



国防科技图书出版基金

负电子亲和势 光电阴极及应用

Negative Electron Affinity
Photocathodes and Applications

贾欣志 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

负电子亲和势 光电阴极及应用

Negative Electron Affinity Photocathodes
and Applications

贾欣志 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

负电子亲和势光电阴极及应用/贾欣志编著. —北京:国防工业出版社,2013.5

ISBN 978-7-118-08652-2

I. ①负... II. ①贾... III. ①光电阴极 IV. ①0462.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 065895 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)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 21¼ 字数 391 千字

2013 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 89.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

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 杨崇新

秘 书 长 杨崇新

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

前 言

光电阴极的功能是将入射于其上的光子转换为电子,发射到真空中,它本身不是一个独立的器件。其最常见的应用形式,是作为光电倍增管和像增强器的光电阴极。20 世纪 30 年代~60 年代初期,发展了多种实用光电阴极,如 Ag-O-Cs 光电阴极(S-1), $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Cs})$ 多碱光电阴极(S-20)等,每种阴极各有不同特点,相对于后来出现的负电子亲和势(NEA)光电阴极,这些光电阴极称为传统光电阴极。S-1 光电阴极是传统光电阴极中响应波长最长的一个,其长波峰值(800nm)处的典型量子效率约为 0.5%, $1.06\mu\text{m}$ 波长处的典型量子效率为 0.03%,长波阈可延伸至 $1.3\mu\text{m}$ 或更长。标准 S-20 光电阴极的峰值波长在 420nm,典型积分灵敏度为 $150\mu\text{A}/\text{lm} \sim 200\mu\text{A}/\text{lm}$ 。

1965 年, Scherr 和 van Laar 发表了“GaAs-Cs:一种新型光电发射体”的论文。所报告的 GaAs 光电阴极的积分灵敏度达 $500\mu\text{A}/\text{lm}$ 。这大约是当时传统光电阴极灵敏度的 2 倍。该论文的发表有力地推动了 GaAs 负电子亲和势(NEA)光电阴极的研究与发展,并使夜视仪从以传统光电阴极为基础的 0 代, I 代和 II 代, 迈进到今天的以 GaAs-NEA 光电阴极为基础的 III 代。另外,在 III 代阴极发展的同时,多碱光电阴极也有了相应的发展,并以此为基础形成了超 II 代像增强器和夜视仪。目前超 II 代光电阴极的积分灵敏度在 $500\mu\text{A}/\text{lm} \sim 800\mu\text{A}/\text{lm}$, 而 III 代光电阴极积分灵敏度一般在 $1500\mu\text{A}/\text{lm} \sim 2000\mu\text{A}/\text{lm}$ 范围,最好的可达 $3000\mu\text{A}/\text{lm}$ 。

与传统光电阴极相比, GaAs-NEA 光电阴极不仅灵敏度和光电子能量分布性能有所突破,而且对光谱响应波长扩展提供了机会。60 年代后期,通过合金技术先后发展了多种窄带半导体近红外光电阴极,特别是 $1.06\mu\text{m}$ 波长敏感的光电阴极。如 InGaAs、InAsP 和 InGaAsP 等。这些光电阴极在 $1.06\mu\text{m}$ 波长的量子效率可以做到比 S-1 光电阴极高 1 个~2 个数量级。然而,进一步提高该波长的量子效率,以及进一步向长波扩展遇到了困难。在这种情况下,提出了新的转移电子(TE)光电阴极概念。TE 光电阴极借用了微波半导体中的耿氏(Gunn)效应,通过外加电场,使半导体中的光电子在导带中发生谷间转移,从而造成有利于光电子发射的 NEA 条件。如今 TE 光电阴极已是唯一能在 $1.06\mu\text{m} \sim 2.0\mu\text{m}$ 波段有效工作的近红外光电阴极。对一个 $1.7\mu\text{m}$ 波长最佳化的 TE 光电阴极,其在 $1.06\mu\text{m}$ 波长处的量子效率可达 25%,在 $1.0\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$ 的大部分范围,量子效率大于 8%~20%。因此也可以说,TE 光电阴极的出现,是光电阴极在响应波长扩展方面的又一次技术突破。在短波方面,出现了以 III 族氮化物和金刚石等宽带半导体为基础的 NEA 光电阴极,展现出许多新的特点。随着紫外波段 NEA 光电阴极的发展,其

在空间和天文观测方面的应用日趋增多。此外,由于 NEA 光电阴极发射电子能量分布很窄的特点,容易提供高亮度的电子束,因而在电子束光刻、低压电子显微镜,以及电子加速器等方面的应用前景看好。另外由于 GaAs 电子自旋极化光电阴极的发展,使得 NEA 光电阴极在高能物理及表面科学研究中的作用变得重要。

本书共分 14 章。第 1 章绪论,主要从发展的角度,论述传统光电阴极与 NEA 光电阴极的发展及其相互之间的关系;第 2 章介绍功函数和电子亲和势概念,控制和测试;第 3 章介绍 GaAs 光电阴极中的光吸收及光生载流子输运过程;第 4 章介绍 GaAs-NEA 光电阴极表面激活层及 NEA 表面模型;第 5 章介绍 GaAs-NEA 光电阴极的工作原理;第 6 章介绍透射 GaAs 光电阴极的制作技术;第 7 章介绍 GaAs 光电阴极的性能特点;第 8 章总结了 GaAs-NEA 光电阴极的主要特点,介绍 GaAs-NEA 光电阴极在光电成像及光电探测等方面的主要应用。第 9 章介绍在光谱峰值波长 530nm 处具有高量子效率的 GaAsP-NEA 光电阴极的性能特点、制作技术与主要的应用方面;第 10,11 两章介绍近红外敏感光电阴极,其中包括无场助 1.06 μm 波长敏感的 NEA 光电阴极以及可以将光谱响应扩展到 2.3 μm 波长的转移电子(TE)光电阴极的原理、发展、制作技术、性能及应用;第 12,13 两章介绍以 III 族氮化物和金刚石为代表的宽带隙半导体紫外 NEA 光电阴极的特点及发展;第 14 章介绍一种以 NEA 光电阴极为基础的彩色电视应用。

书中全面介绍了以 GaAs-NEA 光电阴极为代表的,从紫外到近红外敏感的各种 NEA 光电极的原理和特点、制作技术、性能特点及应用等,希望本书的出版能够对工作在一线的半导体光电阴极研发人员,以及其他所有对光电阴极感兴趣的人员有所帮助。

由于水平有限,书中难免有错误和缺点,恳请读者批评指正。作者电子邮箱为 xz.jia@163.com。

作者 贾欣志

2012 年 10 月于长春

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 传统光电阴极简述	1
1.1.1 金属光电阴极	1
1.1.2 传统光电阴极的发展	2
1.2 从传统光电阴极到 NEA 光电阴极	5
1.2.1 碱—铯光电阴极光电发射机理	5
1.2.2 NEA 光电阴极出现的背景	7
1.3 GaAs-NEA 光电阴极的发展	10
1.3.1 改进技术,使研究成果实用化	10
1.3.2 寻求新的 NEA 光电发射体	11
1.3.3 发展透射式 GaAs-NEA 光电阴极	11
1.3.4 进行基础理论与实验研究	11
1.4 NEA 光电阴极对传统光电阴极发展的推动	12
1.4.1 S-25 光电阴极—扩展红响应的多碱光电阴极	12
1.4.2 来自 III-V 族半导体 NEA 光电阴极的启迪	13
1.4.3 晶体完整性对光电发射影响的理论与实验基础	13
1.4.4 多碱光电阴极改进的某些尝试	14
1.5 两种类型光电阴极未来发展的展望	16
参考文献	17
第 2 章 功函数与电子亲和势	20
2.1 功函数与电子亲和势	20
2.1.1 功函数定义	20
2.1.2 电子亲和势及有效电子亲和势	20
2.2 负电子亲和势	21
2.2.1 有效负电子亲和势	21
2.2.2 真负电子亲和势	22
2.3 半导体表面态与表面能带弯曲	23
2.3.1 GaAs(110) 半导体本征表面态	23
2.3.2 GaAs(110) 非本征表面态——改进的缺陷模型(AUDM)	24

2.3.3	半导体表面能带弯曲	25
2.4	GaAs(110)表面的功函数降低	27
2.5	功函数的测试方法	31
2.5.1	开尔文探针方法	31
2.5.2	交流阻滞场方法	32
2.5.3	紫外光电发射能谱(UPS)法	34
2.5.4	扫描隧道显微镜测试法	35
2.5.5	某些有关材料的电子亲和势和功函数(表 2.1、表 2.2)	36
	参考文献	38
第 3 章	GaAs 光电阴极的光学特性与载流子输运过程	41
3.1	光吸收指数定律	41
3.2	直接带隙与间接带隙吸收	42
3.3	AlGaAs - GaAs 界面相关的光学	44
3.4	GaAs 带边光吸收	46
3.4.1	激子对带边光吸收的影响	46
3.4.2	杂质浓度对带边的影响	46
3.4.3	GaAs 带隙随温度的变化	47
3.4.4	带尾态	48
3.5	光生载流子的产生率	49
3.6	GaAs 光电阴极中的载流子扩散运动	52
3.6.1	载流子输运方程	52
3.6.2	光电阴极量子效率	53
3.6.3	载流子扩散长度	55
3.6.4	载流子界面复合速率	56
3.6.5	双模扩散方程	56
3.7	电子 - 声子相互作用与载流子热化	59
3.7.1	声子概念	59
3.7.2	声子能量与色散关系	59
3.7.3	声子散射速率	60
3.7.4	声子散射与光电子热化	61
	参考文献	62
第 4 章	GaAs 光电阴极表面激活层	64
4.1	X 射线光电发射谱(XPS)在 GaAs 光电阴极研究中的应用	64
4.1.1	结合能与化学位移	64
4.1.2	XPS 在 GaAs 光电阴极研究中的应用	65
4.2	俄歇谱仪在 GaAs 光电阴极研究中的应用	66

4.3	Cs ₂ O 与 GaAs 表面相互作用的物理与化学机理	67
4.3.1	Cs 与 GaAs(110) 表面相互作用的物理与化学机理	67
4.3.2	氧与 GaAs(110) 表面的相互作用	71
4.3.3	Cs 与 GaAs(100) 表面的相互作用	75
4.3.4	氧与 GaAs(001) 表面的相互作用	76
4.3.5	Cs 和 O 与 GaAs(100) 表面的相互作用	77
4.4	Cs ₂ O 的物理和化学性质	79
4.5	GaAs 光电阴极表面 NEA 模型	82
4.5.1	偶极子模型	82
4.5.2	异质结模型	85
4.5.3	原子团模型	86
4.5.4	Clark 的综合模型	87
	参考文献	87
第 5 章	GaAs - NEA 光电阴极原理	92
5.1	GaAs 透射式光电阴极的异质结结构	92
5.1.1	AlGaAs 三元半导体的晶格匹配及带隙	92
5.1.2	AlGaAs/GaAs 异质结的界面势垒	93
5.1.3	少数载流子异质结约束效应	94
5.1.4	AlGaAs 层在 GaAs 光电阴极中的作用	95
5.2	GaAs 光电阴极的能带特点	95
5.3	Spicer 三步模型理论	96
5.4	光电子在能带弯曲区的运动及能量损失	99
5.5	光电子的表面逸出概率	101
5.6	超薄 GaAs 光电阴极概念	102
	参考文献	103
第 6 章	GaAs 透射式光电阴极的制作技术	105
6.1	GaAs 光电阴极基底的制备	105
6.1.1	多晶 GaAs 薄膜阴极	105
6.1.2	外延 GaAs 光电阴极的探索	106
6.1.3	双异质结 GaAs 光电阴极基片	109
6.1.4	GaAs 基片制作技术的进一步发展	110
6.1.5	GaAs 光电阴极有效层的改进	111
6.2	GaAs 光电阴极材料的外延技术	113
6.2.1	液相外延	113
6.2.2	气相外延	115
6.2.3	MOCVD 外延技术	115

6.2.4	MBE 外延技术	117
6.3	SiO ₂ 保护膜和Si ₃ N ₄ 减反射膜	119
6.3.1	SiO ₂ 保护膜	119
6.3.2	Si ₃ N ₄ 减反射膜	119
6.4	GaAs 光电阴极基片与管子面板的键合	121
6.4.1	GaAs 基片与玻璃面板键合的一般问题	121
6.4.2	键合实例简介	122
6.4.3	GaAs 基片与纤维光学面板键合	125
6.4.4	GaAs 基片与玻璃衬底的静电键合	126
6.5	GaAs 光电阴极衬底表面的清洁处理	127
6.5.1	真空室外的化学处理	127
6.5.2	GaAs 光电阴极基片的热清洗	128
6.5.3	热清洗过程中温度测量的改进	129
6.5.4	低温等离子清洗	130
6.5.5	GaAs 表面的原子 H 清洗	131
6.5.6	GaAs 表面清洗效果检测	132
6.6	GaAs 光电阴极的 Cs ₂ O 激活处理	135
6.6.1	反复交替激活(Yo - Yo 激活)	135
6.6.2	Cs ₂ O 同时激活	136
6.6.3	交替与同时相结合	136
6.6.4	双温激活	137
6.6.5	GaAs 光电阴极的其他激活方法	137
6.7	激活用的碱金属源和氧源	138
6.7.1	对碱金属的一般要求	139
6.7.2	碱金属铬酸盐	139
6.7.3	碱金属钨酸盐	140
6.7.4	CsB 化合物 Cs 源	141
6.7.5	CsSi(CsGe)化合物 Cs 源	141
6.7.6	CsBi 合金 Cs 源	142
6.7.7	GaAs - NEA 光电阴极激活用的氧源	142
	参考文献	143

第 7 章 GaAs - NEA 光电阴极性能

7.1	GaAs 光电阴极的积分灵敏度和光谱特性	147
7.1.1	GaAs 光电阴极积分灵敏度	147
7.1.2	GaAs 光电阴极光谱响应特性	147
7.2	GaAs 光电阴极的光电子能量分布	150
7.2.1	光电子能谱测量的意义	150

7.2.2	GaAs - NEA 光电阴极光电子能量分布的主要实验结果	151
7.2.3	GaAs - NEA 光电阴极 EDC 的理论分析	154
7.2.4	GaAs - NEA 光电阴极光电子 EDC 测试方法	157
7.2.5	发射光电子的角度分布	160
7.3	GaAs 光电阴极的时间响应特性	164
7.3.1	光电阴极时间响应特性意义	164
7.3.2	三步模型在时间响应估算方面的问题	164
7.3.3	扩散模型的简化计算	165
7.3.4	改进 GaAs - NEA 光电阴极时间响应的措施	167
7.4	GaAs 光电阴极的暗电子发射特性	168
7.5	GaAs 光电阴极的稳定性	171
7.5.1	光电阴极寿命的定义	171
7.5.2	光电阴极性能衰变的机构	171
7.5.3	改善光电阴极稳定性和延长寿命的对策	175
	参考文献	179
第 8 章	GaAs - NEA 光电阴极的应用	183
8.1	GaAs - NEA 光电阴极的主要特点	183
8.2	GaAs 光电阴极在光电成像器件中的应用	184
8.2.1	Ⅲ代像增强器	184
8.2.2	ICCD	187
8.2.3	EBCCD	187
8.2.4	EBAPS ^[14~16]	189
8.3	GaAs 光电阴极在光电倍增管中的应用	189
8.3.1	反射式 GaAs 光电阴极在光电倍增管中的应用	190
8.3.2	透射式 GaAs 光电阴极在 MCP - PMT 中的应用	190
8.3.3	反射弗伦斯(ReFrence)管	191
8.4	GaAs 电子自旋极化光电阴极	192
8.4.1	大块 GaAs 电子自旋极化光电阴极	192
8.4.2	应变层 GaAs - NEA 自旋极化光电阴极	193
8.4.3	以超晶格为基础的自旋极化光电阴极	196
8.5	GaAs 高亮度光电阴极	199
8.5.1	半导体光刻技术的特点	199
8.5.2	电子束光刻的分辨率	199
8.5.3	光电阴极在电子束光刻中的应用方案	200
8.5.4	图形化的阵列 GaAs - NEA 光电阴极	201
8.5.5	NEA 光电阴极用于光刻的优点	203
8.5.6	动态真空系统中改善 GaAs - NEA 光电阴极的稳定性与 寿命的方法	203

参考文献	204
第 9 章 GaAsP – NEA 光电阴极	207
9.1 GaAsP – NEA 光电阴极的历史发展	207
9.2 GaAsP – NEA 光电阴极的主要性能特点	207
9.3 GaAsP – NEA 光电阴极的制造工艺	210
9.4 GaAsP – NEA 光电阴极的主要应用	211
参考文献	213
第 10 章 非场助 1.06μm 近红外 NEA 光电阴极	214
10.1 发展 1.06 μ m 波长光电阴极的意义	214
10.2 GaAs – NEA 光电阴极光谱近红外扩展的基本原理	215
10.3 1.06 μ m 光电阴极的早期发展	215
10.3.1 InAsP – Cs ₂ O 光电阴极	215
10.3.2 InGaAs – Cs ₂ O 光电阴极	215
10.3.3 InGaAsP 近红外光电阴极	216
10.4 透射式 InGaAs 1.06 μ m 近红外光电阴极	217
10.4.1 1.06 μ m 波长透射式光电阴极研发进展情况	217
10.4.2 InGaAs 光电阴极的主要工艺方案	218
10.5 GaAs – NEA 光电阴极光谱近红外扩展的限制	220
10.5.1 对 GaSb – Cs ₂ O 半导体光电发射体的测试	221
10.5.2 对 InAsP 光电发射的实验结果	222
10.5.3 势垒存在的进一步论证	222
参考文献	224
第 11 章 场助转移电子光电阴极	225
11.1 转移电子光电阴极的发展	225
11.1.1 转移电子光电阴极产生的历史背景	225
11.1.2 转移电子光电发射的基本概念	225
11.1.3 转移电子光电阴极的发展	226
11.2 转移电子光电阴极的早期工作	227
11.2.1 直接转移型转移电子光电阴极	227
11.2.2 异质结转移电子光电阴极	230
11.3 转移电子光电阴极的技术改进	232
11.3.1 转移电子光电阴极肖特基势垒结构的改进	232
11.3.2 转移电子光电阴极的结构改进	233
11.3.3 转移电子光电阴极的制作技术改进	235
11.4 转移电子光电阴极的典型性能	236
11.4.1 量子效率	236

11.4.2	暗电流	237
11.5	其他场助光电阴极方案	238
11.5.1	带有 PN 结的转移电子光电阴极	238
11.5.2	可以室温工作的转移电子光电阴极	239
11.5.3	长波阈值扩展到 $2.3\ \mu\text{m}$ 的转移电子光电阴极	240
11.5.4	GaSb - GaAs 场助光电阴极	241
11.5.5	GaSb - InAsSb 场助红外光电阴极	242
11.5.6	Si - 金刚石 PN 结近红外光电阴极	245
11.6	转移电子光电阴极的应用	246
11.6.1	TE - EBAPS 与 TE - EBCCD	246
11.6.2	TE - IPD	248
11.6.3	转移电子光电阴极的其他应用	248
11.7	InP - NEA 光电阴极	249
11.7.1	InP(100) 表面 Cs 的吸附与功函数降低	249
11.7.2	InP 光电阴极表面 Cs - O 激活层的实验研究	251
11.7.3	InP 光电阴极的光电子能量分布曲线(EDC)	255
	参考文献	255
第 12 章	Ⅲ族 N 化物 - NEA 紫外光电阴极	257
12.1	GaN - 未来的高效率紫外 NEA 光电阴极材料	257
12.2	Ⅲ族 N 化物的一般物理特点	258
12.2.1	Ⅲ族 N 化物的晶体结构	258
12.2.2	Ⅲ族 - N 化物的布里渊区和能带结构	259
12.2.3	GaN 的主要光学特性	259
12.3	Ⅲ族 N 化物的 NEA 特性	260
12.3.1	GaN 的电子亲和势	260
12.3.2	AlN 的电子亲和势	261
12.3.3	BN 的电子亲和势特性	263
12.3.4	Ⅲ族 N 化物合金的电子亲和势特性	264
12.4	Ⅲ族 N 化物紫外光电阴极的设计与实施方案	264
12.4.1	GaN 光电阴极	264
12.4.2	三元合金 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ UV 光电阴极	268
12.4.3	InGaN 异质结 UV 光电阴极	269
12.5	微通道板 GaN 光电阴极	270
12.5.1	MCP - GaN 光电阴极的优点	270
12.5.2	MCP - GaN 光电阴极的制作步骤	270
12.6	无 Cs 激活 GaN 紫外光电阴极	271
12.6.1	压电激活的 GaN 光电阴极	271
12.6.2	表面 δ 掺杂的 GaN 光电阴极	272

12.7 GaN 光电阴极应用	274
12.7.1 GaN 近贴聚焦像增强器	274
12.7.2 近贴聚焦光子计数器	275
12.7.3 以 GaN 为光电阴极的低压 EBCCD 或 EBAPS	276
12.7.4 利用反射式 GaN 光电阴极的斜聚焦电子光学系统	276
参考文献	277
第 13 章 金刚石 NEA 紫外光电阴极	280
13.1 金刚石类型及一般特点	280
13.2 金刚石单晶的 NEA 表面	282
13.2.1 金刚石单晶自由表面的电子亲和势	283
13.2.2 H 吸附对单晶金刚石表面 NEA 的影响	283
13.2.3 Cs 吸附对单晶金刚石 NEA 的影响	285
13.2.4 B 掺杂 C(111) 表面在 O, Cs 作用下形成 NEA	285
13.2.5 多种金属对金刚石 NEA 的影响	285
13.3 化学气相沉积多晶金刚石 NEA 光电阴极	286
13.3.1 用于大面积光电阴极的多晶金刚石薄膜	286
13.3.2 H 激活的 CVD 多晶金刚石 UV 光电阴极	287
13.3.3 Cs 激活的 CVD 多晶金刚石 UV 光电阴极	291
13.3.4 多晶 CVD 金刚石薄膜的 NEA 模型	292
13.3.5 利用高偶极矩薄膜降低表面电子亲和势	293
13.4 金刚石光电阴极的应用	294
13.4.1 以 MCP 为衬底的金刚石紫外光电阴极	294
13.4.2 透射式金刚石 NEA 光电阴极	294
13.4.3 金刚石放大的光电阴极	297
13.4.4 金刚石作为光电阴极支撑衬底	297
参考文献	298
第 14 章 彩色夜视用的 NEA 光电阴极	301
14.1 发展彩色夜视的意义	301
14.2 彩色夜视的发展	301
14.3 彩色夜视光电阴极	302
14.3.1 彩色夜视光电阴极工作原理	302
14.3.2 彩色夜视光电阴极具体实施方案	304
14.3.3 以转移电子光电阴极为基础的彩色夜视方案	307
参考文献	309
英语缩略语	310

Contents

1	Introduction	1
1.1	Brief description of conventional photocathodes	1
1.1.1	Metal photocathodes	1
1.1.2	Development of conventional photocathodes	2
1.2	From conventional photocathodes to NEA photocathodes	5
1.2.1	Photoemission mechanism for alkali-antimonide photocathodes	5
1.2.2	Occurring background of NEA photocathodes	7
1.3	Development of NEA photocathodes	10
1.3.1	Improving technologies for practical applications	10
1.3.2	Looking for new NEA photoemitters	11
1.3.3	Developing transmission GaAs-NEA photocathodes	11
1.3.4	Development of the theory and experimental studies	11
1.4	Promotion of NEA photocathodes to conventional photocathodes	12
1.4.1	S-25 photocathodes – red response- extended multialkali photocathodes	12
1.4.2	Hints from III-V NEA photocathodes	13
1.4.3	Effect of crystallinity on photoemission	13
1.4.4	Some tries on improvements of multi-alkali photocathodes	14
1.5	Prospects for future development of the two types of photocathodes	16
	References	17
2	Work function and electron affinity	20
2.1	Work function and electron affinity	20
2.1.1	Definition of work function	20
2.1.2	Electron affinity and effective electron affinity	20
2.2	Negative electron affinity	21
2.2.1	Effective negative affinity	21
2.2.2	True negative electron affinity	22
2.3	Surface state and band bending	23
2.3.1	Intrinsic surface state of GaAs(110)	23