

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0082-03

新型高效的人眼安全 OPO 固体激光器

程 勇, 郭延龙, 卢常勇, 王小兵, 王古常, 孙 斌

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要 免调试谐振腔应用在内腔式 Cr⁴⁺:YAG 被动调 Q 的 KTP 光参量振荡(OPO)激光器中, 获得综合性明显优于平平腔的结果: 电光效率由 2.27% 提高到 2.70%, 1.57 μm 激光输出单脉冲能量由 18 mJ 提高到 21.4 mJ, 脉宽由 24 ns 压缩到 7.8 ns, 发散角由 8 mrad 减小到 7 mrad。并发现定向棱镜腔激光输出能量、光轴指向、脉宽及波形等稳定性比平平腔均有显著改善。已研制出小型、高效、高稳定性、高光束质量的 OPO 激光器。

关键词 激光技术; 免调试谐振腔; 定向棱镜; 人眼安全; OPO; 高稳定性; Cr⁴⁺:YAG 被动调 Q

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

New High Efficiency Eye-Safe OPO Solid State Laser

CHENG Yong, GUO Yan-long, LU Chang-yong, WANG Xiao-bing

WANG Gu-chang, SUN Bin

(Anhui Institute of Optics & Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Anhui, Heifei 230031, China)

Abstract Adjust-free resonator is applied in the Cr⁴⁺:YAG passive Q switched OPO laser. Overall performance of laser is much better than that in plane-parallel resonator: the wall-plug efficiency rises from 2.2% to 2.7%, the 1.57 μm pulse energy rises from 18 mJ to 21.4 mJ, the pulse width decreases from 24 ns to 7.8 ns, the beam divergence decreases from 8 mrad to 7 mrad. Also, the stability of the directional prism resonator's output pulse energy, beam direction, pulse width and wave shape are much better than that of the plane parallel resonator's. After optimization, a smart OPO laser with small, high efficiency, high stability and high beam quality is obtained.

Key words laser technique; Adjust-free resonator; directional prism; eye-safe; OPO; high stability; Cr⁴⁺:YAG passive Q switch

1 引言

具有广泛应用前景的光参量振荡(OPO)激光器是激光器领域研究的热点。虽然,OPO 激光器较受激拉曼散射激光器,Er 玻璃激光器有优势^[1],但在实际装备工程应用中尚存在许多问题:

1) 光束质量差。在现有 OPO 器件中,相位匹配有较强的取向性,参量增益通常是非对称的,加之非线性晶体的各向异性,OPO 器件的光束质量会比原光束质量降低;

2) 稳定性差。通常采用平平腔或非稳腔结构,调试困难,机械稳定性和热稳定性差;

3) 光学膜层易损伤。由于 OPO 转换阈值很高,接近 OPO 晶体、各种增透和反射膜层的破坏阈值,所以很容易损伤膜层;

4) 效率低。

本研究在直内腔式 Cr⁴⁺:YAG 被动调 Q 的 KTP

OPO 激光器中,分别采用定向棱镜和平面反射镜作尾镜,做了大量的实验。

2 激光器设计

设计思想是在加固器件的稳定性和改善光束质量的前提下,尽可能提高器件电光效率。

抽运光强度的确定是 OPO 器件结构优化设计的关键。选择合适的腔内阈值抽运功率密度,是提高效率和抗光学损伤的重要措施。根据“经验法则”,当抽运光强度 I_p 大于等于 4 倍阈值抽运光强度 I_{th} 时,可获得最高的转换效率,其数学表达式为^[2]

$$I_p \geq 4I_{th} = \frac{6\lambda_s \lambda_s n_s n_p n_o \epsilon_0 c}{\pi^2 d_{eff}^2 g J_{eff}^2} \times \left[\frac{L}{t_p c} \ln \left(\frac{P_s}{P_n} \right) + 2\alpha \cdot l + \ln \left(\frac{1}{\sqrt{R}} \right) + \ln 2 \right]^2$$

对上式考察表明,非线性晶体的选择、抽运光脉冲宽度和谐振腔结构的优化是 OPO 激光器设计的

作者简介:程 勇(1961-),男,中国科学院安徽光学精密机械研究所硕士生导师,博士。主要从事激光与光电子学研究。

E-mail: gdyjs@263.net

三个要素。

选用磷酸钛氧钾(KTiOPO₄,简称 KTP)晶体^[3],*x*轴切割,Ⅱ类非临界相位匹配,使有效非线性系数 d_{eff} 达到最大。

长的抽运脉冲宽度 t_p 是降低抽运阈值,减小峰值功率,避免光学损伤的关键因素之二^[4]。

高的输出镜反射率 R 、短的腔长 L 和大的信号空间模耦合系数 g ,都有助于降低抽运阈值。设计反射率 R 也不能过高,否则导致功率密度过高而出现光学损伤,且可能产生多脉冲现象。

优化设计的直内腔式光参量振荡器结构如图1所示。输入镜对1.064 μm高透过、1.57 μm全反射,输出镜对1.064 μm全反射,对1.57 μm透过率为55%,OPO晶体为尺寸5 mm×5 mm×20 mm的KTP。其中,定向棱镜和输出镜构成抽运源谐振腔,腔长为120 mm,输入镜和输出镜构成OPO谐振腔,腔长为30 mm。被动调Q开关为Cr⁴⁺:YAG晶体。该结构具有组件化、免调试特点。

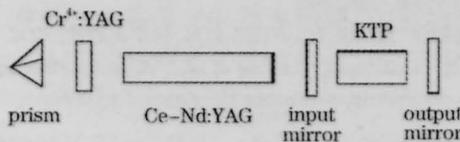


图1 新型高效人眼安全 OPO 激光器

Fig.1 New high efficiency eye-safe OPO laser

3 实验研究

实验装置用脉冲闪光灯抽运,如图1所示。采用尺寸为φ4 mm×60 mm的Ce-Nd:YAG晶体作为激光工作物质,激光棒装在金属散热凹槽上,用于自然热传导冷却;Cr⁴⁺:YAG晶体作为被动调Q元件;分别用平面镜和定向棱镜作为全反射镜,在保持其他实验条件不变的情况下做了对比实验。

Cr⁴⁺:YAG被动调Q晶体在4种不同初始透过

率(编号为No.1~4,序号增加其对应初始透过率增加)的条件下,分别对两种腔型1.57 μm激光的脉宽进行了测量。结果发现:定向棱镜腔OPO激光器激光脉宽比平-平腔明显变窄,平均压缩达50%以上,见表1。图2为No.1调Q晶体的平-平腔及定向棱镜腔输出激光脉冲波形图,平-平腔脉宽为21.84 ns,定向棱镜腔脉宽为7.208 ns。多次测量波形的过程中,平-平腔相比定向棱镜腔OPO输出脉冲的宽度及波形稳定性很差,而且波形下降沿常出现尖峰或凹陷,随着晶体初始透过率的增加其脉冲波形稳定性变得更差。

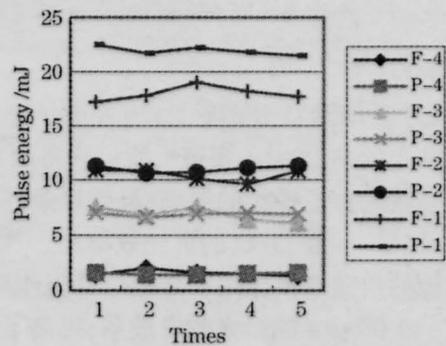


图2 两种腔形输出脉冲能量的稳定性对比

F:平-平腔 OPO,P-棱镜腔 OPO,1-4:Cr⁴⁺:YAG的透过率序号

Fig.2 Stability of laser output of plane parallel resonator vs that of directional prism resonator

F: plane parallel resonator, P:directional prism resonator,

1-4: sequence number of transparency of Cr⁴⁺:YAG

在重复频率1 Hz工作情况下每隔5 s测量1次输出能量,共测量5次,对两种腔型1.57 μm激光输出能量的稳定性进行了对比,如图3所示。定向棱镜腔激光输出能量的稳定性比平-平腔明显提高。

此外,还对两种腔型在四种不同初始透过率调Q情况下,输出1.57 μm激光的多种性能参数进行了测量,见表1。可见,无论哪种透过率的调Q晶体,定向棱镜腔OPO输出的激光都比平平腔输出激光

表1 平-平腔和定向棱镜腔输出激光性能对比

Table 1 Laser output in plane parallel resonator comparison with that in directional prism resonator

Transparency of Cr ⁴⁺ :YAG	No.1		No.2		No.3		No.4	
	Plane	Prism	Plane	Prism	Plane	Prism	Plane	Prism
Type of resonator	Plane	Prism	Plane	Prism	Plane	Prism	Plane	Prism
Threshold /V	630	630	565	575	480	480	430	420
Pulse energy /mJ	18.0	21.4	10.7	11	6.86	6.88	1.56	1.6
Pulse width /ns	23.92	7.84	30.73	13.82	36.77	18.24	60.94	30.11
Beam divergence /mrad	8.0	7.0	7.0	6.1	7.0	5.7	5.2	3.0
Voltage range for single pulse /V	160	>180	120	170	110	125	65	95

发散角小,坪区宽度显著增大,单脉冲能量有一定增大,因为阈值相同,可推算出电光效率更高。其中, No.1 调 Q 晶体在定向棱镜腔中的综合性能最好,获得 21.4 mJ/pulse 的 1.57 μm 激光输出能量,注入能量阈值为 7.94 J,对应的电光效率为 2.70%。

随着抽运光谱谐振腔腔长的减小,输出激光脉宽也略有减小,符合调 Q 理论中腔长与脉宽的规律。平平腔比定向棱镜腔 OPO 造成光学损伤的几率高得多。平平腔 OPO 实验中,曾损伤了两个 KTP 晶体,一个输入镜和一根激光棒的膜层。而定向棱镜腔 OPO 实验中各膜层完好,无光学损伤现象。

4 实验结果分析

1)关于被动调 Q 方式下 1.57 μm 激光输出能量 12 mJ,电光效率 1.2%的报道^[6],我们获得的 2.7%的电光效率较之有了很大的提高;且同样条件下棱镜腔 OPO 比平-平腔 OPO 的电光效率高。这是因为定向棱镜的角向选模作用和准相位共轭作用,一方面压缩了 1.06 μm 抽运光的发散角,提高了抽运光模式质量,从而改善了抽运光束腰与 OPO 谐振腔腔模的匹配,提高了抽运光通量 ϕ_p ,增加了信号光的参量增益系数 $g(\sqrt{kI_p})$;另一方面能克服因工作物质内部折射率、密度、应力、光抽运等不均匀性和 KTP 参量增益非对称性^[6]所造成的增益分布不均匀,增大了低阶模体积,而且实现了对热致应力双折射、热光楔和退偏效应的补偿,从而明显改善抽运光和信号光的光场分布,使得有效晶体长度 l_{eff} 等于晶体长度。使输出能量稳定性、模式稳定性和脉宽稳定性得到明显改善。且因为定向棱镜腔特有的“自准直特性”即对腔镜失调很不灵敏^[7-9],确保了激光器有足够的热稳定性和机械稳定性。

2)平-平腔光场分布不均匀、局部功率密度过高、输出能量稳定性差,很容易造成激光损伤,而定向棱镜腔 KTP OPO 激光器输出能量稳定性好,光束质量好,增益分布均匀,局部光场强点极少,非常有利于避免 OPO 激光器中常见的光学膜层损伤,能够实现在高功率高重复频率条件下可靠运行。

3)由于定向棱镜腔内几何损耗比平-平腔大,输出第一个脉冲的超临界振荡在单位时间消耗的反转粒子数大于后者,压缩了定向棱镜腔 1.57 μm 信号光的脉冲宽度。只有当光泵能量相对大于平-

平腔时,使反转粒子数积累到 ΔN_{th} ,才能和平-平腔一样输出第二个脉冲,所以棱镜腔坪区会变宽。

5 结束语

对于 KTP OPO 激光器而言,定向棱镜腔较平平腔的优越性综合表现在:1.57 μm 激光效率提高,脉宽压缩,脉冲能量、光轴指向、脉宽及波形等稳定性比平平腔均有显著改善。该新型高效人眼安全 OPO 激光器已经制成小型(125 mm×20 mm×25 mm)、高效、稳定可靠的实用器件,该激光器能满足强烈振动、大幅度温度变化等环境下稳定输出高质量激光的需要。

参考文献

- 1 Shi Shunsen, Jin Feng, Zhai Gang *et al.* High-repetition-rate eye-safe OPO laser[J]. *Photoelectric Counterwork and Disturb without Fountainhead*, 1998 4:19-22
时顺森,金峰,翟刚等.高重复人眼安全波段 OPO 激光器[J].光电对抗与无源干扰,1998,4:19-22
- 2 W. Koechner. *Solid-State Laser Engineering* [M]. Beijing: Science Press, 2002. 545
W. 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 北京,科学出版社,2002. 545
- 3 Jin Feng, Zhai Gang, Li Jing *et al.* All solid state eye-safe optical parametric oscillators [J]. *Laser Technology*, 2002, 26(3):201-203
金峰,翟刚,李京等.全固态人眼安全 OPO 激光器[J].激光技术,2002,26(3):201-203
- 4 L. R. Marshall, A. Kaz, O. Aytur. Multimode pumping of optical parametric oscillators[J]. *IEEE J. Quantum Electronics*, 1996 32(2)
- 5 Bao Zhaorigetu, Gou Tao, Han Long. Small eye-safe OPO laser [J]. *Laser & Infrared*, 2003, 33(3):190-191
包照日格图,苟滔,韩隆.小型人眼安全 OPO 激光器[J].激光与红外,2003,33(3):190-191
- 6 Ding Yuming, Du Lihui. Eye-safe laser Techniques and Applications[J]. *Applied Laser*, 1997, 17(1):37-40
丁育明,杜丽辉.人眼安全激光器技术及应用[J].应用激光,1997,17(1):37-40
- 7 Cheng Yong, Sun Bin, Wang Xiaobing *et al.* Excimer Laser with directional prism cavity[J]. *Chin. J. Quantum Electronics*, 2001, 18(6):521-524
程勇,孙斌,王晓兵等.定向棱镜腔准分子激光器[J].量子电子学报,2001,18(6):521-524
- 8 Cheng Yong, Sun Bin, Wang Xiaobing *et al.* Novel approach to improve laser beam quality and stability[J]. *Chin. J. Quantum Electron.*, 1999, 16(3):217-220
程勇,孙斌,王晓兵等.新腔提高激光光束质量和稳定性[J].量子电子学报,1999,16(3):217-220
- 9 Cheng Yong, Sun Bin, Wang Xiaobing *et al.* A fine OPO solid state laser with conductive cooling element [J]. *Photonics Asia*, 2002. PA02-528