

小型 Cr^{4+} YAG 调 Q 重频热传导冷却 (Nd,Ce) :YAG 激光器研究

陈肖燕 赵 刚* 王欲知

(西南交大应用物理系,成都,610031) (*西南技术物理研究所,成都,610041)

摘要: 对小型 Cr^{4+} YAG 被动调 Q 重频热传导自然冷却 (Nd,Ce) :YAG 激光器进行了理论与实验研究。采用氙灯泵浦,注入能量 3.6~4.8J,实现重频(2~5pps)单脉冲能量输出 10~15mJ,最大单脉冲输出能量 25mJ,脉宽 6~12ns,对应的静态能量输出 20~30mJ,动静比达 50%,实现了器件的小型化和工程化,器件工作的环境温度范围达 +60~-40,可用于机载激光测距。

关键词: 小型 Cr^{4+} YAG 被动调 Q (Nd,Ce) YAG 激光器

Study on miniature Cr^{4+} YAG Q-switched repetitively conductive cooling (Ce,Nd) :YAG laser

Chen Xiaoyan, Zhao Gang,* Wang Yuzhi

(Department of Applied Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

(* Southwest Institute of Technical Physical, Chengdu, 610041)

Abstract: Theoretical and experimental study has been carried out on Cr^{4+} YAG Q-switched, repetitive, conductive cooling, miniature (Ce,Nd) YAG lasers. The optimum operate condition is presented. Using a xenon flash lamp with 3.6~4.8J as the pump energy, we obtained repetitive (2~5pps) single pulse laser output of 10~15mJ with pulse width of 6~12ns. The operate ambient temperature range is +60~-40

Key words: miniature Cr^{4+} YAG passive Q-switched (Ce,Nd) YAG laser

引 言

Cr^{4+} YAG 晶体具有良好的热性能、机械及光学性能,在 0.9~1.06 μm 具有显著的可饱和吸收特性。近年来,这种晶体作为 Nd^{3+} YAG 激光器 Q 开关引起了人们极大的关注^[1~4]。 Cr^{4+} YAG 被动调 Q 是利用晶体在 1 μm 附近的红外吸收带(由 $^3\text{A}_2$ \rightarrow $^3\text{T}_2$ 跃迁的结果)的饱和吸收原理实现的。泵浦初期,激光谐振腔内的光子数较少, Cr^{4+} YAG 晶体处于高损耗状态,透过率为 T_0 ;对应激光器的反转粒子数密度阈值为 n_{t1} ;随着光泵作用的继续,谐振腔内光子使 Cr^{4+} YAG 饱和,透过率迅速下降,对应激光器的反转粒子数密度阈值变化为 n_{t2} 。由于此时的粒子反转数密度 $n_i \gg n_{t2}$,于是,激光器输出一个巨脉冲。同时,巨脉冲的形成使反转粒子数密度迅速下降,继续增加泵浦能量,可形成双脉冲、三脉冲输出,输出能量随泵浦能量的增加呈阶梯状地增加,形成独特的坪区结构^[5]。

对于测距等系统使用的调 Q 激光器,单脉冲输出能量及坪区宽度是两个重要的基本技术指标。在一定范围内,阈值能量愈高,泵浦能量愈大,则获得的单脉冲能量愈大,坪区愈宽。但是,受器件体积的限制,小型化器件一般只能工作于低能量区域(泵浦能量小于 5J),从而使调

Q 激光器的效率降低,单脉冲输出能量及坪区宽度都大大下降。为满足实用化小型器件的需要,作者对小型 Cr⁴⁺ YAG 被动调 Q 重频自然冷却(Nd,Ce) YAG 激光器进行了理论和实验研究。注入能量 3.6~4.8J,获得了 10~15mJ 的重频(2~5pps)单脉冲输出,坪区宽度 1.2~1.5J,动静比达 50%,器件达到了实用化要求。

1 理论分析

讨论调 Q 激光器的理论依据是速率方程,由于随时间变化的各参量相互耦合,一般需数值方法求解。为使结果得到简化,在以下的分析中认为:(1)按照一般调 Q 过程的处理方法,在巨脉冲形成期间,自发辐射以及泵浦的作用可忽略;(2)认为饱和和吸收过程是瞬间完成的,饱和和吸收晶体的影响以损耗的方式体现。

1.1 阈值泵浦能量

根据以上条件,调 Q 激光器的速率方程为^[6]:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = (c n_0 / l - \gamma / R) \quad (1)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \gamma n - c \quad (2)$$

式中, n 为腔内的光子数密度, c 为真空中的光速, γ 为工作物质的受激辐射截面, l 为激光腔长度, l 为工作物质长度, (γ) 为腔内总损耗, γ 为激光器的反转因子,在上述假设下,小信号及饱和吸收两种状态下的阈值粒子反转数密度可表示为^[6]:

$$n_{t_1} = \gamma_1 / (2 l) \quad (3)$$

$$n_{t_2} = \gamma_2 / (2 l) \quad (4)$$

γ_1, γ_2 为两种状态下的损耗,且满足:

$$\gamma_1 = Ln / R + Ln / T_0^2 + L \quad (5)$$

$$\gamma_2 = Ln / R + Ln / (T_0^2) + L \quad (6)$$

式中, R 为输出镜透过率, T_0 为小信号状态 Cr⁴⁺ YAG 的透过率, L 为其它损耗, $\gamma = \gamma_{gs} / \epsilon_s$ 为消光比, γ_{gs}, ϵ_s 分别为 Cr⁴⁺ YAG 基态和激发态吸收截面。

对于 Nd³⁺ YAG,由于上激光能级 R_1 中的反转粒子数密度 n_{t_1} 只占⁴F_{3/2}能级组中总粒子数的 40%^[6],若系统将粒子泵浦到⁴F_{3/2}能级组的效率为 η_p ,那么,阈值能量为:

$$E_{th} = \frac{n_{t_1}}{0.4} h_p V \frac{1}{\eta_p} = 1.25 h_p s (Ln \frac{1}{R} + Ln \frac{1}{T_0^2} + L) / \eta_p \quad (7)$$

式中, L 和 η_p 两个参量通过测量静态时 E_{th} 与 Ln/R 的关系来确定^[5]。

由(6)式,已知器件的 η_p ,若泵浦能量范围一定,则可得阈值在泵浦能量范围内时, $R \sim T_0$ 的关系曲线如图 1 所示,其中^[6] $\eta_p = 3.75 \times 10^{14}$, $h = 6.62 \times 10^{34}$, $s = 0.07\text{cm}^2$, $\epsilon_s = 7 \times 10^{-19}\text{cm}^2$, $\eta_p = 0.018$, $L = 0.1$ 。对应于一定的能量输入,曲线上的任一点都是 $R \sim T_0$ 的一种临界匹配, R, T_0 应在对应的曲线上方取值。

1.2 阈值处的效率

设激光脉冲结束时,剩余的粒子反转数密度为 n_f ,那么,单位体积内发射的光子数为:

$$\gamma = (n_i - n_f) / \tau = n_i \mu / \tau \quad (8)$$

式中, μ 为转移因子,对于调 Q Nd YAG 激光器, $\mu = 0.6$ ^[7,8], $\mu = 1 - n_f / n_i$ (9)

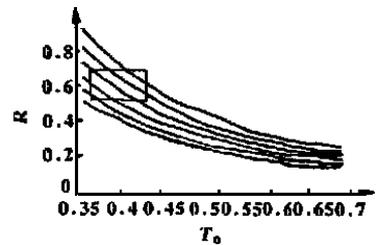


Fig.1 Relationship between R and T_0 , from up to bottom the threshold energy $E_{th}(J) = 3.8, 4, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8$ respectively

(9)式为能量利用率,则激光能量输出为: $E_0 = h \nu L n / (R) = n_i \mu h \nu L n / (R)$ (10)

(10)式与(7)式联立,得阈值处的效率为: $\eta_{th} = \frac{2}{3} \mu_0 \nu L n / (R)$ (11)

1.3 坪区宽度

当泵浦能量较高时,第1个脉冲结束后,光泵将继续并使器件再次达到阈值,形成多脉冲。

显然,形成第2个脉冲所需的阈值粒子反转数密度为: $n_i - n_f = 0.6 = n_i \mu$ (12)

达到该阈值粒子反转数密度所需的阈值输入能量,即坪区宽度:

$$E_{th} = n_i \mu V h \nu / (0.4 \nu_0) = \mu E_{th}$$
 (13)

2 实验及结果分析

2.1 结构及参数的确定

硬件结构 为实现器件的小型化以及全固体化,结构上采用了热传导自然冷却方式,激光棒装在散热凹槽上,与圆柱聚光腔连为一体,谐振腔为平-平腔。

工作参数 确定参数的原则是获得最大的效率及足够大的坪区宽度,根据(11)式,要提高效率,一方面提高激光泵浦效率 μ_0 ,另一方面要选择最佳的输出透过率及 Cr^{4+} YAG的小信号透过率。

为提高 μ_0 ,我们选用了 EG&G 公司生产的脉冲氙灯,充气气压提高为 $630 \times 133.3 \text{ Pa}$; 采用以 Ce 为敏化剂的双掺杂晶体^[10](西南技术物理研究所生产);聚光腔内壁镀增反膜,加强对泵浦光的反射。

为获得最佳输出透过率及 Cr^{4+} YAG 的小信号透过率,如图 1,泵浦能量约为 4~5J,由于 T_0 愈小,饱和吸收晶体产生的损耗变化愈大,所以,应从图 1 所示曲线的左端选择参数,如图 1 中方框所示。首先确定激光谐振腔输出镜透过率 = 42%,通过实验 ($T_0 = 0.3 \sim 0.6$ 范围内) 确定出 Cr^{4+} YAG 晶体的最佳透过率为 40%,腔长 $L = 130 \text{ mm}$,激光棒为 $\phi 3 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$,双面镀 $1.06 \mu \text{ m}$ 增透膜。

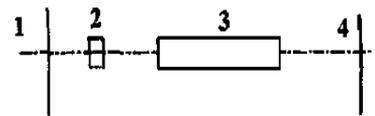


Fig. 2 Schematic diagram of (Ce, Nd) YAG laser
1—input mirror 2— Cr^{4+} YAG
3—(Ce, Nd) YAG rod 4—output mirror

Table 1 Experiment result at normal temperature

No of sample	transparency of Cr^{4+} (%)	threshold (J)	single pulse output energy (mJ)	energy width (J)	pulse width (ns)	efficiency at threshold (%)
1	38.4	4.22	16.01 ~ 18.36	1.2	6.0 ~ 7.5	0.39
2	39.8	4.50	12.52 ~ 15.59	1.5	7.2 ~ 9.0	0.30
3	41	4.56	12.77 ~ 13.47	1.4	8.3 ~ 11.3	0.29
4	41	3.94	12.94 ~ 15.15	1.1	8.1 ~ 9.2	0.36

2.2 实 验

实验装置的示意图如图 2,重复频率 2pps,连续工作 10min,采用 OPHIR DGX 型激光能量计测试输出激光能量。Tekk TDS544A 型数字示波器及其光纤探头测量激光脉宽,常温下的实验结果见表 1。80 恒温 1h20min, - 40 恒温 2h 后,分别进行了高、低温性能测试,实验结果见图 3。

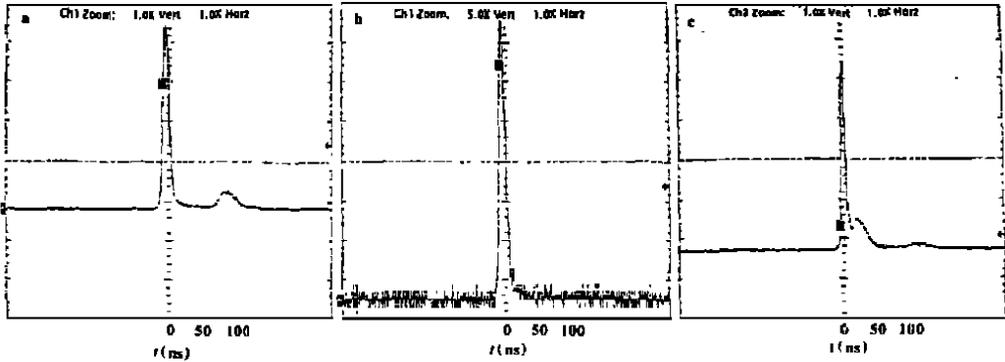


Fig. 3 Pulse shape of laser output
a—22 b—80 c—40

2.3 实验结果分析

(1) 采用双掺杂晶体,合理选择 R 与 T_0 ,是解决低能量区域 Cr⁴⁺ 饱和吸收体被动调 Q 激光器效率问题的关键。与同样条件下的染料调 Q 激光器比较,输出性能获得了很大的改善,输出能量由原来 4 ~ 6mJ 的提高到 10 ~ 15mJ,激光动态输出脉宽由原来的 20ns 压缩到 10 ~ 12ns,输出稳定性大大提高。

(2) 坪区宽度的实验值与理论值有较大的偏差,作者认为这是由于分析过程中没有考虑激光下能级的倒空而引起的。Cr⁴⁺ 饱和吸收体的恢复时间为 3.6 μ s^[9],也就是说,3.6 μ s 以后,粒子反转数才有可能再次达到产生巨脉冲所需要的值,实验中也发现,双脉冲间隔约为 4 ~ 5 μ s,而激光下能级的寿命为 30ns,因此,粒子反转数再次达到 n_t 需要的时间内,激光下能级已经倒空,实际的剩余的反转粒子数 n_r 一定大于 n_t ,从而实际的坪区宽度远小于理论值,根据实验数据,在低能量区域,坪区宽度应修正为: $t_{th} = \mu E_{th}/5$ 。

(3) 温度升高时,能量增大,坪区展宽;反之,温度降低,能量减小,坪区变窄。为确定合适的工作点,保证器件在很宽的温度范围内能够正常工作,我们采用西物所以及俄罗斯生产的 10 块晶体,测量了激光器阈值随温度的变化,结果表明:当环境温度由 - 40 增加到 + 60 ,激光器的阈值平均提高了 0.55J,而实验测得的最小坪区宽度为 0.9J,完全可以满足高低温条件下的工作需要,工作点一般可选择为略高于高温极限条件下阈值能量。

3 结 论

采用双掺杂 YAG 晶体,通过参数的优化,小型 Cr⁴⁺ YAG 被动调 Q 重频自然冷却(Ce, Nd) YAG 激光器,在低能量区域获得比较满意的结果,器件实现了小型化、工程化,在 + 60 ~ - 40 范围内正常工作,达到了实用化水平。

我们的研究工作是在西南技术物理研究所项目组前期工作的基础上完成的,并得到了项目组同志的指导与帮助,作者在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 Miller J J, Alcock A J, Bernard J E. Optical Society of America, 1992; 13: 322 ~ 325
- 2 Shimony Y, Burshtein Z, Kalisky Y. IEEE, 1995; 31(10): 1738 ~ 1741
- 3 Kalisky Y, Baraga A B A, Shimony Y *et al.* SPIE, 1996; 2698: 149 ~ 156
- 4 雷海容, 刘宏发, 严柏生 *et al.* 光学学报, 1996; 16(8): 1191 ~ 1193
- 5 刘敬海, 徐荣甫. 激光器件与技术. 北京: 北京理工大学出版社, 1995: 150 ~ 152

高斯光束在对数型非线性介质中的传输特性

康 俊 唐永林 李大义 陈建国 张科军
(四川大学光电系 ,成都 ,610064)

摘要: 根据对数型非线性介质中高斯光束的束宽和波阵面曲率变化所满足的耦合方程,采用数值计算对高斯光束的传输特性进行了详细的分析。结合相图分析了高斯光束在不同初始条件下束宽与波阵面的变化情况。利用力学类比,讨论了高斯光束在传输过程中形成的对称呼吸模式与不对称呼吸模式的空间孤子。

关键词: 对数型非线性介质 高斯光束 空间孤子 呼吸模式

Propagating characteristics of Gaussian beam in logarithmically nonlinear media

Kang Jun , Tang Yonglin , Li Dayi , Chen Jianguo , Zhang Kejun
(Department of Optoelectronics ,Sichuan University ,Chengdu ,610064)

Abstract: Numerically solving equations governing the variations of the beam size and the curvature of wave front in the logarithmically nonlinear media (LNM), the propagating characteristics of Gaussian beams have been described in detail. With the aid of phase diagram, variations of parameters of Gaussian beams have been analyzed for different initial parameters. Using methods adopted in mechanics, the solitons of symmetrical breath mode and non-symmetrical breath mode in propagation of Gaussian beams have been discussed.

Key words: logarithmically nonlinear media Gaussian beam spatial solitons breath mode

引 言

近年来,研究发现一种新型的非线性介质^[1],由于可以用对数函数很好地描述折射率对光束强度的非线性响应,因而称之为对数型非线性介质(LNM)^[2]。Snyder 等人预言的高斯光束在 LNM 中形成空间孤子的呼吸模式^[2],在实验上得到了 Tikhomenko 的证实^[1]。在本文中,我们根据高斯光束宽度和波前曲率半径变化所遵从的耦合方程,采用数值计算并结合相图详细地描述在 LNM 中形成的高斯型空间孤子。研究表明,对不同的初始条件,可以区分为静

- 6 Koechner W. Solid-state laser engineering. Second Edition. Germany:Springer-Verlag Press,1989:403~405
- 7 张行愚,赵圣之,王青圃 *et al.* 光学学报,1998;18(9):1180~1185
- 8 张行愚,王青圃,赵圣之 *et al.* 光学学报,1994;14(7):687~691
- 9 张行愚,赵圣之,王青圃. 光电子·激光,1998;9(6):454~457
- 10 Zhao G, Zhu B, Chen X Y *et al.* SPIE,1998;3549:128~133

作者简介:陈肖燕,女,1961年8月出生。硕士,讲师。现主要从事通信及激光技术方面的教学和研究工作。