

光折变非线性光学材料 铌酸锂晶体

杨春晖 孙 亮 冷雪松 等 著
徐 超 范叶霞 徐玉恒



科学出版社
www.sciencep.com

光折变非线性光学材料

铌酸锂晶体

杨春晖 孙 亮 冷雪松 等著
徐 超 范叶霞 徐玉恒

中国图书分类号: O437.2

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍用提拉法和顶上籽晶溶液法生长同成分和近化学计量比掺杂铌酸锂晶体,研究其晶体生长工艺、缺陷结构、抗光损伤、光学性能、光折变性能、全息存储性能和倍频性能,并介绍大容量体全息存储、位相共轭、全息关联存储、波导和倍频的应用研究。全书分掺杂铌酸锂晶体的基础理论、铌酸锂晶体应用基础理论和应用研究等三大部分,共十七章。

本书可供材料、物理、化工和光信息存储等专业的科技人员和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

光折变非线性光学材料——铌酸锂晶体/杨春晖等著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025886-1

I. 光… II. 杨… III. 电光晶体-研究 IV. 07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 196623 号

责任编辑:杨家福 / 责任校对:赵 燕

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 11 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 11 月第一次印刷 印张:23 3/4

印数:1—1 500 字数:454 800

定价:70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229 010-64034315; 13501151303

前言

光折变非线性光学领域是沿两条途径发展的:一是研制高性能、高质量的光折变材料,二是研究光折变晶体的各种非线性特性及其在光学存储、光学信息处理和光计算中的应用。研制高性能光折变晶体是通过寻找新型晶体材料和在已发现具有光折变效应的晶体中进行各种元素的掺杂来实现。随着当代信息迅速发展,信息的大规模的存储、传输和处理一直是技术研究的热点。铌酸锂(LiNbO_3 , LN)具有多功能性能,如电光、声光、非线性、光折变、压电、铁电和热电,进而实现了多种器件应用,例如,铌酸锂晶体和掺杂铌酸锂晶体用于生产表面波器件、高频高温换能器、红外探测器、激光调制器、激光倍频器、Q 开关和参量振荡器、无线电高频滤波器、延迟线、光波导放大器、光波导激光器,以及光放大、光计算、三维体全息存储、位相共轭、全息关联存储和光纤通信中的光隔离器。铌酸锂晶体具有特殊的结构,几乎能容纳所有金属元素,作为杂质掺进并改变晶体的结构性能、化学性能、光学性能,而且可进行高浓度掺杂,在 LiNbO_3 中掺镁浓度可达 30mol%,掺钛浓度在 20mol% 以上,掺铟浓度在 10mol% 以上。特别是随着晶体设计与生长工艺的改变,铌酸锂晶体在研制和应用中不断有新的现象、新的应用出现,这是 LiNbO_3 晶体的研究工作经久不衰的原因所在。

LiNbO_3 晶体还有许多理论和应用领域等待开发。30 年来作者对铌酸锂进行了大量研究,主要集中在以下几个方面:①晶体生长、缺陷及结构、掺杂离子在晶体中占位;②掺杂对 LiNbO_3 晶体光学性能的影响;③ LiNbO_3 作为基片的光波导器件;④ LiNbO_3 晶体的光折变性能及相关器件;⑤掺杂稀土元素的 LiNbO_3 晶体的发光及相关器件;⑥掺杂 LiNbO_3 晶体在大容量体全息数据存储和相关识别;⑦不同 Li/Nb 对 LiNbO_3 晶体性能影响;⑧化学计量比 LiNbO_3 晶体的生长、性能和应用。作者完成了几十项科研课题,包括 973 项、863 项和多项国家基金项目;在完成上述科研课题时首次生长出大尺寸双掺杂 LiNbO_3 晶体($\Phi 130 \times 60 \text{mm}^3$)。本书系统地阐述了 LiNbO_3 和掺杂 LiNbO_3 晶体材料的生长、缺陷结构、性能和应用以及它们之间的关系,将光折变效应和光折变材料在信息应用中有机地结合在一起,具有很强的实用价值,是作者近 30 年来对 LiNbO_3 晶体连续研究的工作总结。本书分为三大部分:第一部分是光折变铌酸锂晶体基础研究;第二部分是掺杂铌酸锂晶体应用基础研究;第三部分是掺杂铌酸锂晶体应用研究。第一部分共五章:第一章是铌酸锂晶体概论;第二章是铌酸锂晶体的生长;第三章是铌酸锂晶体的光折变效应;第四章是铌酸锂晶体的结构和缺陷;第五章是铌酸锂晶体的生长基元和结

晶形貌。第二部分共五章:第六章是掺杂铌酸锂晶体及双光束耦合及光折变性能;第七章是双掺杂铌酸锂晶体的光折变效应;第八章是掺杂铌酸锂晶体全息存储性能研究;第九章掺杂铌酸锂晶体全息存储及其应用、第十章是光折变晶体中位相共轭效应及温度效应;第三部分共七章:第十一章是铒系列铌酸锂晶体的光学性能;第十二章是镁系列和锌系列铌酸锂晶体的光折变性能;第十三章是铟系列和铕系列铌酸锂晶体的光折变性能;第十四章是锆系列铌酸锂晶体光折变性能研究;第十五章是铈系列铌酸锂晶体光折变性能研究;第十六章是近化学计量比铌酸锂晶体的光学性能和光折变性能;第十七章是掺杂铌酸锂晶体倍频性能研究。

本书第一、六、七章由杨春晖撰写,第二、十一、十二章由孙亮撰写,第三、九章由冷雪松撰写,第十四、十五、十七章由徐超撰写,第四、八章由范叶霞撰写,第十六章由徐玉恒撰写,第五章由仲维卓撰写,第十三章由甄西合撰写,第十章由毕建聪撰写。

全书由杨春晖教授和徐玉恒教授统审。由于作者水平有限,撰写差错在所难免,敬请读者批评指正。

此外本书在写作和出版过程中得到下列项目的支持:①国家重大基础计划(973)子课题“新型超高密度快速光信息存储与处理基础研究”(编号 19990330);②国家高技术研究发展计划(863)项目“超大容量快速光学全息存储材料及器件的研究”(编号 2001AA313040);③国家自然科学基金项目“数字信息立体显示的快速全息记录方法研究”(编号 6077006);④黑龙江省博士后基金(编号 LBH—Z08144);⑤中国博士后基金(编号 20080440128);⑥国家自然科学基金(编号 50872023);⑦清华大学精密测试技术及仪器国家重点实验室开放基金;⑧黑龙江省博士后基金(编号 LBH—208119);⑨中国博士后基金(编号 20080440845)。

目 录

前言

第一章 铌酸锂晶体	1
1.1 铌酸锂晶体概述	1
1.2 铌酸锂晶体掺杂改性	3
1.3 掺杂铌酸锂晶体的应用	4
1.3.1 光学体全息存储	4
1.3.2 热固定法	6
1.3.3 电固定法	6
1.3.4 双光子固定法	7
1.3.5 单掺杂或非掺杂双光子固定法	7
1.3.6 双掺杂双光子固定法	8
1.4 光折变晶体的位相共轭	9
1.5 全息关联存储	10
1.6 集成光学的应用	11
1.6.1 光波导简述	11
1.6.2 光波导理论	11
1.6.3 平面光波导的传播模式	12
1.6.4 激光光束与波导之间的耦合方式	13
1.6.5 基片的制备	15
1.7 非线性光学的应用	15
参考文献	16
第二章 铌酸锂晶体的生长	19
2.1 提拉法生长铌酸锂晶体	19
2.1.1 原料合成	19
2.1.2 原料的预烧结	20
2.1.3 晶体生长	20
2.1.4 设备安装	21
2.1.5 溶质分凝和组分过冷	22
2.1.6 铌酸锂晶体生长的工艺参数	23

2.1.7	晶体生长过程	25
2.1.8	晶体的极化	26
2.1.9	晶体的加工	27
2.2	单掺杂 LiNbO_3 晶体的生长	28
2.2.1	晶体生长和样品的制备	28
2.2.2	提高铌酸锂晶体光折变效应的掺杂浓度	29
2.2.3	氧化和还原处理	30
2.3	单掺和双掺杂铌酸锂晶体(抗光损伤杂质)的生长	31
2.3.1	掺抗光损伤杂质 LiNbO_3 晶体的生长工艺	32
2.3.2	防止晶体开裂	33
2.3.3	生长条纹及其抑制	34
2.4	不同 Li/Nb 比 LiNbO_3 晶体的生长	35
2.5	化学计量比铌酸锂晶体的生长	37
2.5.1	双坩埚技术	38
2.5.2	气相交换平衡法	38
2.5.3	顶上籽晶熔液生长(TSSG)法(熔盐提拉法)生长化学计量比铌酸锂晶体	39
2.6	提拉法生长晶体的优缺点	39
2.7	坩埚下降法生长 LiNbO_3 晶体	40
	参考文献	41
第三章	铌酸锂晶体的光折变效应	43
3.1	光折变效应简介	43
3.2	光折变效应的特点	43
3.3	光折变效应的发展	44
3.4	光激发电场载流子的产生	44
3.5	电荷载流子的输运	45
3.5.1	扩散	45
3.5.2	漂移	46
3.5.3	光生伏打效应	47
3.5.4	电荷输运方程	48
3.6	光折变效应基本方程	49
3.7	光致空间电荷场	51
3.8	LiNbO_3 晶体中的光折变中心	56
3.9	光折变效应的物理过程	58
3.9.1	$\text{In}:\text{Ce}:\text{Cu}:\text{LiNbO}_3$ 晶体中载流子输运模型	59

3.9.2 双光子 LiNbO_3 晶体的光伏场与光强的关系	62
参考文献	64
第四章 铌酸锂晶体的结构及缺陷	66
4.1 铌酸锂晶体的基本结构	66
4.2 铌酸锂晶体的本征缺陷结构	70
4.3 铌酸锂晶体的非本征缺陷结构	72
4.3.1 二价掺杂离子的占位	73
4.3.2 高价掺杂离子的占位	75
4.4 铌酸锂晶体中 Li/Nb 比对结构和性能的影响	77
4.4.1 Li/Nb 比对铌酸锂晶体 Raman 谱线宽的影响	77
4.4.2 Li/Nb 比对铌酸锂晶体居里温度的影响	77
4.4.3 Li/Nb 比对铌酸锂晶体折射率的影响	78
4.4.4 Li/Nb 比对相匹配角和相匹配温度的影响	79
4.4.5 Li/Nb 比对铌酸锂晶体密度和晶胞参数的影响	79
4.4.6 Li/Nb 比对铌酸锂晶体光折变性能的影响	79
4.5 其他电荷输运模型	80
4.5.1 电子-空穴竞争模型	80
4.5.2 双中心电荷输运模型	81
4.5.3 三价态电荷输运模型	83
参考文献	85
第五章 铌酸锂晶体的生长基元与结晶形貌	88
5.1 化学键	88
5.2 晶体构型与化学键	89
5.3 晶体生长理论模型概述	93
5.4 铌酸锂晶体的形貌	94
5.4.1 晶体的结晶形貌	94
5.4.2 LN 晶体结构与形貌	95
5.5 LN 熔体结构与生长基元	96
5.5.1 LN 熔体结构	96
5.5.2 LN 晶体生长基元	96
5.6 铌酸锂晶体的结晶习性	97
5.6.1 铌酸锂晶体结晶学特征	97
5.6.2 铌酸锂结晶习性	98
5.7 影响晶体结晶形态的因素	100
参考文献	102

第六章 掺杂铌酸锂晶体双光束耦合及光折变性能	104
6.1 双光束耦合理论	104
6.2 掺杂铌酸锂薄晶体指数增益系数	106
6.2.1 双光束耦合实验	106
6.2.2 基于大角光致散射的机理分析	108
6.3 Ce:Mn 系列 LiNbO ₃ 晶体的光学性能和光折变性能	112
6.3.1 Ce:Mn 系列铌酸锂晶体的原料配比	112
6.3.2 差热分析结果	113
6.3.3 晶体的极化及氧化还原处理	114
6.3.4 氧化还原处理	116
6.3.5 红外光谱测试结果	117
6.3.6 OH ⁻ 吸收峰移动机理研究	118
6.3.7 紫外-可见吸收光谱分析	120
6.3.8 Li/Nb 比对 Ce:Mn:LiNbO ₃ 的指数增益系数的影响	123
6.3.9 双光束耦合衍射效率测试	124
6.3.10 温度对 Ce:Mn:LiNbO ₃ 晶体的指数增益系数的影响	124
参考文献	124
第七章 双掺杂铌酸锂晶体光折变效应	126
7.1 双掺杂铌酸锂晶体光折变增强的理论研究	126
7.1.1 双掺杂晶体中载流子输运模型	126
7.1.2 双掺杂晶体的光折变动力学方程	129
7.1.3 速率方程的稳态解	130
7.2 双掺杂铌酸锂晶体光折变增强的实验研究	133
7.3 Ce:Fe:LN 晶体的光学性能和光折变性能	136
7.3.1 Ce:Fe:LN 晶体的成分配比	137
7.3.2 居里温度	137
7.3.3 Ce:Fe:LN 晶体的极化	138
7.3.4 锆铁系铌酸锂晶体晶格常数的计算及其结构分析	138
7.3.5 紫外-可见光吸收光谱	141
7.3.6 基础吸收边移动机理	142
7.3.7 Ce:Fe:LN 晶体的光折变性能	145
参考文献	145
第八章 掺杂铌酸锂晶体全息存储性能研究	147
8.1 衍射效率	147
8.1.1 静态型全息光栅的衍射效率	147

8.1.2	动态型全息光栅的衍射效率	148
8.2	光折变响应时间	149
8.2.1	响应时间表达式	150
8.2.2	光电导的测算	150
8.2.3	响应时间的测试	151
8.3	擦除时间	151
8.4	光折变灵敏度	151
8.5	体全息存储系统中光折变晶体的动态范围	153
8.5.1	动态范围的引入及其定义	153
8.5.2	动态范围 $M_{\#}$ 的计算与优化	153
8.5.3	LN 晶体的 $M_{\#}$	154
8.6	掺铁 LN 晶体的存储性能	157
8.6.1	Fe:LN 晶体作为光折变体全息存储的首选材料的优点	157
8.6.2	掺铁铌酸锂晶体全息存储性能的优化	157
8.6.3	Fe:LN 晶体全息存储性能研究	159
8.7	Ce 系 LN 晶体的生长的全息存储性能光学性能和全息存储性能	160
8.7.1	Ce 系 LN 晶体 X 射线衍射分析	160
8.7.2	Ce 系 LN 晶体光折变存储性能的测试	161
8.8	铜铁系 LN 晶体的光折变存储性能	162
8.8.1	Cu:Fe:LN 晶体的光折变存储性能	162
8.8.2	Cu:Fe:LN 晶体的光折变存储性能	163
	参考文献	166
第九章	掺杂铌酸锂晶体全息存储及其应用	169
9.1	晶体存储技术的基本原理及研究意义	169
9.2	光学体全息存储系统评价	171
9.2.1	存储密度	172
9.2.2	信噪比	172
9.2.3	误码率	172
9.2.4	存储密度和记录介质的动态范围	173
9.2.5	Ce:Fe:LN 系列铌酸锂晶体在光学体全息存储及其应用	173
9.3	Zn:Fe:LN 晶体在海量光学体全息存储及其应用	175
9.3.1	海量光学体全息存储	176
9.3.2	海量光学体全息存储的基本原理	176
9.3.3	海量光学体全息存储系统的建立	177

9.3.4	二维海量光学存储及识别系统的容量	179
9.3.5	16级灰度图像的相关识别	181
9.3.6	匹配滤波相关器	181
9.3.7	角度复用的体全息相关器	181
9.4	Fe:LN 晶体体全息大容量存储实验	182
9.4.1	实验装置	182
9.4.2	读出图像强度分布的不均匀及其克服方法	183
9.4.3	大容量存储实验	186
	参考文献	189
第十章	光折变晶体中位相共轭效应及温度效应	190
10.1	四波混频耦合波方程的数值解法	190
10.2	掺杂 LN 晶体位相共轭性能研究	194
10.2.1	掺杂 LN 晶体位相共轭性能测试	194
10.2.2	掺杂 LN 晶体的位相共轭镜消除光波的位相畸变	196
10.3	Ce:Mn:LN 晶体的非简并四波混频	196
10.3.1	实验装置和结果	196
10.3.2	对实验现象的定性解释	198
10.4	利用位相共轭镜(PCM)实现关联存储	198
10.4.1	记忆单个物的关联存储	198
10.4.2	记忆 N 个物的关联存储	199
10.4.3	全息关联存储	200
10.4.4	采用自泵浦位相共轭镜的关联存储器	200
10.4.5	采用四波混频位相共轭镜的关联存储器	201
10.4.6	外泵浦位相共轭激光器	203
10.4.7	稳态输出特性	204
10.5	铌酸锂晶体简并四波混频相位共轭的温度特性	205
10.5.1	实验设备	205
10.5.2	正常温度特性	206
10.5.3	异常温度特性	208
	参考文献	210
第十一章	钇系列铌酸锂晶体的光学性能	212
11.1	Er:LiNbO ₃ 晶体的研究的意义及进展	212
11.2	掺钇基质材料的选择与放大器基本原理	213
11.3	Er:LiNbO ₃ 晶体的生长	214
11.4	钇双掺铌酸锂晶体的吸收特性	215

11.4.1	双掺 Mg/Er-LiNbO ₃ 晶体的吸收特性	215
11.4.2	双掺 In/Er-LiNbO ₃ 晶体的吸收特性	217
11.4.3	双掺 Sc/Er-LiNbO ₃ 晶体的吸收特性	217
11.5	铒双掺铌酸锂晶体的 J-O 理论分析	219
11.5.1	Judd-Ofelt 理论模型	219
11.5.2	双掺 Mg/Er-LiNbO ₃ 晶体的 J-O 理论分析	221
11.5.3	双掺 In/Er-LiNbO ₃ 晶体的 J-O 理论分析	225
11.5.4	双掺 Sc/Er-LiNbO ₃ 晶体的 J-O 理论分析	228
	参考文献	231
第十二章	镁系列和锌系列铌酸锂晶体的光折变性能	233
12.1	Mg 系列 LN 晶体的光学性能和光折变性能	233
12.1.1	Mg ²⁺ 浓度和 Li/Nb 摩尔比变化对 LiNbO ₃ 晶体光学性能的作用和 影响	233
12.1.2	晶体生长和样品制备	233
12.1.3	Mg:LN 晶体光学性能测试	234
12.1.4	Mg:LN 晶体的紫外可见吸收光谱	234
12.1.5	Mg:LN 晶体吸收边移动机理	235
12.1.6	Mg:LN 晶体红外光谱测试	236
12.1.7	OH ⁻ 吸收峰移动机理	236
12.1.8	Mg:LiNbO ₃ 晶体光损伤阈值增强研究	237
12.2	Mg:Fe:LN 晶体的光折变效应	237
12.2.1	m 线法测试 Mg 系列 LN 晶体波导基片光损伤	238
12.2.2	光波导光损伤的测量结果	239
12.3	Zn 系列 LN 晶体的光学性能和光折变性能	240
12.3.1	Zn:LN 晶体的生长	241
12.3.2	Raman 光谱法测定晶格结构	242
12.3.3	测试结果与晶体结构分析	242
12.4	Zn:Fe:LN 晶体的光学性能和存储性能	246
12.4.1	Zn:Fe:LN 晶体红外吸收光谱测试	247
12.4.2	Zn:Fe:LN 晶体紫外-可见吸收光谱测试	247
12.4.3	晶体中掺杂离子浓度测定结果	250
12.4.4	Zn:Fe:LN 晶体抗光损伤性能	252
12.4.5	全息存储性能测试	253
12.4.6	空间电荷场和扩散场的计算结果	254
	参考文献	255

第十三章 铟系列和钪系列铌酸锂晶体的光折变性能	257
13.1 In:LN 晶体和 Sc:LN 晶体光谱性能和抗光损伤	257
13.1.1 Sc:LN 晶体红外光谱测试	258
13.1.2 In:LN 晶体和 Sc:LN 晶体抗光损伤能力测试	258
13.2 In:Ce:Cu:LN 晶体的光折变体全息存储性能测试	259
13.2.1 衍射效率和擦除时间的测量	260
13.2.2 In:Ce:Cu:LN 晶体的光折变体全息图像库的相关识别的应用	261
13.3 不同 Li/Nb 比铌铁铌酸锂晶体光折变性能的研究	263
13.3.1 晶体生长	263
13.3.2 不同 Li/Nb 比铌铁铌酸锂晶体的缺陷结构	264
13.4 In:Fe:LN 晶体全息存储性能测试	266
13.4.1 衍射效率测试	266
13.4.2 响应时间和擦除时间的测量	267
13.4.3 实验结果讨论	267
13.5 In:Fe:LN 晶体光折变性能的提高	268
13.5.1 In 掺杂的效果实验	269
13.5.2 光折变性能的提高	270
13.6 不同 Li/Nb 比 Mg:Sc:Fe:LN 晶体生长及光折变性能	271
13.6.1 晶体生长及加工	272
13.6.2 抗光致散射能力的测试	272
13.6.3 二波耦合测试	272
13.6.4 紫外可见吸收光谱	273
13.6.5 红外光谱	274
13.6.6 二波耦合及抗光损伤能力	275
13.7 近化学计量比 Zn:Sc:Fe:LN 晶体位相共轭	276
13.7.1 Zn:Sc:Fe:SLN 晶体红外光谱	276
13.7.2 Zn:Sc:Fe:SLN 晶体位相共轭效应测试	277
参考文献	279
第十四章 锆系列铌酸锂晶体光折变性能	280
14.1 Zr:LiNbO ₃ 晶体缺陷结构和抗光损伤性能	280
14.1.1 Zr:LiNbO ₃ 晶体的生长和缺陷结构研究	280
14.1.2 Zr:LiNbO ₃ 晶体抗光损伤研究	281
14.1.3 Zr:LiNbO ₃ 晶体的光谱性能	283
14.2 Li/Nb 摩尔比变化对 Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体光折变性能的影响	285
14.2.1 Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体的生长	285

14.2.2	Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体的抗光损伤	286
14.2.3	Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体的红外光谱	287
14.2.4	Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体指数增益系数	288
14.2.5	Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体全息存储性能	288
14.3	Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体四波混频位相共轭镜的关联存储性能	289
14.3.1	Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体的生长和样品制备	289
14.3.2	Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体的红外光谱	290
14.3.3	m 线法研究波导基片光损伤	290
14.3.4	位相共轭性能测试	291
14.3.5	Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体全息关联存储	292
14.4	近化学计量比 Zr:Fe:LiNbO ₃ 晶体的存储性能和缺陷结构	293
14.4.1	Zr:Fe:SLiNbO ₃ 晶体的生长	294
14.4.2	晶体性能测试	294
14.4.3	Zr:Fe:SLiNbO ₃ 晶体全息存储性能	295
14.4.4	Zr:Fe:SLiNbO ₃ 晶体全息存储系统	295
	参考文献	297
第十五章	铪系列铌酸锂晶体光折变性能	299
15.1	Hf:LiNbO ₃ 晶体的缺陷结构和抗光折变性能	299
15.1.1	晶体样品的制备	299
15.1.2	晶体光学均匀性	299
15.1.3	Hf:LiNbO ₃ 晶体红外光谱	300
15.1.4	全息法原理	301
15.1.5	Hf:LiNbO ₃ 晶体抗光损伤	302
15.2	不同[Li]/[Nb]比共掺 Hf:Fe:LiNbO ₃ 晶体光折变指数增益的研究	303
15.2.1	Hf:Fe:LiNbO ₃ 晶体红外光谱测试	304
15.2.2	Hf:Fe:LiNbO ₃ 晶体抗光折变能力测试	305
15.2.3	Hf:Fe:LiNbO ₃ 晶体指数增益系数	305
15.3	Hf:Fe:LiNbO ₃ 晶体图像热固定及存储寿命的研究	308
15.3.1	热固定原理	309
15.3.2	Hf:Fe:LiNbO ₃ 晶体图像热固定实验	310
15.3.3	Hf:Fe:LiNbO ₃ 晶体热固定衰减时间(存储寿命)的测试	311
15.4	Hf:Cu:Fe:LiNbO ₃ 晶体非挥发全息存储	313
15.4.1	晶体生长和样品制备	314
15.4.2	Hf:Cu:Fe:LiNbO ₃ 晶体抗光致散射能力	314

15.4.3	Hf:Cu:Fe:LiNbO ₃ 晶体抗光致散射能力的机理	315
15.4.4	晶体全息存储性能	315
15.5	晶体非挥发性全息存储	316
15.5.1	Hf:Cu:Fe:LiNbO ₃ 晶体双光子固定	316
15.5.2	Cu:Fe:LiNbO ₃ 晶体的非挥发性全息存储的记录方案研究	317
	参考文献	317
第十六章 近化学计量比铌酸锂晶体的光学性能和光折变性能		320
16.1	SLN 晶体的生长及性能的研究	320
16.1.1	SLN 晶体的生长	320
16.1.2	LN 晶体的相位匹配和晶体中 Li 的浓度	321
16.1.3	强还原 SLN 产生快的光折变响应	322
16.2	SFe:LN 光谱性能和光折变性能	324
16.2.1	Fe:SLN 性能的优点与缺点	324
16.2.2	X 射线衍射测试	325
16.2.3	Fe:SLN 杂质离子占位分析和红外光谱的测试	329
16.2.4	Fe:SLN 全息存储性能的要求	331
16.2.5	Fe:SLN 光折变性能的测试	332
16.2.6	生长态 Fe:SLN 光折变性能	333
16.3	TSSG 法生长近化学计量比 Fe:Mg:LN 晶体的生长和存储性能研究	335
16.3.1	实验	335
16.3.2	Fe:Mg:LN 晶体性能测试	336
16.3.3	结果和讨论	337
16.3.4	掺杂 LN 晶体 OH ⁻ 吸收峰移动机理	337
16.3.5	Fe:Mg:LiNbO ₃ 晶体抗光损伤阈值	338
16.3.6	大容量全息存储实验	339
16.4	掺 Mn 近化学计量比铌酸锂晶体光学性能	339
16.4.1	实验和结果	340
16.4.2	铁电畴结构	340
16.4.3	红外光谱	340
	参考文献	341
第十七章 掺杂铌酸锂晶体倍频性能研究		343
17.1	干涉照相法测试晶体双折射梯度	343
17.1.1	双折射梯度自动扫描检测原理及装置	344
17.1.2	测量结果及讨论	346

17.1.3	由双折射梯度来估计消光比	347
17.1.4	晶体倍频的基本原理	347
17.1.5	两类相位匹配	349
17.2	Mg:LN 晶体与 Zn:LN 晶体的抗光损伤能力测试	351
17.3	晶体倍频性能测试	351
17.3.1	不同 Li/Nb 比 Zn(6.5mol%):LN 晶体的倍频性能	352
17.3.2	不同 Li/Nb 比 Zn(6.5mol%):LN 晶体的生长工艺条件	353
17.4	不同浓度 Mg:LN 晶体和不同浓度 Zn:LN 晶体的倍频性能	354
17.5	角度匹配测试倍频转换效率	355
17.6	暗迹的产生	357
15.6.1	暗迹的吸收光谱	359
17.6.2	氧化还原对 Mg:LN 晶体倍频转换效率的影响	359
17.6.3	光致暗迹产生机理探讨	360
参考文献		361

第一章 铌酸锂晶体

1.1 铌酸锂晶体概述

Matthias 和 Remeira^[1]于 1949 年首先用助溶剂方法(LiF 为助溶剂)生长出铌酸锂(LiNbO_3 , 简称 LN)单晶体,并报道了其铁电性质。1958 年 Reisman 和 Holtzbesg^[2]以相互作用的氧化物产物的结构稳定性为基础,利用 DTA(差热分析)、X 射线及密度测量技术研究了 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 体系的多相平衡,指出当 Li 和 Nb 原子比为 1:1 时,体系同成分溶化。以 Reisman 的相图为基础,Bauman^[3]1965 年首次用 Czochralski 技术生长出 LN 大单晶。继之 Peterson^[4]对 LiNbO_3 晶体的电光效应进行了初步研究。Narsall^[5,6]和 Abrahams^[7~9]对 LiNbO_3 晶体的生长、畴结构、位错、X 射线、中子衍射等各项特性进行了深入细致的研究。X 射线数据表明,室温下 LiNbO_3 属于三方晶系,3m 点群。可以把整个晶体看成是由氧八面体组成,相邻的氧八面体有共同的顶点构成 ABO_3 晶格。沿三重极轴(c 轴)排列着畸变的氧八面体。氧八面体中出现的正离子次序为 Nb-Li-空。三角晶系单胞的点阵常数为 $a_R = 5.4944\text{\AA}$, $\alpha = 55^\circ 22'$ 。一般借用六角晶系坐标来描述其点阵常数,此时 $a_H = 5.1483\text{\AA}$, $C_H = 13.8631\text{\AA}$, LiNbO_3 的每个六方单胞中含有六个 LiNbO_3 分子。

由于在 LiNbO_3 结构中不存在对称中心,由群论知识可知^[10]该晶体具有非线性光学性质。Boy 等^[11]首先观察到了 LiNbO_3 晶体的非线性光学效应,实现了倍频及参量振荡,并指出,由于其具有较大的非线性光学系数,比 KDP 大一个数量级($\text{LiNbO}_3 d_{31} = 18$, $\text{KDP } d_{36} = 1.04$),因而是一种非常有希望的非线性光学材料。

折射率的空间不均匀性使得 LiNbO_3 在给定温度下晶体各点不能实现相位匹配,因而使有效长度缩短,大大降低倍频转换效率,Midwinter^[12]首先注意到这一现象。1968 年, Bergman^[13]和 Hirano 等^[14]认为造成双折射不均匀性的原因是晶体中组分分布的不均匀性。为此 Lerner^[15]重新测定了 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 体系的相图,指出 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 体系的固液同成分点在 $48\sim 49\text{mol}\%\text{Li}_2\text{O}$ 处。1969 年 Peterson^[16]和 Carruthers^[17]分别用现代核磁共振技术及 Nb NMR 技术测量得到 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 体系固液同成分点组分在 $48.6\text{mol}\%\text{Li}_2\text{O}$ 处。配料只有选在同成分点时在晶体生长的整个过程中固液相的成分(即晶体中成分和熔体中的成分)才是一致的,而同成分点的任意小的偏离,都将引起晶体中组分的变化。Byer 等^[18]首先采