



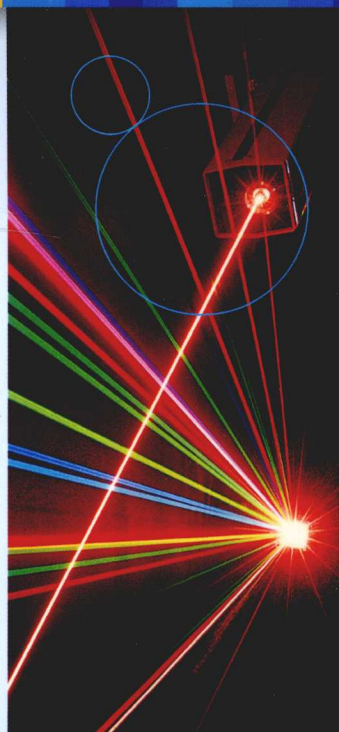
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材

激光技术 (第三版)

蓝信钜 等 编著



科学出版社
www.sciencep.com



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材

激光技术

(第三版)

蓝信钜等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了各种主要激光技术的原理与实施方法,内容包括激光调制与偏转技术、调Q技术、超短脉冲技术、激光放大技术、模式选择技术、稳频技术、非线性光学技术和激光传输技术,并对各种激光技术的新进展进行了简要介绍。本书注重物理概念和基本原理的论述,并适当结合一定的实例,叙述深入浅出,便于自学。

本书可作为高等院校光电子技术、光信息技术、技术物理、光电仪器、应用物理等专业的本科生教材,也可作为物理电子学等专业研究生的教学参考书,并可供从事光电子技术的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

激光技术/蓝信钜等编著. —3版. —北京:科学出版社,2009

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材)

ISBN 978-7-03-025512-9

I. 激… II. 蓝… III. 激光技术-高等学校-教材 IV. TN24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 159146 号

责任编辑:马长芳 张 濮/ 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠 / 封面设计:黄华斌

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>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005 年 1 月第 二 版 印张:22 1/2

2009 年 9 月第 三 版 字数:497 000

2009 年 9 月第八次印刷 印数:18 001—21 500

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材》

编 委 会

顾 问:姚建铨 中国科学院院士 天津大学
蔡惟铮 国家级教学名师 哈尔滨工业大学

主 任:吕志伟 教授 哈尔滨工业大学

副主任:金亚秋 教授 复旦大学
郝 跃 教授 西安电子科技大学
严晓浪 教授 浙江大学
胡华强 编审 科学出版社

委 员:(按姓氏笔画为序)

王卫东	教授	中国科学技术大学	张 兴	教授	北京大学
王志华	教授	清华大学	张怀武	教授	电子科技大学
毛军发	教授	上海交通大学	张贵忠	教授	天津大学
文玉梅	教授	重庆大学	张雪英	教授	太原理工大学
匡 敏	副编审	科学出版社	陈弟虎	教授	中山大学
仲顺安	教授	北京理工大学	陈徐宗	教授	北京大学
任晓敏	教授	北京邮电大学	陈鹤鸣	教授	南京邮电大学
刘纯亮	教授	西安交通大学	欧阳征标	教授	深圳大学
杨冬晓	教授	浙江大学	都思丹	教授	南京大学
杨瑞霞	教授	河北工业大学	高 勇	教授	西安理工大学
时龙兴	教授	东南大学	郭树旭	教授	吉林大学
何伟明	教授	哈尔滨工业大学	黄卡玛	教授	四川大学
余 江	教授	云南大学	崔一平	教授	东南大学
邸 旭	教授	长春理工大学	逯贵祯	教授	中国传媒大学
邹雪城	教授	华中科技大学	曾 云	教授	湖南大学
应质峰	教授	复旦大学	谢 泉	教授	贵州大学
宋 梅	教授	北京邮电大学	蔡 敏	教授	华南理工大学

丛 书 序

材料、能源和信息是 21 世纪的三大支柱产业,电子科学与技术是电子工程和电子信息发展的基础学科。目前,许多发达国家,如美国、德国、日本、英国、法国等,都竞相将电子科学与技术相关领域纳入了国家发展计划。我国对微电子技术和光电子技术等方向的研究也给予了高度重视,在多项国家级战略性科技计划中,如“863 计划”、“973 计划”、国家科技攻关计划、国家重大科技专项等,都有大量立项。在近几年发布的国务院《2006—2020 年国家信息化发展战略》、《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中,对我国的集成电路(特别是中央处理器芯片)、新一代信息功能材料及器件、高清晰度大屏幕平板显示、激光技术等关键领域都提出了明确目标。

电子科学与技术主要研究制造电子、光电子的各种材料及元器件,以及集成电路、集成电子系统和光电子系统,并研究开发相应的设计和制造技术。它涵盖的学科范围很广,是多学科交叉的综合性学科。现在,教育部本科专业目录中,电子科学与技术专业涵盖了微电子技术、光电子技术、物理电子技术、电子材料与元器件及电磁场与微波等专业方向。随着学科的交叉发展和产业的整合,各专业方向已彼此渗透交融。如何拓宽专业方向?如何体现专业特色?是当前我国高校电子科学与技术专业在办学方面所迫切需要探讨的问题。教育部电子科学与技术专业教学指导分委员会起草的《普通高等学校电子科学与技术本科指导性专业规范》,对本专业的核心知识领域和知识单元的覆盖范围作了规定,旨在引导高等学校电子科学与技术专业在办学方向与人才培养方面探索新的模式,不断提高教学质量,增强高校教学的创新能力,更好地培养知识、能力、素质全面协调发展的,适合我国电子科学与技术各领域不同层次发展需求的有用人才。

教育部为了推进“质量工程”,自 2007 年 10 月开始,先后三批遴选了国家级特色专业建设点。目前,有三十余个院系被批准为电子科学与技术国家级特色专业建设点。在教材建设方面,2008 年 10 月,教育部高教司在《关于加强“质量工程”本科特色专业建设的指导性意见》中指示:“教材建设要反映教学内容改革的成果,积极推进教材、教学参考资料和教学课件三位一体的立体化教材建设,选用高质量教材,编写新教材。”为了适应新形势下对电子科学与技术领域人才培养的需求,本届电子科学与技术教学指导分委员会经过广泛深入调研,依托电子科学与技术专业国家级、省级特色专业建设点,与科学出版社共同组织出版本套《普通高等教育电子科学与技术类特色专业系列规划教材》,旨在贯彻专业规范和教学基本要求,总结和推广各特色专业建设点的教学经验和教学成果,以提高我国电子科学与技术专业本科教学的整体水平。

本套丛书在组织编写中,重点考虑了以下几方面的特色:

1. 体现专业特色,贯彻专业规范和教学基本要求。依托“国家级、省级特色专业建设点”,汇总优秀教学成果,将特色专业建设的内容、国内外科研教学的成果、电子科学与技

术方向的专业规范与教学基本要求结合起来,教材内容安排围绕专业规范,体现核心知识单元与知识点。

2. 按照分类指导原则,满足多层面的需求。针对同一类课程,根据不同的教学层次(普通院校、重点院校或研究型大学、应用型大学)和学时要求(多学时、少学时),涵盖不同范围的拓展知识单元,编写适合不同层次需求的教材。注重与先修课程、后续课程的有机衔接,每本教材在重视系统性和完整性的基础上,尽量减少内容重复。

3. 传承精品,吐故纳新。本套丛书吸纳了科学出版社2004年出版的《高等院校电子科学与技术专业系列教材》中受到高校师生欢迎的精品教材。在保证前一版教材准确诠释基本概念、基本理论的基础上,新版教材更新内容,注重反映本学科领域的最新成果和发展方向,真正使教材能够达到培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”人才的目的。

4. 拓宽专业基础,面向工程应用,加强实践环节。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强学生的适应性;面向工程应用,突出工科特色,反映新技术、新工艺;注重实践环节的设置,以促进学生的实际动手能力和创新能力的培养。

5. 注重立体化建设。本套丛书除了主教材外,还将逐步配套学习辅导书、教师参考书和多媒体课件等,为任课教师提供丰富的配套教学资源,方便教师教学,同时帮助学生复习与自学,使教材更加易教易学。

本套丛书的编写汇聚了全国高校的优势资源,突出了多层次与适应性、综合性与多样性、前沿性与先进性、理论与实践的结合。在教材的组织和出版过程中得到了相关高校教务处及学院的帮助,在此表示衷心的感谢。

根据电子科学与技术专业发展战略的要求,我们将对本套丛书不断更新,以保持教材的先进性和适用性。热忱欢迎全国同行以及关注电子科学与技术领域教育及发展前景的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议!

教育部高等学校电子科学与技术专业
教学指导分委员会主任
哈尔滨工业大学教授

前 言

本书第一版从 20 世纪 80 年代以来,先后为历届教学指导委员会审定、推荐出版,于 1997 年被原国家教委定为“九五”国家级重点教材。第二版于 2001 年被教育部定为普通高等教育“十五”国家级规划教材。第三版是在第二版的基础上修改而成,于 2006 年被教育部定为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书对应课程的参考学时数为 70 学时。全书共分 5 个部分(8 章)。第一部分(第 1 章),激光调制与偏转技术,主要讨论电光与声光调制等技术的基本原理;第二部分(第 2 至 4 章),激光调 Q、超短脉冲和放大技术,主要讨论提高激光脉冲的功率和能量的基本理论和实现方法;第三部分(第 5 至 6 章),激光模式选择、稳频技术,着重讨论激光器实现单模(横、纵)输出和稳定振荡频率的物理原理和实现方法;第四部分(第 7 章),非线性光学技术,首先阐述非线性光学的物理概念,然后讨论以倍频技术为重点的非线性光学技术的基本原理和实施办法;第五部分(第 8 章),激光传输技术,着重讨论光纤传输理论和技术,简要介绍激光的大气和水下传输技术。

本书是按照全国高校工科电子信息类光电子信息专业的教学大纲编写的专业基础课教材,具有物理光学和激光原理基础知识的读者可以顺利阅读。本书适用于高等院校光电电子技术、光信息技术、技术物理、光电仪器、应用物理等专业本科生作为教材,可作为物理电子学等专业研究生的主要教学参考书,也可供从事光电技术的科技人员参考。本书各章的内容基本上是相对独立的,因此在阅读时有很大的灵活性,各校可从教学的实际情况出发,有所侧重地选择讲授的内容。另外,本书虽以介绍基本原理为主,但“激光技术”是实践性比较强的一门课程,所以有些章节仍编入了一定篇幅的技术方法和实例,以求能更好地做到理论与实际相结合。每章后面附有习题与思考题,供学生练习选用。

本书由华中科技大学蓝信钜担任主编,朱长虹担任副主编。其中,第 1、6 章由华中科技大学蓝信钜执笔,第 2、5 章由华中科技大学陈培锋执笔,第 3 章由天津大学姚建铨、宁继平执笔,第 4 章由华中科技大学刘劲松执笔,第 7 章由华中科技大学朱长虹执笔,第 8 章由西安电子科技大学安毓英执笔。蓝信钜负责统编全稿。在本书编写过程中,参阅了一些著作和文章,在参考文献中未能一一列出,在此谨向他们表示诚挚的感谢。此外,在本书的前期建设中,还有黄国标、张渝楠、李昱等参与过编写,做出了贡献,在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者
2009 年 5 月

目 录

丛书序

前言

绪言	1
第 1 章 激光调制与偏转技术	5
1.1 调制的基本概念	5
1.1.1 振幅调制	6
1.1.2 频率调制和相位调制	6
1.1.3 强度调制	8
1.1.4 脉冲调制	8
1.1.5 脉冲编码调制	9
1.2 电光调制	10
1.2.1 电光调制的物理基础	10
1.2.2 电光强度调制	17
1.2.3 电光相位调制	21
1.2.4 电光调制器的电学性能	21
1.2.5 电光波导调制器	25
1.2.6 电光偏转	29
1.2.7 设计电光调制器应考虑的问题	32
1.3 声光调制	33
1.3.1 声光调制的物理基础	33
1.3.2 声光互作用的两种类型	35
1.3.3 声光体调制器	45
1.3.4 声光波导调制器	52
1.3.5 声光偏转	52
1.3.6 声光调制器设计应考虑的事项	55
1.4 磁光调制	60
1.4.1 磁光效应	60
1.4.2 磁光体调制器	61
1.4.3 磁光波导调制器	62
1.5 直接调制	63
1.5.1 半导体激光器(LD)直接调制的原理	63
1.5.2 半导体发光二极管(LED)的调制特性	64
1.5.3 半导体光源的模拟调制	65
1.5.4 半导体光源的 PCM 数字调制	65

1.6 空间光调制器	66
1.6.1 空间光调制器的基本概念	66
1.6.2 空间光调制器的基本功能	67
1.6.3 几种典型的空间光调制器	68
习题与思考题	73
参考文献	74
第2章 调Q(Q开关)技术	75
2.1 概述	75
2.1.1 脉冲固体激光器的输出特性	75
2.1.2 调Q的基本原理	77
2.1.3 实现调Q对激光器的基本要求	79
2.2 调Q激光器的基本理论	79
2.2.1 调Q的速率方程	80
2.2.2 速率方程的求解	80
2.3 电光调Q	86
2.3.1 带偏振器的电光调Q器件	87
2.3.2 单块双45°电光调Q器件	88
2.3.3 脉冲透射式(PTM)调Q	91
2.3.4 调Q技术的其他功能	93
2.4 设计电光调Q激光器应考虑的问题	94
2.4.1 调制晶体材料的选择	95
2.4.2 调制晶体的电极结构	96
2.4.3 对激光工作物质的要求	96
2.4.4 对光泵浦灯的要求	96
2.4.5 对Q开关控制电路的要求	96
2.5 声光调Q	97
2.5.1 声光调Q的基本原理	97
2.5.2 声光调Q器件的结构及设计	98
2.5.3 声光调Q动态实验及输出特性	101
2.5.4 声光腔倒空激光器	104
2.6 被动式可饱和吸收调Q	105
2.6.1 可饱和吸收染料的调Q原理	105
2.6.2 饱和吸收的速率方程	106
2.6.3 染料调Q激光器及其输出特性	107
2.6.4 LiF:F ²⁺ 色心晶体(可饱和吸收)调Q	110
2.6.5 二极管泵浦被动调Q激光器	111
2.7 转镜调Q简介	113
习题与思考题	116

参考文献	116
第3章 超短脉冲技术	117
3.1 概述	117
3.1.1 多模激光器的输出特性	117
3.1.2 锁模的基本原理	119
3.1.3 锁模的方法	120
3.2 主动锁模	121
3.2.1 振幅调制锁模	121
3.2.2 相位调制锁模	124
3.2.3 主动锁模激光器的结构及其设计要点	125
3.2.4 无失谐时的锁模脉宽及稳定锁模系统	126
3.3 被动锁模	128
3.3.1 固体激光器的被动锁模	129
3.3.2 染料激光器的被动锁模	131
3.4 同步泵浦锁模	134
3.4.1 同步泵浦锁模原理	134
3.4.2 同步泵浦锁模激光器的结构	137
3.5 自锁模	138
3.5.1 自锁模机理	138
3.5.2 超短脉冲的压缩技术	140
3.6 单一脉冲的选取与超短脉冲测量技术	144
3.6.1 单一脉冲的选取	145
3.6.2 超短脉冲的测量技术	147
3.7 几种典型的锁模激光器	152
3.7.1 掺钛蓝宝石自锁模激光器	152
3.7.2 半导体锁模激光器	155
3.7.3 掺铒光纤锁模激光器	156
习题与思考题	157
参考文献	158
第4章 激光放大技术	159
4.1 概述	159
4.2 脉冲放大器的理论	161
4.2.1 脉冲放大器的速率方程	161
4.2.2 速率方程的求解	162
4.2.3 对矩形脉冲放大的分析	164
4.2.4 其他脉冲波形的放大	167
4.2.5 脉冲信号在有损耗介质中的放大	167
4.3 长脉冲激光放大的稳态理论	169

4.3.1	稳态的速率方程	169
4.3.2	谱线轮廓对增益系数的影响	170
4.4	设计激光放大器应考虑的几个问题	172
4.4.1	放大器工作物质的选择	172
4.4.2	放大器工作物质端面反馈的消除	173
4.4.3	级间去耦问题	173
4.4.4	级间孔径匹配问题	175
4.4.5	各级泵浦时间的匹配	175
4.4.6	不均匀性影响的消除	176
4.5	再生式放大技术	178
4.5.1	外注入再生放大	178
4.5.2	注入锁定技术	179
4.5.3	自注入放大技术	180
4.6	半导体激光放大器	181
4.7	掺稀土元素光纤放大器	183
4.7.1	掺铒光纤放大器	184
4.7.2	掺镨光纤放大器	185
4.8	分布式光纤放大器	185
4.8.1	光纤拉曼放大器	186
4.8.2	光纤布里渊放大器	186
	习题与思考题	188
	参考文献	188
第5章	模式选择技术	189
5.1	概述	189
5.1.1	模式的基本概念	189
5.1.2	横模的形成	191
5.1.3	实际激光束的传输规律	192
5.2	横模选择技术	197
5.2.1	横模选择原理	197
5.2.2	横模选择的方法	200
5.2.3	激光的 Bessel 光束形式	208
5.3	纵模选择技术	209
5.3.1	纵模选择原理	209
5.3.2	纵模选择的方法	210
5.4	模式测量方法	216
5.4.1	直接观测法	216
5.4.2	光点扫描法	217
5.4.3	扫描干涉仪法	217

5.4.4 F-P 照相法	220
习题与思考题	221
参考文献	221
第 6 章 稳频技术	223
6.1 概述	223
6.1.1 频率的稳定性和复现性	223
6.1.2 影响激光频率稳定的因素	224
6.1.3 激光器主动稳频的方法	227
6.1.4 对参考标准频率(参考谱线)的要求	228
6.2 兰姆凹陷稳频	229
6.2.1 兰姆凹陷	229
6.2.2 兰姆凹陷稳频原理	229
6.2.3 应用兰姆凹陷稳频时应注意的问题	230
6.3 塞曼效应稳频	232
6.3.1 塞曼效应	232
6.3.2 塞曼效应双频稳频激光器	233
6.3.3 塞曼效应吸收稳频	236
6.4 饱和吸收稳频(反兰姆凹陷稳频)	236
6.5 其他稳频激光器	239
6.5.1 CO ₂ 激光器的稳频	239
6.5.2 Ar ⁺ 激光器(用 ¹²⁷ I ₂ 饱和吸收)稳频	240
6.5.3 脉冲激光器的稳频	241
6.5.4 半导体激光器的稳频	242
6.6 频率稳定性和复现性的测量	244
6.6.1 拍频的原理	244
6.6.2 拍频技术测量的频率稳定性和复现性	245
习题与思考题	247
参考文献	248
第 7 章 非线性光学技术	249
7.1 概述	249
7.1.1 非线性光学效应	249
7.1.2 非线性极化	249
7.1.3 非线性介质中的波耦合方程	252
7.2 激光倍频技术	254
7.2.1 倍频的波耦合方程及其解	254
7.2.2 相位匹配的意义与方法	256
7.2.3 准相位匹配方法(QPM)	261
7.2.4 倍频方式	262

7.2.5 倍频晶体	264
7.3 光参量振荡技术	265
7.3.1 光参量放大	265
7.3.2 光参量振荡	266
7.3.3 光参量振荡运转方式	268
7.3.4 光参量振荡器的频率调谐方法	268
7.4 受激拉曼散射	271
7.4.1 拉曼散射效应	271
7.4.2 波耦合分析	273
7.4.3 受激拉曼散射的调谐应用	275
7.4.4 拉曼频移激光器件	277
7.5 和频与三倍频技术	278
7.5.1 和频技术	278
7.5.2 三倍频技术	280
7.6 光学相位共轭	282
7.6.1 光学相位共轭的概念	282
7.6.2 光学相位共轭的方法与应用	283
习题与思考题	288
参考文献	288
第8章 激光传输技术	289
8.1 光纤概述	289
8.1.1 光纤波导结构及弱导特性	289
8.1.2 光纤制造工艺简介	290
8.1.3 光缆	292
8.1.4 光纤的传输特性	293
8.2 光纤的射线特性分析	294
8.2.1 阶跃光纤	294
8.2.2 渐变折射率光纤	298
8.3 光纤的衰减和色散特性	305
8.3.1 光纤的衰减	305
8.3.2 光纤色散、带宽和脉冲展宽参量间的关系	307
8.3.3 光纤的色散特性	309
8.4 单模光纤的偏振和双折射	315
8.4.1 单模光纤的偏振特性	315
8.4.2 单模光纤的双折射	317
8.4.3 偏振型单模光纤	317
8.5 光纤中的非线性效应——光纤孤子	319
8.5.1 光学孤子的物理概念	319

8.5.2 色散介质中的双曲方程	320
8.5.3 非线性薛定谔方程	321
8.6 光纤连接耦合技术	323
8.6.1 光纤的处理与连接	323
8.6.2 光纤的光耦合	324
8.6.3 光纤的分光与合光装置	328
8.7 激光在大气和水下的传输	329
8.7.1 大气衰减	329
8.7.2 大气湍流与非线性传播效应	336
8.7.3 激光水下传输特性	341
习题与思考题	344
参考文献	344

激光是 20 世纪的重大发明之一,由于激光器的发光机理不同于普通光源,所以它具有一些很突出的优异特性,即很好的方向性、高亮度以及良好的单色性和相干性。它的这些特点,在现代科学技术各个方面发挥了独特的作用,已经遍及工业、军事、通信、医学和科学研究等诸多领域。1960 年第一台激光器问世,在随后的 40 多年中,陆续发明了多种不同类型的激光器,主要有固体激光器(Nd:YAG、Nd 玻璃、红宝石等)、气体激光器(He-Ne、Ar⁺、CO₂ 等)、半导体激光器(GaAs、InGaAsP/InP 等)、准分子激光器(XeCl、KrF 等)和自由电子激光器等,可以说激光器的品种繁多,性能各异。然而,各种激光器所具有的物理属性基本上是固定的,而且上述特性不可能同时都很好。从一台普通激光器输出的激光往往不一定能满足某些应用的要求,因此,为了能满足各方面实际应用的需要,这一期间,在研究开发激光器和研究激光与物质相互作用的同时,不断研究和发展了许多旨在改善和提高激光性能的激光单元技术。这些技术的应用大大开拓了激光应用的领域,甚至出现了一些崭新的物理现象,形成了一系列新的激光分支和应用技术领域,如激光物理学、非线性光学、激光光谱学、激光医学、信息光电子技术等。

一台普通的脉冲固体激光器,其输出光脉冲宽度是几百微秒甚至毫秒量级,峰值功率只有几十千瓦量级,显然满足不了诸如激光精密测距、激光雷达、高速摄影、高分辨率光谱学研究等的要求。正是在这些要求的推动下,人们研究和发展了激光调 Q 技术和锁模技术。早在 1960 年激光器问世不久,1961 年就有科学家提出了调 Q 的概念,即设想采用一种方法能把全部光辐射能压缩到极窄的脉冲中发射,1962 年 Hellwarth 和 McClung 制成了第一台调 Q 激光器,输出峰值功率为 600kW,脉冲宽度为 10^{-7} s 量级。随后几年该领域发展得非常快,出现了多种调 Q 方法(如电光调 Q、声光调 Q、可饱和吸收调 Q 等),输出功率几乎呈直线上升,脉宽压缩也取得了很大进展。到 20 世纪 80 年代,由调 Q 技术产生脉宽为纳秒(ns)量级、峰值功率为吉瓦(GW)量级的巨脉冲已并不困难。调 Q 技术的出现,是激光发展史上的一个重大突破,大大推动了上述一些应用技术的发展;但调 Q 技术压缩脉宽因受产生机制的制约,很难再进一步压窄。1964 年,科学家们又研究、提出并实现了压缩脉宽、提高功率的新机制——锁模技术,由于它能使脉冲的持续时间缩短到皮秒(ps)量级($1\text{ps}=10^{-12}\text{s}$),所以也称为超短脉冲技术。从 20 世纪 60 年代到 70 年代,超短脉冲技术(包括主动锁模、被动锁模、同步泵浦锁模等及相应的测量技术)得到了迅速发展。到 20 世纪 80 年代初,Fork 等人又提出了碰撞锁模的理论,而且实现了碰撞锁模,得到了稳定的 90fs 光脉冲序列。锁模技术能产生脉宽为飞秒(fs, $1\text{fs}=10^{-15}\text{s}$)、峰值功率为太瓦(TW, $1\text{TW}=10^{12}\text{W}$)以上的超短脉冲,为物理学、化学、生物学和光谱学等学科对微观世界和超快过程的研究提供了重要手段。由于调 Q 和锁模技术使激光辐射在空间

和时间上能高度集中,因而激光的单色亮度比普通激光提高了6~9个数量级,光源在亮度上又产生一个新的飞跃。像这样高亮度的激光与物质相互作用已引发出许多很有意义的新现象、新技术,因而成为科学技术研究的有力工具。例如,把激光调Q技术和多级放大技术组合运用,能产生超大功率的激光,可以在空间极小的范围内产生极高的光能密度,从而产生几千万度高温的等离子体,可能用激光点火实现可控热核聚变反应。

另外,激光的某些应用领域要求激光束具有很高的光束质量(即方向性和单色性极好),但一般激光器的工作状态往往是多模的(含有高阶横模和纵模),所以发散度比较大,单色性也不理想,显然满足不了诸如精密干涉计量、全息照相、精细加工等应用的要求。因此,人们为了改善激光光束质量,研究和开发了选模技术和稳频技术。选模技术就是从激光振荡的模式中选出单模(基横模和单纵模),多年来人们研究并实现了多种选模方法,选出基横模大大改善了光束的发散度;选出单纵模,则可以获得单频激光输出,从而改善激光的单色性。但是,由于激光器受到外界各种干扰的影响,实际上激光频率的稳定度比较差,即频率(波长)的变化是随机起伏的,因而就难以用于精密计量等方面的应用。多年来,科学家们不断在研究和寻找各种提高激光器频率稳定性和有实用价值的稳频技术。稳频技术的实质就是保持谐振腔光程长度的稳定性,即利用一种电子伺服控制系统把激光振荡频率始终锁定在标准频率上。在20世纪60年代中期,选择原子谱线的中心频率作为参考标准,例如,1965年利用兰姆凹陷作为参考频率对He-Ne激光器进行稳频,其频率稳定度为 10^{-9} ,但复现性仅有 10^{-7} 。1966年以后,又发展了利用外界参考频率作为标准进行稳频,如饱和吸收稳频法,即利用一些分子气体的吸收线作为参考频率,这样就避免了放电扰动和压力展宽等影响,因而有利于提高频率稳定度。例如,1969年,Barger和Hell利用 CH_4 分子稳频He-Ne激光器的 $3.39\mu\text{m}$ 波长,其频率稳定度达到 10^{-14} ,复现性达到 3×10^{-12} ;另外,碘也是常用的吸收分子,如用 $^{127}\text{I}_2$ 和 $^{129}\text{I}_2$ 稳频He-Ne激光器的 $633\mu\text{m}$ 波长,也获得了很高的稳定性和复现性。近10年来,还陆续出现了其他激光器(如 Ar^+ 、 CO_2 激光器等)的稳频技术。采用激光选模技术和稳频技术能获得频率稳定性极好、发散角极小的优质光束,不仅可以满足精密计量、全息术等应用的要求,而且随着先进的稳频技术的出现,已实现长度与时间频率基准的统一,即在国际计量标准中,将激光波长作为“米”定义的国际标准,而且也可以作为时间频率“秒”的基准。无疑,这对物理学各个领域将会产生极深刻的影响。

激光问世之后,人们立即开始了研究它在信息技术(信息的传输、存储、处理等)中的应用。因为激光是一种光频电磁波,它的传输速度极快、频率极高,故它作为载波的信息容量很大,可为光通信、光信息处理等应用提供极好的信息载波源,因而陆续出现了各种激光调制技术。随着各种光学晶体材料的不断出现,人们利用某些物理效应(电光、声光、磁光等),研制出了各种光调制器件和技术,实现了激光加载信息的目的。特别是从20世纪60年代末到70年代初,克雷歇尔(Kressel)和阿尔菲洛夫(Alferov)等提出了双异质结半导体激光器的新构思,并实现了室温下连续工作的器件;英国华裔科学家高锟和霍克海姆(Hockham)提出了基于光学全反射原理的光导纤维的新概念,并于4年后由美国康宁公司的凯普隆(Kapron)等人研制成功了实用光纤产品,从而揭开了光纤通信技术蓬勃发展的历史。另外,在近十几年来,多种空间光调制器研制成功。顾名思义,它是一种对光

波的空间分布进行调制的器件,由于它具有可实时地在空间上调制光束的功能而成为实时光学信息处理、光计算、光存储和光学神经网络等系统的关键器件,从而大大推动了该领域应用技术的迅猛发展。

在激光出现之前,光与物质的相互作用呈现线性关系,而从激光出现之后,特别是利用了调Q和锁模技术,引发出许多很有意义的新现象、新效应——非线性光学效应,并伴随着产生若干非线性光学技术。1961年,弗兰肯(Franken)等人将红宝石激光束聚焦到石英晶体上,观察到了红宝石激光的二次谐波辐射,这就是倍频现象。但弗兰肯等人的实验是非相位匹配的,因而二次谐波辐射的转换效率很低(约 10^{-8})。到1962年,克莱曼(Kleinman)、乔特迈(Giordmaine)、马克尔(Maker)等人提出了相位匹配技术,即利用晶体的双折射效应能够达到相速度匹配,从而实现了有效的倍频。1965年,非线性光学理论日臻完善,陆续出现了许多重要的非线性光学现象,如光混频(和频、差频)的产生,光参量放大和振荡,多光子吸收、自聚焦、受激散射等。随着激光技术和非线性光学材料的发展,人们把上述非线性光学现象和效应广泛地应用于扩展激光波段(如激光频率转换器),改变或控制激光器参数(如脉宽、功率、频率、稳定性等),另外,还提供了研究物质(原子或分子)微观性质的手段,从而为激光应用开辟了广阔的前景。展望未来,光与物质的非线性相互作用效应及其在各种非线性光学器件中的应用研究仍将是今后重要的研究方向之一,如光纤通信中的光纤非线性效应、光孤子的形成与传输等。总之,激光在诸多领域之所以能“大显神通”,是由于不同类型的激光器和相关激光技术进行组合运用的结果。

激光技术涉及多种学科的理论知识,而且种类繁多,发展日新月异,但从基本原理来看,它们大都是基于利用光和各种物质相互作用所产生的物理效应(主要有“电光效应”、“声光效应”、“磁光效应”、“非线性光学效应”等)和采用不同的运用形式来控制激光某参量(能量、功率、偏振、模式、线宽、脉宽等)而实现的。尽管各种激光技术器件功能各异,品种不断增多,但“万变不离其宗”,其基本物理规律是不变的。因此,只要很好地掌握了这些规律和知识,就能“举一反三”地运用这些基本理论知识去解决众多的技术问题。激光技术到20世纪80年代已发展到成熟阶段,其内容(包括基础理论和基本技术)也日益丰富,已经成为光电子技术和光电子信息学科建设的重要组成部分,因此,它是从事光电子技术及各相关方面应用的科技工作者必须掌握的基本知识。本书的主要目的是着重介绍各种主要激光单元技术(包括调制技术、调Q技术、超短脉冲技术、放大技术、模式选择技术、稳频技术、非线性光学技术和传输技术)的基本概念、基本理论,以及所利用的各物理效应在技术、器件中的作用原理和实施方法,使读者对各种激光技术的物理过程有比较清晰而系统的了解,为解决一些实际应用技术问题打下基础。