

1.54 μm 腔内喇曼激光器实验研究

钟鸣 韩凯 杨泽明 金锋 翟刚 韩鸿

(西南技术物理研究所, 成都 610041)

Experimental studies of intracavity Raman laser

ZHONG Ming, HAN Kai, YANG Zeming, JIN Feng, ZHAI Gang, HAN Hong

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041)

Abstract Experimental studies of intracavity Raman laser are presented in this paper. The first Stokes pulse output with pulse width of less than 6ns is produced by placing a methane gas cell at high pressure inside closed resonator of a pulsed Nd : YAG laser. The cell sealed windows simultaneously act as the functions of focusing and collimating lens, which has reduced bulk of the laser and wastage inserted in the cavity. The lasing threshold at 1.54 μm of 3.9 J and the overall energy efficiency of 0.26% of the system are obtained. The test of the Raman laser life was conducted.

Key words intracavity Raman laser, stimulated Raman scattering, 1.54 μm eye-safe laser

1 引言

喇曼激光器作为一种将基波频率转换成斯托克斯频率的高量子效率转换装置,实现激光频率的扩展,日益受到人们的重视。腔外喇曼频移过程,国内、外都有过充分的研究^[1~3],而腔内喇曼频移激光器投入实际使用则只是近几年才发展起来^[4,5]。本文报道了脉冲 Nd : YAG 1.06 μm 基频经高压甲烷气体在封闭式激光腔内喇曼频移成 1.54 μm 一阶斯托克斯脉冲输出的实验研究结果。

2 腔内喇曼激光器的泵浦机理^[6]

腔内喇曼激光器实验装置如图 1 所示。

M_1 和 M_3 在 1.06 μm 处高反,形成基频振荡腔, M_2 在 1.06 μm 基频处高透,而在一阶斯托克斯波长 1.54 μm 处高反,与 M_3 一起形成 1.54 μm 谐振腔,采用 BDN 染料片调 Q。喇曼盒采用 $\text{Cr}_{10}\text{Ni}_9\text{Ti}$ 不锈钢制成,创造性地将聚焦、准直透镜集成于喇曼盒一体,同时起喇曼盒封装窗口的作用,减小了喇曼激光器的体积和成本,并且降低了腔内的插入损耗。

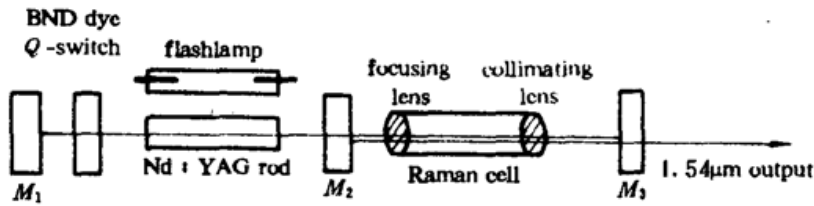


Fig. 1 Scheme of an intracavity Raman laser

在泵浦灯泵浦峰值处,存储在 Nd:YAG 棒中的能量转换为腔内光子能量,基频振荡模式显然是由两个 $1.06 \mu\text{m}$ 全反膜面及腔内所插光学元件共同决定。当基频波强度达到受激喇曼散射阈值时,喇曼盒将腔内基频光子转换成喇曼频移光子,基频处的非线性损耗迅速增加,基频光子被频移成喇曼激光输出。 Q 突变时的倒空由喇曼非线性过程自动完成,不需任何外部电路控制。

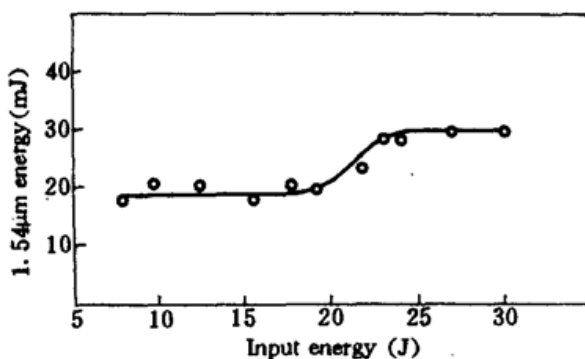
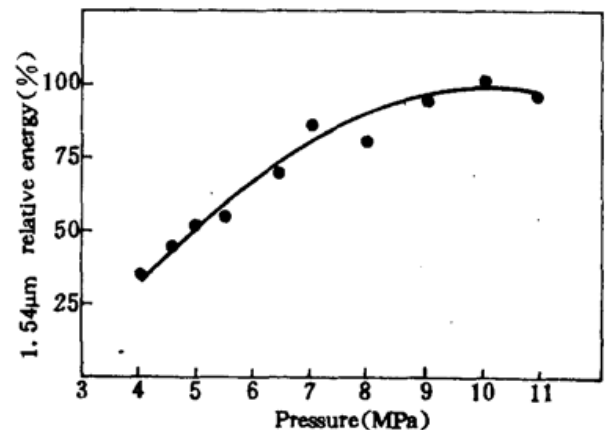
3 实验结果

实验采用的 Nd:YAG 尺寸为 $\phi 5 \times 75 \text{ mm}$,BDN 染料片调 Q ,当输入泵浦氙灯的能量为 7.7 J 时, $1.54 \mu\text{m}$ 输出达 19.9 mJ ,能量测量采用经标定的探斗接收,多次测量后取平均值,因此, $1.54 \mu\text{m}$ 输出的总电光效率 $\eta = 0.26\%$ 。

更换低浓度 BDN 染料片,当输入电能量为 3.9 J 时, $1.54 \mu\text{m}$ 输出达 10.3 mJ ,此时的电光转换效率 η 亦为 0.26% ,说明该器件 $1.54 \mu\text{m}$ 输出的电光效率稳定在 0.26% 左右,可以按不同的要求通过更换 BDN 染料的浓度来控制输出的大小。

对于 $1.54 \mu\text{m}$ 腔内喇曼激光输出,首先得依赖 $1.06 \mu\text{m}$ 基频的建立,因此其输出与输入能量的关系也应与 $1.06 \mu\text{m}$ 一致,但是由于喇曼非线性过程的引入,并不一定完全一样。我们的实验已经证实了这点。其 $1.54 \mu\text{m}$ 输出与输入能量的关系如图 2 所示。

由图可知, $1.54 \mu\text{m}$ 输出与输入能量的关系与 $1.06 \mu\text{m}$ 有两点差别:其一是坪区达 7 个焦耳以上,这远大于 $1.06 \mu\text{m}$ 的坪区宽度。其二是双脉冲输出阶梯高度不等,双脉冲阶梯高度约为单脉冲阶梯高度的 $1/2$ 。

Fig. 2 $1.54 \mu\text{m}$ output vs input energyFig. 3 Dependence of $1.54 \mu\text{m}$ relative output energy on pressure

保持其它条件不变,实验中改变甲烷气压, $1.54 \mu\text{m}$ 输出随之变化,我们得到 $1.54 \mu\text{m}$ 输出能量相对值与甲烷气压的关系示于图 3。实验条件为:喇曼盒长度 83 mm ,聚焦透镜与准直透镜焦距均为 41.4 mm ,泵浦能量 13 J 。

实验中发现,当甲烷气压低于 4.0 MPa 时, $1.54 \mu\text{m}$ 喇曼输出极不稳定,表现为其它条件均不改变,其 $1.54 \mu\text{m}$ 每次输出偏差极大。气压大于 4.0 MPa 后 $1.54 \mu\text{m}$ 输出才稳定下来。由

图可以看出,当甲烷气压在 4.0~8.0 MPa 之间时,1.54 μm 喇曼输出随气压的增加而增加。当甲烷气压大于 8.0 MPa 后,1.54 μm 喇曼输出增加缓慢,趋近于饱和,因此,我们可以适当选择喇曼盒的气压,同时能满足输出的要求,又对喇曼盒的密封减轻压力。

我们在实验中比较了 1.54 μm 腔内喇曼激光与 1.06 μm 激光工作阈值。其步骤如下:先调试 1.54 μm 喇曼激光器,在有 1.54 μm 喇曼输出的前提下尽量减小泵浦能量,此时的最小泵浦能量定为泵浦阈值,测得在该条件下的 1.54 μm 腔内喇曼激光的阈值为 3.9 J,然后保持激光器,染料浓度、晶体及聚光腔均不变,取走喇曼盒及 M_3 镜,用实验确定的最佳耦合输出镜(反射率为 29% 的部分反射片)代替 M_2 镜,使得 1.06 μm 激光输出为最佳耦合输出,测得此时 1.06 μm 输出的泵浦阈值能量为 6.2 J。显然,1.06 μm 激光工作的阈值比 1.54 μm 激光工作的阈值要高很多。因此腔内喇曼激光具有工作阈值较低的优点。

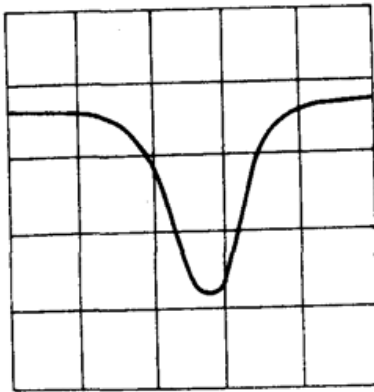


Fig. 1 1.54 μm temporal pulse shape
(Vertical sensitivity 20 mV/div; time base 5 ns/div)

喇曼激光器输出脉宽采用 InGaAs PIN 光电二极管测试,负载阻抗 50 Ω ,示波器存储带宽 20 MC,测量波形如图 4 所示。

由图可以测出,1.54 μm 脉冲宽度(峰值 50% 处)为 6 ns,考虑到探测器件的响应及示波器带宽的影响,实际脉宽将小于这个值。

4 结束语

本文报道了脉冲封闭型 1.06 μm Nd:YAG 腔内喇曼频移成 1.54 μm 一阶斯托克斯脉冲输出的实验研究结果,1.54 μm 电光效率达 0.26%,脉宽小于 6 ns,与美国休斯航空公司的器件相比较,我们的喇曼盒将密封窗镜,聚焦透镜与准直镜合而为一体,减少了腔内元件,降低了损耗及工作阈值,并且使调试过程简单,工作稳定可靠,喇曼盒高压密封寿命已达 38640 h 以上。我们进行了激光寿命实验,实验条件为重复频率每分钟 6 次,输入电能量 3.5 J,在激光发射 35000 次以后,喇曼输出能量减小在 5% 以内。同类器件已用于喇曼激光测距,测程大于 12 km,获得了良好的效果。

腔内喇曼激光器中全部腔膜片由周九林研究员、杨德利工程师及马孜工程师提供,谨致谢意。

参 考 文 献

- 1 R. W. Nichols, W. K. Ng, *Proc. SPIE*, **610**, 92(1986)
- 2 Z. Chu, U. N. Singh *et al.*, *Opt. Commun.*, **75**(2), 173(1990)
- 3 郭奕理, 丁海曙 *et al.*, *物理学报*, **34**(1), 24(1985)
- 4 Y. B. Band, J. R. Ackerhalt *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-25**(2), 208(1989)
- 5 R. M. Ogorkiewicz, *International Defense Review*, **2**, 174(1990)
- 6 J. Krasinski, P. Papanestor *et al.*, *Proc. SPIE*, **622**, 5(1986)