

在 BBO 中获得 230.8—223.2nm 高功率和频输出*

鲁士平 袁悛谦 杨立书 吴存恺

中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥, 230031

1989 年 3 月 27 日收到

用 Q-YAG 泵浦的 Rh·6G 染料激光在一块 45° 切割的 β -BaB₂O₄(BBO)晶体中倍频, 产生 294.8—282.5nm 范围的连续调谐输出, 其能量为 8mJ (在 285nm 处). 用这个倍频光与泵浦染料后剩余基波 (1064nm) 在另一块 45° 切割的 BBO 中和频, 已获得 230.8—223.2nm 范围的连续调谐输出, 其能量为 120 μ J, 相应的峰值功率为 12kW. 还简述了获得高功率和频输出的关键技术.

PACC: 4265

一、引 言

宽波段连续可调谐紫外光源在激光光谱学、激光化学、环境科学、生物学、医学和军事科学等领域有重要的应用. 采用什么手段实现这种光源是当今各国科学家十分感兴趣的问题之一. 利用光在非线性晶体中倍频及和频产生宽波段连续可调谐紫外光源是一种简单而高效的方法. 鉴于 β -BaB₂O₄ (BBO)晶体具有宽的频率覆盖、高的非线性系数, 高转换效率, 高损伤阈值和低潮解等优点, 自陈创天等人^[1]开发出 BBO 晶体以来, 在国际上对它进行着广泛的研究. Kato^[2] 在 BBO 中产生了 YAG 激光 (1064nm) 的五倍频, 在室温下得到最短的单一固定波长 204.8nm. Münchenheim 等人^[3]在低温下, 在 BBO 中获得 189—197nm 输出. 由于使用了低温技术和四种染料使实验装置复杂化. 我们用调 Q-YAG 激光的基波及谐波和 Rh·6G 染料激光的基波及谐波的不同组合, 在几块具有不同切角的 BBO 晶体中和频, 已获得的调谐范围为: 379.4—367.3nm, 294.8—282.5nm, 283—273nm, 230.8—223.2nm 和 221.4—217.3nm. 它们的输出能量都大于 100 μ J. 这些光源已能满足实际应用中的需要. 本文着重介绍 YAG 泵浦 Rh·6G 染料的倍频光与剩余的泵浦基波 (1064nm) 在 BBO 晶体中和频的实验结果.

* 国家自然科学基金资助的课题.

二、实 验

实验装置的方框图如图 1 所示. 用一台自制的调 Q-YAG 激光泵浦 Rh·6G 染料, 用一个放大倍率为 1/5 的耦合望远镜把染料激光束压缩成束腰直径为 $d = 2\text{mm}$ 的平行光束, 然后射入一块 45° 切割的 BBO 晶体, 使其满足 I 类相位匹配所需的偏振态, 从而可获得 294.8—282.5nm 范围内的染料倍频光, 它经过一块 45° 放置的双色片(实际上是一块未镀膜的石英片), 准直地进入第二块 45° 切割的 BBO 晶体. YAG 倍频后的剩余

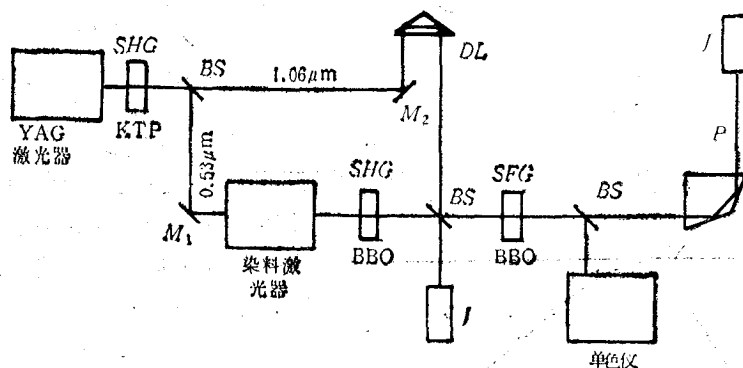


图 1 实验装置方框图

KTP 为 YAG 激光的倍频晶体; BS 为束分离器; M_1, M_2 为全反射镜; BBO 为偏硼酸钡倍频及和频晶体; DL 为光学延迟器; J 为能量计; P 为 Pelin-Broaca 分光棱镜

基波经过光学延迟器(通过双色片反射)与染料倍频光在光学上同步共线的到达第二块 BBO 晶体, 使其满足 I 类相位匹配所需的偏振态. 晶体被安装在一个精密角度调节装置上. 仔细地调节两块 BBO 晶体的转角, 即可得到 230.8—223.2nm 范围内的紫外连续调谐输出. 用一块 Pelin-Broaca 石英棱镜分离 YAG 基波 $\omega_1(1064\text{nm})$, 染料激光束 $\omega_2(565\text{—}589\text{nm})$, 染料倍频光束 $\omega_3(294.8\text{—}282.5\text{nm})$ 及和频光束 $\omega_4 = \omega_2 + \omega_1$. 用 LEP-1 型和 RTP-735 型能量计分别测量其光强. 用 W-44 型双光栅单色仪和 9584QB 型光电倍增管, Boxcar 积分器和 X-Y 记录仪构成的测试系统测量波长.

实验中使用的 BBO 晶体由中国科学院福建物质结构研究所提供, 其尺寸为 $7 \times 7 \times 6\text{mm}^3$.

三、结果与分析

利用 Kato 建立的 BBO 晶体的 Sellmeier 方程^[1], 相位匹配条件和折射率椭球方程分别计算了在 BBO 中 Rh·6G 染料激光的倍频, 它和基波(1064nm)和频的理论调谐曲线, 如图 2 和图 3 中的实线所示. 倍频与和频的实验结果用“*”号示于图 2 和图 3

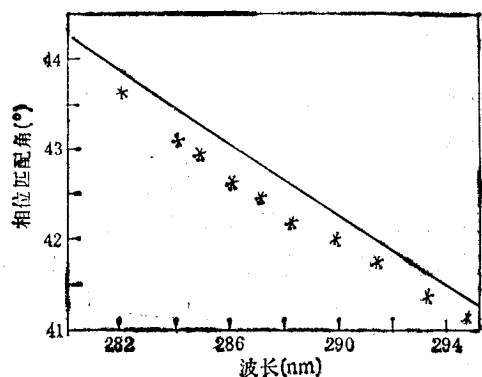


图2 Rh·6G 染料倍频光的调谐
曲线实线为计算值;*为实验点

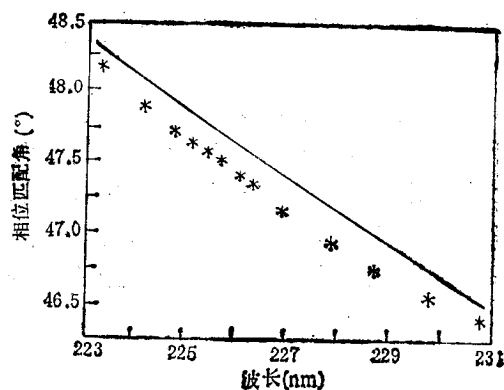


图3 Rh·6G 染料倍频光与基波(1064nm)
和频的调谐曲线
实线为计算值;*为实验点

中。由图2和图3可见,实验结果与理论计算曲线符合较好,只是实验点相对于理论计算

曲线都有一个小量的平移,这可能是晶体的角度切割误差造成的。还可以看出,在 Rh·6G 染料倍频光调谐范围内的所有波长与基波和频都有输出,且输出能量也比较大。因此和频调谐输出范围 230.8—223.2nm 是比较宽的。染料激光、染料倍频光和频光的输出能量与波长的关系示于图4。从图4可见,在波长为 285nm 处, Rh·6G 染料倍频光的输出能量达到 8mJ 的最大值,它与能量为 4mJ 的基波(1064nm)在 BBO 中和频时,其和频输出能量并不是最大,而在波长为 288nm 处,输出能量为 6.3 mJ 的倍频光与 4mJ 基波在 BBO 中和频时,得到了和频光的最大输出,其值为 120 μ J,相应的峰值功率为 12kW。表明和频时两光束应选择适中的强度。在本实验中,在短尺寸的 BBO 晶体中和频已获得大的输出能量,其原因可从共线的和频小信号解的强度表达式^[4]

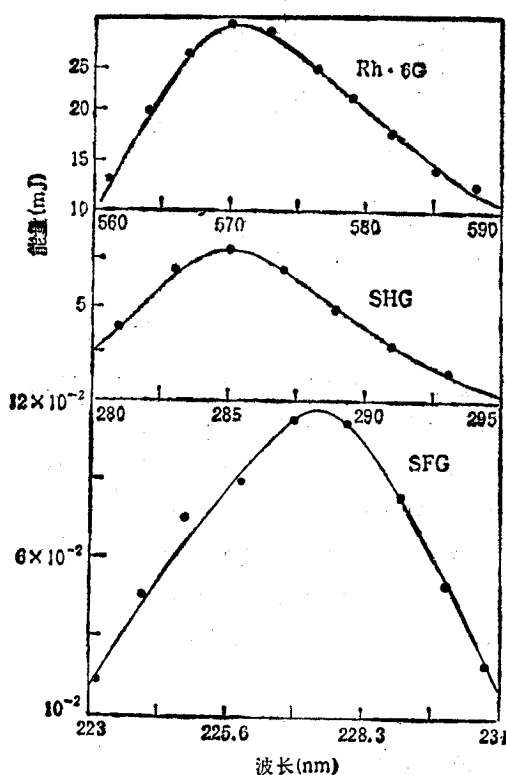


图4 Rh·6G 染料激光、染料的倍频光和频光的能量与波长的关系

$$I_3 = \frac{8\pi^3 \omega_1^2 \chi_{eff}^2 l^2}{c^3 \sqrt{\epsilon(\omega_1)} \sqrt{\epsilon(\omega_2)} \sqrt{\epsilon(\omega_3)}} \cdot I_1 I_2 \frac{\sin^2(\Delta k l / 2)}{(\Delta k l / 2)^2}$$

得到解释. 式中 $\varepsilon(\omega_1)$, $\varepsilon(\omega_2)$, $\varepsilon(\omega_3)$ 为三个电介常数; c 为真空光速; ω_3 为和频光的圆频率. 和频光强度 I_3 与 BBO 晶体长度 l 和有效非线性系数 χ_{eff} 的平方成正比, 因此, 在实验中应使用较长的晶体来提高和频输出. I_3 与参加和频的基波束和染料倍频光的强度 I_1 和 I_2 也成正比. 由前面的分析可见, I_3 与 I_1 和 I_2 的比率也很有关系. 但是, 和频输出强度与失配量 Δk 的关系则更大, 当 $\Delta k = 0$, 即达到完善相位匹配时, 和频光的强度达到最大值. 当 Δk 逐渐增大时, 和频光的强度则迅速减小. 所以, 在实验中, 当非线性晶体和它的长度选定后, 要想获得和频光束的最大输出, 至关重要的因素是做到完善的相位匹配. 在本实验中, Rh·6G 染料倍频光与经过时间延迟的基波光束在光学上同步共线地进入 BBO 晶体中和频, 这一实验步骤确保了两光束的完善相位匹配条件. 故在和频调谐范围内的所有波长上, 和频光束的输出能量都比较大. 换言之, 这个和频输出范围已经达到了最大的调谐宽度.

- [1] C. Chen *et al.*, *Scientia Sinica (Ser. B)*, **28**(1985), 235.
- [2] K. Kato, *IEEE. J. Quant. Electr.*, **Q-E22**(1986), 1013.
- [3] W. MÜchenheim *et al.*, *Appl. Phys.*, **B45**(1986), 259.
- [4] Y. R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics*, New York, (1984), p. 72.

HIGH POWER SUM FREQUENCY GENERATION OF 230.8— 223.2nm IN BBO CRYSTAL

LU SHI-PING YUAN YI-QIAN YANG LI-SHU WU CUN-KAI
Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei, 230031
 (Received 27 March 1989)

ABSTRACT

Continuously tunable second harmonic generation of 294.8—282.5 nm was obtained by Q-switched YAG laser pumped Rh·6G dye laser in a 45° cut β -B₂B₂O₄ (BBO) crystal. The output energy of the harmonic wave is about 8mJ around 285 nm. The continuously tunable output over the range of 230.8—223.2 nm was also obtained by the sum frequency mixing between the residual pump fundamental wave (1064 nm) and the second harmonic wave of Rh 6G dye laser in an other 45° cut BBO crystal. The sum frequency output energy is about 120 μ J around 226 nm, the corresponding peak power is 12 kW. The key techniques of the sum frequency generation were indicated.

PACC: 4265