

TEA CO₂ 10.6 微米激光在 AgGaS₂ 晶体中的倍频

张邦星 王定华*

(中国科学院安徽光机所)

提要: 研究了 AgGaS₂ 晶体对 TEA CO₂ 10.6 微米激光的倍频特性。晶体厚度 4.3 毫米时倍频转换效率为 0.122%。实测相位匹配角 71.5°, 调节宽度 8° ± 1°。实验结果与理论计算值非常一致。

Second harmonic generation of TEA CO₂ 10.6 μm laser light in AgGaS₂ crystals

Zhang Bangxing, Wang Dinghua

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

Abstract: Characteristics of AgGaS₂ crystal for frequency doubling of 10.6 μm laser light has been investigated. When the crystal is 4.3 mm in length, the maximum conversion efficiency is 0.122%. The experimental phase matching angle is 71.5° and the adjustment range 8° ± 1°. These data are in good agreement with the theoretical values.

一、前 言

近年来,在利用非线性效应扩展激光波段范围方面已获得了很大的进展。在中红外波段 CO₂ 激光器是一种较理想的光源,它能够输出 8.7~11.8 微米范围内几十条激光谱线,若能将其倍频,则可获得 4.3~5.9 微米范围内的可调谐输出。自从 CO₂ 激光问世以来人们即在这方面进行了大量的研究工作^[1~3]。但是,由于较难得到高质量、大尺寸

的红外非线性光学晶体,所以这项工作目前仍处于实验室研究阶段,尚未实用化。黄铜矿型三元半导体化合物晶体(如 AgGaS₂、AgGaSe₂、CdGeAs₂、CdGeP₂ 等)是有希望在这方面得到实际应用的优良材料。我们利用我室自己生长的 AgGaS₂ 晶体对 TEA CO₂ 10.6 微米激光进行了倍频实验。在 I 类临界相位匹配方式下获得峰值功率 2.7 千瓦的倍频输出。

收稿日期:1982年9月23日。

* 参加本工作的还有赵梅荣、殷红、杨琳、汪超等。

二、AgGaS₂ 晶体和相位匹配方式的选择

AgGaS₂ 是属于 $\bar{4}2m$ 点群的黄铜矿型三元半导体, 透光波段为 0.5~13 微米, 非线性系数 $d_{36} = (3.2 \pm 0.6) \times 10^{-8}$ esu。它的双折射小, 折射率随温度的变化十分微弱, 所以本实验采用 I 类临界相位匹配方式 (00-e)。根据有效非线性系数 d_{eff} 计算式:

$$d_{eff} = d_{36} \sin \theta_m \sin 2\varphi \quad (1)$$

其中 d_{36} 为晶体非线性系数, θ_m 为相匹配角, φ 为方位角。为了使 d_{eff} 最大, 取 $\varphi = 45^\circ$ 。对于 I 类相位匹配, 根据非线性理论^[4,5] 可计算出 AgGaS₂ 的相位匹配角 $\theta_m = 70.9^\circ \pm 0.5^\circ$ 。

由于光束能量流方向是垂直于折射率曲面的, 在 I 类临界相位匹配情况下 θ_m 一般不等于 90° , 非常光波束(二次谐波)能量流的方向与等相面传播方向成一离散角 ρ 。对于 AgGaS₂, 当 $\theta_m = 70.9^\circ$ 时,

$$\rho = 0.745^\circ = 13 \text{ 毫弧度}$$

光孔效应长度 l_a 为

$$l_a = a/\rho$$

a 为晶体通光面上的光束直径。当 $a = 6$ 毫米时, AgGaS₂ 的光孔效应长度为 461.5 毫米。当晶体厚度为 5 毫米, 基波波长为 10.6 微米时, 其外部宽容角 $(\delta\theta)_{FWHM} = 72$ 毫弧度。

实验所用晶体是用坩埚下降法生长的, 按 I 类相位匹配切割。样品经过退火, 抛光,

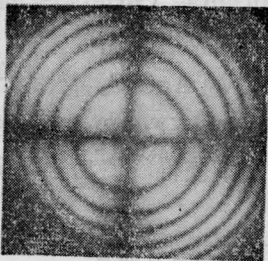


图 1 AgGaS₂ 锥光图

呈淡黄色, 均匀透明, 无孪晶、裂隙、气泡包裹物等宏观缺陷。图 1 是同类型样品的锥光图。表 1 列出了两片样品的主要参数。

表 1

编号	通光面 (毫米)	平均厚度 (毫米)	楔形角*	切割方式		对 10.6 微米的吸收系数 (厘米 ⁻¹)
				θ	φ	
1	18×14	4.3	2.88°	67.5°	45°	0.266
2	10×8	5.2	35'35"	67.5°	45°	0.35

* 楔形角是由于加工控制不好无意造成的。

三、实验装置

实验装置的光路图如图 2 所示。

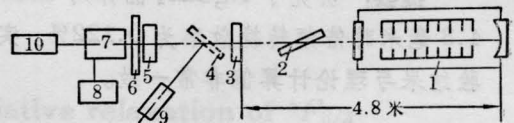


图 2 实验装置

实验所用 CO₂ 激光器为半外腔式 TEA CO₂ 激光器, 输出光束发散度小于 10 毫弧度, 最大光斑截面直径 $\phi = 7$ 毫米(距输出镜 30 厘米处)。单脉冲输出能量 0.45 焦耳, 脉宽 180 毫微秒, 峰值功率密度 8.8 兆瓦/厘米²。靠近输出镜 ($R = \infty$, 锲平板) 处放置起偏用厚 4 毫米的 ZnS 板, 成布儒斯特角放置, 角度偏差 $\pm 1^\circ$, 保证输出为线偏振光。

反射镜 4 是为了调节光路用的。当光路调好后即将此反射镜移出光路。样品调节架选用光学经纬仪调节系统, 调节精度 20 秒/格, 可估读至 6"。放置 AgGaS₂ 晶体时应保证晶体光轴与通光面法线组成的平面垂直于 10.6 微米激光束的偏振面。为便于调节, 实验中 10.6 微米的偏振面取铅垂方向。滤光片 6 是厚度为 1 毫米的蓝宝石 (Al₂O₃) 晶片, 能滤除全部 10.6 微米激光, 对倍频光的透过率 $T_{5.3} = 67\%$ 。9 和 10 是调光路用的 He-Ne 激光器。

四、实验结果

1. 倍频效率与泵浦功率的关系

在较低转换效率情况下, I类匹配的转换效率 η 由下式决定^[1]:

$$\eta = P_{\omega_2} / P_{\omega_1} = 2k^3 \omega_1^2 d_{eff}^2 l^3 \frac{P_{\omega_1}}{A} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\Delta K l}{2}\right)}{\left(\frac{\Delta K l}{2}\right)^2} \quad (3)$$

其中 P_{ω_1} 、 P_{ω_2} 分别为基波和倍频光功率, k 是晶体平面波阻抗 ($k=377/\text{折射率}$), ω_1 是基波频率, A 为基波和二次谐波光束面积, ΔK 为波矢失配, l 为晶体长度。

基波光束未经聚焦直接作用在晶体上。基波功率是通过在腔外加衰减器来改变的。在最大功率 (8.8 兆瓦/厘米²) 时晶体表面和体内均未见损伤。图 3 是实验得到的 $\eta-P_{\omega_1}$ 关系曲线。从图上可见, 在实验所用功率范围内所得的结果与式 (3) 的计算结果相当符合, 未见饱和现象, 倍频效率有可能再提高, 但限于 CO₂ 激光器件的功率水平, 没有做进一步的实验。实测 5.3 微米最高输出功率 2.7 千瓦, 最高转换效率 $\eta=0.122\%$ 。

2. 相位匹配角与倍频光功率的关系

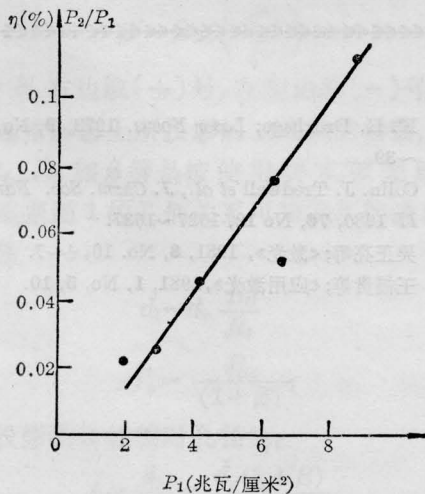


图 3 1*AgGaS₂ $\eta-P_{\omega_1}$ 关系曲线

由于 AgGaS₂ 双折射小, 角度调谐范围较宽, 理论估计为 $8.8^\circ \pm 1^\circ$ 。图 4、5 分别为 1*、2* 样品的实测角度调谐曲线, 调节总宽度为 $8^\circ \pm 1^\circ$, 与理论估计值相近, 也与 [1, 2] 的数据一致。最佳匹配角 71.5° 与计算值 70.9° 非常接近。

当晶体光轴处于水平平面 (10.6 微米的偏振面为铅垂方向), 并将匹配角调至最佳位置 (θ_m), 估计俯仰角度调节 $\Delta\varphi$ 对倍频输出的影响。这个方向的调节实际上是改变方位角 φ , 并将影响 θ 。

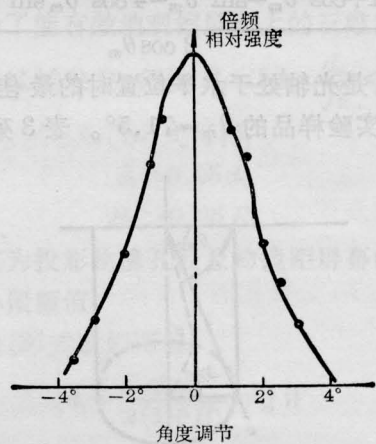


图 4 1*AgGaS₂ 角度调谐曲线

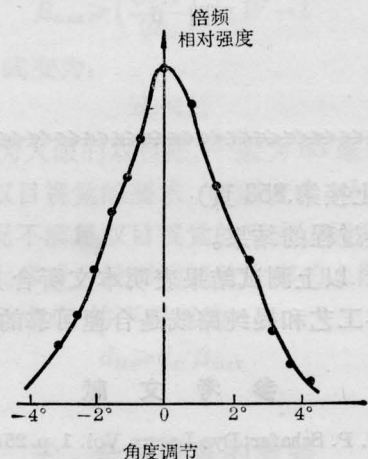


图 5 2*AgGaS₂ 角度调谐曲线

(1) 变化比值 K 可表示为:

$$K = \frac{\sin 2(\varphi + \Delta\varphi) - \sin 2\varphi}{\sin 2\varphi} = 2 \cos(2\varphi + \Delta\varphi) \sin \Delta\varphi$$

初始角 $\varphi = 45^\circ$ 代入上式

$$K = 2 \sin^2(\Delta\varphi)$$

表 2 列出了 $\Delta\varphi-K$ 的计算值。

表 2

$\Delta\varphi$	2°	4°	6°	8°	10°
K	0.002	0.009	0.01	0.038	0.06

(2) $\Delta\varphi$ 对匹配角 θ 的影响

如图 6 所示, 利用简单的几何关系可以求出 $\Delta\varphi$ 与 θ 的关系:

$$\cos \theta = \frac{1 + \cos^2 \theta_m - \sin^2 \theta_m - 4 \cos^2 \theta_m \sin^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)}{2 \cos \theta_m}$$

其中 θ_m 是光轴处于水平位置时的最佳匹配角, 本实验样品的 $\theta_m = 71.5^\circ$ 。表 3 列出了

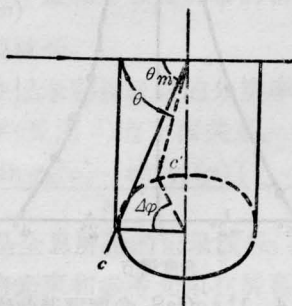


图 6

表 3

$\Delta\varphi$	4°	6°	8°	10°
$\Delta\theta$	0.05°	0.11°	0.20°	0.3°

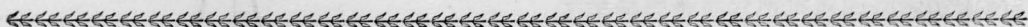
$\Delta\varphi - \Delta\theta (= \theta_m - \theta)$ 的计算数据。

由上述计算结果可以看出, 当 $\Delta\varphi$ 较小时对倍频的影响可以忽略 (AgGaS_2 的调谐角度较宽), 实验结果与估计基本一致。当然, 对于某些角度调谐宽度极窄的晶体, $\Delta\varphi$ 的影响是不能忽略的。

实验所用 AgGaS_2 晶体是生长组提供的, 由许保健同志协助加工, 刘来保同志在晶体定向方面给予了很大帮助, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] J. Kupecek, A. Schwartz; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974, **QE-10**, No. 7, 540.
- [2] G. D. Body; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1971, **QE-7**, No. 12, 563
- [3] 加藤洸·樱田智实;《应用物理》,1981, **50**, No.7, 763.
- [4] R. M. Kogan *et al.*; *Advances in Laser Engineering*, Vol. 22, p.71, California.
- [5] *Nonlinear Infrared Generation. Topics in Applied Physics*, Vol. 16, Edited by Y-R Shen, 1977.



(上接第353页)

内转换过程的结果。

4. 以上测试结果表明本文所合成的激光染料工艺和提纯路线是合理可靠的。

参 考 文 献

- [1] F. P. Schafer; *Dye Lasers*, Vol. 1, p. 25 (Springer-Verlag Berlin).

- [2] K. H. Drexhage; *Laser Focus*, 1973, **9**, No. 3, 35~39
- [3] Colin. J. Tredwell *et al.*, *J. Chem. Soc. Faraday, II* 1980, **76**, No 12, 1627~1637.
- [4] 吴正亮等;《激光》, 1981, **8**, No. 10, 4~7.
- [5] 王福贵等;《应用激光》,1981, **1**, No. 5, 10.