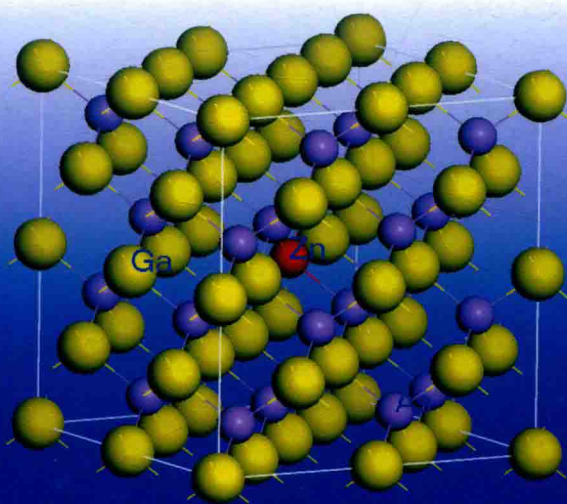


“十二五”国家重点图书出版规划项目

光学与光子学丛书

GaAs基光电阴极

常本康 著



科学出版社

光学与光子学丛书

GaAs 基光电阴极

常本康 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是一部论述 GaAs 基光电阴极的专著,是作者承担国家科研项目的总结。全书共 12 章,介绍三代微光像增强器、数字微光器件与电子源、GaAs 基光电阴极的发展概况;研究 GaAs 光电阴极的光电发射与光谱响应理论、多信息量测控与评估系统、激活工艺及其优化;研究 GaAs 基光电阴极中电子与原子结构;提出变组分变掺杂 GaAs 基光电阴极物理概念,探索反射式和透射式变掺杂宽带响应 GaAs、窄带响应 GaAlAs 和近红外响应 InGaAs 光电阴极理论,在微光像增强器中进行实践,并分析 GaAs 光电阴极及像增强器的分辨力;最后针对新一代微光像增强器研究,对 GaAs 基光电阴极的相关研究进行回顾与展望。

本书可作为大专院校光学工程、电子科学与技术 and 光信息科学与技术等专业的本科生和研究生教学用书,可供从事光电阴极及电子源研究的科研人员和工程技术人员、教师阅读,也可供从事光电阴极及电子源生产以及使用光电器件或电子枪的有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

GaAs 基光电阴极/常本康著. —北京: 科学出版社, 2017.6

(光学与光子学丛书)

ISBN 978-7-03-053099-8

I. ①G… II. ①常… III. ①光电阴极 IV. ①O462.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017) 第 123296 号

责任编辑: 刘凤娟 / 责任校对: 张凤琴

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 49 插页: 12

字数: 988 000

定价: **360.00 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本丛书名由中国科学院院士母国光先生题写

光学与光子学丛书

《光学与光子学丛书》编委会

主 编 周炳琨

副主编 郭光灿 龚旗煌 朱健强

编 委 (按姓氏拼音排序)

陈家璧	高志山	贺安之	姜会林	李淳飞
廖宁放	刘 旭	刘智深	陆 卫	吕乃光
吕志伟	梅 霆	倪国强	饶瑞中	宋菲君
苏显渝	孙雨南	魏志义	相里斌	徐 雷
宣 丽	杨怀江	杨坤涛	郁道银	袁小聪
张存林	张书练	张卫平	张雨东	赵建林
赵 卫	朱晓农			

前 言

夜视技术是利用夜间天空辐射对目标的照射,或利用地球表面景物的自身热辐射,借助科学仪器观察景物图像,其核心是传感器技术,目前夜视成像器材主要有微光像增强器、电子有源像素传感器与红外探测器三类。

微光夜视系统发展于 20 世纪 60 年代,它利用目标反射的星光、月光和大气辉光,通过微光像增强器的增强达到人眼能进行观察的目的。微光像增强器是通过光电阴极进行光电转换,NEA GaAs 光电阴极自 1965 年发明以来,就成为微光探测器件和自旋电子源的关键材料。然而,由于西方对我国的禁运,在微光像增强器中应用的 NEA GaAs 光电阴极材料的设计、制备、评价工作只能依靠我国科技工作者的自身努力。

为了适应光电发射材料的新变化,必须综合介绍 GaAs 光电阴极的基础知识和工作原理,以及重要的参考文献,2012 年,我出版了《GaAs 光电阴极》。此后四年,在探测器概念与性能方面有了重大突破,特别是电子有源像素传感器与电子源中的 GaAs 基光电阴极的应用,促使我对本书内容进行修订。由于增加了窄带响应 GaAlAs、近红外响应 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光电阴极等内容,在本书再版出版时将书名修改为《GaAs 基光电阴极》。

本书是我承担国家多项 NEA GaAs 基光电阴极科研项目所开展的原创性研究工作的总结,也是融合我指导的数十篇硕士和博士学位论文编著而成。全书共 12 章,第 1 章介绍三代微光像增强器、电子有源像素传感器、自旋电子源以及 GaAs 光电阴极国内外研究现状;第 2 章介绍 GaAs 和 GaAlAs 材料的一般性质;第 3 章介绍 GaAs 光电阴极光电发射过程、电子能量分布,均匀掺杂 GaAs 光电阴极量子效率公式的推导, GaAs 光电阴极性能参量对量子效率的影响和评估;第 4 章介绍 GaAs 光电阴极多信息量测控与评估系统的设计及研制;第 5 章介绍 GaAs 光电阴极 Cs-O 激活机理,激活过程中多信息量监控, Cs、O 激活工艺及其优化,讨论 GaAs 光电阴极的稳定性;第 6 章介绍 GaAs 基光电阴极中电子与原子结构的研究方法与理论基础, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 光电阴极结构设计,表面净化和 Cs、O 激活;第 7 章介绍窄带响应 GaAlAs 光电阴极的设计、制备与性能评估;第 8 章介绍反射式变掺杂 GaAs 光电阴极能带结构理论,量子效率理论,材料外延生长、设计、制备与评价方法,介绍宽带响应反射式变掺杂 GaAs 基光电阴极以及反射式模拟透射式变掺杂 GaAs 光电阴极设计与实验;第 9 章介绍透射式变掺杂 GaAs 光电阴极能带结构与材料设计,变掺杂 GaAlAs/GaAs 材料与组件的性能测试、光学性

质与结构模拟、激活, 阴极组件光学性能对微光像增强器光谱响应的影响、组件工艺对 GaAs 材料性能的影响以及微光像增强器的光谱灵敏度性能评估; 第 10 章介绍 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光电阴极研究现状及材料基本性质、结构分析、结构设计与制备工艺, InGaAs/InP 和 InGaAs/GaAs 半导体材料结构设计与制备工艺及性能评估; 第 11 章介绍 GaAs 光电阴极及像增强器的分辨力; 第 12 章是回顾与展望, 简单介绍新一代 III-V 半导体光电发射材料光电阴极的研究设想。全书的重点是变组分变掺杂 GaAs 基光电阴极理论、激活技术、多信息量测试与评估。

本书承蒙微光夜视技术重点实验室学术委员会主任苏君红院士与南京大学郑有料院士推荐出版, 在此表示衷心感谢。

在本书即将出版之际, 感谢国家自然科学基金委员会对项目研究的资助, 一个重大研究计划 (91433108) 和三个面上项目 (60678043, 60871012 和 61171042) 奠定了本书的主要内容; 感谢政府部门和有关研究机构对该研究领域的资助; 同时要感谢微光夜视技术重点实验室在项目 (BJ2014002) 及实验方面的支持。

此外, 要感谢项目组的魏殿修教授、徐登高教授、杨国伟教授、钱芸生教授、邹继军教授、刘磊教授、宗志园副研究员、高频高级工程师、富容国副教授、邱亚峰副教授和詹启海工程师; 感谢宗志园博士、钱芸生博士、李蔚博士、杜晓晴博士、刘磊博士、傅文红博士、邹继军博士、杨智博士、牛军博士、陈亮博士、张益军博士、崔东旭博士、石峰博士、赵静博士、任玲博士、王晓晖博士、李飙博士、杜玉杰博士、付小倩博士、徐源博士、王洪刚博士、鱼晓华博士、陈鑫龙博士、金睦淳博士、郝广辉博士、郭婧博士、杨明珠博士、王贵圆博士、Tran Hong Cam 博士, 杜玉杰硕士、李敏硕士、王惠硕士、欧玉平硕士、王旭硕士、季晖硕士、夏扬硕士、顾燕硕士、叶钧硕士、侯瑞丽硕士、王勇硕士、郭向阳硕士等, 在 GaAs 基光电阴极研究已经走过的 21 年中, 你们的出色工作和创新成果, 使得我们如期完成了三代微光像增强器 GaAs 光电阴极的研究; 完成了透射式变掺杂宽带响应 GaAs、窄带响应 GaAlAs 和近红外响应 InGaAs 光电阴极的理论和实验探索。

GaAs 基光电阴极仍然在发展之中, 尚有许多科学问题没有解决, 由于作者水平有限, 书中难免存在不足之处, 殷切希望各位专家和广大读者批评指正。

作 者

2016 年 6 月 16 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 三代微光像增强器简介	1
1.1.1 三代微光像增强器的基本原理	1
1.1.2 GaAlAs/GaAs 光电阴极	4
1.1.3 微通道板	5
1.1.4 积分灵敏度	6
1.1.5 分辨力、MTF	6
1.1.6 信噪比	7
1.1.7 三代微光像增强器的应用领域	8
1.1.8 三代微光像增强器的国内外发展现状	11
1.2 数字微光器件与电子源中的 GaAs 基光电阴极	13
1.2.1 数字微光器件	13
1.2.2 电子源	21
1.3 GaAs 光电阴极的发展概况	23
1.3.1 GaAs 光电阴极的发现及特点	23
1.3.2 GaAs 光电阴极的制备	24
1.4 GaAs 光电阴极国内外研究现状	27
1.4.1 GaAs 光电阴极材料特性	28
1.4.2 GaAs 光电阴极激活工艺的研究	29
1.4.3 GaAs 光电阴极的稳定性研究	31
1.4.4 GaAs 光电阴极表面模型研究	32
1.5 国内外 GaAs 光电阴极性能现状	36
1.5.1 国外 GaAs 光电阴极技术水平现状	36
1.5.2 国内 GaAs 光电阴极技术水平现状	39
1.5.3 国内外 GaAs 光电阴极的光谱响应特性比较	40
参考文献	42
第 2 章 GaAs 和 GaAlAs 光电阴极材料	51
2.1 GaAs 材料的性质	51
2.1.1 GaAs 的物理和热学性质	51
2.1.2 GaAs 的电阻率和载流子浓度	53

2.1.3	GaAs 中载流子离化率	54
2.1.4	GaAs 中电子的迁移率、扩散和寿命	55
2.1.5	GaAs 中空穴的迁移率、扩散和寿命	57
2.1.6	GaAs 的能带间隙	60
2.1.7	GaAs 的光学函数	61
2.1.8	GaAs 的红外吸收	66
2.1.9	GaAs 的光致发光谱	68
2.1.10	GaAs 中缺陷和缺陷的红外映像图	72
2.1.11	GaAs 的表面结构和氧化	76
2.1.12	GaAs 的湿法腐蚀速率	78
2.1.13	GaAs 的界面和接触	79
2.2	GaAlAs 材料的一般性能	81
2.2.1	GaAlAs 中的缺陷能级	81
2.2.2	GaAlAs 中的 DX 缺陷中心	85
2.2.3	GaAlAs 的光致发光谱	89
2.2.4	GaAlAs 的电子迁移率	91
2.2.5	LPE GaAlAs 中的载流子浓度	93
2.2.6	MOCVD GaAlAs 的载流子浓度	94
2.2.7	MBE GaAlAs 的载流子浓度	95
2.2.8	反应离子和反应离子束对 GaAlAs 的腐蚀速度	96
2.2.9	LPE GaAlAs 的光学函数	97
	参考文献	110
第 3 章	GaAs 光电阴极的光电发射与光谱响应理论	111
3.1	GaAs 光电阴极光电发射过程	111
3.1.1	光电子激发	111
3.1.2	光电子往光电阴极表面的输运	113
3.1.3	光电子隧穿表面势垒	115
3.2	GaAs 光电阴极电子能量分布	119
3.2.1	透射式光电阴极电子能量分布	119
3.2.2	反射式光电阴极电子能量分布	123
3.3	GaAs 光电阴极量子效率公式的推导	128
3.3.1	反射式 GaAs 光电阴极	128
3.3.2	背面光照下的透射式 GaAs 光电阴极	129
3.3.3	正面光照下的透射式 GaAs 光电阴极	130
3.3.4	考虑 Γ 、 L 能谷及热电子发射的量子效率公式	131

3.3.5	考虑前表面复合速率的量子效率公式推导	135
3.4	GaAs 光电阴极性能参量对量子效率的影响	140
3.4.1	电子表面逸出几率	140
3.4.2	电子扩散长度	140
3.4.3	光电阴极厚度	140
3.4.4	前表面复合速率	142
3.4.5	后界面复合速率	143
3.4.6	吸收系数	145
3.5	GaAs 光电阴极性能参量的评估	146
3.5.1	P 、 L_D 、 S_{fv} 和 S_v 值的确定	146
3.5.2	积分灵敏度的计算	147
	参考文献	148
第 4 章	GaAs 光电阴极多信息量测控与评估系统	152
4.1	GaAs 光电阴极多信息量测控与评估系统的设计	152
4.1.1	Cs 源电流的原位监测和记录	152
4.1.2	O 源电流的原位监测和记录	152
4.1.3	超高真空系统真空度的原位监测和记录	153
4.1.4	光电阴极光电流的原位监测和记录	153
4.1.5	光电阴极光谱响应的原位监测和记录	154
4.2	超高真空激活系统	154
4.2.1	超高真空激活系统的结构和性能	155
4.2.2	超高真空的获取	158
4.2.3	超高真空系统与国外的差距	159
4.3	多信息量在线监控系统的构建	159
4.4	光谱响应测试仪	163
4.4.1	光谱响应测试原理	163
4.4.2	光谱响应测试仪的硬件结构	165
4.4.3	光谱响应测试仪的软件编制	168
4.4.4	光谱响应测试方式	173
4.5	在线量子效率测试与自动激活系统	174
4.5.1	系统结构	174
4.5.2	系统硬件设计	176
4.5.3	自动激活策略	180
4.5.4	软件设计	183
4.5.5	实验与结果	193

4.5.6	自动激活与人工激活对比性实验	195
4.6	GaAs 光电阴极表面分析系统	197
4.6.1	X 射线光电子能谱仪	197
4.6.2	紫外光电子能谱仪	199
4.6.3	变角 XPS 表面分析技术	200
4.7	超高真空的残气分析系统	202
4.7.1	四极质谱仪原理与结构	202
4.7.2	HAL201 残余气体分析仪软件	203
4.7.3	超高真空的残气分析	204
4.8	研制的 GaAs 光电阴极多信息量测试与评估系统	210
	参考文献	212
第 5 章	反射式 GaAs 光电阴极的激活工艺及其优化研究	214
5.1	反射式 GaAs 光电阴极激活工艺概述	214
5.2	Cs 源、O 源的除气工艺	215
5.3	GaAs 表面的净化工艺研究	216
5.3.1	化学清洗工艺	217
5.3.2	加热净化工艺的优化设计	218
5.3.3	GaAs(100) 面净化后的表面模型	219
5.3.4	材料表面净化与 XPS 分析试验	221
5.4	GaAs 光电阴极 Cs-O 激活机理	223
5.4.1	[GaAs(Zn):Cs]:O-Cs 光电发射模型	224
5.4.2	在 Cs-O 激活中掺 Zn 的富砷 GaAs(100)(2×4) 表面的演变	225
5.4.3	基于 [GaAs(Zn):Cs]:O-Cs 模型的计算	228
5.5	GaAs 光电阴极激活过程中多信息量监控	240
5.6	GaAs 光电阴极的 Cs、O 激活工艺及其优化研究	241
5.6.1	首次进 Cs 量对光电阴极的影响	241
5.6.2	Cs/O 流量比对光电阴极激活结果的影响	245
5.6.3	不同激活方式比较	247
5.6.4	高低温两步激活工艺研究	250
5.6.5	高低温激活过程中光电子的逸出	253
5.6.6	GaAs 光电阴极表面势垒的评估	258
5.6.7	Cs、O 激活工艺的优化措施	262
5.7	GaAs 光电阴极的稳定性研究	263
5.7.1	光照强度与光电流对光电阴极稳定性的影响	263
5.7.2	Cs 气氛下光电阴极的稳定性	266

5.7.3	重新铯化后光电阴极的稳定性	268
5.7.4	光电阴极光电流衰减时量子效率曲线的变化	269
5.7.5	重新铯化后光电阴极量子效率曲线的变化	272
	参考文献	274
第 6 章	GaAs 基光电阴极中电子与原子结构研究	279
6.1	研究方法 with 理论基础	279
6.1.1	单电子近似理论	279
6.1.2	密度泛函理论	281
6.1.3	平面波赝势法	284
6.1.4	光学性质计算公式	285
6.1.5	第一性原理计算软件	286
6.2	$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 光电阴极结构设计	287
6.2.1	不同 Al 组分 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 性质研究与 Al 组分的选取	287
6.2.2	空位缺陷 $\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}$ 电子结构和光学性质研究	295
6.2.3	掺杂元素的选取与掺杂 $\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}$ 性质研究	301
6.3	$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 光电阴极表面净化	304
6.3.1	氧化物的去除与高温清洗温度的选取	305
6.3.2	晶面选取中的电子与原子结构研究	307
6.3.3	$\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}(001)$ 表面重构相的研究	316
6.3.4	掺杂表面电子和原子结构研究	321
6.3.5	残余气体分子吸附研究	324
6.4	$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 光电阴极 Cs、O 激活	331
6.4.1	$\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}(001)\beta_2(2\times 4)$ 重构相 Cs、O 吸附研究	331
6.4.2	掺杂 $\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{As}(001)\beta_2(2\times 4)$ 重构相 Cs、O 吸附研究	340
	参考文献	345
第 7 章	窄带响应 GaAlAs 光电阴极的制备与性能	351
7.1	NEA GaAlAs 光电阴极的光电发射理论	351
7.1.1	GaAlAs(100) 表面 Cs、O 双偶极层模型	352
7.1.2	GaAlAs(100) 和 GaAs(100) 表面 Cs 吸附比较研究	355
7.1.3	GaAlAs 光电阴极量子效率模型研究	357
7.2	窄带响应 GaAlAs 光电阴极的结构设计与生长	365
7.2.1	GaAlAs 材料基本性质	365
7.2.2	窄带响应 GaAlAs 光电阴极结构设计基础	367
7.2.3	影响 GaAlAs 光电阴极量子效率的性能参量	368
7.2.4	窄带响应 GaAlAs 光电阴极的结构设计	374

7.2.5	窄带响应 GaAlAs 材料生长	378
7.3	窄带响应 GaAlAs 光电阴极的制备	380
7.3.1	窄带响应 GaAlAs 材料的化学清洗	380
7.3.2	窄带响应 GaAlAs 材料的加热净化	389
7.3.3	窄带响应 GaAlAs 材料的 Cs、O 激活	390
7.4	窄带响应 GaAlAs 光电阴极的性能评估	393
7.4.1	制备工艺对反射式 GaAlAs 光电阴极性能的影响	394
7.4.2	真空系统中反射式 GaAlAs 光电阴极的稳定性	402
7.4.3	窄带响应透射式 GaAlAs 光电阴极的性能评估	409
	参考文献	412
第 8 章	反射式变掺杂 GaAs 光电阴极材料与量子效率理论研究	417
8.1	反射式变掺杂 GaAs 光电阴极能带结构理论研究	417
8.1.1	梯度掺杂 GaAs 材料的能带结构	417
8.1.2	指数掺杂 GaAs 材料的能带结构	419
8.1.3	指数掺杂 GaAs 光电阴极的电子扩散漂移长度	420
8.2	反射式变掺杂 GaAs 光电阴极量子效率理论研究	422
8.2.1	指数掺杂光电阴极量子效率公式	422
8.2.2	指数掺杂光电阴极灵敏度与量子效率理论仿真	424
8.2.3	梯度掺杂 GaAs 光电阴极量子效率模型研究	426
8.3	变掺杂 GaAs 光电阴极材料外延生长	427
8.3.1	GaAs 光电阴极材料生长方法	427
8.3.2	变掺杂光电阴极材料 MBE 外延生长技术研究	429
8.3.3	分子束外延变掺杂光电阴极材料测试评价研究	430
8.4	反射式变掺杂 GaAs 光电阴极掺杂结构的设计与制备工艺研究	433
8.4.1	变掺杂 GaAs 光电阴极材料的设计和制备	434
8.4.2	变掺杂 GaAs 材料的激活实验	436
8.4.3	变掺杂 GaAs 材料的激活结果	439
8.4.4	高性能反射式变掺杂 GaAs 光电阴极研究	441
8.5	反射式变掺杂 GaAs 光电阴极的评价方法	444
8.5.1	激活时 Cs 在 GaAs 材料表面的吸附效率评估	444
8.5.2	变掺杂 GaAs 光电阴极的结构性能评估	449
8.5.3	不同变掺杂 GaAs 光电阴极的结构性能对比	453
8.6	宽带响应反射式变掺杂 GaAs 基光电阴极研究	456
8.6.1	宽带响应反射式变掺杂 GaAs 和 GaAlAs 光电阴极的光谱响应	456
8.6.2	宽带响应反射式变掺杂 GaAs 基光电阴极的对生成阈	458

8.7	反射式模拟透射式变掺杂 GaAs 光电阴极设计与实验	460
8.7.1	MBE 生长的反射式模拟透射式变掺杂 GaAs 光电阴极设计与实验	461
8.7.2	MOCVD 生长的反射式模拟透射式变掺杂 GaAs 光电阴极设计与实验	464
	参考文献	468
第 9 章	透射式变掺杂 GaAs 光电阴极理论与实践	472
9.1	透射式变掺杂 GaAs 光电阴极能带结构与材料设计	472
9.1.1	均匀掺杂和指数掺杂 GaAs 光电阴极能带结构比较	472
9.1.2	透射式变掺杂 GaAs 光电阴极结构设计与制备	473
9.2	透射式变掺杂 GaAlAs/GaAs 材料与组件的性能测试	475
9.2.1	透射式变掺杂 GaAlAs/GaAs 材料的 SEM 测试	475
9.2.2	透射式变掺杂 GaAlAs/GaAs 材料的 ECV 测试	476
9.2.3	透射式变掺杂 GaAlAs/GaAs 材料的 HRXRD 测试	478
9.2.4	透射式变掺杂 GaAlAs/GaAs 材料组件的 HRXRD 测试	479
9.3	透射式 GaAs 光电阴极组件的光学性质与结构模拟	480
9.3.1	透射式 GaAs 光电阴极组件光学性能测试	480
9.3.2	透射式 GaAs 光电阴极组件结构模拟理论模型	481
9.3.3	透射式 GaAs 光电阴极组件光学性能拟合	484
9.3.4	分光光度计测试误差对光学性能的影响	496
9.4	透射式变掺杂 GaAs 光电阴极激活	497
9.4.1	MBE 生长的透射式变掺杂 GaAs 光电阴极激活	497
9.4.2	MOCVD 生长的透射式变掺杂 GaAs 光电阴极激活	499
9.4.3	透射式变掺杂 GaAs 光电阴极光谱响应的研究	500
9.4.4	MBE 与 MOCVD 生长的透射式变掺杂 GaAs 光电阴极材料与组件的 比较	508
9.5	阴极组件光学性能对微光像增强器光谱响应的影响	510
9.5.1	透射式 GaAs 光电阴极光谱响应曲线拟合与结构设计	510
9.5.2	光电阴极组件光学性能对微光像增强器光谱响应的影响	511
9.5.3	国内外微光像增强器 GaAs 光电阴极光谱响应特性比较	512
9.6	光电阴极组件工艺对 GaAs 材料性能的影响	514
9.6.1	反射式和透射式光电阴极的联系和区别	514
9.6.2	光电阴极组件工艺对 GaAs 材料电子扩散长度的影响	517
9.7	微光像增强器的光谱响应性能评估	523
9.7.1	灵敏度和光谱响应性能监测	523
9.7.2	冲击试验	525
9.7.3	振动试验	527

9.7.4	高温试验	529
9.7.5	低温试验	530
	参考文献	532
第 10 章	近红外响应 InGaAs 光电阴极制备与性能	535
10.1	In _x Ga _{1-x} As 光电阴极研究现状及材料基本性质	535
10.1.1	In _x Ga _{1-x} As 光电阴极研究现状	535
10.1.2	In _x Ga _{1-x} As 材料基本性质	538
10.2	In _x Ga _{1-x} As 光电阴极结构分析	546
10.2.1	GaAs 衬底特性分析	546
10.2.2	In _x Ga _{1-x} As 光电阴极组分的选择与分析	554
10.2.3	本征 In _{0.53} Ga _{0.47} As 体材料特性分析	557
10.2.4	掺杂的形成	562
10.2.5	空位缺陷的存在对体掺杂发射层的影响	567
10.2.6	In _{0.53} Ga _{0.47} As 表面重构的探讨	573
10.2.7	表面 Zn 的掺杂位的选取	582
10.2.8	InGaAs 表面负电子亲和势的形成	590
10.3	InGaAs/InP 半导体材料的结构设计与制备工艺研究	601
10.3.1	InGaAs/InP 半导体材料结构设计	601
10.3.2	InGaAs/InP 半导体材料的生长	604
10.3.3	InGaAs/InP 半导体材料的热净化研究	606
10.4	InGaAs/GaAs 半导体材料结构设计与制备工艺研究	608
10.4.1	InGaAs/GaAs 半导体材料结构设计	608
10.4.2	InGaAs/GaAs 发射层变组分结构设计	609
10.4.3	InGaAs/GaAs 半导体材料生长质量评估	611
10.4.4	InGaAs/GaAs 半导体材料的化学清洗工艺	612
10.4.5	InGaAs/GaAs 半导体材料的加热净化工艺	616
10.5	InGaAs 光电阴极性能评估	620
10.5.1	不同制备工艺对 InGaAs 光电阴极性能的影响	621
10.5.2	不同发射层结构对 InGaAs/GaAs 光电阴极的影响	628
10.5.3	真空系统中 InGaAs/GaAs 光电阴极的稳定性	632
10.5.4	InGaAs/GaAs 光电阴极性能对比	636
	参考文献	637
第 11 章	GaAs 光电阴极及像增强器的分辨力	646
11.1	GaAs 光电阴极微光像增强器分辨力研究现状	646
11.1.1	MTF 及分辨力概述	646

11.1.2	透射式 GaAs 光电阴极的分辨力	648
11.1.3	三代微光像增强器各部件的分辨力	650
11.2	GaAs 基光电阴极的电子输运及分辨力	652
11.2.1	指数掺杂 GaAs 光电阴极的分辨力	652
11.2.2	透射式指数掺杂 GaAlAs 光电阴极的分辨力	660
11.3	透射式均匀掺杂 GaAs 光电阴极分辨力	665
11.3.1	均匀掺杂 GaAs 光电阴极光电子输运性能	665
11.3.2	透射式均匀掺杂 GaAs 光电阴极的 MTF	675
11.4	透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极分辨力	680
11.4.1	透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极光电子输运模型	681
11.4.2	透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极光电发射性能理论研究	684
11.4.3	近贴聚焦场对透射式 GaAs 光电阴极的渗透影响	688
11.5	近贴聚焦微光像增强器的分辨力	692
11.5.1	近贴聚焦系统光电子输运及分辨力理论研究	692
11.5.2	微通道板对近贴聚焦微光像增强器分辨力的影响	699
11.6	GaAs 光电阴极微光像增强器 halo 效应及分辨力测试	707
11.6.1	halo 效应测试装置及原理	707
11.6.2	微光像增强器 halo 效应及分辨力的测试	710
11.6.3	GaAs 光电阴极微光像增强器 halo 效应及分辨力研究	720
	参考文献	725
第 12 章	回顾与展望	728
12.1	GaAs 基光电阴极研究工作的简单回顾	728
12.1.1	GaAs 光电阴极	728
12.1.2	窄带响应 GaAlAs 光电阴极	740
12.1.3	近红外响应 InGaAs 光电阴极	745
12.1.4	GaAs 光电阴极及其微光像增强器的分辨力	748
12.2	研究工作中的纠结	751
12.3	新一代 GaAs 基光电阴极的研究展望	756
	参考文献	757

第1章 绪 论

对 GaAs 光电阴极需求最大的是微光像增强器、数字微光器件及电子源。本章介绍了三代微光像增强器和数字微光器件等的基本原理、应用领域及国内外发展现状；分析了 GaAs 光电阴极的国内外研究现状。

1.1 三代微光像增强器简介

三代微光像增强器是微光探测领域的首选器件，其主要性能由积分灵敏度、分辨力和信噪比决定，这里还介绍了三代微光像增强器的应用领域及发展现状。

1.1.1 三代微光像增强器的基本原理

三代微光像增强器是直视和电视微光夜视系统的核心，它的主要作用是：增加像面照度、放大视角及保证合适的视场。为了使微弱的或不可见的反射辐射图像通过光电成像系统变成可见图像，微光像增强器本身应能起到变换光谱、增强亮度和成像的作用。通常采用如图 1.1 所示的结构来达到这些目的^[1]，图 1.2 给出了三代微光像增强器—四代微光像增强器及其结构示意图。微光像增强器是一种电真空成像器件，主要由光电阴极、微通道板 (micro-channel plate, MCP)、荧光屏和电子光学系统组成。

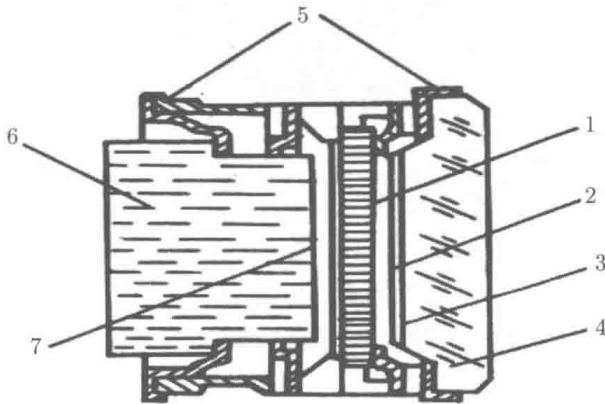


图 1.1 美国 ITT 公司的三代微光像增强器
1. MCP; 2. GaAs/AlGaAs 光电阴极; 3. Si_3N_4 ;
4. 阴极面板; 5. 钢封; 6. 光纤面板; 7. 荧光屏

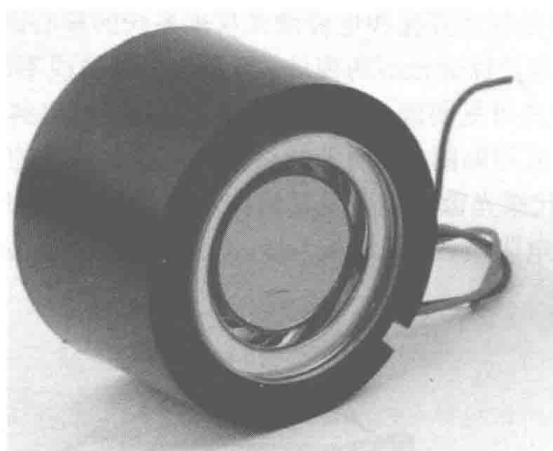
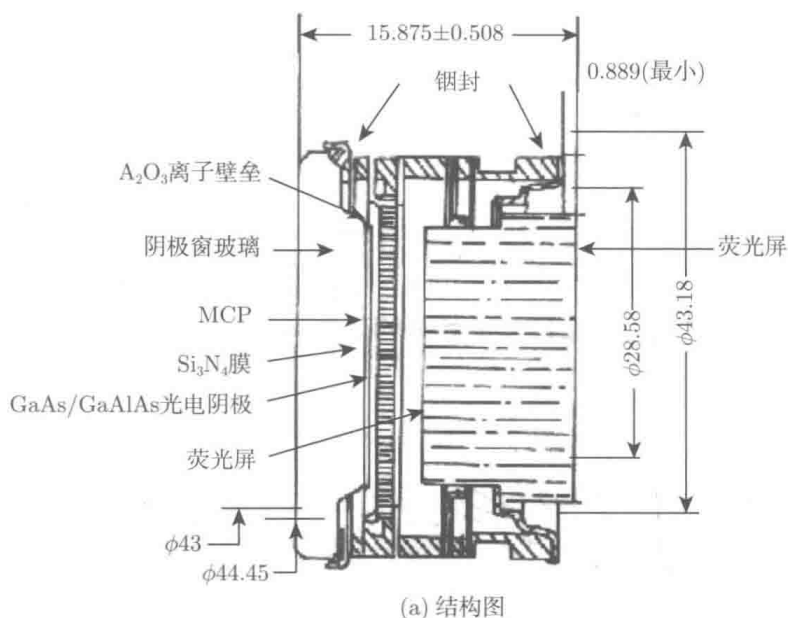


图 1.2 三代微光像增强器—四代微光像增强器及其结构示意图

在图 1.1 中，GaAs/AlGaAs 光电阴极 (2) 通过真空热粘接技术制备在阴极面板 (4) 的内侧，由 Si_3N_4 (3) 与阴极面板 (4) 连接。当被一定频谱的光线照射时，它能发射出光电子，而且发射的光电子数量与入射光照强度成正比，从而将输入到它上面的低能辐射图像转变为电子图像。

电子光学系统采用双钢封 (5) 平板电容器系统。由 GaAs/AlGaAs 光电阴极 (2) 与 MCP(1) 构成第一个平板电容器，MCP(1) 与荧光屏 (7) 构成第二个平板电容器。

荧光屏制备在人眼观察的光纤面板 (6) 的内侧。