

**CIE** 中国电子学会论文集

# 第二届

全国半导体化合物材料  
微波器件学术会议论文集  
光电器件

## 摘要

中国电子学会 半导体与集成电路技术学会 编  
电子材料学



天津 一九八二 十一 昆明

# 目 录

## 一、特邀报告

- 国内外化合物材料特性研究的新进展.....科学院半导体所 林兰英 ( 1 )
- 砷化镓中的某些深能级缺陷及其对器件性能的影响.....上海冶金所 邹元熾 ( 1 )
- GaAs及有关 III-V族化合物体材料的研究进展 .....1446所 宋秉治 沈能珏 ( 1 )
- GaAs单片集成电路 .....1413所 邢先灿 ( 1 )
- 条形双异质结半导体激光器的侧向模式导引机制和模式稳定性问题  
.....吉林大学 高鼎三 ( 2 )
- 光纤通信用长波长半导体激光器的研究与进展.....1413所 李克诚 ( 2 )

## 二、化合物半导体材料及其测试分析

- 用双生长室双缓冲层技术制备四层GaAs结构VPE材料  
.....1413所 卢云蓉 吕云安 李中南 冯惠兰 ( 3 )
- 掺Cr高阻GaAs衬底对非掺高阻缓冲层影响的研究  
.....1446所 王永晨 马静 汝琼娜 ( 6 )
- GaAs汽相外延中Cr的行为和FET材料的生长  
.....上海冶金所 彭瑞伍 江文达 孙棠珠等六人 ( 6 )
- 用光吸收法测量半绝缘GaAs中Cr浓度的定标曲线  
.....科学院半导体所 许振嘉 张泽华 孙伯康 ( 9 )
- 半绝缘掺 Cr-GaAs 晶体中的微沉淀 .....北京有色院 孙贵如 谭丽芳 朱建 ( 10 )
- 用羰基铁掺杂剂汽相外延砷化镓缓冲层  
.....复旦大学 唐厚舜 余夕同 糜玮 熊培 陈长安 ( 11 )
- 镓源真空烘焙对高纯VPE-GaAs质量的影响  
.....科学院半导体所 林耀望 张彦云 李秀兰 ( 12 )
- In/PCl<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>系统的热力学分析 .....科学院半导体所 陆大成 ( 12 )
- 低压LEC法生长不掺杂半绝缘GaAs单晶及H<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>杂质对晶体电阻率的影响  
.....上海冶金研究所 杨金华 李寿春 莫培根 ( 15 )
- 衬底错向对LPE-GaAs表面形貌的影响  
.....科学院半导体所 周伯骏 方兆强 向贤碧等八人 ( 18 )
- GaAs衬底清洁处理和表面沾污 .....科学院半导体所 吴赛娟 于清 王瑞林 ( 21 )
- 高压液封原位合成直拉半绝缘砷化镓单晶的生长.....1425所 夏德谦 ( 26 )
- GaAs体晶体中掺杂对EL2-C相互作用的影响  
.....上海冶金所 邹元熾 莫培根 孙恒慧 盛 麓 ( 28 )
- 掺Si的GaAs体晶体的若干特性 .....上海冶金研究所 莫培根 ( 30 )
- 提高重掺Te-GaAs单晶纵向均匀性的研究  
.....营口火柴厂 东北工学院 郭庆云 梁连科 ( 32 )

LPE-GaAs高低结材料的生长和性质	科学院半导体所 冀秀英 赵建设	( 35 )
IV-VI族化合物材料的热壁外延		
.....	上海技术物理研究所 冷静 乔怡敏 郑亚民 沈亮 袁诗鑫	( 36 )
电外延生长技术—焦耳热问题的解决		
.....	吉林大学 王宗昌 潘延旺 张桂芳 李家 常冬青	( 39 )
石英舟HCl-H <sub>2</sub> -Ga高温处理		
.....	营口火柴厂 东北工学院 梁连科 郭庆云 郭义太 姜凤来 李庆辉	( 40 )
沾舟与晶体位错的关系		
.....	营口火柴厂 东北工学院 梁连科 郭庆云 郭义太 姜凤来 李庆辉	( 42 )
关于III-V族化合物半导体欧姆接触理论和工艺技术的评述	沈阳冶炼厂	钟耀阁 ( 45 )
关于II-VI族化合物半导体欧姆接触理论和工艺技术的评述	沈阳冶炼厂	钟耀阁 ( 46 )
MOCVD在外延生长GaAs和Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As方面的最近进展		
.....	1424所 沈令康 蒋晋义	( 46 )
III-V族化合物中的增益光谱	科学院半导体所	庄蔚华 ( 50 )
采用电化学法测量GaInAs, GaInAsP材料的载流子浓度分布		
.....	1425所 俞冠高 王翠莲 黄恩福	( 53 )
用MOS结构研究四元混晶InGaAsP中的深能级瞬态电容谱		
.....	科学院半导体所 鲍庆成 王启明等	( 56 )
用X光电子能谱测定InP(100)清洁表面的元素成分比		
.....	复旦大学 俞鸣人 杨光 王迅	( 59 )
InP-In <sub>0.53</sub> Ga <sub>0.47</sub> As异质结的电学与磁阻性质的研究		
.....	科学院半导体所等 魏策军 周炳林等	( 60 )
In <sub>1-x</sub> Ga <sub>x</sub> As <sub>y</sub> P <sub>1-y</sub> -InP异质结界面组分过渡层的俄歇电子能谱研究		
.....	上海交大 李明茅 龚小成 朱初沐 陈益新 徐信慧	( 62 )
GaAs <sub>1-x</sub> P <sub>x</sub> 薄层光学性质的研究	中山大学 陈树光 江任荣 李梓林	( 64 )
磷化铟表面介质膜的等离子体生长及XPS AES分析		
.....	复旦大学 唐厚舜 余夕同 李川等六人	( 66 )
GaInAsP/InP双异质结发光管材料生长中若干问题的研究		
.....	上海冶金研究所 邬祥生 杨易 李允平	( 68 )
步冷法生长用于制备长波长发光二极管的Ga <sub>x</sub> In <sub>1-x</sub> As <sub>y</sub> P <sub>1-y</sub> /InP双异质结材料		
.....	1413所 张学书 吴福民 董瑞新	( 70 )
低阈值电流密度1.3μmInGaAsP/InP DH液相外延的研究		
.....	1413所 何建华 洪连生 魏小义 潘成亨	( 73 )
In <sub>0.53</sub> Ga <sub>0.47</sub> As的液相外延生长	科学院半导体所 王树堂 潘荣俊 曾靖	( 76 )
P型Ga <sub>0.47</sub> In <sub>0.53</sub> As接触层的生长	上海冶金所 邬祥生 李允平 杨易	( 79 )
半绝缘磷化铟材料制备	1413所 刘思林 高树增 孙同年	( 81 )
掺Fe-InP单晶生长和它的性质		
.....	科学院半导体所 刘巽琅 柴喜云 焦景华等七人	( 83 )
掺Fe半绝缘磷化铟材料的硅离子注入		
.....	上海冶金所 卢建国 邵永富 乔壖 王渭源	( 84 )

- 无位错掺Zn-InP单晶生长 .....上海冶金所 方敦辅 王祥熙 徐涌泉等5人 ( 86 )
- 高压液封直拉磷化铟单晶的低温光荧光研究  
 .....科学院半导体所等 孟庆惠 李永康 吴灵犀 刘巽琅 叶式中 ( 87 )
- GaAs/AlGaAs/n<sup>+</sup>GaAs 异质结波导的连续液相外延生长  
 .....吉林大学 张国义 刘式墉 苏士昌 王德成 ( 89 )
- X=0~0.85的Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As的生长特性···科学院半导体所 余金中 鞠静丽 陈琼 ( 92 )
- 变压TEM研究LPE Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As/GaAs界面缺陷  
 .....科学院半导体所 沈厚远 梁俊吾 褚一鸣 ( 95 )
- GaAlAs液相外延表面形貌和缺陷的初步探讨 .....北京有色所 周敏 ( 95 )
- LEP Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As/GaAs异质结缺陷研究 .....科学院半导体所 沈厚远 梁俊吾 ( 97 )
- 低温液相外延GaAlAs及其特性研究  
 .....科学院半导体所 涂相征 葛玉茹 王维明 何登龙 ( 98 )
- 液相外延生长的Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As中Al的组分分布及少子扩散长度的研究  
 .....北京大学 刘宏勋 陈媿会 虞丽生 ( 101 )
- 衬底沟道条形可见光Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As-Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>As激光器的液相外延生长  
 .....科学院半导体所 石志文 马国荣 杨培生等七人 ( 104 )
- GaP中电子辐照产生的深能级 .....厦门大学 俞书彬 黄启圣 ( 107 )
- 650°C下Te在Hg<sub>0.8</sub>Cd<sub>0.2</sub>Te晶片中的扩散···上海科技大学 张建成 曹令嫻 吴文海 ( 109 )
- 露点法测定Hg-Cd-Te系熔体蒸气压  
 .....上海科技大学 桑文斌 于美云 毛炜婷 吴文海 ( 111 )

### 三、微波器件及其测试分析

- 12GHz双栅GaAs MESFET .....1413所 邓先灿 马振昌 杨耀中 杨国安 张绵 ( 114 )
- 18GHz低噪声GaAs MESFET  
 .....1413所 梁春广 陈孝泽 杨汉朋 王淑君 曹余录 ( 118 )
- X波段低噪声GaAs MESFET .....1425所 陈克金 陈世鸷 俞土法 刘自明等 ( 121 )
- 10GHz0.5WGaAs微波功率FET .....1413所 李松法 罗海云 ( 124 )
- 9GHz 500mW GaAs MESFET.....1425所 吴允弘 龚邦瑞 吕振中 ( 126 )
- 新平面型GaAs微波单片放大器 .....1413所 邓先灿 朱国良 ( 129 )
- 单片GaAs IC宽带低噪声放大器 .....1413所 朱国良 袁明文 蔡西媛 ( 132 )
- 单片X波段GaAs MESFET振荡器 .....1425所 叶禹康 王福臣 楼洁年 ( 135 )
- 自掩蔽结构的砷化镓双极型微波晶体管.....北京电子管厂 苏里曼 ( 140 )
- 1GHz10W硅微波功率静电感应晶体管 .....1413所 管丕恺 赵平海 ( 142 )
- 微波GaAs功率场效应晶体管 .....1413所 黄礼鏊 黄松章 管丕恺 ( 145 )
- 微波功率晶体管动态最大功耗的红外研究.....1413所 王长河 ( 149 )
- X波段GaAs雪崩管及振荡器 .....科学院半导体所 徐鸣达 邵全远 邹立寿 ( 152 )
- 八毫米硅双漂移(P<sup>+</sup>PNN<sup>+</sup>)崩越二极管  
 .....1425所 王茂森 黄日晖 张文兴 金立荣 黄志远 ( 156 )
- 阳极氧化控制高-低结GaAs雪崩二极管的n<sup>+</sup>层厚度  
 .....科学院半导体所 高凤升 龚秀英 葛勇才 赵建社 ( 159 )
- 三厘米波段砷化镓功率体效应管.....1425所 戴沛然 沈怡怡 朱世年 ( 160 )

Gunn器件中畴的静止-渡越-静止模式的实验观察及理论分析	科学院半导体所 王守武 郑一阳 郝小林 张迅昌 (163)
平面Gunn器件中的静止畴研究	科学院半导体所 王守武 郑一阳 郝小林 潘国雄 (166)
$In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 体效应器件	科学院半导体所 赵月英 (168)
18~26.5GHz固体噪声二极管	1425所 程耀沃 (170)
10~12GHz GaAs体效应宽带功放器件	1413所 张铁桥 韩志业 李继国 (174)
微波砷化镓场效应晶体管有限元法二维瞬变分析程序FINMES	科学院半导体所 汪正孝 (177)
GaAs MESFET二维计算机辅助计算分析	1425所 潘晓明 (180)
CW X带GaAs Gunn器件振荡特性的计算机模拟	邮电部半导体所 王颖娴 (184)
雪崩器件的计算机模拟	科学院电子学研究所 宋文淼 方希曾 (187)
GaAs等离子体阳极氧化研究	上海冶金所 陈志豪 俞凯声 王谓元 (192)
砷化镓表面的等离子体氧化及氧化物的AES分析	吉林大学 董志武 (196)
GaAs(110)自体氧化层的XPS研究	复旦大学 戴道宣 唐厚舜 (198)
用聚酰亚胺作微波GaAs FET的表面钝化介质	1413所 杨汉朋 刘宗穆 刘宗林 覃甘明 (199)
用聚酰亚胺作介质膜的Ti-Pt-Au/n-GaAs肖特基势垒的研究	1413所 李大平 孙道云 佟振声 刘伟星 (203)
关于GaAs器件中一些工艺物理问题的研究	科学院半导体所 陈克铭 王森 方蒲明 (206)
$Nd:YAG$ 激光二次谐波诱导生成金属-半导体化合物	上海硅酸盐所 吴惠法 徐惠德 肖兵 (210)
<b>四、光电器件及其测试分析</b>	
质子轰击条形 $1.3\mu m$ InGaAsP/InP双异质结激光器——室温连续工作8000多小时	科学院半导体所 朱龙德 汪孝杰 王莉等11人 (213)
扩散条形GaAsP/InP双异质结激光器制作	武汉邮电科学院 杨桂生 姜涌 肖敏等 (217)
$1.55\mu m$ InGaAsP/InP DH激光器的研究	1413所 三室激光组 (217)
电极条形InP-In <sub>1-x</sub> Ga <sub>x</sub> As <sub>1-y</sub> P <sub>y</sub> DH激光器的灯丝状发光行为	吉林大学 苗忠礼 王兢 高鼎三 (221)
InGaAsP/InP平面条形双异质结激光器结构参数对阈值电流密度的影响	上海交大 孟世乐 朱初沐 龚小成 陈益新 (223)
半导体四层漏光波导特性的研究	科学院半导体所 张敬明 郑宝真 (225)
InP/In GaAsP质子轰击层的光学特性及其对激光器激射特性的影响	科学院半导体所 朱龙德 王莉 (230)
关于制作埋层异质结激光器的腐蚀问题	武汉邮电科学院 姜涌 杨桂生 (233)
带有InP透镜的InGaAsP/InP-DH-LED制作	1413所 张万生 李胜瑞 姚小斌 马纯元 朱景秀 (237)
InGaAsP/InP DH LED寿命及高温老化寿命实验	

.....	1413所	卢秉梅	刘汉勳	陈季文	( 240 )		
长波长 $In_{0.53}Ga_{0.47}As/InP$ 光电二极管							
.....	1425所	李世海	张胜琼	陈培杜	张燕斌等六人	( 244 )	
$InGaAsP/InP$ 双异质结发光管退化特性的研究		上海冶金所	张桂成	水海龙		( 247 )	
不同Zn扩散源在 $InP$ 中的扩散特性		长春物理所	朱有才	高鼎三		( 249 )	
P型 $InP$ 欧姆接触的制备和特性研究		吉林大学	王立军	高鼎三	苗忠礼	( 252 )	
$InGaAsP/InP$ 双异质结激光器P区欧姆接触性能研究							
.....	上海交大	景星亮	徐信慧	朱初沐	龚小成	陈益新	( 255 )
管芯烧结对串联电阻影响的探讨		北京有色所	赵文英	李作林			( 257 )
ITO和 $SnO_2$ 透明导电薄膜的制备和应用		中山大学	张苑岳	余秉才			( 259 )
半导体激光器热阻的测量		吉林大学	金恩顺	石家伟	高鼎三		( 260 )
用胶钝化的锗台式 $PiN$ 光电探测器		1413所	顾振球等				( 263 )
平面型光探测器的新发展		科学院半导体所	魏策军				( 266 )
二维波导 $GaAs/(GaAl)As$ 沟道条形集成激光器							
.....	上海冶金所	潘慧珍	徐国华	肖宗耀等七人			( 269 )
( $AlGa$ ) $As$ 可见光激光器		吉林大学	邓希敏	金宝富	杜国同等七人		( 271 )
磷砷化镓橙色发光材料和器件		复旦大学	方志烈	柏晓东			( 274 )
不同限制层介质对 $GaAs/AlGaAs/n^+GaAs$ 矩形波导传输及损耗特性的影响		吉林大学	马春生	刘式墉	范爱英	张玉贤	( 277 )
$GaAlAs, GaP$ 发光二极管PN结附近的深能级		科学院半导体所	史一京				( 283 )
硅光电二极管阵列靶的光谱响应特性		长春光机所					( 286 )
激光诱导扩散研制短波灵敏的硅光电探测器		中山大学	姚杰	陈宝琼			( 290 )
用于 $1.06\mu m$ 波长的RAPD		1446所	朱华海	王者仁			( 291 )
硅RAPD参数测量		1446所	陈元君				( 292 )
平面 $GaAs$ 耿氏光探测器的光响应理论与实验研究		科学院半导体所	魏策军				( 295 )
硅光敏晶体管线性工作区探讨		武汉大学	张君和				( 297 )
发射极剪裁工艺——改进光电二极管短波响应的一种有效措施							
.....	武汉大学	陈伟秀	邱万川等				( 299 )
$GaAs$ 肖特基势垒雪崩光电探测器							
.....	上海冶金所	郭康瑾	胡维波	姚文兰	陈莲勇	水海龙	( 302 )
透明栅MOS场效应管的研制		武汉大学	陈炳若	蔡本兰	李洪义		( 305 )

# 国内外化合物材料特性研究的新进展

科学院半导体所 林兰英

## 砷化镓中的某些深能级缺陷及其对器件性能的影响

科学院上海冶金所 邹元熾

本文综合分析了不同研究工作者对GaAs中某些深能级缺陷本性的看法。然后按照我们对某些深能级缺陷间相互作用的计算,对VPE-GaAs的少子寿命进行了一些估算。最后,简单地讨论了这些深能级缺陷对器件性能的影响。

## GaAs及有关Ⅲ-V族化合物体材料 的研究进展

一四四六研究所 宋秉治 沈能珏

本文概述了近两年来国内外在GaAs及有关Ⅲ-V族化合物半导体体单晶的研究情况。根据近年来的研究趋势,重点对半绝缘GaAs单晶及InP体单晶的工艺进展和电学性质研究等方面作了详细介绍。文章同时还对其他Ⅲ-V族化合物如GaP、GaSb、InAs及有关的三元、四元化合物体材料的研究进展作了简单评述。

## GaAs 单片集成电路

一四一三研究所 邓先灿

本文叙述了最近几年半导体集成电路发展的新方向——砷化镓单片集成电路(包括单片微波集成电路MMIC和单片数字高速集成电路VHSIC)的发展简史、设计要点、关键技术、国内外最新实例、应用及前景展望。

# 条形双异质结半导体激光器的侧向模式 导引机制和模式稳定性问题

吉林大学 高鼎三

# 光纤通信用长波长半导体激光器 的研究与进展

一四一三研究所 李克诚

对发展大容量和长中继距离的光纤通信系统来说，作为光源，高性能、高可靠的长波长半导体激光器极为关键。本文评述了有关 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 波段长波长半导体激光器在基横模控制，降低阈值电流，提高输出光功率以及器件可靠性等方面所进行的某些研究工作。文中给出了目前器件的发展水平并分析了今后的发展趋势。



# 用双生长室双缓冲层技术制备 四层结构GaAs VPE材料

一四一三研究所 芦云蓉 吕云安 李中南 冯惠兰

## 一、前言

随着GaAs FET器件向高频、低噪声、大功率方向的发展，促使了GaAs外延材料研究的进一步开展。由于GaAs外延生长的本底载流子浓度一般在 $5 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 左右，因而生长高阻缓冲层就要依靠衬底中Cr扩散的补偿等其他条件才能使浓度降低。所以不能把纯度缓冲层生长很厚，这样也就不能很好地掩蔽来自衬底的缺陷与其他深能级杂质的影响。因此我们在双层外延技术基础上，从1978年以来开展了在双生长室内生长具有以金属铬为掺杂源的掺Cr缓冲层( $B_{Cr}$ )、纯度缓冲层( $B_P$ )、有源层(N)、欧姆接触层( $N^+$ )等四层结构GaAs外延材料的研究。以进一步改善FET材料的性能和适应器件发展的要求。目前已建立了一套完整的生长工艺。

所制备的材料已成功应用于我所12GHz双栅GaAsFET及18GHz单栅器件的试制与定型工作。

用金属铬作为掺杂源的上述四层结构GaAs外延的研究工作，目前在国内外尚未见到比较详细的报导。本文将对此进行详细的介绍。

## 二、实验系统与工艺

实验系统如图1所示。

反应系统采用双生长室结构，上下两个生长室有两个气体入口。上层反应室，主路 $\text{AsCl}_3/\text{H}_2$ 经过Ga源用于生长 $B_P$ 层，上层支路 $\text{AsCl}_3/\text{H}_2$ 直接送到衬底前用于进行汽相腐蚀及生长 $B_{Cr}$ 层。下层反应室主路用于生长N层，其支路用于汽相腐蚀及生长 $N^+$ 层。在上反应室生长完缓冲层后立即转移到下反应室生长N层及 $N^+$ 层。这样既避免了Cr、S等杂质在外延过程中的相互影响，又保证了各层的连续生长。在外延系统中所用的阀门采用自行设计的聚四氟乙稀换向阀门，操作简便。

生长 $B_P$ 层和N层的一般工艺已在过去发表的文章中有过详细的报导，本文就不进行介绍，下面仅介绍 $B_{Cr}$ 层和 $N^+$ 层的生长。我们将Cr源置于上层支路的入口处，用一个可移动的小炉子加热，当 $B_{Cr}$ 层生长完毕立即撤掉它，进行急冷，紧接着生长 $B_P$ 层。 $N^+$ 层的生长是长完N层后用下层支路进行高浓度的掺杂而实现的。

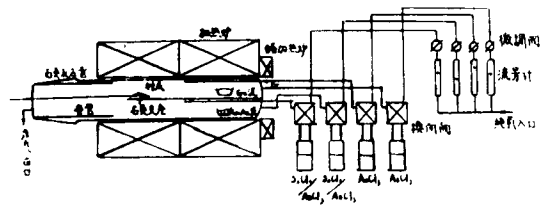


图1 外延系统实验装置简图

## 三、实验结果

### 1. 掺铬缓冲层

我们对在掺Cr半绝缘衬底上生长的Cr层进行了电学测量。得到了掺Cr外延层的载流子浓度与铬源温度的关系，示于图2。从图2中可以看到Cr源温度越高，掺Cr层中净载流子浓度越低，直到  $5 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ 。这个规律与在纯度衬底上用不同Cr源浓度生长的外延层的二次离子探针的分析结果是一致的。

### 2. 四层结构的参数

表1列出了四层结构的典型参数，图3为电化学腐蚀C-V测量所得载流子浓度分布图。

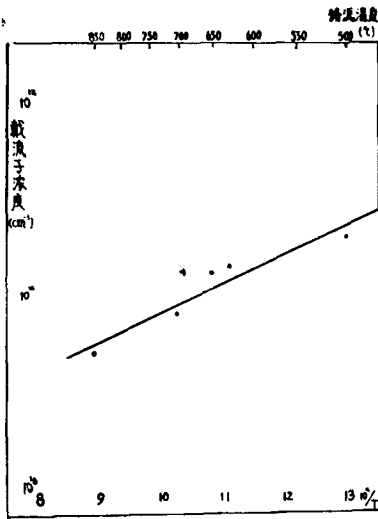


图2 掺铬外延层载流子浓度与铬源温度的关系

表1 外延层参数

	厚度( $\mu\text{m}$ )	浓度(或电阻率)
欧姆接触层	0.1	$1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$
有源层	0.2	$1 \sim 2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$
纯度缓冲层	2-3	$> 10^6 \Omega\text{-cm}$
掺铬缓冲层	2-3	$> 10^7 \Omega\text{-cm}$

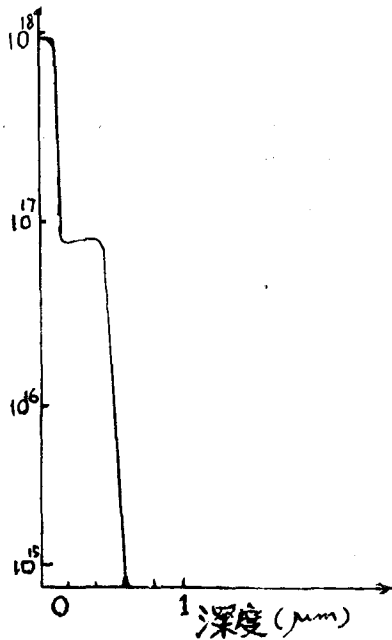


图3

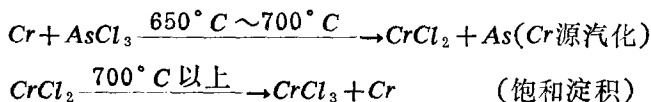
### 3. 器件使用结果

采用四层结构的材料已成功地使用于12GHz双栅、12GHz单栅及18GHz单栅GaAsFET器件的制备，并取得了12GHz单栅的  $NF=2.6\text{db}$ ,  $G_a=10\text{db}$ ; 12GHz双栅的  $NF=3.0\text{db}$ ,  $G_a=10\text{db}$ ; 18GHz单栅器件  $NF=4\text{db}$ ,  $G_a=10\text{db}$  等良好的结果。采用四层结构材料的优点特别明显地表现在器件回线现象的基本消除。这样就大大提高了材料的可用率。

## 四、问题讨论

### 1. Cr源温度与反应机理

有文章提出金属铬在  $820^{\circ}\text{C}$   $\text{H}_2$  中与  $\text{AsCl}_3$  生成  $\text{CrCl}_2$  而运输。我们从  $550^{\circ}\text{C}$  到  $850^{\circ}\text{C}$  做了一系列试验。试验证明,  $B_{Cr}$  层的含  $\text{Cr}$  量与  $\text{Cr}$  源温度, 也就是与  $\text{Cr}$  源汽化通道的最低温度有极大关系。  $B_{Cr}$  层  $\text{Cr}$  含量随着通道温度的增加而增加。当  $\text{Cr}$  温度在  $650^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$  之间时,  $B_{Cr}$  层  $\text{Cr}$  浓度达  $10^{15}/\text{cm}^3$  量级, 可满足  $B_{Cr}$  层的质量要求。随着  $\text{Cr}$  源温度的增加,  $B_{Cr}$  层补偿度也增加。但在通道温度最低处可明显看到绿色  $\text{CrCl}_3$  及黑色颗粒金属  $\text{Cr}$  的淀积物, 同时对生长纯度缓冲层产生  $\text{Cr}$  的残留效应。这表明  $\text{CrCl}_2$  饱和蒸汽的掺杂气体引进反应器的  $\text{CrCl}_2$  量是由通道的温度所决定, 而与  $\text{Cr}$  源温度本身无关。  $\text{Cr}$  源温度高, 反应量大, 但携带不过去只能发生歧化反应而淀积在通道温度最低处。在我们试验中, 发现  $\text{Cr}$  温度的最佳范围是  $650^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 。其反应机理如下:



## 2. 有源层-缓冲层界面质量的改善

在上反应室生长完双缓冲层以后要将衬底迅速的移到下面生长室(已调整好生长气氛)生长  $N$  和  $N^+$  层, 并要达到杂质分布的突变。然而这时由于温度梯变, 在移动衬底时不但有衬底温度的变化, 而且强烈引起反应室中的气流的扰动, 从而在整个沉积区里造成一个  $\text{AsCl}_3$  克分子数和含  $S$  的克分子数很不稳定的过程。这虽然是个暂短的过程, 但会生长出一个浓度分布极不稳定的过渡层—非控制层。因此衬底移到下面以后在生长  $N$  层之前先进行汽相腐蚀, 防止或去除这一层的生长, 然后再生长  $N$  层。实验结果表明  $\Delta V$  有改善, 一般在  $0.3 \sim 0.6\text{V}$ , 相应的器件参数也有明显提高。

## 3. 欧姆接触层的生长与硫的残留效应

在单反应管中生长了  $10^{18}/\text{cm}^3$  的欧姆接触层后, 由于硫的残留效应而影响下一炉缓冲层的载流子浓度, 但这个问题在双反应管中就不存在。所以可以稳定地连续的重复生长四层结构的  $\text{GaAs}$  外延片。

# 五、结 论

(1) 采用双生长室外延系统有效地克服了各种掺杂剂的相互影响, 可以稳定重复地进行掺铬缓冲层-纯度缓冲层-有源层-欧姆接触层四层外延的连续生长。这种方法生长的外延片用于制备低噪声  $\text{FET}$  获得了良好的器件参数。

(2) 将金属铬为源, 加温至  $650^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ , 用  $\text{AsCl}_3$  携带的方法能简便而有效地生长高阻掺铬缓冲层, 并且通过实验证明在一个较宽的温度范围都能生成  $\text{CrCl}_2$  而进行铬的运输。

(3) 采用双缓冲层结构以后大大减少了衬底对有源层的影响, 消除了器件回线的出现, 使得材料的可用率达  $70\%$ 。

(4) 采用生长有源层前汽相腐蚀技术, 除掉衬底移动时的非控制层, 能有效地改善材料的有源层/缓冲层界面的质量, 促使了器件参数水平的提高。

# 掺Cr高阻GaAs衬底对非掺高阻 缓冲层影响的研究

1446所 王永晨 马静 汝琼娜

在提供制作MESFET的GaAs多层外延材料中,加入高阻缓冲层,无论对提高有源层迁移率,且使其在界面处不下降,或是对消除MESFET I-V特性曲线中的回线效应和光敏效应都起了重要作用。

高阻缓冲层结构已经越来越被人们所重视。

在材料的制备中,人们发现,非掺高阻缓冲层强烈地依赖于衬底的影响。

本文从不同掺Cr量的高阻衬底对非掺缓冲层的影响,以及从退火和不退火的掺Cr衬底对非掺缓冲层的影响等方面来讨论掺Cr衬底的质量。

实验中还出现了P型高阻缓冲层,分析了它形成的原因以及对器件的影响。

通过实验分析,可以认为非掺高阻缓冲层的高阻形成是由于掺Cr衬底的“未知受主”快速向缓冲层外扩散有关。“未知受主”估计是衬底中与Cr有关的结构缺陷。

同时指出,克服掺Cr衬底对缓冲层的影响可采用掺杂高阻缓冲层。

## GaAs汽相外延中Cr的行为和 FET材料的生长

上海冶金所 彭瑞伍 江文达 孙裳珠  
徐晨梅 沈松华 柴阳

随着GaAsFET和IC的发展,高质量半绝缘(SI)GaAs单晶生长引起很大重视,其中也注意到气相外延。但对Cr掺入机理和它在GaAs中的行为报导不多,且有较大分歧。本文拟配合掺杂气相外延生长FET结构材料,对Cr在汽相和固相中的行为进行研究和讨论。

掺杂剂为元素Cr。在制备FET结构的有源层和维持一定载流子浓度时以元素S为掺杂剂。

我们根据热力学计算,认为在Ga-AsCl<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>体系中元素Cr的行为可以下列方程式表示:

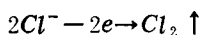
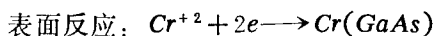
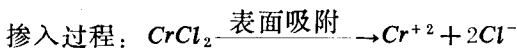
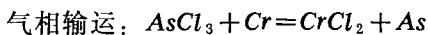


图1表示通过Cr表面的AsCl<sub>3</sub>量，即P<sub>CrCl<sub>2</sub></sub>量与GaAs外延层的电阻率的关系。从图可见，随着AsCl<sub>3</sub>量或P<sub>CrCl<sub>2</sub></sub>的增加，电阻率会出现突变，并高达10<sup>7</sup>~10<sup>8</sup>Ω-cm的数量级，成为半绝缘材料。这一出现SI电阻率的AsCl<sub>3</sub>量或P<sub>CrCl<sub>2</sub></sub>决定于系统的本底浓度和沉积温度。本底浓度愈低或沉积温度愈高都有利于SI-GaAs的生成，而制得的SI-GaAs外延层均有光亮平整的表面，良好的热稳定性和表面复合性能。

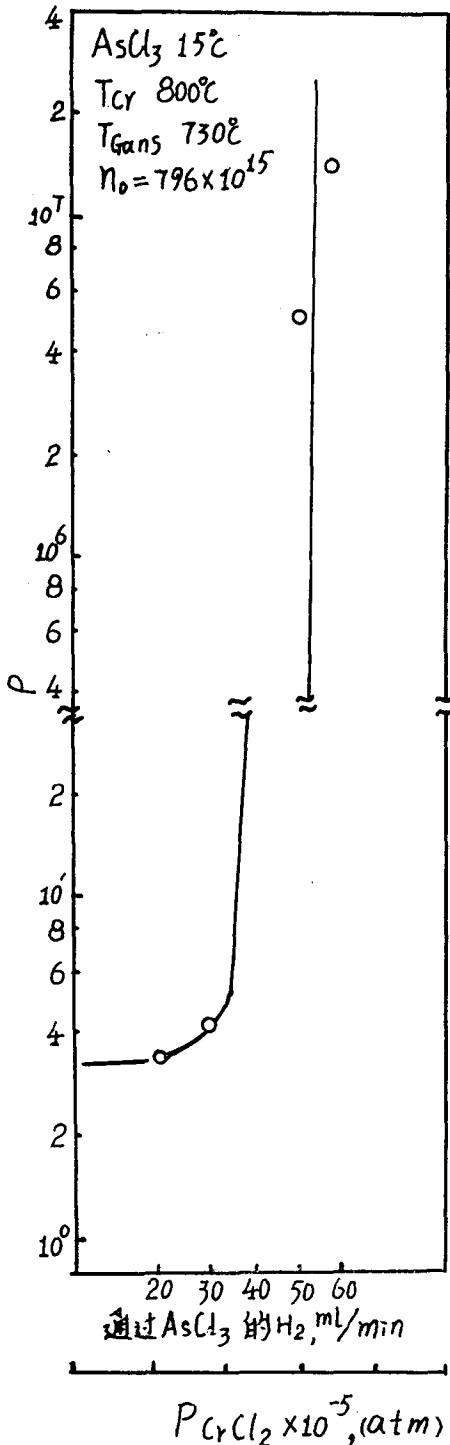


图1 气相中Cr分压对GaAs电导率的影响

从掺Cr-GaAs外延层的迁移率与浓度的关系可见，在最佳条件下本文的迁移率可以与不掺Cr-GaAs相近。这一结果似比 Bass 的为好。

根据室温和液N<sub>2</sub>温度下的迁移率，我们用 Brook-Herring 方程式计算了掺 Cr-GaAs 的 N<sub>D</sub> 和 N<sub>A</sub>，并用文献的方法进行了核算，结果见图 2。图中也画出了经我们计算的 Woodard 等的的数据。与 GaAs 中的其他掺杂元素相似，Cr 在 GaAs 中似乎也有双性和自补偿的作用，这似乎是对最近提出的“Cr 的双性作用”的一种佐证，但与我们以前应用的 Zucca 模型有出入。

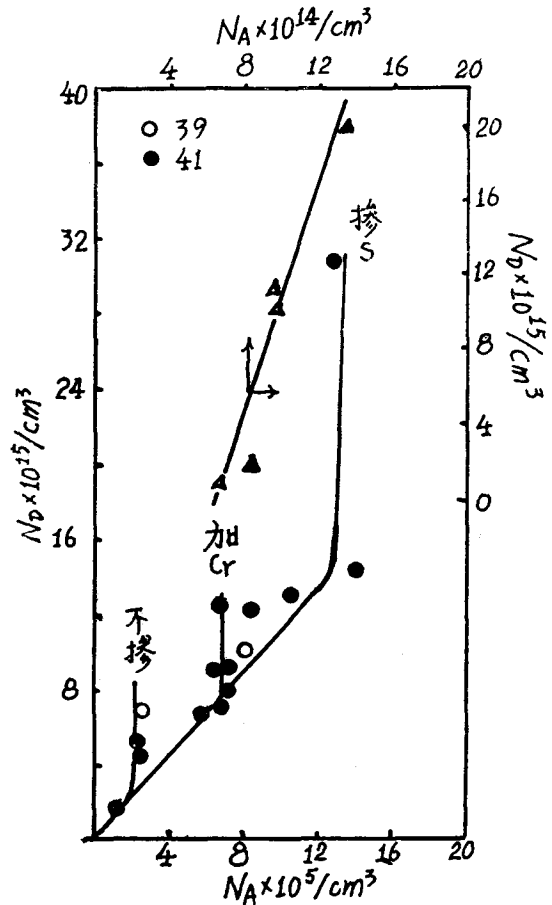


图2 不掺Cr、掺Cr和掺Cr+掺S外延层的N<sub>D</sub>~N<sub>A</sub>的关系

关于GaAs中Cr能级的浓度，或者认为它可能与电活性的Cr原子浓度相等，或者认为 $Cr^{+2}$ 浓度等于 $(EL2) + (N_D - N_A)$ 。由于我们的实验结果都不能与之符合，且(EL2)的本性尚在讨论之中，因此我们用瞬态电容法直接测定了Cr的浓度，见图3。可以看出这样测得的Cr浓度可以合理地随 $AsCl_3$ 流量和沉积温度的增加而增加。据此，得出获得SI电阻率的Cr浓度，在 $730^\circ C$ 时，为 $5 \times 10^{15}/cm^3$ ，适与Woodard等测得的Cr在GaAs中的溶解度 $2 \times 10^{15}/cm^3$ 相近，而比Bass的 $4 \times 10^{18}/cm^3$ 为低。从图3得出的Cr的分配系数约在 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 之间，远低于硫的分配系数。

根据上述掺Cr和前文掺S的结果，我们认为FET结构材料可以较容易地用气相外延的原位掺杂法制备缓冲层和有源层。前者掺Cr，以保证获到高阻；后者掺S，可以在最佳条件下减少Cr的剩余效应，获得高迁移率。这样得出的FET纵向浓度分布见图4。图4所示界面浓度分布与文献中画出的分布较为相似，因此，这种多层外延片有望制得成品率较高的FET，而掺Cr的高阻外延层有希望用于IC。

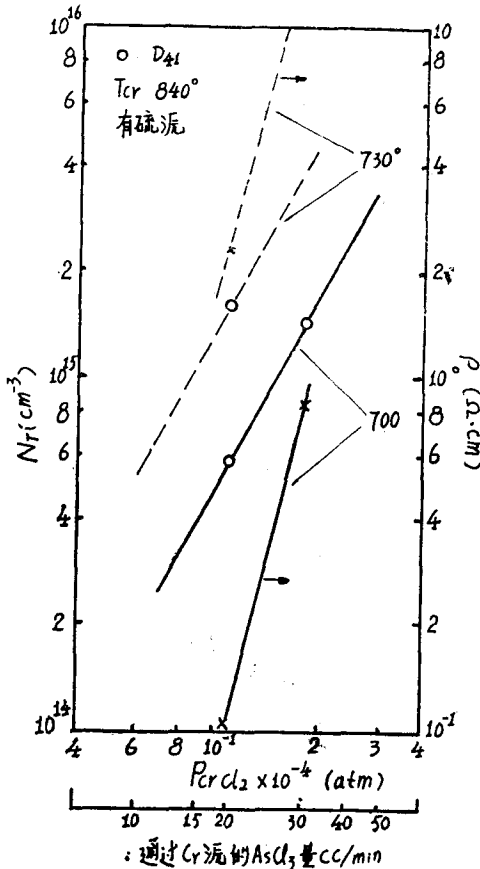


图3  $N_T$  ( $Cr^{++}$ 浓度)与气相中Cr分压的关系

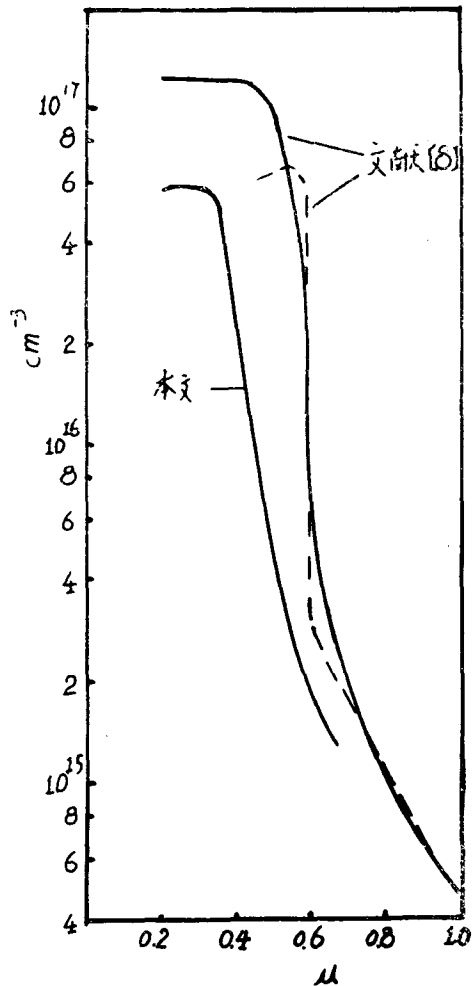


图4 掺Cr和掺S的FET结构的浓度分布

# 用光吸收法测量半绝缘GaAs中 Cr浓度的定标曲线

中国科学院半导体研究所 许振嘉 张泽华 孙伯康

半绝缘GaAs单晶是制作微波器件的基础材料,也是GaAs集成电路的重要衬底材料。Cr常用作掺杂剂以制备半绝缘GaAs体单晶。为了了解掺Cr-GaAs的纯度和均匀性,测量Cr的浓度非常必要。

G. M. Martin等指出,半绝缘GaAs中由于Cr的存在,在低于吸收边的光子能量范围产生一个吸收带。他们论证了此吸收带是由电子从价带到 $Cr^{3+}$ 态的转移( $Cr^{3+} \rightarrow Cr^{2+}$ )所引起的。当施主浓度很低时,Cr在GaAs的格点上呈中性的,即半绝缘GaAs中绝大部分Cr原子处于 $Cr^{3+}$ 态。他们的实验也证实该吸收带的强弱取决于Cr浓度的大小。因此,有可能方便地利用该吸收带的吸收系数来测量半绝缘GaAs中Cr的浓度。

我们采用了G. M. Martin等提出的论据,利用活化分析结果作定标,得到了用光吸收法测量半绝缘GaAs中Cr浓度的定标曲线。

实验中,我们将水平Bridgman法生长的不同掺Cr浓度的GaAs样品,双面磨抛成满足光吸收测量的平行镜面,样品尺寸大于 $8 \times 12 \times 2mm^3$ 。室温下在日立340型分光光度计上测量( $0.8 \sim 2.6\mu m$ )范围的透过率光谱。图1绘出了不同掺Cr浓度的GaAs透过率谱。可以看出,在波长大于 $1.8\mu m$ 处,样品透过率与Cr含量无关;而在波长小于 $1.8\mu m$ 处,样品透过率随波长减小而逐渐下降。Cr含量越高,下降的幅度越大。考虑到这是一个由Cr引起的吸收带,我们取透过率下降部分中点附近 $1.35\mu m$ 处的吸收大小来表征GaAs中Cr含量的多少。 $1.35\mu m$ 处由Cr引起的吸收系数由下式计算:

$$T = T_0 \exp(-ad) \quad (1)$$

式中 $T$ 和 $T_0$ 分别为样品在 $1.35\mu m$ 处和 $2.0\mu m$ 处的透过率, $d$ 为样品厚度(cm), $a$ 为样品在 $1.35\mu m$ 处的吸收系数( $cm^{-1}$ )。

将作过吸收测量的样品切成 $7 \times 7 \times 2mm^3$ 的大小,再用中子活化法测量其Cr浓度。

在直角坐标纸上,以横坐标为吸收系数,纵坐标为中子活化法测得的Cr浓度,描绘出实验点,如图2所示。可以看到 $N_{Cr}(ppm)$ 和 $a_{Cr}(cm^{-1})$ 之间有着线性关系。根据误差理论,用最小二乘法处理数据,可以得到如下关系式:

$$N_{Cr}(ppm) = 0.59a - 0.10 \quad (2)$$

其误差为 $\pm 0.135ppm$ 。如图2中两条虚线所示。如果换算成原子密度则为:

$$(N)_{Cr} = (2.60a - 0.46) \times 10^{16} \text{ 原子/cm}^3 \quad (3)$$

相应的误差为 $\pm 0.60 \times 10^{16} \text{ 原子/cm}^3$ 。式(2)或式(3)即为从吸收系数求Cr浓度的公式。

实验发现,当 $1.35\mu m$ 处 $a$ 小于 $6cm^{-1}$ 时, $a$ 与中子活化法测得的Cr浓度呈线性关系。但当 $a$ 大于 $6cm^{-1}$ 时, $a$ 与中子活化结果不呈线性关系,即吸收系数稍有增加,中子活化法得的Cr浓度则大大高于直线范围。我们认为这一偏离是由Cr的沉淀所引起。据报道,Cr在GaAs中的溶解度为 $\sim 10^{17} \text{ 原子/cm}^3$ 。根据本实验的定标, $6cm^{-1}$ 相当于 $1.5 \times 10^{17} \text{ 原子/cm}^3$ 。可

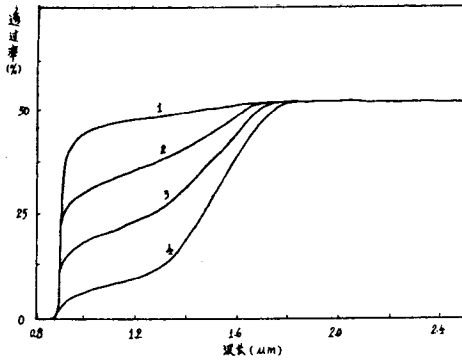


图 1 不同Cr含量的GaAs样品的透过率光谱。  
 1. 未掺杂; 2. Cr含量0.7ppm;  
 3. Cr含量1.75ppm; 4. Cr含量3.43ppm

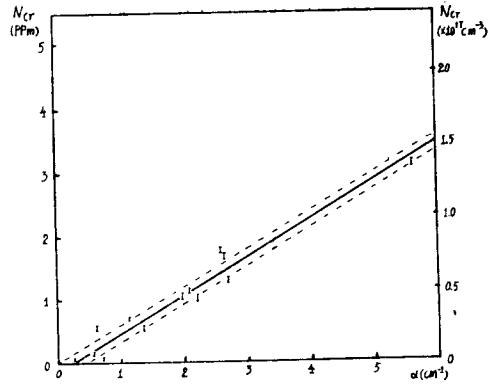


图 2 掺Cr-GaAs在1.35μm处吸收系数与Cr浓度的关系

以认为, GaAs中Cr的饱和溶解度为 $\sim 1.5 \times 10^{17}$ 原子/cm<sup>3</sup>。当Cr浓度大于这个值时, 就会产生Cr沉淀。显然, 沉淀的Cr与溶解的Cr(Cr<sup>3+</sup>)状态不同, 它们在1.35μm处对吸收的贡献也不同。因此, 用光吸收测量半绝缘GaAs中Cr浓度的上限为 $\sim 1.5 \times 10^{17}$ 原子/cm<sup>3</sup>。

此外, 当GaAs中掺入施主杂质(如Si), 可以改变Cr<sup>3+</sup>的状态, 即Cr<sup>3+</sup>俘获电子成为Cr<sup>2+</sup>、Cr<sup>1+</sup>……等状态。同时, 对于用LEC方法生长的掺Cr-GaAs, 还存在B和O的沾污问题, 这些沾污可以形成B和O等Cr的络合物。显然, 这些因素都可以影响 $\alpha(\text{cm}^{-1})$ 的测定值。因此, 本定标曲线只限于水平Bridgman法生长的半绝缘掺Cr-GaAs样品。

本实验中误差的来源除了光吸收测量和中子活化测量本身引入的误差外, 主要来自样品Cr浓度的不均匀性。光吸收测量时, 光照面积较大( $8 \times 12 \text{mm}^2$ ), 而中子活化法要求样品表面尺寸为( $7 \times 7 \text{mm}^2$ ), 两者的不一致性必然引起一定的误差。

本工作由李温言、刘冬琴和徐学敏等同志协助完成, 本所材料室、有色院、营口造纸厂提供样品, 原子能所协助作中子活化分析, 在此一并致谢。

## 半绝缘掺Cr-GaAs晶体中的微沉淀

北京有色院 孙贵如 谭丽芳 朱建



# 用羰基铁掺杂剂汽相外延砷化镓缓冲层

复旦大学 唐厚舜 余夕同 糜 玮 熊 培 陈长安

场效应晶体管一般用双层外延材料，缓冲层可以掺O、Cr、Fe或不有意掺杂。掺Cr或掺Fe半绝缘层成品率较高，但Cr的掺入量有限，仅对残留杂质低于 $10^{15}/\text{cm}^3$ 时才能补偿为半绝缘，而Fe的掺入量大得多，从 $10^{14}/\text{cm}^3$ 直到 $1.2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 的残余杂质均可补偿获得 $>10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 的外延层。鉴于前人掺铁用固体铁粉，需要反应管做成双管才可双层外延。我们想寻找液相掺杂剂，只需增加一个料瓶就可双层外延。S. J. Buss用 $\text{Cr}(\text{CO})_5$ 于金属有机化合物氢化物体系，但提到 $\text{Cr}(\text{CO})_5$ 用于氯化物体系未获成功， $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 未见报导。本文经试验，用 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 于氯化物体系也获成功，可稳定地获得 $>10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 的缓冲层。在此层上再外延掺Sn有源层构成MESFET材料。

实验： $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 是棕黄色油状液体，与三氯化砷互溶，在氢气中性能稳定。沸点 $102.8^\circ\text{C}$ ， $0^\circ\text{C}$ 时蒸汽压 $10\text{mmHg}$ ，试剂经二次重蒸馏，用 $\text{AsCl}_3$ 配成1/100的母液，使用时再稀释1/100~1/1000倍。掺杂剂 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 和 $\text{SnCl}_4$ 分别置于两只杂源料瓶，掺杂时由氢携带于镓源与衬底之间导入反应管。 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 在高温下与HCl反应， $\text{Fe}(\text{CO})_5 + \text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2 + 5\text{CO}$ ， $\text{FeCl}_2$ 在衬底区被 $\text{H}_2$ 还原成Fe进入外延层。实验表明，当残留杂质浓度为 $2 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 时，料瓶中 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 含量仅需 $10^{-5}$ ，当残留杂质浓度（有意掺杂）为 $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 时，料瓶中 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 含量为 $10^{-4}$ ，外延层电阻率 $\rho$ 亦可达到 $>10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。 $\rho$ 主要由料瓶中 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 含量来控制，当 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 含量合适，则外延时Fe掺杂源的温度和支管通氢流量一定范围的变化影响不大，均可获得 $>10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 的半绝缘层。在掺Fe缓冲层上同炉外延掺Sn有源层后，所得双层外延片经滚球染色法测量厚度，有源层为 $0.25\mu$ ，缓冲层厚为 $3\mu$ ，厚度控制的重复性也较好。对外延片经逐层腐蚀（腐蚀液： $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=2.5:2.5:7.5$ ，腐蚀速率测得为 $800\text{A}/\text{分}$ ）作霍尔测量，结果看出有源层迁移率的深度分布，有掺Fe缓冲层比无掺Fe缓冲层确有改善。外延层还作了二次离子质谱分析，明显看出两层。

结论：Fe在GaAs中是深受主，能级的位置是 $0.52\text{eV}$ ，室温电阻率可高达 $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ，典型的电阻率是 $4 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。在半导体中用深受主掺杂近似在 $P \ll (N_d - N_a) < N_i$ 的条件下空穴浓度P由

$$P \approx \left( \frac{N_i}{N_d - N_a} - 1 \right) \frac{N_v}{g} \exp\left( \frac{-E_i}{KT} \right)$$

给出，其中 $N_i$ 、 $N_d$ 、 $N_a$ 、 $N_v$ 、 $g$ 和 $E_i$ 分别是深能级受主、浅能级施主、浅受主浓度、价带态密度，与深能级Fe受主有关的简并因子和深能级活化能。由式可算得，对于 $N_d - N_a \approx 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 时，Fe的浓度即为 $10^{16}/\text{cm}^3$ ，P型电阻率也可 $>10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ ，而且根据 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 的蒸气压（mmHg）和温度T的关系

$$\log P = -1681 \times T^{-1} + 7.349$$

可算得，温度从 $0^\circ\text{C}$ 到 $20^\circ\text{C}$ 变化，蒸气压相对改变一倍，流量从 $10\text{ml}$ 到 $100\text{l}/\text{分}$ 变化，导致反应管内 $\text{FeCl}_2$ 分压仅由 $0.5\text{ppm}$ 变到 $5\text{ppm}$ ，掺入晶体中Fe浓度估计为 $10^{16}\text{cm}^{-3}$ ，而P仍很低，