

激光技术

KTP OPO 产生 2.7 μm 波段高峰值功率激光实验研究

卞进田

(电子工程学院 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 合肥 230037)

摘要:通过 1 064 nm 激光泵浦 KTP 晶体光参量振荡(OPO)技术获得了高峰值功率 2.7 μm 波段激光输出,对实验结果开展了详细的分析。泵浦源为电光调 Q Nd:YAG 激光器,光参量振荡器谐振腔采用单谐振结构,将两块相同的 KTP 晶体光轴相向放置以补偿走离效应,KTP 晶体按 $\phi=0^\circ, \theta=62^\circ$ 切割以获得波长 2.7 μm 波段激光输出,采用 II (B)类相位匹配($o \rightarrow o+e$)以利用较大的非线性系数。在泵浦能量为 89 mJ,脉宽 10 ns 的条件下,获得脉冲能量 7.5 mJ,波长 2.67 μm ,脉宽 8.5 ns 的激光输出。

关键词:非线性光学; 2.7 μm 激光; KTP 晶体; 单谐振光参量振荡器

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2017)-04-0022-04

Experimental Research on 2.7 μm Wave Band Laser with High Peak Power Generated by KTP Optical Parametric Oscillator

BIAN Jin-tian

(State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

Abstract: The output of 2.7 μm wave band laser with high peak power is obtained by KTiOPO₄ (KTP) crystal optical parametric oscillation (OPO) pumped by 1 064 nm laser. Experimental results are analyzed in detail. The pump source is an electro-optical Q switched Nd:YAG laser, and the OPO is singly resonated. Two identical KTP crystals are placed with opposite optical axis to compensate the walk off effect. The crystals are cut as $\phi=0^\circ, \theta=62^\circ$ to generate 2.7 μm wave band laser. To utilize the larger effective nonlinear coefficient, the phase matching is based on type II (B) ($o \rightarrow o+e$). When the pump energy of the 1 064 nm laser is 89 mJ with a pulse width of 10 ns, an output energy of 7.5 mJ with a pulse width of 8.5 ns at 2.67 μm is obtained.

Key words: nonlinear optics; 2.7 μm laser; KTiOPO₄ (KTP) crystal; single-resonant optical parametric oscillator (OPO)

中红外 2.7 μm 波段激光在外科手术、军事对抗、光谱分析、环境监测和频率变换等众多方面有着广泛的应用前景。目前,获得 2.7 μm 波段激光的方法主要有以下几种:(1)量子级联激光器^[1],连续波量子级联激光器将产生大量的热量,经理论计算^[2]显示大约有 70% 的注入电功率转化为热量,必须在低温下工作,因此限制了其输出功率和实际应用;(2)半导体激光器(LD),直接带隙的 III-V 族化合物半导体 LD 在室温下已经获得了 1.9~2.7 μm

可调谐输出^[2],但是由于俄歇复合限制了载流子寿命,使得输出波长大于 1.8 μm 时的效率大大降低,并且光束质量差,限制了它在远距离遥感和光电对抗等领域的应用;(3)直接输出激光器,过渡金属离子掺杂的晶体材料主要是掺 Cr^{2+} (或 Fe^{2+}) 的二元 (ZnSe, ZnS, CdSe, CdS, ZnTe) 和三元 (CdMnTe, CdZnTe, ZnSSe) II-VI 族化合物半导体^[3],严重的热效应以及由多声子弛豫所造成的淬灭效应限制了其功率输出^[4];(4)光参量振荡(OPO)技术^[5],OPO

技术将十分成熟的1 μm 波段近红外激光变频到2~3 μm 波段,是目前获得2.7 μm 激光器输出最常用的技术手段^[6-7]。常用的有LN OPO和KTP OPO。角度相位匹配中光束在晶体中走离效应限制了参量晶体的最大长度,另外晶体的有效非线性系数小,所以单块晶体OPO的振荡阈值高,同时晶体的激光损伤阈值低,导致参量输出能量较小。采用电光调Q 1.064 nm激光器泵浦走离补偿KTP OPO,实现了脉冲能量7.5 mJ,波长2.67 μm ,脉宽

8.5 ns的激光输出。

1 实验装置

实验方案采用1.064 nm激光泵浦KTP晶体内腔OPO技术获得波长2.7 μm 激光输出,其由激光二极管侧面泵浦的Nd:YAG泵浦模块,声光调Q开关,补偿透镜,两块相向放置的KTP晶体和3块腔镜组成的实验原理图和装置实物图如图1所示。

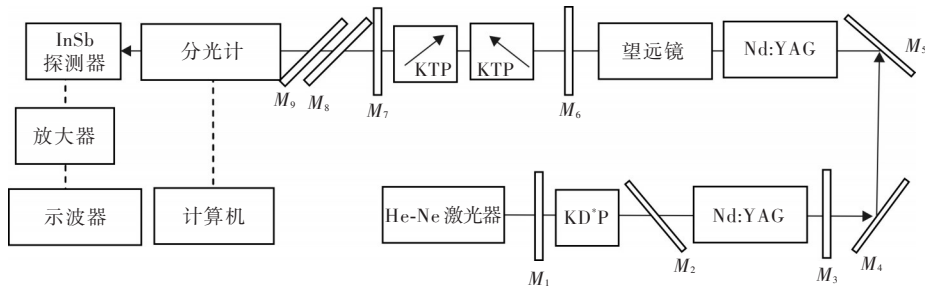


图1 1.064 μm 激光泵浦KTP OPO实验装置

其中红色He-Ne激光作为指示光,用来对整体光路进行粗调;泵浦源为脉冲氙灯泵浦、电光调Q的1.06 μm Nd:YAG激光器,脉宽为12 ns,储能电容为100 μF ,KD*P为电光调Q晶体, M_1 及 M_3 分别为Nd:YAG激光器后腔镜及输出镜, M_2 为1.06 μm 偏振片; M_4 及 M_5 均为1.06 μm 激光45°全反镜,用来改变泵浦光路。

振荡级1.06 μm 激光再经过一级Nd:YAG放大,由望远镜聚焦系统将光斑直径从7 mm聚焦至3 mm; M_6 为KTP OPO输入镜,基质为K9玻璃, $T=94\% @ 1.06 \mu\text{m}$, $R=97\% @ 1.7-1.8 \mu\text{m}$; M_7 为KTP OPO输出镜,基质为CaF₂玻璃, $R=1\% @ 1.06 \mu\text{m}$, $R=90\% @ 1.5-2.0 \mu\text{m}$, $T=90\% @ 2.7 \mu\text{m}$, $T=60\% \sim 90\% @ 2.4-2.9 \mu\text{m}$;OPO腔长为50 mm,2块KTP晶体实现走离角补偿,尺寸为7×7×20 mm³,两端面镀对泵浦光和信号光增透的双波长增透膜。

从KTP OPO输出的激光经白宝石镀膜镜片 M_8 (对1.06 μm 和1.5~2.0 μm 高反)滤光后,再经过对1.06 μm 激光高反的 M_9 镜滤光,保证只有2.7 μm 波段激光输出。

输出的2.7 μm 波段激光由北京卓立汉光公司Omni- λ 3007型光谱仪测量其光谱分布。使用光栅刻线为300 g/mm、闪耀波长为3 000 nm的光栅,最小分辨率可达0.1 nm,最小步距0.005 nm,由计算机

控制其波长扫描。

在光谱仪输出狭缝端使用Teledyne Judson公司J10D-M204-R02M-60型InSb探测器接收信号。使用与光谱仪配套的信号放大器将从InSb探测器输出的电流信号转换成电压信号,并放大适当的倍数后,接入Tektronix公司500 MHz数字式TDS 3054B型四通道彩色示波器,以此判断信号的有无及相对幅值的大小。使用北京物科LE-3激光能量计测量激光能量。

2 实验结果与分析

2.1 输出能量与效率

从KTP OPO输出的激光含有多个波长,主要为1.06 μm 泵浦光、2.7 μm 波段闲频光及1.7~1.8 μm 波段信号光。为消除其他波长激光的干扰,使用滤光片滤光,两块滤光片对1.06 μm 激光都高反(其中一片反射率>99%),其中一片对1.7~1.8 μm 波段信号光全反,故激光经过滤光片后,认为只含有2.7 μm 波段激光成分。

从KTP OPO输出的2.7 μm 波段激光经白宝石片及锗片滤光后,换算成实际输出的能量,其能量输入输出曲线如图2所示。

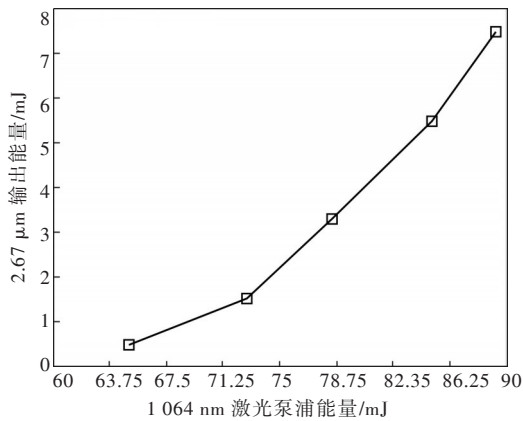


图2 2.67 μm 闲频光能量输入输出曲线

由图可见,当1.06 μm激光输入能量约为89 mJ时,测得2.7 μm波段激光最大输出能量约为7.5 mJ,光-光转换效率约为8.4%,斜效率为29%,由曲线拟合得阈值约为63 mJ。

也用单块KTP晶体做了实验,2.7 μm波段最大输出能量为1 mJ^[8]。这是因为双KTP OPO有效的补偿了光学走离效应,降低了OPO阈值。

2.2 输出光谱

KTP OPO输出波长的调谐是通过改变KTP晶体放置角度实现的。由调角平台上的刻度可确定晶体旋转的角度,每改变一个角度,用光谱仪测出其输出波长的光谱分布,确定峰值波长。

由于泵浦源是重频为1 Hz的脉冲光,光谱仪不能自动扫描波长范围给出光谱分布,研究人员是这样做的:将液氮制冷的InSb探测器接在光谱仪出光狭缝处,由计算机控制光谱仪光栅的转动,此时激光能通过光谱仪的波长值可从计算机上直接显示。若入射光中含有此波长的激光,则能通过光谱仪,并被InSb探测器探测到,产生的电流信号经过放大器后转变成电压信号,同时被放大,接在示波器上得到一个脉冲波形;否则,入射激光不能通过光谱仪,InSb探测器无信号输出,示波器亦无脉冲波形。据此,逐步改变光谱仪通光波长值,按上述方法进行测量,即可实现对入射激光光谱分布的扫描。

根据示波器在不同波长处显示的脉冲波形的幅度值,确定光谱分布的相对强弱。每个波长处脉冲波形幅度值取多次平均,将不同波长处的幅度值归一化,即可得出光谱分布曲线。示波器显示的脉

宽为微秒级,不能反映真实脉宽,源于InSb探测器响应时间的限制。

在激光峰值波长2.67 μm处测得的光谱分布如图3所示。

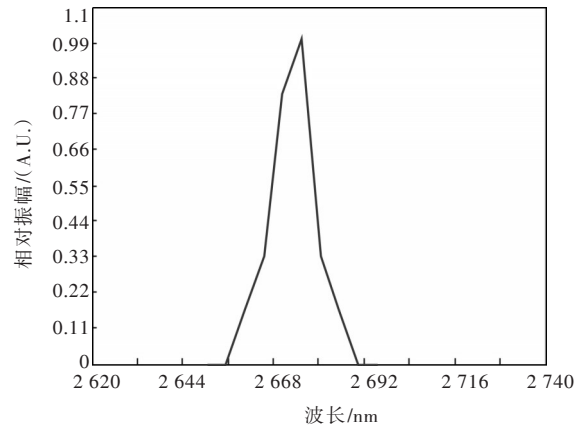


图3 2.67 μm处激光光谱

由图可见,2.67 μm处线宽约为12 nm(FWHM)。由于KTP OPO腔更长,相比于单块KTP OPO输出线宽更窄。

2.3 输出波长的调谐

实验中通过改变KTP晶体角度约5°,实现了闲频光波长2.49~2.73 μm范围调谐输出,如图4所示,与理论计算近似相符。

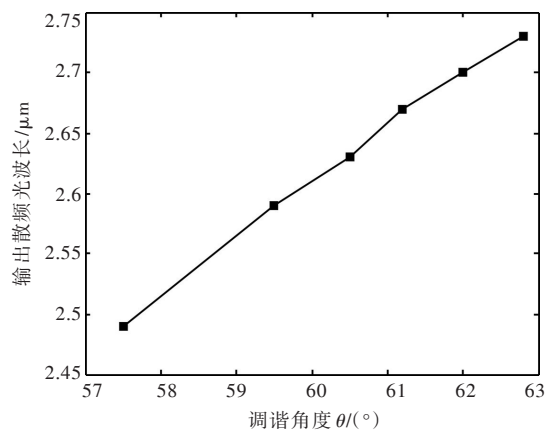


图4 实测KTP OPO输出闲频光波长调谐曲线

双KTP OPO成功实现了2.7 μm波段可调谐激光输出,波长调谐范围为2.49~2.73 μm,下一步可以通过改变KTP晶体切割角度实现中心波长调节,产生感兴趣的可调谐激光。

2.4 输出脉冲时间特性

当光谱仪波长分别设定为2.67 μm 时,使用波兰VIGO-10.6红外探测器测闲频光2.67 μm 脉冲波形,测得激光脉冲宽度为8.48 ns,测得其脉冲波形如图5所示。

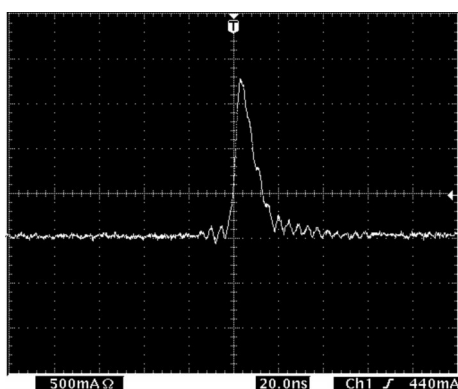


图5 1.06 μm 激光泵浦KTP OPO输出闲频光脉冲波形

1.06 μm 泵浦激光光脉冲宽度为10 ns,参量光脉宽略小于泵浦光脉宽。这是因为OPO处于弱泵浦情况,泵浦光只有在较高的功率小才能产生有效的参量转换,提高泵浦功率可以进一步增加参量转换效率,从图2也可以看到这种趋势。但因为担心晶体损伤,没有进一步提高泵浦功率。

2.5 输出激光光斑

用像纸接收1.06 μm 泵浦光经放大级后的输出光斑、经望远镜聚焦系统后的聚焦光斑以及KTP OPO的输出光斑分别如图6 a、图6b所示。

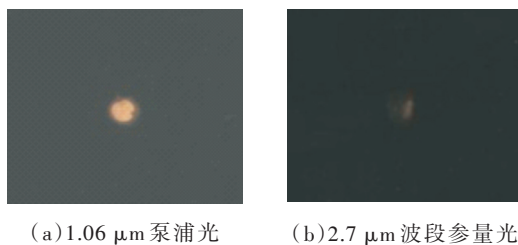


图6 用像纸接收的光斑照片

由图可见,1.06 μm 泵浦光直径约为3 mm,KTP OPO输出闲频光直径约为4 mm。由于泵浦光是在束腰处测量的,参量光不是在束腰处测量,且参量发散角大,导致参量光光斑比泵浦光光斑大。

3 结论

采用一级放大灯泵Nd:YAG激光器泵浦源,设计了一台高峰值功率的2.7 μm 激光器,KTP晶体采用II类相位匹配,双晶体走离补偿外腔单谐振OPO结构,获得了单脉冲能量7.5 mJ,脉宽8.5 ns的高峰值功率2.7 μm 波段激光输出。下一步可以提高参量输出镜对泵浦激光的反射率,实现双程泵浦,从而降低OPO系统阈值,进一步提高输出激光能量和转换效率。

参考文献

- [1] Faist J, Capasso F. Quantum cascade laser[J]. Science, 1994, 264(5158):553-556.
- [2] Garbuzov D Z, Lee H, Khalfin V, et al. 2.3~2.7 mm room temperature CW operation of InGaAsSb-AlGaAsSb broad waveguide SCH-QW diode lasers[J]. IEEE Photon Lett, 1999, 11(7):794-796.
- [3] Deloach L D, Page R H, Wilke G D, et al. Transition metal-doped zinc chalcogenides:spectroscopy and laser demonstration of a new class of gain media[J]. IEEE J Quantum Electron, 1996, 32(6):885-895.
- [4] Sorokin E, Naumov S, Sorokina I T. Ultrabroadband infrared solid-state lasers[J]. IEEE J Sel Top Quantum Electron, 2005, 11:690-712.
- [5] Vodopyanov K L. Mid-infrared optical parametric generator with extra-wide (3-19mm) tenability applications for spectroscopy of two-dimensional electrons in quantum wells[J]. Opt. Soc Am B, 1999, 16:1579-1586.
- [6] 彭跃峰,魏星斌,王卫民,等.近衍射极限腔内光参量振荡2.7 μm 激光器[J].中国激光,2010,31(9):2376-2379.
- [7] 包照日格图,张大勇,冯宇彤,等.可调谐中红外OPO激光器研究[J].激光与红外,2012,42(9):986-988.
- [8] 进田,孙晓泉,聂劲松.2.6~2.8 μm KTP OPO实验研究[J].量子电子学报,2008,25(2):226-229.