

三元介稳光学共振腔的理论实验研究

赫光生 金德运 茹华一

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

介稳腔的性质处于稳定腔与非稳腔之间,其主要特点是既有较小的衍射损耗,又有较强的波型限制能力;因此不仅适用于较高增益的脉冲激光器系统,也同样适用于增益较低的连续激光器系统;在后一情况下,往往不能忽略腔内增益介质本身的等价透镜效应的影响。

理论分析表明,内含类透镜介质的等价三元共振腔处于稳定腔工作状态时,振荡光束包络线为双曲线,波面为厄米球面波;并且与腔的几何参数与组合方式相对应的工作点越是靠近稳定区域的中心,其输出光束发散角就越大,亮度就越低。反之,当腔的工作点向稳定区域的边缘线——介稳腔状态趋近时,输出光束包络线将趋近为一对平行线或交叉直线,而整个光束将趋近为一平面波或普通的球面波(它经过透镜复原后亦成为一平面波)。对内含等价透镜焦距为 f 的平面-透镜-平面腔而言,设两平面镜至腔内等价透镜距离分别为 l_1 和 l_2 ,则介稳工作条件分别为

$$\left(1 - \frac{l_1}{f}\right)\left(1 - \frac{l_2}{f}\right) = 0 \text{ 或 } 1$$

对平面-透镜-凸面腔系统而言,设平面镜与凸球面镜(曲率半径为 R)至腔内透镜的距离分别为 l_1 和 l_2 ,则介稳工作条件分别为

$$\left(1 - \frac{l_2}{f}\right)\left[\left(1 - \frac{l_1}{f}\right)\left(1 + \frac{l_2}{R}\right) + \frac{l_1}{R}\right] = 0 \text{ 或 } 1。$$

由于在介稳腔状态下,轴向与非轴向波型在腔内往返一次的损耗率差异,可明显大于一般稳定腔,因此腔限制波型的能力将大为增强,从而可望较大幅度地压缩发散角和提高输出亮度。

从压缩发散角、调整精度低以及反射镜不易被破坏等要求出发,认为采用内含等价透镜的平面-透镜-凸面腔系统并使工作点向等价虚共心状态 ($l_2 \approx f - R$) 趋近的介稳腔型,是一种最佳的设计方案。在实验上,分别采用以单灯和双灯泵浦的连续 YAG: Nd³⁺ 激光器装置,比较测量了稳定腔与介稳腔工作状态下的输出激光特性,包括整个输出光束的功率、截面和发散角。腔内晶体棒直径 5mm 左右,长 10cm 左右,等价热透镜焦距与光泵水平(灯电流)有关并为 $f = 30 \sim 50$ cm 左右;输出端平面镜透过率约 10%,输出功率水平约十几 \overline{W} 到几十 \overline{W} 左右。实验测量结果表明,在同样光泵水平下,对平面-透镜-平面腔结构而言,当腔由稳定状态向介稳状态趋近时(通过改变 l_1 和 l_2),输出激光亮度可提高一个数量级以上;对平面-透镜-凸面腔结构而言,选择 $|R| = 20 \sim 25$ cm 并使腔趋近介稳状态运转时,其输出亮度与普通情况下采用的平面-透镜-平面稳定腔相比,可提高二个数量级左右。