

可饱和吸收体 Cr:YAG 做被动调 Q 元件时的选模作用

郑 权¹ 陈颖新¹ 赵 岭² 钱龙生¹

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130022)

(2 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 研究了可饱和吸收体 Cr:YAG 做被动调 Q 元件时所表现出的选模作用。理论分析和实验表明:Cr:YAG 晶体的“动态光阑”效果确保了激光器的基横模输出;而不同纵模形成振荡的难易差别也为脉冲单纵模的实现提供了条件。Cr:YAG 晶体的选模作用在实践中应得到充分的利用。

关键词 Cr:YAG; 被动 Q 开关; 选模; 调 Q 激光器

0 引言

相对主动调 Q 方式,全固化被动调 Q 激光器结构简单紧凑,无需任何外部驱动装置。近几年,具有良好物理化学性能的可饱和吸收被动调 Q 晶体 Cr:YAG 的出现引起了国内外学者的极大兴趣¹。Cr:YAG 被动调 Q 方式已经在灯泵浦和 LD 泵浦的 Nd:YAG、Nd:YLF 和 Nd:S-FAP 等激光器中成功地得到运用,输出了高重复频率脉冲红外激光²。作者所在的课题组在 Cr:YAG 被动调 Q 全固化被动调 Q 激光器方面作了大量研究工作,报道了一些重要的研究成果^{3,4}。实验中,我们发现 Cr:YAG 晶片做被动调 Q 元件时表现出很优秀的选横模和选纵模作用。

本文对 Cr:YAG 晶片做被动调 Q 元件时所表现出的选模作用机制进行了分析,并在 Cr:YAG 被动调 Q 红外和绿光激光器的设计中得到应用,取得了很好的实验结果。

1 选横模作用

LD 纵向泵浦的全固体激光器是近年来的研究热点之一。对于泵浦部分,一般地,LD 的发光区很小,由于光衍射作用,其发出的光发散角大、

空间分布不对称且存在象散,需要经过圆化整形和聚焦后注入激光晶体,否则会因为模式匹配不好影响输出光斑的质量⁵。但基于 Cr:YAG 的选横模作用,采用近贴泵浦(即 LD 发出的光直接入射到紧邻的激光晶体上)方式,也可以得到良好的光斑质量(基横模 TEM₀₀输出)。

图 1 给出了激光二极管 LD 直接近贴泵浦 Nd:YVO₄ 晶体、用 Cr:YAG 晶片被动调 Q 的激光器结构示意图。

LD 是一只连续输出 1W 的量子阱激光二极管,其发光结尺寸为 $1 \times 100 \mu\text{m}^2$,发散角为 $7.8 \times 28.6^\circ$ 。通过 TEC 严格的温控措施,使其波长调节为 808.9nm,与 Nd:YVO₄ 的吸收峰重合,从而最大限度地利用泵浦光。激光晶体

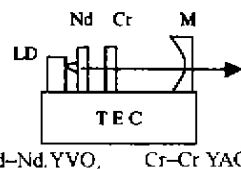


图 1 直接近贴泵浦调 Q 激光器

Fig. 1 LD directly pumped Q-switched laser

• 863 计划资助项目(863-Z35-2B)

收稿日期:2001-08-31

Nd:YVO₄ (厚 0.7mm, 掺杂浓度 3at%) 的左端面镀 808nm 增透和 1064nm 高反膜作为激光器的一个腔镜, 右端面镀 1064nm 增透膜; 调 Q 晶体 Cr:YAG (小信号通过率 $T_0 = 87\%$) 两面均镀 1064nm 增透膜; 倍频晶体 KTP 两端面均镀 1064nm 和 532nm 增透膜. 输出镜 M 曲率半径为 50mm, 对 1064nm 的透过率约为 8%.

实验中在注入泵浦功率为 600mW 时, 得到平均功率 138mW、脉冲宽度 19.8ns、重复频率 170.1kHz、峰值功率 40.96W 的被动调 Q 红外激光输出. 图 2 是用光束轮廓分析仪测量的光斑能量分布图, 说明输出是很好的基横模 (其中横坐标为光斑径向位置 $D(\mu\text{m})$, 纵坐标为经过归一化的相对光强值 $I(\text{a.u.})$).

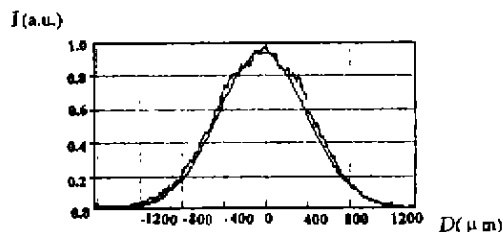


图 2 光斑能量分布

Fig. 2 Distribution of spot energy

采用直接近贴泵浦方式主要是基于谐振腔内存在慢饱和吸收体 Cr:YAG 的考虑. 即因为振荡光束在中心轴线附近具有最高的强度, 从而最先漂白被动 Q 开关 Cr:YAG 在轴线中心及附近的位置; 而对离轴线较远的位置来说则因其入射光功率密度低, 不易漂白, 从而损耗较大. 因此, 插入 Cr:YAG 总的结果相当于在腔内插入了一个“动态光阑”, 导致高阶横模不易形成振荡, 从而保证了基横模的输出, 改善了输出光束的空间分布. 另外, 近贴泵浦方式避免了光束传输和整形过程中能量的损失, 器件结构简单紧凑.

2 选纵模作用

在腔内倍频的绿光激光器中, 常常因存在多个纵模相互耦合产生的“噪音”现象 (也称“绿光问题”), 导致激光器功率波动⁶. 消除噪音的一个有效方法是迫使激光器单纵模运转. 一个比较好的选频方法是含布氏片 (BP) 的“双折射滤光片”技术. 我们曾报道了用图 3 的谐振腔 (无 Cr:YAG 情况下), 在 360mW 的泵浦功率下获得了 38mW

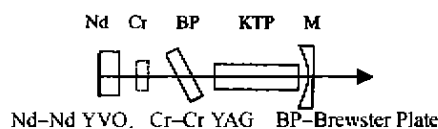


图 3 脉冲单频绿激光器谐振腔

单频绿激光输出⁷. 倘若加大泵浦功率至 800mW 时, 会出现 4 个左右的多纵模振荡. 然而此时若加入 Cr:YAG 晶片, 却得到了脉冲绿激光的单频输出.

在注入泵浦功率为 800mW 时, 得到平均功率 43mW、脉冲宽度 26.4ns、重复频率高达 39.3kHz、峰值功率 41.5W 的被动调 Q 脉冲绿光输出. 图 4 是输出单频脉冲绿激光经标准具形成的干涉环.



图 4 标准具干涉环

Fig. 4 Interference pattern of Q-switched SLM green laser by an etalon

该实验表明, Cr:YAG 晶体在被动调 Q 过程中一方面其慢饱和吸收漂白性质形成的“动态光阑”效果实现了横模的选择; 另一方面, 由于从所获得的绿光脉冲的平均功率和峰值功率上考虑, 单纯 BP 片还不足以实现激光器的单频稳定运转, 所以, Cr:YAG 晶体一定也起到了选取纵模的作用.

定性地分析其中的原理, 很可能是由于激光器中不同纵模形成振荡的难易程度有很大的差别, 相对较弱的纵模仅在阈值附近振荡, 形成激光振荡所需的时间较长, 而调 Q 脉冲持续时间很短, 因此最终形成并充分放大的仅是增益最大的单纵模. 当中心频率的纵模形成激光振荡后, Q 开关即被打开, 从而实现了纵模的选择, 获得了单频的脉冲绿激光输出.

我们还对腔内无 BP 片的多台 Cr:YAG 调 Q 的绿光和红外激光器进行测量, 发现其输出激光的纵模数目均显著地少于相同输出功率条件下的连续激光器, 从而更加充分地证明了 Cr:YAG

晶体所引起到的选纵模作用。

3 小结

采用可饱和吸收体 Cr : YAG 做被动调 Q 元件的激光器,具有好的横模和纵模输出特性。在

实际应用中注意运用这些特点,会收到意想不到的效果。文中相关的讨论对于其它可饱和吸收体被动调 Q 元件,如染料、GaAs 等同样是适用的;而有关选纵模的作用在声光和电光等主动调 Q 手段中也会得到体现。

参考文献

- 1 冷雨欣,林礼煌,欧阳斌. Cr : YAG 晶体的激发态吸收研究. 光学学报, 2001, 21(2): 225~227
- 2 Shimony Y, Burshtein Z, Ben-Amar B. Repetitive Q-switching of a CW Nd : YAG laser using Cr : YAG saturable absorber. IEEE J Quant Electron, 1996, 32(2): 305~310
- 3 Zheng Q. LD-pumped passively Q-switched Nd : YVO₄ infrared and green lasers. Optics & Laser Technology, 2001, 33(5): 355~357
- 4 郑权, 叶子青. LD 抽运被动调 Q Nd : YAG/LBO 绿光激光器. 中国激光, 2002, 29(4): (To be published)
- 5 Laporta P, Brussard M. Design criteria for mode size optimization in diode-pumped solid-state lasers. IEEE J of Quantum Electronics, 1991, 27(10): 2319~2326
- 6 Baer T. Large-amplitude fluctuations due to longitudinal mode coupling in diode-pumped intracavity-double Nd : YAG lasers. J Opt Soc Am, 1989, B3: 1175~1180
- 7 郑权, 檀慧明. LD 泵浦全固体单频 YVO₄/KTP 绿光激光器研究. 激光与红外, 2001, 31(4): 208~209

MODE SELECTION EFFECTS OF Cr : YAG AS PASSIVE Q-SWITCHES

Zheng Quan¹, Chen Yingxin¹, Zhao Ling², Qian Longsheng¹

¹ Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 130022

² Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Shanghai 201800

Received date: 2001-08-31

Abstract Mode selection effects of Cr : YAG as passive Q-switches are studied in this paper. Theoretical analysis and scientific experiments show that the mode selection effects can ensure the TEM₀₀ mode and SLM oscillating in a passively Q-switched laser. In the practice, these excellent effects should be made good use of.

Keywords Cr : YAG; Passive Q-switch; Mode selection; Q-switched laser



Zheng Quan was born in Heilongjiang, China, on July 2, 1973. He received the B. S. degree in 1996 and the M. S. degree in 1999, from Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, China. He is presently pursuing the Ph. D. degree in optics at Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS. He is interested in high performance solid-state laser, high power gas laser, nonlinear optics, optical communication and so on.