

在 AgGaSe_2 晶体中 TEA CO_2 激光的倍频产生

杨立书 鲁士平 程干超

杨 琳 史保森 杜立人

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

摘 要 用炉温下降法生长出尺寸为 $\phi 20 \times 60$ mm 的 AgGaSe_2 单晶体。在 12 mm 长, 切角为 55° 的 AgGaSe_2 中, 获得了 TEA CO_2 激光的倍频输出, 其功率转换效率为 1.12%。泵浦阈值和破坏阈值分别为 3 MW/cm^2 和 11 MW/cm^2 。还讨论了泵浦束的发散角对二次谐波转换效率的影响。

关键词 TEA CO_2 激光, AgGaSe_2 晶体, 二次谐波转换效率。

1 引 言

在众多有价值的非线性光学晶体中, 硒镓银 (AgGaSe_2) 具有最宽的透光范围 ($0.71 \sim 18 \mu\text{m}$), 最大的非线性光学系数 (80) 和最大的归一化光参量增益 (800) (设 KDP 的这两个参数分别为 1), 是一种优良的中红外非线性材料。用它进行频率转换, 其输出波长可从 $2.4 \mu\text{m}$ 连续调到 $18 \mu\text{m}$, 覆盖了所有分子及分子离子的基频振动模。因此, 在分子的高分辨光谱学和时间分辨光谱学, 激光化学、大气测污及红外激光导弹制导对抗系统中都有十分重要的应用。早在 70 年代初, 美国就生长出 AgGaSe_2 单晶^[1]。但由于在晶体的光轴方向上存在负膨胀系数, 故难以获得高质量晶体。后来, 由于晶体生长技术的改进, 优质晶体的获得, Byer^[2] 用单纵模 TEA CO_2 激光在 6 mm 长的 AgGaSe_2 中倍频, 获得了 14% 的内部能量转换效率。本文用炉温下降法生长出尺寸为 $\phi 20 \times 60$ mm 的 AgGaSe_2 单晶。在长为 12 mm 的 AgGaSe_2 中获得了单横模 TEA CO_2 激光 ($10.6 \mu\text{m}$) 的倍频输出, 功率转换效率为 1.12%, 泵浦阈值和破坏阈值分别为 3 MW/cm^2 和 11 MW/cm^2 。

2 实 验

实验装置如图 1 所示。TEA CO_2 激光器由可变孔径光阑限制单横模, 最大输出能量约为 100 mJ/pulse , 脉宽为 150 ns, 重复率为 1 Hz。用具有不同焦距的锗透镜聚焦激光束, 以获得不同的功率密度和发散度的激光束, 也可通过提高电源电压来提高光束的功率密度。按照 I 类相位匹配条件, 将 12 mm 长, 55° 切角的 AgGaSe_2 倍频器放在经纬仪上 ($6''$ 精度), 经纬仪顶

* 所长基金资助项目。

收稿日期: 1993 年 12 月 6 日; 收到修改稿日期: 1994 年 4 月 4 日

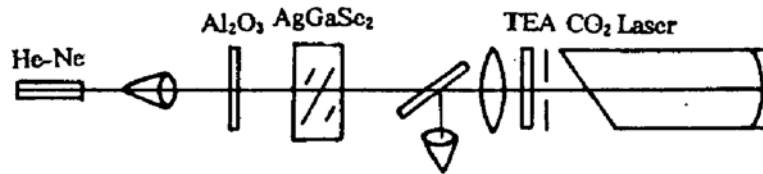


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

部按装了一个调节高度的机构,故晶体有三个可调自由度。用 2 mm 厚蓝宝石片分离倍频光和泵浦光,它的截止波长为 6.7 μm ,原则上说,泵浦光可被完全滤掉,对 5.3 μm 倍频光的透过率为 57%。用与泵浦束同轴的 He-Ne 激光来调整 AgGaSe₂ 倍频器的正确方位。从 AgGaSe₂ 输出的倍频光用能量计检测,在同一泵浦光强下测量三次倍频光强,取其平均值。然而,倍频光强极大地依赖于泵浦光强,为此,在锲透镜与 AgGaSe₂ 之间,靠近锲透镜的适当位置,在倾斜 45°角方向放置一块镀增透膜的锲平面反射镜,使入射泵浦光以恒定反射比射入能量计,实时监测每个泵浦脉冲的能量值,再将所得的倍频光强按泵浦能量进行归一化处理。

3 结果和讨论

二次谐波转换效率不仅与泵浦光的模式,频率带宽和晶体长度有关,也与泵浦光的发散度和功率密度密切相关。本文仅考虑泵浦光的发散度和功率密度对二次谐波转换效率的影响。在泵浦波长 λ 和晶体长度 l 确定后,二次谐波转换效率可简写成如下形式^[3]

$$\eta = N\rho \frac{\sin^2(\Delta Kl/2)}{(\Delta Kl/2)} \quad (1)$$

式中 N 是一个为了便于分析而假设的约定常数,于是 η 只与泵浦功率密度 ρ 和失谐量 ΔK 有关。当 $\Delta K = 0$,即做到完善相位匹配时,(1)式的最后因子变为 1,这时可以获得最大的 η 值。在实际中,一般很难达到 $\Delta K = 0$,因为泵浦光总是存在发散。一个发散的泵浦光是在一个立体角 $\Omega(\theta, \phi)$ 内传播(ϕ 为方位角)。只有在相位匹配的方向上才是灵敏的, ΔK 也只能沿 θ 方向来计算。若把偏离匹配角的量 $\Delta\theta$ 看成是泵浦光的发散角,从文献[4]的 A_{10} 式可以得到:

$$\Delta K = \left[\frac{4\omega_1^3 n_{1,e}^3}{C\omega_2^2} \sin 2\theta \left(\frac{1}{n_{2,e}^2} - \frac{1}{n_{2,o}^2} \right) \right] \Delta\theta \quad (2)$$

式中脚标: 1 表示泵浦光, 2 表示倍频光, e 和 o 代表非常光和寻常光, n 为折射率。(2)式方括号中实际是一个常数,因此, ΔK 是随 $\Delta\theta$ 的增加而增大的。由图 2 所示,在考查的束散度的变化范围内, η 随 $\Delta\theta$ 的变化趋势近似为一直线关系,得到的实验与理论结果是一致的。所以在实验中,应尽量减小泵浦光的发散度,以达到提高倍频转换效率之目的。

从(1)式可以看出, η 与 ρ 是成正比例的。图 3 表明,在一定的功率密度范围内, η 随 ρ 的变化趋势呈线性关系,直线部份的延长线与横坐标轴的交点即为阈值功率密度点,其值为 3 mW/cm^2 。当 ρ 增大到一定程度时, η 非但不增加、反而有大幅度的下降。主要是当 ρ 超过 AgGaSe₂ 的破坏阈值时,使晶体表面受到损伤,减少了倍频光输出,从而导致 η 的下降。实验中,把晶体放在离开焦点的适当位置上,此时泵浦光穿过晶体时呈发散状态,加上晶体本身的吸收,出射的 ρ 必然小于入射的 ρ ,受到损伤的首先是前表面。然而,观察到的现象却正好相反,是晶体的后表面易损伤,11 MW/cm^2 的破坏阈值是以晶体后表面开始损伤为界而确

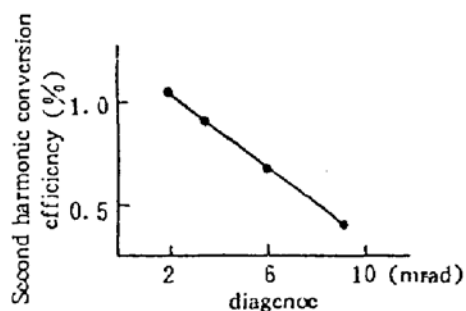


Fig. 2 Relationship of the second harmonic conversion efficiency vs the beam divergence

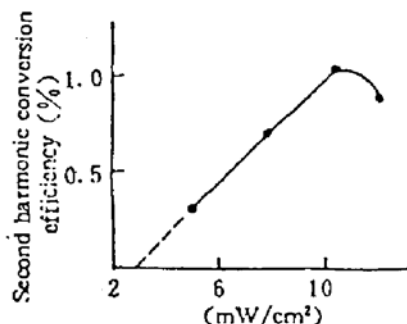


Fig. 3 Dependence of the second harmonic conversion efficiency on the pumped power density (MW/cm²)

定。甚至在适当的超破坏阈值功率密度下也未曾见到晶体前表面的损伤。这是一个很有趣的现象，看来它是与 AgGaSe₂ 晶体本身的固有特性有关。作者正在做进一步的研究。如果对 AgGaSe₂ 进行退火，以减少散射中心，或者在晶体的两端面上镀增透膜，都可使二次谐波转换效率得到进一步提高。

感谢余吟山副所长为研究工作进行的协调、刘来保副研究员为晶体定向和切割、王定华副研究员在实验中的有益讨论。

参 考 文 献

- [1] H. Kildal, J. C. Mikkelsen, The nonlinear optical coefficient, phase matching, and optical damage in the chalcopyrite AgGaSe₂. *Optics Commun.*, 1973, 9(3): 315~318
- [2] R. C. Eckardt, Y. X. Fan, R. L. Byer, Efficient second harmonic generation of 10 μm radiation in AgGaSe₂. *Appl. Phys. Lett.*, 1985, 47(8): 786~788
- [3] Y. R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1984: 86
- [4] S. K. Wong, G. Fournier, P. Mathieu et al., Beam divergence effects on nonlinear frequency mixing. *J. Appl. Phys.*, 1992, 71(3): 1099~1101

Second Harmonic Generation of TEA CO₂ Laser in the AgGaSe₂ Crystal

Yang Lishu Lu Shiping Cheng Ganchao

Yang Lin Shi Baosen Du Liren

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei 230031)

(Received 6 December 1993; revised 4 April 1994)

Abstract AgGaSe₂ crystal of $\phi 20 \times 60$ mm has been grown by the method of oven temperature drop. The frequency-doubled (5.3 μm) output and the power conversion efficiency of 1.12% have been obtained for second harmonic generation of TEA CO₂ laser (10.6 μm). The pumped and the damaged threshold are about 3 MW/cm² and 11 MW/cm², respectively. We have also discussed the effect of the beam divergence on the second harmonic conversion efficiency.

Key words TEA CO₂ laser, AgGaSe₂ crystal, conversion efficiency of second harmonic generation.