

双曲率反射镜谐振腔*

戴立盛 叶桂木
(中国科学院电子学研究所)

一、引言

激光器的谐振腔,通常根据几何因子 g_1 、 g_2 所满足的条件,分成三大类:稳定腔,非稳定腔和介稳定腔. 这几种类型的谐振腔都有过大量的研究. 近年来,随着激光技术的发展,对激光束的质量提出了更高的要求,迫切希望能获得高效率,大能量、单横模、小发散角的激光束. 对于这些要求单纯采用稳定腔或非稳定腔是难于满足的.

本文提出一种新型的稳定腔和非稳定腔相结合的复合谐振腔,腔中放了一个中心有孔的两面抛光的平面反射镜作为输入泵浦束和输出束的隔离耦合反射镜;它起着使输入泵浦束只在稳定腔中传播,输出束只在非稳定腔中振荡,同时把输出束从腔中耦合出来的作用. 从这个意义上讲,该谐振腔又可以称为双光路复合谐振腔.

二、谐振腔的结构和分析

图1为双曲率反射镜谐振腔的结构简图. 图中, M_1 为一双曲率反射镜,其中心部分为凸面反射镜,曲率半径为 R_{11} ,直径为 $2a_0$;其外环为凹面反射镜,曲率半径为 R_{12} ,内直径为 $2a_0$,外直径为 $2a_1$; M_2 为一凹面反射镜,其曲率半径为 R_2 ,直径为 $2a_2$; P 为中心有孔的两面抛光的平面反射镜; L 为腔长; $l = \alpha L$ 为 P 镜中心到 M_2 反射镜的距离.

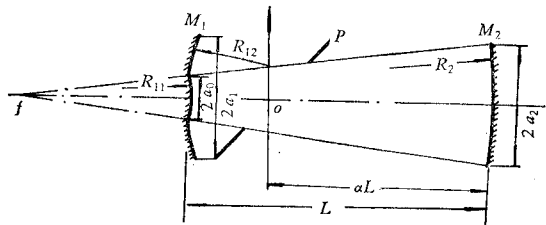


图1 双曲率反射镜谐振腔

对该谐振腔进行严格的理论分析,必须通过求解腔的非涅尔-基尔霍夫积分方程. 然而,由于腔内存在着隔离耦合反射镜,我们尝试对这个复杂的腔进行简化分析处理.

在输入泵浦束为环状平行光束的情况下,作为光泵激光器的谐振腔,隔离耦合反射镜起着把该复合腔分成一个稳定腔和一个非稳定腔的作用,使输入束只在稳定腔中传播,输出束只在非稳定腔中振荡. 然后分别对两个腔单独进行分析处理.

由反射镜 M_1 的环状凹面镜部分和反射镜 M_2 组成的谐振腔,是一个中心带有小孔的

* 1979年12月10日收到.

圆形球面反射镜构成的稳定腔。这种腔的场分布在一级近似下可以得到解析解。

由反射镜 M_1 的凸面镜部分和反射镜 M_2 组成的非稳定腔，我们采用共焦望远镜型结构。这种腔的积分方程难以得到解析解，通常采用数字求解。而在实际应用中，对非稳定腔的分析可采用简便而又有效的几何光学近似的方法。

这种双曲率反射镜谐振腔的结构设计就是利用此孔稳定腔的公式和非稳定腔的公式求得的。

三、应用——光泵激光器谐振腔

利用某一特定波长的激光束作为获得另一新波长激光的泵浦源，是一种系统泵浦效率很高的泵浦方式。理想的光泵激光器应能充分地利用泵浦光源的能量，又能把输入的泵浦束和输出束分隔开。双曲率反射镜谐振腔作为光泵激光器的谐振腔有可能满足上述两个要求。图 2 和图 3 分别为输入泵浦光路和输出束光路图。图 2 中，环状输入泵浦光束照射在隔离耦合反射镜 P 上，经 P 反射到镜 M_1 外缘凹面镜上，再从 M_1 会聚到反射镜 M_2 上，然后在 M_2 和 M_1 之间来回地传播。因为它能使输入泵浦束在腔中来回地多次反射，故能使入射泵浦束的能量充分地被激活介质所吸收。从光路图上也可以看出，输入泵浦光几乎不会漏逸到输出束里面去，这就把输入泵浦束和输出束分隔开来。这个优点还可用来把输入窗口和输出窗口分开，避免了寻找透明带宽很宽的材料上的困难；同时还解决了寻找要对输入光全透射，对输出光有部分透射这种透射系数和波长有关的窗口材料的困难。

图 3 为典型的共焦望远镜型非稳定腔输出束光路图。非稳定腔是获得大的模体积、单横模、发射角达到衍射极限的平面波前输出的有效手段之一。

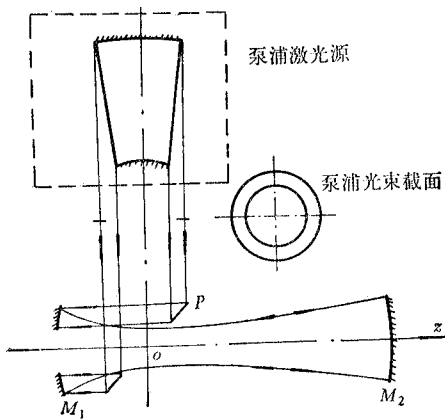


图 2 输入泵浦光路图

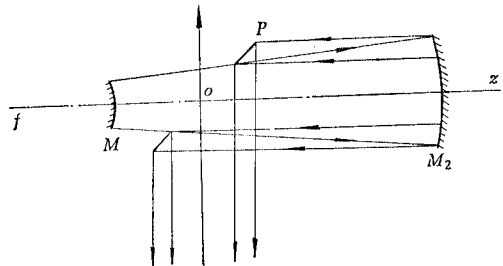


图 3 输出束光路图

四、实验装置和实验结果

为了直观地了解双曲率反射镜谐振腔的特性，我们把 He-Ne 激光器的 6328 \AA 单模激光束扩束后，再用环状光阑取得环状光束，作为输入束，来观察输入束在腔中的传播特性。

实验装置如图 4 所示. 实验装置的结构参数为: 双曲率反射镜 M_1 的凸面镜部分的曲率半径 $R_{11} = 1 \text{ m}$, 直径 $2a_0 = 14 \text{ mm}$; 双曲率反射镜的凹面镜部分的曲率半径 $R_{12} = 3 \text{ m}$, 外直径 $2a_1 = 40 \text{ mm}$; 凹面反射镜 M_2 的曲率半径 $R_2 = 3 \text{ m}$, 直径 $2a_2 = 40 \text{ mm}$; 隔离耦合反射镜 P 为 $50 \times 80 \text{ mm}^2$ 的长方形的两面抛光的平面反射镜, 中心孔在轴线的垂直面上的投影直径为 26 mm (隔离耦合反射镜 P 与腔轴线的交角为 45°); 腔长 $L = 1 \text{ m}$; $P-M_2$ 两镜间的距离 $l = 500 \text{ mm}$.

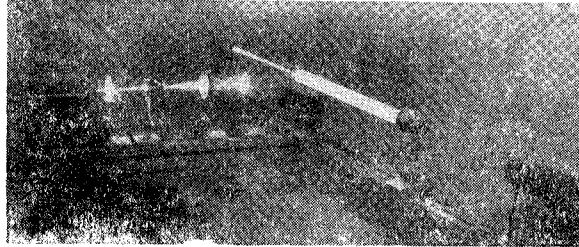
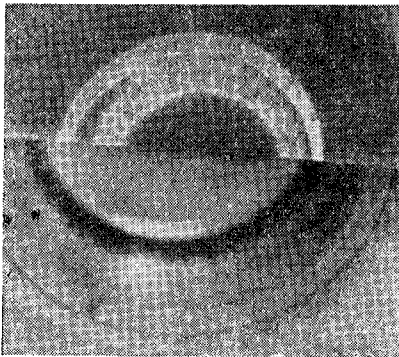


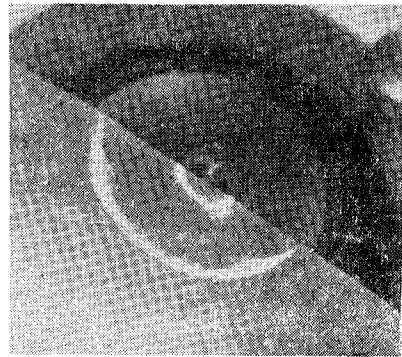
图 4 谐振腔实验装置

实验观察到输入束在 M_1 和 M_2 组成的稳定腔的镜面上形成的光强分布; 在 M_1 的凸面镜上, 光强几乎等于零, 如图 5 所示. 由图 4 和图 5 可见, 由于隔离耦合反射镜的作用, 在环状输入束的条件下, 输入束被隔离在稳定腔中来回地传播, 几乎没有漏逸到输出束中去. 为了定量地确定漏逸率的大小, 我们测量了输入束在输入光路和输出光路的光强. 测量结果表明, 输入束漏逸到输出束中去的漏逸率小于 0.3% .

实验结果表明, 这种谐振腔结构能够把输入光路和输出光路分隔开来, 并且有可能如我们所设想的, 成为一种高效率光泵激光器的谐振腔.



(a) 双曲率反射镜 M_1 上的光强分布: 中间凸面镜上为暗区, 外圈为两个亮环 (由于外圈光强较弱, 插入一纸片后才显现出亮环)



(b) 凹面反射镜 M_2 上的光强分布 (由于外圈光强较弱, 插入纸片后才显现出亮环)

图 5

五、结 束 语

本文所述的双曲率反射镜谐振腔, 试图把稳定腔和非稳定腔的特点结合起来, 构成一种具有高效率、产生高质量激光束的谐振腔. 这是激光器谐振腔理论和实验的一个新课题, 我们的工作做得还很粗浅, 现作为抛砖引玉, 将我们的设想发表出来, 希望能引起讨

论.

我们的实验工作得到许多同志的关心、支持和鼓励,特别是为实验提供了镜片和膜片的同志,在此致以衷心的感谢.

RESONATOR WITH DOUBLE-CURVATURE MIRROR

Dai Li-sheng, Ye Gui-mu

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

A resonator with double-curvature mirror to be used as a resonator for optically-pumped lasers at very high efficiency is proposed. This resonator can be regarded as a combination of a stable-resonator and an unstable-resonator. It is a newtype of resonator which is able to obtain a laser beam of high quality.