

## 小型热传导冷却(Nd, Ce): YAG 激光器热稳定性研究

陈肖燕

赵刚

(西南交通大学应用物理系, 成都, 610031) (西南技术物理研究所, 成都, 610041)

**摘要:** 在小型  $\text{Cr}^{4+}$ : YAG 被动调 Q 热传导冷却(Nd, Ce): YAG 激光器中, 采用定向反射器取代平行平面腔中的全反射镜, 大大提高了器件的热稳定性, 获得了重复频率 5pps 的激光输出, 单脉冲激光能量输出 20~ 25mJ, 调 Q 激光脉宽 15ns, 束散 3~ 5mrad, 工作温度范围 - 40°C ~ + 55°C, 激光器总长度小于 130mm。

**关键词:** 热传导冷却 (Nd, Ce): YAG 激光器 热稳定性 被动调 Q

## Study on thermal stability characteristic of miniature conductive cooling repetitive(5pps) (Nd, Ce): YAG laser

Chen Xiaoyan

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

Zhao Gang

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

**Abstract:** In the miniature  $\text{Cr}^{4+}$ : YAG passive Q-switched conductive cooling repetitive (Nd, Ce): YAG lasers, replacement of the 100% reflector of its plane-parallel resonator with a TIR (total internal

排列, 前面光栅的衍射效率有偏差, 直接导致后面的弹射光能量值改变, 使后续输出光能量改变。(4) 薄膜在波导表面难以贴得严格平整, 膜与玻璃间可能有气隙存在。(5) 采用 Nd: YAG 作激光介质、KTP 作倍频材料、腔内倍频的二极管泵浦倍频固体激光器的绿色噪声的影响。实际制作中, 可针对造成误差的原因, 进行修正, 减小误差。

### 3 结 论

笔者所述的方法, 不仅可以与波导表面垂直的输入光, 产生与波导表现垂直的输出光, 还可通过改变记录时参物光的入射角, 制作干涉条纹面与聚合物表面成任意倾斜度的体积光栅, 并将其用于制作输入光、输出光与波导表面成任意夹角的光互联。由于使用光致聚合物制作的光栅, 具有高的衍射效率, 且体积小、重量轻, 因此, 全息光互联的应用前景非常广阔。

### 参 考 文 献

- 1 Chen R T, Tang S, Li M M *et al.* A P L, 1993; 63(14): 1883~ 1885
- 2 于美文. 光全息学及其应用. 北京: 北京理工大学出版社, 1994: 255~ 258
- 3 张存林, 于美文. 光学学报, 1993; 13(8): 728~ 733
- 4 Liu J, Fu Zh H, Chen R T. Opt Engng, 1998; 37(2): 660~ 665

作者简介: 宫爱玲, 女, 1965 年 5 月出生。副教授。现主要从事物理教学和全息技术研究。

reflection) prism, gives better thermal stability characteristic and the repetitive frequency reaches 5pps. Single laser pulse output gets to 20~ 25mJ with pulse width smaller than 15ns. The operation ambient temperature range reaches - 40℃~ + 55℃.

**Key words:** conductive cooling (Nd, Ce): YAG laser thermal stability passive Q-switched

# 引言

在小型固体激光器中,采用热传导冷却方式,结构紧凑,抗振动、抗冲击能力强,适用于机载、军用等恶劣条件下使用的激光器。由于激光晶体在工作过程中的热效应,使得热传导器件输出能量和重复频率受到限制。随着输出能量的增加,工作频率的提高,激光棒的热效应随之增大,导致激光输出性能下降,激光光轴漂移。由于热传导冷却方式的散热是关于光轴非径向对称,因而给热效应的补偿带来了困难。C. H. Chadwick 曾提出<sup>[1]</sup>,通过减小热导体与激光棒的接触角范围到 70°~ 80°,可以获得近似的关于光轴径向对称的热分布,从而用普通的透镜实现对热效应的补偿。但是,减小接触范围,同时也减弱了冷却效果,且热效应是随输入能量和重复频率的增加而不断变化的,因此,对热效应的补偿仍然很困难。我们采用定向反射镜取代平行平面腔中的全反射镜,构成平面-定向反射镜腔(以下简称为定向反射镜腔),大大提高了器件的热稳定性,使小型 Cr<sup>4+</sup>: YAG 被动调 Q 热传导自然冷却(Nd, Ce): YAG 激光器的重频提高到 5pps,输出能量 20~ 25mJ,调 Q 激光脉宽 15ns,束散 3~ 5mrad,工作温度范围 - 40℃~ + 55℃,激光器的总长度小于 130mm。

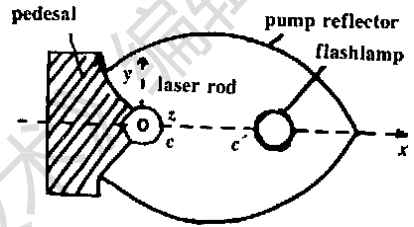


Fig. 1 Geometry of a conductive cooling laser

## 1 理论分析

### 1.1 热传导冷却谐振腔中的热效应

我们研制的机载小型 Cr<sup>4+</sup>: YAG 被动调 Q 重频热传导自然冷却(Nd, Ce): YAG 激光器,采用平行平面腔结构,金属壳体与热传导基座相连,谐振腔镜则通过三颗螺钉固定于基座上,热传导冷却聚光腔结构示意图如图 1。

分析激光棒中的热效应,通常是求解满足一定边界条件的热传导方程,获得激光棒中的温度分布。对于热传导冷却方式,由于边界条件的非对称性,无法得到热分布的解析解,故定性分析如下:由图 1,激光棒中温度的变化,主要体现在 x 方向,由于冷却作用主要通过热导体实现,离热导体愈远,冷却效果愈差,激光棒中的热效应沿 x 轴是逐渐严重,因此,形成热效应(包括表面热形变及折射率随温度的变化)的等价失调角 ε' 如图 2 所示,这种热效应的作用类似于一个光楔。可采用失调光学矩阵方法,分析这种热效应对光束传输的影响。

设激光棒长度为 l,折射率为 n,由文献[2],在 xoz 平面激光棒的增广传输矩阵为:

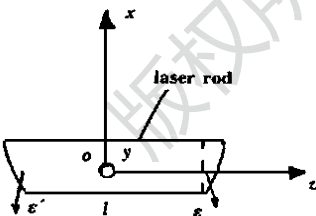


Fig. 2 A model for thermal effect of conductive cooling laser

$$m = \begin{pmatrix} 1 & l/n & 0 & (1 - 1/n) \epsilon' \\ 0 & 1 & 0 & 2(n - 1) \epsilon' \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

平面反射镜的传输矩阵为<sup>[3]</sup>:

$$m_p = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

根据(1)式,(2)式,不难得出,在平行平面腔光线经过一个往返以后关系满足:

$$x_o = x_i + 2L\theta_i + 2[(1 - 1/n) + 2l_2(n - 1)]\dot{\epsilon}' + 2L(n - 1)\dot{\epsilon}' \quad (3)$$

$$\theta_o = \theta_i + 2 \times 2(n - 1)\dot{\epsilon}' \quad (4)$$

式中,  $x_i, \theta_i$  为初始光束参数,  $x_o, \theta_o$  为经过一个往返后的光束参数,  $L = l_1 + l_2 + l/n$ 。由以上结果,平行平面腔内,在热畸变效应影响下,光线每完成一个循环,其位置和角度都发生相应的变化,将导致输出光束横向位移和角倾斜,这与谐振腔失调的情形类似,经多次往返后,将溢出腔外,严重时导致激光过程终止。

## 1.2 热效应的补偿

为补偿这类光楔的热效应,以直角棱镜取代全反射镜(直角棱镜的棱平行于  $y$  轴),在  $xoz$  平面,直角棱镜的传输矩阵为<sup>[4]</sup>:

$$m_T = \begin{bmatrix} -1 & -2l/n \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中,  $l$  为直角棱镜的高,  $n$  为棱镜的折射率,由(1)式,(2)式,(5)式可得出,光线经一个往返后满足:

$$x_o = -x_i - (2L + 2l/n)\theta_i - 2(n - 1)\dot{\epsilon}'(L + 2l/n) \quad (6)$$

$$\theta_o = -\theta_i \quad (7)$$

可见,用直角棱镜取代一个全反镜,经过一个往返,光线的传播方向与热效应无关,对于这种热畸变不敏感,可以提高器件对热效应的容限。但是,直角棱镜只能在一个方向上具有这种作用,而在平行于棱镜棱的方向上,其作用类似于平面镜,因此无法消除其它方向上畸变热效应的影响。

定向反射镜由 4 个平面组成,其中 3 个面相互成  $90^\circ$ ,底面为入/出射面。根据其基本性质<sup>[5]</sup>,在过顶点及光轴的任何一个平面里,都具有与直角棱镜相同消除热畸变效应的作用,以定向反射镜取代全反镜,构成定向反射镜腔,可消除任意方向上的热畸变效应,再加上定向反射镜腔所固有的失调灵敏度低,可提高激光棒的损伤阈值等优点<sup>[6]</sup>,采用后大大提高了器件的热稳定性。

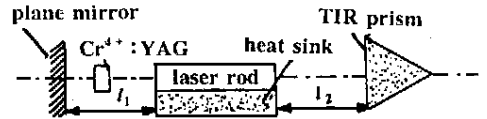


Fig. 3 Experiment setup of laser resonator with a TIR prism

## 2 实 验

### 2.1 实验装置和实验方法

实验装置:激光棒为  $f4\text{mm} \times 60\text{mm}$  的(Nd, Ce): YAG 双掺棒,  $\text{Cr}^{4+}$ : YAG 晶体作为被动调 Q,腔长为 100mm,相交圆柱镀金聚光腔,热传导冷却,其装置如图 3 所示。

OPHIR DGX 型激光功率/能量计检测激光输出,TEK-P670/A 型光电探头和 TEK-TDS544A 型 500MHz 数字存储示波器测量脉宽。

实验方法:泵浦源设置于 5pss 重频触发,连续工作 1min 后,休息 1min;再连续工作 1min,依此循环 3 次以上。让激光束经焦距为  $f' = 1\text{m}$  的透镜聚焦,记录在感光纸上,每一循环只记录前 5s 和后 5s 激光斑点,最后观测激光聚焦斑点的最大偏移量  $\Delta$ ,即为激光光轴漂移量  $\epsilon = \Delta/f'$ 。其中  $\epsilon$  在水平方向上的分量为  $\epsilon_x$ ,在垂直方向上的分量为  $\epsilon_y$ 。

### 2.2 实验结果

注入能量为 6.5J 时,分别以直角棱镜和定向反射镜取代平行平面腔中的全反射镜,测得未经发射天线压缩的光轴漂移量和输出特性见表 1,实验测得 1min 内的前 5s 和后 5s 的光斑

偏移, 其中直角棱镜腔上下偏移  $\epsilon_y = \Delta/f' = 0.5/2 = 0.25\text{mrad}$ , 左右漂移  $\epsilon_x = \Delta/f' = 3/2 = 1.5\text{mrad}$ ; 而定向棱镜腔观察不到明显的光轴漂移。

Table 1 Laser axis offset and output characteristic with  $E_T = 6.5\text{J}$

kind of resonator	output energy (mJ)		offset of axis (mrad)	offset direction	diffusion angle (mrad)	pulse width (ns)
	first 5s	last 5s				
plane-parallel	55.3	0		$\epsilon_x, \epsilon_y$	3.65	18~22
rectangular prism	53.2	52.0	0.25, 1.5	$\epsilon_x, \epsilon_y$	2.15	14~16
TIR prism	50.6	49.8	—	—	1.95	14~16

\* TIR—Total Internal Reflection.

实验结果表明: (1) 对于平行平面腔结构的小型化热传导冷却(Nd, Ce): YAG 激光器, 在重频 5pps 时, 由于激光棒的热效应, 将不能正常工作。(2) 直角棱镜腔可有效地抑制与棱镜棱线垂直方向上的光轴的漂移, 但在平行于棱线方向上, 却有较大的漂移量, 而且这一漂移的方向和大小都具有随机性, 微调泵浦灯或聚光腔, 光轴漂移的情况即可得到改善。这是由于在  $y$  方向上, 虽然结构上是对称的, 但仍有一些非对称的因素, 如热传导基槽与激光棒的接触不完全对称; 泵浦灯的位置不完全对称; 激光棒本身的不对称, 聚光腔存在的不对称。由于这些因素的存在, 在  $y$  方向也存在少量的类光楔的热效应, 由于在该方向上直角棱镜的性质与平面的性质是完全类似的, 所以出现光轴的漂移, 微调泵浦灯或聚光腔, 也即改变了这些不确定因素, 从而使光轴的漂移情况得到改善。(3) 采用定向反射镜腔, 有效地提高了器件的热稳定性, 获得 5pps 重频输出, 同时, 还可以改善光束质量, 减小了光束的束散角。

### 3 结 论

激光棒中的非径向对称的热效应, 导致小型热传导冷却(Nd, Ce): YAG 激光器工作过程终止或出现光轴漂移, 用定向反射镜腔取代谐振腔中的全反射镜, 可以有效减少这种热效应带来的影响, 使重复频率达到 5pps, 这种腔同时还具有抗失调能力强, 损伤阈值高等优点, 采用定向反射镜腔, 我们获得了重频 5pps 的激光输出, 单脉冲激光能量输出 20~25mJ, 调 Q 激光脉宽 15ns, 束散 3~5mrad, 激光器总长度小于 130mm, 器件达到了实用化要求。

### 参 考 文 献

- 1 Chadwick C H, Altos L, Reed E D *et al.* U S P 4, 199, 735, Apr 22, 1980
- 2 王绍民. 杭州大学学报, 1979; 3: 42~52
- 3 吕百达. 激光光学. 成都: 四川大学出版社, 1986: 29
- 4 黄维刚, 洪熙春, 王绍民. 中国激光, 1982; 10(1): 58~61
- 5 许世文. 计量光学. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1988; 4: 79
- 6 Richards J. An improved prism for use in laser resonators, A DA 112178

\* \* \*

作者简介: 陈肖燕, 女, 1961年8月出生。硕士, 工程师。现主要从事通信及激光器件的教学与研究工作。

收稿日期: 1999-11-04 收到修改稿日期: 2000-01-22