

文章编号: 0258-7025(2009)11-2805-03

基于体布拉格光栅选模的单纵模激光器

惠勇凌 李 强 张 翔 姜梦华

(北京工业大学激光工程研究院, 北京 100022)

摘要 采用体布拉格光栅(VBG)作为纵模选择元件,组合使用透射式和反射式体布拉格光栅构成窄带滤波器进行纵模的选择,在 Nd:YLF 激光器中得到了单纵模几率100%,单脉冲能量 2 mJ,波长 1053 nm 的单纵模输出。实验结果表明,体布拉格光栅用作选模元件的同时,又用作输出耦合镜,简化了单纵模激光器的结构,提高了抗干扰能力,且具有大功率输出的潜力。

关键词 激光器;单纵模;体布拉格光栅;滤波器

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093611.2805

Single Frequency Mode Laser Controlled by Volume Bragg Gratings

Hui Yongling Li Qiang Zhang Xiang Jiang Menghua

(Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract The volume Bragg grating (VBG) recorded in photo-thermo-refractive (PTR) glass is used as longitudinal mode selection element, and use the narrow filter which consists of transmitting and reflecting gratings to select longitudinal mode. We have obtained 1053 nm single frequency mode with 100% single longitudinal mode rate, 2 mJ pulse energy in Nd:YLF laser. The experimental results show that the volume Bragg gratings work as both mode selector and output coupler, therefore simplify the structure of the cavity structure and improve the anti-interference ability. The laser also has the potential of high-power output.

Key words lasers; single frequency mode; volume Bragg grating; filter

1 引 言

单纵模固体激光器,与常规的多模激光器相比,具有十分突出的优点:相干长度长、谱线宽度窄、光束质量好^[1]。这些突出的特性使单纵模固体激光器在测量仪器、医疗、军事等领域有着非常重要的应用。目前,国内外获得单纵模的方法通常有短腔法^[2]、法布里-珀罗(F-P)标准具法^[3]、种子光注入法^[4]、扭转模腔法^[5]和环形腔^[6,7]以及它们的组合形式等,但往往由于得到的单纵模几率不高或结构复杂或抗干扰能力弱等原因,使得单纵模激光器的应用受到限制。

由于体布拉格光栅(volume Bragg grating, VBG)有着极好的光学性能^[8],主要表现在:1)光谱选择性高,透射式和反射式体布拉格光栅的频谱选择性分别达 0.2 nm 和 0.02 nm,角度选择性达 0.1 mrad 和 0.5 mrad;2)受温度的影响小,中心波长随温度的变化为 7 pm/K;3)损耗小,光栅损耗小于 2.5%;4)损伤阈值高,为 11 J/cm²(脉宽 1 ns)。本文采用体布拉格光栅作为纵模选择元件^[9],对组合透射式和反射式体布拉格光栅构成窄带滤波器进行纵模选择的原理进行了分析,给出了单纵模激光器的实验结果。

收稿日期: 2009-05-11; 收到修改稿日期: 2009-06-19

基金项目: 国家自然科学基金(60678014)资助课题。

作者简介: 惠勇凌(1983—),男,硕士研究生,主要从事大功率固体激光器方面的研究。

E-mail: huialong@emails.bjut.edu.cn

导师简介: 李 强(1965—),男,教授,博士生导师,主要从事高功率固体激光技术与加工系统等方面的研究。

E-mail: ncltlq@bjut.edu.cn

2 激光器结构与原理

2.1 激光器结构

实验采用的激光器结构如图 1(a)所示,小孔光阑限制激光器横模,组合体布拉格光栅 M_2 作为选模元件,同时也作为输出镜,与全反镜构成激光谐振腔,激光从组合体布拉格光栅输出。

组合体布拉格光栅 M_2 由反射式体布拉格光栅 (RBG)和透射式体布拉格光栅 (TBG)构成,其结构如图 1(b)所示。图中的符号 I_i, I_r, I_d 分别表示光

入射到透射式体布拉格光栅时的入射光、透射光和衍射光; I_{dd} 和 I_{dt} 表示透射式体布拉格光栅的衍射光再经过反射式体布拉格光栅后的衍射光和透射光; I_{ddd} 则表示 I_{dd} 经透射式体布拉格光栅的衍射光。光轨迹为:辐射光入射到组合体布拉格光栅,先经透射式体布拉格光栅衍射,衍射光进入反射式体布拉格光栅,再由反射式体布拉格光栅衍射,衍射光沿入射光方向返回再次进入透射式体布拉格光栅,再由透射式体布拉格光栅衍射返回,使光形成振荡。

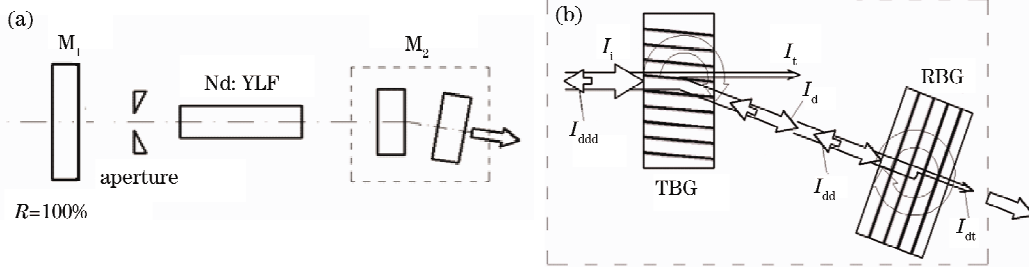


图 1 (a)单纵模激光器结构图;(b)组合体布拉格光栅结构图

Fig. 1 (a)Schematic optical diagram of single longitudinal mode laser; (b) structure diagram of assembled VBG

2.2 组合体布拉格光栅的结构及选模原理

透射式体布拉格光栅的角度选择性和反射式体布拉格光栅的光谱选择性相配合,等效于光通过两个光滤波器,虽然两光滤波器的带宽已很窄(约 0.02 nm),但对于能以大脉冲能量输出的腔长来说,均宽于腔的纵模间隔,调节两光栅,产生相对失谐量,其相交的公共部分可产生小于等于纵模间隔的光滤波器,选模原理如图 2 所示。这样总可以在多个纵模中选择一个纵模让其在腔内振荡,这种方法区别于通过竞争来选单纵模的方法,大大提高了单纵模激光输出的稳定性和单纵模几率。

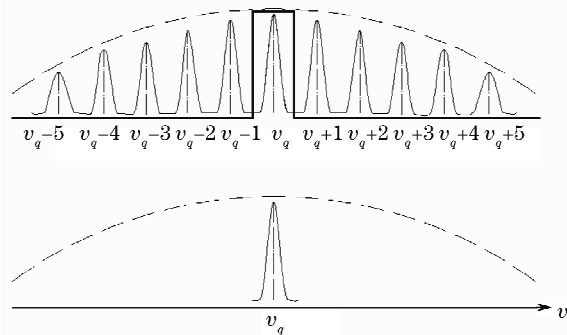


图 2 组合体布拉格光栅选单纵模原理

Fig. 2 Principle of the longitudinal mode selection using assembled gratings

2.3 实验结果与分析

实验采用 Nd:YLF 晶体作为激光工作物质,晶

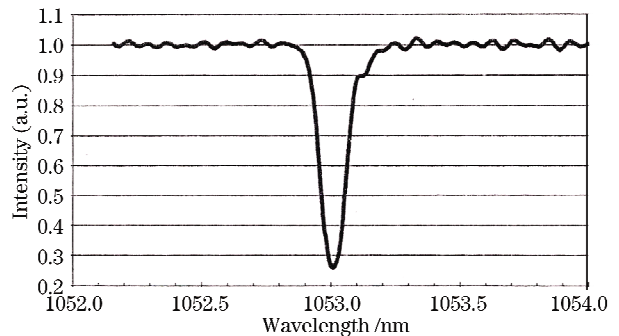


图 3 反射式体布拉格光栅的衍射效率曲线图
Fig. 3 Spectral profile of a collimated beam diffracted by RBG

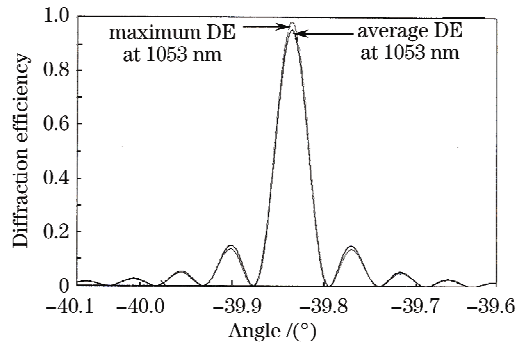


图 4 透射式体布拉格光栅的衍射效率曲线图

Fig. 4 Angular profile of diffraction efficiency (DE) of TBG 体掺杂原子数分数 1.0%, 尺寸 $\phi 3 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$, C 轴切割,采用脉冲半导体激光抽运。反射式体布拉格光栅的衍射效率 70%(衍射效率曲线如图 3 所

示),中心波长 1053 nm,光谱选择性 0.11 nm (FWHM),尺寸 5 mm×5 mm;透射式体布拉格光栅,角度选择性 0.05° (FWHM),中心波长 1053 nm,尺寸 5 mm×5 mm,最大衍射效率 98%,平均衍射效率 95%(图 4 为其衍射效率曲线)。调整 RBG, TBG 和全反镜,使激光器振荡,并以单纵模输出,脉冲能量 2 mJ,脉冲重复频率 20 Hz。

利用 F-P 标准具的多光束干涉法来研究激光器的单纵模特性。F-P 标准具表面反射率为 94%,

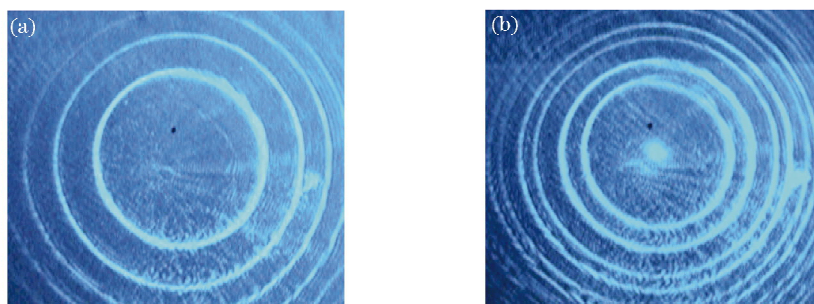


图 5 (a)单纵模时的干涉条纹;(b)非单纵模时的干涉条纹

Fig. 5 A set of (a) and two sets of (b) interference fringe

图 5(a), (b)是在厚度 d 与入射角 θ 相同的条件下获得的干涉条纹。通过调节两光栅,产生相对失谐量,使其相交的公共部分产生小于(或等于)纵模间隔的光滤波器,得到了图 5(a)所示的干涉条纹,图中仅有一套干涉条纹表明激光器以单纵模运行;而图 5 (b)是在两光栅相对失谐量没有调整好时得到的,图中有两套干涉条纹表明激光器以多纵模运行。此外,当激光器以单纵模运行[图 5(a)所示状态下],人为地增加了温度(19~30 °C)、气流和振动影响因素时,激光器仍然能够以稳定的单纵模状态运行,并未受到明显的影响。

3 结 论

采用体布拉格光栅作为纵模选择元件,对组合透射式和反射式体布拉格光栅构成窄带滤波器进行纵模选择的原理进行了分析,在 Nd:YLF 激光器中得到了单纵模几率 100%,单脉冲能量 2 mJ,波长 1053 nm 的单纵模输出。实验结果表明,体布拉格光栅用作选模元件的同时,又用作输出耦合镜,简化了单纵模激光器的结构,提高了抗干扰能力,且具有大功率输出的潜力。

实验发现反射式体布拉格光栅在两个正交面内都倾斜,其中在水平面内倾斜对横模和纵模的选择性提高都有作用,此外透射式体布拉格光栅的角度选择性可以限制谐振腔内的光束发散角,而对光束宽度没

自由光谱范围(FSR)为 10 pm,分辨率 0.2 pm,直径 $\phi 20$ mm。实验时首先将激光束通过一个焦距大约为 25 mm 的透镜发散,然后通过标准具多光束干涉,最后使用一个 120 mm 焦距的透镜将多光束干涉成像到焦平面上,在焦平面上安置 CCD。由多光束干涉原理可知,干涉条纹的级次与标准具的厚度 d ,入射角 θ 以及激光波长 λ 有关。当厚度 d 与入射角 θ 一定时,干涉级次就仅与激光波长有关。实验结果如图 5 所示。

有限制,利于实现大横模直径、大能量的输出。

参 考 文 献

- 1 E. D. Black. An introduction to pound-drever-hall laser frequency stabilization[J]. *Am. J. Phys.*, 2001, **69**: 79~87
- 2 J. J. Zayhowski. A single-frequency microchip Nd:YAG lasers [J]. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(12): 618~620
- 3 Cao Weilou, Chen Qinghao, Zhu Zhimin *et al.*. Investigation of a single-axial-mode Nd:YLF oscillator for laser fusion system[J]. *Acta Optica Sinica*, 1986, **6**(9): 769~775
曹渭楼,陈庆浩,朱智敏等.用于激光核聚变的可长时间单纵模稳定运转的 Nd:YLF 激光振荡器的研究[J]. *光学学报*, 1986, **6**(9): 769~775
- 4 S. Chen, W. Lin, F. Shi *et al.*. Energy reduction; a technique for seed-injection locking of single-axial-mode Q-switched Nd:YAG laser[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(4): 223~225
- 5 D. W. Anthon, D. L. Sipes, T. J. Pier. Intracavity doubling of CW diode pumped Nd:YAG lasers with KTP[J]. *IEEE Quantum Electron*, 1992, **28**(4): 1148~1157
- 6 K. I. Martin, W. A. Clarkson, D. C Hanna. 3 W of single-frequency output at 532 nm by intracavity frequency doubling of a diode-bar-pumped Nd:YAG ring laser[J]. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(12): 875~877
- 7 Zheng Yaohui, Lu Huadong, Li Fengqin *et al.*. All-solid-state high-efficiency high-power Nd:YVO₄/KTP laser of single-frequency operation [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(6): 739~742
郑耀辉,卢华东,李凤琴等.全固态高输出功率单频 Nd:YVO₄/KTP 激光器[J]. *中国激光*, 2007, **34**(6): 739~742
- 8 L. B. Glebov, V. I. Smirnov, C. M. Stickley *et al.*. New approach to robust optics for HEL systems[C]. *SPIE*, 2002, **4724**: 101~109
- 9 N. Vorobiev, L. Glebov, V. Smirnov. Single-frequency-mode Q-switched Nd:YAG and Er:glass lasers controlled by volume Bragg gratings [J]. *Opt. Express*, 2008, **16**: 9199~9204