

板状激光器的工程优化设计

王先彬

韩 凯

(武汉工业大学激光研究所, 武汉) (西南技术物理研究所, 成都)

摘要: 本文提出了一种优选板状激光介质几何参数以增加介质增益和减少光能损失的分析方法, 讨论了光能损失率同加工精度的关系, 同时给出了新近研制 Nd:YAG 板状脉冲激光器的实验结果。

Engineering design optimization of slab laser

Wang Xianbin, Han Kai*

(Research Institute of Laser, Wuhan University of Technology)

(*Southwest Institute of Technical physics)

Abstract: A method for increasing gain and decreasing loss of slab laser medium by optimal selection of its geometry parameters is presented. The effects of processing errors on optical energy loss rate are discussed in detail. The experimental results of pulsed Nd:YAG slab laser built recently are also reported.

一、引 言

近年来, 国内外在板状固体激光器的研制方面取得了令人鼓舞的进展^[1,2]。板状激光器的板状介质能够消除热和应力所致的退偏振, 而其中的全内反射式锯齿光路可以补偿热透镜效应, 这使得激光束的光学质量大为改善, 且输出能量和平均功率仅受激光介质应力开裂极限的限制而显著提高。

板状激光器同传统的棒状激光器相比, 在原理上并无实质性的差异, 而在结构上却有自身的特点。因此, 在器件的设计和制作时, 既要借鉴棒状激光器的成熟技术, 又要考虑到板状激光介质和全内反射光路的特殊要求。固体激光器能量转换的环节多, 在设计、加工及调试过程中对每个部分都应该予以足够的重视。以下是我们在工程设计加工中对板状介质几何参数的优选和加工精度的要求所作的进一步研究。

二、板状介质几何参数的优选

新型的板状激光器优于棒状激光器的主要原因, 是用板状激光介质取代了棒状激光介质, 并改原来的直通光路为现在的锯齿光路。显然, 板状激光介质的合理设计是激光器研制的一个关键问题。

激光材料的尺寸是受到限制的。对于给定的激光材料, 当然希望其内部的全反射光路, 即实际增益长度足够地长, 同时还希望各光学界面上的反射损耗尽可能地小。但是这二者都同板条的端角 θ 有关而相互制约, 必须寻求一个最佳的端角值。

板状激光器的光路如图1所示。应用几何学知识可得到板状介质的实际增益长度, 它同板条的厚度 $2a$ 、折射率 n 有如下关系

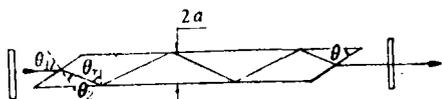


图1 板状激光器光路图

$$l = \frac{2Na}{\cos[\theta + \sin^{-1}(\cos\theta/n)]} \quad (1)$$

式中, N 是光波在板条内的全反射次数, 必须为整数。因此, 给定 a 和 N 后, 端角的值是离散的, 只有满足

$$N = \frac{L - 2actg\theta}{2atg[\theta + \sin^{-1}(\cos\theta/n)]} \quad (2)$$

为整数才有意义。除此之外, θ 还应该使内反射角 θ_1 不小于全内反射临界角 θ_{c0} 。图2中的离散点给出了根据(1)式进行数值计算的 l - θ 关系, 它表明较大的 l 对应于较小的 θ 。

板条的端面上还存在有反射损耗。根据光的电磁理论所导出的菲涅耳公式, 其自然光的反射率为

$$R_n = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} + \frac{\text{tg}^2(\theta_1 - \theta_2)}{\text{tg}^2(\theta_1 + \theta_2)} \right] \quad (3)$$

将 $\theta_1 = 90^\circ - \theta$ 和 $\theta_2 = \sin^{-1}(\cos\theta/n)$ 代入, 得到 $R_n - \theta$ 的关系曲线: 图2中的连续曲线。图2表示, 大的实际增益长度和小的反射损耗是不可兼得的, 在设计板状介质时必须作出取舍。这种取舍同激光材料的物理性质和板条端面的

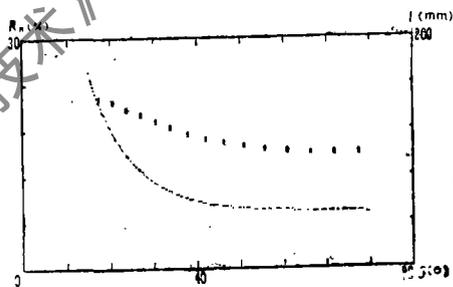


图2 界面反射损失 R_n (%)、实际增益长度 l 与端角 θ 的关系

工艺处理(如镀增透膜等)情况有关, 同时还应考虑寄生振荡等问题。一般情况下, 端角 θ 取 40° 左右为宜。关于板状介质宽、厚参数的选取已有文献报道^[3,4], 本文不再赘述。

三、板内光能损失率同加工精度的关系

传统固体激光器的棒状介质只有两个几何参数: 直径和长度。它们之间没有严格的制约关系, 在光学加工时只要保证二端面的平行度、平整度和光洁度就足够了。板状介质则不然。如前所述, 板条设计涉及到六个参数: 厚度 $2a$ 、宽度 $2b$ 、长度 L 、端角 θ 、折射率 n 和反射次数 N , 它们之间的组合除应满足(2)式外, 还有一个更苛刻的条件: N 应为整数。在板条横截面上光场分布均匀的假设下, 运用几何光学知识可以证明, 若 N 偏离整数值, 则有一部分光波在板内传输受阻, 不能正常地耦合出来而损失掉, 其损失率就等于 N 对整数的偏离值 ΔN 。 ΔN 的范围在 $-0.5 \sim 0.5$ 之间, 亦即因 N 偏离整数值而引起的光能损失可高达50%, 光束质量也会大大下降。因此, 寻求 ΔN 同各参数偏离值之间的关系, 确定工程加工中合理的公差范围, 对避免盲目性是很有必要的。

对(2)式求微分可得到

$$dN = D_1 dL + D_2 d(2a) + D_3 d\theta + D_4 dn \quad (4)$$

D_1 到 D_4 分别是同板长、板厚、端角及折射率相关的误差传递函数,

$$\left\{ \begin{aligned} D_1 &= \frac{1}{4a^2 \operatorname{tg}^2 \theta_r} \cdot 2a \operatorname{tg} \theta_r \\ D_2 &= \frac{1}{4a^2 \operatorname{tg}^2 \theta_r} [2a \operatorname{tg} \theta_r \operatorname{ctg} \theta + (L - 2a \operatorname{ctg} \theta) \operatorname{tg} \theta_r] \\ D_3 &= \frac{1}{4a^2 \operatorname{tg}^2 \theta_r} \left[\frac{4a^2 \operatorname{tg} \theta_r}{\sin^2 \theta} - \frac{2a(L - 2a \operatorname{ctg} \theta)}{\cos^2 \theta_r} \right] \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \frac{\sin \theta}{n \left[1 - \left(\frac{\cos \theta}{n} \right)^2 \right]^{1/2}} \right\} \\ D_4 &= \frac{1}{4a^2 \operatorname{tg}^2 \theta_r} \cdot \frac{2a \cos \theta (L - 2a \operatorname{ctg} \theta)}{n^2 \cos^2 \theta_r \left[1 - \left(\frac{\cos \theta}{n} \right)^2 \right]^{1/2}} \end{aligned} \right. \quad (5)$$

至此,我们可应用数值分析方法于(4)式,来确定在限定的光能损失率范围内任意板状介质加工时所允许的公差范围,达到合理利用激光材料的目的。

四、器件的整体考虑及实验结果

为了使板状激光介质获取更多的均匀对称泵浦光能,我们采用双灯对称泵浦的双椭圆柱聚光器,腔体采用热膨胀小、热导率高的铜加工而成,内壁镀有高反射率的银反光层。泵浦光源是辐射强度和效率都较高的脉冲氙灯,灯和板条分别用自来水冷却,水冷套管由具有滤紫外光作用的掺铈石英玻璃拉成。谐振腔是简单实用而且模体积较大的平行平面腔,腔长38cm,输出镜反射率为28%。该器件在重复频率为1pps、脉宽为200 μ s时,能量输出达13.66J,总体效率超过3%,光束发散角为1mrad。实验表明,我们对板状激光介质的上述分析研究是具有实际价值的。

作者感谢西物所302组全体同志对本文工作的热情支持。

参 考 文 献

- [1] 周 峰等,国外激光,1988,(8):1~5
- [2] Lasers Focus, 1983, 19(5):83
- [3] IEEE J.Q.E., 1984, QE-20(3):289
- [4] IEEE J.Q.E., 1985, QE-21(8):1195
- [5] Koechner W, Solid-State Laser Engineering.

* * *

作者简介:王先彬,男,1957年2月出生。硕士生。现从事光纤传感器的研究工作。

收稿日期:1989年12月6日。 收到修改稿日期:1990年1月15日。