

文章编号 : 1001-3806(2002)03-0208-03

## 喇曼频移激光器的光损伤研究

李 彤 韩 凯 万 勇

(西南技术物理研究所,成都,610041)

吕 百 达

(四川大学激光物理与化学研究所,成都,610064)

**摘要:** 报道了在内腔复合镜输出方式工作下的高压甲烷气体(Nd,Ce) YAG喇曼频移激光器光损伤机制的理论分析及实验结果,提出了高重复频率工作下喇曼频移激光器解决光损伤的设计方案。

**关键词:** 喇曼频移;热透镜效应;光损伤;SBS;望远镜腔

**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A

## Optical damage investigation of Raman shifting laser

Li Tong, Han Kai, Wan Yong

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

L ÜBaida

(Institute of Laser Physics & Chemistry, Sichuan University, Chengdu, 610064)

**Abstract:** Theoretical and experimental study on the optical damage mechanism of (Nd,Ce) YAG Raman shifting laser in high pressure CH<sub>4</sub> gas with compound output mirror and internal cavity has been reported. The design scheme to solve the optical damage of Raman shifting laser with high repetition frequency has been proposed.

**Key words:** Raman shifting; thermal lensing; optical damage; SBS; telescope resonator

### 引 言

喇曼频移激光器作为实用化的新波长激光器具有比 1.06μm 波长激光器应用更优越的特点,其输出波长 1.54μm 处于人眼安全区域;其穿透烟雾的能力比 1.06μm 波段强,已被应用于激光测距机上。但在用于高重复频率使用条件时,由于光损伤的干扰,目前,国内还没有推广使用,光损伤问题已经成为限制喇曼频移激光更广泛应用的主要原因。我们将对目前常用的复合腔结构的(Nd,Ce) YAG 喇曼频移激光器的光损伤机制从理论上进行分析计算,并与实验结果相比较,证实了光损伤的出现与谐振腔的结构有着密切的关系。

### 1 理论分析

由于考虑提高喇曼转换效率及改进光束质量<sup>[1]</sup>,目前,喇曼频移激光器采用以内腔工作方式为主的复合镜输出方式进行工作,我们所采用的结

构如图 1 所示。其中, M<sub>1</sub> 为 1.06μm 全反射平镜; Q 为电光调 Q 的 LiNbO<sub>3</sub> 晶体; (Nd,Ce) YAG 晶体, Ø5mm × 75mm; M<sub>2</sub> 为辅助输出镜,对 1.54μm 全反射,对 1.06μm 透过率为 85%; F<sub>1</sub> 聚焦透镜与 F<sub>2</sub> 准直透镜构成喇曼池 RC; M<sub>3</sub> 为输出镜,对 1.06μm 全反射,对 1.54μm 透过率为 85%。

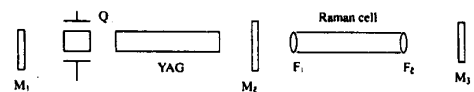


Fig. 1 The scheme of the apparatus

#### 1.1 激光器以单脉冲方式工作

当开始振荡时,腔内光场由 M<sub>1</sub>、望远镜及 M<sub>3</sub> 所决定。从腔型结构来看, M<sub>1</sub> 为 M<sub>3</sub> 腔是一个内插望远镜的平行平面腔,其腔内振荡模式可以通过计算获得<sup>[2]</sup>。

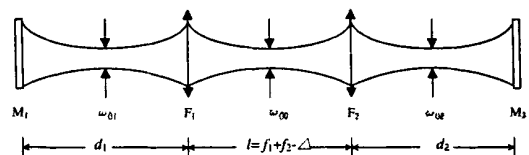


Fig. 2 The schematic diagram of Gaussian beam distribution

腰斑半径:

$$\omega_{01}^2 = \frac{L^*}{M} \cdot \frac{[g_1^* \cdot g_2^* \cdot (1 - g_1^* \cdot g_2^*)]^{1/2}}{g_1^* / M + M \cdot g_2^* - 2g_1^* \cdot g_2^*}$$

作者简介:李 彤,男,1970 年 7 月出生。工程师。现主要从事非线性光学方面的工作。

收稿日期:2001-05-09;收到修改稿日期:2001-06-21

$$w_{02}^2 = \frac{L^*}{M} \cdot \frac{[f g_1^* \cdot g_2^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)]^{1/2}}{M g_1^* + g_2^* / M - 2 g_1^* \cdot g_2^*} \quad (2)$$

腰斑位置:

$$L_{01} = \frac{L^* \cdot g_2^* / M}{g_1^* / M + M \cdot g_2^* - 2 g_1^* \cdot g_2^*} = 0 \quad (3)$$

(腰斑在  $M_1$  上)

$$L_{02} = \frac{L^* g_1^* / M}{M g_1^* + g_2^* / M - 2 g_1^* \cdot g_2^*} = 0 \quad (4)$$

(腰斑在  $M_2$  上)

式中,

$$M = \frac{f_1 f_2 - d_2 - f_2 l}{f_1 f_2}, M = \frac{f_1 f_2 - d_1 - f_1 l}{f_1 f_2} \quad (5)$$

喇曼池中的腰斑:

$$w_{00} = w_{01} \cdot [(\frac{f_1}{w_{01}^2})^2 + (d_1 - f_1)^2]^{1/2} \quad (6)$$

在这种腔型结构下,要避免光损伤,要求腔内光功率  $P$  要满足不等式:  $P/w_{0i}^2 < G$  (7)

式中,  $G$  是光学膜片的损伤阈值光强,其数值一般不大于  $500\text{MW}/\text{cm}^2$ <sup>[3]</sup>,即需要适当增大  $w_{0i}$  的值。

由图 4a 有:

$$w_{01}^2 = \pm \frac{L^* \cdot [f g_1^* \cdot g_2^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)]^{1/2}}{g_1^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)} \quad (8)$$

$$L_{01} = 0 \text{ (以 } M_1 \text{ 为参考)} \quad (9)$$

$$w_{02}^2 = \pm \frac{L^* \cdot [f g_1^* \cdot g_2^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)]^{1/2}}{g_1^* \cdot (L^* / 2)^2 + g_2^* \cdot (1 - g_1^* \cdot g_2^*)} \quad (10)$$

$$L_{00} = d_1 + d_2 - \frac{g_1^* \cdot L^* / 2}{g_1^* \cdot (L^* / 2)^2 + g_2^* \cdot (1 - g_1^* \cdot g_2^*)} \text{ (以 } M_1 \text{ 为参考)} \quad (11)$$

由图 4b 有:

$$w_{02}^2 = \frac{L^* \cdot [f g_1^* \cdot g_2^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)]^{1/2}}{g_1^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)} \quad (12)$$

$$L_{02} = 0 \text{ (以 } M_3 \text{ 为参考)} \quad (13)$$

$$w_{00}^2 = \frac{L^* \cdot [f g_1^* \cdot g_2^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)]^{1/2}}{g_1^* (L^* / 1)^2 + g_2^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)} \quad (14)$$

$$L_{00} = d_2 + d_1 - \frac{g_1^* \cdot l^* / 1}{g_1^* (l^* / 1)^2 + g_2^* (1 - g_1^* \cdot g_2^*)} \text{ (以 } M_3 \text{ 为参考)} \quad (15)$$

显然,  $w_{00}$  的大小直接影响 SRS 的产生,  $w_{01}$ ,  $w_{02}$  与  $w_{00}$  的大小直接与光损伤相联系。如果考虑到 SBS 产生的影响,  $M_1, M_3$  腔中的振荡达到一定的程度 (SBS 的阈值) 时,在 RC 中产生强烈的后向 SBS 反射,经过 YAG 的放大作用,在  $L_{01}$  及  $L_{00}$  处的峰值功率密度将大大增强,使这两个位置成为首先容易被光损伤的位置 (如果这两点处都放置光学元件)。因此,与单次工作一样,为避免光损伤,也要求

使不等式成立,从而解决损伤问题<sup>[4]</sup>。

### 1.2 激光器以重复频率方式工作

按上述计算的参数将发生变化,由于晶体热透镜效应的影响,谐振腔成为含热透镜望远镜腔,腔内光束分布示意图见图 3。腔内的腰斑将变为 4 个,采用混合等价腔法,将  $M_3$  通过透镜组 ( $F_2, F_1, l$ ) 成像为  $M_3'$ ,得到由  $M_1, F, M_3'$  组成的透镜腔,见图 4a。将  $M_1$  通过透镜组 ( $F_2, F_1, l$ ) 成像为  $M_1'$ ,得到由  $M_1', F_2, M_3$  组成的透镜腔,见图 4b。

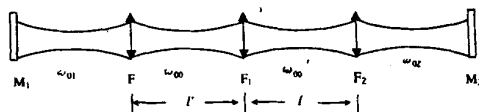


Fig. 3 The schema of Gaussian beam distribution



Fig. 4 The scheme of equivalent lens resonator

a—the resonator including  $M_1, F$  and  $M_3$

b—the resonator including  $M_1', F_2$  and  $M_3$

根据透镜腔的光参数计算公式<sup>[2]</sup>,可以计算出各个腰斑大小及位置如下。

满足非损伤条件  $P/w_{0i}^2 < G$ 。同时,比之单次工作,重频工作的设计还有更困难的地方,一个重要的原因在于热透镜焦距  $f$  随着工作条件在不断地变化,给设计带来一定的困难。

以光腔的工作过程分析当  $Q$  开关打开时,腔内光子数密度迅速增加,当达到 SBS 的阈值时,产生后向反射,经过 YAG 的来回放大,再次回到  $w_{00}$  处时,若  $I > I_{SRS}$ ,则产生受激光喇曼散射,设 YAG 的

单程功率放大系数为  $N$ ,SBS 的效率(反射系数)为  $\eta$ ,则有:

$$I = I_{SBS} \cdot \eta \cdot N^2 > I_{SRS} \text{ 即要求 } N > \sqrt{\frac{I_{SRS}}{I_{SBS} \cdot \eta}} \quad (16)$$

为了避免光损伤, $N$  值又不能太大,考虑  $L_{01}$ 及  $L_{00}$ 处的光强:

$$I_{01} = \frac{I_{SBS} \cdot \eta \cdot N \cdot L_{00}}{L_{01}}, I_{00} = \frac{I_{SBS} \cdot \eta \cdot N \cdot L_{00}}{L_{00}} \quad (17)$$

必须有:  $I_{01} < G, I_{00} < G$  ( $G$  为调  $Q$  晶体的损伤阈值)。即:

$$\frac{I_{01}}{G} > \frac{N \cdot I_{SBS} \cdot \eta}{G}, \frac{I_{00}}{G} > \frac{N \cdot I_{SBS} \cdot \eta}{G} \quad (18)$$

由上式可以看出,在设计激光器的参数时,光腔结构决定的腰斑比值与 YAG 晶体的放大系数以及 SBS 的转换效率,光学元件的损伤阈值之间必须互相匹配才能避免造成光损伤。

## 2 实验结果

实验中使用的激光器结构如图 5。其中, YAG 晶体为  $\varnothing 5\text{mm} \times 75\text{mm}$ ,喇曼盒的充气气压为 6MPa,反射镜  $M_1, M_2, M_3$  的反射率与图 1 相同。

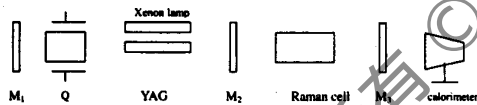


Fig. 5 The scheme of experimental laser

### 2.1 单次工作

激光器的参数为  $N=3, d_1 = 320\text{mm}, d_2 = 20\text{mm}, L = 173\text{mm}$ ,根据公式求得  $L_{01} = 0.892\text{mm}, L_{00} = 0.04\text{mm}, L_{02} = 0.557\text{mm}$ ,根据我们的实验结果,SBS 的阈值约为  $I_{SBS} = 350\text{MW}/\text{cm}^2$ [5],根据(18)式可知,  $\frac{I_{01}}{G} = 22 < \frac{N \cdot I_{SBS} \cdot \eta}{G} = 2.5$  满足非损伤条件。

实验结果证明,在以上参数下,受激喇曼频移

激光器能稳定单次工作,输出脉冲 25mJ/次。

### 2.2 重复频率工作

将以上调好的激光器令其工作在重复频率为 20Hz 下,结果发现在调  $Q$  晶体表面出现损伤斑点,下面计算损伤条件,根据公式求得(设热焦距  $f = 3000\text{mm}$ ):  $L_{01} = 0.406\text{mm}, L_{00} = 0.427\text{mm}, L_{02} = 0.276\text{mm}, \frac{I_{00}}{G} = 5.4, \frac{I_{01}}{G} = 5.1$ ,而由(18)式知应有  $\frac{N \cdot I_{SBS} \cdot \eta}{G} = 2.45, \frac{N \cdot I_{SBS} \cdot \eta}{G} = 7.35$ ,故  $\frac{I_{01}}{G} = 5.1 > 2.45, \frac{I_{00}}{G} = 5.4 < 7.35$ 。

由于  $\frac{I_{00}}{G}$  不满足非损伤条件,将在  $L_{00}$  的位置  $L_{00}$ 处出现光损伤,计算求得  $L_{00} = 94.2\text{mm}$ ,而实验时  $\text{LiNbO}_3$  晶体的后表面正好位于 93mm 处,可见实验结果在  $\text{LiNbO}_3$  晶体表面出现的光损伤正好与理论计算的结论一致。

## 3 结 论

在重频喇曼激光器中,为使喇曼池的  $L_{00}$  比较小(保证 SRS 的产生),必然会导致  $L_{01}$ 与  $L_{00}$ 及  $L_{02}$  也较小,从而伴随产生光损伤,解决光损伤的方法主要是在满足产生 SRS 的条件下  $\frac{P_p}{I_{00}} > G$  (SRS 的阈值),求解满足  $\frac{P_p}{I_{0i}} < G$  (损伤阈值)的  $L_{0i}$  值,然后去设计相应的器件参数,在我们的后期工作中,将进一步完成相应的计算工作以及器件设计。

### 参 考 文 献

- [1] Ogorkiewicz R M. International Defense Review, 1990(2): 174 ~ 175.
- [2] 吕百达. 激光光学. 成都: 四川大学出版社, 1992.
- [3] Koehner W. Solid-State Laser Engineering. Germany: Springer-Verlag, 1996.
- [4] 钟 鸣, 韩 凯, 李 彤. 光学学报, 1995, 15(4): 509 ~ 512.
- [5] 陈培基. 1.54 $\mu\text{m}$  Raman 激光器的参数最佳化研究. 西南技术物理所硕士研究生毕业论文, 1998.