

LD 泵浦 Nd:YAG/LBO 蓝光激光器的低噪声运转*

郑 权^{1,2} 赵 岭² 钱龙生²

(1 中国科学院长春光机与物理所应用光学国家重点实验室, 长春 130022)

(2 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130022)

摘 要 观察了 LD 泵浦 Nd:YAG 晶体, I 类临界相位匹配 LBO 晶体腔内倍频的 473 nm 蓝光激光器的噪声特性, 指出蓝光噪声主要来自于不同纵模的相互耦合, 并用双折射滤光片技术实现了全固态蓝光激光器的低噪声稳定运转. 在 1.3 W 的泵浦功率下, 获得了 58 mW 的蓝光低噪声稳定输出.

关键词 LD 泵浦; 473 nm 蓝光激光器; 噪声; 蓝光问题

中图分类号 TN248.34 **文献标识码** A

0 引言

蓝光激光器在高密度存储、打印、显示、荧光激发、喇曼光谱学等方面有广泛的应用. LD 泵浦、腔内倍频的 Nd:YAG 小型蓝光激光器是一种有着很好前景的技术, 在此方面已有多篇文章发表^[1,2]. 其方案是利用 LD 泵浦 Nd:YAG, 通过镀膜手段抑制 1064 nm 和 1319 nm 起振, 从而获得 Nd³⁺ 的 946 nm 跃迁 ($F_{3/2}^4 \rightarrow I_{9/2}$) 的激光谱线, 再用 KNbO₃ 晶体进行腔内倍频, 最终获得波长为 473 nm 的蓝色激光输出. 作者所在的课题组曾率先在国际上报道了 LD 泵浦 Nd:YAG 晶体, 采用 I 类临界位相匹配 LBO 晶体腔内倍频的 473 nm 蓝光激光器的研究成果^[3]. 经过优化设计, 在 2 W 的 LD 泵浦下该结构已经稳定输出了大于 100 mW 的蓝光, 并通过腔内插入 Cr:YAG 晶片成功实现了百瓦峰值功率输出的调 Q 脉冲运转^[4].

影响全固态蓝光激光器应用的一个主要问题是其瞬时的输出起伏很大, 即噪声大^[5]. 为此, 激光界还起了一个专有名词, 称之为“蓝光问题 (Blue Problem)”. 同 LD 泵浦的 Nd:YVO₄ 绿光激光器类似, 蓝光激光器的噪声也主要缘于多纵模在倍频晶体内的合频效应^[6], 但考虑到各向同性的 Nd:YAG 晶体不具备 Nd:YVO₄ 的偏振发射特性, 因此蓝光激光器谐振腔内还存在着非偏振激光的两个偏振分量的相互耦合^[7], 导致噪声行为更加明显.

消除或减少激光器噪声的一个直接方法就是迫使激光器单纵模运转. 已有研究表明, 通过在谐振腔内插入一片四分之一波片 (QWP), 使 QWP 的主轴与倍频晶体 KNbO₃ 的 e 轴成 45° 角, 可以获得稳

定的直流输出^[7]. 但存在着波片加工精度高、对温度、敏感和不易调整的缺点. 本文则通过双折射滤光片技术简便高效地实现了 LD 泵浦 Nd:YAG/LBO 结构蓝光激光器的低噪声运转.

1 蓝光激光器的噪声行为

LD 泵浦全固态蓝光激光器的结构如图 1 所示. LD 发出的 808 nm 泵浦光经过耦合光学系统聚焦后注入到厚度 1.5 mm, 掺杂浓度 1.0 at. % 的 Nd:YAG 晶体中; Nd:YAG 的左端面镀 808 nm AR 和 946 nm HR 膜系作为谐振腔的全反镜, 输出耦合镜 OC 除了要求对 946 nm HR 和 473 nm AR 外, 还应满足对 1064 nm AR 和 1319 nm AR 的条件, 以确保在较大泵浦下也只有 946 nm 形成激光振荡; 经 10 mm 长的 I 类临界位相匹配 LBO 晶体腔内倍频后可获得 473 nm 的蓝光输出. LD、Nd:YAG 和 LBO 分别用半导体制冷器 TEC₁, TEC₂ 严格温控.

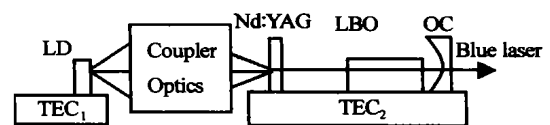


图 1 LD 泵浦的 Nd:YAG/LBO 蓝光激光器

Fig. 1 Setup of a diode-pumped Nd:YAG/LBO blue laser

用图 2 所示的装置来观察蓝光激光器的噪声特性及相应的纵模特征. 一台蓝光激光器发出的光由分光镜 (Splitter) 分成功率近似相等的两路. 一路由硅光电二极管 (PIN) 接收, 转换为电信号后输入到示波器 1 中, 通过示波器 1 可以观察到激光噪声的相对大小和频率; 另一路则输入到扫描干涉仪 (F-P) 中, 示波器 2 显示纵模的数目和耦合情况.

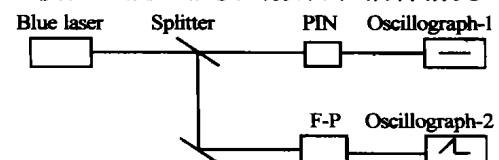


图 2 分析蓝光激光器噪声和纵模的装置

Fig. 2 Setup for analyzing the noise and modes of a blue laser

* 国家高技术研究发展计划 (No. 2002AA311141) 资助项目
Tel: 0431-5516837 Email: zhengquanok@163.com
收稿日期: 2002-11-15

经观察,可以知道蓝光激光器的噪声特性和对应的腔内纵模变化及耦合情况.图3给出了由两个示波器观察到的典型图像.可以看出,蓝光激光器的噪声很大,腔内有多个纵模同时存在.具有较大噪声的蓝光激光器的纵模变化主要有三种情形:1)某些纵模时而出现,时而消失;2)纵模间相互竞争,能量不断起伏;3)各纵模相互耦合,产生不稳定的合频,纵模数量越多,耦合现象也越显著.

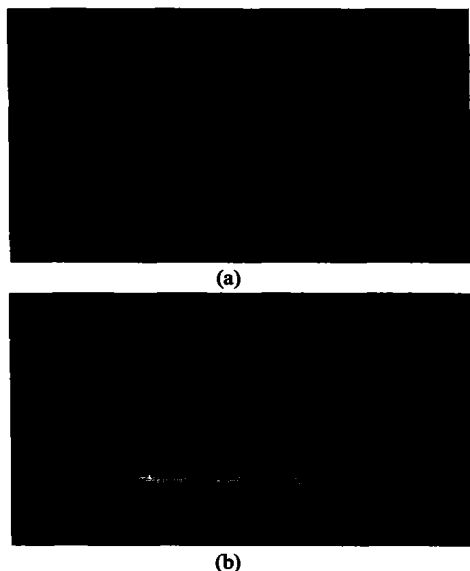


图3 蓝光激光器的噪声和纵模
Fig.3 The noise (a) and modes (b) of a blue laser

2 噪声的消除

从以上分析可以看出,消除激光器噪声的最直接方法就是迫使激光器单纵模运转.作者所在的课题组曾报道了一种腔内插入布氏片,使其与倍频用双折射晶体 KTP(II类匹配)结合形成“双折射滤光片”来实现绿光激光器低噪声(单纵模)运转的巧妙方法^[8].该方法调节简便,损耗小,因此是实现中低功率全固态倍频激光器低噪声运转的优选方案.将双折射滤光片技术应用于 LD 泵浦的 Nd:YAG 蓝光激光器中,同样可以实现低噪声运转.

含双折射滤光片的 Nd:YAG/LBO 蓝光激光器谐振腔如图4所示.其中,由布氏片 BP(ZF₇玻璃材料,厚0.5 mm)和石英晶体(长8 mm,主轴与 BP 片的 *p* 偏振面成 45°角)构成双折射滤光片.下面分析其选单纵模的原理.

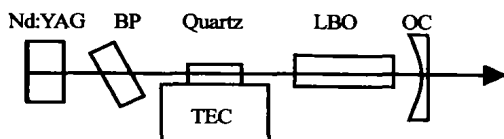


图4 含双折射滤光片的蓝光激光器谐振腔
Fig.4 A blue laser resonator with birefringible filter

虽然 Nd:YAG 发出的光为非线偏振光,但根据

Fresnel 定律,只有当其偏振方向与布氏片 BP 的 *p* 偏振面重合时损耗才为零.因此在含 BP 片的谐振腔内 946 nm 基频光仍然是线偏振的.当基频线偏振光通过石英晶体时分解为 *o* 光和 *e* 光,往返位相差 δ 为

$$\delta = 4\pi d(n_o - n_e)/\lambda \quad (1)$$

式中, d 是石英晶体的长度, n_o 和 n_e 分别为不同纵模对应下 *o* 光和 *e* 光在石英中的折射率, λ 为不同纵模对应下真空中的波长.通过 TEC 调节石英晶体的温度,就可以改变其长度和折射率,从而改变 δ 值.而只有对 $\delta = m\pi$ (m 为正整数),即返回到 BP 片的光偏振方向与原方向相同的纵模,布氏片对其损耗才为零.对其它纵模,则存在不同程度的损耗.

因此,蓝光激光器谐振腔内加入布氏片和石英晶体有三个作用:一是布氏片起偏,使 Nd:YAG 发出的基频光成为线偏振,从而消除了腔内非偏振激光的两个偏振分量的相互耦合;二是布氏片对不同频率纵模的布氏角略有不同,当对某一纵模为布氏角时,对其它纵模的 *p* 分量则有一定的反射损耗;三是不同频率纵模往返经过石英晶体时偏振面会发生偏转,布氏片对存在 *s* 分量的纵模也会引起一定的反射损耗.显然,最后一点是最主要的.在激光器中,有时百分之几的损耗就可以完全抑制该纵模形成了,双折射滤光片技术恰恰是通过对各纵模的选择性损耗实现了选频,并且引入的损耗很小.

用 LD 纵向泵浦图4所示的含双折射滤光片的谐振腔,在 1.3 W 的泵浦功率下,获得了 58 mW 的蓝光低噪声稳定运转,图5给出了蓝光的低噪声输出和单纵模图像.

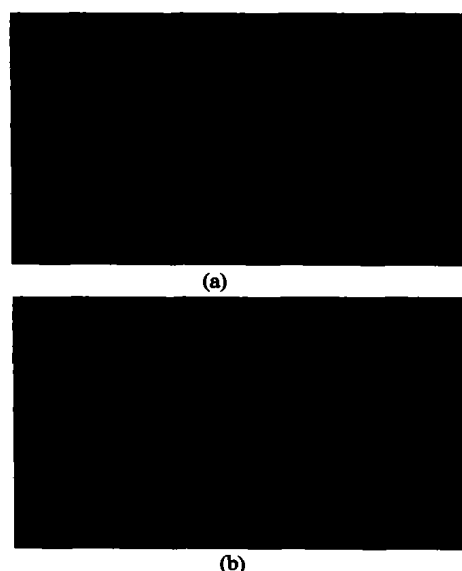


图5 蓝光激光器的低噪声和单纵模运转
Fig.5 Low noise (a) and single mode (b) operation of a blue laser

3 结论

通过对 LD 泵浦 Nd:YAG 晶体, I 类临界相位匹配 LBO 晶体腔内倍频蓝光激光器噪声特性的观察, 指出蓝光噪声主要来自于不同纵模的相互耦合, 通过在谐振腔内加入布氏片和石英晶体构成的双折射滤光片进行选单纵模, 最终实现了蓝光激光器的低噪声稳定输出.

应该指出的是, 和文献[8]不同, 虽然 LBO 也是双折射晶体, 但在 I 类匹配倍频过程($o + o \rightarrow e$)中 LBO 并不会表现出双折射作用, 因此腔内还需加入主轴 45° 角放置的石英晶体来实现各纵模的偏振面偏转. 当然, 如果将石英晶体直接作成 BP 片(按布氏角放置或端面切成布氏角), 结构就更加简单了, 但却会提高加工的精度和调整的难度.

参考文献

- 1 Risk W P, Pon R. Diode laser pumped blue-light source at 473 nm using frequency doubling of a 946 nm laser. *Appl Phys Lett*, 1989, **54**(17):24 ~ 26
- 2 Gmatthews D. Blue microchip laser fabricated from Nd:YAG and KNbO₃. *Optics Letters*, 1996, **21**(3):198 ~ 200
- 3 郑权, 赵岭, 钱龙生. LD 泵浦的高效率折叠腔 YAG/LBO 蓝光激光器. *激光与红外*, 2001, **31**(3):144 ~ 146
Zheng Q, Zhao L, Qian L S. *Laser & Infrared*, 2001, **31**(3):144 ~ 146
- 4 郑权, 檀慧明, 钱龙生. Cr:YAG 被动调 Q 全固态 473 nm 蓝光激光器. *中国激光* (已录用)
Zheng Q, Tan H M, Qian L S. *Chinese J of Lasers* (to be published)
- 5 赵长明. LD 泵浦小型 473 nm 蓝光激光器及其输出起伏的研究. *光电子技术*, 2000, **1**:17 ~ 20
Zhao C M. *The Technology of Photoelectron*, 2001, **1**:17 ~ 20
- 6 Baer T. Large-amplitude fluctuations due to longitudinal mode coupling in diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG lasers. *J Opt Soc Am (B)*, 1986, **3**(9):1175 ~ 1180
- 7 Oka M. Intracavity doubling of orthogonal linearly polarized modes in diode-pumped Nd:YAG lasers. *Optics Letters*, 1988, **13**(10):805 ~ 808
- 8 郑权, 檀慧明, 钱龙生. 用布氏片实现有效连续和脉冲单频绿光输出. *中国激光*, 2002, **29**(A9):769 ~ 772
Zheng Q, Tan H M, Qian L S. *Chinese J of Lasers*, 2002, **29**(A9):769 ~ 772

Low Noise Operation of a LD-pumped Nd:YAG/LBO Blue Laser

Zheng Quan^{1,2}, Zhao Ling², Qian Longsheng²

1 State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun 130022

2 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130022

Received date:2002-11-15

Abstract The noise characteristics of a LD-pumped Nd:YAG/LBO (I-typed) blue laser at 473 nm were observed. It shows the noise has mainly arisen from the coupling of different longitude modes. By inserting a birefringible filter (including a Brewster plate and a piece of Quartz in the resonator), the blue laser noise was eliminated. With 1.3 W incident pump laser, 58 mW low noise blue laser output was obtained at last.

Keywords LD-pumped; Blue laser at 473 nm; Noise; Blue problem



Zheng Quan was born on July 2, 1973, in Heilongjiang, China. He received the Ph. D. in 2002 from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences. He is presently working in the State Key Laboratory of Applied Optics as a post-doctor researcher. He is interested in laser device and nonlinear optical technology.