

文章编号: 0258-7025(2001)06-0491-03

皮秒级高功率紫外可调谐激光^{*}

王 丽¹ 黄 骝²

(¹ 河北师范大学物理系 石家庄 050016; ² 北京工业大学物理系 北京 100022)

提要 采用 355 nm 主被动锁模 YAG 激光器作抽运源, 结合 BBO 晶体的倍频调谐特性, 获得了 200 ~ 350 nm 的皮秒级紫外可调谐激光, 转换效率为 15.3% ~ 23.6%。对影响参量光倍频转换效率的发散角、线宽进行模拟和分析, 其结果与实验吻合。

关键词 调谐技术, 紫外激光, 转换效率

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Tunable High Power Picosecond Laser in Ultra-violet

WANG Li¹ HUANG Liu²

(¹ Physics department, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016
² Department of Applied Physics, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

Abstract Utilizing SHG tunable feature of nonlinear crystal BBO, an experiment of UV tunable laser in 200 ~ 350 nm with conversion efficiency from 15.3% to 23.6% has been demonstrated. The influence of the divergence angle and the linewidth of the incident parametric light on the SHG conversion is calculated and compared with the experiments.

Key words tunable technique, ultraviolet lasers, conversion efficiency

1 引 言

利用皮秒级高功率主被动 Nd:YAG 激光的三倍频输出抽运 BBO 晶体, 构成无谐振腔的光参量发生放大器, 是一种产生高功率和宽调谐激光的有效方法, 近年来已成为研究的热点^[1~3]。在一些领域取得了产生紫外波段相干辐射光的有效途径^[4,5]。本文实现了以皮秒级主被动锁模 Nd:YAG 的 355 nm 作为抽运源, 在 I 类相位匹配下, 采用 BBO 晶体(8 mm × 6 mm × 12.4 mm)的光参量发生放大器(OPG-OPA)的参量过程, 获得了调谐范围为 400 ~ 800 nm 的高功率可调谐参量光输出。采用 5 mm × 5 mm × 7 mm, 8 mm × 4 mm × 7.4 mm 2 块 BBO 晶体做倍频, 分段调谐, 得到 200 ~ 350 nm 的皮秒级脉冲紫外光输出, 转换效率为 15.3% ~ 23.6%。对影响紫外光转换效率的参量光发散角、线宽进行了计算、分析和比较, 为

确定光参量激光器的最佳工作条件提供了数据。

2 实验装置

图 1 是获得皮秒级高功率 200 ~ 355 nm 紫外激光的实验光路图。由于主被动锁模 YG501C-10 型 YAG 激光器(Quantel Inter., Inc 生产), 具有单脉冲能量大和稳定性强(能量波动小于 3%)的优点, 实验中选取重复率 10 Hz, 单脉冲能量 10 mJ 和脉冲宽度为 30 ps 的 355 nm 作光参量发生放大器(OPG-OPA)的抽运光。为减少基频光(1064 nm)二倍频光(532 nm)在 OPG-OPA 中对抽运光(355 nm)与参量光匹配的不利影响, 在光路中放置阿贝尔(Abbe)棱镜 1 和 2。经实验选取压缩比为 1.7:1 的缩束望远镜 L₁, 抽运光由光斑直径为 5 mm, 发散角为 0.7 mrad 和输出能量为 2.5 mJ/μ(424 MW/cm²)压缩至 3 mm, 并使其尽量均匀地通过非线性 BBO I 晶体。光路中 M₁, M₃, M₄ 为 355 nm 高反镜, M₃, M₄ 同时精确控制抽运光与宽带镀膜 M₂ 反射回来的参量光(400 ~ 800 nm)在时域上共线匹配入射到 BBO II, BBO I 中, 进行双通放大, 以提高参量光能量输出。

^{*} 北京市自然科学基金(编号: 4945005)和河北省教委博士基金(编号: 50202)资助项目。

收稿日期: 2000-02-25; 收到修改稿日期: 2000-06-26

为得到基模参量光的倍频光输出,在光路中加入 6 mm 的圆孔光阑 A 时可有效滤除参量光基模周边的高阶模,经压缩比 2.5 : 1 的 L_2 后,入射到 BBO III 以

实现紫外激光输出。实验中用 WDG30- II 光栅单色仪和 LPE-1A 能量/功率计监测可调谐紫外光。

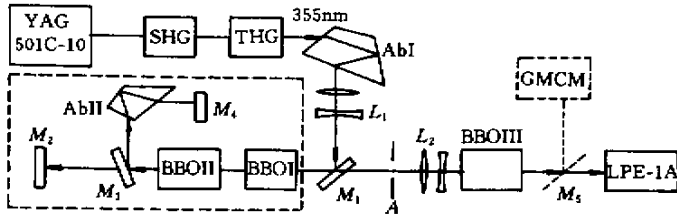


图 1 皮秒级高功率可调谐紫外激光器

Fig. 1 Experimental schematic of tunable laser of high power in picosecond ultra-violet

3 理论分析和实验结果

3.1 分析和结果

在 OPG-OPA 系统中,由于晶体的长度和抽运光半径对参量光的输出具有一定的发散角^[6],为改善光束发散角,选取 I 类相位匹配的 BBO I 晶体,长度为 12.4 mm,匹配角为 28.8°,BBO II 起前级放大、离散角补偿、空间频谱的滤波作用。在抽运光为 e 光, BBO II 与 BBO I 最佳相距 10 cm 的状态下,可获得 o 光输出能量为 400 μ J (68 MW/cm²),窄线宽 (< 0.1 nm) 可调谐为 400 ~ 800 nm 的参量激光。采用 I 类相位匹配的 BBO III 晶体作倍频,匹配角满足^[7]

$$n_e(2\omega_1, \theta_{pm}) = \left[\frac{\sin^2 \theta_{pm}}{n_o^2(2\omega_1)} + \frac{\cos^2 \theta_{pm}}{n_e^2(2\omega_1)} \right]^{-\frac{1}{2}} = n_o(\omega_1)$$

其中 n_e 为 e 光折射率, n_o 为 o 光折射率, ω_1 为基频光频率, θ_{pm} 为相位匹配角。结合 Sellmeire 方程^[8],可以计算模拟出 400 ~ 800 nm 的倍频调谐曲线,如图 2 所示。由图 2 可知,当基频光为 400 ~ 800 nm 时,倍频光为 200 ~ 400 nm,其对应的匹配角为 88.82° ~ 29.18°,调谐角范围为 59°。大的调谐角范围,要求 BBO III 具有大的横截面积,才能保证高功率的紫外光输出。实验

中采用 2 块由中国科学院福建物质结构研究所生产的 BBO 晶体,其参数分别为 5 mm × 5 mm × 7 mm (7 为通光方向), θ_{pm} 为 47.6°; 8 mm × 4 mm × 7.4 mm (7.4 为通光方向), θ_{pm} 为 69°。经 6 mm 光阑 A 和 L_2 缩束镜后,在参量光能量为 60 μ J (10.2 MW/cm²) 下,对 2 块倍频晶体 BBO III 进行分段调谐,获得了窄线宽 (0.1 nm) 的 200 ~ 350 nm 紫外光输出,其能量转换效率为 15.3% ~ 23.6%,如图 3 所示。

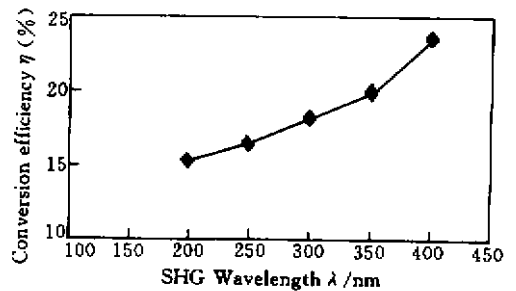


图 3 紫外激光波长与转换效率的关系

Fig. 3 Relation between conversion efficiency and SHG wavelength

3.2 影响转换效率的因素

对影响参量光倍频转换效率的相位匹配角、参量光的发散角和线宽进行理论模拟和实验检测。在不同的相位匹配角下参量光的倍频调谐曲线的理论与实验值相当一致,如图 4 所示。图 5 给出了实验测得的转换效率 η 与同一波长、同一抽运强度下的理论效率值 η_0 之比 η/η_0 随光参量的发散角 $\Delta\theta$ 的变化曲线。由图 5 可知,当发散角 $\Delta\theta < 2 \sim 3$ mrad 时,倍频转换效率 η/η_0 最大,即在允许的发散角内,倍频才有最好的效果,当 $\Delta\theta$ 超过允许的发散角后,参量光能量对倍

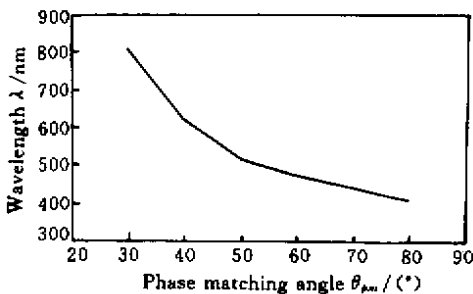


图 2 400 ~ 800 nm 的倍频调谐曲线

Fig. 2 Tunable curve of SHG for 400 ~ 800 nm

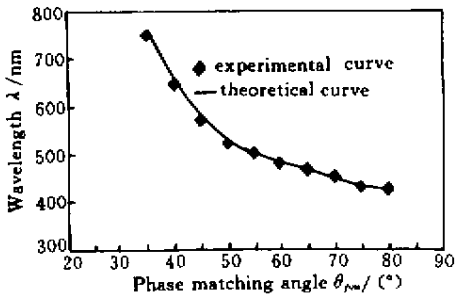


图4 倍频匹配角的理论和实验调谐曲线

Fig.4 Experimental and theoretical curve of SHG matching angle

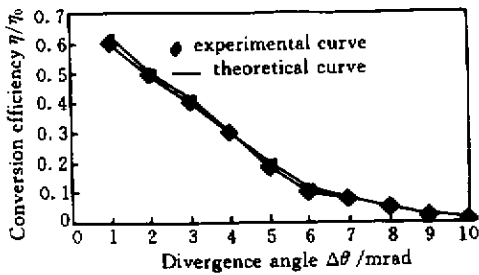


图5 参量光的发散角与倍频转换效率的关系

Fig.5 Divergence angle of parametric light versus the SHG conversion efficiency

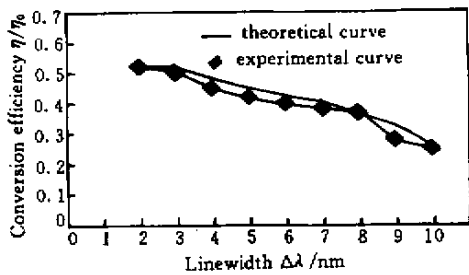


图6 参量光的线宽对倍频转换效率的影响

Fig.6 Influence of the linewidth of parametric light on SHG conversion efficiency

频光转换效率的贡献为零。在相同的发散角下,参量光的线宽与倍频转换效率的关系曲线如图6所示。

由图6可知,线宽 $\Delta\lambda$ 越宽,转换效率 η/η_0 值越小, $\Delta\lambda$ 越窄, η/η_0 越大。

4 结 论

利用非线性晶体 BBO 或 LBO 的倍频调谐特性,考虑到参量光的发散角、线宽对产生紫外光的转换效率的影响,取决于产生倍频光能量的仅是满足某一匹配波长附近的小范围内的能量,使改进的离散角补偿的 BBO I 和 BBO II 晶体产生高质量的 400 ~ 800 nm 参量光。获得了能量转换效率为 15.3% ~ 23.6% 的紫外光 200 ~ 350 nm 可调谐输出。

参 考 文 献

- 1 W. R. Bosenberg, W. S. Pelouch, C. L. Tang. High-efficiency and narrow-linewidth operation of a two-crystal β -BaB₂O₄ optical parametric oscillator. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **55**(19):1952 ~ 1954
- 2 F. Huang, L. Huang. Picosecond optical parametric amplification in β -BaB₂O₄. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(11):2601 ~ 2607
- 3 J. Jiang, Y. D. Zhang, X. X. Zhuang *et al.*. Fast tuning noncollinear optical parametric laser pumped by 355 nm. *Journal of Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 1999, **10**(5):401 ~ 404 (in Chinese)
- 4 Wu Baichang, Chen Nong, Chen Chuangtian *et al.*. Highly efficient ultraviolet generation at 355 nm in LiB₃O₅. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(19):1080 ~ 1081
- 5 Y. N. Yang, J. H. Yu. Tunable ultraviolet coherent light by crystal β -BaB₂O₄ second-harmonic dye laser produced. *Journal of Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 1990, **1**(1):76 ~ 79 (in Chinese)
- 6 J. Y. Zhang, J. Y. Huang, T. R. Shen *et al.*. Optical parametric generation and amplification in barium borate and lithium triborate crystals. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1993, **10**(9):1758 ~ 1764
- 7 Y. K. Fan. *Nonlinear Optics*. Zhejiang: Zhejiang Science and Technology Published House, 1989. (in Chinese)
- 8 K. Kato. Second-Harmonic generation to 2048 Å in β -BaB₂O₄. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1986, **22**(7):1013 ~ 1014