

双棒串接、声光调 Q Nd:YAG 激光器

侯学元 黄俊刚 李宇飞 孙渝明 张 彪 刘恩泉

(山东大学 信息科学与工程学院光学系 济南 250100)

摘要 在计算谐振腔稳定参数 $(A+D)/2$ 基础上,采用双棒串接、声光调 Q,获得了 75W1.06 μ m 准连续激光输出。在此基础上,腔内插入一块 8mm $\times$ 8mm $\times$ 7mm 的高纯 KTP 晶体,获得了 31.1W 的倍频绿光输出。

关键词 双棒串接 声光调 Q 准连续 倍频

Two Rods Series Connection A. Q - Switch Nd:YAG Laser

Hou Xueyuan, Huang Jungang, Li Yufei, Sun Yuming, Zhang Biao, Liu Enquan

(Department of opties, Shandong University, Jinan 250100)

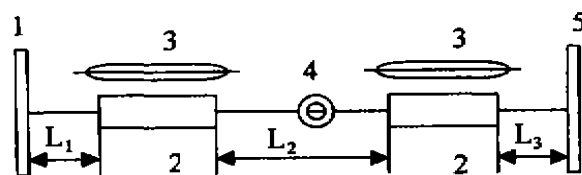
Abstract Three resonators' stable parameters, $(A+D)/2$, are calculated respectively. By using two rods series connection and A. Q - switching, we have achieved 75W1.06 μ m quasi - continuous laser output. On this base, after putting a 8 $\times$ 8 $\times$ 7mm³ high purity KTP crystal into the cavity, 31.1W frequency - doubling green laser output is obtained.

Key words two rods series connection, A. Q - switching, quasi - continuous, frequency - doubling

利用声光调 Q,在 CW Nd:YAG 激光器中获得高峰值功率的准连续激光输出,已在诸如激光打标、切割等工业加工和腔内倍频、频率上转换等领域获得了广泛的应用^[1,2]。传统的这类激光器多采用一支 Nd:YAG 棒加上声光 Q 开关组成,往往因腔型不对称影响激光功率输出,或因灯泵浦功率太高带来诸多麻烦。我们采用单灯泵浦、双棒串接、声光调 Q,制作了一台准连续输出的 Nd:YAG 激光器。利用 ABCD 传输矩阵,计算了谐振腔稳定参数 $(A+D)/2$ 值,设计了比较好的腔型结构,获得了 75W1.06 μ m 的准连续激光输出。在此基础上,腔内插入一块 8mm $\times$ 8mm $\times$ 7mm 的高纯 KTP 晶体,获得了 31.1W 的倍频绿光输出。

实验装置

实验装置如图 1 所示。聚光腔为单椭圆柱镀膜腔,腔长为 110mm;两支 Nd:YAG 棒尺寸分别为 $\Phi 6\text{mm} \times 100\text{mm}$ 和 $\Phi 6\text{mm} \times 95\text{mm}$;氪灯尺寸为 $\Phi 9.5\text{mm} \times 100\text{mm}$;全反镜对 1.06 μ m 高反,输出镜对 1.06 μ m 透射率分别为 $T=15\%、20\%、25\%、28\%、40\%$ 。



1. 全反镜; 2. Nd:YAG 棒; 3. 氪灯; 4. 声光 Q 开关; 5. 输出镜

图 1 实验装置图

理论分析

Nd:YAG 棒在激光运转过程中表现出强

2001 年 9 月 9 日收稿

烈的热透镜效应,它直接影响谐振腔的稳定性。插入腔内的声光 Q 开关(及 KTP 晶体),由于激光束的加热同样也会引起热透镜效应,但与 Nd:YAG 棒相比可以忽略不计,它们的存在只改变谐振腔的光学长度,并不影响腔的稳定性和腔内其他位置的束参数。因此在讨论谐振腔的稳定性时,只考虑 Nd:YAG 棒热透镜效应,此时图 1 的薄透镜等效腔如图 2。据此写出 ABCD 传输矩阵。

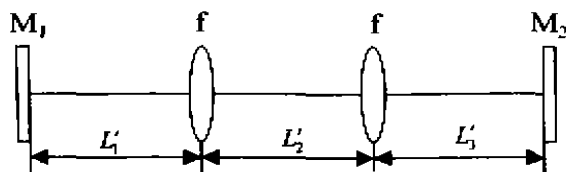


图 2 实验装置等效光路图

$$T = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -f^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -f^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -f^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

谐振腔的稳定条件为

$$-1 < (A+D)/2 < 1$$

利用图 1 实验装置,根据对单根 Nd:YAG 棒热焦距的测量^[3],我们分别对三种腔型进行了实验并做出了稳定性分析。

- a) $L_1=120\text{mm}, L_2=170\text{mm}, L_3=115\text{mm}$;
- b) $L_1=170\text{mm}, L_2=270\text{mm}, L_3=170\text{mm}$;
- c) $L_1=250.5\text{mm}, L_2=270\text{mm}, L_3=250.5\text{mm}$ 。

对这三种腔性,分别对其稳定参量 $(A+D)/2$ 值的分布进行了计算,计算结果绘于图 3 (a)、(b)、(c)中。

由图可见,对高功率运转时,腔型(a)的 $(A+D)/2$ 值大都集中在 1 附近,极易逸出稳定区,导致高泵浦功率下激光输出下降。腔型(c),在 $f=200\sim 300\text{mm}$ 一段 $(A+D)/2$ 值均超过了 1,相当多的一部分高功率段处于稳定区之外。腔型(b)在 $f=130\sim 500\text{mm}$ 段均处于稳定区,仅有一小部分 $(A+D)/2$ 值稍大于 1,因而在这三种腔型中,(b)为最佳选择。实验结果与

理论分析符合得相当好,腔型(b)在 $f=700\text{mm}$ 附近有一小段 $(A+D)/2$ 值超过了稳定边界,实验中发现氪灯输入电流(两灯串联) $I=19\text{A}$ 附近(对应的 $f=700\text{mm}$ 左右),激光输出功率大幅降低,甚至到了 $I=14\text{A}$ 的激光输出水平,过了这个点后,功率恢复增加,从而证明了理论分析的正确性。

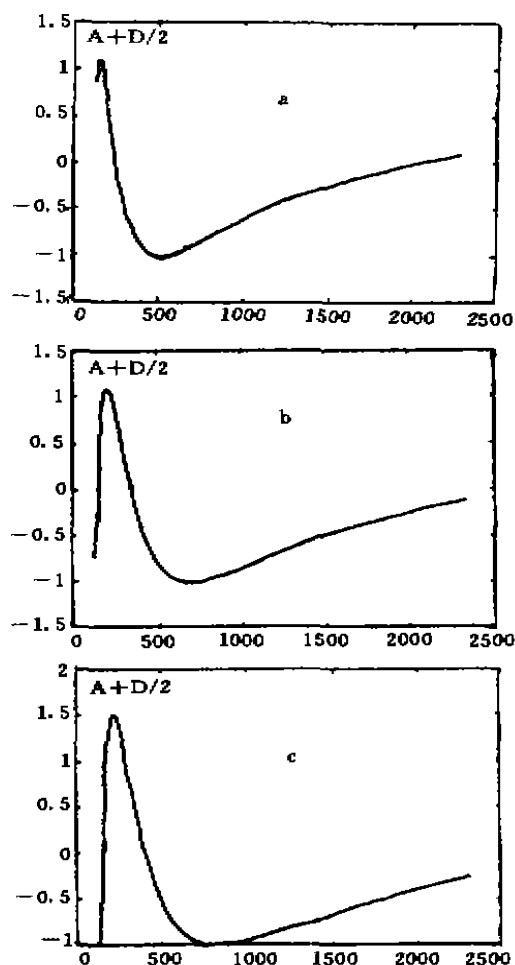


图 3 谐振腔 $(A+D)/2$ 值分布图

实验结果与分析

1. $1.06\mu\text{m}$ 准连续激光

利用图 1 所示实验装置,采用图 3(b)型谐振腔,声光 Q-开关置于两根 Nd:YAG 棒之间。因 Nd:YAG 的荧光寿命 $\tau \sim 230\mu\text{s}$,故选择声光 Q-开关的重复率 $f_m \approx 4.6\text{KHz}$,因此时调

Q 激光器的有效利用率最高^[4]。当声光 Q-开关驱动功率为 70W 时,改变输出镜透过率分别为 $T=15\%$ 、 20% 、 25% 、 28% 、 40% ,激光输出功率随灯泵浦功率的变化曲线如图 4 所示。

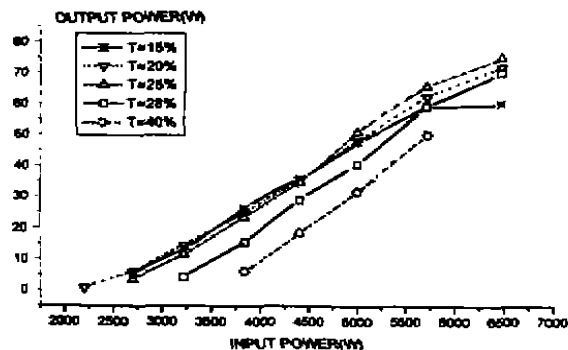


图 4 对不同透过率激光输出功率随输入功率的变化曲线

由图 4 可看出,对各种不同的透过率,激光输出功率随输入功率基本呈线性增加关系。对连续(CW)激光器,该激光器 $T=15\%$ 基本上是最佳透过率,但对声光调 Q 的准连续激光器, $T=15\%$ 时随着泵浦功率的增加,输出功率已趋向饱和。由于腔内峰值功率比较高,增益比较大,因而要求输出镜透过率比较大。就本激光器而言, $T=25\%$ 为最佳。当 $T=28\%$ 、 40% 时,由于增加了损耗,阈值泵浦功率升高,但其斜率效率并不低。因此,随着泵浦功率的继续增加,最佳透过率也应相应增加。

2. $0.53\mu\text{m}$ 倍频光

在上述实验装置中,将输出镜换为 $1.06\mu\text{m}$ 高反, $0.53\mu\text{m}$ 高透的双色镜,并在靠近输出镜一端放置一块 $8\text{mm} \times 8\text{mm} \times 7\text{mm}$ 的 KTP 晶体,在 KTP 晶体于 Nd:YAG 棒之间放一块 $1.06\mu\text{m}$ 高透, $0.53\mu\text{m}$ 高反的双色镜,就构成了一台绿光倍频激光器。我们利用高纯 KTP 晶体^[5]获得了 31.3W 的 $0.53\mu\text{m}$ 绿光输出。固定灯泵浦功率为 4450W ,改变声光 Q-开关的重复率 f_m ,测得绿光输出功率如图 5 所示。

图 5 显示, $0.53\mu\text{m}$ 倍频光的输出与声光 Q 开关的重复频率有着很强的依赖关系。由于 $P_{2\omega} \propto P_{\omega}^2$ 的非线性关系,基频光峰值功率越高,倍

频效率越高。但我们测量 $0.53\mu\text{m}$ 倍频光的输出功率实际上是一个平均值。当 f_m 比较小时,尽管腔内 $1.06\mu\text{m}$ 基频光每个小脉冲的峰值功率比较大,每个光脉冲经过 KTP 晶体时倍频效率很高,但由于单位时间通过 KTP 晶体光脉冲的个数较少,故 $0.53\mu\text{m}$ 激光输出的平均功率较低。当 f_m 较大时,腔内 $1.06\mu\text{m}$ 基频光的每个小脉冲的峰值功率变小,尽管单位时间通过 KTP 晶体光脉冲个数增加,但由于倍频效率降低, $0.53\mu\text{m}$ 激光输出平均功率降低,故存在一最佳 f_m 。

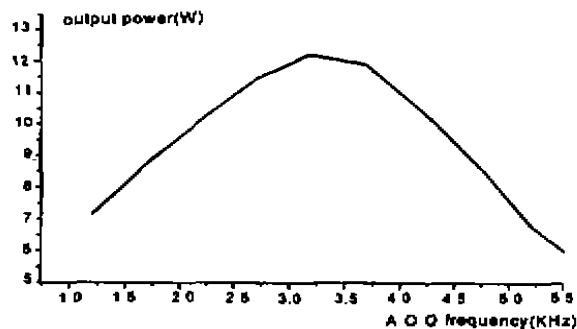


图 5 $0.53\mu\text{m}$ 倍频光随 f_m 变化关系

结 论

利用 ABCD 传输矩阵,计算了双棒串接 Nd:YAG 激光器谐振腔的稳定参数 $(A+D)/2$ 值。采用声光调 Q,获得了 75W $1.06\mu\text{m}$ 准连续激光输出。在该激光器中插入一块 $8 \times 8 \times 7\text{mm}^3$ 的高纯 KTP 晶体,通过声光重复率的选择,获得了 31.1W 的 $0.53\mu\text{m}$ 倍频绿光输出。鉴于实验条件限制,如能缩小两棒之间的距离,可望获得更佳的实验结果。

参 考 文 献

- [1] 胡国绎等,中国激光,1996,24(5),391
- [2] P. E. Perkins, J. Opt. Soc. Am. B, 1987, 4(7), 1066
- [3] 侯学元等,光电子·激光,1999,10(3),276
- [4] 兰信锯等,《激光技术》,湖南科学技术出版社,79.9.97
- [5] 孙渝明等,中国激光,2001,28(1),7