

# Nd:YAG 片状放大器的寄生振荡的研究

丁丽明

(中国科学院上海光机所)

杨福民

(上海天文台)

S.R.Bowman, J.Fogleman

(美国马里兰大学)

## Study on parasitic oscillation of Nd:YAG slab amplifiers

Ding Liming

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Yang Fumin

(Shanghai Observatory, Shanghai)

S. R. Bowman, J. Fogleman, C. O. Alley

(University of Maryland, USA)

**提要:** 研究了 Nd:YAG 片状激光放大器的寄生振荡问题, 使用匹配液及特殊的片状几何形状设计, 解决了这一问题。

**关键词:** 片状放大器, 寄生振荡

我们在美国马里兰大学研制了 Nd:YAG 激活反射镜式的片状放大器。Nd:YAG 的受激发射截面比磷酸盐 Nd 玻璃大一个量级, 它的折射系数高达 1.82。但随之引入了较严重的寄生振荡问题, 它将限制从激光器中获得高能输出。为此, 我们使用了匹配液及特殊的片状几何形状设计, 解决了寄生振荡问题。

Nd:YAG 激活反射镜放大器结构如图 1 所示。YAG 晶体大小为  $1.3 \times 2.8 \times 10 \text{ cm}^3$ 。在此片状放大器中可能存在几种不同模式的寄生振荡<sup>[1]</sup>, 每一种模式的寄生振荡有它自己的振荡阈值, 但起主要作用的是阈值最低的那种模式。分析与实验结果表明, 在我们的片状放大器中, 起主要作用的是长边引起的体振荡模式(图 2)。Nd:YAG 晶体片的一面是涂了  $1.06 \mu\text{m}$  波长的增透面(AR), 另一面是  $1.06 \mu\text{m}$  波长的全反射面(HR), 这种寄生振荡的激光在二表面的反射次数为  $M=L/d \text{tg}\theta$ 。其中  $L$  为片长,  $d$  是片厚度,  $\theta$  是外表面的入射角。这种体模式发生

的振荡阈值条件为

$$RE[HR(\theta)AR(\theta)]^{M/2}e^{\beta L/\sin\theta} \geq 1 \quad (1)$$

式中  $RE$  是二端面的反射率,  $\beta$  是增益系数,  $HR(\theta)$ 、 $AR(\theta)$  是前后表面随入射角变化的反射率, 假设  $HR$ 、 $AR$  为 1, 上式简化为

$$e^{\beta L} \geq \left(\frac{1}{RE}\right)^{\sin\theta} \quad (2)$$

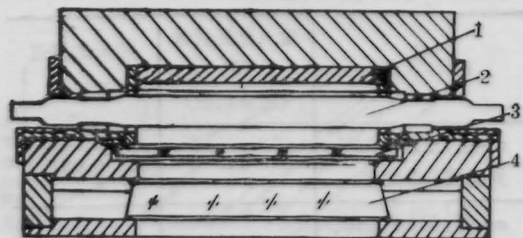


图 1 Nd:YAG 片状反射镜式放大器

1—聚光腔; 2—闪光灯; 3—UV 滤光片;  
4—Nd:YAG 晶体

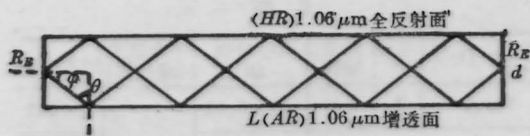


图2 寄生振荡体模式

作者在研制片状放大器过程中,最初把YAG晶体的二端加工成直角并抛光,且直接与空气接触,结果寄生振荡阈值很低。当光泵能量为每脉冲146J时,即能在示波器上观察到灯光波形上迭加激光小尖峰的寄生振荡。因为此时片两端面的临界角只有 $33^\circ$ ,很容易满足(2)式,在YAG晶体内部形成振荡回路。实验测量到二个偏振方向寄生振荡产生的激光强度是不同的,如图3所示。

为了提高寄生振荡阈值,特取折射率为1.606( $n_3$ )的液体作为匹配液。它的组成是硅氧烷和聚醚(Siloxane, Polyether),这种液体的化学性质非常稳定,并对 $1.06\mu\text{m}$ 激光透过率极高(1cm厚的匹配液透过率 $\sim 100\%$ )。当YAG两端面用这种液体包围,后表面仍用去离子水冷却,前表面是空气冷却,则寄生振荡阈值从闪光灯输入能量146J/P提高到400J/P。不产生全反射模式寄生振荡的条件是<sup>[2]</sup>,

$$\left(\frac{n_3}{n_1}\right)^2 > \left(\frac{n_2}{n_1}\right) - \frac{1}{2}$$

$n_2=1.82$ ,  $n_1=1$ ,因此必需要求 $n_3 > 1.67$ ,而我们的 $n_3=1.606$ ,还不够大,所以仍产生全反射式的寄生振荡,只是提高了阈值,但仍没达到设计要求:放大器的增益系数 $\beta$ 必须大于0.21。

为了进一步提高寄生振荡的阈值,我们将晶体的两端面加工成梯形,短边是全反射面,相应的产生寄生振荡阈值方程(1)就成为

$$e^{\beta L} \leq \left(\frac{1}{EE}\right)^{\frac{\sin\theta + \sin(\theta+\alpha)}{2}} \quad (2)$$

表 1

条 件	输入光泵能量 (J) (振荡阈值)	相应的增益 系数 $\beta$
$\alpha=0^\circ$ , YAG晶体 周围没加匹配液	146	0.061
$\alpha=0^\circ$ , YAG晶体 周围加上匹配液	400	0.14
$\alpha=10^\circ$ , YAG晶体 周围加上匹配液	$>729$	0.24

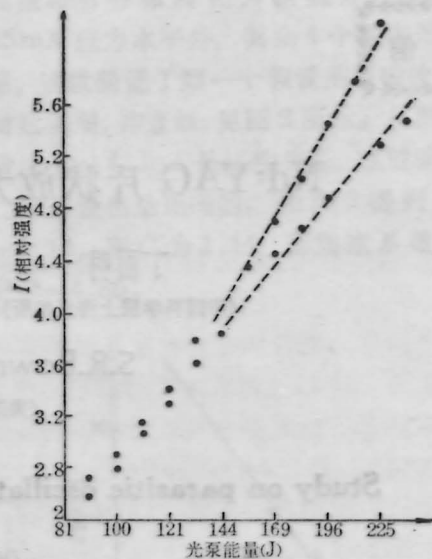


图3 二个偏振方向的能量随输入能量变化曲线

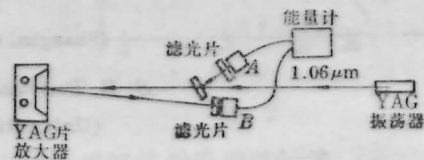


图4 测量片放大器增益光路图

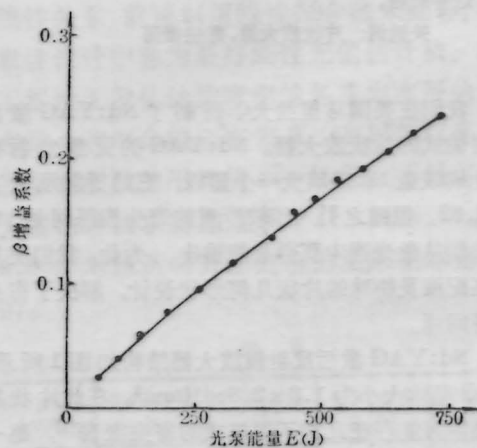


图5 增益系数随光泵能量变化曲线图

为了尽量减少切角( $\alpha$ )带来的应力及使晶体充分利用,必须选择一个合适的 $\alpha$ 角,由公式(2),可以得出当 $\alpha=10^\circ$ 时,即能满足要求,结合使用匹配液,当闪光灯输入能量提高至729J/P时,还没有发生寄生振荡。

使用一台Nd:YAG振荡器(输出脉冲能量0.4

mJ, 脉宽 200 ps, 重复频率 40 Hz), 测量 Nd:YAG 反射镜式片状放大器的增益系数  $\beta$ 。光路安排如图 4, 所得增益系数随光泵能量变化的曲线显示在图 5。实验中, 当发生寄生振荡时, 测到的增益马上趋向饱和。表 1 列出在各种条件下产生寄生振荡的阈值及相应测得的增益系数。

## 参 考 文 献

- 1 David C. Brown, *Appl. Opt.* **17** (2), 211 (1978)
- 2 K. S. Jancaites, L. L. L. Laser Programme, (1982), p. 6.

(收稿日期: 1987 年 12 月 17 日)

# CO<sub>2</sub> 波导激光器的最佳化

柳希俊\* 周慧芬 王明常

(中国科学院上海光机所)

## Optimized waveguide CO<sub>2</sub> laser

Liu Hixhun\*, Zhou Huifen, Wang Mingchang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

**提要:** 计算了内腔封离型 CO<sub>2</sub> 波导激光器的 EH<sub>11</sub> 波导模的传输和耦合损耗, 设计并制造了内腔封离型 CO<sub>2</sub> 波导激光器。器件的最高输出功率为 3.57 W, 单位激活长度和体积的输出功率分别为 0.27 W/cm、17.3 W/cm<sup>3</sup>。

**关键词:** 内腔封离型 CO<sub>2</sub> 波导激光器

### 一、引 言

本文计算了派热克斯玻璃 CO<sub>2</sub> 波导激光器中 EH<sub>11</sub> 波导模的传输、耦合损耗以及激光器的最佳透过率。在此基础上设计和制造了内腔封离型 CO<sub>2</sub> 波导激光器。描述了封离型 CO<sub>2</sub> 波导激光器的放电特性和器件的结构, 而且对放电参量和输出功率之间的关系等一些实验结果进行了讨论。激光器件的平均输出功率为 3 W, 最高达 3.57 W, 单位激活长度和体积的输出功率分别为 0.27 W/cm 和 17.3 W/cm<sup>3</sup>, 与理论计算结果相符。

### 二、实 验 装 置

在电介质中空波导管半径  $a$  恒定时, 波导管长度  $L$  由下式决定:

$$0 < N = a^2/\lambda \cdot L \leq 1 \quad (1)$$

在波导激光器中, EH<sub>11</sub> 波导模的传输和耦合损耗是它的固有特性。E. A. J. Marcatili 和 R. A. Schmelzter<sup>[1]</sup> 推导了中空电介质波导管内电磁场的分布和波导模的传输常数公式, 并且预言了较低阶

次波导模的传输损耗十分低。在中空电介值波导管中, EH<sub>nm</sub> 波导模的传输损耗为

$$\alpha_{nm} = (u_{nm}/2\pi)^2 \frac{\lambda^2}{a^3} \text{Re}(\nu_n) \quad (2)$$

其中  $u_{nm}$  是  $n$  次贝塞尔函数的第  $m$  个根,  $u_{nm}$  的数值示于表 1。

对中空电介质波导管来说,  $\text{Re}(\nu_n)$  和管壁材料的复折射率  $\nu$  之间的关系为

$$\text{Re}(\nu_n) = (\nu^2 + 1)/2(\nu^2 - 1)^{1/2} \quad (3)$$

$$\alpha_{11} = 1.85\lambda^2/a^3 \text{dB} \quad (4)$$

其中

$$1.85 \text{dB} = (u_{11}/2\pi)^2 (\nu^2 + 1)/2(\nu^2 - 1)^{1/2} \quad (5)$$

取  $\nu = 1.5$ ,  $a = 1 \text{ mm}$ ,

$$\alpha_{11} = 0.21 \text{ dB/m} \quad (6)$$

在波导激光器中, 反射镜的耦合损耗在以下三种不同条件下最低<sup>[2]</sup>: 1. 平面镜越靠近波导管端部, 耦合损耗越低; 2. 曲率半径较小的反射镜, 其曲率半径一半等于从波导入口到反射镜的距离时, 激光器的耦合损耗低; 3. 曲率半径较大的反射镜, 当

\* 朝鲜科学院物理研究所, 平壤(Institute of Physics, Academia Korea, Pyongyang)