

文章编号: 0258-7025(2004)05-0588-03

非保偏光纤环形激光器输出激光 偏振状态分析

刘 艳, 谭中伟, 傅永军, 简水生

(北京交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

摘要 利用琼斯矩阵理论,建立了非保偏光纤光栅环形激光器偏振特性的简化分析模型。通过实验验证,利用此模型的分析结果与实验结果是一致的。分析表明,采用非保偏光纤制成的激光器,能够得到较稳的功率输出,但偏振态紊乱;而简单地加入起偏器会使激光器的输出功率稳定性发生恶化,而且偏振特性也得不到改善。而要利用非保偏光纤实现单偏振输出,必须对激光器采取特殊的偏振控制措施。

关键词 激光技术;偏振态;光纤激光器;光纤光栅;起偏器;非保偏光纤

中图分类号 TN 929.1 **文献标识码** A

Study on the Output Polarization State of Non-PM Fiber Ring Lasers

LIU Yan, TAN Zhong-wei, FU Yong-jun, JIAN Shui-sheng

(Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract Based on the theory of Jones matrix, a model for the analysis of non-PM fiber ring lasers polarization characteristics was developed. The model was further tested by experiments. From the numerically and experimentally analysis results, it was found that lasers composed of non-PM fiber can achieve stable output but its polarization varied with external perturbation. If polarizer was inserted into the laser cavity, the instability of output and polarization was even more serious. So special polarization control must be performed to obtain single polarization laser output using non-PM fiber.

Key words laser technique; polarization state; fiber laser; fiber grating; polarizer; non-PM fiber

1 引 言

光纤激光器以其与光纤的良好兼容性、高功率等优点吸引了广大研究者的注意力,各种不同结构和特性的光纤激光器不断见诸报道^[1,2]。虽然在仪器测试、激光加工等领域对激光器的偏振特性没有要求,但仍有许多应用领域如光纤通信外调制、光纤陀螺、传感等都对激光器的偏振特性有严格要求,要求其有单偏振输出。采用保偏光纤制作激光器是实现单偏振输出最容易的方法,但由于保偏掺杂光纤价格昂贵,使其应用受到了严格限制。人们一直在探索用普通掺杂光纤实现单偏振输出,并提出了多

种结构,但对于光纤激光器偏振特性的理论分析却非常少。本文利用琼斯矩阵理论,针对采用非保偏光纤和光纤光栅选频的光纤环形激光器建立分析其偏振特性的简化模型。

2 理论分析

用光纤光栅作为选频元件是光纤激光器的一种典型结构,利用琼斯矩阵的理论来分析光纤光栅环形腔激光器的偏振特性,采用其他选频元件的激光器也可用类似的分析方法。

由于光纤光栅激光器的全光纤结构,在考虑其

收稿日期:2002-12-05;收到修改稿日期:2003-03-27

基金项目:国家 863 计划(编号:2001AA120201)及北京交通大学攀登计划(论文)基金资助项目。

作者简介:刘 艳(1978—),女,北京交通大学光波所在读博士生,主要研究领域是高速光通信系统的关键技术,如光纤激光器、光调制器等。E-mail:bjly@sinoi.com

偏振特性时,可以把它简化成如图 1 所示结构,其中所用的波分复用器(WDM),环形器和耦合器都是偏振无关的,而掺杂光纤是非保偏的。

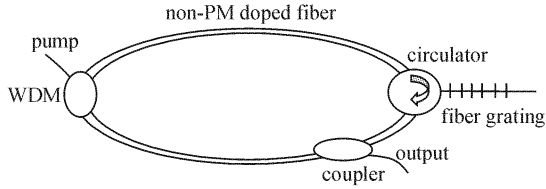


图 1 光纤光栅环形激光器简化结构图

Fig. 1 Simplified setup of fiber grating laser

在忽略光纤中的损耗时,无论双折射怎样分布,一段非均匀双折射光纤的传输矩阵总可以由一个位相片加一个旋光片来表征^[3],用琼斯矩阵表示出来,如下式所示

$$T = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\tau} & 0 \\ 0 & e^{-i\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\beta \\ \sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} = P(\alpha)D(\tau)P(\beta) \quad (1)$$

其中, α 为位相片与 x 轴的夹角, 2τ 为位相片的相移, β 为旋光片的旋转角。

所以对于环形腔激光器来说,如果忽略从耦合器输出的一小部分光,及各个元件的插入损耗,其环形谐振腔的传输矩阵就可以由式(1)来表示,但其中的三个参变量 α, β, τ 是随着光纤本身和环境不断变化的。

如果考虑采用高反射率光栅作为选频器件的情况,则可忽略光栅的反射损耗,将光栅等效成一小段非均匀双折射光纤。所以其传输矩阵也可表示为

$$T_g = P(\alpha_g)D(\tau_g)P(\beta_g) \quad (2)$$

其中 $\alpha_g, \beta_g, \tau_g$ 的物理意义分别与 α, β, τ 相同。

对于激光器来说,总的传输矩阵可以表示为

$$T_t = T \cdot T_g = P(\alpha)D(\tau)P(\beta)P(\alpha_g)D(\tau_g)P(\beta_g) \quad (3)$$

经过计算可知

$$P(\alpha)D(\beta) = D(\beta)P(\alpha), P(\alpha)P(\beta) = P(\alpha + \beta) \quad (4)$$

利用这个关系可以把式(3)变为

$$T_t = P(\alpha + \beta + \alpha_g + \beta_g)D(\tau + \tau_g) = P(\bar{\alpha})D(\bar{\beta}) \quad (5)$$

由式(5)可知,可以用两个变量 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ 来讨论光纤光栅环形激光器的偏振特性。

用矩阵 $PL(r) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & r \end{bmatrix}$ 表示消光比为 r^2 的起偏器^[4],则对于在激光器中加入起偏器的情形,激光

腔的传输矩阵变为 $T_t' = PL(r)T_t$ 。

如果某个偏振态的光能够在环形腔中传播一周之后又恢复到原来的偏振态,激光器就可以在这个偏振态上起振。就是说,如果用矢量 \vec{e} 来表示一个偏振态,只有满足 $T\vec{e} = \lambda\vec{e}$ 的偏振态才能够成为激光器的振荡模^[5],其中 T 为该激光腔的传输矩阵。显然, \vec{e} 是激光腔传输矩阵 T 的本征向量,所以把 \vec{e} 称为本征偏振态,而 λ 为传输矩阵 T 的本征值。传输矩阵 T 对应的两个本征向量将分别代表激光腔中的两个偏振态。值得注意的是 $|\lambda|^2$ 表示偏振态在激光腔中的透射率,因此,本征值较大的偏振态具有较大的透射率,将优先起振,较小的偏振态由于具有较低的透射率将被抑制。并且,可以用两个偏振态对应本征值的比来衡量激光腔对偏振态的选择能力。

对于采用非保偏普通掺杂光纤的光纤激光器来说,其传输矩阵的 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ 是不断变化的。根据式(5),计算了没有加入起偏器和加入消光比分别为 10 dB, 20 dB, 30 dB 起偏器的条件下,激光腔中两个本征偏振态的透射率随 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ 在 $0 \sim 2\pi$ 范围内的变化情况,见图 2。当激光腔中没有插入起偏器的时候(图 2(a)),两偏振态的透射率都为 100%,因此它们在腔中起振几率相等。但是由于在此处并未考虑激光腔的色散和增益等其他因素,实际中会出现不同时间内不同的偏振态占优势的情况,所以此时激光器的偏振态处于紊乱状态,但输出功率将基本保持稳定。这种激光器可以应用于一些对偏振不敏感的场所。

当在激光腔中插入起偏器的时候,从图 2(b), (c), (d)中可以看出两偏振态的透射率不再一致,随着 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ 的变化产生幅度较大的波动,其中大部分时间内一个偏振态将处于绝对的优势,但是这种优势也随着 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ 的变化而变化。所以加入起偏器之后,激光器仍不能有稳定的偏振输出,而且功率也将由于谐振模透射率的巨大变化产生更大波动。另外通过对比起偏器消光比不同的情况下得出的图 2(b), (c), (d)可以看出,当起偏器消光比越低时,两个偏振态具有相同透射率的机会越大,这与实际情况是相符的,因为起偏器的消光比越低,说明其对另一偏振态的抑制能力越差,另一个偏振态起振的机会也越大。

3 实验

为了验证此模型的分析结果,制作了光纤光栅环形激光器,基本结构如图 1 所示,并对在其中加入起偏器和不加起偏器两种情况分别进行了观察与测

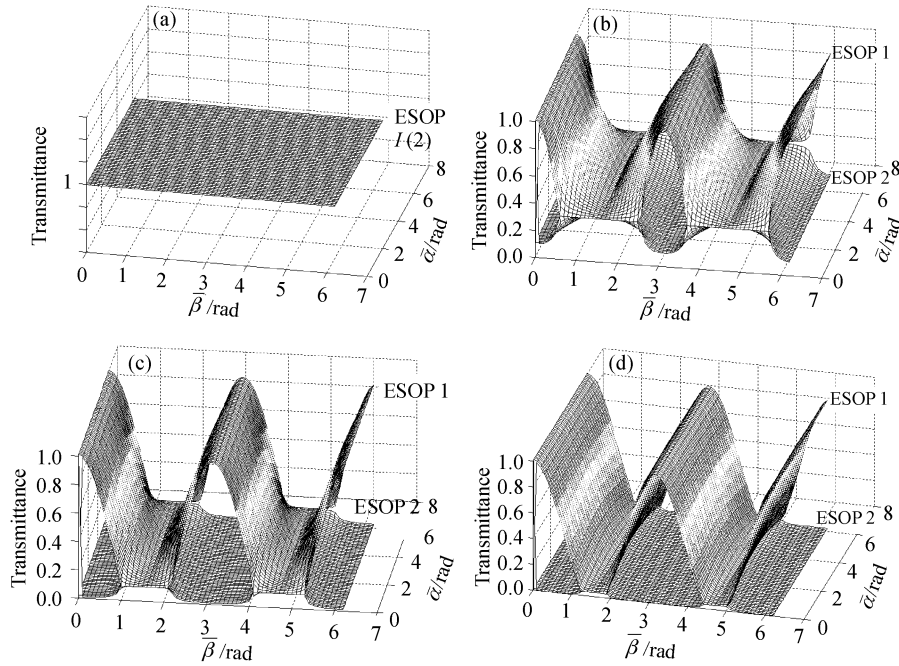


图 2 激光腔中两个本征偏振态的透射率随着 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ 的变化

(a) 没有起偏器的情况; 加入消光比为: (b) 10 dB 起偏器, (c) 20 dB 起偏器, (d) 30 dB 的起偏器

Fig. 2 Transmittances of two ESOPs (eigen state of polarization) varied with $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$

(a) no polarizer added; polarizer with extinction ratio: (b) 10 dB added, (c) 20 dB added, (d) 30 dB added

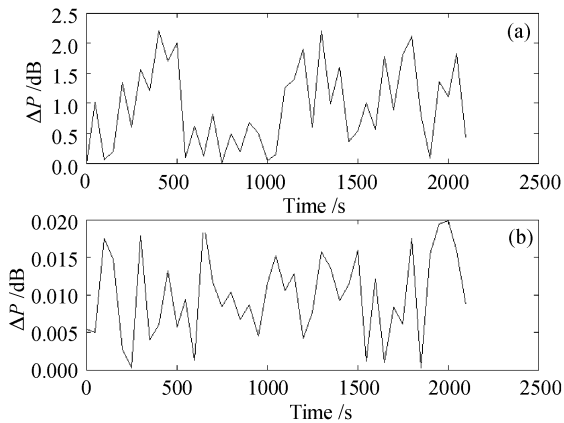


图 3 激光器输出功率随时间的波动

Fig. 3 Fluctuation of laser output power

(a) with polarizer; (b) without polarizer

试。实验中采用了反射率为 99% 的均匀光纤光栅作选频。增益介质是 Fibercore 公司的 7 m 掺铒光纤 (EDF), 激光器中所有元件都是非保偏的。两种情况下, 35 min 内记录的功率波动情况如图 3 所示。由偏振分析仪 (HP8509B) 测得的偏振态变化情况如图 4 所示。由图 3, 4 可以看出, 未加起偏器时, 功率波动较小, 而偏振态变化很大; 加起偏器之后, 功率波动很大, 而偏振态虽然相对来讲较稳, 但对外界变化仍然比较敏感。这与上述的理论分析是

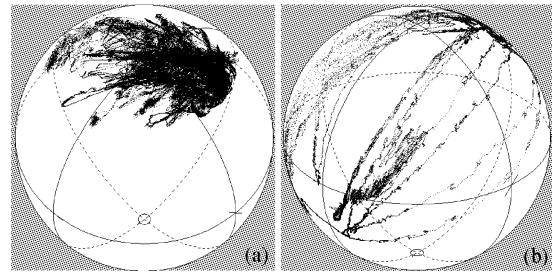


图 4 激光器的偏振态变化在邦加球上的轨迹

Fig. 4 SOP measurement results on Poincare sphere

(a) with polarizer; (b) without polarizer

比较吻合的。

参 考 文 献

- 1 C.-C. Lee, Y.-K. Chen, S-K. Liaw *et al.*. Single-longitudinal-mode fiber laser with passive multiple ring cavity and its application for video transmission [C]. CLEO'98, CThO47, 417~418
- 2 Shien-Kuei Liaw, Chien-Chuang Lee, Keang-Po Ho *et al.*. Power equalized wavelength-selective fiber lasers using fiber Bragg gratings [J]. *Opt. Commun.*, 1998, **155**:255~259
- 3 Liao Yanbiao. *Fiber Optics* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000
- 廖延彪. *光纤光学* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000
- 4 Ryuichi Shintani, Fan Aiyong, Kang Changhe. *Polarized Light* [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1994
- 5 Yuichi Takushima, Shinji Yamashita, Kazuro Kikuchi *et al.*. Polarization-stable and single-frequency fiber lasers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(4):661~669