

文章编号: 1001—4322(1999)04—0405—04

旋转主平面法实现钛宝石激光三倍频^{*}

黄 峰, 楼祺洪, 崔俊文, 葛月明, 董景星, 雷 博

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 800-216 信箱, 201800)

摘 要: 利用旋转主平面的方法实现 I 类匹配 BBO 晶体的三倍频, 理论上计算了三倍频输出光强和旋转角度的关系。实现了准连续钛宝石 744nm 激光三倍频输出, 得到光束质量好的 248nm 激光, 可以作为准分子主振荡放大器的种子源。

关键词: 三倍频; 主平面; ICF 激光; 高功率准分子激光

中图分类号: TN 243 **文献标识码:** A

短波长的紫外激光, 在激光喇曼光谱学、光化学、大气研究、高速紫外全息等方面有广泛的应用, 尤其是激光核聚变的必需波长。固体钕玻璃激光 ICF 中, 对 $1.06\mu\text{m}$ 的激光进行高效三倍频是其中的重要环节。而在准分子激光核聚变中, 由于准分子激光器输出的激光方向性差, 含有多种激光模式, 不能直接达到激光打靶对光束均匀性的要求, 只有经过喇曼放大整形、空间滤波才能达到要求^[1]。另一种较好的方法是采用准分子主振荡放大系统^[2](MOPA), 采用注入锁定光束质量好的种子源, 经准分子激光放大满足激光核聚变的要求。输出光的光束质量由种子源决定。卢瑟福·阿普尔顿实验室“精灵”高性能 KrF 激光系统^[3]就采用这一设计思想: 用锁模倍频 YAG 连续激光器同步稳定泵浦染料激光器得到 745nm 的激光, 经二级染料放大再三倍频得到 KrF 激光种子源, 经 KrF 激光放大和喇曼放大整形得到远场强度平滑分布、聚焦强度大于 $10^{20}\text{W}/\text{cm}^2$ 的高亮度的紫外激光^[4]。近年来钛宝石激光的飞速发展, 其输出激光光束质量好线宽窄且模式稳定^[5], 可代替高性能 KrF 激光系统中的染料激光, 得到光束质量更好的紫外激光, 基本的设计思想在我们以前的工作中有详细介绍^[6]。

我们利用旋转主平面法实现腔内倍频 Nd: YAG 激光泵浦的钛宝石 744nm 激光 BBO 晶体 I 类三倍频, 得到 248nm 的 KrF MOPA 激光系统的种子源。

1 理论计算

钛宝石激光晶体切割成布儒斯特角, 其输出激光就为水平偏振光, 可以很好的进行 I 类的倍频, 其输出的二倍频激光的偏振方向和基频光的偏振方向相互垂直, 那么和频就要采用 II 类匹配, 但是对于 BBO 晶体 744nm 和 372nm II 类匹配和频只能进行 90 度匹配, 这样就大大降低了效率。如果采用 I 类匹配, 就要求在 BBO 晶体之前加入一个半波片或旋光片, 而对于基波和倍频光同时满足要求非常困难, 对可调谐的激光三倍频满足要求则更困难。我们提出旋转晶体主平面法可以解决偏振方向问题。把晶体主平面旋转 θ 角, 对于晶体来说, 水平偏振光一部分看作垂直主平面的 o 光, 一部分看作平行主平面的 e 光, 对 o 光进行倍频, 倍频光正好和没有倍频的 e 光偏振方向一致, 和频晶体的主平面旋转方向相反, 角度相同, 主平面和倍频晶体主

^{*} 上海市科委基金和国家 863 惯性约束聚变领域资助课题
1998 年 10 月 20 日收到原稿, 1999 年 7 月 8 日收到修改稿。
黄 峰, 男, 1973 年 7 月出生, 博士生

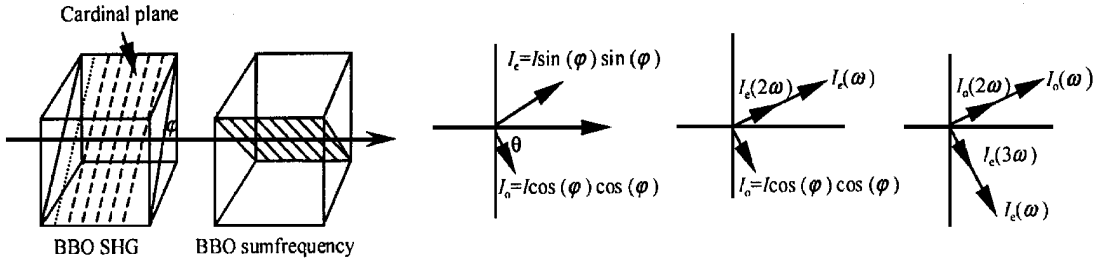


Fig. 1 Arrangement of two BBO crystal and the distribution of the o-polarization and the e-polarization

图 1 BBO 晶体的排列和 o 光与 e 光的分布

平面垂直, 从而实现 I 类倍频。示意图和偏振方向的变化如图 1。求解非线性耦合波方程可得到倍频效率^[7]

$$\eta_1 = \tanh^2 \xi_1, \quad \xi_1 = (8\pi^2 d_{\text{eff}}^2 I_s / n_1^2 n_2 c \lambda_1^2 \epsilon_0)^{1/2} \cdot L_1$$

和频时得到

$$U_3 = U_2(0) \times \text{Sn}(U_1(0) \xi_2, (U_2(0)/U_1(0))), \quad \xi_2 = (4\pi^3 \chi_{\text{eff}}^2 I_s' / n_1 n_2 n_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \epsilon_0)^{1/2} \cdot L_2$$

在小信号近似下, 对于倍频有 $\xi_1 \ll 1$, $\tanh \xi_1 \approx \xi_1$ 倍频效率可近似为

$$\eta_1 = (8\pi^2 d_{\text{eff}}^2 I_s / n_1^2 n_2 c \lambda_1^2 \epsilon_0) \cdot L_1^2$$

对于和频有 $U_1^2(0) \gg U_2^2(0)$

$$\eta_2 = \frac{U_3^2(\xi_2)}{U_1^2(0)} = \frac{U_2^2(0) \times \text{Sn}^2(U_1(0) \xi_2, 0)}{U_1^2(0)} = \frac{U_2^2(0) \cdot \sin^2(U_1(0) \xi_2)}{U_1^2(0)} = \frac{4\pi^2 \chi_{\text{eff}}^2 L_2 L_1}{n_1 n_2 n_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \epsilon_0} \cdot L_2^2$$

当输入的光强不是很强时, 可以不考虑非线性系数 d_{eff} 随晶体旋转角的变化, 只考虑各个偏振分量的变化, 则得到 $I_3(3\omega) = K \cos^4(\varphi) \sin^2(\varphi)$, 其中常数 K 为

$$K = 16\pi^4 L_1^2 L_2^2 \chi_{\text{eff}}^2 d_{\text{eff}}^2 I^3 / n_1 n_2 n_3 n_1^2 n_2^2 \lambda_1^2 \lambda_2^2 c^2 \epsilon_0^2$$

算得输出的三倍频光强在 $\varphi = 35.1^\circ$ 时达到最大, 并和钛宝石激光的光强成三次非线性关系。

2 实验及分析

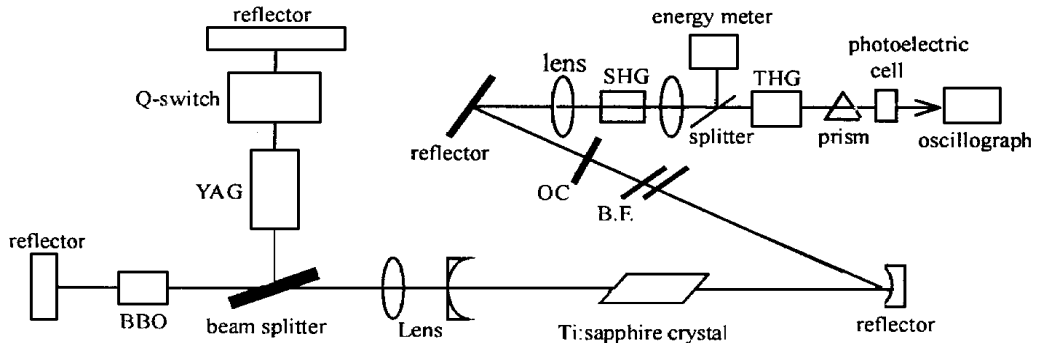


Fig. 2 Experimental set-up of THG of Ti:sapphire 744nm laser

图 2 钛宝石 744nm 激光三倍频实验装置

旋转主平面法实现钛宝石激光三倍频 (THG) 实验示意图如图 2 所示。实验中用到的腔内倍频 Nd:YAG 泵浦的可调谐的钛宝石激光系统的结构和性质在文献 [8] 中有详细的描述。用三块双折射滤光片可以得到线宽小于 250MHz 的 744nm 的激光输出。晶体放在四度调整架

上,可以调节晶体的左右和俯仰,以达到最佳匹配角,还可以绕光轴旋转晶体,使晶体的主平面旋转,以取不同的偏振分量,以期达到最佳的分量选择。实验测得的三倍频光输出功率和旋转角的关系如图 3 所示。实验和理论基本符合,当泵浦光为 3.2W 时,钛宝石 744nm 的单色输出为 500mW,晶体的旋转角为 30 时输出的功率最大,达到 0.3mW 的 248nm 的输出。

用两块级连石英棱镜把基频光、倍频光和三倍频光分开,用超快光电二极管接收光信号,并用带宽为 10GHz 的 Lecroy 数字示波器观察光脉冲的波形,得到的基波、倍频光和三倍频光的波形如图 4 所示。基波的脉冲宽度为 44.1ns,而倍频光的脉冲宽度为 22.8ns,三倍频光的脉冲宽度为 16.2ns,脉冲宽度呈现压缩的趋势,这和以前的理论分析^[6]是一致的。三倍频光波形光滑,图 4(d)是准分子激光脉冲的波形,可以看出种子源的时间分布比准分子激光的输出有很大的改善。对于钛宝石激光三倍频来说,空间分布如图 5(a),光强分布接近基模的高斯分布,而准分子的光强分布为多模,这由气体激光器放电的不均匀决定,有两个光强极大点,如图 5(b)所示,可以看出,本方法所产生的种子源的光束的空间分布比准分子有很大的改善。从以上分析可以得出作为 MOPA 系统的种子源,有很大的优点。同样,用此方法可以产生 246nm 的窄带激光,作为拉曼放大的种子源。进一步的工作是改变 YAG 激光的调制技术,提高峰值功率,从而提高三倍频的效率。

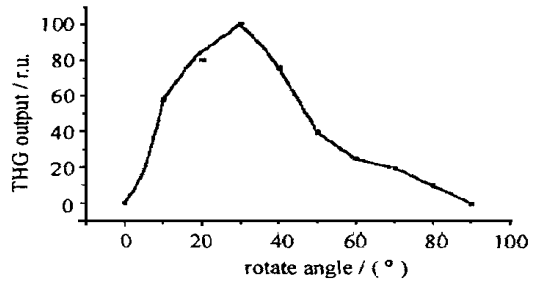


Fig 3 The relationship between THG output power and BBO crystal rotated angle

图 3 三倍频输出和 BBO 晶体主平面旋转角的关系

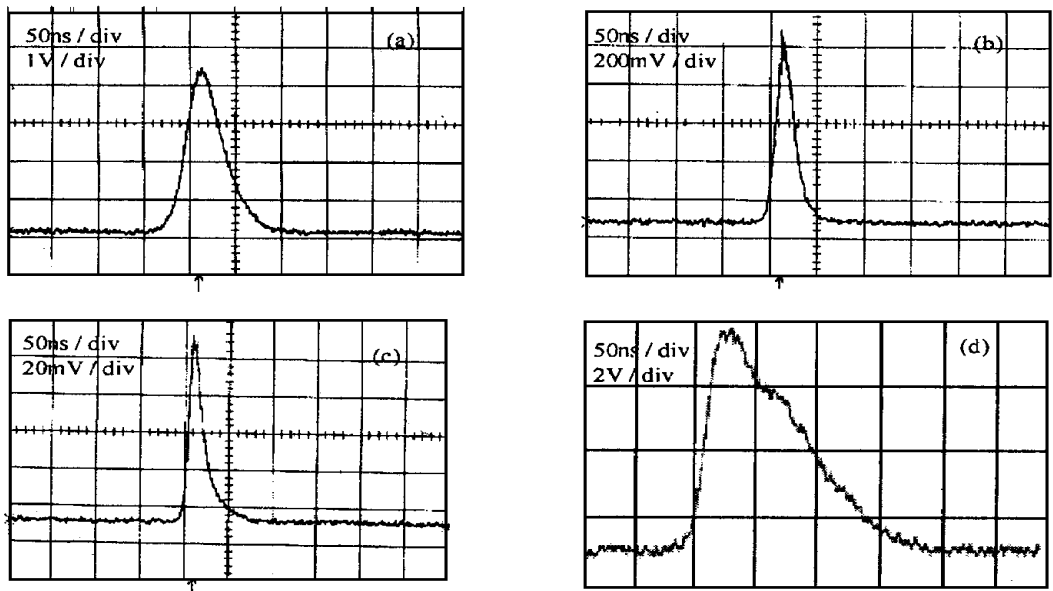


Fig 4 The temporal graph of the fundamental wave (a), the second harmonic generation (b), the third harmonic generation (c) and the KrF excimer laser (d)

图 4 基波的时间波形(a), 倍频光的时间波形(b), 三倍频光的时间波形(c), KrF 准分子激光的时间波形(d)

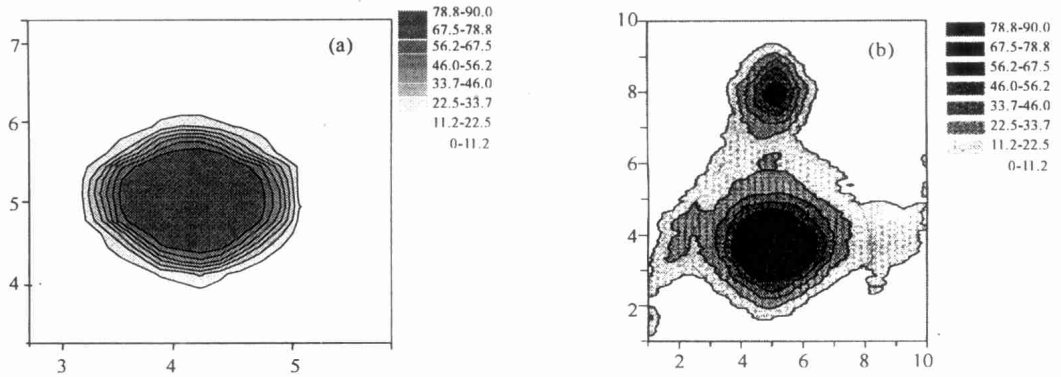


Fig 5 Spatial graph THG of Ti sapphire laser (a) and KrF laser (b)

图 5 钛宝石激光三倍频空间光强分布(a)和 KrF 激光空间光强分布(b)

3 结 论

用旋转主平面法,用BBO 晶体 I 类三倍频钛宝石 744 nm 激光,测定了三倍频输出和晶体旋转角度的关系,并测定了三倍频输出的空间和时间分布,看到空间和时间分布都有很大改善,可以作为准分子MOPA 系统的种子源,用于准分子激光 ICF。

参考文献

- 1 Shaw M J, Baillly-Salins R, Edwards B. *Laser and particle beam*, 1993, **11**(2): 331
- 2 Ueda K, Nishoka H, Kimura K, Takuma H. *Laser and particle Beam s*, 1993, **11**(1): 31
- 3 Shaw M J, Baillly-Salins R, Edwards B. *Laser and Particle Beam s*, 1993, **12**(2): 331
- 4 楼祺洪 天卫三- 10^{20} W/cm² 紫外激光放大器 强激光技术进展, 1998, (1): 23
- 5 Iain T M ckinnie, Annmarie L O ien, Don M W arrington, et al *IEEE Journal of Quantum Electronic*, 1997, **33**: 1221
- 6 HUANG Feng and LOU Q i hong *Chinese Journal of Lasers*, 1999, **B8**(1): 15
- 7 TAN Wei han. *Nonlinear and quantum optics* Beijing: Science press, 1996
- 8 GE Yue ming, CU IJing wen, HE Huijuan *Chinese Journal of Lasers*, 1996, **23**(A): 970

THIRD HARMONIC GENERATION OF Ti SAPPHIRE LASER BY ROTATING THE CARDINAL PLANE OF BBO CRYSTAL

HUANG Feng, LOU Q i hong, CU IJing wen, GE Yue ming, DONG Jing xing, LEI Bo

Shanghai Institute of Optics and Fine M echanics, Chinese A cademy of Sciences, Shanghai 201800

ABSTRACT: Third hamonic generation (THG) of Ti sapphire 744nm laser is produced using two pieces of type I BBO crystal while rotating the cardinal plane of the crystal. The relationship between the THG laser energy and the rotate angle is investigated in theory and experiment, the temporal and spatial characters of ω , 2ω , 3ω of output are detected. The seed source for KrF excimer MOPA laser system with good optical beam quality is obtained.

KEY WORDS: third hamonic generation; cardinal plane; ICF laser; high power excimer laser