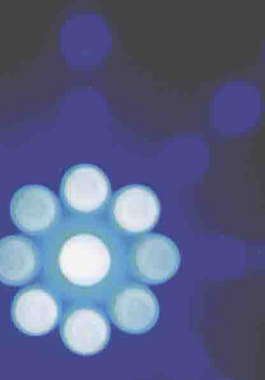
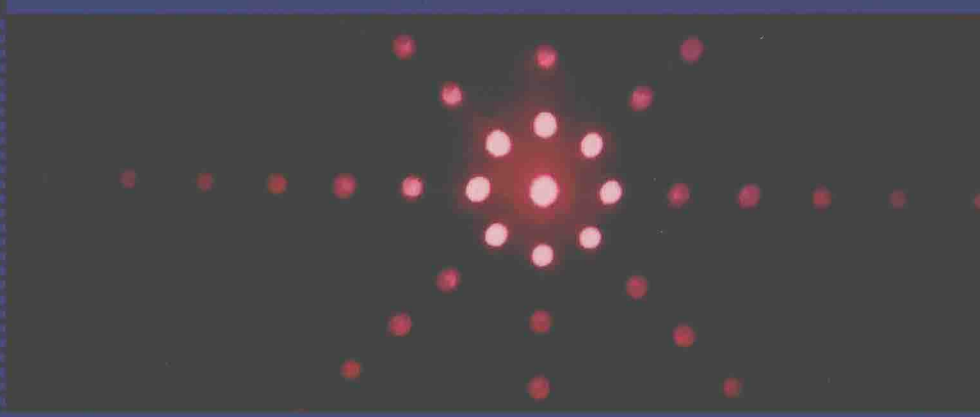




激光全息 与应用光电技术



龚勇清 何兴道 编著



高等教育出版社

激光全息 与应用光电技术

龚勇清	何兴道	编著	
万生鹏	伏燕军	史久林	
刘 彬	张巍巍	罗宁宁	参 编
甘 姝	张志敏	方利华	

内容简介

本书以激光原理、激光技术、激光器件为基础,系统阐述了激光全息技术的基础理论和应用光电技术的基本知识,并在全息图复制、全息云纹干涉技术、光折变晶体的全息存储、二元光学与光刻技术、光子晶体材料及其在光子器件方面的应用、光学测试技术、光纤光栅传感技术、布里渊散射技术、发光现象及荧光光谱的应用等方面作了广泛的介绍。

本书共分 15 章,第 1 至第 4 章主要介绍了激光的基本原理、光学谐振腔、激光器的工作原理、典型激光器件。第 5 至第 7 章是激光全息学原理、体全息图、彩虹全息术及全息图的复制。第 8 至第 15 章为主要应用部分,包括激光全息云纹干涉、光折变晶体的全息存储、二元光学与光刻技术、光子晶体材料及其在光子器件方面的应用、光学测试技术、光纤光栅传感技术、布里渊散射技术和发光现象及荧光光谱的应用。

本书可作为光电信息科学与工程专业、电子科学与技术专业、测控技术与仪器专业的本科教材,亦可作为光学工程、仪器科学与技术专业的研究生教材以及大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(C I P)数据

激光全息与应用光电技术/龚勇清,何兴道编著

. --北京:高等教育出版社,2018.4

ISBN 978-7-04-049463-1

I. ①激… II. ①龚… ②何… III. ①激光全息照相
IV. ①TB877.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 033341 号

JIGUANG QUANXI YU YINGYONG GUANGDIAN JISHU

策划编辑	程福平	责任编辑	程福平	封面设计	张 志	版式设计	张 杰
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刘丽娴	责任印制	韩 刚		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	廊坊市文峰档案印务有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	20		
字 数	400 千字	版 次	2019 年 4 月第 1 版
购书热线	010-58581118	印 次	2019 年 4 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	39.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 49463-00

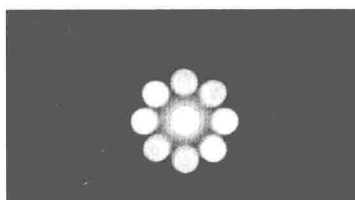
激光全息 与应用光电技术

龚勇清 何兴道 编著

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1250675>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



① 重要通知



激光全息与应用光电技术

激光全息与应用光电技术数字课程与纸质教材一体化设计, 紧密配合。数字课程涵盖电子教案、精彩图片等内容, 充分运用多种媒体资源, 极大地丰富了知识的呈现形式, 拓展了教材内容。在提升课程教学效果的同时, 为学生学习提供思维与探索的空间。

用户名:

密码:

验证码:

5463

忘记密码?

登录

注册

记住我(30天内免登录)

课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1250675>

前 言

自激光器问世至今已半个多世纪,激光与计算机被人们并称为 20 世纪的重大发现。近 60 年来,激光发展十分迅速,已经在经济、军事、医疗、环境保护、日常生活等领域产生了不可磨灭的影响。普及激光知识,充分认识激光所具有的惊人魅力,对于推动我国知识创新、科技创新的进程都具有非常重要的作用。激光不仅是一门科学,而且是一种实实在在的能推动生产力发展、提高综合国力、加强国防建设、改善人民生活的重要技术。

激光器的发明出人意料地引出了光学中的另一支灿烂鲜花,这就是全息技术。当人们观看到色彩绚丽、栩栩如生的全息图像时,无不对激光全息技术的魅力表示惊讶和称许。全息技术在科学技术上的应用也扩展到了实时全息干涉自动测量、光学图像实时处理、光存储、光计算、光显示等新技术应用领域。全息技术作为光学中一门新兴的交叉学科,它的迅速发展和广泛应用引起了科技工作者的重视,也在高科技发展中产生了深远的影响。例如,在信息存储、全息显示、光学信息处理、集成光学、微光学、精密干涉测量和全息检测等领域都产生了深远的影响。本书作者团队在应用光电技术的发展诸多方面做了大量的科研工作,在高温云纹干涉技术、二元光学与光刻技术、光子晶体材料及其在光子器件方面的应用、光学测试技术、光纤光栅传感技术、布里渊散射技术、发光现象及荧光光谱的应用等方面积累了较为丰富的知识。

全书共分 15 章,第 1 至第 4 章主要介绍了激光的基本原理、光学谐振腔、激光器的工作原理、典型激光器件。第 5 至第 7 章是激光全息学原理、体全息图、彩虹全息术及全息图的复制。第 8 至第 15 章主要为应用部分,包括激光全息云纹干涉、光折变晶体的全息存储、二元光学与光刻技术、光子晶体材料及其在光子器件方面的应用、光学测试技术、光纤光栅传感技术、布里渊散射技术和发光现象及荧光光谱的应用。

本书的第 1、第 3、第 4、第 7、第 8 章由龚勇清编写,第 5、第 6 章由何兴道编写,第 2 章由甘姝编写,第 9 章由方利华编写,第 10 章由张志敏、罗宁宁编写,第 11 章由刘彬编写,第 12 章由伏燕军编写,第 13 章由万生鹏编写,第 14 章由史久林编写,第 15 章由张巍巍编写。本书中的大量公式和插图由三位研究生龚强、颜丽华和徐冉冉编辑和制作。本书最后由龚勇清统稿。本书是南昌航空大学教师二十多年来在光学工程学科从事激光全息及应用光电技术教学、实验和科研

的基础上编著而成的,但由于作者水平有限,加之编写时间偏紧,书中存在的不足之处,希望读者批评指正。

编 者
2018 年 10 月

目 录

第 1 章 激光的基本原理	1
1.1 激光器的设想和实现	1
1.1.1 爱因斯坦的受激辐射概念	1
1.1.2 微波激光器的发明	2
1.1.3 梅曼与世界第一台激光器	2
1.1.4 氦氖激光器的诞生	3
1.2 激光的基本概念与特性	4
1.2.1 什么是激光	4
1.2.2 激光的特点	4
1.2.3 光与物质的相互作用	6
1.3 激光振荡的基本原理和基本条件	9
1.3.1 激光器的基本结构	9
1.3.2 激光振荡原理	9
1.3.3 激光纵模与横模振荡	10
1.3.4 辐射与物质相互作用的定量分析	12
1.4 激光谱线加宽及定量分析	14
1.4.1 光谱线的加宽与线型函数	14
1.4.2 光谱线的自然加宽、碰撞加宽和多普勒加宽	15
1.4.3 光谱线的均匀加宽、非均匀加宽和综合加宽	16
第 2 章 光学谐振腔	18
2.1 光在介质中的放大	18
2.1.1 光子态与光子简并度	18
2.1.2 实现光放大的条件	19
2.1.3 实现抽运的几种方法	19
2.1.4 多能级系统	20
2.1.5 光的自激振荡	22
2.2 激光模式与谐振腔的限模	24
2.2.1 驻波和纵模	24
2.2.2 谐振腔的限模作用	25

2.2.3	光学谐振腔的损耗和 Q 值	26
2.2.4	光学谐振腔各种损耗的计算	28
2.3	光学谐振腔	30
2.3.1	光学谐振腔的类型和结构	30
2.3.2	光学谐振腔的稳定条件	32
2.3.3	谐振腔的特征光束	35
2.3.4	多镜腔的稳定性	36
2.4	高斯光束及其传输变换规律	39
2.4.1	共焦腔的行波场与模体积	39
2.4.2	高斯光束的基本性质	39
2.4.3	高斯光束的 q 参量	40
2.4.4	高斯光束 q 参量的 $ABCD$ 定律	40
2.5	横模选择	42
第3章	激光器的工作原理	45
3.1	振荡阈值	45
3.1.1	激光振荡的阈值条件	45
3.1.2	烧孔现象	47
3.1.3	兰姆凹陷	48
3.2	纵模模式竞争	48
3.2.1	均匀加宽的模式竞争	48
3.2.2	空间烧孔现象	50
3.3	单模激光器的线宽极限	50
3.4	激光器的频率牵引效应	52
3.4.1	模牵引效应	52
3.4.2	纵模选择	53
3.5	脉冲激光器的工作原理	55
3.5.1	脉冲激光器工作方式	55
3.5.2	调 Q 激光器	55
3.5.3	调 Q 的方法	56
3.6	锁模激光器	58
3.7	氦氖激光器的稳频	59
第4章	典型激光器件	61
4.1	气体激光器	61
4.1.1	氦氖激光器	61
4.1.2	离子激光器	64
4.1.3	分子激光器	67

4.2	固体激光器	69
4.2.1	红宝石激光器	69
4.2.2	其他常用的固体激光器	72
4.3	半导体激光器	73
4.4	其他激光器	75
第5章	激光全息学原理	77
5.1	概述	77
5.1.1	全息术的发明及应用	77
5.1.2	全息照相与普通照相的区别	78
5.1.3	全息照相的特点	79
5.2	全息照相的基本原理	80
5.2.1	参考光为平面光波的全息照相	80
5.2.2	参考光为球面光波的全息照相	82
5.3	全息图的类型	84
5.3.1	按物体与记录介质的位置关系分类	84
5.3.2	按记录介质分类	84
5.3.3	按被照物体的种类分类	85
5.4	全息记录介质	86
5.4.1	基本物理量的概念	86
5.4.2	卤化银乳胶	89
5.4.3	重铬酸盐明胶	92
5.4.4	光致抗蚀剂	94
5.4.5	光折变材料	96
5.4.6	其他全息记录材料	98
第6章	体全息图	100
6.1	体全息图的几何分析	100
6.1.1	体全息图与平面全息图的区分	100
6.1.2	透射体全息图	101
6.1.3	反射全息图	102
6.2	体全息图的衍射效率	103
6.2.1	透射体全息图的衍射效率	104
6.2.2	反射体全息图的衍射效率	105
6.3	反射全息图的记录与再现	106
6.3.1	菲涅耳型反射全息图	106
6.3.2	像面全息图	108
6.3.3	多重记录的反射全息图	109

6.4 体全息图再现像的像质	111
6.4.1 厚银盐干板	111
6.4.2 重铬酸盐明胶(DCG)	111
第7章 彩虹全息术及全息图的复制	112
7.1 概述	112
7.1.1 彩虹全息术	112
7.1.2 彩虹全息术的发展	112
7.2 二步彩虹全息术	113
7.2.1 二步彩虹全息术的原理和方法	113
7.2.2 二步彩虹全息术的像质分析	115
7.3 一步彩虹全息术	117
7.3.1 一步彩虹全息术的原理和方法	117
7.3.2 像散彩虹全息术	118
7.3.3 彩虹全息术的应用	120
7.4 基于多角度再现的分层次一步彩虹全息术	121
7.4.1 改进的一步彩虹全息术记录方法	122
7.4.2 多重记录、分层次的实现	123
7.4.3 实现多重记录分层次的途径	124
7.4.4 光路参量设计与结果	125
7.5 全息图的复制	126
7.5.1 概述	126
7.5.2 激光复制	126
7.5.3 模压全息复制技术	128
第8章 激光全息云纹干涉	132
8.1 全息云纹干涉法的研究与发展	132
8.1.1 全息云纹干涉法的特点	133
8.1.2 微云纹干涉技术在新世纪的展望	133
8.1.3 云纹干涉技术在航空科技上的发展	134
8.2 全息云纹干涉法测试原理	135
8.2.1 全息云纹干涉法原理	135
8.2.2 云纹干涉法的实验设备	140
8.3 试件准备及零厚光栅的制备	141
8.3.1 试件研磨与抛光	141
8.3.2 试件栅的制作	141
8.4 合金材料的杨氏模量和泊松比的测量	145
8.4.1 云纹干涉法测定合金材料的弹性模量和泊松比	145

8.4.2	合金材料的弹性模量和泊松比的测试	146
8.4.3	数据分析与误差分析	148
8.5	平面应变 K_{IC} 法	151
8.5.1	断裂韧性的测试实验原理	151
8.5.2	金属材料平面应变断裂韧度 K_{IC} 试验法	152
8.6	激光散斑干涉技术	157
8.6.1	散斑现象及其特点	157
8.6.2	散斑干涉原理	157
8.6.3	散斑干涉的记录与应用	158
第9章	光折变晶体的全息存储	161
9.1	信息与光学信息存储	161
9.1.1	信息与信息存储	161
9.1.2	光信息存储	161
9.1.3	光折变晶体全息存储的一般特点	162
9.1.4	光信息存储技术简介	164
9.2	全息存储系统	166
9.2.1	体全息存储原理	166
9.2.2	体全息存储系统的单元器件	167
9.3	光折变全息存储的复用技术	169
9.3.1	体光栅的角度选择性	169
9.3.2	光折变全息存储的复用技术	171
9.4	全息照相的一般装置	172
9.4.1	防震平台	172
9.4.2	常用光学元件	173
第10章	二元光学与光刻技术	175
10.1	DMD 在衍射光学元件制作上的应用	175
10.1.1	DMD 的工作原理	175
10.1.2	光刻制作工艺概述	179
10.2	光刻工艺	180
10.3	一种二元光学元件阵列微芯模的工艺设计	183
10.3.1	二元光学器件的制作方法	183
10.3.2	DMD 工作原理	184
10.3.3	DMD 实验	185
10.4	基于 DMD 的数字光刻技术制作曲面微透镜阵列	188
10.4.1	曲面微透镜阵列的数字光刻技术制作方法	188
10.4.2	曲面微透镜阵列数字掩模设计	189

10.4.3	曲面微透镜阵列数字光刻系统	190
10.4.4	曲面微透镜阵列数字光刻技术制作工艺流程	192
10.4.5	曲面微透镜阵列数字光刻技术制作结果	193
10.5	基于掩模光刻技术和注塑成型制作衍射微光学元件	195
第 11 章	光子晶体材料及其在光子器件方面的应用	205
11.1	光子晶体的概念	205
11.2	光子晶体特性	206
11.2.1	光子带隙特性	206
11.2.2	光子局域特性	206
11.2.3	负折射效应	207
11.2.4	抑制自发辐射	207
11.2.5	非线性特性	208
11.3	光子晶体的制备方法	208
11.3.1	精密机械加工法	208
11.3.2	逐层堆积法	208
11.3.3	胶体自主装技术法	209
11.3.4	激光全息法	209
11.4	光子晶体的应用	209
11.4.1	光子晶体光波导	209
11.4.2	光子晶体谐振腔	210
11.4.3	光子晶体光纤	211
11.4.4	光子晶体光波导器件	211
11.5	典型的光子晶体器件设计	211
11.5.1	光子晶体波导滤波器件设计	211
11.5.2	光子晶体波导可控光强分束器设计	215
11.5.3	与非线性效应结合的光子器件设计	220
第 12 章	光学测试技术	225
12.1	条纹投影轮廓术的原理	226
12.1.1	条纹投影三维面形测量原理	227
12.1.2	物体高度信息的获取	227
12.2	傅里叶变换轮廓术	228
12.2.1	傅里叶变换轮廓术基本原理	229
12.2.2	双频光栅傅里叶变换轮廓术原理	230
12.3	相移法	233
12.3.1	相移法	233
12.3.2	时间相位展开法	236

12.4	彩色条纹投影方法	237
12.4.1	RGB 颜色模型	237
12.4.2	彩色正弦条纹	238
12.4.3	彩色通道串扰的分离	239
12.5	二进制条纹离焦投影方法	241
12.5.1	二进制条纹离焦投影原理	241
12.5.2	二进制条纹离焦的优势	242
12.6	标定	244
12.6.1	系统结构标定	244
12.6.2	摄像机标定	246
12.6.3	标定实验	249
12.6.4	投影仪标定	251
第 13 章	光纤光栅传感技术	254
13.1	光纤传感器的特点和应用	254
13.2	光纤传感器的分类	254
13.3	光纤光栅传感	255
13.3.1	光纤光栅传感机理	255
13.3.2	光纤光栅传感系统的基本结构	256
13.3.3	光纤光栅传感波长解调方式	256
13.4	基于可调谐 FFP 的光纤光栅解调技术	262
13.4.1	可调谐 FFP 驱动电路的设计	262
13.4.2	数据采集	265
13.4.3	基于 Labview 的上位机设计	268
第 14 章	布里渊散射技术	274
14.1	光散射概述	274
14.1.1	光散射的物理机制	275
14.1.2	光散射的分类	276
14.1.3	自发散射与受激散射	278
14.2	布里渊散射	279
14.2.1	自发布里渊散射	279
14.2.2	受激布里渊散射	282
14.3	布里渊散射激光雷达技术	284
14.3.1	基本概论	285
14.3.2	自发布里渊散射激光探测技术	286
14.3.3	受激布里渊散射激光探测技术	289
第 15 章	发光现象及荧光光谱的应用	293

15.1	发光现象	293
15.1.1	发光材料	293
15.1.2	激发方式	294
15.1.3	发光特征	295
15.2	荧光光谱测量系统	296
15.2.1	荧光光谱	296
15.2.2	光谱系统	296
15.3	白光照明技术	299
15.3.1	白光的获得	299
15.3.2	白光 LED	300
15.4	荧光传感技术	301
15.4.1	荧光温度传感	301
15.4.2	荧光 pH 值传感	304

第 1 章 激光的基本原理

自激光问世至今已有近 60 年了,有人将激光与计算机并称为 20 世纪的重大发现.近 60 年来,激光发展十分迅速,激光器件已经形成了数千亿美元的全球产业,并已在经济、军事、医疗、环境保护、日常生活等领域产生了不可磨灭的影响.介绍当代激光的主要成就,更广泛更深入地普及激光知识,对于推动我国知识创新、科技创新的进程,加速各行业现代化步伐都是极其重要的.这就要充分认识激光所具有的惊人魅力并了解其巨大潜力.激光不仅仅是一门科学,而且是一种能实实在在地推动生产力发展、提高综合国力、加强国防建设、改善人民生活的重要技术.

本章将介绍激光的发展史、基本概念、参量、特点、种类、重要的技术及激光产业等,试图描述激光大家族的概况.激光在各行各业的应用,包括在光电信息技术、材料加工、生物医学和生命科学、激光检测、军事安全、环保检测、文体展示、光通信和邮政等领域的应用,在此难以尽述.虽然任何一个成功的运用,都是当代各种科学技术综合应用的结果,而不仅仅是应用激光就能做到的,但正是由于采用了激光,才使这些应用产生了巨大的经济效益和社会效益.

1.1 激光器的设想和实现

激光是 20 世纪中期发展起来的一门新兴科学技术.它是现代物理学的一项重大成果,是量子理论、无线电电子学、微波波谱学以及固体物理学的综合产物,也是科学与技术、理论与实践紧密结合的灿烂成果.激光科学从它的孕育到初创和发展,凝聚了众多科学家的智慧.现代光学就是指 20 世纪 60 年代激光出现以后光学的新进展,其中包括激光科学、量子光学、激光光谱学、非线性光学、全息技术、信息光学等.

1.1.1 爱因斯坦的受激辐射概念

爱因斯坦(Albert Einstein)早在 1916 年就奠定了激光的理论基础.不过,爱因斯坦并没有想到利用受激辐射来实现光的放大.直到 1933 年,在研究反常色散问题时才触及光的放大.

1946 年,瑞士科学家布洛赫(F. Block)在斯坦福大学研究核磁感应,实验中他和他的合作者观察到了粒子数反转的信号.布洛赫并没有把这一新现象联系到粒子集居数问题,更没有想到要利用这一现象来实现粒子数反转.1949 年,法国物理学家卡斯特勒(A. Kastler)发展了光泵方法,所谓光泵,实际上就

是利用光辐射改变原子能级集居数的一种方法,并因此获得了1971年诺贝尔物理学奖。

1.1.2 微波激射器的发明

汤斯(C.H.Townes)1939年在加州理工学院获得博士学位后进入贝尔实验室.他设想如果将介质置于谐振腔内,利用振荡和反馈,信号就可以放大.汤斯把他的研究组成员召集起来,开始按他的新方案进行工作.这个组的成员主要有博士后齐格尔(H.J.Zeiger)和博士生戈登(J.P.Gordon).后来齐格尔离开哥伦比亚,由中国学生王天眷接替.汤斯选择氨分子作为激活介质,这是因为他从理论上预见到,氨分子的锥形结构中有一对能级可以实现受激辐射,跃迁频率为23 870 MHz.从1951年开始,汤斯小组历经两年的试验,花费了数万美元.1953年的一天,汤斯正在出席波谱学会议,戈登急切地奔入会议室,大声呼叫道“它运转了!”这就是第一台“微波激射器”,英文名为“microwave amplification by stimulated emission of radiation”,简称MASER(脉塞).1958年,许多物理学家活跃在分子束微波波谱学和微波激射器的领域里,他们自然会想到,既然微波可以量子放大,为什么不能推广到可见光,实现光的放大?

最先发表激光器的详细方案的人是汤斯和肖洛(A.L.Schawlow).1957年他们开始考虑“红外和可见光激射器”的可能性.肖洛和汤斯的论文《红外区和光学激射器》于1958年12月在《物理评论》上发表后,引起强烈反响.这是激光史上有重要意义的历史文献.在肖洛和汤斯的理论的指导下,许多实验室开始研究如何实现光学激射器,纷纷致力于寻找合适的材料和方法.汤斯和他的小组也在用碱金属进行实验.在贝尔实验室,肖洛开始研究把红宝石当作工作物质的激光器,他认为:“在气体中所做到的任何事情,在固体中都能做得更好.但是他误以为红宝石的R线(红谱线)不适于产生激光.肖洛没有做成红宝石激光器,却启示梅曼做出了第一台激光器.

1.1.3 梅曼与世界第一台激光器

梅曼(Theodore Harold Maiman)是美国休斯研究实验室量子电子学部年轻的负责人.他于1955年在斯坦福大学获博士学位,研究的正是微波波谱学.梅曼能在红宝石激光器首先作出突破,并非偶然,因为他已有用红宝石研究微波激射的多年经验,他预感到红宝石作为激光器的可能性,这种材料具有相当多的优点,例如能级结构比较简单,机械强度高,体积小,无须低温冷却等.他重新测量了红宝石的量子荧光效率,竟然意外发现其荧光效率达到75%.通过计算,他还认识到最重要的是要有高色温(大约5 000 K)的激励光源,于是决定利用氙(Xe)灯.他把红宝石棒插在具有螺旋状结构的氙灯管中,红宝石棒直径大约为1 cm,长为2 cm,红宝石两端真空蒸镀银膜,银膜中部留一小孔,让光逸出,如图1-1所示.

就这样,梅曼经过9个月的奋斗,花了5万美元,在1960年5月做出了第一

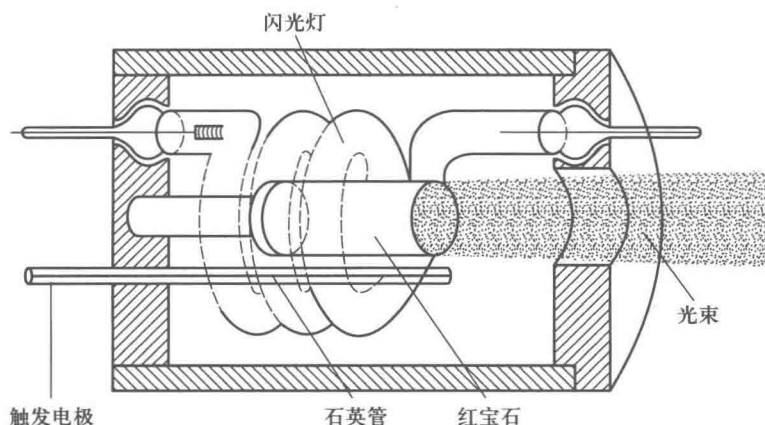


图 1-1 红宝石激光器结构图

台激光器.梅曼后来在《纽约时报》上宣布了这一消息,并将论文寄到英国的《自然》杂志去发表.第二年,《物理评论》发表了他的详细论文.

1.1.4 氦氖激光器的诞生

氦氖激光器是 20 世纪 60 年代至 80 年代广泛使用的一种激光器.它是紧接着固体激光器出现的一种以气体为工作物质的激光器.它的诞生首先应归功于多年对气体能级进行测试分析的实验和理论工作者.汤斯的另一名研究生是来自伊朗的贾万(A.Javan),1954 年他以微波波谱学的研究获博士学位后,就留在哥伦比亚大学任教.贾万的基本思路是利用气体放电来实现粒子数反转,他认为这要比光泵方法更有效,因为这是气体而不是固体.1959 年贝尔实验室的英国学者桑德尔斯(J.H.Sanders)和贾万同时发表了用电子碰撞激发原子的理论.不过,贾万考虑得更深入、更具体,他在分析了各种碰撞情况后,提出可以由两种原子的混合气体来实现粒子数反转,并且推荐了氦-汞和氦-氖两种方案.

贾万最初得到的激光束是红外谱线 $1.15\text{ }\mu\text{m}$.氖有许多谱线,后来通用的是 $6328\text{ }\text{\AA}$.贾万和他的合作者在直径 1.5 cm 、长 80 cm 的石英管两端贴有蒸镀 13 层介质膜的镜片,放在放电管中,用射电频率进行激发.在 1960 年 12 月 12 日终于获得了红外辐射.1962 年,贾万转到麻省理工学院任教.实验工作由他的同事怀特(A.D.White)和里顿(Rigden)继续进行,他们获得了 $6328\text{ }\text{\AA}$ 的激光束.氦氖激光器不仅第一次实现了激光束的连续输出,另一方面,也证明了可以用放电方法产生激光,只要在两种不同的工作物质中选定适当的能级,就有可能实现光的放大,这为激光器的发展展示了多种渠道的可能性.然而,真正为光学激射器起名叫 LASER 的,却是哥伦比亚大学当博士研究生的古尔德(Gorden Gould).1957 年 10 月,他取自英文“light amplification by stimulated emission of radiation”(靠辐射受激发射的光放大)的首字母缩写.