

文章编号: 1001-3806(2002)02-0126-03

重频双波长输出(Nd, Ce): YAG 喇曼频移激光器研究

万 勇 韩 凯 韩 鸿 李 彤 邵怀宗
(西南技术物理研究所, 成都, 610041) (电子科技大学, 成都, 610054)

摘要: 通过实验对高重频喇曼双波长激光器的关键技术进行了详细的研究, 成功地实现了频率为 15Hz, 1.54 μm /1.06 μm 混合激光输出脉冲能量达 20mJ 的双波长喇曼激光输出。

关键词: 喇曼激光器; 双波长输出; 高重复频率

中图分类号: O437 文献标识码: A

Repetitive, Raman shifted, (Nd, Ce): YAG laser with twin-wavelength outputs

Wang Yong, Han Kai, Han Hong, Li Tong, Shao Huaizong¹

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

(¹ University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 610054)

Abstract: Some key techniques of Raman shifted laser with high repetitive frequency and twin-wavelength outputs have been studied experimentally. Operating at 15Hz, output laser energy of more than 20mJ with twin wavelengths of 1.54 μm and 1.06 μm has achieved.

Key words: Raman shifted laser; twin-wavelength laser output; high repetitive frequency

引 言

喇曼频移作为一种产生新的激光波长的手段, 已进入实用化的阶段, 利用高压 CH₄ 气体作为喇曼介质, 可将(Nd, Ce): YAG 晶体作为激光介质的激光器发出的 1.06 μm 波长激光频移至其一阶斯托克斯 1.54 μm 波长, 由于该波长激光处于人眼安全波段, 因此, 引起人们极大兴趣。早期的外腔喇曼激光器, 主要工作集中在提高泵浦光转换到斯托克斯光的转换效率上^[1, 2], 之后, 随着人们对喇曼过程认识的深入, 又发展了内腔喇曼激光器^[3, 4], 由于腔内功率密度高, 因而导致喇曼转换效率增加, 并且光束质量得到改进。我们将报道高压 CH₄ 气体喇曼频移(Nd, Ce): YAG 激光器获得 1.06 μm /1.54 μm 双波长重频输出的理论和实验研究结果。

1 实验装置及原理

双波长激光器主要由峰值功率高和相干性好的泵浦源、喇曼谐振腔以及喇曼高压池(RC)组成。实验装置如图 1 所示, 由下列元件构成: 1.06 μm 全反

平镜 M₁, Q 开关为 LN 电光晶体与偏振片的组合, (Nd, Ce): YAG 晶体(f 5mm × 72mm), 平镜 M₂ 在一阶斯托克斯 1.54 μm 处全反, 对泵浦光 1.06 μm 透过率为 84.5%, 聚焦透镜 f₁、准直透镜 f₂ 与喇曼盒封装成一体化的喇曼池, M₃ 与 M₂ 共同构成喇曼谐振腔, 1.06 μm 泵浦光与 CH₄ 的一阶斯托克斯 1.54 μm 激光混合从这里输出。

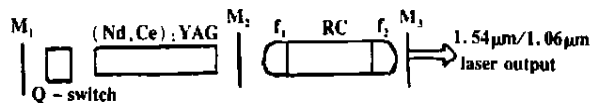


Fig. 1 The schematic diagram of the apparatus

2 关键技术的实验研究

2.1 喇曼激光器的泵浦源

由于喇曼激光器的泵浦阈值很高, 一般上兆瓦量级, 在实际应用中通常使用 Q 开关脉冲激光作为泵浦源。LiNbO₃ 电光 Q 开关在军事应用方面具有良好的特性: 化学稳定性好, 不易潮解, 能以横向电极在使光沿光轴方向传播的情况下工作, 电光系数随温度的变化而变化的较小, 因此工作温度范围大, 可最大程度地减少对温度的稳定性控制的要求。LiNbO₃ 与偏振片组合形成的 Q 开关用于 Nd: YAG 脉冲激光器中可得到良好的脉冲激光输出特性, 因此, 我们选用了 LN 晶体作为 Q 开关。

作者简介: 万 勇, 男, 1970 年 10 月出生。硕士研究生。主要从事激光技术、非线性光学研究。

收稿日期: 2001-12-26; 收到修改稿日期: 2001-02-28

2.2 喇曼激光腔型的选取

虽然喇曼频移在原理上比较简单,但在工程实际的设计中有多个参数必须考虑。气体的 SRS 过程同时伴随着光损伤和受激 Brillouin 散射(SBS),为了避免这些非线性效应,获得高效的能量转换,在设计中除了要优化以下参数:输入光束直径、聚焦焦点位置和作用介质长度外,还必须选择合适的喇曼光腔。

理论研究表明: SRS 与通常的 SBS 一样,由后向传输的泵浦光和后向喇曼光产生的声子能使后向喇曼光大大增强。因此,在试验中我们采用了如图 2 所示谐振腔,在喇曼输出端再加上一个 $1.06\mu\text{m}$ 和 $1.54\mu\text{m}$ 的部分反射镜,试验表明这种腔型结构有转换效率较高和输出的光束质量好,同时可控制 $1.06\mu\text{m}$ 光的输出能量等的优点。

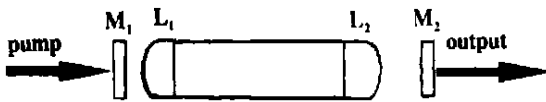


Fig. 2 Structure of the resonance cavity of Raman laser

2.3 喇曼池密封及检测试验

由于喇曼激光的产生过程实质上是喇曼气体介质在能量密度的相干光的作用下产生的非线性效应的过程。这个过程要求喇曼气体介质的气压较高(一般约 $6\sim 8\text{MPa}$),同时,由于高重复工作要求气体在 RC 内要保持良好的循环,因此,在 RC 内必须安装循环泵。即除了输入窗和出射窗外,又增加了循环泵电极的密封问题,这就大大地增大了密封 RC 的难度。试验中对各个密封点采用硬密封。封好 RC 后,将输入窗和输出窗经特殊处理后浸泡在纯净水中,可以检测到是否有较大的漏气现象,但这种办法无法检测 RC 是否散漏或慢漏。为此,建立了一套专门的漏气检测装置,如图 3 所示。其原理是密度越高的气体分子对光的散射就越强,从而引起 He-Ne 光的发散角也越大。He-Ne 激光器输出的激光经一个 1.5mm 的小孔后进入 RC,在 RC 后面 5m 的地方放置一个接收屏。试验中可先测出充入 6MPa 的 CH_4 后接收屏上的 Ne-He 光斑的直径 Φ_1 ,隔几天或半月后再在相同条件下进行检测,如果测得的光斑 Φ_2 在误差范围内等于 Φ_1 ,即说明没有散漏和慢漏,RC 的密封效果很好,如果 Φ_2 小于 Φ_1 ,则说明有散漏或慢漏存在。试验中,我们对 No. 1 和 No. 2 RC 进行了检测,试验数据由表 1 给出。由表 1 可知,我们采用的密封技术是可行的。

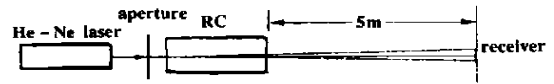


Fig. 3 Test of airproof capability of RC

Table 1 The result of the test of airproof capability of RC

	Instant Φ_1	3d latter Φ_2	15d latter Φ_3
No. 1(6MPa)	8.50mm	8.49mm	8.49mm
No. 2(6.5MPa)	9.71mm	9.69mm	9.68mm

2.4 重频喇曼高压循环试验

当激光能量密度很高时,某一些 CH_4 分子长时间被照射,就会发生光化学反应。解离 G-H 键而形成高分子链,其主要过程如下: $\text{CH}_3-\text{H} + \text{CH}_3-\text{H} \rightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_3 + \text{H}_2$ 。

这样会使 RC 中介质浓度发生改变而变得不纯净,降低了转换效率。要解决这一矛盾,就必须解决好 RC 在高重复频率条件下工作时 RC 内高压 CH_4 气体的能够以适当的速度循环。但 CH_4 是可燃爆炸性气体,不能采用可能产生火花的普通微电机作循环泵,传动机构的高压密封也是关键。通过大量的实验研究和精心设计,循环泵采用专门研制的可调转速的电源供电。我们解决了这一技术问题。

2.5 RC 参数的优化试验

为了在高重复条件下既能满足 $1.54\mu\text{m}/1.06\mu\text{m}$ 双波长的激光输出,又能满足应用中的小型化设计的需要。我们还进行了 RC 参数(RC 的长度、输入和输出窗口的透镜焦距)的优化设计试验。对这些参数的试验,主要是为了获得在一定的气压下,找到最佳的瑞利尺寸(即泵浦光与介质的作用长度)。通过多次试验证明了当 RC 总长度为 340mm 时,入射窗 L_1 采用焦距为 213mm 、出射窗 L_2 的焦距为 133mm 的厚透镜系统具有相对较高的转换效率和光束质量^[4]。

2.6 喇曼激光器在重频运行下抗激光损伤的研究

由于伴随 SRS 而产生的后向 SBS 落在 Nd:YAG 的发射谱线宽度以内,容易对喇曼激光器光学元件造成严重光损伤,近年来,国外虽有许多研究力图克服在高重复频率(15Hz)下工作时 SBS 造成的光损伤,但均未根本解决问题,这是高重复喇曼激光器设计中的一个重要的关键技术。它涉及镀膜与激光器件的设计和研制。在实验中,我们专门采取了多种措施来解决这一技术问题。

首先,采用了在图 1 所示的 YAG 激光腔内靠近 M_2 的位置加入 $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 晶体,同时提高 M_2 对 $1.06\mu\text{m}$ 的反射率。有两个好处:一是增大了 Q

开关打开前腔内的损耗,二是降低了因 RC 引起的 SBS 散射光的透过率。多次试验表明,这种方法在重复频率不大于 10Hz 时,明显地降低了因 SBS 而引起的光学元件的损伤。但当频率高于 10Hz 时,除了增大了泵浦源的泵浦阈值外,不能根本上解决光损伤的问题。

其次,采用了如图 4 的装置来隔离 RC 的后向 SBS 的散射光。从理论上讲,该方法可有效的保护因 SBS 后向散射造成的光学损伤,但实验表明,因多加了一个偏振片和 1/4 波片,不仅增多了损耗元件,而且由于两个偏振片不易调得完全平行,又增加了失偏损耗,使泵浦的峰值功率降低。故这种方法因很难在工程上保证两个偏振片绝对按布儒斯特角平行而给工程应用带来困难,同时由于隔离器也隔离了因后向 SBS 产生的 1.54 μm 的激光,损耗很大。故该方法还有待更多的实验来进行研究。

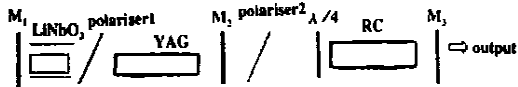


Fig. 4 Twin-wavelengths Raman laser with optical separator used

多次实验表明:在整个的喇曼激光器系统中,最易损伤的元件就是 LiNbO₄ 晶体,而 YAG 激光介质的损伤阈值较高,对兆瓦量级的强激光来说一般不易受到损伤,而膜片的损伤可通过提高镀膜的工艺水平来解决。因此,实验中抽掉了图 4 所示的喇曼腔内的偏振片 2,仅仅留下 1/4 波片,偏振片 1 起到了调 Q 和隔离的双重作用, M₂ 镀 1.54 μm 的全反和 1.06 μm 部分透过的二色膜,这样就有效地阻止

了因 RC 的 SBS 作用对 LiNbO₄ 晶体的损伤。 M₃ 镀 1.54 μm 和 1.06 μm 部分透过的二色膜。当输入电压分别为 650V, 700V, 泵浦脉冲能量分别为 66mJ 和 92mJ, 工作频率为 15Hz 时实验结果见表 2。经多次的重复实验,结果表明:这种方法有效地解决了在高重复频率工作下对 LiNbO₄ 晶体的光损伤。

Table 2 Result of the experimental of twin-wavelengths output

pump /mJ	output/mJ								average
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	
66	21.7	22.3	22.3	22.4	20.8	22.0	23.1	24.8	22.17
92	25.6	23.6	25.4	25.0	26.4	25.9	23.0	25.5	24.9

4 结 论

我们的试验研究表明:通过对喇曼激光器的泵浦源、RC 的参数和喇曼谐振腔型的优化设计试验和喇曼激光器的几个关键技术的大量的实验研究,解决了高重频喇曼池的密封和检测技术、高重频喇曼高压循环技术和高重频工作下激光抗损伤技术,成功地实现了频率为 15Hz、1.54 μm /1.06 μm 混合输出脉冲能量大于 20mJ 双波长激光输出。

参 考 文 献

- [1] Stultz R D, Nieuwsma D E, Gregor E. SPIE, 1991, 1419: 64~74.
- [2] Gregor E, Nieuwsma D E, Stultz R D. SPIE, 1990, 1207: 124~135.
- [3] 钟 鸣, 韩 凯. 光学学报, 1995, 15(4): 509~512.
- [4] Zhong M, Han K, Jin F *et al.* Proc SPIE, 1992, 1979: 190~192.
- [5] (上接第 125 页)
- [6] Ouyang J H, Pei Y T, Lei T C *et al.* Wear, 1995, 185: 167~172.
- [7] 张 松, 康煜平, 朱荆璞. 中国激光, 1995, A22(5): 395~400.
- [8] 王顺兴, 张一民, 郑世安 *et al.* 金属热处理, 1995, (10): 10~12.
- [9] 欧阳家虎, 裴宇韬, 雷廷权 *et al.* 中国激光, 1995, A22(2): 144~150.
- [10] 王长生, 于宗汉, 李全安 *et al.* 摩擦学学报, 1997, 17(1): 17~24.
- [11] Li R, Ferreira M G S. Surf Coat Tech, 1996, 88: 96~102.
- [12] 黄金亮, 张一民, 郑世安. 材料开发与应用, 1994, 9(2): 14~19.
- [13] 陈传忠. 激光重熔对等离子喷涂 WC 及 Al₂O₃ 层组织和耐磨性能的影响, 哈尔滨工业大学博士学位论文, 2001: 14, 15, 16
- [14] Wang K L, Zhu Y M, Zhang Q B. J Mater Proc Tech, 1997, 63: 563~567.
- [15] Wang Y, Su M, Liu W *et al.* Surf Coat Tech, 1996, 78: 274~279.
- [16] 王 涛, 郑启光, 陶星之. 激光技术, 1995, 19(1): 53~56.
- [17] 王茂才, 吴维涛, 冯晓臣 *et al.* 中国激光, 1995, A22(3): 228~232.
- [18] Jasim K M, Rawlings R D, West D R F. Mater Sci Tech, 1992, 8(1): 83~91.
- [19] Taylor R, Brandon J R, Morrell P. Sur Coat Tech, 1992, 50: 141~149.
- [20] 王爱华, 谢长生, 朱蓓蒂 *et al.* 激光技术, 1995, 9(2): 124~128.
- [21] Tawancy H M, Abbas N M, Bennett A. Sur Coat Tech, 1994, 68/69: 10~16.
- [22] Damborenea J D, Lopez V, Vazquez A J. Sur Coat Tech, 1994, 70: 107~113.
- [23] 车成卫, 张志明, 田锡唐. 材料研究学报, 1995, 9(2): 111~114.
- [24] 陈明飞, 黄金林, 刘庆霄. 材料导报, 1996, (1): 45~46.
- [25] 张亚平, 高家诚, 陈明飞 *et al.* 材料工程, 1996, (7): 21~23.