

采用平凸腔自准直输出的 (Ce, Nd) : YAG激光器

赖洪章

(江苏曙光光学电子仪器厂, 扬州, 225001)

摘要: 大多数小型手持式激光测距仪均采用平行平面谐振腔结构的Nd : YAG激光器作为测距光源, 因其激光器的峰值功率不高, 激光束散角差, 重复工作频率低而使测距仪的性能受到一定限制。我们采用能同时压缩脉宽和束散角的平凸型非稳腔和热效率高的新型双掺(Ce, Nd) : YAG晶体, 装调出的激光器获得了18.6mJ能量, 5ns脉宽, 0.6mrad束散, 峰值功率3.7MW的激光单脉冲输出。

Auto-collimated output (Ce, Nd) : YAG laser with a plane-convex resonator

Lai Hongzhang

(Jiangsu Shuguang Opto-electronic Instrument Factory)

Abstract: The lower peak power, the large divergence angle and the low repetition frequency of the Nd : YAG laser with the parallel plane resonator, which is used as a ranging light source in most small sized handheld laser rangefinders, restrict the performances of those rangefinders to a certain extent. A plane-convex unstable resonator by which both pulse width and divergence angle can be decreased and a new high thermal efficiency Ce and Nd doped YAG crystal have been designed for a laser which a single laser pulse output with an energy of 18.6mJ, a pulse width of 5 ns, a divergence angle of 0.6 mrad and a peak power of 3.7 MW has been obtained.

一、引 言

目前国内外大多数小型手持式激光测距仪均采用平行平面谐振腔结构的Nd : YAG激光器作为测距光源, 作用距离为5~10km。为提高测距仪的光束质量, 现多用外扩束望远镜的方法来压缩激光束散角, 且激光器的脉宽在15ns左右, 峰值功率不高。小型手持式激光测距仪多为自然冷却, 工作频率受到一定限制, 近来我们采用能同时压缩脉宽和束散角的平凸型非稳腔和热效率高的双掺(Ce, Nd) : YAG晶体棒, 经一球面镜补偿后获得了自准直平行光输出, 激光器经装在新一代手持式激光测距仪上使用, 得到了较为满意的测距结果。

二、谐振腔及工作物质的选取

1. 谐振腔的选取

目前,因平行平面谐振腔的结构简单,调校方便,在小型手持式激光测距仪中仍被广泛采用。但如需进一步减小测距仪的体积、重量,则会因激光器的腔长缩短,发散角增大,势必采用大倍率的扩束望远镜系统来压缩激光束散角而增加工作上的困难。同时,大多数小型手持式激光测距仪中的激光器均采用小型紧包型聚光腔,随着测距重复工作频率的提高和工作时间的延长,会因工作物质内部的温度升高而使输出能量下降,严重时会使测距仪不能正常工作。平凸型谐振腔归属于非稳定腔型,与平行平面腔相比,它有如下优点:1.省掉发射天线,采用组合透镜补偿,能得到自准直平行光输出,有利于器件的小型化;2.模体积较大,可得到较高的激光输出能量;3.选模能力强,较容易实现基模运转;4.具有小的激光束散角和较高的激光峰值功率;5.抗失调能力强。因此,在我们的激光器中采用了这种平凸式非稳定腔型结构。

2. 工作物质的选取

Nd:YAG晶体是目前在激光测距领域应用最为广泛的一种晶体。随着激光技术的日益发展和小型手持式激光测距仪要求的不断提高,发现该种晶体也存在一些不足的方面:1.激光器的动态效率不高,一般只有3%~4%左右;2.自然冷却条件下激光器重复工作频率不高,多为5~10次/min;3.随着工作时间的增大,激光输出会出现衰减……。而西南技术物理所研制成功的新型双掺晶体——(Ce, Nd):YAG晶体具有阈值低,效率高,能量大,输出稳定,抗紫外辐射能力强,以及对环境温度和冷却条件要求不高等优点^[1],因此我们选用了这种新型的(Ce, Nd):YAG晶体作为激光器的工作物质。

三、谐振腔参数的计算及选定

对于非对称型谐振腔,因输出耦合镜不同,其相应的计算公式也不尽相同。对于我们现确定的腔型结构,单向耦合公式为:

$$\delta = 1 - \frac{\gamma}{M^2} \quad (1)$$

式中, γ 为输出镜的反射率, M 为光线在腔内往返一次的几何放大因子。通常,一般都选用公式^[2]

$$\delta = 1 - \frac{1}{M^2} \quad (1')$$

对从平面镜输出的这种混合平凸透射非稳腔,经分析计算,有

$$R/L = 4M/(M-1)^2 \quad (2)$$

式中, R 为后全反射镜的曲率半径, L 为计及有工作物质折射率修正的折合腔长。

$$L = \sum \frac{l_i}{n_i} \quad (3)$$

l_i , n_i 为腔内第 i 个介质的相应长度和折射率。

根据球面镜反射的成象公式可得出从等效发光中心到输出反射镜的距离,有

$$\rho = L \sqrt{1 + |R/L|} \quad (4)$$

将 (2) 式代入 (4) 式, 得到

$$\rho = L \left(\frac{M+1}{M-1} \right) \quad (4')$$

那么, 这种腔型的等效菲涅耳数就是

$$N_{eq} = \frac{a^2}{\lambda \rho} = \frac{a^2}{\lambda L} \left(\frac{M-1}{M+1} \right) \quad (5)$$

式中, a 为输出反射镜的激光输出的有效半径, λ 为激光波长。

腔内为达到衍射极限, 基模的建立时间应为:

$$\tau_b = \frac{\ln 2 N_{eq}}{\ln M} \cdot \frac{2l_0}{c} \quad (6)$$

式中, $2l_0/c$ 表示光在腔中来回传播一次的时间, l_0 为光程长。根据分析和试验发现, 设计中只要适当地选取全反射镜的曲率半径 R , 腔长 L 和输出镜反射率 γ 的大小, 就可以得到能同时压缩脉宽和束散的理想结果。

大家知道, 这种腔型的基模是从虚发光中心发出而沿球心棒轴联线方向传播的理想球面波。对测距仪来说需用一平凸透镜补偿成平行光输出, 因此, 所选平凸透镜的曲率半径应当满足

$$f = 2R_c = \rho + \Delta l + \Delta \rho \quad (7)$$

式中, R_c 为补偿平凸透镜的曲率半径, Δl 为输出镜至补偿镜间的距离, $\Delta \rho$ 为一正修正量。

我们的实际谐振腔结构示意图如图1所示。

具体的参数取值为: 工作物质为双掺 (Ce, Nd) : YAG 晶体, 尺寸为 $\phi 3.5\text{mm} \times 50\text{mm}$, 对 $1.06\mu\text{m}$ 波长的折射率为 1.8197, 输出反射镜的膜层直接镀在棒的一端面, $\gamma = 0.6$, 调 Q 染料片厚度为 0.14mm , 折射率为 1.48, 相应的折合腔长为

$$L = \frac{50}{1.8197} + \frac{0.14}{1.48} + (56.5 - 50 - 0.14)/1 \approx 34.43\text{mm}$$

选取输出耦合率 $\delta = 0.77$, 则放大因子

$$M = [0.6/(1-0.77)]^{1/2} \approx 1.615$$

$$R = 4 \times 1.615 \times 34.43 / (1.615 - 1)^2 = 587.993\text{mm}$$

考虑到工厂有现成的标准样板, 实际取

$$R = 587.5\text{mm};$$

$$\rho = 34.43 \times (1 + 587.5/34.43)^{1/2} \approx 146.33\text{mm};$$

$$l_0 = 50 \times 1.8197 + 6.5 \times 1 = 97.485\text{mm};$$

$$N_{eq} = \frac{a^2}{\lambda \rho} = 1.75^2 / 1.06 \times 10^{-3} \times 146.33 = 19.74;$$

$$\tau_b = (\ln 2 N_{eq} / \ln M) \cdot (2l_0 / c) = 5 \times 10^{-9}\text{s}.$$

从上述结果可知, 为达到衍射极限, 腔内只需 5ns 的时间就能建立起低阶模脉冲激光。

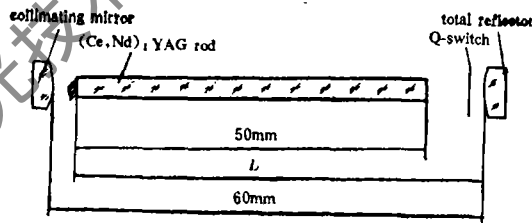


Fig. 1 The construction of a plane-convex unstable resonator

四、激光器的主要参数及测距能力

整个激光器件结构如图2所示，聚光腔为小型圆柱玻璃聚光腔，脉冲氙灯泵浦，氙灯尺寸为 $\phi 3.5\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，激光器的体积为 $\phi 20\text{mm} \times 72.5\text{mm}$ 。经测试，激光器的主要参数数据

如附表所示。采用该激光器的新一代小型手持式激光测距仪，与接收口径相同，接收器件相同，激光器为平平腔，4倍天线压缩的小型手持式激光测距仪初步进行了测距对比，在天气不太好的情况下，对7km处的烟囱，前者对其顶部能稳定测距，而后者只能偶尔测回烟囱下半部分的距离。且重复工作频率由原来的6~10次/min提高到15次/min时，也未发现激光输出有衰减的现象。

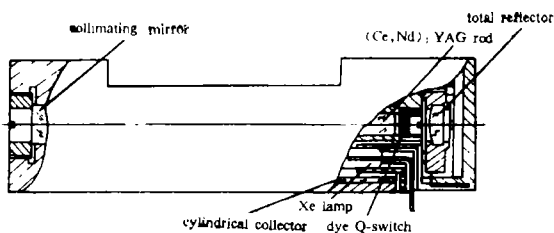


Fig. 2 The construction of the laser

Table The main technical statistical data of laser

name	data	unit
single pulse laser threshold in Q-switch state	3.0	J
single pulse laser length in Q-switch state	0.11	J
single pulse laser energy in Q-switch state	18.6	mJ
efficiency in Q-switch state	6.2	%
laser pulse duration	5	ns
laser divergence	0.6	mrad
laser pulse peak power	3.7	MW

参 考 文 献

- [1] 钟 鸣, 韩 凯. 激光技术, 1992; 16(1): 7
- [2] 朱连新. 激光技术, 1987; 11(6): 26

* * *

作者简介: 赖洪章, 男, 1950年10月出生。工程师。现主要从事固体激光器件的设计与研究工。

收稿日期: 1992年8月13日。

· 产品简讯 ·

近红外可调谐的激光棒

美国巴尔的摩Brimrose公司推出一种在1167nm和1345nm间可调谐的 $\text{Cr}^{4+} : \text{Mg}_2 \text{SiO}_4$ (镁橄榄石) 激光棒, 尺寸齐全, 可以用于光纤通讯、激光测距、医用和其它研究应用。该种材料的性能类似被动调Q开关, 用1064nm Nd:YAG激光泵浦, 能发送10~20ns脉冲供锁模应用。

译自L F World, 1992; 28(11): 175 卢中尧 译 巩马理 校