现代光学实验教程

主编　　王仕璠
编著　　王仕璠　刘　艺　余学才

北 京 邮 电 大 学 出 版 社
·北 京·

内 容 简 介

本书系统介绍现代光学实验(重点是信息光学实验)的相关实验课题,内容涉及激光器参数测量、全息照相和显示、全息光学元件、全息信息存储、全息干涉计量、激光散斑计量、空间滤波与光学信息处理、光电子技术等共 34 个实验,其中部分实验是为研究生的实验技能培养而设计的。

本书读者对象为光学、光信息科学与技术、应用物理、光学仪器、光学工程等专业的高年级本科生和研究生,也可供相关专业的工程技术人员和高校教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代光学实验教程/ 王仕璠主编. —北京:北京邮电大学出版社,2004
ISBN 7 5635 0916 X

Ⅰ 现… Ⅱ 王… Ⅲ 光学 实验 高等学校 教材 Ⅳ .O43 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 073936 号

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号)
邮编:100876 (发行部)电话:62282185 传真:62283578
电子信箱: publish@bupt .edu .cn
经 销: 各地新华书店
印 刷:
印 数: 1—3 000 册
开 本: 787 mm×1092 mm 1/ 16
印 张: 10. 75
字 数: 271 千字
版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7 5635 0916 X/ TN·336 定 价: 17. 00 元

如有质量问题请与北京邮电大学出版社发行部联系

前　　言

近 20 年来,我们陆续为我校应用物理、光电子技术、光学、光学工程等专业的高年级本科生和研究生开设了“现代光学实验”、“光电子技术实验”等课程,同时也为研究生的实验技能培养设计了一些综合实验(这部分实验大多数是通过我们的科研成果转化而来的)。为此,曾数次编写了相关的实验讲义,取得了良好的效果。部分实验内容曾在一些兄弟院校做过交流,也接受过兄弟院校的访问学者来校进修。1996 年冬天还受教育部外资贷款办公室委托,利用世界银行贷款在我校举办了“师范教育发展项目”实验仪器使用与维修技术培训班。本教程中的部分实验课题也曾在这个培训班上讲授并演示,引起了来自全国 80 余所高校教师的兴趣。

众所周知,科学实验是自然科学的根本,是工程技术的基础,大量重要的发现来源于实验和对自然的观察。为了在教学中进一步加强对学生(包括本科生和研究生)实验技能的培养,我们在多年从事实验教学的基础上编写了这本实验教程,希望能对当前比较薄弱的实验教学环节起一点促进作用。

本书编写分工如下:王仕璠教授撰写实验 2 4,2 5,2 7,3 1,4 1,4 2,5 1,5 2,5 3,5 4,6 1,6 2,6 3,7 1,7 2,7 3,7 5,7 6,7 7 及附录;刘艺副教授撰写实验 1 3,2 1,2 2,2 3,2 6,3 2,3 3,6 4,7 4;余学才副教授撰写实验 1 1,1 2,8 1,8 2,8 3,8 4。全书由王仕璠教授任主编,并负责统稿及全书的最后审校、定稿。

衷心感谢北京邮电大学出版社对本书出版给予的支持;也衷心感谢电子科技大学研究生院和教务处对编者们在长期教学中的支持、帮助和鼓励!

研究生王刚、韩振海、刘秋武、向根祥等帮助查阅了部分参考文献资料,在此,作者也向他们表示衷心的谢意!

由于我们的水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳切期望读者批评指正。

作者谨识
2004 年 6 月
于电子科技大学

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

目　　录

前　言

第 1 章　激光器参数测量

实验 1 1　He Ne 激光器的增益系数测量 …… (1)
实验 1 2　He Ne 激光器的模式分析 …… (6)
实验 1 3　迈克尔逊干涉仪和马赫 曾德干涉仪 …… (9)

第 2 章　全息照相和显示

实验 2 1　透射全息图与反射全息图的拍摄 …… (13)
实验 2 2　像全息图与一步彩虹全息图 …… (17)
实验 2 3　二步彩虹全息图 …… (20)
实验 2 4　傅里叶变换全息图 …… (23)
实验 2 5　全息照相的景深扩展技术 …… (28)
实验 2 6　物像互遮掩的彩虹全息多重记录 …… (32)
实验 2 7　光纤全息照相 …… (36)

第 3 章　全息光学元件

实验 3 1　全息光栅的设计与制作 …… (41)
实验 3 2　全息透镜的设计与制作 …… (45)
实验 3 3　全息透镜阵列的制作与应用 …… (49)

第 4 章　全息信息存储

实验 4 1　全息高密度、大容量信息存储 …… (55)
实验 4 2　全息信息的加密存储 …… (58)

第 5 章　全息干涉计量

实验 5 1　用全息干涉法测微小位移 …… (61)
实验 5 2　用全息干涉法测量刚体的微小运动 …… (68)
实验 5 3　全息振动分析实验 …… (75)
实验 5 4　全息应变分析实验 …… (80)

第 6 章　激光散斑计量

实验 6 1　用散斑摄影术测量位相物体厚度 …… (90)
实验 6 2　用双散斑图系统测量空间位移 …… (94)

实验 6 3 散斑干涉实验 …… (100)
实验 6 4 白光散斑摄影测量术 …… (106)

第 7 章 空间滤波与光学信息处理

实验 7 1 用光栅法实现光学图像相减 …… (111)
实验 7 2 用全息法实现光学图像相减 …… (114)
实验 7 3 匹配滤波与光学图像识别 …… (116)
实验 7 4 用联合变换相关原理实现光学图像识别 …… (120)
实验 7 5 用复合光栅滤波实现光学图像微分 …… (123)
实验 7 6 θ调制空间假彩色编码 …… (127)
实验 7 7 位相调制密度假彩色编码 …… (129)

第 8 章 光电子技术实验

实验 8 1 YAG 调 Q 激光的参数测量 …… (134)
实验 8 2 YAG 倍频声光调 Q 激光的参数测量 …… (141)
实验 8 3 拉曼 赖斯声光衍射观测实验 …… (144)
实验 8 4 光子计数实验 …… (150)

附 录 现代光学实验装置及实验注意事项 …… (155)

第 1 章

激光器参数测量

激光器是现代光学设备中最常用的一种光源。激光束所具备的许多特性是自然光和其他光源无法比拟的。就其光的空间分布而言,激光的定向性比任何其他光源都强,且其频谱宽度也比任何其他光源窄,单色性极好;从相干性讲,它又是最好的相干光源,具有很好的时间相干性和空间相间性。

本章讨论激光器的基本参数及其测量方法,目的是为后面的实验打下基础。

实验 1 1　He Ne 激光器的增益系数测量

【实验目的】

1. 了解激光器的结构、特性、工作条件和工作原理;
2. 掌握外腔式激光器调整的原理和技巧;
3. 验证谐振腔理论和相关理论;
4. 利用可变输出镜法测量激光器增益系数。

【实验原理】

在半内腔式 He Ne 激光器内放一玻璃平板分光片(见图 1 1 1),该分光片与谐振腔轴线成某交角。在满足振荡条件时,分光片两边有一定功率的激光输出。

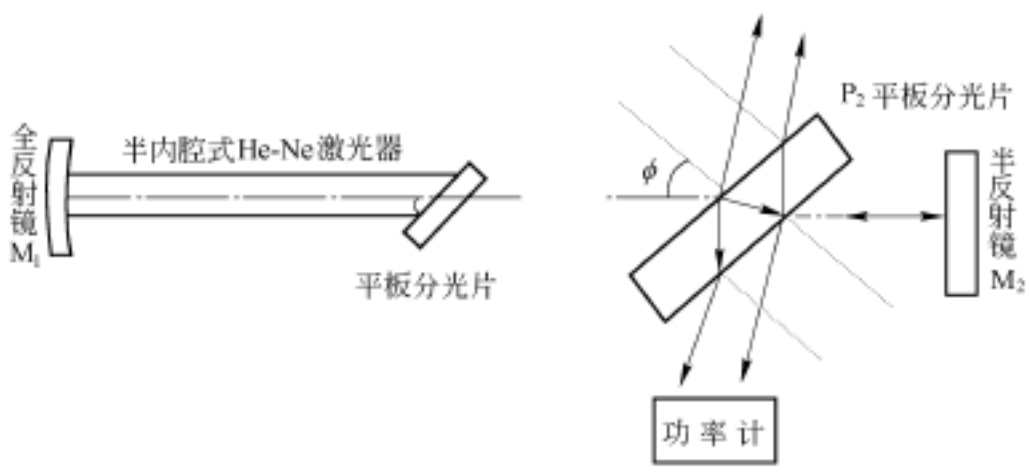

图 1 1 1　可变输出镜法测量激光器透射率原理图

分光片每个表面对光的反射率 R 是入射角　的函数。由菲涅耳公式得到[1 1 1]

$$R = \frac{\tan^2\left[\quad - \arcsin\frac{\sin}{n}\right]}{\tan^2\left[\quad + \arcsin\frac{\sin}{n}\right]} \tag{1 1 1}$$

实验用的平板分光片材料为 K_1 玻璃,其折射率 $n = 1.52$。

不考虑分光片本身的吸收和散射,且在较大入射角的斜入射情况下,平行平面玻璃的两个面之间将产生激光的多次反射和透射(见图 1 1 2),总反射系数为:

$$\begin{aligned} R_{total} &= R + R(1-R)^2 + R^3(1-R)^2 + R^5(1-R)^2 + \cdots \\ &= 2R(1 - R + R^2 - R^3 + R^4 - R^5 + \cdots) \\ &= \frac{2R}{1+R} \end{aligned} \tag{1 1 2}$$

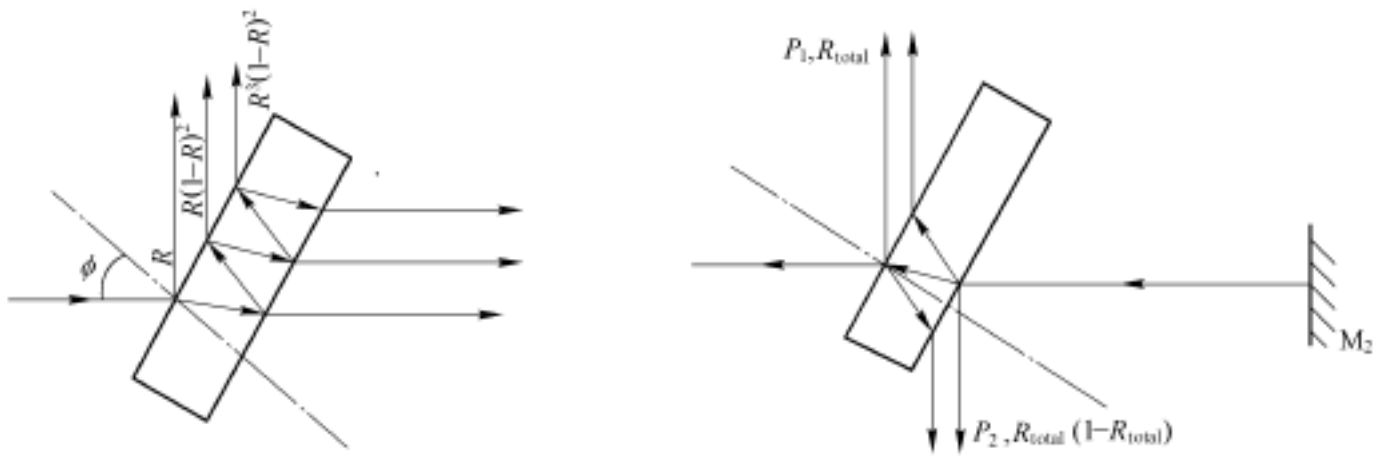

图 1 1 2 激光束发生多次反射与透射的图示

激光在腔内来回一次,在分光片两表面所反射的光强与入射光强之比称为分光片的输出率 T,即:

$$T = |R_{total} + R_{total}(1 - R_{total})| = \frac{4R}{(1+R)^2} = 1 - \left(\frac{1-R}{1+R}\right)^2 \tag{1 1 3}$$

分光片的输出率可视为激光器输出窗的透射率。若将入射角 连续地变化,则该分光片将起一个反射率可变的平面耦合输出镜的作用。

现定义 α为激光腔除输出率之外往返一次的光学损耗,称内损耗;令 L 为激活介质的长度;g_0 为小信号增益系数,P_{out} 为耦合输出功率,P_s 为饱和功率。移动半反射镜可改变激光器的腔长。理论分析表明:当 He Ne 激光管较长时,其纵模间隔的宽度会小于由碰撞加宽等因素引起的均匀加宽宽度,此时其增益饱和可以用均匀加宽方法来近似处理,则激光输出功率为:

$$P_{out} = P_s T\left(\frac{2g_0 L}{\alpha + T} - 1\right) \tag{1 1 4}$$

当 T 为最佳输出率 T_{opt} 时,P_{out} 最大。由 $\frac{dP_{out}}{dT} = 0$ 得

$$T_{opt} = [\alpha(2g_0 L)]^{\frac{1}{2}} - \alpha \tag{1 1 5}$$

旋转分光片,增加输出率 T,使腔内总损耗($\alpha + T$)增加。定义激光刚熄灭时的输出率为阈值输出率 T_g,则式(1 1 4)为:

$$T_g P_s\left(\frac{2g_0 L}{\alpha + T_g} - 1\right) = 0$$

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

即:

$$2g_0L=\alpha+T_g \tag{1 1 6}$$

联解式(1 1 5)和(1 1 6),得:

$$2g_0L=\frac{(T_g-T_{opt})^2}{T_g-2T_{opt}} \tag{1 1 7}$$

通过旋转平面分光片,即可在不同的入射条件下,测量分光片的输出功率值,记录输出功率最大时的入射角 ,以求出最佳输出率 T_{opt},再测得阈值输出率 T_g,便由式(1 1 7)可得到该激光器的增益 $2g_0L$。

还可采用图解法求得腔内损耗 α及饱和光强 I_s。由式(1 1 4)得:

$$T^2-\left(2g_0L-\alpha-\frac{P_{out}}{P_s}\right)T+\frac{P_{out}\alpha}{P_s}=0 \tag{1 1 8}$$

这是一个关于 T 的一元二次方程,可解得两个根 T_1 和 T_2。由根与系数的关系,可得:

$$T_1+T_2=2g_0L-\alpha-\frac{P_{out}}{P_s} \tag{1 1 9}$$

$$T_1T_2=\frac{P_{out}\alpha}{P_s} \tag{1 1 10}$$

再由式(1 1 9)和 (1 1 10)联解,又得:

$$T_1T_2+\alpha(T_1+T_2)-\alpha(2g_0L-\alpha)=0 \tag{1 1 11 a}$$

或

$$(T_1+T_2)+\frac{1}{\alpha}T_1T_2-(2g_0L-\alpha)=0 \tag{1 1 11 b}$$

可以看出,式(1 1 11)是关于 T_1+T_2 与 T_1T_2 的直线方程。因此用 T_1+T_2 对 T_1T_2 作图(见图 1 1 3),再根据直线的斜率 K_2 可决定损耗 α,由直线截距可以求出增益系数 g_0。

$$\alpha=1/K_2$$

令 $T_1T_2=0$,得 T_1+T_2 轴上的截距为 $2g_0L-\alpha$。

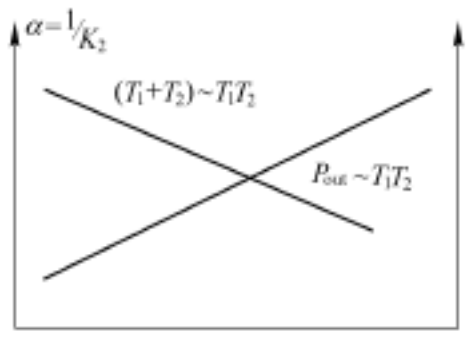

图 1 1 3 T_1+T_2 与 P_{out} 对 T_1T_2 的关系

从式(1 1 10)还可得到:

$$P_{out}=\frac{P_s}{\alpha}T_1T_2=K_2T_1T_2P_s \tag{1 1 12}$$

于是,用 P_{out} 对 T_1T_2 作图,从直线斜率可求得饱和功率 P_s,再根据式(1 1 13)便可得到饱和光强 I_s:

$$I_s=\frac{1.26P_s}{\pi\omega_0^2} \tag{1 1 13}$$

式中 ω_0 为高斯光束光腰半径。

相对于每一个输出功率 P_{out} 均可在最佳透射率两侧找到所对应的两个输出率 T_1 和 T_2。

对于稳定平凹腔,在平面镜上光斑半径为:

$$\omega_1=\sqrt{\frac{\lambda}{\pi}}[L(R-L)]^{\frac{1}{4}} \tag{1 1 14}$$

式中 L 为腔长,R 为凹镜曲率半径。

【实验步骤】

本实验的核心是 He Ne 激光器,采用的是一种半内腔式结构。激光器的一个全反射镜与

毛细管、储气套等做成一体,并将全反射镜与毛细管调至垂直,而另一个半反射镜则被安装在一个精密二维调整架上,可灵活移动。

1. 激光器的调整

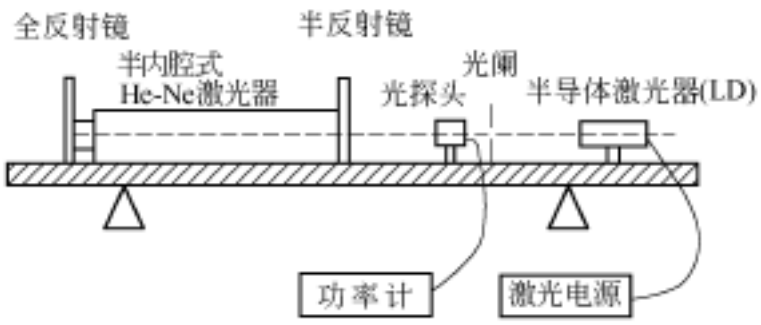

图 1 1 4 实验装置图

实验装置如图 1 1 4 所示。设备的调试主要是调整 He Ne 激光器中半反射镜的相对位置关系,只有当谐振腔的两个反射镜与激光器毛细管垂直时,激光才有可能产生。本实验采用 LD 激光作为基准,用自准直的方法使激光谐振腔达到谐振,产生 He Ne 激光。其调整过程如下:

(1) 打开激光器及功率指示计电源。LD 发出激光。

(2) 松开激光管调整架上的 6 个调整螺钉,使激光管处于自由悬挂状态。

(3) 调整 LD 的高度和方向,同时调整小孔屏的高度和位置,使通过小孔的 LD 激光束可打在 He Ne 激光管的布儒斯特窗中心区域。

(4) 将 He Ne 激光器的半反射镜连同二维精密调整架放置在 He Ne 激光器前的滑块上,调整反射镜架的高度使激光大致打在反射镜的中心位置上,锁紧反射镜架。

(5) 前后滑动半反射镜,并注意光斑在半反射镜上的位置,反复调整 LD 和小孔屏(光阑)的方向和位置,以使半反射镜在前后滑动的过程中光斑始终位于半反射镜膜片的中心区域,这时 LD 激光束基本上与导轨平行。以下的实验操作中将以这条激光束为基准来调整谐振腔,即在实验过程中这个基准不应再变动。

(6) 取下 He Ne 激光器半反射镜,这时 LD 激光束又会落在 He Ne 激光器的布儒斯特窗上,通过激光器的玻璃外壳会看到这束 LD 激光是否进入了毛细管(这时 He Ne 激光器光源应处于“关”状态,以便于观察)。调整布儒斯特窗这端的二维调整架,使 LD 光束进入毛细管,这时应在小孔屏上可以看见从 He Ne 激光器的另一个反射镜反射回来的光,一般为圆环形。调整设备尽量使之明亮。

(7) 调整 He Ne 激光器全反射镜的二维调整架,小孔屏上的反射光的强度和形状也随之变化,尽量使这个环形光斑变小、变强并成为一个亮点。

(8) 反复调整 He Ne 激光器前后的两个二维调整架,使反射到小孔屏的亮点尽可能对称、明亮,并重合于小孔,此时可认为毛细管基本与 LD 激光束(基准)相重合,全反射镜与 LD 激光束垂直。

(9) 将步骤(6)中取下的半反射镜重新放回到导轨上,调整高度使 LD 光斑落在膜片中心位置。

(10) 调整半反射镜架上的两个精密调整螺钉,使该半反射镜反射回小孔屏上的光斑落于小孔中心。

(11) 用脱脂棉和丙酮擦拭布儒斯特窗。

(12) 打开 He Ne 激光电源,调整电流到 5.5 mA 左右(不可过大以免损坏激光管和电源),这时应有 He Ne 激光输出。如没有,仔细调整半反射镜架上的两个精密调整螺钉,直到有He Ne激光输出为止。

(13) 将功率计探头放入光路,探测 He Ne 激光器的输出功率。反复仔细地调整半反射镜上的两个精密调整螺钉,以使功率达到最大。

调整激光器中的注意事项如下:

① 绝对避免激光束直射人眼,只能从侧面观察激光散斑。

② 激光管阳极有几千伏的高压,注意不要碰触电极。

③ 激光器的膜片是非常易损的光学元件,绝对避免触、摸、碰、刮。

2. 测量腔长与激光功率、横模、束腰、发散角的关系

(1) 用功率指示计测量其最大功率。用显示屏在全反射端一定距离处(2～3 m)观察光斑的大小和形状。光斑的大小反映了发散角的大小,光斑的形状即为激光的横模。观察半反射镜上的光斑(束腰)大小。

(2) 松开半反射镜架滑块上的螺钉,移动反射镜,在适当位置重新锁紧,以改变谐振腔的腔长和腔型。重复 1 中(9)、(10)、(12)的必要步骤,重复 2 中(1)的测量和观察,以了解、掌握这些参数的变化规律。

3. 激光增益的测量

(1) 将半反射镜放在布儒斯特窗前 10 cm 处,调出激光。

(2) 将分光片表面擦净,放入旋转平台上的镜片架并插入腔外光路,用功率指示计监测功率。

(3) 调整两个水平调整螺钉和旋转平台,使激光功率最大。

(4) 将分光片表面擦净,放入旋转平台上的镜片架并插入腔内光路,仔细调整激光谐振腔和分光片,使分光片转轴与激光束和布儒斯特窗法线相垂直,使输出功率达到最大。

(5) 仔细调整旋转平台,使激光正好消失,这时损耗与激光增益相当。

(6) 连同滑块一起取下分光片,放置在腔外光路中,测出损耗,即得到需要的激光增益。

【思考题】

1. 将分光片旋转到与激光束相垂直的位置上,并读出转台的角度读数,此时反射镜入射角 = 0。注意观察在入射角等于或近于零时激光强度有什么变化?为什么会发生这种变化?怎样确定分光片与激光束相垂直的确切位置?

2. 讨论在垂直入射和近于垂直入射时所观察到的现象并解释之。

【实验仪器】

光学实验导轨	1 个	小孔屏	1 个
LD 激光准直光源	1 个	二维反射镜架	1 台
半内腔式 He Ne 激光管	1 只	分光片(增益测量组件)	1 个
激光电源	1 个	激光管调整架	1 台
激光功率计	1 台		

参考文献

[1 1 1] 郭永康,鲍培谛. 光学教程. 成都:四川大学出版社,2001. 124～133

[1 1 2] 周炳琨,高以智,陈倜嵘,等. 激光原理. 北京:国防工业出版社,2000. 174

实验12 He Ne激光器的模式分析

【实验目的】

1. 观察 He Ne 激光器的输出频谱;
2. 了解 F P 扫描干涉仪的结构和性能,掌握它的使用方法,测量干涉仪的性能指标;
3. 利用 F P 扫描干涉仪测量 He Ne 激光的纵模间距和横模间距。

【实验原理】

1. He Ne 激光器的模式结构

激光器的谐振腔具有无数个固有的、分立的谐振频率。不同的谐振模式具有不同的光场分布。光腔的模式可以分解为纵模和横模,它们分别代表光腔模式的纵向光场分布和横向光场分布。用模指数 m, n, q 可标示它们不同的模式。

由无源谐振腔理论得到 m, n, q 模式的频率为:

$$\nu_{mnq} = \frac{c}{4\mu L}\left\{2q + \frac{2}{\pi}(m+n+1)\arccos\left[\left(1-\frac{L}{R_1}\right)\left(1-\frac{L}{R_2}\right)\right]\right\} \qquad (121)$$

式中,μ 为介质折射率;c 为真空中的光速;L 为腔长;R_1 和 R_2 分别为谐振腔两反射镜的曲率半径;q 为纵模指数,一般为很大的正整数;m, n 为横模指数,一般为 0, 1, 2, …,当 $m = n = 0$ 时为基横模,其对应光场分布在光腔轴线上的振幅最大,从中心到边缘振幅逐渐减小,当 m 或 $n \neq 0$时,称为高阶横模。

图121 横模光斑举例

不同阶横模(m, n 不同)对应有不同的横向(垂直于谐振腔轴线方向)光强和频率分布,从光斑图样可以了解不同阶横模之间强度分布的差异,图121为强度分布的实例,但不同阶横模所对应的振荡频率亦有差异,人们正是利用它来分析横模结构的。

由式(121)可知,当 m, n 相同时,即对于同一阶横模,相邻纵模间隔是等间距的,其频率差为:

$$\nu_{mn(q+1)} - \nu_{mnq} = \frac{c}{2\mu L} \qquad (122)$$

对于纵模阶次相同的模式,横模阶次越高,谐振频率越高,不同阶横模间的频率间隔为:

$$\nu_{m'n'q} - \nu_{mnq} = \frac{c}{4\mu L}\left\{(\Delta m + \Delta n)\frac{2}{\pi}\arccos\left[\left(1-\frac{L}{R_1}\right)\left(1-\frac{L}{R_2}\right)\right]\right\} \qquad (123)$$

式中 $\Delta m = m' - m$, $\Delta n = n' - n$。

当 $L = R_1 = R_2$ 时,谐振腔为共焦腔,如图122所示。这时,不同阶横模间的频率间隔为:

$$\Delta\nu_{mn,m'n'} = \frac{c}{4\mu L}(\Delta m + \Delta n) \qquad (124)$$

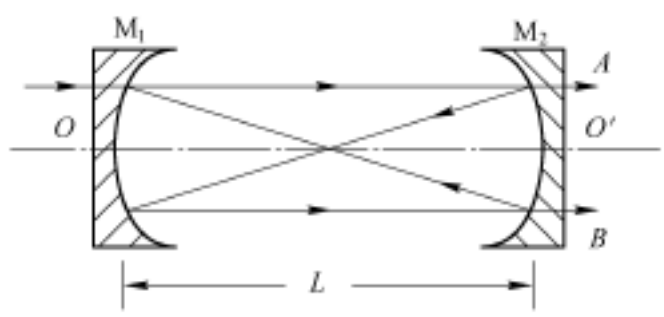

图122 共焦腔结构示意图

对不同纵模(即 q 值不同),虽对应不同的纵向(沿腔轴线方向)光强分布,但由于不同

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

纵模光强分布差异极小,从光斑图样无法分辨,只能根据不同纵模对应不同频率来分析激光束的纵模结构。

设对于某个纵模,其频率为:

$$\nu_q = \frac{c}{2\mu L}q \tag{1 2 5}$$

则不同纵模间的频率差为:

$$\Delta\nu_{q,\,q+\Delta q} = \frac{c}{2\mu L}\Delta q \tag{1 2 6}$$

从式(1 2 4)可知,当横模阶数(Δm 或 Δn)变化 2 时,两相邻横模间频率差将等于$\frac{c}{2\mu L}$,另外从式(1 2 6)可见这时两相邻纵模间频率差等于$\frac{c}{2\mu L}$,即这时共焦腔的横模和纵模发生了简并,其简并情况如图 1 2 3 所示。

由于各种因素可能引起谱线加宽,使激光介质的增益系数有一频率分布,如图 1 2 4(a)所示,该曲线称为增益曲线。He Ne 激光器是以多普勒增宽为主的激光器,只有频率落在工作物质增益曲线范围内并满足激光器阈值条件的那些模式才能形成激光,如图 1 2 4(b)所示。例如 300 mm 的 He Ne 激光管的输出光中可出现 3 个频率(ν_{q-1},ν_q,ν_{q+1}),即出现 3 个纵模。

显然 L 越大,$\Delta\nu_q$ 越小,因而同样的荧光线宽中可出现的纵模数越多。

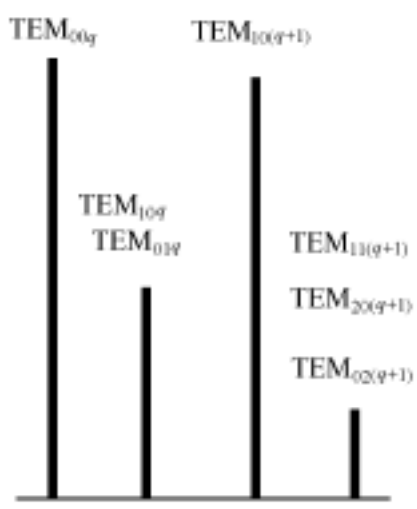

图 1 2 3　横模和纵模的简并

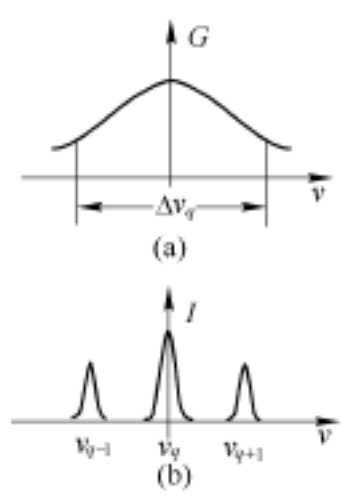

图 1 2 4　激光的纵模

2 . 共焦球面扫描干涉仪工作原理

本实验所用共焦球面扫描干涉仪是由两块镀有高反射膜且曲率半径相同的凹面反射镜组成,它们共轴放置,其间的距离等于它们的曲率半径 $L = R_1 = R_2$,构成一共焦系统。当波长为 λ 的光束入射到干涉仪内时,在干涉仪内走 X 型路径,如图 1 2 2 所示,光经过 4 次反射后与原入射光重合,其光程差 $\Delta = 4L$,光线每走一个来回经过一次点 A 或点 B,就有一部分光强透射出去,形成透射光束,如果透射的相邻两束光程差是波长的整数倍,即满足 $4L = K\lambda$(K 为整数),则透射光束相干叠加产生光强极大值。

当固定干涉仪的腔长和介质的折射率时,其透射光波长是分立的。如果改变干涉仪的腔长和介质的折射率,则可改变其透射光波长。本实验中使用的扫描干涉仪是通过连续改变腔长而实现对透射光波长扫描的。干涉仪的一个反射镜 M_1 固定不动,另一反射镜 M_2 与一压电陶瓷环相连,压电陶瓷环在 OO'方向上的长度变化量与所加电压成正比。设在某电压作用下,压电陶瓷环长度微小的变化使干涉仪腔长由 L 变为 L',透射光波长变为 λ',则当 $4L' =$

$K\lambda$时,透射光束将产生干涉极大值。如果用锯齿电压加在压电陶瓷环上,则干涉仪的腔长将产生连续的周期变化,透射光波长也将产生相应的连续变化。

实验装置图如图 1 2 5 所示,用光电二极管接收透过干涉仪的光信号,其输出的电信号经放大后送到示波器 y 轴输入端,同时将驱动压电陶瓷环的锯齿电压送到示波器的 x 轴输入端,则示波器的横向扫描与干涉仪的腔长扫描同步,示波器的横向坐标是干涉仪的频率变化,在示波器的荧光屏上就可以得到激光模式的频率谱。共焦球面干涉仪的透射谱如图 1 2 6 所示。

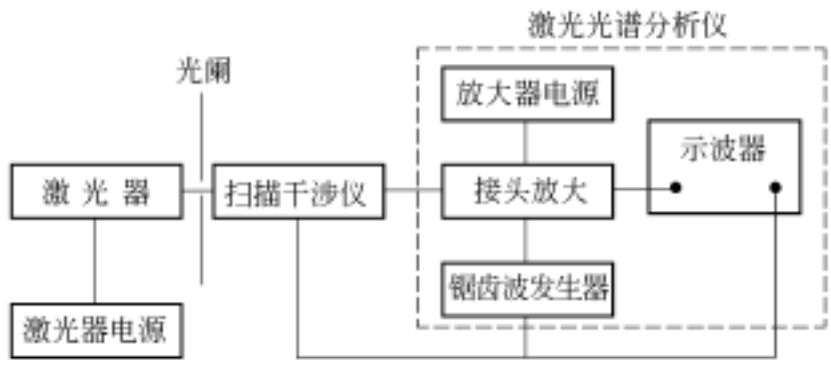

图 1 2 5　实验装置图

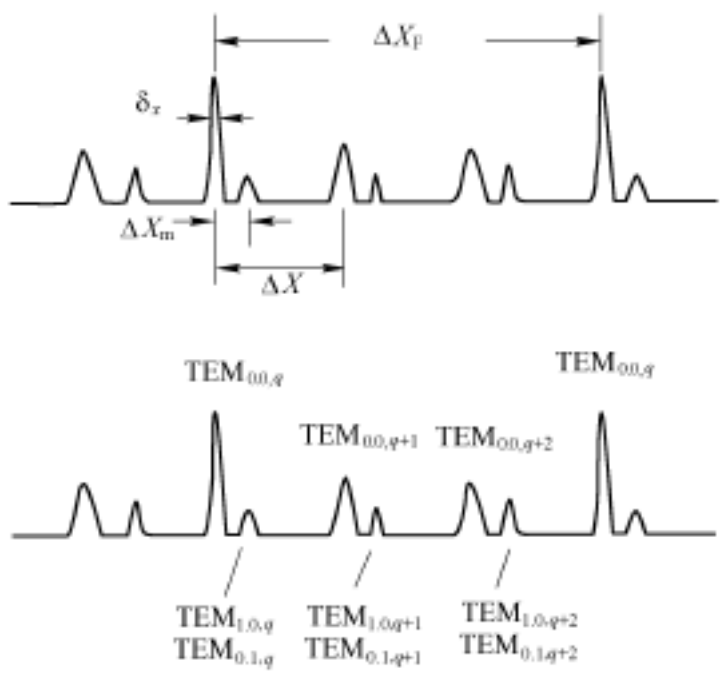

图 1 2 6　示波器上显示的激光频谱

像其他干涉仪一样,共焦球面扫描干涉仪有以下几个重要性能指标:

(1) 自由光谱区 $\Delta\nu_F$:表示扫描干涉仪腔长变化四分之一波长(相邻透射峰的波长差)时所对应的透射波长或频率的变化量,它决定了扫描干涉仪能够测量的不发生干涉级次重叠的最大波长差或频率差,即:

$$\Delta\nu_F = \frac{c}{4\mu L} \quad 或 \quad \Delta\lambda_F = \frac{\lambda^2}{4\mu L} \tag{1 2 7}$$

(2) 有效精细常数 N_e:表征自由光谱范围内能分辨的最大谱线数目。

$$N_e = \frac{\Delta\nu_F}{\delta\nu} \tag{1 2 8}$$

式中 $\delta\nu$是仪器带宽(横的频率半宽),代表干涉仪透射谱线的半宽度。

本实验可以测定干涉仪的仪器带宽 $\delta\nu$,进而计算出 N_e,具体的方法是取两个相距比较近而且频率间隔已知的模谱 $\Delta\nu$,测出间距 ΔX_1 和单个模谱的半宽度 δx,于是:

$$\delta\nu = \frac{\delta x}{\Delta X_1}\Delta\nu_1 \tag{1 2 9}$$

$$\Delta\nu = \frac{\Delta X}{\Delta X_F}\Delta\nu_F \tag{1 2 10}$$

鉴别纵横模,确定自由光谱区 $\Delta\nu_F$ 所对应的荧光屏上的距离 ΔX_F,选定两个较大而相邻的透射谱线测定它们之间的距离,并算出它们之间的频率间隔,与式(1 2 6)算出的纵模间隔比较,从而确定各个纵模,余下的位于一个自由光谱区的模必定为高阶横模。在确定它们的阶次时,首先测出横模频率间隔与纵模频率间隔之比,然后由公式(1 2 3)和(1 2 6)算出 $\Delta\nu_{mn,m'n'}$ 和 $\Delta\nu_{q,q+\Delta q}$ 之比与实验值比较,可估算出横模的阶次。

【实验步骤】

1. 接通 He Ne 激光器电源使激光器正常工作,进行激光器与干涉仪的初步准直工作。
2. 熟悉激光光谱分析仪各旋钮的作用。
3. 用一支已知腔长(纵模间隔已知)的 He Ne 激光器标定扫描干涉仪的自由光谱范围。
4. 测出 ΔX_F, ΔX_1, …和 δx,计算干涉仪的有效精细常数 N_e。
5. 利用扫描干涉仪分析两支激光管输出激光的模式,区别哪些谱线属于同一纵模,哪些谱线属于不同横模,分别测出纵模间距和横模间距,并与理论值比较。

【实验仪器】

光学实验导轨	1 个	放大器电源	1 个
半内腔式 He Ne 激光管	1 支	锯齿波发生器	1 台
激光电源	1 个	示波器	1 台
扫描干涉仪	1 台	小孔屏	1 个
光电接收器	1 台	激光管调整架	1 台
放大器	1 个		

参考文献

[1 2 1] 周炳琨,高以智,陈倜嵘,等. 激光原理. 北京:国防工业出版社,2000,174

实验 1 3 迈克尔逊干涉仪和马赫 曾德干涉仪

迈克尔逊干涉仪和马赫 曾德干涉仪既是两种最基本又是最典型的干涉仪。现代光学的许多实验都是以这两种干涉仪的光路为基础的。通过对迈克尔逊干涉仪和马赫 曾德干涉仪的各个元部件的拼搭、调节和使用,既可初步训练光路调整技巧,又可以测量一些相关参数,如实验台的防震性能、激光器的相干长度等;还可以为进一步的实验光路搭建奠定一定的基础。同时,细心品位这两种干涉仪光路的巧妙设计和在精确测量方面的多种应用,可以对光学实验方案设计有新的思索和探究。

【实验目的】

1. 熟悉两种干涉仪的工作原理,并通过自己搭建光路,掌握两种干涉仪光路的调整方法;

2. 观察双光束干涉现象并据此观察光学平台防震性能对干涉条纹的影响;

3. 改变干涉仪两光臂之一的长度,测量所用激光器的相干长度。

【实验原理】

1. 迈克尔逊干涉仪

迈克尔逊干涉仪是用分振幅法产生双光束干涉的仪器。它由两个彼此垂直的平面镜和一个半反半透分束镜组成,分束镜等分两反光镜 M_1 和 M_2 的夹角,其工作原理示意图如图 1 3 1 所示。激光光源 S 发出的光束,经分束镜 BS 分解为振幅相等的反射光 O_1 和透射光 O_2;光束 O_1 经平面反射镜 M_1 反射后折回再透过分束镜 BS 到扩束镜 L;光束 O_2 通过与 BS 厚度、角度和折射率均一致的补偿板 G 后入射到平面反射镜 M_2,然后经 M_2 反射折回通过 G 到分束镜 BS,BS 上的半反射膜将光部分地反射到扩束镜 L。由于 O_1 和 O_2 是相干光,因此在平面 P 处发生干涉形成干涉图样。由于补偿镜 G 的存在,系统的两光臂可以在近似相等时,通过调节补偿镜的角度达到光束 O_1 和 O_2 的光程差为零。

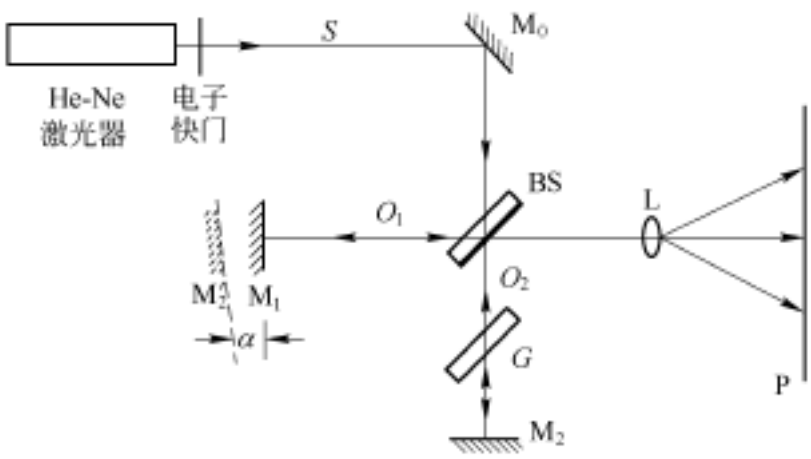

图 1 3 1　迈克尔逊干涉仪的光路设置

沿光轴移动反射镜 M_1 或 M_2,可以调节二光路的光程差,以获得最佳的条纹对比度,调节反射镜 M_1 或 M_2,使其作水平旋转,可改变干涉条纹的疏密。干涉条纹可看成是由 M_2 对分束镜 BS 所成的虚像 M_2' 和反射镜 M_1 形成的空气隙产生的。由于入射的是未经扩束的细激光束,且光学元件是由实验者在实验台上自行摆放的,很难保证反射镜 M_1 和 M_2 绝对垂直,即 M_1 和 M_2' 间有一定倾角,故得到的干涉条纹是等厚条纹。它是一组平行等距的直线条纹,条纹间距为$\frac{\lambda}{2\alpha}$,其中 α 为 M_1 与 M_2' 间的夹角,此角度很小。

2. 马赫 曾德干涉仪

马赫 曾德干涉仪的光路如图 1 3 2 所示,它是一种呈四边形光路分布的干涉仪。激光束经扩束镜 L_0 和准直镜 L_1 组成的聚焦系统产生平行光,此平行光束在半反半透分束镜 BS_1 上被分成两束,各自被平面反射镜 M_1 和 M_2 反射后,重新聚集在半透半反分束镜 BS_2 上,分别经透射、反射构成叠合的相干光束。一般在使用时,首先把其中一块分束镜稍微倾斜,使视场内出现为数不多的几个直条纹。然后在其中任一支光路中插入被测介质,从干涉条纹的变化

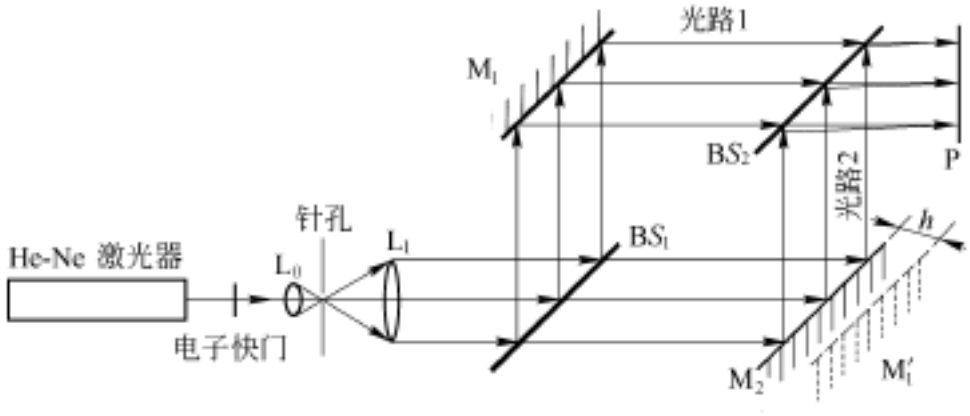

图 1 3 2　马赫 曾德干涉仪光路

来判断其光学性质。即光路 2 的平面波面 M_2 与光路 1 在光路 2 中的虚平面波面 M_1' 形成等厚干涉,在平面 P 处观察到明暗相间的干涉条纹图。若 M_2 上的点到 M_1' 的垂直距离为 h,则两光束的相位差为:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} nh \tag{1 3 1}$$

马赫 曾德干涉仪的特点是两光束分得很开,光束只经过被测介质一次,而迈克尔逊干涉仪中光束将来回两次通过被测介质,因此马赫 曾德干涉仪特别适用于研究被测介质相关状态的变化(如折射率、密度等)。

【实验步骤】

1. 迈克尔逊干涉仪光路的设置

(1) 按图 1 3 1 搭建迈克尔逊干涉仪光路,由于使用激光作为光源,因此光路中不必放置补偿镜 G。从分束镜位置开始,确定两光束的光程基本相等。

注意应使光束的光轴与台面平行,且两细激光束 O_1、O_2 叠合良好。这里的关键并不是分束镜 BS 的角度与入射光束和反射光束严格成 45°,角度严格确定不太容易,关键是两反射镜 M_1 和 M_2 需严格垂直于其入射光束,使反射光束沿原入射方向反射,这样就能保证细激光束 O_1、O_2 最终能够良好地叠合。

(2) 在光路中置入扩束镜 L,使其光轴与叠合后的细激光束重合。在屏 P 上观察等厚干涉条纹。稍微旋转 M_1 或 M_2,将两光束在水平方向稍微分开和合拢,观察垂直方向的平行条纹间距的变化。

(3) 固定光路中各光学元件,用手轻压光学平台台面,观察干涉条纹的变化;再用手轻敲光学平台台面,观察干涉条纹的跳动,并从恢复时间来估计防震台的稳定性。

(4) 在 M_1 或 M_2 的光路中插入一块普通玻璃,玻璃面与细光束垂直。慢慢转动玻璃,观察并解释条纹的移动;再将玻璃转动一定的角度,记录条纹的移动数目,估计玻璃的厚度。

(5) 固定 M_1,记录下 M_2 的初始位置,将 M_2 沿光束方向向后逐渐移动一段距离,观察干涉条纹对比度的变化,直到屏 P 面上的条纹消失。测量 M_2 的当前位置,并与 M_2 的初始位置比较,确定所用激光器的相干长度。

2. 马赫 曾德干涉仪光路

(1) 根据图 1 3 2 搭建马赫 曾德干涉仪光路。注意,先不加入准直透镜和扩束镜,而是用细激光束调节光路,使两细光束呈一小角度会聚到屏 P 上,分束镜和反射镜尽量在中心区域通过细激光束;再加入准直透镜 L_1,注意使细激光束透过准直透镜的光轴;最后加入扩束镜 L_0,调节前后位置获得平行光输出。为了滤去扩束镜上的尘埃等脏物所引起的衍射光,可以在扩束镜的焦点处安置一针孔滤波器。

(2) 类似迈克尔逊干涉仪的观察,微调节 M_2 的角度、在光路中插入平板玻璃、轻敲或轻压台面,在平面 P 上观察相应的干涉条纹的变化和疏密特性。注意与迈克尔逊干涉仪的结果相对照。

【讨 论】

1. 在迈克尔逊干涉仪光路中,插入一片玻璃,若玻璃表面有一定的起伏,则干涉条纹将有哪些变化,能否据此计算其平整度?

2. 能否用马赫 曾德干涉仪测量激光器的相干长度,为什么?

【实验仪器】

He Ne 激光器 (40 mW 左右)	1 台	50 准直镜	1 个
电子快门	1 个	干板架	1 个
扩束镜	1 个	观察白屏	1 个
分束镜	2 个	米尺(公用)	1 把
反射镜	3 个		

参考文献

[1 3 1] 贺安之,阎大鹏. 激光瞬态干涉度量学(第 1 章). 北京:机械工业出版社,1993 .17～24
[1 3 2] 王绿苹 .光全息和信息处理实验(第 1 章). 重庆:重庆大学出版社,1991. 1～5

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com