

文章编号: 1001-3806(2008)01-0077-03

光纤激光器的调制实验研究

宁提纲, 童 治, 裴 丽, 谭中伟, 刘 艳, 陆玉春, 耿 蕊, 简水生

(北京交通大学 光波技术研究所 全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要: 为了得到光纤激光器的好的调制特性, 对光纤激光器的偏振态控制与否进行了对比试验, 发现激光器没有进行偏振态控制, 调制后的信号为噪声, 即无法调制; 利用扭转光纤控制构成腔的偏振态, 选频器采用保偏光纤上写入的光纤光栅研制的环形激光器, 调制特性可以与半导体激光器相比拟。比较了利用半导体激光器与偏振态控制的光纤激光器 100km 传输实验结果, 二者结果一致。研究结果有利于光纤激光器在光纤通信中的应用。

关键词: 光通信; 光纤激光器; 保偏光纤光栅; 调制

中图分类号: TN248.1; TN929.11 **文献标识码:** A

Experimental study about the modulation of fiber lasers

NING Tingang, TONG Zhi, PEI Li, TAN Zhongwei, LIU Yan, LU Yu-chun, GENG Rui, JIAN Shui-sheng

(Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network of Ministry of Education, Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract Modulation is a key technology of a fiber laser. Without polarization control, the laser is unable to be modulated. With strictly polarization control, a novel structure of stable fiber laser was set up. The fiber laser was made of a twisted normal and Er-doped fiber and could be modulated well. The modulated laser was already used in an over 100km single mode fiber transmission system. The result is accordance with that of the transmission system by using semiconductor laser.

Key words optical communication; fiber laser; polarization maintaining fiber Bragg grating modulation

引 言

光纤光栅激光器是光纤通信系统中一种很有前途的光源, 它的优点主要体现在: (1) 半导体激光器的波长较难符合国际电信联盟远程通信标准化组建议的波分复用 (wavelength division multiplexing WDM) 波长标准, 且成本很高, 而稀土掺杂光纤光栅激光器利用光纤光栅等能非常准确地确定波长, 且成本很低; (2) 用作增益的稀土掺杂光纤制作工艺比较成熟, 稀土离子掺杂过程简单, 光纤损耗小; (3) 采用灵巧紧凑效率高的抽运成为可能; (4) 光纤光栅激光器具有波导式光纤结构, 可以在光纤芯层产生较高的功率密度; 光纤结构具有较高的面积-体积比, 因而散热效果较好; 与标准通信光纤的兼容性好, 可以采用光纤光栅、耦合器等多

种光纤元件, 减小了对块状光学元件的需求和光路机械调整的麻烦, 极大地简化了光纤光栅激光器的设计及制作; (5) 宽带是光纤通信的主要发展趋势之一, 而光纤光栅激光器可以通过掺杂不同的稀土离子, 在 380nm ~ 3900nm 的宽带范围内实现激光输出, 波长选择容易且可调谐; (6) 高频调制下的频率啁啾效应小、抗电磁干扰, 温度膨胀系数较半导体激光器小等^[1-6]。

实际普通非保偏光纤, 由于光纤制造工艺造成纤芯截面有一定的椭圆度; 或是由于光纤组分材料的热膨胀系数不均匀性, 造成光纤截面上各向异性的应力或外加应力, 导致光纤折射率的两向异性; 总之, 当光纤截面的对称性遭到破坏, 由双折射形成的两个不同传输常数的正交偏振模之间会产生相互耦合, 由于两个偏振模的传输常数相差很小, 因而模式耦合很强。光纤结构本身存在的双折射和外界对光纤的作用都是随机的。因而偏振模之间的耦合是随机的^[4], 故一般情况下, 光纤激光器输出的激光为偏振混乱的, 无法达到半导体激光器输出激光的偏振度, 这样的激光输出无法用来调制。实现光纤激光器输出严格偏振的激光, 才可能得到好的调制结果。研究了激光器的腔、选频器件及其输出光纤采取严格控制偏振态的情况下, 输出的激光可以很好的调制, 达到了预期的试验结果。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60477017); 北京市自然科学基金资助项目 (60607001); 霍英东基金资助项目 (91062); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目

作者简介: 宁提纲 (1968-), 男, 特聘教授, 博士生导师, 主要研究领域为高速光通信系统、光纤传感、大功率包层抽运激光器。

Email: tgning@bjtu.edu.cn

收稿日期: 2006-10-10 收到修改稿日期: 2006-11-10

1 激光器实验

光纤激光器采用环形腔结构, 实验结构如图 1 所示, 采用 8m 长的高浓度掺铒光纤 (Er-doped fiber

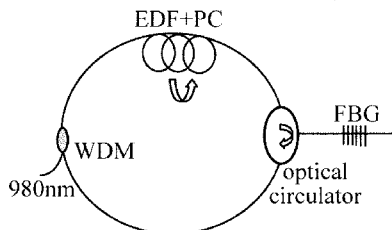


Fig 1 Schematic configuration of ring fiber laser

EDF)作为有源介质, 利用光纤光栅 (fiber Bragg grating FBG)作为选频元件, 光栅反射率为 85%, 抽运源采用 250mW 的 980nm 半导体激光器, 非有源光纤尽可能短, 输出采用光栅透射过来的能量。偏振态不控制的激光输出时, 光栅采用普通单模光纤氢载写入的光栅, EDF 仅固定在平板上。偏振态控制时, 选频元件采用保偏光纤上写入的光栅, EDF 缠绕在偏振控制器 (polarized controller PC)上, 并把其它光纤也严格固定。

没有偏振控制时, 环形激光器输出的激光如图 2 所示, 用功率计测, 从输出功率上看输出很稳定。输出

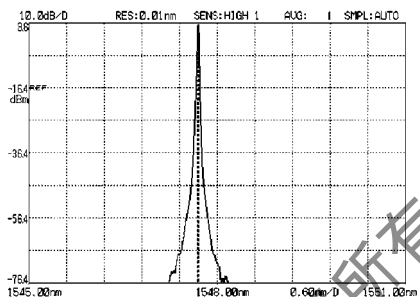


Fig 2 Output of fiber laser without polarization control

的激光 3dB 带宽为 0.019nm, 消光比约 80dB, 比一般的半导体激光器输出的激光的消光比高。当图 1 所示的激光器的选频光栅采用偏振保持光纤上写入的光栅, 在高双折射保偏光纤写入的光栅可以显著地表现各向异性的反射率, 利用这种效应提高对两偏振态的区分能力, 从而使激光器实现单偏振态输出。利用保偏光栅及扭曲光纤单偏振激光器的实验, EDF 被缠绕在偏振控制器上, 其它部分全部固定在稳定的底板上, 环形器还起到隔离器的作用。调整环形腔的偏振主态, 即旋转 PC, 可以使激光器输出为单偏振态, 或双偏振态同时输出。从光谱仪上看, 单偏振态输出时激光的特性与没有偏振控制时差不多。

2 调制实验

光纤激光器能否应用于光纤通信系统中, 调制特性是一个关键因素。若激光器输出的激光不能够被有效

调制, 该类型的激光器就无法应用在光纤传输系统中。

光纤激光器的调制实验采用铌酸锂 (LNbO₃) 调制器, 调制频率为 10GHz 调制后的光信号测试采用泰克通信信号分析仪 CSA803 和 ANDO 光谱仪 AQ6317C, 调制后的光信号没有经过传输, 直接测量的结果。调制结果如图 3 所示。

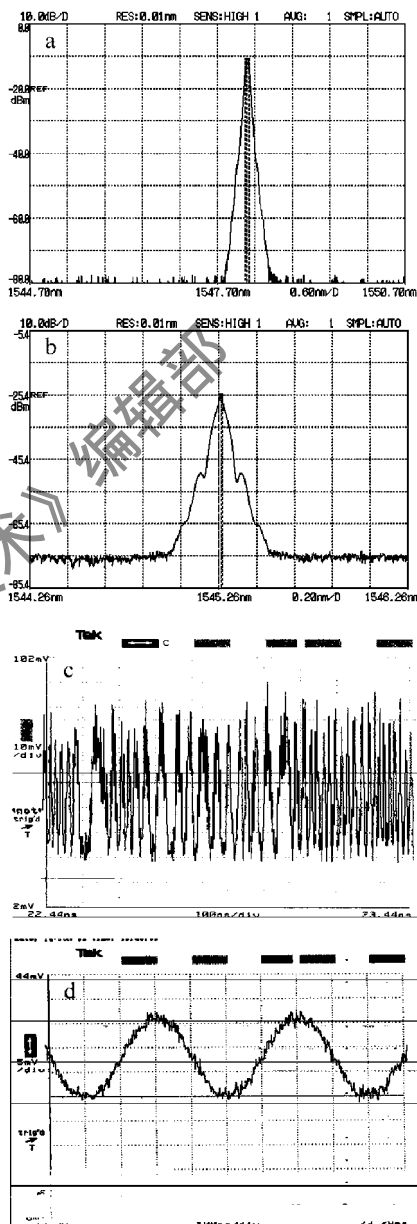


Fig 3 Experimental modulated result of fiber laser a b—measured by optical spectrum analyzer c d—measured by communication signal analyzer

图 3a和图 3c为偏振态没有控制时激光器输出激光的调制结果, 图 3b和图 3d为偏振态良好控制后激光器输出的激光地调制结果。从图 3a和图 3b(均为光谱仪测得的结果)比较可以看出, 偏振态没有控制的激光输出调制后, 在光谱仪上看到的与没有调制前类似, 只是光谱展宽, 调制后 3dB 带宽为 0.053nm; 偏振态控制的激光器输出的激光调制后, 光谱形状与调

制前差异很大,但 3dB 带宽没有变化,光谱两侧出现调制边峰,这是判断激光良好调制的一个标志。

图 3c 和图 3d 是泰克通信信号分析仪 CSA 803 测得的结果。图 3c 表明激光器没有偏振控制时输出的激光,由于输出的激光偏振态不稳定,经过调制后检测得到的信号为噪声,明显看出,这种调制信号无法用于光纤通信;图 3d 为激光器的偏振态进行了严格控制,调制后,输出的信号在通信信号分析仪上看到,调制波形很好,可以应用于光纤通信系统。

把偏振严格控制的光纤激光器输出的激光进行了传输 100km 的实验,传输代价为 1.50dB,把半导体激光器输出的激光进行同样的实验,传输代价为 1.52dB。如图 4 所示,“+”为背靠背的结果,“○”为

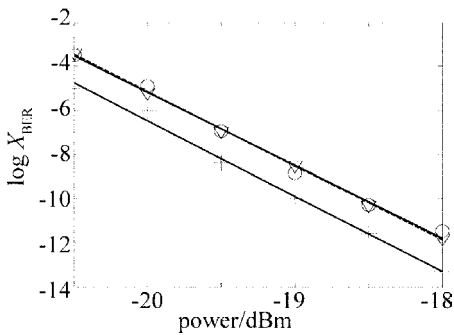


Fig 4 Measured result of bit error rate

光纤激光器调制传输测试结果,“▽”半导体激光器调

制传输测试结果。从图 4 可以看出,严格控制偏振输出的光纤激光器的特性与半导体激光器相当,传输 100km 后,二者的误码曲线拟合线几乎重合。

3 结论

对光纤环行激光器输出的激光进行了调制实验研究,如果没有对激光腔进行偏振态严格控制,输出的激光没有办法进行调制;如果对激光腔进行严格的偏振态控制,可以得到很好的调制效果。

参 考 文 献

- [1] NAM K I S, KOJIS, TSUKIJIN, *et al*. Challenges of Raman amplifier [J]. Proc IEEE, 2006 94(5): 1024-1035
- [2] WEID P, LIT J, ZHAO Y Ch, *et al*. Multiwavelength erbium-doped fiber ring lasers with overlapped fiber Bragg gratings [J]. Opt Lett 2000 25(16): 1150-1152
- [3] DEBUT A, RANDOUX S, ZEMMOUR I J. Experimental and theoretical study of linewidth narrowing in Brillouin fiber ring lasers [J]. J O S A, 2001, B18(4): 556-567
- [4] SHEN H, DING G, WANG Y Sh, *et al*. Fiber optics fiber laser double-cladding fiber Er-doped fiber cladding pump [J]. Laser Technology 2006 31(1): 70-72(in Chinese).
- [5] LIU Y, NING T G, TAN Zh W. Fiber gratings comb filter and its applications in novel wavelength selectable fiber laser [J]. Acta Optica Sinica 2004 24(6): 763-766(in Chinese).
- [6] WANG L L, REN JH, ZHAO T G, *et al*. External cavity semiconductor laser fiber grating numerical solution mode coupling [J]. Laser Technology 2005, 29(4): 361-363(in Chinese).

(上接第 76 页)

辐射在时间步为 500 时的空间电场分布,和图 6 图 7,

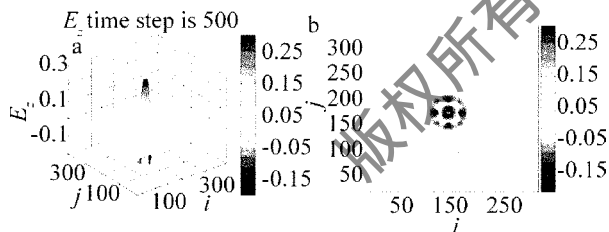


Fig 10 a—the plane of gauss wave in photonic crystals b—the picture of look down

比较可看出,部分能量存在波源附近的介质柱中,这些能量为禁带中的波的能量。图 10b 为其俯视图。

3 结论

将时域有限差分法用于光子晶体理论研究,利用 MATLAB 把光波在真空和光子晶体的传播过程进行了实时可视化,给出了其静态分布。在光子晶体中发现禁带中的波被控制,禁带能量分布在附近的介质柱中,观察到了电磁波局域化现象。

参 考 文 献

- [1] RONG Ch C, YAN K Zh, SHIZH, *et al*. Analysis on band gap of two-dimensional photonic crystals with heterostructure [J]. Chinese Jour

nal of Spectroscopy Laboratory, 2006, 23(3): 435-437(in Chinese).

- [2] NING X F, RONG Ch C, YAN K Zh. The effect of the refraction index to the band gap of 1-D three-element photonic crystals [J]. Acta Sinica Quantum Optica 2006, 12(1): 53-57(in Chinese).
- [3] KAIG Y, DONG X Y, QIN Y W, *et al*. Summary of the symposium on photonic crystals and its applications [J]. Journal of Optoelectronics Laser 2005, 16(8): 1007-1011(in Chinese).
- [4] YAN D B, FU Y Q, ZHANG G Y, *et al*. The application of EBG structure to microstrip antenna array [J]. Journal of Microwave 2005 21(4): 75-78(in Chinese).
- [5] FANG Y T, SHEN T G, TAN X L. Absolute photonic band gaps of 2-D cubic compound lattice [J]. Laser Technology, 2004 28(4): 344-345(in Chinese).
- [6] SUN Zh H. The study of the defect modes and coupling characteristics of photonic crystals [J]. Acta Optica Sinica 2005 25(7): 984-989(in Chinese).
- [7] ZHU Zh H, YE W M, YUAN X D, *et al*. Study of transmission characteristics of 2-D photonic crystals by the finite-difference time domain method [J]. Acta Optica Sinica 2003, 23(5): 522-525(in Chinese).
- [8] TANG B Sh, SHEN T G. Study on transmission property of two-dimensional photonic crystals with triangular lattices [J]. Laser Technology 2006 30(5): 526-528(in Chinese).
- [9] LIN F L, QIU G X, LIY P. Analyzing point defect two-dimensional photonic crystals with transfer matrix and block-iterative frequency domain method [J]. Journal of Quantum Electronics 2003 20(1): 35-41(in Chinese).