

高等学校教材

激光实验选编

高以智 主编

电子工业出版社

高等学校教学用书

激光实验选编

高以智 主编

电子工业出版社

内 容 简 介

本书选取与“激光原理”、“激光器件”、“激光技术”、“光电子技术基础”及“近代光学”等课程有关的基本实验及有代表性的综合实验。

本书可以作为高等工业院校光电子技术专业的实验课教材，也可供从事激光工作的研究人员和工程技术人员以及高等院校非激光专业的师生参考。

激 光 实 验 选 编

高 以 智 主 编

责任编辑：高平

电子工业出版社出版(北京海淀区万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

妙峰山印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：10.125 字数：235千字

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数：1—2200册 定价：1.95元

ISBN7-5053-0086-5/TN46

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986—1990年编审出版规划,由“电子物理与器件”教材编审委员会《激光与红外》编审小组征稿、推荐出版,责任编委周炳琨。

本教材由清华大学高以智担任主编,赵华凤担任副主编,华中工学院刘耀兰、兰信钊担任主审。编审者均依据《激光与红外》编审小组审定的编写要求进行编写和审阅。

本书选取与“激光原理”、“激光器件”、“激光技术”、“光电子技术基础”及“近代光学”等课程有关的基本实验和某些有代表性的综合实验。本书给出每个实验的实验任务、实验原理、实验装置以及某些实验方法提示。详细的实验步骤留待实验者自己拟定。每个实验还附有少量思考题。各校可根据各自不同的要求及实验条件灵活选取不同的实验及内容。

本教材由清华大学、南京工学院、西安电讯工程学院、天津大学、上海交通大学、华中工学院、哈尔滨工业大学和苏州大学编写。在编写过程中清华大学廖延彪等同志对本书提出许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。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

目 录

实验一	He-Ne激光器纵横模的测量	1
实验二	He-Ne激光器光束强度分布和发散角测量	11
实验三	He-Ne激光器增益、损耗及饱和参量的测量	18
实验四	He-Ne激光器线宽的测量	25
实验五	He-Ne激光器波长的精确测定	32
实验六	He-Ne激光器输出功率与放电参量的关系	41
实验七	氮分子激光器及其参数测量	47
实验八	TEACO ₂ 激光器	55
实验九	连续波CO ₂ 激光器光栅选支	62
实验十	可调谐染料激光器	74
实验十一	半导体激光器及外腔选模实验研究	82
实验十二	固体激光器的静态特性及染料调Q技术	93
实验十三	声光调Q技术	103
实验十四	电光调Q技术	112
实验十五	红宝石激光器选模及模式测量	124
实验十六	KD*P晶体纵向电光调制	131
实验十七	声光偏转与声光调制	144
实验十八	应用磁致旋光效应测量大电流实验研究	156
实验十九	激光倍频技术	169
实验二十	受激喇曼散射效应	177
实验二十一	脉冲激光器放大技术	187
实验二十二	激光稳频技术	196
实验二十三	被动锁模技术	205
实验二十四	声光主动锁模技术	216
实验二十五	全息照相	226
实验二十六	时间平均全息干涉术——扬声器振动的检测	239

实验二十七	光学图象的滤波, 运算及假彩色编码	251
实验二十八	用激光散斑测量漫射体的位移	264
实验二十九	光纤传输损耗测量	273
实验三十	单模光纤双折射及磁光效应的测量	281
实验三十一	光纤马赫-陈德耳干涉仪实验 研究	289
实验三十二	红宝石晶体吸收光谱的测量	296
实验三十三	用锁定放大器测定放电荧光光谱	302
实验三十四	用差动法测量632.8nm激光镜片透射率和反 射率	308

附录

实验一 He-Ne 激光器纵横模的测量

一、实验目的

- (1) 熟悉He-Ne激光器的模式结构。
- (2) 了解共焦球面扫描干涉仪的原理。
- (3) 掌握用共焦球面扫描干涉仪测量He-Ne激光器纵横模的方法。

二、实验原理

1. He-Ne激光器的模式结构

He-Ne激光器是最常用的连续工作气体激光器，以结构形式不同可分为内腔式、半内腔式和外腔式激光器，如图1-1所示。

二反射镜组成光学谐振腔，放电管内充以氦、氖气体，二电极通过毛细管放电激励激光工作物质，在氖原子的一对能级间造成集

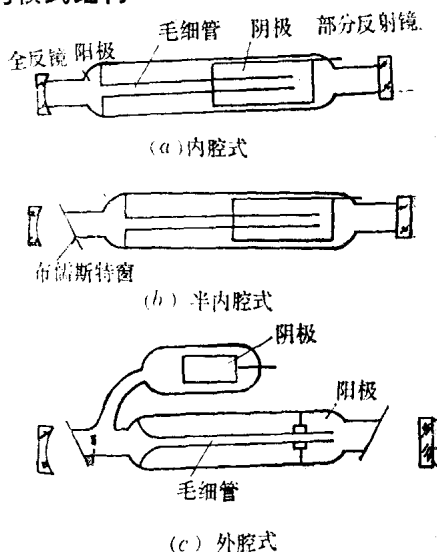


图 1-1 He-Ne激光器的结构示意图

居数反转，产生受激辐射。由于谐振腔的作用，使受激辐射光在腔内来回反射，多次通过激活介质而不断加强。如果单程增益大于单程损耗，即满足激光振荡的阈值条件时，则有稳定的激光输出。

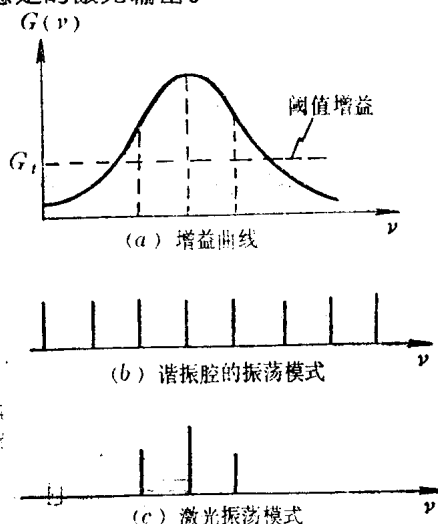


图 1-2 He-Ne激光器的振荡模式示意图

由于各种因素引起的谱线加宽，使激光介质的增益系数有一频率分布，如图1-2(a)所示，该曲线称为增益曲线。对于He-Ne激光器，氖原子的自发辐射中心波长为 $0.6328\mu\text{m}$ ，增益线宽约为1500MHz。由无源谐振腔理论可知，

激光器的谐振腔具有无数个固有的分立谐振频率，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，才能形成激光振荡，如图1-2所示。如果不采取选模措施，则一般情况下He-Ne激光器以多模方式工作。

不同的振荡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（即腔轴 z 方向）的光场分布 $E(z)$ 和横向（即垂直于腔轴方向的 xy 平面）的光场分布 $E(x, y)$ 。通常用符号 TEM_{mnq} 标志不同模式，其中 q 为纵模阶次，一般为很大的正整数， m, n 为横模阶次，一般为 $0, 1, 2, \dots$ 。 TEM_{00q} 代表基横模，它对应

的光场分布的特点是：在光腔轴线上光振幅最大，从中心到边缘振幅逐渐降落。若 $m \neq 0$ 或 $n \neq 0$ 时， TEM_{mn} 代表高价模。

激光器的每一振荡模式都有确定的谐振频率。方形孔稳定球面镜谐振腔 TEM_{mn} 模的谐振频率为

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

其中 L 及 L' 分别为谐振腔的长度及谐振腔中的光程； R_1, R_2 为谐振腔两反射镜的曲率半径； c 为真空中的光速。由(1-1)式可知，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

$$\Delta \nu_q = \nu_{mnq+1} - \nu_{mnq} = \frac{c}{2L'} \quad (1-2)$$

对于纵模阶次相同的模式，横模阶次越高，谐振频率越高，不同横模间的频率间隔为

$$\begin{aligned} \Delta \nu_{mnq, m'n'q} &= |\nu_{m'n'q} - \nu_{mnq}| \\ &= \frac{c}{2L'} \frac{1}{\pi} |\Delta m + \Delta n| \arccos \sqrt{\left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \left(1 - \frac{L}{R_2}\right)} \end{aligned} \quad (1-3)$$

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

根据激光器不同的模式具有不同谐振频率的特点，可以通过分析激光器的频谱结构来判断激光器的振荡模式。本实验应用共焦球面扫描干涉仪测量He-Ne激光器的频谱。应该指出，由激光器的频谱图一般只能测出激光器各谱线的频率差，并不能直接测出 m, n, q 的值。要判断激光器的模式结

构，还应根据光斑形状及谐振腔具体参数等多种因素进行综合分析。

2. 共焦球面扫描干涉仪的基本原理

共焦球面扫描干涉仪的结构如图1-3所示。它是由两块镀有高反射膜、曲率半径相同的凹面反射镜组成。两凹面镜同轴放置，其腔长 h 与两反射镜曲率半径相等，构成一共焦系统。当一束波长为 λ 的光沿干涉仪的光轴 oo' 方向入射时，光在干涉仪腔内反射光路如图1-3所示。在忽略反射镜球差的情况下，光经四次反射后与原入射光重合，它们之间的光程差为

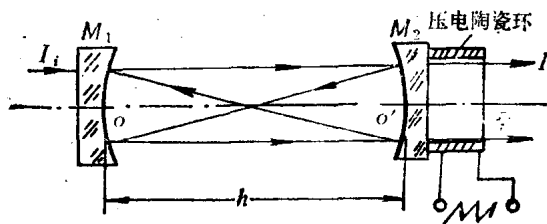


图 1-3 共焦球面扫描干涉仪

$$\Delta = 4nh \quad (1-4)$$

n 为二反射镜间介质的折射率。根据多光束干涉的原理，当入射光波长 λ 满足

$$4nh = p\lambda \quad (p \text{ 为正整数}) \quad (1-5)$$

时，透射光相干迭加产生干涉极大。共焦球面干涉仪的透射谱如图1-4所示。

当固定干涉仪的腔长和介质的折射率时，其透光波长是分立的。如果改变干涉仪的腔长或介质的折射率，则可改变其透光波长。本实验中使用的扫描干涉仪是通过连续改变腔

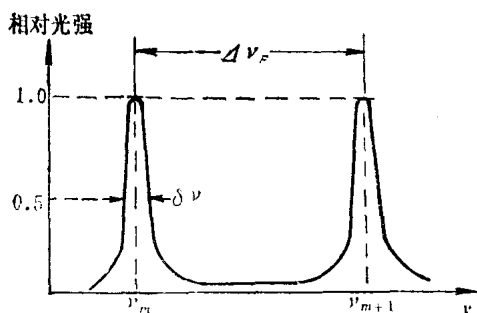


图 1-4 共焦球面干涉仪的透射谱

长而实现对透光波长扫描的。如图1-3所示，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。设某电压作用下，压电陶瓷环长度的微小变化使干涉仪腔长由 h 变为 h' ，如果光波长 λ' 满足

$$4nh' = p\lambda'$$

则干涉仪的透光波长将由 λ 变为 λ' 。如果用锯齿波电压信号加在压电陶瓷环上，则干涉仪的腔长将在原腔长 h 的基础上做连续的周期性变化，透射光波长也将产生相应的连续变化。

用光电二极管接收透过干涉仪的光信号，其输出的电信号放大后送到示波器的 y 轴输入端，同时，将驱动压电陶瓷环的锯齿波电压信号送到示波器的 x 轴输入端。示波器荧光屏上显示的波形就代表了输入光的频谱，横坐标代表干涉仪透过光频率的变化，纵坐标代表相应透过光的光强相对值。图1-5为用扫描干涉仪测量、用示波器显示的某He-Ne激光器的模式结构示意图。

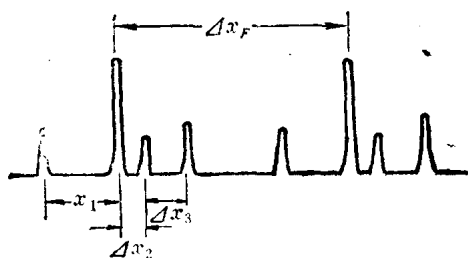


图 1-5 模式结构示意图

象其他干涉仪一样，共焦球面扫描干涉仪有以下几个重要的性能指标：

(1) 自由光谱区 $\Delta\nu_F$ 干涉仪的自由光谱区是指干涉仪相邻透过峰的波长差或频率差，如图1-4中的 $\Delta\nu_F$ 所示。共焦球面扫描干涉仪的自由光谱区为

$$\Delta\nu_F = \frac{c}{4nh} \quad \text{或} \quad \Delta\lambda_F = \frac{\lambda^2}{4nh} \quad (1-6)$$

共焦球面扫描干涉仪的自由光谱区的大小相应于腔长变化 $\frac{\lambda}{4}$ 时透过波长或频率的变化范围。 $\Delta\nu_F$ 就是扫描干涉仪能够测量的不发生干涉级次重迭的波长或频率变化范围。

(2) 仪器带宽 $\delta\nu$ 仪器带宽是指干涉仪透射谱线的半宽度，如图1-4中的 $\delta\nu$ 所示。它是干涉仪能分辨的最小频率差。理论上，共焦球面扫描干涉仪的带宽为

$$\delta\nu = \frac{c}{4\pi nh} \frac{1-\rho}{\sqrt{\rho}} \quad (1-7)$$

式中， ρ 为反射镜的反射率。实际上， $\delta\nu$ 还与反射镜的加工

质量及仪器的装调精度有关。仪器带宽愈小，表明干涉仪的分辨本领越高。

(3) 精细度 N 精细度是用来表征一个干涉仪的自由光谱区范围内可能分辨的光谱单元数目。它是指相邻透过峰间隔与透射谱线自身宽度的比，即自由光谱区与仪器带宽之比，可表示为

$$N = \frac{\Delta\nu_s}{\delta\nu} \quad (1-8)$$

三、实验装置

用共焦球面扫描干涉仪测量 He-Ne 激光器纵横模的实验装置如图 1-6 所示。待测 He-Ne 激光器与扫描干涉仪准直，经透镜会聚入射到扫描干涉仪中，光电二极管将干涉仪输出的光信号转变成电信号送入示波器。会聚透镜、扫描干涉仪和光电二极管组装在一起，构成模式测量装置的光学系统。电压放大器，锯齿波信号发生器和示波器组装在一起，构成

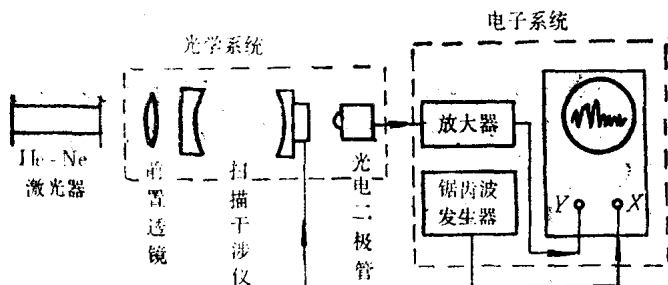


图 1-6 实验装置示意图

模式测量的电子系统。扫描干涉仪的中心透射波长为 $0.6328 \mu\text{m}$ ，自由光谱区大于激光工作物质的荧光线宽，仪器带宽小

于待分辨的最小频率差。某扫描干涉仪的性能指标如表1-1。

表 1-1 某干涉仪的性能指标

中心波长	反射镜间距	自由光谱区	仪器带宽	精细度
λ	h	$\Delta\nu_F$	$\delta\nu$	N
632.8nm	42.1819mm	1778MHz	30MHz	60~70

锯齿波电压信号的幅度一般为100V~180V，使示波器上可以显示出2~3个光频谱级次。

四、实验内容

(1)测量一支内腔He-Ne激光器的频谱结构，分析激光器振荡模式的特点。

判断激光器振荡模式的个数，测量相邻振荡模式之间的频率差。确定纵模个数，求出相邻纵模频率间隔，并与理论值相比较。确定有无不同阶次的横模存在，如果存在，求出横模阶次差 $\Delta m + \Delta n$ 。

(2.)观测一支半内腔或外腔He-Ne激光器的频谱结构，改变谐振腔参数，如腔长，反射镜的曲率半径等，观察激光振荡模式的变化。

(3)实验测定扫描干涉仪的精细度 N 。

五、实验方法提示

1.测量光路调整

测量光路要求做到：He-Ne激光束与干涉仪的光轴

平行并与干涉仪对中。调整时先给干涉仪加上锯齿波电压。取下光电探头,用眼睛直接观察干涉仪输出光斑,如能看到两个较亮的闪耀光点,表明激光束与干涉仪已大致对中、平行。微调干涉仪的支架,使两光斑相互靠近,重合。在干涉仪输出端置一白屏,屏上应出现一小红光斑。然后用光电探测器接收,对照示波器上的波形细调光路,直至显示的信号幅度最大。

2. 测量与计算

首先改变锯齿波电压的幅度,观察示波器上显示的频谱变化情况,弄清干涉仪自由光谱区对应的范围。选择合适的锯齿波电压和示波器 x 轴放大率,使示波器上显示出激光器的完整频谱。利用已知的干涉仪的自由光谱区标定频谱图横坐标每厘米代表的频率差。测出自由光谱区在频谱图横坐标上对应的距离 Δx_F ,再测出相邻振荡模式对应的距离 Δx ,则相邻振荡模式之间的频率差 $\Delta \nu$ 为

$$\Delta \nu = \frac{\Delta \nu_F}{\Delta x_F} \cdot \Delta x \quad (1-9)$$

在实验测量中还需要判断频谱图上光频率 ν 增加的方向,它与 x 轴扫描方向不一定相同。可以通过观察内腔管刚开机时频率漂移现象,或者采用其他方法使内腔管温度发生变化(如扇风)时的频率漂移现象来判断 ν 的正方向。

3. 半内腔管或外腔管的调光方法

调光要求:为了减小谐振腔的几何偏折损耗,必须使谐振腔的平面反射镜与放电管的毛细管轴线垂直,球面反射镜的球心位于毛细管轴线上。简单调光方法是使用光靶调光。光靶是一个画有十字线的小光屏,在十字中心开有孔径为 $0.8-1\text{ mm}$ 的小孔,用亮度较高的小灯泡照明十字线。点燃

放电管，将光靶有十字线的一面对着待调的反射镜。移动光靶上下左右的位置和眼睛视线的方向，通过小孔看到大小两个圆亮斑同心时，表明小孔位于毛细管轴线延长线上。调节反射镜，使经反射镜反射所成的十字线的虚象与两同心圆圆心重合。精细调整，便可有激光输出。对于外腔激光器，两个反射镜都要反复调整。

为了减小半内腔和外腔激光器的腔内损耗，应经常保持布儒斯特窗片的清洁。

思 考 题

(1) 对内腔激光器轻轻扇风，便可观察到频率漂移现象。试说明其原因，并估算漂移的数量级。(玻璃热膨胀系数为 $70 \times 10^{-7} ^\circ\text{C}^{-1}$)。

(2) 为什么扫描干涉仪的自由光谱区应大于待测激光器的荧光 linewidth? 增大扫描干涉仪的锯齿波驱动电压是否可以增大自由光谱区? 增大锯齿波电压时，示波器上显示的模谱图如何变化?

参 考 文 献

1. 周炳琨等，《激光原理》，国防工业出版社，1984年
2. 廖延彪，《物理光学》，电子工业出版社，1986年

(清华大学 赵华凤)