

文章编号: 1001-3806(2007)03-0225-03

中红外砷酸钛氧钾光参变振荡器的实验研究

王 滨^{1,2}, 任 刚^{1,3}, 李 彤¹, 牛瑞华¹, 于淑范¹, 钟 鸣¹, 吕百达^{2*}

(1. 西南技术物理研究所, 成都 610041; 2. 四川大学 激光物理与化学研究所, 成都 610064; 3. 四川大学 电子信息学院, 成都 610064)

摘要: 为了得到高能量中红外激光输出, 对电光调 Q 灯抽运 1064nm Nd YAG 抽运复合腔砷酸钛氧钾 (KTA) 光学参变振荡器 (OPO) 作了实验研究, 在工作频率 1Hz 时得到 OPO 输出单脉冲能量 36mJ, 信号光脉宽 10ns, 闲频光波长 3407nm, 能量 11mJ。在 5Hz~40Hz 范围单脉冲能量随重复频率增高而降低。实验中采用的复合腔抽运技术有利于提高转换效率, 降低起振阈值。使用上述光源对中红外成像器件作实验, 在成像系统监视器上观察到激光光斑。这一结果对中红外激光器的研究是有帮助的。

关键词: 非线性光学; 光参变振荡器; 复合腔; 砷酸钛氧钾; 中红外激光

中图分类号: O437.4 **文献标识码:** A

Experimental study of a kalium titanyl arsenate optical parametric oscillator in the mid-infrared band

WANG B in^{1,2}, REN Gang^{1,3}, LI Tong¹, NIU Rui-hua¹, YU Shu-fan¹, ZHONG Ming¹, LÜ Bai-da²

(1. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China; 2. Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu 610064, China; 3. School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: For the propose of finding high energy mid-infrared laser output, a compound cavity kalium titanyl arsenate (KTA) optical parametric oscillator (OPO) pumped by an electro-optic Q -switched flash-lamp-pumped 1064nm Nd YAG laser was experimentally studied. Single pulse energy of 36mJ of the OPO was obtained at a repetition rate of 1Hz, where the idler pulse energy was 11mJ at 3407nm wavelength with pulse width of 10ns. The pulse energy decreased with increasing the repetition rate within the range of 5Hz~40Hz. The experimental result shows that the compound cavity pumping technology has the advantage of enhancing conversion efficiency and reducing oscillator threshold. With a mid-infrared image apparatus illuminated by the OPO, the laser spot was observed from the monitor of the image system. This result is useful for mid-infrared laser study.

Key words: nonlinear optics; optical parametric oscillator; compound cavity; kalium titanyl arsenate; mid-infrared laser

引 言

3000nm~5000nm 波段是衰减最小的红外大气窗口, 红外制导导弹的探测器多工作于这一波段。激光以其高亮度, 良好的相干性和极高的空间分辨力在军事领域有广泛的应用^[1]。中红外光参变振荡器 (optical parametric oscillator, OPO) 一直是国内外研究的热点^[2~4], 它具有调谐范围广、结构紧凑、可全固化、可实现大功率、窄线宽输出等特点。砷酸钛氧钾 (kalium titanyl arsenate, KTA) 晶体在中红外区域具有更好的透射性, 其透光范围为 350nm~5300nm, 在 1 μ m~4 μ m

波长范围内吸收系数小于 0.01cm⁻¹。KTA 晶体具有损伤阈值高, 物理化学性能稳定, 生长技术较成熟等优点, 它热导系数高, 在高功率激光抽运时不会产生热透镜效应, 适合高重频高能量中红外输出。中红外 KTA-OPO 已做了很多研究^[5~9], 由于晶体有效非线性系数小, 导致起振阈值较高, 一般都选择内腔模式^[10], 得到高重复频率, 高平均功率和低峰值功率输出。作者选择一种特殊的复合腔结构^[3], 研究了 Nd YAG 激光抽运复合腔 KTA 晶体光参变振荡器的输出特性, 在低重复频率工作获得相对较高的单脉冲能量。作为应用举例, 以上述激光光源对某红外成像器件作了直射实验研究。

1 实验装置

实验装置如图 1 所示, KTA-OPO 的抽运源是一电光调 Q 的 Nd YAG 激光器, 它含有一根 6mm 直径 100mm 长水冷却 Nd YAG 棒和一根脉冲氙灯, 平面镜

作者简介: 王 滨 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光与非线性光学等研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: badalu@scu.edu.cn

收稿日期: 2006-05-10; 收到修改稿日期: 2006-07-22

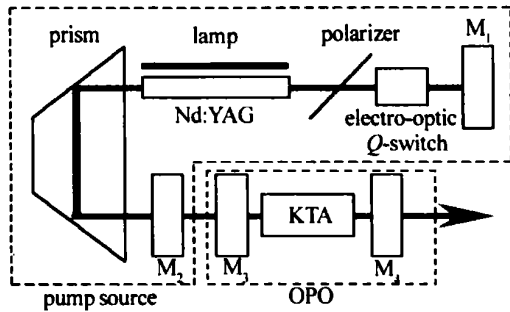


Fig 1 Experimental setup

M_1, M_2 构成 1064nm 激光谐振腔, M_1 镀膜对 1064nm 反射率 $R > 99\%$, M_2 为 1064nm 输出镜, 对 M_2 选择了一个对 1064nm 较小的反射率 ($R < 10\%$); Nd:YAG晶体与 M_2 间插入棱镜以减小激光头的尺寸, 便于实际应用。KTA-OPO腔含一块 I 类非临界相位匹配, x 轴切割 ($\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$) 的 $6\text{mm} \times 6\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的 KTA 晶体, KTA 晶体镀有对抽运光、信号光和闲频光 3 个波段的高透膜, 它固定于平面镜 M_3, M_4 间夹具上, 以自然方式散热; 耦合输入镜 M_3 镀膜对 1064nm 抽运光透过率 $T_p > 97\%$, 对信号光反射率 $R_s > 99\%$; 耦合输出镜 M_4 为 CaF_2 基片, 镀膜对抽运光反射率 $R_p > 99\%$, 对信号光反射率 $R_s > 94\%$, 对闲频光透过率 $T_i > 85\%$ 。该 KTA-OPO 对信号光单谐振。图 1 所示实验装置中, Nd:YAG 激光器后向反射镜 M_1 和 OPO 耦合输出镜 M_4 组成 1064nm 高反射腔, 该腔中 1064nm 激光辐射更有效地转变为信号光和闲频光, 同时使得整个系统构成一种介于外腔和内腔之间的复合腔^[3], 这种复合腔具有起振阈值低, 非线性转换效率高等优点。

2 KTA-OPO 输出特性

不加载 OPO 腔, 仅从 M_2 镜获得 1064nm 激光调 Q 输出, 在氙灯抽运电压约 530V 时达到起振阈值, 在 1Hz 频率输出单脉冲能量约 10mJ , 抽运电压增至 650V 输出单脉冲能量约 140mJ , 其输出能量随抽运电压大致成线性变化, 脉宽 11.2ns , 如图 2 所示。上述抽运

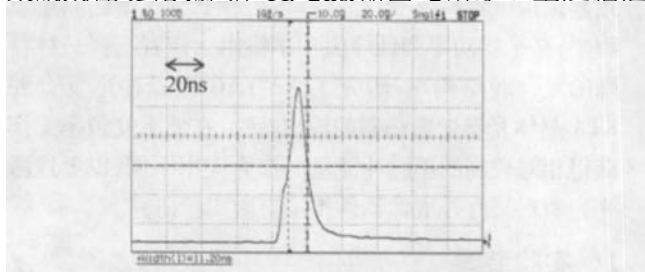


Fig 2 The oscilloscope trace of the OPO pumping laser pulse

激光入射到 KTA-OPO, 在抽运电压 450V 得到单脉冲 36mJ 参变输出, 其中闲频光能量 11mJ 。参变输出光随氙灯抽运电压变化如图 3 所示, 可以看出, 其起振阈值低于 400V , 这远小于仅由 M_1 和 M_2 构成的 YAG 腔

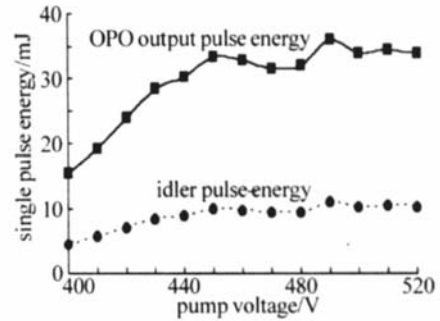


Fig 3 OPO output energy and idler pulse energy versus flash lamp pump voltage

的起振阈值, 此时 KTA-OPO 处于近似于内腔结构的工作模式, KTA-OPO 的输出能量随着抽运电压的升高而增加, 输入输出基本上是一种线性关系。抽运电压升高到约 450V 时, 系统处于一种临界工作状态, 输出不稳定。抽运电压大于 470V 时接近于 YAG 激光起振阈值, 系统工作于近似外腔模式, 输出能量随着抽运电压的升高而继续增加, 直至达到饱和。可以看出, 即使处于近似于外腔模式的工作状态, 系统的抽运电压仍低于由 M_1, M_2 构成的 Nd:YAG 腔的起振阈值, 可见采用的复合腔结构确实能降低整个系统的起振阈值。在抽运电压 400V 时测量了 KTA-OPO 的重复频率输出特性, 如图 4 所示。在 5Hz 频率得到最高单脉冲能量。

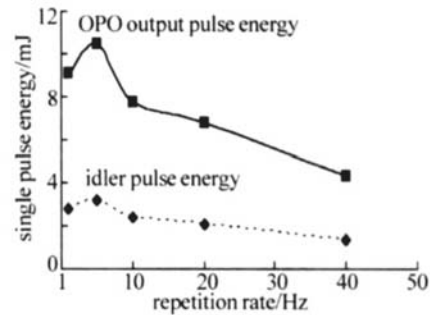


Fig 4 OPO output pulse energy and idler pulse energy versus repetition rate 随工作频率增加, 输出单脉冲能量降低。使用光栅单色仪测得室温下信号光波长为 1547nm , 对应闲频光波长为 3407nm 。信号光脉宽约为 10ns , 如图 5 所示, 远场发散角约为 10m rad 。

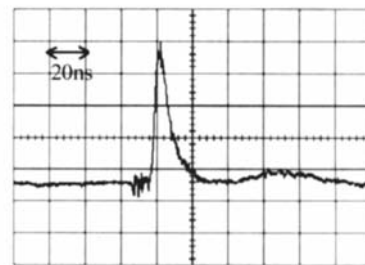


Fig 5 The oscilloscope trace of OPO signal output pulse

3 激光照射红外成像器件实验结果

使用上述激光源直射某红外成像器件, 实验场地

选择在楼道走廊内,激光头与探测器之间的距离约为 20m。成像系统物镜镀有 3000nm~5000nm 增透膜,对低于 3000nm 辐射截止,因此,在图 1 所示激光输出端未加对信号光和剩余抽运光的滤光片。实验中通过位于成像系统后方的监视器观察到成像器件视场内景物的 3000nm~5000nm 红外图像。

红外成像器件的视场中心位于激光输出口附近,由成像系统监视器截得红外图像如图 6 所示。图 6a

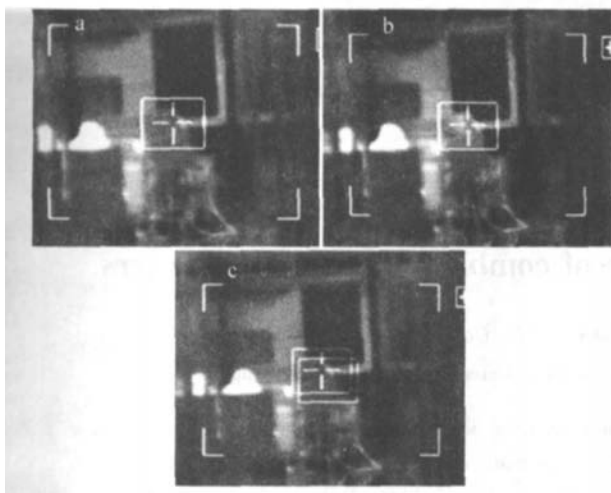


Fig 6 Laser spot images from the monitor of an image apparatus

中激光器处于两个激光脉冲之间的间歇状态,图像的中心十字线标明成像系统视场中心,白色矩形框为图像锁定区域;图 6b、图 6c 是出现激光脉冲时的连续 2 帧图像,图 6b 为激光脉冲出现的一帧图像,由于激光脉宽在纳秒级,而成像系统扫描时间较长,所以激光脉冲仅能覆盖扫描系统某一场的扫描图像,它表现为一组条纹形状,而不同于背景是一幅连续完整的图像,这也是区分视场内激光光斑与其它背景光的依据;图 6c 的一帧画面中激光脉冲刚刚闪过,可看到成像系统锁定区域因上一帧画面影响而明显跳离视场中心,随后当没有激光入射时它会重新跳回视场中心。对比于图 6b 和图 6c 现象可以看出,所使用的激光脉冲能量较弱,不会影响成像系统的正常工作,而仅在图像中出现激光亮斑而改变了原红外图像对比度分布,而此时若成像系统视场正好锁定于激光光斑附近,将会受到激光光斑的干扰而偏离原目标。

4 小 结

对脉冲氙灯抽运 1064nm Nd:YAG 激光器抽运的

复合腔 KTA-OPO 作了实验研究。得到 1Hz 单脉冲 36mJ 参变光输出,其中闲频光脉冲能量 11mJ,波长 3407nm,信号光脉宽 10ns。实验表明,复合腔抽运技术有利于提高抽运光到参变光的转换效率,并能降低起振阈值。KTA-OPO 工作频率 1Hz~40Hz,相同抽运强度时重复频率 5Hz 测得单脉冲能量最高,之后随频率增高单脉冲能量降低。使用上述光源对中红外成像器件作了照射实验,结果表明,入射激光会引起成像探测器响应形成激光光斑图像,由于激光脉宽窄于成像扫描时间使光斑图像呈条纹状分布。当成像系统锁定于激光输出口附近时,激光脉冲会影响图像对比度分布从而使成像器件锁定区域偏离原目标。有关实验结果可为激光照明、激光干扰等研究提供参考依据。此后在提高激光能量、重复频率和改变波长范围等方面作进一步努力,以达到实用要求。

参 考 文 献

- [1] REN G-G, HUANG YN. Laser-based ICM system defenses for military and commercial aircraft [J]. *Laser & Infrared*, 2006, 23 (1): 1~6 (in Chinese).
- [2] YAO B Q, WANG Y Z, WANG Q. Development of mid-infrared optical parametric oscillator [J]. *Laser Technology*, 2002, 26 (3): 217~220 (in Chinese).
- [3] WAN Y, LAN G, SU X Z *et al* High energy output compound cavity pump optical parametric oscillator in the mid infrared [J]. *Laser Technology*, 2005, 29 (4): 340~342 (in Chinese).
- [4] WANG K Q, PEI B. Mid-infrared parametric oscillator with 3.76 μ m output [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2000, 27 (8): 691~693 (in Chinese).
- [5] WU R F, LAI K S, WONG H F *et al* Multiwatt mid-IR output from a Nd:YALO laser pumped intracavity KTA OPO [J]. *Optics Express*, 2001, 8 (13): 694~698 (in Chinese).
- [6] WEBB M S, MOULTON P F, KASINSKI J *et al* High-average-power KTA:K₂O₄ optical parametric oscillator [J]. *Opt Lett*, 1998, 23 (15): 1161~1163.
- [7] LAVIR, ENGLANDER A, LALLOUZ R. Highly efficient low-threshold tunable all-solid-state intracavity optical parametric oscillator in the mid infrared [J]. *Opt Lett*, 1996, 21 (11): 800~802.
- [8] RUFFING B, NEBEL A, WALLENSTEN R. A 20W KTA-OPO synchronously pumped by a CW mode-locked Nd:YVO₄ oscillator-amplifier system [A]. *CLEO 97 [C]*. Washington D C: CLEO, 1997. 199.
- [9] MARSHALL L R. Efficient multiwatt 2 μ m~5 μ m tunable sources [A]. *CLEO 96 [C]*. Washington D C: CLEO, 1996. 368~369.
- [10] DEBUSSCHERT T, RAFFY J, POCHOLLE J P *et al* Intracavity optical parametric oscillator: study of the dynamics in pulsed regime [J]. *J O S A*, 1996, B13 (7): 1569~1587.