

先进



电子技术丛书

5

〔日〕伊贺健一 池上彻彦 荒川泰彦 主编

应用激光光学

〔日〕小原 实 神成文彦 佐藤俊一 著

科学出版社

共立出版

先进  电子技术丛书

〔日〕伊贺健一 池上彻彦 荒川泰彦 主编

应用激光光学

〔日〕小原实 神成文彦 佐藤俊一 著
李元燮 译
李殿军 校

科学出版社 共立出版

2002 北京

图字:01-2001-4117 号

Original Japanese language edition

Sentan Hikari Electronics Series⑤ Laser Oyo Kogaku

by Minoru Obara, Fumihiko Kannari, Shunichi Sato

Copyright © 1998

Published by Kyoritsu Shuppan Co., Ltd.

This Chinese language edition is co-published by

Kyoritsu Shuppan Co., Ltd. and Science Press

Copyright © 2002

All rights reserved

本书中文版权为科学出版社和共立出版(株)所共有

先端光エレクトロニクス シリーズ 5
レーザ応用光学

小原 實 神成文彦 佐藤俊一 共立出版(株) 1998

图书在版编目(CIP)数据

应用激光光学/(日)小原 实, 神成文彦, 佐藤俊一著; 李元燮译.

—北京: 科学出版社, 2002

(先进光电子技术丛书 5)

ISBN 7-03-010345-9

I. 应… II. ①小… ②神… ③佐… ④李… III. 激光技术 IV. TN241

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 020365 号

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 共立出版 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

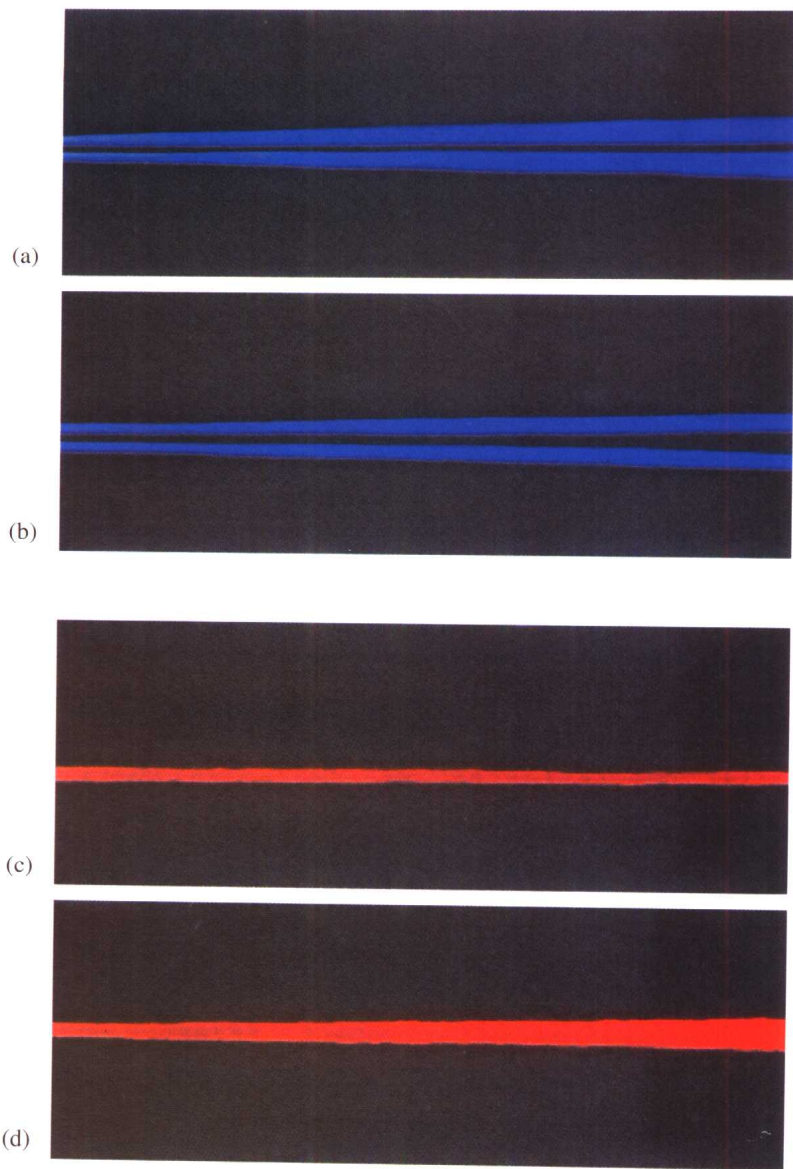
2002 年 8 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2002 年 8 月第一次印刷 印张: 8 3/4

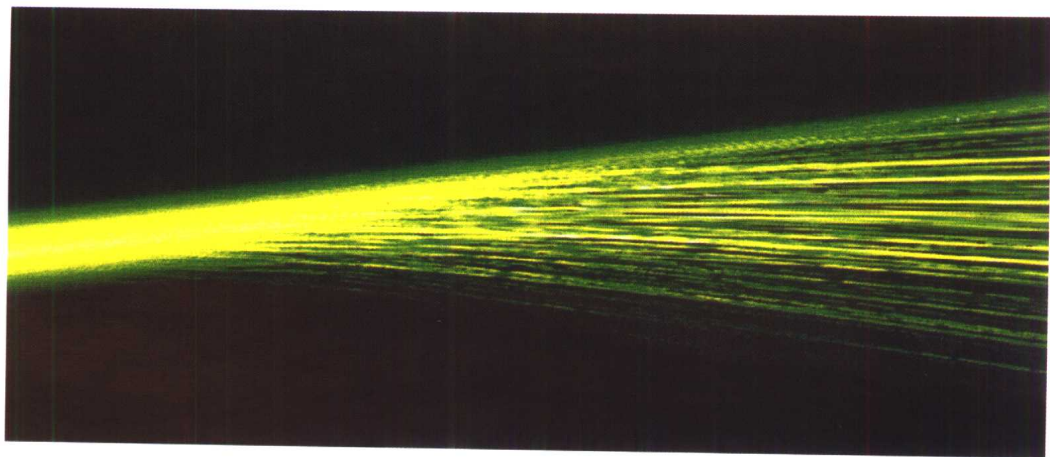
印数: 1—5 000 字数: 231 000

定 价: 25.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)



【图 0.1】 在 SBN 晶体中观测到的(a)暗孤粒子,(b)通常传播的模样,(c)利用被形成的波导来传播的 He-Ne 激光,(d)在体晶体中边衍射边传播的 He-Ne 激光 (参见第 1 章参考文献 [15])



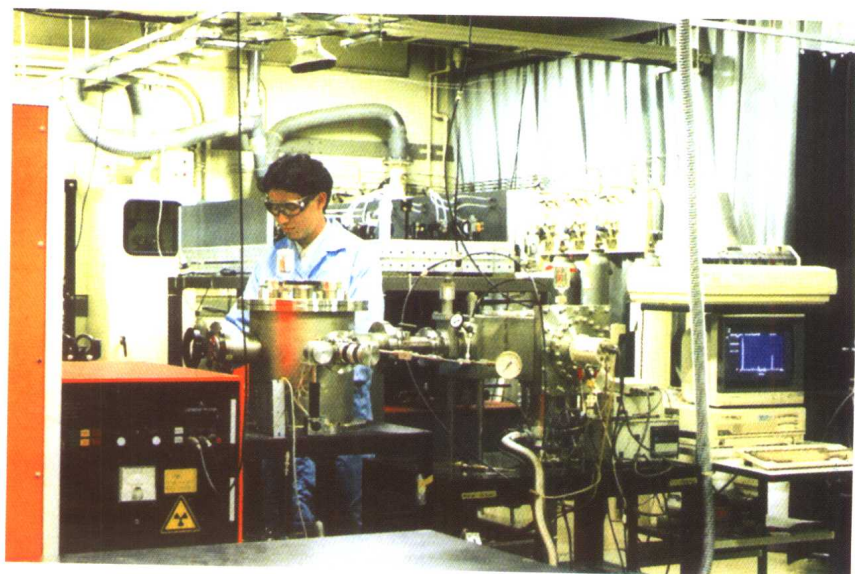
【图 0.2】 光折射晶体中的激光束的扇形形状
(美国罗拉多大学 Dana Z. Anderson 教授提供)



【图 0.3】 超小型、高稳定、超短脉冲光纤激光器 (中心波长：
780nm, 180fs, 重复频率: 50MHz, 平均输出功率: 10mW, 由IMRA
AMERICA 提供)



【图0.4】超短脉冲OPA系统（重复频率：300kHz 脉冲宽：fs/ps，COHERENT Japan（株）提供）



【图0.5】100mJ, 0.5ps, KrF准分子激光器系统（理化学研究所激光物理工学研究室）（参见第4章图4.9）



【图 0.6】 角膜手术用准分子激光装置
(Model 20/20, 美国 VISX 公司提供)



【图 0.7】 角膜手术用准分子激光装置
(Model MEL60, 德国 Meditech 公司提供)

《先进光电子技术丛书》序

1970年,半导体激光器室温连续振荡的成功和低损耗光纤的实现拉开了光电子时代的序幕。现在主干信息通信网几乎全部都实现了光通信,今后光纤也将进入每个家庭。另外,在存储和显示领域对新的光技术的期望也越来越高,而且期望光技术对计算机技术的发展也有所贡献。在21世纪这个高度信息化的社会中,光技术将起十分重要的作用,对它的发展,人们寄予厚望。

为使希望变成现实,光技术必须要不断地创新和发展。因而,从事光技术的人必须具备两种素质:一是具有在任何时候都能从物理学的角度对光的本质有深入理解的能力;二是具有敢于开辟新领域的开拓精神。为此,就要不断地提高基础知识和基本能力水平,而这种水平要建立在从学术性的基础研究到开发研究,直至应用实践的较宽领域的知识积累之上。

策划编撰本丛书的目的是使那些立志承担21世纪光电子技术发展重任的大学生、企业中的研究人员以及技术工作者,充分掌握要实现光电子最新技术的基础知识及应用知识,并把所掌握的知识有效利用到实际工作中。光电子技术人员往往需要较扎实的基础理论知识与器件技术及系统技术有机结合的广泛知识。本丛书系统地归纳了这些知识,因此通过本丛书的学习可以掌握光电子最前沿的技术。本丛书的另一特点是力求叙述简明,以使非光电子专业的学生或科技工作者也能容易理解;编者在编写本丛书时尽量做到使本丛书系统、完整,自成体系,使之达到不依赖其他参考书也能理解的水平;本丛书中各册的执笔者都是其相应领域中的知名学者。

如果能对飞速发展的光电子的最前沿技术有深刻的了解,那

《先进光电子技术丛书》序

么就能担负起下一次技术创新的使命。本丛书若能对作为 21 世纪信息通信技术支柱的光电子技术的发展有所贡献,编者将不胜荣幸。

编 委

前 言

激光的应用领域极其广泛,可以说不使用激光技术的现代技术几乎是不存在的。

本书执笔之时即确定以“应用激光光学”为题目,所以书中重点介绍激光的相干性在尖端领域中的应用和极限激光技术。除了已经实用的部分尖端激光医疗技术和激光微细加工技术外,书中还介绍了处于实验室发展阶段中的尖端科学应用,即所谓的 new emerging technology。意思是即将显露应用价值的新技术。

本书并不是尖端应用激光光学技术的罗列,而是使用必须的基础方程式从原理开始,直到介绍其在最尖端领域中的应用和未来的展望。

第1章介绍的是光折射材料与相位共轭光学。光折射效应期待着应用于激光测量、相位共轭光的产生、全息照相存储器等领域中。本章将详细介绍光折射效应的基本原理及各种应用。文前彩图中介绍了暗孤立子的传播形式及光束的扇形展开。

第2章介绍超短脉冲的傅里叶合成。所谓超短脉冲,现在是指近红外波段中亚皮[可]秒至5飞[母托]秒范围内的激光脉冲。在光的频率段中,通过控制各个频率成分的振幅及相位即可等价地控制飞秒时间段的振幅和相位。本章叙述波形整形中以飞秒频域并列控制法为基础的光学傅里叶变换及其光学技术整形波形的应用。进而介绍飞秒脉冲的振幅和相位的测定法。

第3章介绍脉冲压缩光学,第4章则介绍高强度超短脉冲激光的科学应用。在第3章中分别介绍了超短脉冲激光振荡器,脉冲宽度扩展器、压缩器,线性调频脉冲放大器,色散补偿理论及评价技术等。在文前彩图中介绍了超小型的、超短脉冲光纤激光与

超短激光 OPA 系统。第 4 章介绍了由高强度超短脉冲激光引起的原子的离子化现象、激光航线场电子加速,以及有关激光烧蚀等的科学应用。文前彩图中介绍了高强度超短脉冲紫外 KrF 激光系统。

第 5 章介绍有关压缩光的产生与应用。例如,将光振幅的波动量控制到小于标准量子界限的量子力学状态,便成为振幅压缩状态。当然其共轭相位是由于不确定性关系而必然变大。用实验方法可以得到由非线性晶体中的非线性光学过程等所产生的光的相位或振幅的压缩状态。这种压缩光可利用在因光的量子噪声而使其灵敏度受到限制的测定中,因而可望应用在重力波检测、光通信、激光陀螺仪、利用微弱光的神经系统的测试等领域。

第 6 章介绍利用激光的微粒子操纵,即利用光压操纵微粒子。光的动量在反射、折射、散射、吸收过程中是变化的,因而能够将力作用于物质,从而达到光俘获(陷阱)、细胞操纵、聚合等目的。

第 7 章介绍激光医疗。如第 6 章所述,在利用激光操纵细胞及聚合细胞等领域中,激光依然是重要工具。本章从激光与细胞所生成的生物体的相互作用入手详细介绍了激光医疗及激光在生物体测试及诊断中的应用。最后还概略地介绍了医用激光装置。文前彩图中介绍的是新医用激光装置。

第 8 章介绍激光冷却。叙述了原子、离子、高分子所引起的激光的光吸收、放射过程中原子等所受的力学效应与应用。若选择合适的激光参数,则可冷却原子等的温度。

由于在“激光冷却与捕陷原子”方面的杰出工作,斯坦福大学的朱棣文(Steven Chu)教授、克勒久·德·法国(College. de. France)高等师范学院的克劳德·科思坦诺奇(Claude Cohen-Tannoudji)教授、美国国立标准技术研究所的威廉·费利甫斯(William D. Phillips)博士等三人被授予 1997 年度诺贝尔物理学奖。在室温中利用激光把以时速约 4000km 运动的 He(氦)原子,最终冷却至 $0.18 \times 10^{-6} \text{K}$ 的极低温,使原子几乎处于静止状态。目前可冷却至 10^{-6}K 以下的温度,从而实现了玻色-爱因斯坦凝

缩(Bose-Einstein condensate)。用激光冷却技术与俘获技术,1997年初在麻省理工学院首先振荡出原子波激光(atom laser)。原子(玻色子的原子)被激光冷却后,其原子的德布罗意(de Broglie)波长被伸长,从而成为与相邻原子同相位的粒子群(相干的原子群)。我们期待不久的将来本书的读者们也将利用激光冷却的原子波激光来开拓出材料加工的新工艺。

第9章介绍激光的微细加工,概述激光的光吸收过程及热扩散方程式,并介绍尖端激光加工。

阅读本书之前,希望读者先读先进光电子技术丛书之一的《量子电子学》(浅田雅洋著)。更希望学好经典电磁学、基础量子力学、基础数学等课程。

本书的第1、3、4、9章是由小原执笔,第2、5、6、8章由神成执笔,第7章由佐藤执笔。全书的统编则由小原担当。单位尽可能采用SI单位制,但由于习惯上的原因还残留着其它单位制。但这些单位后面都附有SI单位。虽然执笔者十分慎重地经常进行协商讨论,但难免有因偏见、误解而遗漏或错误之处。诚恳希望读者的指正及宽容。

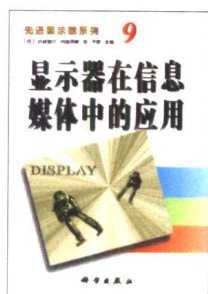
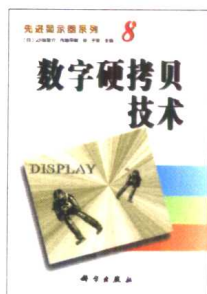
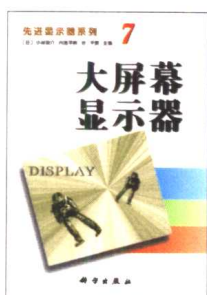
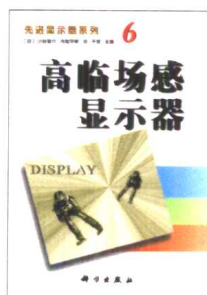
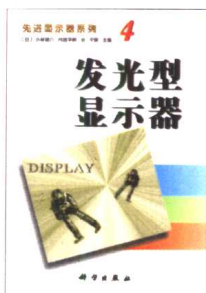
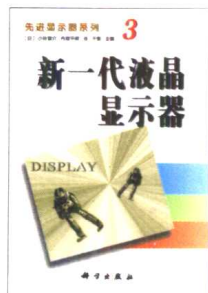
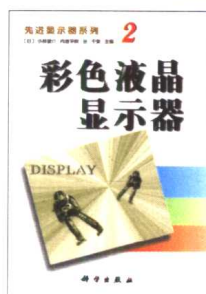
本书执笔过程中,参考、引用了很多国内外的著作及论文。在此对这些著述的所有著者、研究人员的辛勤劳动与业绩深表谢意。

本书的编写过程中得到了庆应义塾大学研究生院理工学研究科白鸟明、高砂一弥、古泽健太郎、武冈正裕等诸位的帮助,在此一并表示感谢。

最后,谨向从学生时代开始就指导我们进行激光研究的藤冈知夫先生(现东海大学理学部教授),以及给予本书执笔机会的本书编委伊贺健一、池上徹彦、荒川泰彦等三位深表谢意。

著 者

先进显示器系列



预计 2002 年 11 月出版

内 容 简 介

本书是先进光电子技术丛书之5。

书中重点介绍激光的相干性在尖端领域中的应用和极限激光技术。除了已经实用的激光医疗技术和激光微细加工技术外，书中还介绍了处于实验室发展阶段的尖端科学应用，即将要显露应用价值的新技术。

本书共九章。主要内容有光折射效应与相位共轭光学、超短脉冲傅里叶光合成、脉冲压缩光学、高强度超短脉冲激光的科学应用、压缩光的产生与应用、利用激光操纵微粒、激光在医学中的应用，以及激光冷却、激光微细加工等。

本书可作为光电子相关专业的大学高年级学生及研究生的参考教材，亦可供相关领域的研究人员、工程技术人员参考。

目 录

第 1 章 光折射效应与相位共轭光学	1
1.1 光折射效应	1
1.1.1 能带传输模型	1
1.1.2 光折射 BaTiO ₃ 晶体与离子掺杂	5
1.2 光折射二光波混合	7
1.2.1 折射率衍射光栅的形成	7
1.2.2 利用二光波混合的光放大	9
1.2.3 光折射波导与空间孤立子	13
1.3 相位共轭光学	15
1.3.1 相位共轭波的性质	15
1.3.2 相位共轭波产生的原理	17
1.3.3 自励型相位共轭镜	19
1.3.4 受激光折射后向散射	23
1.4 全息照相存储器	25
第 2 章 超短脉冲傅里叶光合成	33
2.1 概 述	33
2.2 短脉冲光傅里叶合成	34
2.2.1 线性滤波和傅里叶变换	34

- 2.2.2 利用衍射光栅-透镜对的光合成 35
- 2.2.3 时空结合与时空维格纳函数的表示 36
- 2.3 利用空间光调制器(spatial light modulator)的飞秒脉冲傅里叶光合成 40
 - 2.3.1 利用液晶阵列(array)空间光调制器的波形整形 40
 - 2.3.2 利用声光调制器的波形整形 46
 - 2.3.3 利用全息掩模的波形整形 46
- 2.4 利用电光学相位调制器的脉冲整形法 47
 - 2.4.1 边带的生成与合成 47
 - 2.4.2 时域透镜 48
- 2.5 利用飞秒脉冲的光谱及全息照相术 51
 - 2.5.1 光谱域全息照相的原理 51
 - 2.5.2 匹配滤波器 54
 - 2.5.3 空间-时间-空间变换 55
 - 2.5.4 最终的傅里叶光合成 57
- 2.6 波形整形短脉冲激光的应用 58
 - 2.6.1 光通信中的应用 58
 - 2.6.2 相干声子(coherent phonon) 60
 - 2.6.3 半导体媒介的相干控制 64
 - 2.6.4 自适应相位调制补偿 65
- 2.7 超短脉冲光的相位重新构筑法 66
 - 2.7.1 相位测定法 66
 - 2.7.2 G-S(Gerchberg-Saxton)的算法 69
 - 2.7.3 FROG法(三次,二次) 70

2.7.4	TADPOLE 法	76
-------	-----------	----

第 3 章 脉冲压缩光学 81

3.1	频率啁啾与色散	81
3.2	色散给予脉冲的效应	84
3.2.1	系统的响应(脉冲响应)	84
3.2.2	高斯型脉冲的场合	86
3.2.3	线形啁啾脉冲的场合	87
3.3	光学器件的色散效应	89
3.3.1	色散的基础	89
3.3.2	电介质多层膜镜	90
3.3.3	棱镜对	92
3.3.4	衍射光栅对	94
3.3.5	棱镜对	96
3.4	超短脉冲激光振荡器	97
3.4.1	概 述	97
3.4.2	啁啾与脉冲压缩	98
3.4.3	克尔镜效应(kerr lens effect)	99
3.4.4	MDC(mirror dispersion controlled)谐振器	99
3.4.5	可饱和布拉格反射镜(saturable Bragg reflector)	100
3.4.6	孤立子激光器	100
3.5	啁啾脉冲放大器	102
3.6	色散的评价方法	104
3.6.1	概 述	104