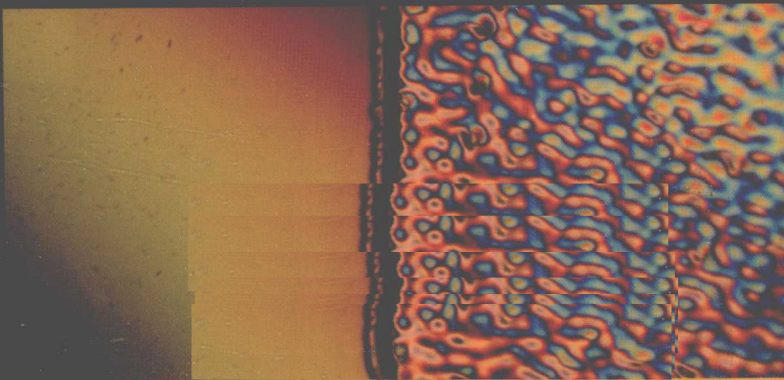




Introduction to Advanced Focal Plane Arrays

先进焦平面技术导论

何力 杨定江 倪国强 等著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

国家科学技术学术著作出版基金资助出版



先进焦平面技术导论

Introduction to Advanced Focal Plane Arrays

杨定江 倪国强 等著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

先进焦平面技术导论/何力等著. —北京:国防工业出版社, 2011. 1

ISBN 978-7-118-07120-7

I. ①先... II. ①何... III. ①芯片—设计
IV. ①TN402

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 009879 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 36 $\frac{3}{4}$ 字数 932 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 198.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

此书同时获得

总装备部国防科技图书出版基金资助

致读者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主任委员	王 峰			
副主任委员	宋家树	蔡 镭	程洪彬	
秘书长	程洪彬			
副秘书长	邢海鹰	贺 明		
委 员	于景元	才鸿年	马伟明	王小谟
(按姓氏笔画排序)				
	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	邬江兴
	刘世参	芮筱亭	李言荣	李德仁
	李德毅	杨 伟	肖志力	吴有生
	吴宏鑫	何新贵	张信威	陈良惠
	陈冀胜	周一宇	赵万生	赵凤起
	崔尔杰	韩祖南	傅惠民	魏炳波

《先进焦平面技术导论》

撰写人员名单

何 力	杨定江	倪国强	罗 辑	龚海梅
丁瑞军	陆 卫	喻松林	杨建荣	朱西安
刘 武	陈 路	李向阳	陈效双	胡晓宁
周立庆	陈思颖	赵德刚	张 燕	叶振华
郭丽伟	韩 平	胡伟达	邓 泳	魏彦锋
许金通	邵秀梅	邵 军	冯 琪	孙 浩
岳冬青	郭 磐			

序

Prologue

在军事高新技术,特别是信息技术的推动下,信息化武器装备体系得到迅速发展,使战争形态由机械化战争转变为信息化战争,从而产生一场广泛而深刻的世界性的新军事变革,争夺信息优势成为信息化战争的主要焦点。由于武器系统发展的要求,新一代的焦平面探测技术应具有更有效的目标识别能力,焦平面列阵必须具备同时、多波段的探测能力,覆盖红外、紫外双波段、三波段以上的集成探测能力,要求焦平面列阵有更大的规模和高的探测率,具有先进的信号处理和智能化的能力,实现多传感器的信号融合,提高识别距离并能发现可探测性低的和在复杂背景中的目标;要求系统质量更小、体积更小、零件更少、功耗更小、可靠性更高和成本更低。

探测器芯片是光电系统的核心部件,为发展先进的新一代光电探测系统,在中国科学院上海技术物理研究所何力研究员的技术领导下,由多个研究单位组成一批出色的科学家首次提出并开展对先进焦平面技术进行深入的全面的基础性研究,经过几年的努力,取得了一批重要的创新性研究成果。

本书总结和反映了我国科学家在光电探测器领域中所取得的最新的令人瞩目的进展,全书共分八章,包括先进焦平面技术的基本内涵、红外双色焦平面芯片设计方法、碲镉汞外延技术、铝镓氮外延技术、碲镉汞探测芯片加工工艺技术、铝镓氮探测芯片设计以及加工工艺技术、读出电路技术、系统芯片技术。该项研究选择红外探测、紫外探测技术中最具有前瞻性和战略性的硅基碲镉汞、氮化镓多色大规模焦平面探测器技术作为突破口,着力开展先进焦平面的基本概念、基础理论以及制备工艺、测试方法等创新研究,组成了基础理论、材料芯片技术基础以及系统芯片技术基础三大主体内容。

本书的一大特点是很重视先进焦平面技术的理论、设计、材料、工艺、测试等科学和技术的基础性、前沿性问题,对其进行了分析、综合和系统的探索研究,取得了重要的创新性研究成果。碲镉汞的发明已有 50 余年的历史,至今仍为红外领域的重要材料,碲镉汞薄膜材料和焦平面器件制备的难度极大,是研究中的关键问题,与碲镉汞薄膜相关的物理问题也非常复杂,是当前红外技术研究的前沿,在理论、设计、材料、工艺、测试的综合研究工作上,反映了我国在重要的红外和紫外光电子探测器理论研究上已从物理分析走向建立精确模型和仿真设计的具有工程意义的阶段。深入地解决了碲镉汞薄膜材料组分控制、均匀性、表面缺陷密

度、位错密度、掺杂技术等关键问题,提高了我国光电子技术的研究水平,在新一代焦平面光电探测芯片的基础理论及设计技术方面进入了国际前沿的行列,表明我国在材料和器件的研制技术方面已大大缩短了与国外的差距,具备了跨越式发展的基础能力。

在本书的内容中,反映出以何力为首的科学家们几年来的创新研究所取得的多项研究结果,在国际上首次完整地提出并验证了先进焦平面的基本概念和主要实现途径;碲镉汞红外双色集成探测芯片的基础理论与工艺方法;铝镓氮紫外探测芯片的基础理论与工艺方法;硅基大规模、低成本碲镉汞焦平面的基础理论与工艺方法;数字系统芯片的基础理论与工艺方法;数据融合、非线性自适应校正及具有创新性的光输出技术,一部分研究成果扩展成为国内焦平面技术新体制等。

参加本书撰写的作者都是在光电子技术领域从事研究工作的科学家,他们学术严谨、论述准确,为本书的出版做出了卓越的贡献。

中国工程院院士 苏群红

2010年10月,昆明

前言

Preface

与微波毫米波主动探测技术相比,光电成像探测技术由于在图像分辨率、被动探测模式等方面具有优势,在第二次世界大战后得到迅速发展,红外焦平面等光电成像探测器已经成为现代信息化军事装备的核心器件。在军事需求的驱动下,光电探测技术不断克服自身的限制,追求更远的探测距离,更好的目标识别能力,更高的探测速度,更好的气象战场环境条件的适应能力和更小的体积、功耗,更低的制造以及应用成本已经成为成像探测器技术发展的主流趋势。

针对光学成像探测技术的发展需求,在三代红外焦平面概念的基础上,本书作者根据技术的最新发展,围绕高灵敏度远距离目标探测和识别、复杂背景适用性以及集成化、智能化等应用需求,提出了先进焦平面技术的基本框架构想,其主要概念是使用超大规模集成化探测芯片,实现对多个波段上的目标光谱进行同时探测并能够完成像素(行)级模数转换、数字传输以及数据处理等多种系统功能。作者在红外、紫外波段上,以碲镉汞以及铝镓氮探测器和数据融合技术发展为主线,对所涉及的主要理论基础、实现方法以及关键技术等开展了技术验证性基础研究。应该指出的是,先进焦平面技术的广义内涵十分丰富,在探测谱段上覆盖了红外到紫外波段,覆盖了宽带探测到多光谱、超光谱(细分光谱)探测;在光谱信息探测上,覆盖了能量探测以及偏振、相位探测;在探测模式上,覆盖了被动探测以及主动和主动被动双模探测;在探测器类型上,覆盖了光子型探测器以及热型非制冷探测器;在探测器材料上,覆盖了从碲镉汞、铟化镓材料到铝镓砷、铟镓砷、铟镓砷/铝镓铟、氧化钒、非晶硅或铁电等多种材料;结构上从三维结构到量子阱、量子点以及超晶格等低维结构。随着科学技术的不断发展,新的概念将不断涌现,这些新技术不断丰富着先进焦平面技术探测器芯片内涵。本书没有试图也无法涵盖所有这些技术的研究进展,但这些新技术也能够作为本书所讨论的先进焦平面探测芯片概念的延伸和扩展。

本书扼要介绍了相关领域的基本概念、国内外研究进展概况和技术发展趋势,着重概括了作者在先进红外、紫外焦平面基础理论、工艺技术以及数据融合、处理技术等方面的研究成果。全书共分为八章,第1章回顾了红外探测器技术的发展历程和趋势,分析了先进焦平面技术的由来和基本概念,为更好地认识、理解后续章节内容提供入门导读。第2章论述了双色或双谱段红外焦平面芯片的数值设计方法。第3章和第4章,针对超大规模、双色或双谱段红外或紫外探测的

需求,分别描述了硅基碲镉汞和铝镓氮多层材料的工艺技术。第5章和第6章分别介绍了碲镉汞红外多色和铝镓氮紫外焦平面芯片加工技术。第7章的内容为双色焦平面的读出电路设计技术,阐述了多输入级和数字传输芯片的设计方法和结果。第8章介绍了系统级芯片技术的基本技术框架,介绍了光输出、非均匀性校正、数据融合算法和实现的最新结果。

本书的目的在于为从事红外、紫外光电探测器以及系统应用技术,数据处理、融合技术的科研人员、大专院校研究生,提供较为深入了解本领域的专业基础、技术进展和发展趋势的参考。光电探测技术的发展十分迅速,本书介绍的内容与先进焦平面技术的概念一样,正在迅速完善,结果不断更新和提高。故此,本书只是阐述了作者在相关领域中取得的当前部分进展,没有试图涵盖或追求完整的先进焦平面体系的所有方面,重点是给出相关重点的技术现状和发展方向。本书在构成上力求在基础知识、基本概念和国内外最新研究成果方面有一定的介绍,在若干专业技术领域有一定的深入,并保持二者的合理平衡以兼顾不同的读者需求。限于作者的能力和水平,在全书构成、观点以及内容上,如有不妥之处请读者谅解。

国内外科学家在光电成像探测器以及应用技术领域所取得的快速进展,在理论上和工艺技术上极大地提高了作者对先进焦平面关键技术的认识,为本项目奠定了很好的基础和引导。首先,作者感谢苏君红院士、孙再龙、梅遂生、朱晓池、张蜀平、樊邦奎、蔡毅、蒋亚东、王英瑞、吕昕等光电探测器以及应用技术领域的专家学者多年来对本书所述的先进焦平面技术研究的一贯的关心、鼓舞和技术上的指导性、启发性、批判性讨论,他们的丰富学识,在科学技术上的判断力和一丝不苟的严谨学风帮助了作者更好地把握技术发展方向,影响和加速了作者攻克技术难题的进程。感谢方家熊院士、褚君浩院士、戴宁、李言谨、李志锋、周孝好、倪云芝、谢自力、江若璉等专家学者以及作者的同事、研究生等对本项研究所做出的重要贡献,部分人员的名字在参考文献中列出,这里不再一一列举。作者感谢杜旻、周也方、戴书荣、汪玲、蒋建忠、侯惠民、殷建军在本项研究中所付出的大量管理和协调支持,感谢陈良惠院士等专家对本书的热情肯定和细致的修改意见,他们的工作让作者受益匪浅。作者特别感谢潘建珍多年来为本项研究所付出的大量精力和大量管理性、协调性、事务性的细致周到工作,本书最后的文字编审、编排工作是由她为主完成的。

2010年10月,上海

目录

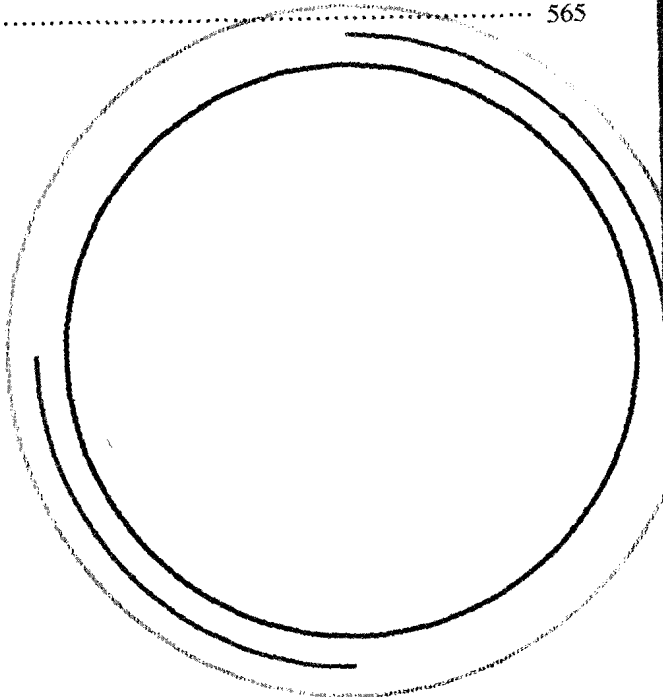
Contents

第1章 先进焦平面技术的基本内涵	1
1.1 红外成像探测器历史沿革和发展趋势	1
1.2 先进焦平面技术框架	3
1.2.1 先进焦平面技术内涵	3
1.2.2 通过提高空间分辨率和探测灵敏度提高目标探测和识别距离	5
1.2.3 通过多色、多谱段集成探测手段提高目标识别距离	9
1.2.4 通过光信号传输、数字处理芯片手段提高集成化、智能化水平	11
本章小结	12
参考文献	12
第2章 碲镉汞红外探测器数值设计方法	13
2.1 概述	13
2.2 碲镉汞红外探测器数值模拟和设计	13
2.2.1 碲镉汞探测器基础	14
2.2.2 碲镉汞红外探测器数值计算	22
2.3 碲镉汞材料、芯片参数提取方法	71
2.3.1 碲镉汞材料参数提取	71
2.3.2 基于电学方法的碲镉汞芯片参数提取	87
2.3.3 基于光电方法的碲镉汞芯片参数提取	97
本章小结	105
参考文献	105
第3章 硅基碲化镉复合衬底技术以及碲镉汞外延技术	111
3.1 概述	111
3.2 硅基碲镉汞外延的若干基础模型	112
3.2.1 硅基表面选择性生长的物理模型(表面 As 钝化的机理)	112
3.2.2 硅基 ZnTe/CdTe 外延的原子分布模型	118
3.2.3 碲镉汞材料中的 As 杂质形态	123
3.2.4 p 型掺杂的两性行为	133
3.3 硅基碲镉汞分子束外延技术	146
3.3.1 硅基 ZnTe/CdTe 缓冲层的分子束外延技术	146

3.3.2	大面积硅基碲镉汞分子束外延技术	155
3.3.3	碲镉汞分子束外延掺杂技术	161
3.4	硅基碲镉汞液相外延技术	174
3.4.1	硅基 CdTe 复合衬底的表面处理技术	175
3.4.2	液相外延工艺的调整	177
3.4.3	碲镉汞液相外延材料的基本性能	179
3.4.4	存在问题及分析	184
3.5	硅基碲镉汞材料的热应力分析	186
3.5.1	硅基碲镉汞材料光谱特性的测量	187
3.5.2	多层结构材料应力状态的理论分析	189
	本章小结	193
	参考文献	194
第 4 章	铝镓氮外延技术	204
4.1	概述	204
4.2	氮化镓材料的基本性质以及主要制备基础	204
4.2.1	氮化镓材料的基本性质以及在紫外探测器中的应用	205
4.2.2	MOCVD 外延生长系统以及在位监测方法	206
4.3	铝镓氮材料 MOCVD 外延生长技术	212
4.3.1	GaN 缓冲层上的铝镓氮外延技术	213
4.3.2	AlN 缓冲层以及铝镓氮外延技术	224
4.3.3	氮化镓材料的 p 型掺杂技术	235
4.4	铝镓氮材料综合性能分析	238
4.4.1	位错对 GaN 材料的光学、电学性质的影响	238
4.4.2	AlGaN 材料的 Al 组分测量与应变状态确定	242
4.4.3	高 Al 组分 AlGaN 材料的组分均匀性	245
4.4.4	AlGaN 材料的氧化现象	248
	本章小结	250
	参考文献	251
第 5 章	碲镉汞探测器芯片技术	259
5.1	概述	259
5.2	碲镉汞探测器芯片加工技术	259
5.2.1	碲镉汞微台面阵列隔离技术	260
5.2.2	微台面光刻技术	296
5.2.3	微台面阵列的高质量侧壁钝化技术	298
5.2.4	微台面阵列的金属化技术	302
5.2.5	微台面阵列的钢柱制备与混成互连技术	306
5.3	双色微台面探测芯片	310
5.3.1	双色探测芯片结构的选型	310
5.3.2	双色碲镉汞微台面探测器的制备	312

5.4 硅基碲镉汞加工工艺技术	315
5.4.1 硅基碲镉汞应力分析以及结构设计	315
5.4.2 硅基碲镉汞3英寸晶圆的应力芯片低损伤加工技术	319
本章小结	322
参考文献	324
 第6章 铝镓氮焦平面探测器芯片技术	328
6.1 概述	328
6.2 铝镓氮 p-i-n 型日盲紫外探测器的响应模型及设计	328
6.2.1 AlGaIn 薄膜材料材料参数	329
6.2.2 AlGaIn 异质结 p-i-n 探测器的响应模型及设计	329
6.3 铝镓氮共振增强型紫外探测器	336
6.3.1 共振增强型紫外探测器的基本结构	336
6.3.2 共振增强型紫外探测器的设计与实验	337
6.4 铝镓氮探测器芯片加工技术	345
6.4.1 微台面形成技术	345
6.4.2 芯片的钝化	359
6.4.3 欧姆接触技术	361
6.5 铝镓氮探测器的辐照效应	383
6.5.1 质子辐照效应	383
6.5.2 电子辐照效应	385
6.5.3 γ 辐照效应	388
6.5.4 GaN 基紫外探测器的抗辐照研究	390
6.6 紫外焦平面组件的成像及其应用	395
6.6.1 对氢氧焰灼烧的石英管的成像	395
6.6.2 对上海市区某轻轨和高架路的可见盲紫外图像	395
6.6.3 对室外远景物体的成像	396
6.6.4 海洋溢油的航空紫外图像	397
本章小结	397
参考文献	398
 第7章 读出电路及焦平面测试技术	405
7.1 概述	405
7.2 读出电路基本概念和发展趋势	405
7.3 双色读出电路技术	407
7.3.1 常见的双色信号读出电路结构	409
7.3.2 同时模式双色信号读出电路实现	416
7.3.3 红外双色读出电路和紫外读出电路设计示例	419
7.4 数字传输芯片技术	429
7.4.1 焦平面数字化的框架	430
7.4.2 焦平面片上 ADC 电路算法	433

7.4.3 焦平面片上 ADC 电路设计实现	439
7.5 焦平面测试技术	473
7.5.1 红外焦平面参数测试	473
7.5.2 紫外焦平面参数测试	478
本章小结	479
参考文献	480
第 8 章 系统级芯片技术	482
8.1 概述	482
8.2 系统级封装的基本概念以及技术趋势	482
8.2.1 SiP 技术	484
8.2.2 系统芯片的片上智能实时处理系统的实现途径	487
8.3 焦平面数据无线光输出的基本概念与实现方法	492
8.3.1 焦平面无线光输出的基本概念	493
8.3.2 光输出方法概述	494
8.3.3 串行红外数据通信技术	496
8.4 焦平面非均匀性校正及其算法实现	506
8.4.1 焦平面非均匀性校正的概述	507
8.4.2 基于定标的焦平面非均匀性校正算法	508
8.4.3 基于场景的焦平面非均匀性校正算法	508
8.5 多波段数据融合的基本概念与算法实现	525
8.5.1 多波段数据融合概述	525
8.5.2 多波段图像融合先进算法	526
8.5.3 基于 DSP 的多波段数据融合算法的实现	557
8.5.4 基于 FPGA 的多波段数据融合算法的实时实现	559
本章小结	564
参考文献	565



Contents

Chapter 1 Basic concepts and outline of advanced focal plane array	1
1.1 History and development of IR detectors	1
1.2 Technical frame of advanced focal plane array	3
1.2.1 Technical contents of advanced focal plane array	3
1.2.2 Enhance of detection and identification distance by increasing space resolution and sensitivity of detectors	5
1.2.3 Enhance of identification distance by using multi-color detection technique	9
1.2.4 Integrating and intelligitizing by using light communication and digital processing on chip	11
Summary	12
References	12
 Chapter 2 Design method for HgCdTe IR detector	 13
2.1 Overview	13
2.2 Numerical simulation and design of HgCdTe IR detector	13
2.2.1 General theory of photodetectors	14
2.2.2 Numerical simulation of HgCdTe IR detectors	22
2.3 Parameter extraction and characterization methods of HgCdTe material and chips	71
2.3.1 Parameter extraction of HgCdTe materials	71
2.3.2 Electrical-method parameter extractions	87
2.3.3 Optic-electron-method parameter extractions	97
Summary	105
References	105
 Chapter 3 CdTe /Si composite substrates and HgCdTe epitaxy	 111
3.1 Overview	111
3.2 Basic model of Si-based HgCdTe epitaxy	112
3.2.1 Physical model of selective growth on Si surface (mechanism of As passivation)	112
3.2.2 Atom distribution model of Si-based ZnTe/CdTe epitaxy	118
3.2.3 Configuration of As in HgCdTe materials	123

3.2.4	Double conductive behaviors of HgCdTe ptype-doping	133
3.3	Molecular beam epitaxy technique of Si-based HgCdTe films	146
3.3.1	Molecular beam epitaxy of Si-based ZnTe/CdTe buffer layers	146
3.3.2	Molecular beam epitaxy of large size HgCdTe materials	155
3.3.3	Doping technique of HgCdTe molecular beam epitaxy	161
3.4	HgCdTe liquid phase epitaxy technique on Si-based composite substrates	174
3.4.1	Surface treatment of Si-based CdTe composite substrates	175
3.4.2	Technologic improvement of liquid phase epitaxy	177
3.4.3	Basic performance of Si-based HgCdTe films grown by LPE	179
3.4.4	Analysis of some problems to be solved	184
3.5	Thermal stress of Si-based HgCdTe materials	186
3.5.1	Spectral characteristics of Si-based HgCdTe materials	187
3.5.2	Theoretical analysis of stress of multilayer structure materials	189
	Summary	193
	References	194
Chapter 4	Aluminum gallium nitride epitaxy	204
4.1	Overview	204
4.2	Properties of gallium nitride based material, its main fabrication methods and characterization	204
4.2.1	Properties of gallium nitride based material and its application for UV detection	205
4.2.2	MOCVD epitaxy growth system and in situ monitoring technique	206
4.3	MOCVD epitaxy technique of AlGa _N materials	212
4.3.1	Epitaxy on Ga _N buffer layer	213
4.3.2	Epitaxy on Al _N buffer layer	224
4.3.3	ptype doping in Ga _N based material	235
4.4	Properties of AlGa _N material	238
4.4.1	Dislocation influence on Ga _N optical properties and electrical properties	238
4.4.2	Al content measurements and related AlGa _N properties	242
4.4.3	On composition uniformity of AlGa _N material with high Al content	245
4.4.4	Oxidation of AlGa _N	248
	Summary	250
	References	251
Chapter 5	Advanced HgCdTe FPAs fabrication	259
5.1	Overview	259
5.2	Fabrication technique of HgCdTe high aspect-ratio mesa arrays	259
5.2.1	Techniques of HgCdTe mesa-array delineation	260
5.2.2	Photolithograph technology of high aspect-ratio mesa arrays	296
5.2.3	Side-wall passivation of mesa arrays	298

5.2.4	Side-wall metallization of mesa arrays	302
5.2.5	Flip-chip hybridization of mesa IRFPA	306
5.3	Two-color infrared focal plane arrays	310
5.3.1	Cross-section of two-color detector	310
5.3.2	Fabrication of two-color infrared focal plane arrays	312
5.4	Novel technology of HgCdTe-on-silicon IRFPA	315
5.4.1	Thermal-mismatch stress analysis and configuration design of HgCdTe-on-silicon IRFPA	315
5.4.2	Low-damage fabrication and characterization of 3-inch HgCdTe-on-silicon detectors	319
	Summary	322
	References	324
Chapter 6	AlGa_N UV FPAs fabrication	328
6.1	Overview	328
6.2	AlGa _N UV p-i-n detector	328
6.2.1	Response model and design of AlGa _N p-i-n solar-blind UV detector	329
6.2.2	Research progress of GaN-based UV p-i-n detector	329
6.3	AlGa _N resonant cavity enhanced (RCE) UV detector	336
6.3.1	Basic structure of RCE UV detector	336
6.3.2	Design and fabrication of RCE UV detector	337
6.4	Fabrication technique of AlGa _N detector	345
6.4.1	Mesa etch technique	345
6.4.2	Passivation and surface treatment	359
6.4.3	Ohmic contact	361
6.5	Irradiation effect on AlGa _N detector	383
6.5.1	Proton irradiation effect	383
6.5.2	Electron irradiation effect	385
6.5.3	Gamma irradiation effect	388
6.5.4	Anti-irradiation study of GaN-based UV detector	390
6.6	Imaging by UV focal plane components and its applications	395
6.6.1	Imaging of quartz tube burned by hydrogen flame	395
6.6.2	The visible-blind UV imaging of Shanghai urban light rail and the viaduct	395
6.6.3	Imaging of distant objects on the outdoor	396
6.6.4	Aviation UV imaging of oil spilled on the seaside	397
	Summary	397
	References	398
Chapter 7	Readout integrated circuits and testing methods for advanced focal plane arrays	405
7.1	Overview	405
7.2	Introduction and development trends for readout integrated circuits	405