作源、相同工艺条件下淀积的 InSb 膜测其载流子浓度和电子迁移率，比较其结果看出：掺 Sb 没有使 InSb 膜上述参数提高，没有得到文献 3) 预期的结果。这可能是由于我们是把 Sb 和 InSb 以分立颗粒加入而不是以共熔体颗粒加入有关，Sb 的蒸汽压高得多，在 InSb 尚未大量蒸发前，Sb 几乎蒸发已尽，起不了在 InSb 结合过程中不断补偿 Sb 的作用。制作掺 Sb 的 InSb 高精度共熔晶体作料是十分必要的。

4. X 射线衍射分析：

图 2 为未加 Sb 的 InSb 膜的 X 射线衍射图。由图可见，InSb 膜中有立方晶系的 InSb 和少量的斜方晶系 InSb 存在，此外还有四角晶系 In 存在。而在掺 Sb 的 InSb 膜中除立方晶系、斜方晶系 InSb 外，无 In 存在，取而代之的是斜方晶系的 Sb_2O_3 存在。显而易见，在源料中加 Sb 的结果使游离 In 消失，它与 Sb 组成稳定的共价键，生成 InSb。多余的 Sb 与 O 生成 Sb_2O_3 。



图 1 InSb 薄膜表面形貌图
(放大 1200 倍)

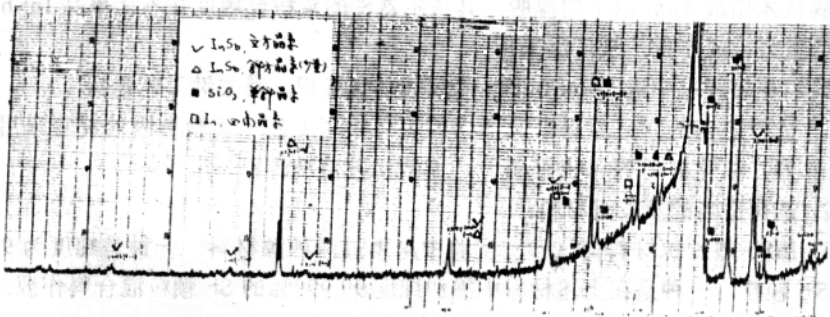


图 2 未加 Sb 的 InSb 膜的 X 射线衍射图

5. Anger 成份分析结果：

图 3 为未加 Sb 的 InSb 膜的全元素分析图，深度剖析图没有列出。加 Sb 和不加 Sb 作源其膜的全元素分析图和深度剖析图基本上相同：

- a. 在膜层中除 In、Sb 外，含有较多的氧元素和微量的 C 元素，别无其它杂质。
- b. InSb 膜层中各元素除表面外，深度分布基本上是均匀的，在表面氧的含量较大，In 和 Sb 的含量比深处略微小一些。

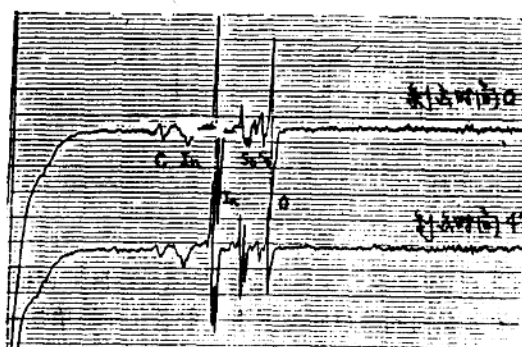


图3 未加 Sb 的 InSb 膜的全元素分析图

- c. 源料中加 Sb 使 In、Sb 在 InSb 在膜中的相对含量百分比改变。
- d. 由于采用有油真空系统镀膜机带来的不可避免的氧、碳污染，氧随之淀积在 InSb 膜中，并在加 Sb 膜中生有斜方晶系的氧化物—三氧化二锑，使 InSb 的性能降低。这可采用双源蒸发或用精制的加 Sb 的 InSb 共熔体多晶材料并减小氧的污染来克服。

微晶硅/非晶硅超晶格的制备及性质

冯良桓 郑家贵 蔡伟 蔡亚平 罗昭和 周心明

(四川大学 材料科学系)

黄天荃

(四川大学 分析测试中心)

近年来，非晶半导体超晶格的研究十分活跃。关于 $a\text{-Si:H}/a\text{-SiC}_x\text{:H}$ 、 $a\text{-Si:H}/a\text{-SiN}_x\text{:H}$ 、 $a\text{-Si:H}/a\text{-SiGe}_x\text{:H}$ ，以及 $a\text{-Si:H}$ 的 pnpn 与 pini 型超晶格的量子阱效应和持续光电导 (PPC) 等方面的研究非常引人注目。对 $\mu\text{-Si:H}/a\text{-Si:H}$ 超晶格的研究报告尚不多见。但这种以微结构调制为特征的超晶格，无疑也是一种值得深入探索的课题。

为此，我们在分析 Plasma-CVD 法生长机制的基础上设计了一种新型的射频耦合电极。它由互相平行的金属条形电极组成，这些电极通过一个转换开关同射频电源联接（如

图 1).

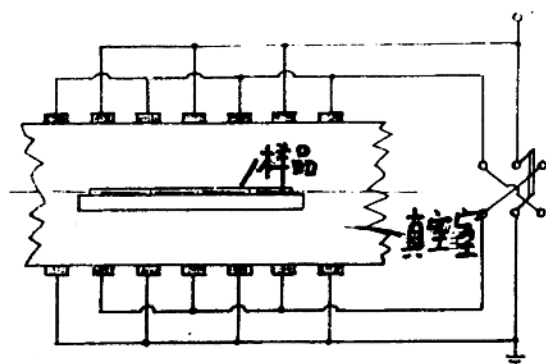


图 1 耦合电极与沉积装置示意图

这个开关可瞬时将它们切换成“类电容耦合”和“类电感耦合”两种联接方式。

我们分别用这两种接法在相同的衬底温度下，制备了 i 型单层膜，并测量了膜的生长速率。然后，用时间继电器控制耦合方式的切换，制作了不同亚层厚的多层结构样品。所有样品均为四十个周期，其实际厚度与预计的相差在 5% 以内。我们测量了这些样品的拉曼谱、光吸收谱、电导率与温度的关系。在测电导时，制作了两种不同的样品：测量电极在膜的同一面（共面电极型）和测量电极各在膜的一面（对面电极型）。

图 2 给出了单层膜 (a) 和超晶格 (b) 样品的拉曼谱。“类电感”耦合生长的膜仅有一个非晶的宽峰，而“类电容”耦合生长的膜却在 519cm^{-1} 处有一个尖峰。它与 C-Si 的峰在同一位置，只是较低、较宽，这是 $\mu\text{c-Si:H}$ 的标志。对超晶格膜，随着“类电容”方式预计厚度的减小，微晶峰降低，且在低波数边变宽，当其为 35A 时，拉曼谱上只呈现非晶态的峰。

值得注意的是，这两种耦合方式制作的膜的性质也很不相同，见表 1。

表 1 a-Si:H 和 $\mu\text{c-Si:H}$ 样品的性能

制备方式	结构	$E_g(\text{ev})$	$E_a(\text{ev})$	电导类型	生长速率
类电感	a-Si:H	1.70	0.83	i	33A/分
类电容	$\mu\text{c-Si:H}$	1.96	0.18	n	105A/分

图 3 给出了不同微晶亚层厚度的样品的电导率温度关系。从图中可以看到，共面电极型与对面电极型样品的电导激活能不同，这造成它们的电导率差与温度有关，在室温下达 3 个量级。这表明，本工作所取得的样品具有明显的各向异性，图 3 中的所有 $\log\sigma - 1/T$ 曲线，可近似地看成是由两段直线组成，它们对应于不同的电导激活能。随着微晶亚层厚度的增加，曲线的弯折点向低温方向移动，而且，低温段与高温段的激活能均随之减小。这表明，亚层厚度对费米能级有较强的调制作用。

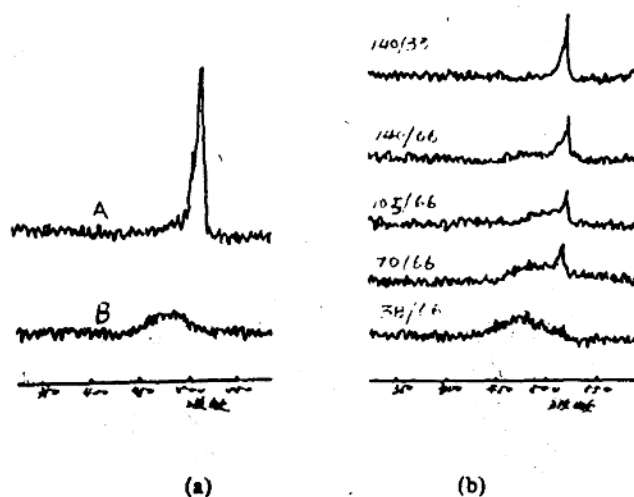


图2 Si:H膜的拉曼谱

(a)中的A和B分别表示“类电容”和“类电感”耦合。(b)中的数字为微晶层与非晶亚层的厚度(Å)。

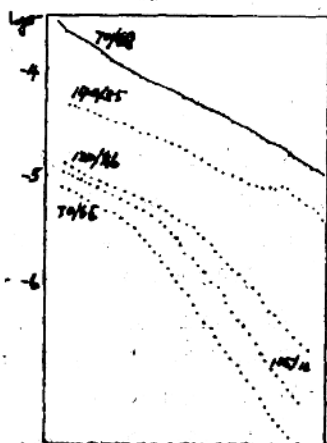


图3 微晶硅/非晶硅超晶格的电导——温度关系

图内的数字表示微晶/非晶亚层的厚度。实线为共面电极型样品。

我们从纯电阻模型（即把上述超晶格仅看成为不同电阻率亚层的堆迭）和克龙尼格—潘纳模型（考虑了能隙与费米能级的周期性变化），对上述结果进行了讨论。当两亚层的厚度都比较大时， $\log \sigma - 1/T$ 的行为具有纯电阻模型的特征；只是因层间发生电子转移，使每亚层的电导激活能相对于单层膜时有了改变；而且，非晶亚层的厚度也因此表现出“缩小”的效应。当非晶亚层较薄时， $\log \sigma$ 在一定的温区会保持不变，甚至随温度的升高而下降。这可以归结为该亚层发生了安德逊转变。最后，我们讨论了纯电阻模型的特征消失的条件和量子阱效应出现的条件。

硅片上导电聚合物 PAn 膜的制备 和结特性的研究

袁仁宽 袁 宏 邹 正① 王永安② 郑有~~料~~
(南京大学物理系)

聚苯胺 (PAn) 是性能十分稳定的导电聚合物膜, 具有半导体性质。我们分别在外延层电阻率为 $1\Omega \cdot \text{cm}$ 的 n/n^+ 和 p/p^+ 硅外延片上用(光)电化学方法制得平整均匀的 PAn 膜。为了便于制作欧姆电极, 外延片背面淀积一层镍。样品和引线用漆保护, 只露出抛光的硅外延层表面。苯胺(aniline)的电化学聚合在水溶液中进行, 电介液成分为 1M aniline + 0.5M $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ($\text{PH} = 1$)。在聚合的过程中电极电位保持恒定, 数值在 $0.7 \sim 0.8\text{V}$ 范围内(相对于 SCE)。当聚合在 n 型硅片上进行时, 需辅之以光照, 光强为 $30\text{mW}/\text{cm}^2$ 。如此制得的 PAn 膜为 P 型膜。从而可获得反型异质结 $p-n$ PAn/Si 和同型异质结 $p-p$ PAn/Si。在 n 型和 p 型硅片上用 (光) 电化学方法制备 PAn 膜的实验装置如图 1 所示。

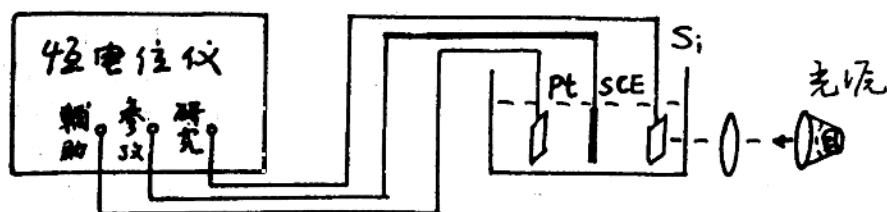


图 1 (光)电化学制备 PAn 膜的实验装置示意图

实验结果表明, 反型异质结 $p-n$ PAn/Si 的伏安特性明显地优于同型异质结

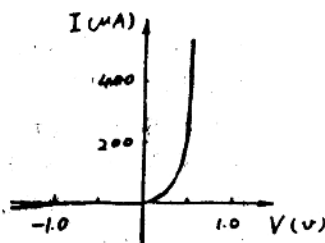


图 2 反型异质结 $P-n$ PAn/Si 的伏安特性

$p-p$ PAn/Si。对于反型异质结 $p-n$ PAn/Si, 在偏压为 0.5V 时整流比达 50(请见图 2 所示的 $I-V$ 特性曲线), 并且可以观察到显著的光生伏特效应, 光电转换效率约为 0.45% 。与 Gau 和 Konagai 等所报导的聚乙炔 $(\text{CH})_x/\text{Si}$ 异质结的转换效率相比, PAn/Si 结的光电转换效率稍高, 这可能是因为 PAn 膜对可见光有较好的透明性, 光能的利用率较高。

①南京金陵中学

②南京无线电公司