

高效全固体脉冲蓝光系统实验研究^{*}

赵尚弘 陈国夫 赵 卫 王屹山 于连君

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710068)

常 琳

(西安科技学院应用物理系, 西安 710043)

(1999 年 11 月 5 日收到)

用半导体抽运的 Q-YLF 倍频激光器抽运钛宝石产生 830 nm 的纳秒红外光,再用 LBO 晶体对该光产生二次谐波得到 415 nm 的脉冲蓝光.用 3 W 的 YLF 抽运时可产生 960 mW 基波光,效率达 32%;经倍频后输出 285 mW 的蓝光,倍频效率可达 32.2%.对影响倍频效率的主要因素如基波光源腔型设计、聚焦效果、脉冲宽度等作了较详细的研究.

关键词: 全固体, 倍频, 蓝光

PACC: 4255R, 4260B, 3200

1 引 言

目前用克尔透镜锁模钛宝石激光器可产生短至几个飞秒的激光脉冲^[1-3],而且最短脉冲的记录还在不断缩短,以满足某些基础学科中超快过程研究的需要.短波长超短脉冲激光在诸如医学诊治、激光雷达、激光测距等领域有很实用化的应用.而利用光学性质和物理性能优异的钛宝石和各种倍频晶体组成的波长各异的全固体脉冲激光系统以其波长可变、结构紧凑、性能稳定等优点将会得到越来越多的应用.钛宝石飞秒激光脉冲的二次谐波产生已有大量报道^[4,5].本文用半导体抽运的 Q-YLF 倍频激光器抽运钛宝石产生 830 nm 的纳秒红外光,再用 LBO 晶体对该光产生二次谐波,得到重复率 1 kHz 的 415 nm 脉冲蓝光.这是一套全固体脉冲激光系统,实验中力求系统结构紧凑、性能稳定,达到实用化要求.

2 理 论

对于聚焦高斯光束的倍频过程,如果光束腰位于晶体中心,而且在束腰处满足相位匹配条件的情况下,二次谐波输出功率为^[6]

$$P(2\omega) = \frac{2\mu_0^{3/2}\epsilon_0^{1/2}\omega^2 d_{\text{eff}}^2}{\pi n^3} l P(\omega)^2 k(\omega) h(\beta, \xi), \quad (1)$$

式中 l 为晶体长度.函数 $h(\beta, \xi)$ 的两个变量 β 和 ξ 称为聚焦参量和双折射参量,分别描述由于基波光的聚焦效应和相位失配效应对倍频过程的影响. $\xi = l/w_0^2 k_1$, w_0 为束腰半径.在聚焦光束的束腰近场区, $\xi < 1$,基波光可看作平行光,倍频功率随光束腰减小而增加. $P(\omega)$ 为基波功率. $k(\omega)$ 为波矢.

(1) 式表明,在严格满足相位匹配条件下,基波光的聚焦提高了峰值功率密度,因此明显提高倍频效率.但在紧聚焦条件下,激光束腰 w_0 很小,相当比例的基波光在倍频晶体上的入射角偏离相位匹配角,造成严重的相位失配.因此,如果过分强聚焦,反而会造成倍频功率下降.另外,基波光脉冲尽可能短也会有助于提高倍频效率.因此,优化设计基波光源的腔型,以产生短脉冲、完全的相位匹配,以及理想的聚焦效果,是提高倍频效率的三个关键因素,这也正是本实验中重点解决的问题.

3 实验及结果讨论

图 1 为该实验系统结构示意图.实验中用半导体抽运的 Q-YLF 倍频激光器经聚焦后抽运钛宝石,采用凹-平面镜组成的稳定腔,其中 Q-YLF 可

^{*}国家攀登计划(批准号: 59807042)与国家自然科学基金(批准号: 69778012)资助的课题.

输出重复率 1 kHz、波长 527 nm 的激光脉冲, 钛宝石长度为 20 mm, M_1 与 M_2 的中心距为 19 cm. 倍频晶体 LBO 长度为 10 mm.

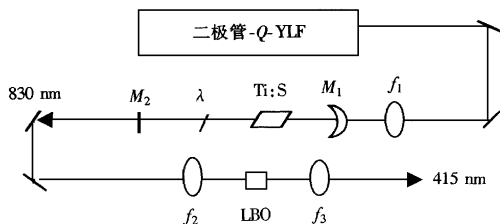


图1 全固体蓝光实验系统 λ 为波片

3.1 激光器腔长、脉宽与模式的关系

为了获得尽可能短的脉冲, 测量了腔长与脉宽的关系, 如图 2 所示. 尽管从实验中获得了最短 7 ns 的脉冲, 但在用其进行倍频时发现, 倍频效率并不高 (10 % 左右). 经过分析发现, 过短的腔长虽然可输出短脉冲, 但此时由于腔内高阶横模容易起振, 输出的光束就不再是单横模, 而是多模光束, 焦距效果不好, 进而影响了倍频效率. 为此采取了三个措施, 即 (1) 增大腔长至 19 cm, 减少高阶模增益. (2) 将钛宝石晶体由原来的 3 mm 换成 20 mm. 因为长棒有一定的等效光阑作用, 可以增大高阶模的衍射损耗而限制其起振. (3) 改进抽运光与腔模的匹配效果. 为了克服高功率密度抽运光束对钛宝石晶体表面损伤和增大腔模体积, 必须选择适宜的聚焦功率密度, 以获得最大的输出功率和高的效率.

经优化设计后的钛宝石激光器在 3W 的抽运功率时输出平均功率 960 mW、脉宽 20 ns、重复率 1 kHz 的稳定光脉冲, 而且光束模式呈标准的高斯模. 图 3 为实验中测得的其输出特性, 斜率效率达 40 %.

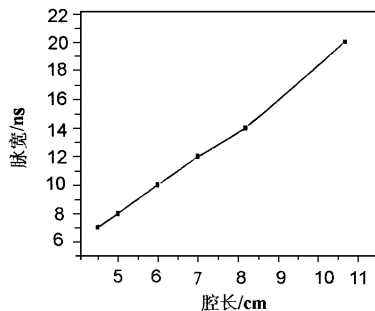


图2 830 nm 基波光源腔长与脉宽的关系

3.2 基波光偏振度对倍频效率的影响

倍频过程要求满足相位匹配条件, 前提是基波光必须是严格的线偏振光. 实验中观察了三种不同方法输出的基波光对倍频效率的影响, 图 4 为在 Ti:S 激光器腔内光路上不附加其他元件、插入玻璃片和插入双折射波片三种情况下的倍频输出特性.

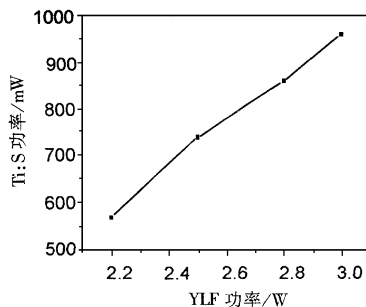


图3 Ti:s 激光器 830 nm 激光输出特性

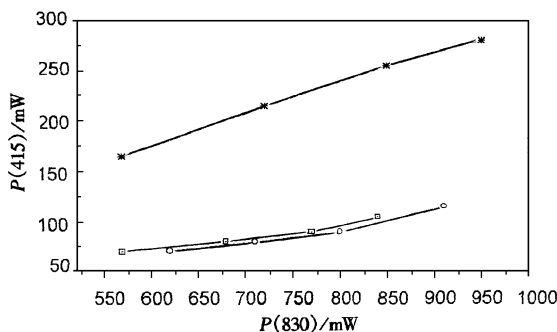


图4 基波光偏振度对倍频的影响 ○为不加任何元件, □为插入玻璃片, *为插入波片

实验中发现, 在不加入任何元件时输出的基波光的倍频效率最低. 这是由于此时输出的激光不是完全偏振的而影响倍频过程的相位匹配, 而且输出的脉冲频谱较宽, 过宽的频谱又会引入较大的相位失配. 在光路上以布鲁斯特角插入玻璃片后倍频效率有所提高, 这是由于以布鲁斯特角放置的玻璃片会在一定程度上改善激光偏振度, 但激光脉冲频谱仍较宽. 插入双折射波片后倍频效率大幅度提高. 这一方面是由于双折射波片有选模作用而窄化脉冲频谱, 降低相位失配; 另一方面只有严格线偏振光才会通过波片在腔内振荡, 使得输出的基波光成为完全线偏振光. 图 5 为实验中测得的在 Ti:S 激光器输出相同功率时三种情况下基波光和倍频光的脉冲频谱.

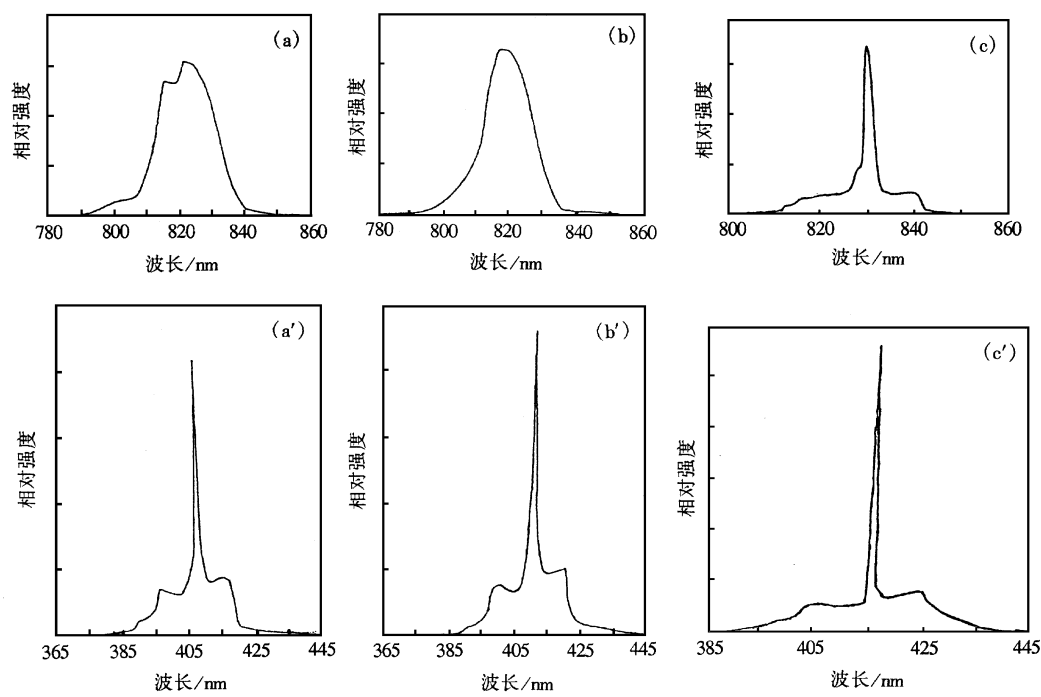


图 5 基波光输出 620 mW 时的基波光和倍频光的频谱

3.3 聚焦效果对倍频效率的影响

如第 2 节所述,适宜的聚焦会提高倍频效率.实验中在插入双折射波片后测量了三种不同聚焦情况下的倍频效果.图 6 为三种不同聚焦效果的比较.其中当用 $f = 66\text{ mm}$ 聚焦时,得到平均倍频效率为 32.2 %,3 W 的 YLF 抽运钛宝石输出 960 mW 的基波光,中心波长为 830 nm,经倍频后输出 285 mW 的蓝光,中心波长为 415 nm.

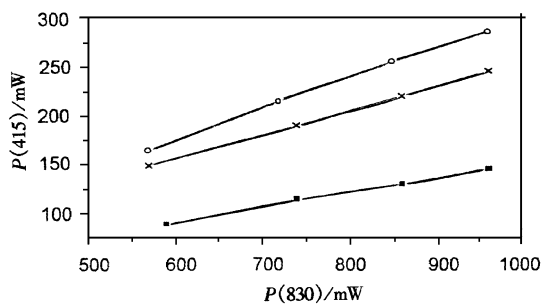


图 6 三种不同聚焦的倍频效果的比较 ■为 $f_1 = 125\text{ mm}$, ×为 $f_2 = 77\text{ mm}$, ○为 $f_3 = 66\text{ mm}$

4 结 论

本文报道了完成的高效全固体 415 nm 蓝激光系统的实验结果,用 3 W 的低抽运功率即可获得 285 mW 的蓝光输出,二次谐波转换效率达 32.2 %.如果将此蓝光再进行倍频,即可产生紫外脉冲激光.

[1] U. Morgner, F. X. Kartner, S. H. Cho, *Opt. Lett.*, **24** (1999), 411.
[2] D. H. Sutter, G. Steinmeyer, N. Matuschek *et al.*, *Opt. Lett.*, **23** (1999), 631.
[3] L. Xu, Ch. Spielmann, F. Krausz, *Opt. Lett.*, **21** (1996), 1259.
[4] J. D. Kmetec, J. J. Macklin, J. F. Young, OSA Proceedings on Short-Wavelength Coherent Radiation, edited by P. H. Bucksbaum, N. M. Ceglio (OSA, Washington, D C, 1991), p. 176.
[5] G. Rodrigues, J. P. Roberts, A. J. Taylor, *Opt. Lett.*, **19** (1994), 1146.
[6] Y. R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics* (John Wiley & Sons, Inc., 1984), p. 97.

EXPERIMENTAL STUDY OF HIGH EFFICIENCY ALL-SOLID-STATE PULSED-BLUE LASER SYSTEM*

ZHAO SHANG-HONG CHEN GUO-FU ZHAO WEI WANG YI-SHAN YU LIAN-JUN

(State Key Laboratory of Transient Optics and Technology, Xi'an Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China)

CHANG LIN

(Department of Applied Physics, Xi'an College of Science and Technology, Xi'an 710043, China)

(Received 5 November 1999)

ABSTRACT

The infrared ($\lambda_0 = 830$ nm) nanosecond pulse is generated by pumping Ti:sapphire with diode-Q-YLF laser, and then the second-harmonic blue laser ($\lambda_0 = 415$ nm) is obtained by frequency-doubling with the crystal LiBO₂ (LBO). In our experiments, the fundamental wave with a power of 960 mW and corresponding harmonization of 285 mW are output from the laser system when pumping power is only 3 W. The high fundamental conversion efficiency of 32 % and the second harmonic conversion efficiency of 32.2 % are reached, by optimizing the design of Ti:sapphire laser system and the focusing system in frequency-doubling. The influences of the bandwidth, the polarization and the focusing of the fundamental wave on the second-harmonic generation are discussed.

Keywords: all-solid-state, frequency-doubling, blue laser

PACC: 4255R, 4260B, 3200

* Project supported by the National "Climbing" Program of China (Grant No. 59807042) and the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 69778012).