

文章编号: 1001-3806(2013)04-0503-03

基于 CO₂ 激光的 AgGaSe₂ 晶体中 3 次谐波产生

饶志明^{1,2}, 王新兵¹, 肖贤波², 卢彦兆¹

(1. 华中科技大学 光学与电子信息学院 武汉光电国家实验室, 武汉 430073; 2. 江西中医学院 计算机学院, 南昌 330004)

摘要: 为了在 AgGaSe₂ 晶体中产生 3 次谐波, 利用自行研制的 1 台可调谐脉冲 CO₂ 激光器, 在 2 次谐波中采用 I 类匹配, 并在 3 次谐波中采用 II 类匹配的方法。实验中 CO₂ 激光输出波长为 9.6 μm, 在 AgGaSe₂ 晶体中得到了波长为 4.8 μm 的 2 次谐波以及波长为 3.2 μm 的 3 次谐波, 其峰值功率分别为 88kW 和 4kW, 并测量了相位匹配允许角。结果表明, 在该 AgGaSe₂ 晶体实验中能有效地输出 3 次谐波, 随着 CO₂ 激光功率的增大, 输出 2 次谐波峰值功率和 3 次谐波峰值功率的级数都增加。

关键词: 激光技术; 3 次谐波; 相位匹配; CO₂ 激光; AgGaSe₂ 晶体

中图分类号: TN248.2⁺2

文献标识码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.04.019

Third-harmonic generation in AgGaSe₂ crystals based on CO₂ laser

RAO Zhi-ming^{1,2}, WANG Xin-bing¹, XIAO Xian-bo², LU Yan-zhao¹

(1. Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Department of Computer Science, Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330004, China)

Abstract: In order to generate the third harmonic in AgGaSe₂ crystals, I and II phase-match were applied for the second and third harmonics of CO₂ laser respectively. In the experiment, output wavelength of CO₂ laser was 9.6 μm. The peak power of the second-harmonic at 4.8 μm was 88kW and the peak power of the third-harmonic at 3.2 μm was 4kW respectively. The phase-matching acceptance angle was measured. The results show that the second-harmonic wave and the third-harmonic wave are acquired effectively and peak power of the second-harmonic wave and third-harmonic wave increase rapidly with the increase of input power of CO₂ laser.

Key words: laser technique; third-harmonic generation; phase matching; CO₂ laser; AgGaSe₂ crystal

引言

AgGaSe₂ 晶体是广泛应用于中红外频率变换的单轴晶体。如果将 CO₂ 激光进行 3 次谐波 (third-harmonic generation, THG), 就可以简便而有效地获得波长范围在 3 μm ~ 3.6 μm 的中红外可调谐激光。TAKAOKA 等人^[1] 在 AgGaSe₂ 晶体中成功地获得了 3 次谐波输出, 其在非临界温度相位匹配时用温度控制 AgGaSe₂ 晶体, BHAR 等人^[2] 利用两块 AgGaSe₂ 晶体在 3.5 μm 获得了 3 次谐波。在国内, WU 等

人^[3] 在 AgGaSe₂ 晶体中获得了连续和脉冲输出的 2 次谐波激光, 使用的是自己生长的晶体。2009 年, LI 等人利用 9.3 μm 脉冲横向激励大气压 (transversely excited atmospheric, TEA) CO₂ 激光通过 AgGaSe₂ 晶体 2 次谐波产生 (second-harmonic generation, SHG) 技术实现 4.65 μm 中红外波段激光输出的实验^[4]。近年来, 武汉光电国家实验室高能激光脉冲团队利用 CO₂ 激光作为抽运光, 获得了抽运光的 2 次谐波到 4 次谐波及差频波长激光, 能够将激光的波长变换到 2.3 μm ~ 5.4 μm 和 72.3 μm ~ 2706 μm 的调谐范围, 实现覆盖中红外波段和太赫兹波段^[5-10]。而关于 AgGaSe₂ 晶体中红外的 3 次谐波, 只有在本实验中得到实现。

AgGaSe₂ 晶体属于 42 点群负单轴晶体, 黄铜矿三元化合物, 2 阶非线性系数 d_{36} (10.6 μm) =

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (11264019)

作者简介: 饶志明 (1978-), 男, 博士, 现主要从事激光技术的研究。

E-mail: raozm 24@163.com

收稿日期: 2012-09-17; 收到修改稿日期: 2012-11-02

39.5pm/V,透光范围为 0.71 μm ~ 19 μm ,是中红外波段使用很广泛的频率变换非线性晶体。本文中介绍了利用 AgGaSe₂ 晶体产生 CO₂ 激光的 3 次谐波输出实验,在波长为 3.2 μm 时,3 次谐波的峰值功率为 4kW。

1 实验装置介绍

图 1 是利用两块 AgGaSe₂ 晶体在 CO₂ 激光器中产生 3 次谐波的实验装置示意图。抽运光源是可以调谐的短脉冲单波长 CO₂ 激光器^[11]。在该实验中,利用光栅把 CO₂ 激光器调谐到波长为 9.6 μm ,工作重复频率设置为 1Hz。因为 AgGaSe₂ 晶体双折射较小,只能用 II 类相位匹配(e + o \rightarrow e),在该非线性晶体中产生 CO₂ 激光的 3 次谐波输出。也就是说抽运光、2 次谐波光和 3 次谐波光分别为 e 光、o 光和 e 光时,才能满足 AgGaSe₂ 晶体中 3 次谐波的匹配。

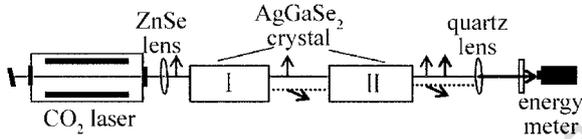


Fig. 1 Experimental setup for the third-harmonic generation in AgGaSe₂ crystals

该实验是由两块 AgGaSe₂ 晶体分为两步来进行 3 次谐波的产生。第 1 步是经过 ZnSe 透镜聚焦的 9.6 μm 抽运光在体积为 5mm × 5mm × 10mm, I 类($\theta = 50^\circ$)匹配切割的 AgGaSe₂ 晶体中产生 2 次谐波激光输出,此时聚焦点离 AgGaSe₂ 晶体不能很近,否则易导致 AgGaSe₂ 晶体受损伤。第 2 步是在第 2 块体积为 5mm × 5mm × 13mm, II 类 eo-e 匹配($\theta = 55^\circ$)切割的 AgGaSe₂ 晶体中产生 3 次谐波激光。两块非线性晶体的前后两面都镀上对波长为 9.6 μm , 4.8 μm 和 3.2 μm 高透射的增透膜,并且都装在能够 3 维方向调整的平台。实验中使用焦热电探测器(Analog Joulemeter Probe)测量 2 次谐波光和 3 次谐波光的脉冲能量值。测量所产生的 2 次谐波激光能量时,是用白宝石片过滤抽运光。测量 3 次谐波激光能量时,是用焦距为 150mm 石英透镜和厚度为 4mm 的石英片相组合而收集到焦热电探测器。

2 3 次谐波的实验结果及分析

9.6 μm 抽运光经过聚焦后的光斑面积约为 0.2cm²,其脉冲能量约为 100mJ,实验中获得了 2 次谐波的脉冲能量约为 5.3mJ,能量转换效率约为 5.3%。此时抽运光 CO₂ 激光峰值功率密度约为

7.1MW/cm²,波长为 4.8 μm 的 2 次谐波激光峰值功率约为 88kW。图 2 表示 2 次谐波输出功率与 CO₂ 激光峰值功率密度关系。根据转换效率公式,2 次谐波功率与抽运功率之间的关系是平方关系,可见实验数据曲线与理论比较接近。如果再加大 CO₂ 激光的功率密度,将导致 AgGaSe₂ 受损。

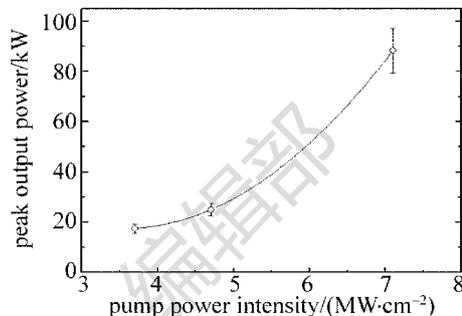


Fig. 2 Relationship between peak output power of the second-harmonic and pump power intensity

3 次谐波输出功率随 CO₂ 激光峰值功率密度变化的曲线如图 3 所示,在抽运光的脉冲能量约为 100mJ 时获得的 3 次谐波激光单脉冲能量约为 0.14mJ,能量转换效率约为 0.14%。抽运光 CO₂ 激光峰值功率密度约为 7.1MW/cm²,3 次谐波激光峰值功率约为 4kW。由图 3 可知,抽运光峰值功率密度约为 3.7MW/cm²,在波长为 3.2 μm 的 3 次谐波激光峰值功率约为 1.2kW。可得实验中 3 次谐波功率的增大倍数约为抽运功率增大倍数的 2 次方,而理论上根据功率转换效率理论两者的关系是 3 次方,实验结果和理论有所差距是由于在 3 次谐波的实验中能量转换效率很小、实验过程中存在的各种能量损失的原因导致的。

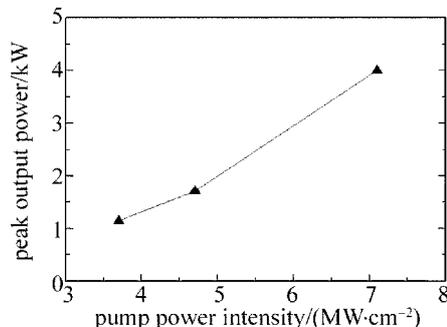


Fig. 3 Relationship between peak output power of the third-harmonic and pump power intensity

图 4 所示是 3 次谐波的 II 类相位匹配允许角的调谐实验数据图,从图中可知,AgGaSe₂ 晶体中 CO₂ 激光的 3 次谐波的 II 类相位匹配允许角约为 1.8° ± 0.2°,也就是说在匹配角的角度前后几度的范围内都能输出 3 次谐波激光。说明其调谐范围较宽,相

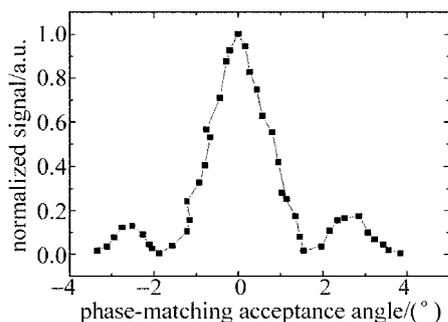


Fig. 4 Relationship between phase-matching acceptance angle and normalized signal

比于差频中 GaAs 晶体 0.1° 左右的允许角宽很多^[6]。

3 结论

利用 CO₂ 激光在 AgGaSe₂ 晶体输出的 2 次谐波激光和 3 次谐波激光, 获得的 2 次谐波激光峰值功率为 88kW, 3 次谐波激光峰值功率为 4kW, 随着 CO₂ 激光功率的增大, 输出 2 次谐波峰值功率和 3 次谐波峰值功率的级数都增加。

参 考 文 献

- [1] TAKAOKA E, KATO K. 90° phase-matched third-harmonic generation of CO₂ laser frequencies in AgGa_{1-x}In_xSe₂ [J]. Optics Letters, 1999, 24(13): 902-904.
- [2] BHAR G, KUMBHAKAR P, SATYANARAYANA D, et al. Third harmonic generation of CO₂ laser radiation in AgGaSe₂ crystal [J]. Pramana, 2000, 55(3): 405-412.
- [3] WU H X, ZHANG W, TAO D J, et al. Continuous-wave frequency doubling of a tunable CO₂ laser in AgGaSe₂ [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2004, 21(4): 440-443 (in Chinese).
- [4] LI D J, YANG G L, XIE J J, et al. Experiments of second harmonic generation of 9.3 μm pulsed CO₂ lasers [J]. Optics and Precision Engineering, 2009, 17(11): 2684-2691 (in Chinese).
- [5] LU Y Zh, WANG X B, ZHU X W, et al. Tunable middle infrared radiation generation in a GaSe crystal [J]. Journal of Applied Physics, 2010, 107(9): 93105.
- [6] LU Y Zh, WANG X B, MIAO L, et al. Efficient and widely step-tunable terahertz generation with a dual-wavelength CO₂ laser [J]. Applied Physics, 2011, B103(2): 387-390.
- [7] LU Y Zh, WANG X B, MIAO L, et al. Third-harmonic and fourth-harmonic generations of CO₂ laser radiation in a GaSe crystal [J]. Optics Communications, 2011, 284(14): 3622-3625.
- [8] LU Y Zh, WANG X B, MIAO L, et al. Terahertz generation in nonlinear crystals with mid-infrared CO₂ laser [J]. Chinese Physics Letters, 2011, 28(3): 34201.
- [9] RAO Zh M, WANG X B, LU Y Zh. Tunable terahertz generation from one CO₂ laser in a GaSe crystal [J]. Optics Communications, 2011, 284(23): 5472-5474.
- [10] RAO Zh M, WANG X B, LU Y Zh, et al. Two schemes for generating efficient terahertz waves in nonlinear optical crystals with mid-infrared CO₂ laser [J]. Chinese Physics Letters, 2011, 28(7): 074215.
- [11] LU Y Zh, WANG X B, DONG G, et al. Pulse characteristics of a dual-wavelength tunable TEA CO₂ laser [J]. Laser Technology, 2010, 34(1): 88-90 (in Chinese).