

文章编号: 0258-7025(2005)02-0262-03

1342 nm 激光通过周期极化钽酸锂产生 红光和蓝光的研究

马 莹, 彭显楚

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要 激光二极管(LD)抽运 Nd:YVO₄激光器通过周期极化的钽酸锂(PPLT),利用非线性光学中倍频与和频的原理,为了实现准相位匹配调控周期极化钽酸锂的温度,当基频光与倍频光满足准相位匹配时,产生 671 nm 的红光和 447 nm 的蓝光。当 1342 nm 基波的平均功率为 1.58 W 时,输出 671 nm 红光的最大平均功率为 750 mW,对应的匹配温度为 92.3℃,半峰全宽温度值为 3.2℃,输出 447 nm 蓝光的最大平均功率为 128 mW,对应的匹配温度为 83.2℃,半峰全宽温度值为 4.5℃,其红光的光-光转换效率为 47.4%,蓝光转换效率为 8.1%。经过一段时间观察,由周期极化的钽酸锂倍频与和频得到的红光和蓝光输出稳定,结果显示周期极化的钽酸锂可以构造全固态红光和蓝光双波长激光器。

关键词 激光技术;二次谐波振荡;和频产生;红光和蓝光;准相位匹配;周期极化钽酸锂

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Red and Blue Light Generations in a Periodically Poled LiTaO₃ by 1342 nm Laser

MA Ying, PENG Xian-chu

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
The Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract When incident fundamental wave and frequency-doubling wave were fitted to quasi-phase matching, with diode-pumped Q-switched 1342-nm Nd:YVO₄ laser, generations of red light at 671 nm and blue light at 447 nm in a periodically poled LiTaO₃ (PPLT) were demonstrated. Principles of frequency-doubling and sum-frequency were applied in the course. Temperature of PPLT was modulated in order to accomplish quasi phase matching. When average power of 1342-nm fundamental wavelength was 1.58 W, the maximum average power of red light (671 nm) was 750 mW with corresponding matching temperature of 92.3℃ and temperature of full wave half width of 3.2℃, and the maximum average power of blue light (447 nm) was 128 mW with matching temperature of 83.2℃, temperature of full wave half width of 4.5℃. The optical-optical conversion efficiency of red light was 47.4% and that of the blue light was 8.1%. Output powers of red light and blue light were stable by double-frequency and sum-frequency in a PPLT for a longer time. These results indicated that PPLT may be used to construct an all-solid-state red and blue dual-wavelength laser.

Key words laser technique; second harmonic oscillation; sum-frequency generations; red and blue light; quasi-phase matching; periodically poled lithium tantalate

1 引 言

随着激光技术的发展,红、蓝光已经由不同的方

法得到,通过激光二极管(LD)输出红、蓝光已见报道^[1~4],但由于输出功率较低而不能满足一定的应

收稿日期:2004-04-13;收到修改稿日期:2004-07-13

作者简介:马 莹(1978—),女,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士研究生,主要研究方向为全固态蓝光激光器。E-mail:supermanpxc@sohu.com

用。LD 抽运全固态激光器由于输出的光束质量较高,线宽窄,因而在光电技术领域中越来越引起人们的关注。利用一些非线性光学系数较小的晶体,例如磷酸氧钛钾(KTP),硼酸锂(LBO)等进行倍频的转换效率较低^[5,6],而选择具有较大的非线性光学系数的晶体可以提高转换效率,周期极化的钽酸锂(PPLT)^[7]有较大的非线性光学系数。本文利用 LD 抽运 Nd:YVO₄ 激光器通过周期极化的钽酸锂,及其非线性效应(倍频及和频)并满足准相位匹配条件,可以得到较大输出功率的红光和蓝光。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示^[8],主要由 LD 抽运源,1342 nm Nd:YVO₄ 激光器,耦合系统,周期极化钽酸锂及其加热与温度控制器构成,其中周期极化钽酸锂由南京大学固体微结构物理国家重点实验室提供。它利用 LD 输出 808 nm 波长光接入耦合镜,抽运 Nd:YVO₄ 激光器,经声光调 Q 后输出 1342 nm 激光,再通过焦距 25 mm 的透镜聚焦到周期极化钽酸锂上由恒温炉加热并控制其准相位匹配时的温度,基于倍频与和频的原理,由焦距 50 mm 的透镜校准,滤光得到输出脉冲为 90 ns,重复频率 10 kHz 的准连续红、蓝光。

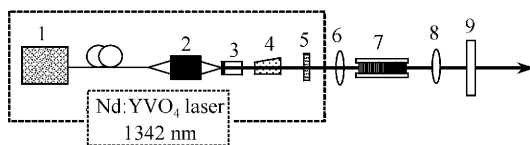


图 1 产生红光和蓝光的实验光路图

1: 808 nm LD; 2: 耦合镜; 3: Nd:YVO₄ 晶体; 4: 声光 Q 开关; 5: 平面镜; 6: 聚焦透镜; 7: 周期极化钽酸锂及其温控炉; 8: 准直透镜; 9: 滤光片

Fig. 1 Experimental schematic diagram of red and blue light generations

1: 808 nm laser diode; 2: coupling lens; 3: Nd:YVO₄ crystal; 4: acousto-optic Q-switch; 5: plane mirror; 6: focus lens; 7: PPLT and oven; 8: collimating lens; 9: filter

3 实验结果及分析

通过图 1 的实验装置,红光由二次谐波产生(SHG),蓝光是由倍频的红光与基频光的和频产生(SFG),它是间接产生的三次谐波(THG)。当倍频过程与和频过程均满足准相位匹配条件时可以有效地得到红、蓝光输出。理论上周期极化钽酸锂的周期为 14.778 μm ,实现 1342 nm 基波的三次谐波振

荡产生时的温度是 74.1 $^{\circ}\text{C}$ ^[9]。如图 2 所示,在完成准相位匹配的过程中,二次谐波振荡产生与和频产生各自引起相位的失配,而周期极化钽酸锂晶格周期引起的相位失配恰好能够与之补偿。

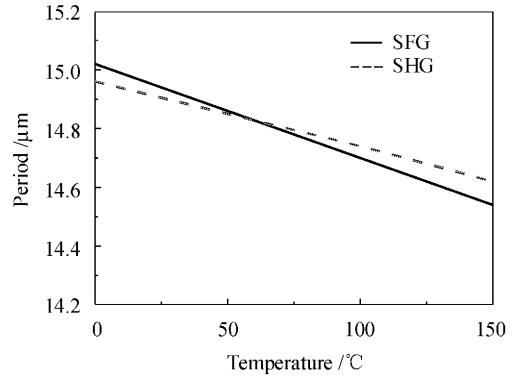


图 2 产生倍频与和频时周期极化钽酸锂的周期随温度变化的关系

Fig. 2 Periods of PPLT for SHG and SFG versus temperature at a fundamental wavelength of 1342 nm

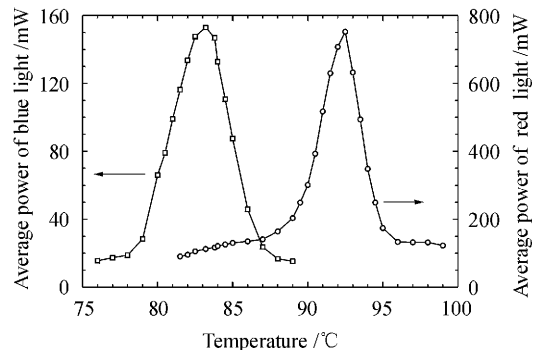


图 3 红光和蓝光平均输出功率随周期极化钽酸锂温度的变化

Fig. 3 Average output power of red and blue light versus PPLT's temperature

本实验根据准相位匹配理论,通过对周期极化钽酸锂的倍频与和频,当 1342 nm 基波的平均功率为 1.58 W 时,得到 671 nm 红光的最大输出功率为 750 mW,447 nm 蓝光的最大输出功率为 128 mW,对应的匹配温度是 92.3 $^{\circ}\text{C}$,83.2 $^{\circ}\text{C}$,半峰全宽温度各自为 3.2 $^{\circ}\text{C}$,4.5 $^{\circ}\text{C}$,对应关系如图 3 所示。很明显,所得到的红光和蓝光最大输出功率对应的温度偏离了理论值 74.1 $^{\circ}\text{C}$ 。经分析可能有两个原因,首先 Sellmeier 方程^[10]在准相位匹配时 325 ~ 532 nm 的波长并不是和在 671 ~ 1342 nm 匹配波长很一致,导致红光和蓝光的峰值与相应的准相位匹配温度分离。其次,由于测量精度的限制,周期极化

钽酸锂实际的主周期与额定的主周期不同,因为匹配温度对主周期的变化十分敏感,一个预先极小的偏差都可能导致二次谐波振荡产生和三次谐波振荡产生过程的准相位匹配温度发生很大的偏离。

在同一实验过程中,测量红、蓝光的平均输出功率的结果如图 4 所示。转换效率的定义为 $\eta = P_s/P_f$, P_s 为红光或蓝光的平均输出功率, P_f 为入射在周期极化钽酸锂上 1342 nm 基波的平均功率。由此得到红光的最大输出平均功率为 750 mW,对应的转换效率为 47.4%,蓝光的最大输出平均功率为 128 mW,其转换效率为 8.1%。在设计实验光路时为了测量考虑,周期极化钽酸锂端面没有被镀膜,有 13% 的非涅耳反射,事实上通过给周期极化钽酸锂镀膜能得到更大的输出功率。

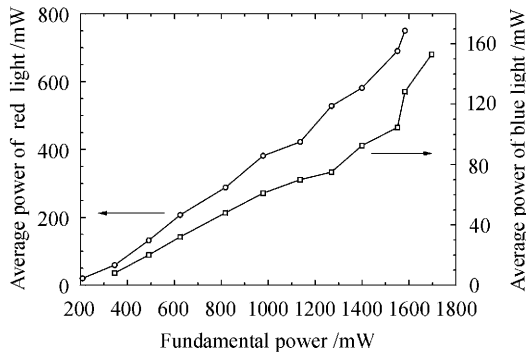


图 4 基波功率与红光和蓝光平均功率的关系

Fig. 4 Average power of red and blue light versus incident fundamental wave power

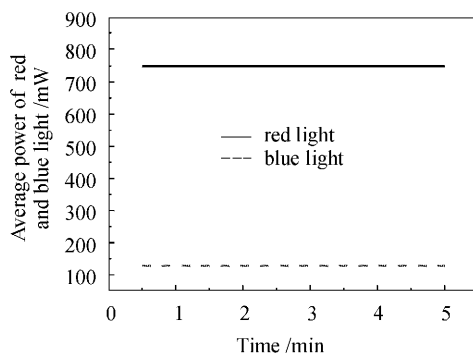


图 5 红光和蓝光最大平均功率的稳定性

Fig. 5 Stability of the maximum average power of red and blue light in five minutes

通过对输出的红、蓝光最大平均功率的稳定性进行测量(如图 5 所示),结果显示没有观察到明显的输出功率的变化,红光和蓝光的峰值功率波动大约在 2% 左右^[11],这说明在此实验条件下,光折变效应可以被忽略。对红、蓝光的转换效率进一步分析

可知,由于周期极化钽酸锂厚度的限制,我们采用了腔外倍频、和频,如果采用腔内倍频、和频可以进一步提高红光和蓝光的转换效率。

4 结 论

LD 抽运 Nd:YVO₄ 激光器通过周期极化钽酸锂倍频产生准连续的红光,经过倍频光与基频光的和频产生准连续的蓝光,当 1342 nm 基波的平均功率为 1.58 W 时,得到最大的红光转换效率为 47.4%,蓝光转换效率为 8.1%。这比利用 KTP, LBO 等非线性光学系数较低的晶体倍频、和频的转换效率要高,所以周期极化的钽酸锂可以用来构造较高转换效率的全固态红光和蓝光双波长激光器。

参 考 文 献

- 1 M. Dumitrescu, M. Toivonen, P. Savolainen *et al.*. High-power edge emitting red laser diode optimisation using optical simulation [J]. *Optical and Quantum Electron.*, 1999, **31**(9-10):1009~1030
- 2 M. Toivonen, P. Savolainen, S. Orsila *et al.*. Solid source molecular beam epitaxy growth of 600-nm-range quantum well laser diodes [J]. *J. Cryst. Growth*, 1999, **201/202**:877~881
- 3 F. Balembis, F. Falcoz, F. Kerboull *et al.*. Theoretical and experimental investigations of small-signal gain for a diode-pumped Q-switched Cr:LiSAF laser [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33**(2):269~278
- 4 S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama *et al.*. Blue InGaN-based laser diodes with an emission wavelength of 450 nm [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, **76**(1):22~24
- 5 Junying Wang, Quan Zheng, Qinghua Xue *et al.*. Diode-pumped, Cr:YAG passively Q-switched and mode-locked Nd:YVO₄/KTP green laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(10):604~605
- 6 Wang Haibo, Ma Yan, Zhai Zehui *et al.*. 1.5 W cw frequency-stabilized and intracavity frequency-doubled ring laser end-pumped by diode laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(2):119~122
王海波,马 艳,翟泽辉等. LD 端面抽运 1.5 W 单频稳频绿光激光器[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(2):119~122
- 7 S. N. Zhu, Y. Y. Zhu, N. B. Ming. Quasi-phase-matched third-harmonic generation in a quasi-periodic optical superlattice [J]. *Science*, 1997, **278**(5339):843~846
- 8 J. L. He, G. Z. Luo, H. T. Wang *et al.*. Generation of 840 mW of red light by frequency doubling a diode-pumped 1342 nm Nd:YVO₄ laser with periodically-poled LiTaO₃ [J]. *Appl. Phys. B*, 2002, **74**(6):537~539
- 9 He Jingliang, Liu Jie, Luo Guozhen *et al.*. Blue generation in a periodically poled LiTaO₃ by frequency tripling a 1342 nm Nd:YVO₄ laser [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2002, **19**(7):944~946
- 10 J. P. Meyn, M. M. Fejer. Tunable ultraviolet radiation by second-harmonic generation in periodically poled lithium tantalate [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(16):1214~1216
- 11 G. Z. Luo, S. N. Zhu, J. L. He *et al.*. Simultaneously efficient blue and red light generations in a periodically poled LiTaO₃ [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **78**(20):3006~3008