

文章编号: 0258-7025(2001)02-0100-03

大频差双折射双频 Nd:YAG 激光器

焦明星

张书练 梁晋文

(西安理工大学机械与精密仪器工程学院 西安 710048) (清华大学精密测试技术及仪器国家重点实验室 北京 100084)

提要 提出并论证了一种新型双频激光器研究方案,即在激光二极管(LD)抽运 Nd:YAG 激光器的谐振腔内,插入一只集纵模选择与纵模分裂于一体的多功能元件——晶体石英 F-P 标准具。因腔内存在双折射效应,每一激光纵模分裂为两个相互正交的线偏振模,即 o 模和 e 模,同样, Nd:YAG 激光增益带宽范围内标准具的唯一透射极大峰也一分为二,即分裂为 o 峰和 e 峰。使一个 o 模位于 o 峰的峰顶处,并使一个 e 模位于 e 峰的峰顶处,即可实现 o 模和 e 模的同时运转。将厚度为 0.645 mm,切割角(晶体光轴与晶体表面法线间的夹角)为 10° 的晶体石英 F-P 标准具,置于腔长为 40 mm 的 Nd:YAG 激光谐振腔内,获得了双纵模同时振荡输出,其频差约为 2 GHz。

关键词 大频差 双频激光器 Nd:YAG 双折射效应 F-P 标准具

中图分类号: TN248.1+3 文献标识码: A

Birefringent Dual-frequency Nd:YAG Laser with Large Frequency-difference

JIAO Ming-xing

(Dept. of Precision Instruments, Xi'an Univ. of Technology, Xi'an 710048)

ZHANG Shu-lian LIANG Jin-wen

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract A novel scheme of dual-frequency Nd:YAG laser is proposed and demonstrated. The resonant cavity of the laser contains a piece of versatile element: crystal-quartz-made birefringent Fabry-Perot etalon, serving as both a selector and a splitter of laser axial-modes. Because of the intra-cavity birefringence, each longitudinal mode is split into two linearly and orthogonally polarized components, that is, ordinary mode(o -mode) and extra-ordinary mode(e -mode). Meanwhile due to the same reason, the unique transmission maximum of the etalon within the overall lasing bandwidth of the Nd:YAG laser is also split into two transmission maxima, namely, ordinary light transmission maximum(o -peak) and extra-ordinary light transmission maximum(e -peak). Simultaneous operation of the two axial modes can be obtained, by making an o -mode coincide with the central position of the o -peak, and an e -mode with that of the e -peak. A piece of birefringent Fabry-Perot etalon, with a geometrical thickness of 645 micrometers and a cut-angle of ten degrees between the quartz crystalline axis and the normal of its surfaces, has been designed and fabricated. A frequency-difference of approximately two gigahertz has been obtained experimentally, when the above birefringent etalon being placed in a 40-millimeter-long cavity of the LD pumped Nd:YAG laser.

Key words large frequency-difference, dual-frequency laser, Nd:YAG, effect of birefringence, Fabry-Perot etalon

1 引言

目前,常用的双频激光器有 $0.6328 \mu\text{m}$ Zeeman 效应 He-Ne 激光器, $0.6328 \mu\text{m}$ 双纵模 He-Ne 激光器以及 $0.6328 \mu\text{m}$ 声光效应 He-Ne 激光器,这些器件在光干涉计量等研究领域发挥着重要作用。但是,

由于它们的频差比较小(均小于 1080 MHz),其应用范围受到很大限制,而在有的领域(如大长度无导轨干涉测量)则要求双频激光的频差在数千兆赫,甚至更大,所以,研制大频差双频激光器件很有必要。

近年来,国内外在双频激光领域开展了卓有成效的研究工作,相继开发出一系列基于腔内双折射效应的新型双频 He-Ne 激光器^[1]。尽管如此,这些双频器件的频差仍然比较小,其根本原因是 Ne 原子

荧光 linewidth 比较小(约 1500 MHz),因此,更换激光增益介质是获得大频差双频激光输出的一条有效途径。

与气体激光器相比,固体激光器的出光带宽非常宽,而且近 10 年来,激光二极管(LD)抽运的固体激光技术方兴未艾,引起国内外科技工作者的极大关注。本文提出一种基于腔内石英晶体双折射效应的 LD 抽运双频 Nd:YAG 激光器研究方案,着重从实验上进行了可行性论证,并报道了初步实验结果。

2 双纵模同时运转匹配条件

实验结果业已表明^[2],将一石英晶片置于 Nd:YAG 激光谐振腔内,的确能使每一激光纵模分裂为两个相互正交的线偏振模—— o 模和 e 模,其频差大小随晶片的转动而在整个纵模间隔上单调可调谐;当在腔内同时放置一只用熔融石英制作的 F-P 标准具和一片石英晶体时,同样能够产生纵模分裂现象,但 o 模和 e 模不能同时振荡输出,其根本原因在于 Nd:YAG 激光增益带宽范围内只存在标准具的一个透射极大峰。

如果能够象分裂激光纵模那样,使标准具的透射极大峰也产生分裂,从而在激光增益带宽范围内同时存在标准具的两个透射极大峰,则有可能实现双纵模同时运转。按照这一思路,就很容易摆脱传统标准具的束缚,提出用晶体石英这种双折射材料制作 F-P 标准具的新颖方案,从而使腔内的纵模分裂元件和纵模选择元件合二为一,使激光器结构更为简单。

将晶体石英 F-P 标准具插入 Nd:YAG 激光器的谐振腔内,由于腔内双折射效应的缘故,每一激光纵模(即有源腔谐振模)分裂为 o 模和 e 模,同样,位于 Nd:YAG 激光增益带宽范围内标准具的唯一透射极大峰(即无源腔谐振模)也分裂为 o 峰和 e 峰。为了获得双纵模同时振荡输出,有源腔 o 、 e 模和无源腔 o 、 e 峰之间应满足图 1 所示的匹配条件,即使一个 o 模位于 o 峰的峰顶处,同时使一个 e 模位于 e 峰的峰顶处。

在激光器腔长和标准具厚度业已确定的情况下,可以通过选取具有适当切割角的石英晶片制作 F-P 标准具,并微调它在腔内的倾斜角,以满足上述匹配条件,从而实现双纵模同时振荡输出。

3 实验系统

实验系统如图 2 所示。将芯径为 $\phi 400 \mu\text{m}$ 的

多模光纤末端研磨成锥角约为 120° 的圆锥面,借助工具显微镜,使其与连续 1 W 输出 GaAlAs 单量子阱 LD 进行直接耦合^[3],并用这种带尾纤的 LD 端面抽运 Nd:YAG 棒,获得了 $1.064 \mu\text{m}$ 激光输出^[4]。通过控温仪 TEC(Thermal-Electric Controller)将 LD 的波长调到 808 nm 处,以实现与 Nd:YAG 晶体主吸收峰的匹配。从 LD 尾纤输出的圆形光束经聚焦光学系统(梯度折射率透镜),会聚到 $\phi 5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ Nd:YAG 晶体棒的左端面,并使会聚光斑半径小于谐振腔的光腰半径,以保证基横模运转。Nd:YAG 棒的左端面镀有双色介质膜,即对 808 nm 抽运光增透,对 $1.064 \mu\text{m}$ 振荡激光高反,从而构成激光谐振腔的一个腔镜;Nd:YAG 棒的另一端面镀 $1.064 \mu\text{m}$ 增透膜。谐振腔的输出耦合镜 OC 是曲率半径为 120 mm 的凹面镜,它在 $1.064 \mu\text{m}$ 处的透过率为 1.5% 。将输出镜粘接在壁厚 1 mm ,长 45 mm 的管状压电陶瓷 PZT 上,通过改变加在 PZT 上的电压即可实现对腔长的调谐。在 PZT 后放置一滤光片,用以滤去未被 Nd:YAG 完全吸收而透过输出镜的抽运光。根据需要可随时用功率计检测激光器的输出功率,输出激光经共焦 F-P 扫描干涉仪($\text{FSR} = 4 \text{ GHz}$)后,从示波器上观察其模谱。实验所取腔长约为 40 mm ,相应的纵模间隔为 3.75 GHz 。

作者设计并制作了几何厚度为 0.645 mm ,切割角为 10° 的晶体石英 F-P 标准具基片,按照文献[2]所述方法,测得该晶片的 k 值(即纵模分裂量占纵模间隔的百分比)为 67.6% 。然后,在该晶片两通光表面镀制 $1.064 \mu\text{m}$ 波长的反射介质膜,反射率为 80% 从而制成 FSR 约为 151 GHz 的双折射 F-P 标准具。

4 实验方法及结果

开启 LD 抽运 Nd:YAG 激光实验系统,待控温仪 TEC 达到最佳工作状态(即实现 LD 与 Nd:YAG 晶体间的光谱匹配)后,测得基横模 $1.064 \mu\text{m}$ 激光输出功率为 8.6 mW (LD 注入电流为 1.35 A)。将上述双折射 F-P 标准具插入激光谐振腔内,仔细调整它在腔内的倾斜角,并连续调谐激光腔长,从示波器上观察到 o 模和 e 模(正交线偏振模)的幅度同步变化,即由大变小直到为零,接着又从零逐渐变大直到最大,如此周期变化,这说明已实现图 1 所示的最佳匹配,此时测得双频激光的输出功率为 2.2 mW 。图 3 是双纵模同时振荡输出时的模谱图样照片,从

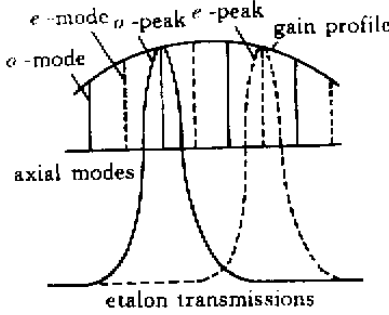


图 1 Nd:YAG 激光双纵模同时运转匹配条件

Fig.1 Matching condition of two-axial-mode simultaneous operation of Nd:YAG laser

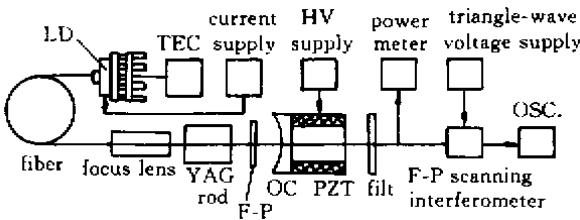


图 2 LD 抽运双折射双频 Nd:YAG 激光器实验系统

Fig.2 Experimental set-up of LD pumped birefringent dual-frequency Nd:YAG laser

中可以看出,双频激光之频差约为共焦F-P扫描干

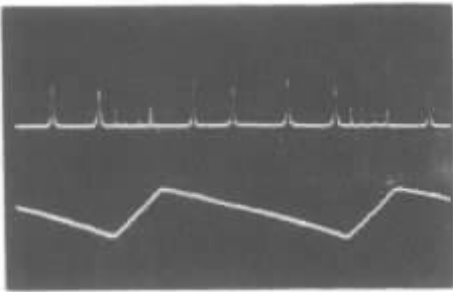


图 3 Nd:YAG 激光双纵模同时振荡输出模谱照片

Fig.3 Oscilloscopic photograph of simultaneous oscillation

of the two axial modes of Nd:YAG laser

upper trace : spectral pattern of o- mode and e- mode ;

lower trace : triangle-wave voltage applied to the confocal

F-P scanning interferometer

涉仪自由光谱范围(FSR = 4 GHz)的一半,即约为 2 GHz。

在大约 3 h 的实验观察时间内,匹配状态始终保持稳定,即使调谐激光腔长,这种状态也未被打破,只不过双频激光的输出功率随腔长调谐而随之改变,这说明匹配状态的稳定性并不依赖于激光腔长的变化,而主要取决于腔内双折射 F-P 标准具的稳定性。

在先期测量双折射 F-P 标准具晶片 k 值的实验中^[2]就曾发现,激光腔长改变 $9\lambda/2 = 4.788 \mu\text{m}$,晶片 k 值(67.6%)的标准偏差仅为 2.1%。现在,在实现了双纵模同时振荡输出的情况下,改变加在 PZT 上的电压以调谐激光腔长,发现双频激光的频差大小也无可察觉变化(示波器上显示的 o, e 模间隔未见变化)。这些实验结果初步表明,激光腔长变化对双频激光的频差稳定性无显著影响。

5 结 论

在 LD 抽运 Nd:YAG 激光谐振腔内,插入一只用晶体石英制作的双折射 F-P 标准具,通过仔细调整它在腔内的倾斜角,实现了双纵模同时振荡输出,为研制大频差双频激光器开辟了一条崭新的途径。

致谢 清华大学精仪系殷纯永教授和电子系霍玉晶教授曾给予作者许多有益指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 Jiao Mingxing, Zhang Shulian, Liang Jinwen. Novel dual-frequency lasers. *Laser and Infrared* (激光与红外), 1997, 27(3):166~169 (in Chinese)
- 2 Jiao Mingxing, Zhang Shulian, Liang Jinwen. Nd:YAG laser longitudinal mode splitting phenomenon by intracavity crystal quartz plate. *J. Tsinghua Univ (Sci. & Tech.)* (清华大学学报(科技类)), 1999, 39(2):62~64 (in Chinese)
- 3 Jiao Mingxing, Zhang Shulian, Liang Jinwen et al.. Direct coupling of high-power LD to the multi-mode optical fiber. *Laser Technology* (激光技术), 1997, 21(2):77~80 (in Chinese)
- 4 Jiao Mingxing, Zhang Shulian, Liang Jinwen. Nd:YAG laser end-pumped by fiber-coupled LD. *Laser and Infrared* (激光与红外), 1996, 26(3):200~202 (in Chinese)