

超短脉冲染料激光倍频的实验研究

刘成有

摘要: 本文阐述了激光倍频的几个问题, 实验中利用一块 $5.5 \times 6 \times 7 \text{ mm}^3$ 的BBO晶体对超短脉冲染料激光进行了腔外倍频实验。为了提高倍频转换效率, 实验中利用了柱面镜及不同焦长的球面镜进行聚焦。最后, 在基波平均功率 120 mW 的情况下, 得到了平均功率为 0.54 mW 的紫外谐波辐射。考虑到基波及谐波的各种损失后, 最大倍频转换效率 $\eta \geq 0.5\%$ 。

一、引 言

激光倍频的理论及实验是非线性光学领域中发展最快, 应用最为广泛的课题之一。由RH6G染料发射的 590.0 nm 的染料激光倍频后所产生的 295.0 nm 的紫外辐射在生物学、生物化学、医学领域中将具有重要应用。本文介绍了利用国产优质紫外倍频晶体BBO对 Ar^+ 同步泵浦超短脉冲染料激光的倍频实验。在不考虑群速度影响的条件下, 所获得的实验结果与理论基本吻合。

二、原理及实验

1. 原理

倍频, 按晶体在实验中所处的位置可分为腔内倍频及腔外倍频两种。一般对于连续波激光的倍频由于功率低, 所以采用腔内倍频。而对于脉冲, 尤其是超短脉冲激光, 由于峰值功率较高, 为了便于调整, 实验中往往采用腔外倍频即可。

由倍频的基本原理^[1-4]可知, 若要获得较高的谐波功率, 需要对诸多因素全面考虑, 合理优化后才可得到好的实验结果。(1) 由于倍频效率一般与晶体长度密切相关, 所以在综合考虑光孔效应决定的孔径长度^[2] $L_c (= \frac{\sqrt{\pi} \omega_0}{\rho})$, 有效聚焦长度^[3] $L_f (= \pi b/2)$ [其中: ω_0 代表聚焦高斯光束束腰半径, b 代表共焦参量, ρ 代表双折射角] 后, 一般选用较长晶体最为适宜。(2) 由于聚焦后形成的高斯光束具有一定的发散度, 从而产生失配效应, 严重影响倍频效率, 所以, 聚焦强弱应由晶体接受角 $\delta\theta_m$ 及高斯光束平均发散度^[5] $\overline{\Delta\theta}_r$ 来决定。(3) 尽量提高基波功率 P_1 , 获得较大的非线性光学效应。

2. 实验

本实验采用一块 $5.5 \times 6 \times 7 \text{ mm}^3$ 的BBO晶体, 其通光长度 $L = 7 \text{ mm}$, 为了减少晶体表

注: 本文作者的导师为荆宝全, 辅助导师为叶子青。

面反射损失, 对晶体作布氏角切割。 ($\alpha = \beta = 59^\circ$, 方位角 $\varphi = 0$) 见图 1 所示。

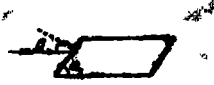


图 1

实验光路如图 2 所示:

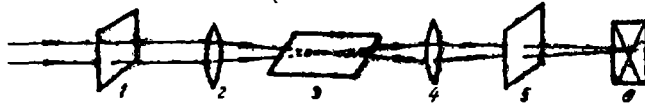


图 2

- 1 为紫外截止滤光片, 2 为聚焦透镜, 3 为BBO 倍频晶体, 4 为光斑恢复透镜,
5 为可见滤光片 6 为探测器。

BBO晶体的色散方程见参考文献^[6]。由理论计算表明, 该晶体匹配角 $Q_m = 41.35^\circ$, 接受角 $\delta\theta_m = 1.6 \times 10^{-4} \text{rad}$, 由该值与高斯光束平均发散度的关系可确定聚焦后基波光束的束腰半径为 $\omega_0 = 67 \mu\text{m}$ 。

实验中可见截止滤光片选用 $ZW B_1$ 有色玻璃, 其紫外透过率约为 80% 左右。激光器系统的主要性能指标见参考文献^[7], 实验中 Ar 激光的输出平均功率(锁模)约为 400mW, 脉宽由示波器直接观察为 $\tau_{p1} \approx 300 \text{ps}$, 由此, 泵浦三镜折迭腔染料激光器输出平均功率约为 120mW, 脉宽由美国光谱公司生产的相关仪测得 $\tau_{p2} \leq 5 \text{ps}$, 倍频后所得的紫外信号由其在白纸上的荧光可见呈椭圆形。功率的大小由 $GJ-1$ 型功率计直接测得。

为了对不同聚焦情况下的倍频结果进行比较, 我们采用了柱面镜对基波光束进行一维聚焦以及不同球面镜聚焦等项研究, 结果发现在柱面镜聚焦时需仔细调整聚焦平面的取向才能给出满意的结果。并且不论采取那种聚焦方式, 聚焦的强弱将严重地影响着谐波功率的大小和光斑形状。通过对焦长为 50mm, 60mm, 100mm, 200mm 透镜聚焦的比较发现, 在焦长 60mm 情况下倍频效果最好。而在相同情况下, 柱面镜聚焦并不优于球面镜。

为了了解晶体长度对倍频结果的影响, 我们对另一块通光长度 $L = 5 \text{mm}$ 的 BBO 晶体也进行实验测量, 结果发现 7mm 长的晶体优于 5mm 长的晶体。

三、实验结果

实验中实测基波中心波长 590.0nm, 峰值功率约为 300W, 输出谐波峰值功率 1.5W, 考虑各种损耗后实际测得转换效率 $\eta \geq 0.5\%$ 。

利用平面波倍频理论及文献^[2]给出的公式进行计算, 结果发现, 平面波理论与实验结果偏差较大, 而文献^[2]的计算结果与实验较为吻合, 实验表明位相匹配对倍频效果影响最为突出。许多文献给出的理论也存在着许多缺陷。

四、结束语

本文就倍频的若干问题作了一定的论述, 为了追求较大的转换效率, 曾设想让基波光多次经过晶体的实验, 另外对于倍频光的脉宽测量工作也正在进行中, 论文中就考虑基波光的

损耗及双折射后从理论上给出一个半经验公式，并通过实际应用发现与实验基本吻合。但还需加以完善。

实验发现的问题（1）文献^[2]给出的最佳聚焦方案并不十分完美，由此而确定的聚焦透镜焦距长大于实验给出最佳值。（2）在较低功率情况下强聚焦倍频效果较好，（3）BBO晶体具有一定的潮解性。

参 考 文 献

- [1] D. A. Kleinman et. al; IEEE.J. Quantum Electron, Vol. QE-2 No9. 425 (1966)
- [2] G. D. Boyd. and D. A. Kleinman; J. Appl. Phys., 39 (1968) 3597
- [3] R. C. Miller; J. Phys. Letters, 26A (1968) 177
- [4] 姚建铨, 薛彬, 光学学报, 1985, 5, No2, 142
- [5] R. Stephen Craxton; IEEE. J. Quantum Electron, Vol. QE-17, No9, 1771 (1981)
- [6] K. Kato; IEEE. J. Quantum, Electron, Vol. QE-22 No7, 1013 (1986)
- [7] 沈元壤, 非线性光学原理, 科学出版社 (1987)
- [8] 王其祥, 工程光学原理, 江苏科学技术出版社 (1983)

Frequency Doubling Experiment of BBO Crystal in Ultrashort Dye Laser Pulse

Liu Chengyou

Abstract

This paper describes several problems about laser frequency doubling. Using a BBO crystal ($5.5 \times 6 \times 7 \text{ mm}^3$), we completed ultrashort dye laser pulse's frequency doubling experiment. In order to improve power conversion efficiency, we used cylindrical lens and spherical lenses to focus dye laser pulse. Within the range 290.0-300.0nm, maximum power conversion efficiency $\eta \geq 0.5\%$ was obtained, where pump average power was 120mW and second harmonic power 0.54mW.