



Experiment of Applied Physics 应用物理实验

吴平 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

应用物理实验

吴平 编著

国防工业出版社



· 北京 ·

内 容 简 介

本书是在所编《应用物理实验》讲义和“应用物理实验”课程教学实践的基础上编写的,内容注重选择物理原理较强、在科学研究和工程技术中具有实际应用的实验,使实验教学贴近科学研究和工程应用,有利于培养学生的科学素养和应用能力。

全书共编写 24 个实验,内容涉及凝聚态物理、光电技术、光信息技术、光学设计、无损检测技术、微弱信息检测、传感器和传感技术等应用领域。

本书可以作为应用物理学、物理学、光信息科学与技术等专业的实验教材,也可作为其他理工科专业的实验参考书。

图书在版编目(CIP)数据

应用物理实验 / 吴平编著. —北京:国防工业出版社, 2013. 1

ISBN 978 - 7 - 118 - 08472 - 6

I. ①应... II. ①吴... III. ①应用物理 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. ①O59 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 291637 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 10¼ 字数 233 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 22.00 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

前 言

物理学是研究物质运动最普遍、最基本规律的科学,在自然科学中具有基础性、先导性的地位,在科学技术的发展和人类文明的进程中一直发挥着重要的作用。特别是 20 世纪以来,物理学理论和实验方法都得到了飞速的发展,促进了传统技术和高新技术的发展,如光信息技术、光电子技术、传感技术、航空技术、航天技术、检测技术等,大大加快了科学技术的发展速度和人类文明的进程。

改革开放之前,我国高校主要在综合类和师范类院校设立物理学专业,培养物理学理论扎实的人才,只是在一些院校设立了专业方向有别、专业名称各异的应用物理学类本科专业。改革开放后,社会对应用型人才的需求越来越迫切,经过教育部对本科专业的调整,在物理学类中设立了应用物理学专业,各理工科院校根据本校的师资力量和应用方向先后设立应用物理学专业,培养具有较扎实的物理学基础和相关应用领域的专门知识、具有较强实践能力和创新意识的人才。在应用物理学专业进入快速发展通道的情况下,该专业如何区别于物理学专业的培养、如何突出“应用”特长等问题也显露出来。2010 年公布了《高等学校应用物理学本科指导性专业规范》,在培养目标中与物理学专业显著不同的是强调了“掌握物理学的基本知识与原理、基本实验技能与技术”。这表明加强实验和实践性教学环节是应用物理学本科专业教学的重要方面,也是培养该专业学生具有应用和创新能力特长所不可或缺的。

2000 年南京航空航天大学设立了应用物理学专业,在专业培养计划中将实验教学放在了重要的位置上,建设了应用物理实验室。除开设“普通物理实验”和“近代物理实验”课程外,还开设了“应用物理实验”课程。课程注意引入物理原理较强、在科学研究和工程技术中实际应用的方法和手段的实验内容,使实验教学贴近科学研究和工程应用,为培养学生的科学实验素养、提高动手能力创造条件。实验内容涉及凝聚态物理、光电技术、光信息技术、光学设计、无损检测技术、微弱信息检测、传感技术等应用领域,重点在基本原理和基本方法上。

参加本书编写工作的有:王吉明和杨雁南(实验 1、2、3),吴平(实验 4、5、6、15、17、18、19、20、21),张卫纯(实验 7、8、9),尹小刚(实验 10、11),张影和马海霞(实验 12、13、14),兰秀凤(实验 16),王开圣(实验 22、23),孙立(实验 24)。全书由吴平统稿。本书是在校内讲义的基础上,经过教学实践,并进行修改、充实而完成的。参加讲义编写、对实验教学做出贡献的还有李培宁、毛万华、孙杰、王东生、鲁雪萍、胡大治等。

本书可以作为应用物理学、物理学等专业的实验教材,也可以供光信息科学与技术、材料物理、材料科学与工程、电子科学与技术等物理基础要求较高的专业选用。

在本书编写和出版过程中,得到了南京航空航天大学教务处领导和教材科的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促以及水平所限,书中难免有不妥和错误之处,敬请批评指正。

编 者

目 录

实验 1	He - Ne 激光器模式分析	1
实验 2	Nd^{3+} :YAG 激光器的电光调 Q	7
实验 3	Nd^{3+} :YAG 激光器的倍频	13
实验 4	散斑照相测量技术	18
实验 5	全息光栅制作及线密度测量	22
实验 6	全息振动分析	26
实验 7	光纤光栅传感实验	32
实验 8	线阵 CCD 原理、驱动及特性测量	41
实验 9	面阵 CCD 实验	49
实验 10	热释电红外传感器性能测试	53
实验 11	光敏二极管、光敏三极管特性测试	58
实验 12	薄透镜焦距的测定	62
实验 13	光具组基点的测定	68
实验 14	透镜像差的观测	73
实验 15	光阑和景深测量	80
实验 16	自组望远镜和显微镜	84
实验 17	真空蒸发镀膜	89
实验 18	椭圆偏振法测量薄膜厚度和折射率	95
实验 19	铁电薄膜的铁电性能测量	106
实验 20	单光子计数及生物超微弱光子辐射测量	112
实验 21	微弱信号检测	117

实验 22 超声检测 122

实验 23 涡流检测 138

实验 24 数字化压力测量 147

参考文献..... 158

实验 1 He - Ne 激光器模式分析

引言

相对普通光源,激光具有单色性好的特点,也就是说,它具有非常窄的谱线宽度。窄谱线的形成不仅与激光增益介质的能级结构有关,而且与谐振腔等多种机制对光的限制作用有关。激光器形成的一个或多个离散、稳定、细锐的谱线称为激光器的模式。每个模式对应一种稳定的光场分布,即具有一定的光频率。由激光器输出的、满足谐振腔谐振条件的每一个谱线称为一个纵模,相邻两个纵模的光频率相差很小,必须用分辨率很高的分光仪器才可以观测到不同模式的频率分布。而在激光器输出光束的横截面上,横向光强的不同分布称为不同的横模。

在激光器的生产与应用中,常常需要先知道激光器的模式状况,如精密测量、全息技术等领域需要基横模输出的激光器,而激光稳频和激光测距等领域不仅要求基横模,而且要求单纵模运行的激光器。因此,模式分析是对激光器的一项基本而又重要的性能测试。

一、实验目的

- (1) 了解激光器的模式结构,加深对模式概念的理解。
- (2) 通过测试分析,掌握模式分析的基本方法。
- (3) 对本实验使用的分光仪器——共焦球面扫描干涉仪,了解其原理、性能,学会正确使用。

二、实验原理

1. 激光器模式的形成

普通激光器由三个基本部分组成:增益介质、谐振腔和激励能源。如果采用某种激励方式,在介质的某一对能级间实现粒子数反转分布,则由于自发辐射和受激辐射的作用,将有一定频率的光波在谐振腔内传播过程中被增益介质逐渐增强、放大,如图 1.1 所示。实际上,由于能级有一定的宽度以及其他因素的影响,增益介质的增益频率不是单一值,而是有一个分布范围,如图 1.2 所示,图中 $G(\nu)$ 为介质的增益系数。只有频率在这个范围内的光波在介质中传播时才有可能被放大形成激光。但只有单程放大,还不足以产生激光,还需要有光学谐振腔将沿某一方传播的光波不断反射,使其在增益介质中多次往返不断放大,最终形成方向性良好的稳定激光输出,如图 1.3 所示。

形成稳定激光振荡要满足的条件是,光在谐振腔内往返一周的光程差应是波长的整数倍,即

$$2\mu L = q\lambda_q \quad (1.1)$$

式中: μ 为增益介质的折射率,对气体激光器 $\mu \approx 1$; L 为谐振腔腔长; q 为正整数。满足此

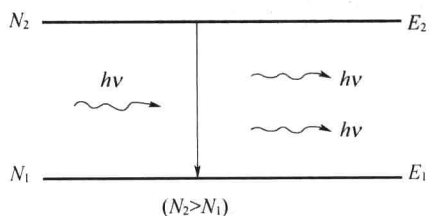


图 1.1 受激辐射光放大

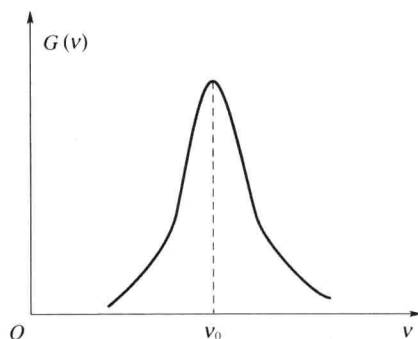


图 1.2 介质的增益曲线

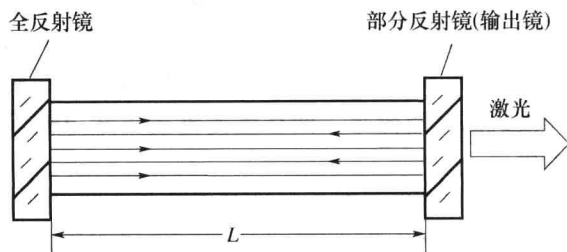


图 1.3 光学谐振腔

条件的光波可在谐振腔内形成稳定的驻波。每一个 q 对应纵向一种稳定的电磁场分布,称为一个纵模,即腔内的纵模以驻波形式存在, q 值为驻波波腹的数目,也叫纵模序数。由式(1.1)可求出第 q 个纵模的频率为

$$\nu_q = q \frac{c}{2\mu L} \quad (1.2)$$

即由于谐振腔的作用,能够形成激光的频率不是增益频率范围内的所有频率,而只能是满足式(1.2)关系的一系列分离频率,这就是谐振腔的选频作用。由式(1.2)可得相邻两个纵模的频率间隔为

$$\Delta\nu_{\Delta q=1} = \frac{c}{2\mu L} \approx \frac{c}{2L} \quad (1.3)$$

从式(1.3)看出,模式和激光器的腔长成反比,即腔越长,相邻纵模频率间隔越小,满足谐振条件的纵模个数越多;相反,腔越短,相邻纵模频率间隔越大,在同样的增益频率范围内,纵模个数就减少。因而用缩短腔长的办法是获得单纵模运行激光器的方法之一。

光波在腔内往返振荡时,一方面有增益,使光不断增强;另一方面也存在着多种损耗,使光强减弱,如介质的吸收损耗、散射损耗、镜面的透射损耗、放电毛细管的衍射损耗等。所以,不仅要满足谐振条件,还需要增益大于各种损耗的总和,才能形成持续振荡,有激光输出。如图 1.4 所示,虽然在增益频率范围内有五个纵模满足谐振条件,但其中边缘的两个纵模的增益小于损耗,所以只有三个纵模形成持续振荡。对于纵模的观测,由于可见光波的频率 ν_q 很大,相邻纵模频率间隔 $\Delta\nu_{\Delta q=1}$ 很小,一般的分光仪器无法分辨,必须使用精度较高的检测仪器才能观测到。

此外,谐振腔对光波多次反馈,对横向上的光场分布也产生影响。这是因为光每经过

装有增益介质的毛细管反馈一次,就相当于一次衍射,多次反复衍射,就在横向形成一个或多个稳定的衍射光斑。每一个衍射光斑对应一种稳定的横向电磁场分布,称为一个横模。图 1.5 给出了几种常见的横模光斑图样。实验上看到的复杂光斑则是这些基本光斑的叠加。不同的横模频率也有所不同,但通常相邻两横模间的频率间隔比相邻两纵模的间频率间隔要小。激光的模式用 TEM_{mnq} 表示,其中 m 、 n 为横模标记, q 为纵模标记, m 是沿 X 轴光场为零的节点数, n 是沿 Y 轴光场为零的节点数。

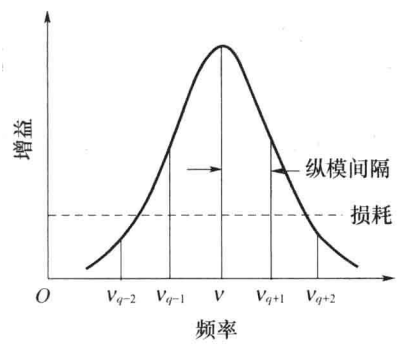


图 1.4 纵模和纵模间隔

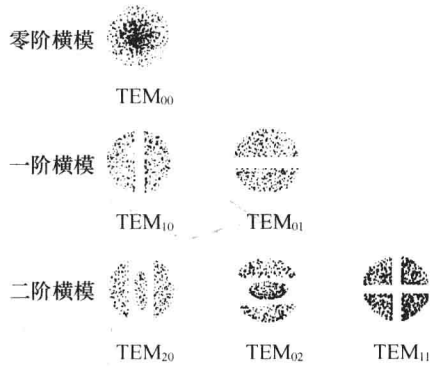


图 1.5 常见的横模光斑图

2. 共焦球面扫描干涉仪

共焦球面扫描干涉仪是一种分辨率很高的分光仪器,它已成为激光技术中一种重要的测量设备。本实验就是通过该仪器将彼此频率差异甚小(几十至几百兆赫)、用一般光谱仪器无法分辨的各个不同的纵模、横模展开成频谱图进行观测。

共焦球面扫描干涉仪是一个无源谐振腔,它由两块球形凹面反射镜构成共焦腔,即两块反射镜的曲率半径和腔长 l 相等($R'_1 = R'_2 = l$)。反射镜镀有高反射率膜。两块反射镜中,其中的一块与侧面固定,另一块安放在可随外加电压而变化的压电陶瓷环上,如图 1.6 所示。图中,①为由低膨胀系数材料制成的间隔圈,用以保持两球形凹面反射镜 R'_1 和 R'_2 总是处在共焦状态。②为压电陶瓷环,其特性是若在环的内外壁上加一定数值的电压,环的长度将随之发生变化,而且长度的变化量与外加电压的幅度成线性关系,这是扫描干涉仪被用来扫描的基本条件。由于长度的变化量很小,仅为波长数量级,所以,外加电压不会改变腔的共焦状态。但是当线性关系不好时,会给测量带来一定误差。

当一束激光以近光轴方向射入干涉仪后,在共焦腔中经四次反射呈 X 形路径,光程近似为 $4l$,如图 1.7 所示。光在腔内每走一个周期都会有一部分光从镜面透射出去。如在 A 、 B 两点,形成一束束透射光 1、2、3、...和 1'、2'、3'、...。在压电陶瓷上加一线性变化电压,当外加电压使腔长变化到某一长度 l_a ,使相邻两次透射光束的光程差为入射激光模中波长为 λ_a 谱线波长的整数倍时,即满足

$$4l_a = k\lambda_a \tag{1.4}$$

波长 λ_a 的激光模式将产生相干极大透射(k 为正整数,称为扫描干涉仪的干涉序数),而其他波长的模式则不能透过。同理,外加电压使腔长变化到 l_b ,波长为 λ_b 的模式将产生极大透射,而 λ_a 等其他模式又不能透过……因此,透射极大的波长值与腔长值之间有一一对应关系。只要有一定变化幅度的电压来改变腔长,就可以使激光器输出的所

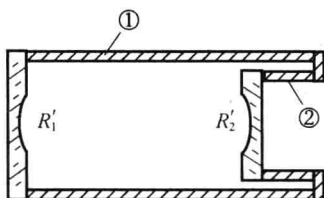


图 1.6 共焦球面扫描干涉仪
内部结构示意图

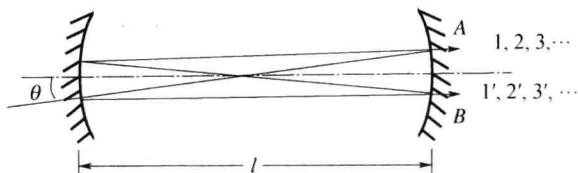


图 1.7 扫描干涉仪内部光路图

有不同波长(或频率)的模式依次相干极大透过,形成激光模式随扫描干涉仪腔长(压电陶瓷电压)变化的频谱分布。

值得注意的是,若入射光的波长范围超过某一限度,外加电压虽可使腔长线性变化,但一个确定的腔长有可能使几个不同波长的模式同时产生相干极大,造成重叠。例如,当腔长变化到可使 λ_d 极大时,若 λ_a 也会再次出现极大,则有

$$4l_d = k\lambda_d = (k+1)\lambda_a \quad (1.5)$$

即 k 序中的 λ_d 和 $k+1$ 序中的 λ_a 同时满足极大条件,两个不同波长的模式被同时扫出,叠加在一起。所以,扫描干涉仪本身存在一个不重叠的波长范围限制,即所谓自由光谱范围,它是指扫描干涉仪所能扫出的不重叠的最大波长差或频率差,用 $\Delta\lambda_{s.R.}$ 或 $\Delta\nu_{s.R.}$ 表示。若上述的 l_d 为刚刚重叠的起点,则 $V_d - \lambda_a$ 即为此干涉仪的自由光谱范围值。由式(1.5)可得

$$\lambda_d - \lambda_a = \frac{\lambda_a \lambda_d}{4l_d} \quad (1.6)$$

由于 λ_d 与 λ_a 相差很小,腔长的变化仅为波长数量级,式(1.6)可近似表示为

$$\Delta\lambda_{s.R.} = \frac{\lambda^2}{4l} \quad (1.7)$$

式中: λ 为平均波长。用频率表示,则为

$$\Delta\nu_{s.R.} = \frac{c}{4l} \quad (1.8)$$

在模式分析实验中,由于不希望出现式(1.5)中的重叠现象,故选用扫描干涉仪时,必须首先考虑它的自由光谱范围 $\Delta\nu_{s.R.}$ 和待分析激光器的频率范围 $\Delta\nu$,并使 $\Delta\nu_{s.R.} > \Delta\nu$ 。这样才能保证频谱图上各模式的光谱不重叠,腔长与模式的波长(或频率)间是一一对应关系。

自由光谱范围还可用腔长的变化量来描述,即腔长变化量为 $\lambda/4$ 时所对应的扫描范围。这是因为光在共焦腔内呈 X 形路径行进,四倍路程的光程差正好等于 λ ,干涉序数改变为 1。另外,还需指出的是,当满足 $\Delta\nu_{s.R.} > \Delta\nu$ 条件后,如果外加电压足够大,使腔长最大的变化量是 $\lambda/4$ 的 i 倍,那么将会扫描出 i 个干涉序,激光器的所有模式将周期性地重复出现在干涉序 $k, k+1, \dots, k+i$ 中。

三、实验仪器

实验装置的各组成部分如图 1.8 所示,说明如下:

(1) 待测 He-Ne 激光器。

(2) 激光电源。

(3) 小孔光阑。

(4) 共焦球面扫描干涉仪。使激光器的各个模式按波长(或频率)展开,其透射光中心波长为 632.8nm 。仪器上有四个鼓轮,其中两个鼓轮用于调节腔的上下、左右位置,另外两个鼓轮用于调节腔的方位。

(5) 驱动器。驱动器电压除了加在扫描干涉仪的压电陶瓷上,还同时输出到示波器的 X 轴作同步扫描。为了便于观察,希望能够移动干涉序的中心波长在频谱图中的位置,以使每个序中所有的模式能完整地展现在示波器的荧光屏上。为此,驱动器还增设了一个直流偏置电路,用以改变扫描的电压起点。

(6) 光电二极管。将扫描干涉仪输出的光信号转变成电信号,并输入到示波器 Y 轴。

(7) 示波器。用于观测 He - Ne 激光器的频谱图。

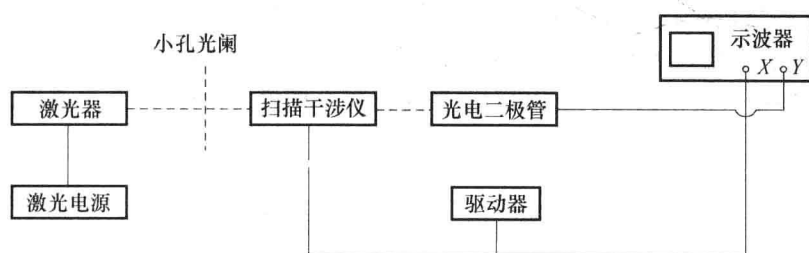


图 1.8 实验装置图

四、实验内容和操作方法

(1) 按实验装置图连接线路。经检查无误,方可进行实验。

(2) 开启激光电源。

(3) 用直尺测量扫描干涉仪光孔的高度。调节 He - Ne 激光管的高低、仰俯,使激光束与光学平台的表面平行,且与扫描干涉仪的光孔大致等高。

(4) 使激光束通过小孔光阑。调节扫描干涉仪的上下、左右位置,使激光束正入射到扫描干涉仪中,再细调干涉仪上的四个鼓轮,使干涉仪腔镜反射回来的光点回到光阑的小孔附近(注意:不要使光点回到光阑的小孔中),且使反射光斑的中心与光阑的小孔大致重合,这时入射光束与扫描干涉仪的光轴基本平行。

(5) 开启扫描干涉仪驱动器和示波器的电源开关。调节驱动器输出电压的大小(即调节“幅度”旋钮)和频率,在光屏上可以看到激光经过扫描干涉仪后形成的光斑(注意:如果在光屏上形成两个光斑,要在保持反射光斑的中心与光阑的小孔大致重合的条件下,调节扫描干涉仪的鼓轮,使经过扫描干涉仪后形成的两个光斑重合)。

(6) 降低驱动器的频率,观察光屏上的干涉条纹,调节干涉仪上的四个鼓轮,使干涉条纹最宽。注意:调节过程中,要保持反射光斑的中心与光阑的小孔大致重合。

(7) 将光电二极管对准扫描干涉仪输出光斑的中心,调高驱动器的频率,观察示波器上展现的频谱图。进一步细调扫描干涉仪的鼓轮及光电二极管的位置,使谱线尽量强。

(8) 根据干涉序个数和频谱的周期性,确定哪些模式属于同一个干涉序。

(9) 改变驱动器的输出电压(即调节“幅度”旋钮),观察示波器上干涉序数目的变

化。改变驱动器的扫描电压起点(即调节“直流偏置”旋钮),可使某一个干涉序或某几个干涉序的所有模式完整地展现在示波器的荧光屏上。

(10) 根据自由光谱范围的定义,确定哪两条谱线之间对应着自由光谱范围 $\Delta\nu_{S.R.}$ (本实验使用的扫描干涉仪的自由光谱范围 $\Delta\nu_{S.R.} = 3.75\text{GHz}$)。测出示波器荧光屏上与 $\Delta\nu_{S.R.}$ 相对应的标尺长度,计算出二者的比值,既示波器荧光屏上 1mm 对应的频率间隔值。

(11) 在同一干涉序内,根据纵模定义,测出纵模频率间隔 $\Delta\nu_{\Delta q=1}$ 。将测量值与理论值相比较(注:待测激光器的腔长 L 由实验室给出)。

(12) 确定示波器荧光屏上频率增加的方向,以便确定在同一纵模序数内哪个模是基横模,哪些模是高阶横模。

(13) 测出不同横模的频率间隔 $\Delta\nu_{\Delta m+\Delta n}$,并与理论值相比较,检查辨认是否正确,确定 $\Delta m+\Delta n$ 的数值(注:谐振腔两个反射镜的曲率半径 R_1, R_2 由实验室给出)。

(14) 观察激光束在远处光屏上的光斑形状。这时看到的应是所有横模的叠加图,需结合图 1.5 中单一横模的形状加以辨认,确定出每个横模的模序,即每个横模的 m, n 值。

五、注意事项

(1) 实验过程中要注意眼睛的防护,绝对禁止用眼睛直视激光束,观察者应佩戴激光防护镜。

(2) 开启或关闭扫描干涉仪的驱动器时,必须先将“幅度”旋钮置于最小值(反时针方向旋转到底),以免将其损坏。

六、预习要求

根据实验要求,查阅相关资料,了解激光产生的原理,气体激光器相比其他激光器的优点,熟悉驻波原理及腔内光场的形成过程及分布特点。

七、思考题

- (1) 结合本实验及激光技术知识,你认为实现激光器的单纵模输出有哪些方法?
- (2) 在多模激光器使用过程中,纵模数目的多少跟激光输出能量的大小有何关系?

实验2 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器的电光调 Q

引言

激光器可分为连续激光器和脉冲激光器。一台普通的脉冲固体激光器,输出的光脉冲宽度通常为几百微秒,甚至为毫秒量级,峰值功率只有几十千瓦量级。调 Q 技术正是为压缩光泵浦固体脉冲激光器脉宽而发展起来的专门技术,采用该技术,脉冲激光能量可压缩在很短的时间($10^{-7}\text{s} \sim 10^{-9}\text{s}$)内发射,从而产生脉宽为纳秒量级、峰值功率为吉瓦量级的巨脉冲。1962 年,Helloarth 等研制出第一台调 Q 激光器。调 Q 技术是激光发展史上的重要突破之一,它的出现不仅大大推动了诸如激光精密测距、激光雷达、高速摄影、高分辨率光谱学等技术的发展,而且成为科学研究的有力工具。

一、实验目的

- (1) 掌握电光 Q 开关的原理及调试方法。
- (2) 学会电光 Q 开关装置的调试及主要参数的测试。

二、实验原理

1. 激光器工作原理

本实验使用的主要实验装置为 XGL-1 型脉冲 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器,如图 2.1 所示,主要采用了闪光灯泵浦、开关电源、电光调 Q 、腔外倍频技术。激光腔前镜为输出镜(输出透射率 $T=80\%$),激光腔后镜为全反射镜,两者组成激光谐振腔。利用具有连续光谱的闪光灯照射 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 晶体, Nd^{3+} 离子就从基态 E_1 跃迁至激发态 E_4 的一系列能级,其中最低的两个能级为 $^4\text{F}_{5/2}$ 和 $^4\text{F}_{7/2}$,相应于中心波长为 810nm 和 750nm 的两个光谱吸收带。由于 E_4 的寿命仅约为 1ns,所以受激的 Nd^{3+} 离子绝大部分都经过无辐射跃迁转移到了 E_3 态。 E_3 为亚稳态,寿命长达 $250\mu\text{s} \sim 500\mu\text{s}$,很容易获得粒子数积累。 E_2 态的寿命为 50ns,

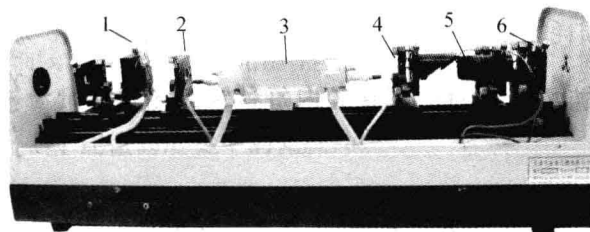


图 2.1 激光器结构

1—倍频晶体；2—激光腔前镜；3—激光腔；4—布氏偏振片；5—调 Q 晶体；6—激光腔后镜。

即使有粒子处在 E_2 , 也会很快地弛豫到 E_1 。因此, 相对 E_3 而言, E_2 态上几乎没有粒子。这样, 就在 E_3 和 E_2 之间形成了粒子数反转。正是 E_3-E_2 的受激辐射在激光谐振腔中得到增益而形成了激光, 其波长为 1064nm。只要有泵浦光存在, Nd^{3+} 离子的能态就总是处在 $E_1-E_4-E_3-E_2-E_1$ 的循环中。这是一个典型的四能级系统。

2. 激光调 Q 原理

一般光泵浦固体脉冲激光器输出的光脉冲, 是由许多振幅、脉宽和间隔作随机变化的尖峰脉冲组成, 脉冲序列的长度大致与闪光灯泵浦时间相等, 其脉宽为几微秒甚至几毫秒, 如图 2.2 所示, 这种现象称为激光器弛豫振荡。在这种情况下, 脉冲的峰值功率只有千瓦级水平。因此, 压缩脉宽, 增大峰值功率是激光技术中亟待解决的主要问题之一。调 Q 技术就是为解决这一问题而发展起来的。

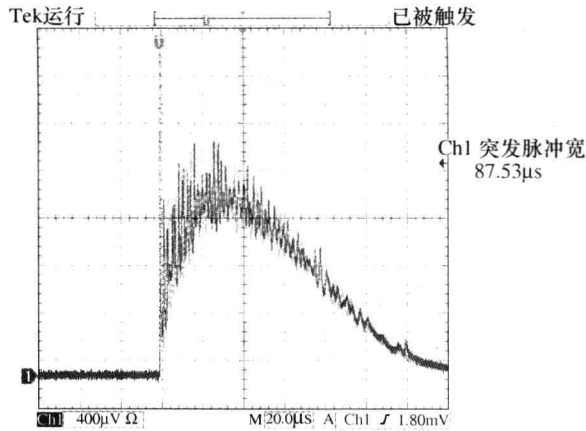


图 2.2 静态激光脉冲中的弛豫振荡

Q 叫做光学谐振腔的品质因数, 可用来衡量激光器光学谐振腔质量的优劣, 即腔内损耗的大小。在调 Q 技术中, 品质因数 Q 定义为腔内储存的能量与每秒钟损耗的能量之比, 可表示为

$$Q = 2\pi\nu_0 \frac{\text{腔内储存的激光能量}}{\text{每秒损耗的激光能量}} \quad (2.1)$$

式中: ν_0 为激光的中心频率。

若用 E 表示腔内储存的激光能量, γ 为光在腔内走一个单程能量的损耗率, 那么光在这一单程中对应的损耗能量为 γE 。用 L 表示腔长, n 为折射率, c 为光速, 则光在腔内走一个单程所用时间为 nL/c 。由此, 光在腔内每秒钟损耗的能量为 $\frac{\gamma Ec}{nL}$ 。这样 Q 值可表示为

$$Q = 2\pi\nu_0 \frac{E}{\gamma Ec/nL} = \frac{2\pi nL}{\gamma \lambda_0} \quad (2.2)$$

式中: λ_0 为真空中激光波长。可见 Q 值与损耗率总是成反比变化, 即损耗大 Q 值低, 损耗小 Q 值高。

固体激光器由于存在弛豫振荡现象,造成输出功率只能在阈值附近形成起伏的尖峰脉冲序列,从而阻碍了激光脉冲峰值功率的提高。如果设法在泵浦开始时使谐振腔内的损耗增大(Q 值减小),即提高振荡阈值,使振荡不能形成,则在泵浦光作用下,激光工作物质亚稳态的粒子数将不断积累。当积累到最大值(饱和值时),突然使腔内损耗变小, Q 值突增,这时,亚稳态上积累的粒子会在及短的时间内跃迁到下能级,粒子的能量瞬间转变成光能量,腔内像雪崩一样建立起极强的光振荡,并在输出反射镜(透反镜)端面耦合输出一个极强的激光脉冲。通常把这种光脉冲称为巨脉冲。调节腔内损耗就是调节 Q 值,调 Q 技术即由此得名。也称为 Q 突变技术或 Q 开关技术。

采用不同的方法去控制不同的损耗,就形成了不同的调 Q 技术,有转镜调 Q 技术、电光调 Q 技术、可饱和染料调 Q 技术、声光调 Q 技术、透射式调 Q 技术等。

本实验以电光调 Q 激光器的工作原理、器件调整、特性测试为主要内容。利用晶体的电光效应制成的 Q 开关,具有开关速度快,所获得激光脉冲峰值功率高(可达几兆瓦至吉瓦),脉冲宽度窄(一般可达纳秒至几十纳秒),器件效率高(动态效率可达 1%),产生激光时间控制程度高,输出功率稳定性较好,便于与其他仪器联动,可以在高重复频率下工作等优点。因此是一种已获广泛应用的调 Q 技术。

如图 2.3 所示,激光工作物质 YAG 晶体棒在闪光灯的激励下产生无规则偏振光,通过偏振片后成为线偏振光,若起偏方向与 KD^*P 晶体的晶轴 x (或 y) 方向一致,并在 KD^*P 上施加一个 $V_{\lambda/4}$ 的外加电场。由于电光效应产生的电感应主轴 x' 和 y' 与入射偏振光的偏振方向成 $\pi/4$ 角,这时调制器起到了一个 $1/4$ 波片的作用,显然,线偏振光通过晶体后产生了 $\pi/2$ 的位相差,往返一次产生的总相差为 π ,即线偏振光经一次往返后偏振面旋转了 90° ,不能通过偏振器。这样,在调制晶体上加有 $1/4$ 波长电压的情况下,由偏振片和 KD^*P 调制晶体组成的电光开关处于关闭状态,谐振腔的 Q 值很低,不能形成激光振荡。

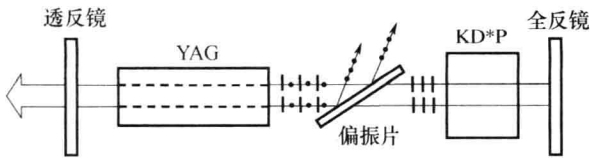


图 2.3 电光 Q 开关工作原理图

在整个器件处于低 Q 值过程中,由于闪光灯一直在对 YAG 棒进行抽运,因此工作物质中亚稳态粒子数不断增多,当粒子反转数达到最大时,突然去掉调制晶体上的 $1/4$ 波长电压,这时,沿谐振腔轴线方向传播的激光由于其偏振状态未发生任何变比,因而可自由通过调制晶体,即谐振腔处于高 Q 值状态,电光开关被打开,因而在谐振腔内形成雪崩式激光振荡,激光器发出一个能量高度集中的光脉冲。

三、实验仪器

实验系统如图 2.4 所示,由 XGL-1 型脉冲 $Nd^{3+}:YAG$ 激光器(虚线方框内)、水冷系统、电源和控制系统、He-Ne 激光器、光阑等组成。

$Nd^{3+}:YAG$ 激光器的主要参数见表 2.1。

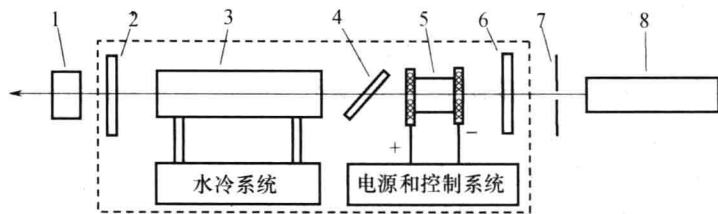


图 2.4 实验装置图

1—KTP 倍频晶体；2—输出镜；3—闪光灯、聚光腔和 YAG 棒组件；4—布氏角偏振片；
5—调 Q 晶体(KD*P)；6—全反射镜；7—光阑；8—准直用 He-Ne 激光器。

表 2.1 Nd³⁺:YAG 激光器主要技术指标

主要技术指标		
名 称	内 容	备 注
输出波长/nm	1064,532	
输出能量/mJ	600(1064nm,不调 Q) 250(1064nm,调 Q) 100(532nm,调 Q)	标称值为在较为理想的调整状态下的测量值
脉冲宽度	约 10ns(调 Q) 约 200μs(不调 Q)	
光束发散角/nrad	≤5	
指示激光/nm	632.8	
重复频率/Hz	1,5	
储能电容/μF	100	
输入电压/V	AC220×(1±10%)(50Hz)	
最高充电电压/V	1000	严禁超过最高电压使用
电光晶体电压/kV	1~5(可调)	
退压延时/μs	30~500	

四、实验内容和操作方法

(1) 用 He-Ne 激光束或自准直平行光管,调整激光器各光学元件的高低水平位置,使各光学元件的对称中心基本位于同一直线上。再调整各光学元件的俯仰方位,使介质膜反射镜、偏振器、电光晶体的通光面与激光工作物质端面相互平行,不平行度小于 1'。

(2) 打开水循环控制开关,观察水冷系统的水流流速是否正常,如正常按照以下步骤进行实验;如流速不正常,要检查水冷装置或仪器各连接开关查出并解决问题,水流流速正常后再按照以下步骤进行。

(3) 水流正常情况下,依次打开电钥匙开关、预燃开关、工作开关,启动激光器的工作电源。在不加 λ/4 晶体电压情况下,工作电压取 550V,反复调整两块谐振腔片,使静态激光输出最强,记下输出激光能量。对 1064nm 不可见的红外激光先用烧斑纸对光的有无