

1983年

激光实验技术讲习班 实验讲义

北京光学学会

清华大学、北京大学、北京工业学院
邮电学院、北京工业大学

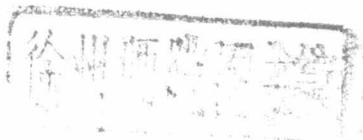
TN24-33
<1>

773100

前言

本书录用了北京光学学会主办的“1983年暑期激光实验技术讲习班”实验讲义26篇，其中清华大学9篇，北京大学6篇，北京工业学院3篇，北京邮电学院2篇，北京工业大学6篇。在北京光学学会的委托下，由清华大学主审、编辑和印刷。

由于编者水平有限，编写和印刷时间仓促，错误和缺点一定不少，希望读者多多批评指正。



目 录

1. He-Ne激光器纵横模的测量(清华)	1
2. He-Ne激光器增益和损耗的测量(清华)	10
3. 高斯光束及发散角的测量(北大)	16
4. 用测荧光相对强度的方法研究 He-Ne 放电管 的增益特性(北大)	24
5. He-Ne 选频激光器(北大)	34
6. 半导体激光器电学、光学参数测量(邮电)	46
7. 半导体光电器件的光谱特性(邮电)	64
8. 半导体探测器响应测试(清华)	73
9. 电光调Q YAG 重频激光器的特性(京工)	81
10. 染料调Q YAG 激光器的特性(京工)	96
11. 染料激光器及其特性测量(北大)	110
12. 二氧化碳激光器小讯号增益系数的测量(北大)	124
13. 晶体的电光效应及其应用——用位相补偿法 测量双折射样品的微小位相差(北大)	138
14. KD*P 晶体纵向音频信号电光调制(清华)	155
15. 双45° LN 电光调Q实验分析(京工)	170
16. 转镜Q开关钕玻璃激光器(清华)	185
17. 声光偏转和声光调制(清华)	195
18. 声光相关器相关增益的测定(工大)	210
19. 平面光波导薄膜参数测量(工大)	219
20. 光导纤维截面折射率径向分布的测量(工大)	229
21. 用光学空间滤波法进行图象相减(清华)	239

22. 激光散斑测量漫射体位移 (清华)	247
23. 全息照象 (清华)	253
24. 象面全息图 (工大)	261
25. 全息图象存储 (工大)	265
26. 图象识别 (工大)	270

实 验 一

He-Ne激光器纵横模的测量

一. 实验目的:

1. 用共焦球面扫描干涉仪测量He-Ne激光器的纵横模个数, 相邻纵横模频率间隔, 判断高次横模阶次。
2. 观察激光器频率漂移及跳模现象。
3. 观察激光器工作电流以及谐振腔参数改变时, 激光频率的变化情况。
4. 通过以上实验了解激光的频率结构, 并掌握测量激光纵横模及测量扫描干涉仪性能指标的实验技能。

二. 实验原理.

1. 激光的频率特性

激光器的谐振腔内有无数个固有的分立的谐振频率, 因而具有无数个模式。但只有其中频率落在工作物质的荧光谱线范围内并满足阈值条件的那些频率才能形成激光。

稳定球面镜腔激光器, 输出的是高斯光束。由无限谐振腔理论知道, 球面镜谐振腔TEM_{mng}模的频率为:

$$\nu_{mng} = \frac{c}{4nL} \left\{ 2g + \frac{2}{\pi}(m+n+1) \arccos \left[\left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \left(1 - \frac{L}{R_2}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (1)$$

式中 m, n 为横模阶次, g 为纵模阶次, L 为腔长,

R_1, R_2 为两反射镜的曲率半径, n 为工作物质折射率。

当 $m=n=0$ 时为基横模,

m 或 $n \neq 0$ 时称为高阶横模。

不同的横模 (m, n 不同) 对应不同的横向 (垂直于谐振腔轴线方向) 光强分布, 即有不同的光斑图案。人

们用目视方法或测量强度分布来分析横模结构，正是利用了不同横模之间强度分布的差异，不同横模（ m, n 的取值不同）对应着不同的振荡频率。其频率间隔为：

$$\Delta\nu_{mn, m'n'} = \frac{c}{2nL} \left\{ \frac{1}{\pi} (\Delta m + \Delta n) \arccos \left[\left(1 - \frac{1}{R_1}\right) \left(1 - \frac{1}{R_2}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (2)$$

$$\text{式中 } \Delta m = |m' - m|, \quad \Delta n = |n' - n|$$

利用这种频率差，就可以精细地分析激光束的横模结构。

不同的纵模（即 q 值不同）对应不同的纵向（沿腔轴线方向）光强分布，这种差异是肉眼所不能分辨的，所以只能根据纵模对应的不同频率来分析其纵模结构。

$$\text{纵模频率为： } \nu_q = \frac{c}{2nL} q$$

相邻纵模间的频率间隔为：

$$\Delta\nu_q = \frac{c}{2nL} \quad (3)$$

若腔长 L 比反射镜曲率半径小（ $L < R_1, R_2$ ），相邻横模之间的频率间隔要比纵模频率间隔小。

当 $L = R_1 = R_2$ 时（即共焦腔时）

$$\Delta\nu_{\text{横}} = \frac{c}{4nL} (\Delta m + \Delta n)$$

相邻横模间隔是纵模间隔的一半，横模序数改变 2 时，等于纵模频率间隔，所以共焦腔的横模频率与纵模频率是简并的。

横模阶数越高，光腔衍射损耗越大，要发生激光振荡就越困难。

本实验将对 He-Ne 激光器作纵横模的观察，以及测

量它们的频率间隔。

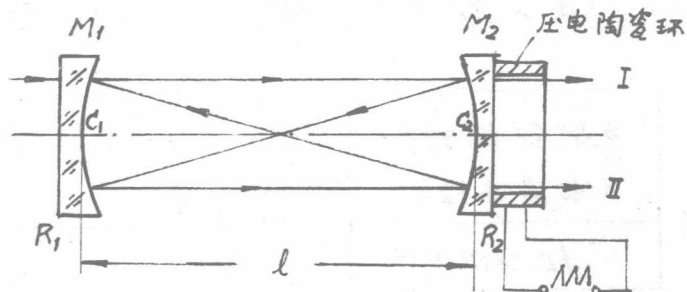
测量工具是共焦球面扫描干涉仪。

2. 共焦球面扫描干涉仪的基本原理：

共焦球面扫描干涉仪是由两块镀有高反射膜，曲率半径相同的凹面反射镜组成的，其曲率半径 R_1 、 R_2 和腔长 l 满足 $R_1 = R_2 = l$ ，因而它们的近轴焦点相重合，构成一共焦系统。

如图一所示，两反射镜，一面固定不动，另一面固定在压电陶瓷环上，压电陶瓷环的长度变化量与电压成正比，当压电陶瓷环用一定幅度的锯齿波电压调制时，腔长将在 l 附近做微小变动。（约为波长数量级）

当某一波长 λ 的光束在傍轴入射到干涉仪时，光线在腔内反射，在忽略反射镜球差的情况下，这些光线走一闭合



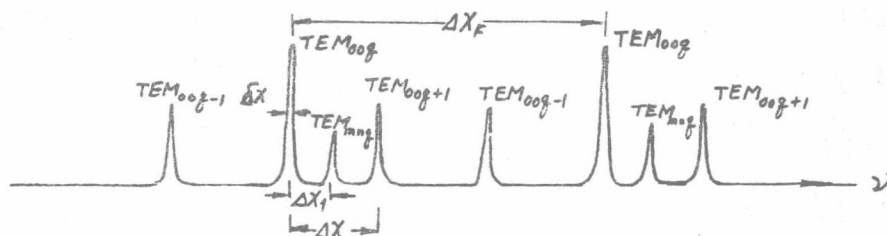
图一. 共焦球面扫描干涉仪光路图

回路，即光线在干涉仪内经四次反射以后是重合的，其光程差为：

$$\Delta = 4nl$$

其中 n 为两反射镜间介质的折射率，当满足 $4nl = m\lambda$ 时（ m 为正整数），干涉仪对入射光有最大透过率，因此改变腔长 l 或折射率 n 便可以实现光谱扫描。我们用压电陶瓷驱动一个镜片，使镜片在轴线方向做微小周期性振动，从而使各个激光模式依次透过干涉仪，透

过光用光电接收器接收。将光电接收器输出之电信号经放大后接到示波器的Y输入端；用以改变腔长的锯齿波电压，同时接到示波器的X输入端，则示波器的横向坐标就是干涉仪的频率变化，荧光屏上就可以看到透过干涉仪的激光模式的频谱，如图二所示。



图二. 示波器上显示的激光频谱图

本实验所用扫描干涉仪的主要性能指标如下：

反射镜间距 l (曲率半径)	自由光谱区 $\Delta\nu_F = \frac{c}{4l}$	仪器带宽 $\delta\nu$	有效精细常数 $N_e = \frac{\Delta\nu_F}{\delta\nu}$
42.1819 mm	1778 MHz	~ 30 MHz	60~70

(1) 自由谱区 $\Delta\nu_F$

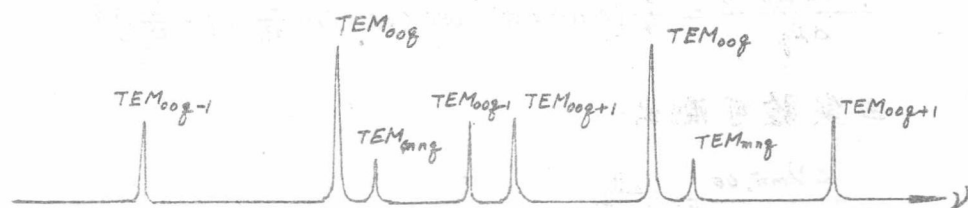
由 $4l = m\lambda$ 知，共焦腔长变化 $\frac{\lambda}{4}$ ，波长 λ 的模可再次透过干涉仪，通常称腔长改变 $\frac{\lambda}{4}$ 对应的频率变化量 $\Delta\nu_F = \frac{c}{4l}$ 为干涉仪的自由光谱区。以波长表示： $\Delta\lambda_F = \frac{\lambda^2}{4l}$ 。

如果 $\Delta\nu_F$ 小于激光的工作物质的荧光线宽，则会出现不同级的光谱重叠的情况，如图三所示。这是应该避免的。

(2) 仪器带宽 $\delta\nu$

仪带宽 $\delta\nu$ 是干涉仪透射峰的频率宽度，即干涉仪

能分辨的最小频率差，等于谱线的频率半宽度。一般反



图三、 $\Delta\nu_F$ 小于荧光线宽时，示波口上显示的频谱图

射镜的反射率越高，调整精度越高，腔内损耗越小，则带宽越小。为了分辨相隔甚近的谱线，要求干涉仪有足够小的透过率带宽。

(3) 有效精细常数 N_e

表征一个自由光谱区范围内能够分辨的谱线数目。

定义为：
$$N_e = \frac{\Delta\nu_F}{\delta\nu}$$

实际上精细常数要受到反射镜加工质量，仪器的工作孔径，以及调整精度等多方面因素的影响，扫描干涉仪的实际精细常数是靠实验测定的。

激光器发射的单模谱线宽度是足够窄的，可以做为测定扫描干涉仪频宽的理想谱线。取两个相邻的已知频率间隔的模谱，用示波口的横向放大尽可能的把它们放大，通过已知的模间距来测定模谱的频率半宽度 $\delta\nu$ ，代入 $N_e = \frac{\Delta\nu_F}{\delta\nu}$ 即可求得 N_e 。

如何利用扫描干涉仪来测量激光器的模式呢？从图二可以看到： $\Delta\nu_F$ 正比于自由光谱区 $\Delta\nu_F$ ， ΔX 正比于相邻纵模频率间隔 $\Delta\nu_g$ ，当存在高次横模时，可在基模 TEM_{00g} 旁边看到高次横模 TEM_{mng} ，图中 ΔX_1 正比于 $\Delta\nu_{mn,00}$ 由(2)，(3)式可知：

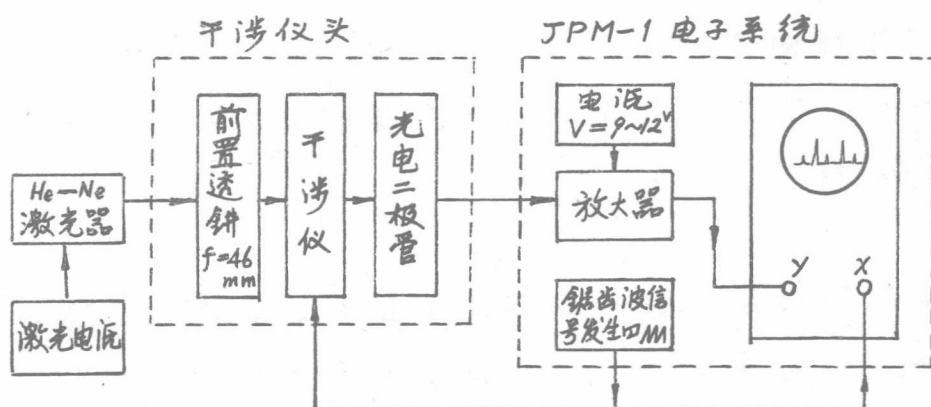
$$\frac{\Delta \nu_{mn,00}}{\Delta \nu_g} = \frac{1}{\pi} (\Delta m + \Delta n) \arccos \left[\left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \left(1 - \frac{L}{R_2}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

由实验可测出:

$$\frac{\Delta \nu_{mn,00}}{\Delta \nu_g} = \frac{\Delta \chi_1}{\Delta \chi}$$

将测量值 $\frac{\Delta \chi_1}{\Delta \chi}$ ，与经(4)式计称的理论值比较，可以估计出横模阶次，所以利用扫描干涉仪可以判断高次横模。

三、实验装置及其调整，使用。



图四、实验设备示意图。

1. 扫描干涉仪腔前装有一个焦距 $f=46\text{mm}$ 的前置透镜，以使入射光束会聚到共焦腔中。

干涉仪的其它部分前面已经叙述过，这里不再重复。

2. JPM-1 电子系统的使用方法

JPM-1 型扫描干涉仪电子系统。在同一机壳内装有锯齿波电源，光电信号检测放大和示波器显示系统，结构紧凑，操作方便。接通电源后，指示灯应亮，将扳键扳至“常态”位置，扫描周期至 0.1S—0.5S 位置。移动垂直位移“ $\downarrow\uparrow$ ”旋钮，使扫描迹线在荧光屏幕中间稍靠下

位置，调节程度“”，聚焦“”旋钮，使迹线清晰，亮度适当。

将标有“M”的两个扫描电压输出插口和扫描干涉仪的压电陶瓷驱动插座用电缆接通，同时再将扫描干涉仪的光电输出信号接入JPM-1信号输入插座，将扫描输出电压幅度旋钮放在 $100\text{V}\sim 120\text{V}$ 之间，将放大器的灵敏度旋钮放在 20mV/cm 左右位置上。在激光束与扫描干涉仪已准直好的情况下，屏幕上即可显示出激光模谱的波形。扫描周期为 $20\text{ms}\sim 100\text{ms}$ 为宜，锯齿波电压幅度决定扫描光谱范围，直流偏压决定扫描光谱的中心波长，调节锯齿波电压可以扫描1~2个级次的光谱，通过直流偏压的调节可使所需的波长显示在屏幕中心，以利观察。如果需要，可进一步选择适当的扫描电压、周期，放大器的灵敏度以获得满意的图形。

单次扫描的应用：

本仪已备有单次扫描装置，按上述步骤调好后，如需要单次扫描，可将扳键开关扳至“单次”位置，屏幕上无波形，也无扫描线，此时只要按一下单次按钮，则JPM-1电子系统产生一个周期的驱动电压，供给扫描干涉仪，同时屏幕上扫描一次波形，使用十分方便。

通用示波器的应用：

当把扳键扳至“触发”位置时，可以做为一般通用低频示波器使用，虽然扫描周期长，但垂直放大器带宽较高，所以观察重复频率较低的脉冲信号更为方便。此时，将信号接入插座Y，灵敏度根据信号幅度选择适当位置，而扫描周期根据信号频率选择，一般扫描周期大

于信号周期 3-10 倍。调节触发电平在屏幕上就会显示被测信号波形。

3. 激光器与扫描干涉仪的准直调整:

先将入射光束与干涉仪摆成一条直线, 使入射光指向扫描干涉仪前置透射镜的中心。取下光电接收头, 用目视观察干涉仪内的光斑情况。因为干涉仪在未加扫描电压时的初始腔长未必正好与激光器谐振, 所以有时看不到光斑。这时可加上锯齿波电压, 幅度约 100V , 周期 50ms 左右, 于是可看到光斑, 若看到两个光斑, 则说明入射光束与干涉仪光轴尚未准直。旋动干涉仪支座上的两个千分尺头, 使两个光斑重合, 则入射光束与干涉仪接近准直, 此时若在干涉仪输出端置一白纸, 可看到一红色光点, 若加长锯齿波周期, 会看到一闪一闪的红色光斑, 若闪烁频率与锯齿波的频率一致, 这时就完成了准直调整。装好光电接收头后, 即可进行扫描显示观察和频率间隔测量。

四、实验内容及要求:

1. 首先打开激光器调出激光。使激光器预热, 并与干涉仪准直。

2. 搞清楚扫描干涉仪的自由光谱区, 以及示波器上横轴每厘米所对应的频率数。

3. 观察几个待测管的模谱, 并记下其波形及其光斑图形。

(1) 测出 ΔX_F , ΔX , ΔX_1 。

(2) 由于干涉仪的自由光谱区计标激光器相邻纵模间隔, 并与理论值进行比较。

(3) 测出纵模个数，由所测之纵模个数及相邻纵模频率间隔估计出激光器工作物质的荧光线宽，并与已知的 He-Ne 激光器的多普勒线宽进行比较。

(4) 判断高次横模是否存在，并估计其阶次，与光斑形状进行比较。

(5) 分别改变激光器放电电流；加入小孔光栏；改变谐振腔参数（更换膜片，改变 R ）观察以上各因素对激光模式的影响。

4. 测量扫描干涉仪的有效精细常数。

5. 总结所做实验内容

是否观察到频率漂移和跳模现象，解释其原因，分析解释影响激光模式的各种因素。

清华大学

实验二、He-Ne激光器增益和损耗的测量

一、实验目的

增益系数是激光器的一个很重要参数，它是分析激光器振荡条件、模竞争效应、输出功率及激光放大器净增益等的基础。

本实验的目的为：

第一，在谐振腔内加入可旋转的光学平板，利用附加损耗测量外腔He-Ne激光器的小信号增益系数。

第二，确定光学平板的固有损伤。学会检测激光器布儒斯特窗片及其它光学平行平板质量的方法。

第三，通过实验加深理解增益饱和、振荡阈值、腔内稳定振荡的延立等概念。

二、实验原理

6328 Å He-Ne激光器属于非均匀展宽大于均匀展宽的综合线型激光器，但在激光管较长，基横模多纵模的情况下，纵模间隔小于增益曲线上的烧孔宽度时，烧孔严重重叠，这时综合加宽多纵模激光器输出功率的统计和均匀加宽激光器一样。

实验表明了6328 Å He-Ne激光器当其腔长大于30 cm时，其输出功率遵从均匀线型激光器的规律，即：

$$P_{\text{出}} = A I_s t \left(\frac{2GL}{a+t} - 1 \right) \quad (1)$$

$P_{\text{出}}$ 为输出功率， A 为有效光束面积， I_s 为饱和光强， G 为小信号增益系数， L 为放电管长， t 为耦合输出的透射率， a 为全程损耗。如图一所示，激光功率从D

耦合输出。我们利用耦合输出功率随等效透过率 t 变化的最大点和阈值点来确定增益和损耗。

当 $t = t_{opt}$ 时 (t_{opt} 为最佳透过率)

$$P_{出} = P_{出max}$$

$t = t_g$ (阈值透过率) 时,

$$P_{出} = 0$$

对 (1) 式微分可得:

$$2GLa - a^2 - t_{opt}^2 - 2at_{opt} = 0 \quad (2)$$

$$\text{而要使 } P_{出} = A I_s t_g \left(\frac{2GL}{a + t_g} - 1 \right) = 0$$

$$\text{则必有: } \frac{2GL}{a + t_g} = 1$$

$$2GL = a + t_g \quad (3)$$

由 (2) (3) 可得:

$$a = \frac{t_{opt}^2}{t_g - 2t_{opt}} \quad (4)$$

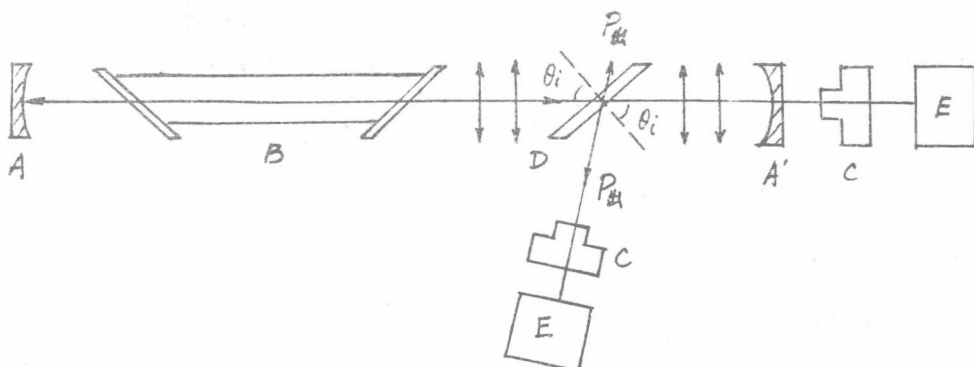
$$2GL = \frac{(t_g - t_{opt})^2}{t_g - 2t_{opt}} \quad (5)$$

由 (4), (5) 可知, 只需测出 t_{opt} 和 t_g 值, 则可确定全程增益 $2GL$ 和全程损耗 a 。

三. 实验方法及装置:

1. 测激光器的全程增益 $2GL$ 和损耗 a 。

如图一所示, 在由介质膜片 A , A' 以及放电管 B 所组成的外腔激光器中放入可旋转的光学平板 D , (此光学平板经过很好的光学加工, 安置在一个旋转的平台上)



图一、测激光口增益和损耗装置图。

A, A': 介质膜片, B: 放电管, C: 光电接收口, D: 光学平行平板, E: 检流计(或功率计)。

激光功率由 D 耦合输出, 记作 $P_{出}$ 。

此激光器输出的激光是振动方向垂直于谐振腔的轴而平行于纸面的线偏振光, 光学平板一个表面的反射率由菲涅耳公式给出:

$$R_{\parallel}(\theta_i) = \frac{\tan^2[\theta_i - \sin^{-1}(\frac{1}{n} \sin \theta_i)]}{\tan^2[\theta_i + \sin^{-1}(\frac{1}{n} \sin \theta_i)]} \quad (6)$$

式中 n 为旋转平板对激光波长的折射率, θ_i 为入射角。

激光在腔内往返一个来回, 两次经过光学平板, 忽略其多次反射效应, 耦合输出等效透射率为:

$$t = 4 R_{\parallel}(\theta_i) \quad (7)$$

当旋转平板时, 即改变入射角 θ_i 时, 就可改变 $R_{\parallel}(\theta_i)$ 值, 从而改变由光学平板引入腔内的附加损耗。 θ_i 为布儒斯特角 θ_b 时, $R_{\parallel}(\theta_i) = R_{\parallel}(\theta_b) \approx 0$, 此时耦合输出几乎

为0；随着 θ_i 的减小（或增大），输出越来越大，当 θ_i 到某一角度 θ_{opt} 时，耦合输出最大； θ_i 继续减小（或增大），输出反而下降，当 θ_i 到某一值 θ_g 时，输出几乎为0。

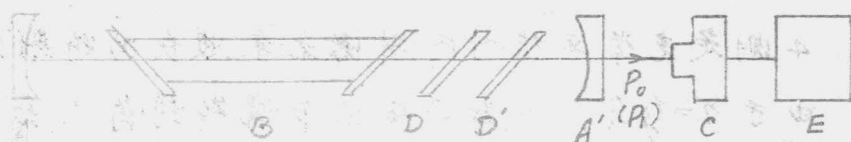
将实验测得的 θ_{opt} 和 θ_g 代入(6)和(7)式，则可确定最佳等效透射率和阈值等效透射率：

$$t_{opt} = 4 R_{11}(\theta_{opt}) \quad (8)$$

$$t_g = 4 R_{11}(\theta_g) \quad (9)$$

将(8)、(9)代入(4)、(5)则可计算出 a 和 $2\alpha L$ 。如此测得的 a 包括了腔的固有损耗以及光学平行平板的固有损耗。

2. 光学平行平板的固有损耗由如下方法确定：如图二所示。



图二 光学平行平板损耗的测量

A为介质膜片；B为放电管；C为光电接收器；D(D')为光学平行平板；E为检流计(或功率计)。

在腔内再放入另一块光学平行平板 D' ，同时拿掉被测光学平板 D ，将 D' 调至布儒斯特角，测出激光输出 P_0 ，然后将 D 放入腔内，且调至布儒斯特角，由于具有一定损耗的光学平行平板放入腔内，而引起激光输出功率下降到某一值 P_1 ，再拿掉 D ，激光功率重又恢复到 P_0 。这