

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0066-03

# 可调谐 TEA CO<sub>2</sub> 激光倍频研究\*

胡孝勇<sup>1</sup> 黄金哲<sup>1</sup> 曲彦臣<sup>1</sup> 任德明<sup>1</sup> 刘逢梅<sup>1</sup> 程干超<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 哈尔滨工业大学光电子研究所, 哈尔滨 150001)  
(<sup>2</sup> 安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

**提要** 利用国产尺寸为 7 mm×8 mm×12 mm 的 AgGaSe<sub>2</sub> 晶体, 实现了可调谐 TEA CO<sub>2</sub> 激光的倍频, 得到了 CO<sub>2</sub> 激光 10.6 μm 和 9.6 μm 谱带的 21 条谱线的倍频光。最大的倍频输出能量达到 1.32 mJ [10P(16)]。在 10P(18) 谱线处获得的最大能量转换效率为 4%。

**关键词** 倍频, AgGaSe<sub>2</sub> 晶体, TEACO<sub>2</sub> 激光

**中图分类号** TN248.2<sup>+</sup>2;O437.1 **文献标识码** A

## Frequency Doubling in Tunable TEA CO<sub>2</sub> Laser

HU Xiao-yong<sup>1</sup> HUANG Jin-zhe<sup>1</sup> QU Yan-chen<sup>1</sup> REN De-ming<sup>1</sup>

LIU Feng-mei<sup>1</sup> CHENF Gan-chao<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Opto-Electronic Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)  
(<sup>2</sup> Anhui Institute of Optical and Fine Mechanics, Hefei 230031)

**Abstract** Frequency doubling is experimentally fulfilled in tunable mini-TEA CO<sub>2</sub> laser with home made AgGaSe<sub>2</sub> crystal, with the dimension of 7 mm×8 mm×12 mm. 21 doubled lines generated from CO<sub>2</sub> spectrum region 10.6 μm~9.6 μm were obtained at the same time. The maximum output was found to be 1.32 mJ [10P(16)]. And, in 10P(18) line, the maximum energy conversion was efficiency 4%.

**Key words** frequency doubling, AgGaSe<sub>2</sub> crystal, TEACO<sub>2</sub> laser

### 1 引言

CO<sub>2</sub> 激光是一种应用最广泛的中红外量子发生器。尽管它可以在 9 μm~11 μm 范围内调谐, 但人们还是希望扩展它的谱线范围, 以满足更广阔的应用需要。特别是近年来, 随着 3 μm~5 μm 大气窗口热成像系统的开发和利用, 国际上正在大力开展 3 μm~5 μm 激光光源研究。众所周知, 迄今在这一波段尚没有直接振荡的小型且操作简便的高功率激光器, 所以人们致力于利用波长变换技术来获得这一波段相干光源的开发研究。其中, 最引人注目的是利用非线性晶体产生 CO<sub>2</sub> 激光的二次谐波的研究, 这在国外已经得到很好的发展<sup>[1~7]</sup>。此外, TEA CO<sub>2</sub> 激光器可制成小型高重复率高功率激光器。本文将报告利用 AgGaSe<sub>2</sub> 非线性光学晶体产生 TEA

CO<sub>2</sub> 激光倍频的研究。

### 2 理论分析与计算

当忽略晶体中倍频发生过程中基波的衰减与吸收时, 倍频效率为<sup>[8]</sup> (对于 Type I,  $\infty \rightarrow e$  匹配):

$$\gamma = \frac{|I_2|}{|I_1|} = \frac{8\pi^2 L^2 d_{\text{eff}}^2}{n_1^2 n_2 \lambda_1^2 \epsilon_0 c} |I_1| \text{sinc}^2\left(\frac{\Delta k L}{2}\right) \quad (1)$$

匹配角:

$$\sin(\theta_m) = \frac{n_{2e}}{n_{1o}} \left( \frac{n_{2o}^2 - n_{1o}^2}{n_{2o}^2 - n_{2e}^2} \right)^{1/2} \quad (2)$$

可接受角:

$$\Delta\theta = \frac{\pi/L}{(\omega/c) n_{1o}^3 (n_{2e}^{-2} - n_{2o}^{-2}) \sin(2\theta_m)} \quad (3)$$

式中  $\epsilon_0$  为真空介电常数,  $L$  为晶体长度,  $\lambda$  为光波长,  $n$  为折射率 (对于色散介质, 与光的频率或波长有关), 角标  $o, e$  则表示寻常光与非寻常光, 而以 1,

\* 国家自然科学基金(69878005)资助课题

2 表示基波光与倍频光;  $I_1, I_2$  分别表示基波光与倍频光的光强,  $d_{\text{eff}}$  为有效非线性光学常数, 波矢差

$$\Delta k = 2k_1 - k_2$$

后面的计算所用到的参数 [ $n(\lambda), d_{36}$ ] 取自文献[8, 9]。由(1)式可知, 增大  $L$  和  $|I_1|$  都可以提高二次谐波输出。但由于长的非线性晶体难于制造且价格昂贵, 所以增加长度的方法受到限制。增大基波光强  $|I_1|$ , 须考虑其损伤阈值。当基波光的功率密度太高时晶体会受到损伤, 所以也并非基波光的光强越大越好, 而是存在一个适当的值。为此, 我们计算了 TEM<sub>00</sub> 模的基波光的光斑半径随聚焦镜焦距的变化关系。由高斯光束  $q$  参数变换的基本知识<sup>[10]</sup> 可以得到焦距公式:

$$F = \frac{\pi w_0^2 w}{\lambda} \quad (\lambda \ll w_0, w) \quad (4)$$

以凹面反射镜为例, 式中  $F$  为反射镜焦距,  $w_0$  为入射光束束腰半径,  $w$  为出射光在焦点处(晶体中)的光斑半径。这样可按照上式选取适当的反射镜的曲率半径来满足实验的要求。

### 3 实验研究

实验中, 利用安徽光机所生产的 7 mm × 8 mm × 12 mm 的 AgGaSe<sub>2</sub> 晶体作为倍频晶体。首先研究了 10.59 μm 波长谱线(10P20) TEA CO<sub>2</sub> 激光的二次谐波发生。实验装置如图 1 所示。

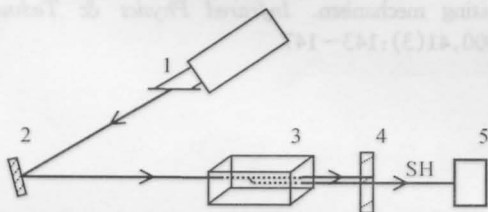


图 1 TEA CO<sub>2</sub> 激光器谐波发生的实验装置

Fig. 1 Experiment setup for SHG in TEA CO<sub>2</sub> laser with AgGaSe<sub>2</sub> crystal. 1: TEA CO<sub>2</sub> laser; 2: Reflecting mirror; 3: AgGaSe<sub>2</sub> crystal; 4: LiF filter; 5: Energy detector

我们以 0.5° 角为外部角度间隔, 以 ED-500 能量计测量基波光能量, 用 2835-c 型能量计探测倍频光能量。在入射基波能量 ~ 80 mJ 的情况下, 测量了抽运光外部入射角与倍频光输出能量的关系。如图 2 所示。

由图 2 得到的匹配角与可接受角同理论计算结果比较吻合。图 3 中, 将实测数据进行适当处理, 略去基频光的影响 (~ 100 μJ), 算出了内部的转换能量。在图中的理论曲线中,  $E$  的选取为匹配处的平

均倍频脉冲能量。

对应于图 1 得出, 匹配角:

$$\theta_m = 55^\circ \pm 0.5^\circ \quad (5)$$

可接受角:

$$\Delta\theta \approx 0.8^\circ \quad (6)$$

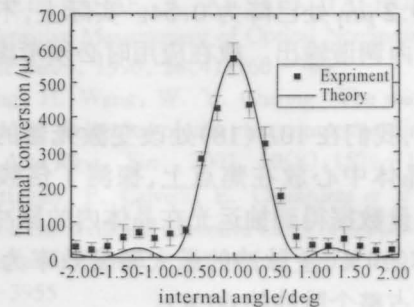


图 2 波长 10.59 μm 10P(20) 线的倍频角度调谐曲线理论计算公式  $E = \text{sinc}^2(\Delta kl/2)$

Fig. 2 Angle tuning curves of SHG at the wavelength 10.59 μm in 10P(20) line

在最佳的匹配位置上, 还对倍频光用单色仪和 3 μm ~ 5 μm 的 HgCdTe 探测器测量了其波长, 得到结果为:

$$\lambda_{22} = 5.294 \pm 0.003 \text{ (}\mu\text{m)} \quad (7)$$

此外, 利用可输出 50 余条谱线的可调谐 TEA CO<sub>2</sub> 激光器进行了调谐实验研究<sup>[11]</sup>, 使用 LiF 衰减片(总的基波光的透射率为  $T = 4 \times 10^{-5}$ , 总的倍频光的透射率为 81%), 通过改变基波光的入射角度, 得到了各支谱线中(10P, 10R, 9P, 9R)代表性的 21 条谱线的倍频光输出。图 3 给出了调谐曲线图, 并画出了理论曲线。

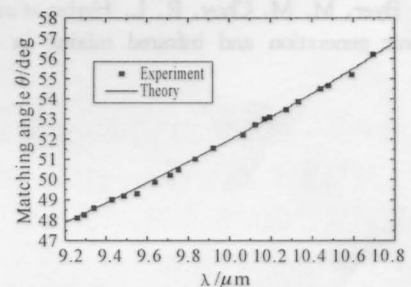


图 3 匹配角随波长变化的测量数据和按(2)式计算数据

Fig. 3 Matching angles vary with wavelengths

在图 3 所引用的理论公式(2)中, 我们将晶体的切割角提高了 0.2°, 这样才与实验数据符合的较好, 这一点可能是由晶体的切割误差和晶体中杂质造成折射率的微弱偏离的综合因素形成的。另外, 我们通过增大抽运光能量, 在 10P(16) 处获得了最大内部转换能量 1.32 mJ。

随着抽运光匹配角偏离晶体切割角, 由于晶体两端面的透射率的降低, 输出的倍频光能量也将大

打折扣。此时公式(1)应变为:

$$\eta = \frac{|I_2|}{|I_1|} = \frac{8\pi^2 L^2 d_{\text{eff}}^2 \cdot T}{n_1^2 n_2 \lambda^2 \epsilon_0 c} |I_1| \text{sinc}^2\left(\frac{\Delta k L}{2}\right) \quad (8)$$

式中,  $T$  为基波和倍频光透射因子。在本实验中, 因子  $T$  在  $9.2 \mu\text{m}$  处已降为 0.54。实际上, 不适于在此大范围内调谐输出。故在应用时必须考虑以获得最佳输出。

此外, 我们在  $10P(18)$  处改变激光器的输出能量, 并将晶体中心放在焦点上, 探测了倍频光的能量。由测量数据得到抽运光在晶体内的脉冲能量转换效率为 2.4%, 主脉冲的最大转换效率为 4% (主脉冲能量占整个脉冲的 60%)。

## 4 讨 论

实验证明  $\text{AgGaSe}_2$  晶体具有良好的倍频特性: 大的非线性光学常数  $d_{36} \sim 33 \text{ pm/V}$ 。利用 TEA  $\text{CO}_2$  激光器能够快调谐的优点, 可以实现快速倍频调谐。在提高转换效率和转换能量方面, 我们期望可以通过改善脉冲波形(去掉低能量的尾部)和光束质量来解决。

致谢 感谢硕士生常志文等人在仪器使用过程中所给予的帮助。此外, 周波同学给了我们许多有益的建议。在这里表示衷心的感谢。

## 参 考 文 献

- 1 R. L. Byer, M. M. Choy, R. L. Herbst *et al.*. Second harmonic generation and infrared mixing in  $\text{AgGaSe}_2$ .

- Appl. Phys. Lett.*, 1974, **24**(2):65~68
- 2 R. C. Eckandt, Y. X. Fan, R. L. Byer *et al.*. Efficient second harmonic generation of  $10\text{-}\mu\text{m}$  radiation in  $\text{AgGaSe}_2$ . *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **47**:786~788
- 3 D. A. Russell, R. Ebert. Efficient generation and heterodyne detection of  $4.75\text{-}\mu\text{m}$  light with second-harmonic generation. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(33):6638~6644
- 4 佐久間純, 伊東壽枝, 原崎亞紀子 等. MOPA 方式 TEA  $\text{CO}_2$  レーザーと  $\text{AgGaSe}_2$  晶体による高出力中赤外光源. レーザー研究. 1997, **25**(1):61~66
- 5 P. G. Schunemann, K. L. Schepler, P. A. Budni. Nonlinear frequency conversion performance of  $\text{AgGaSe}_2$ ,  $\text{ZnGeP}_2$ , and  $\text{CdGeAs}_2$ . *MRS Bulletin.*, 1998, **23**(7):45~49
- 6 V. A. Gorobets, V. O. Petukhov, S. Ya. Tochitskii *et al.*. Studies of nonlinear optical characteristics of IR crystals for frequency conversion of TEA  $\text{CO}_2$  laser radiation. *Optiko-Mekhanicheskaya Promyshlennost*, 1999, **66**(1):62~67
- 7 Geiko Pavel P., Andreev Yuri M., Vernik Alexander V. *et al.*. Second harmonic generators of TEA  $\text{CO}_2$  lasers with high output power for lidar systems. *Proc. SPIE*, 2000.367~374
- 8 范琦康, 吴存恺, 毛少卿. 非线性光学. 第 1 版. 南京: 江苏科学技术出版社, 1988:7~81
- 9 Eiko Tanaka, Kiyoshi Kato. Thermo-optic dispersion formula of  $\text{AgGaSe}_2$  and its practical applications. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(3):561~564
- 10 周炳琨, 高以智, 陈家骅. 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1984: 98~104
- 11 Qu Yanchen, Hu Xiaoyong, Liu Fengmei *et al.*. Rapidly tuning miniature TEA  $\text{CO}_2$  laser rotating mirror and grating mechanism. *Infrared Physics & Technology*, 2000, **41**(3):143~147