

文章编号: 1001-5078(2004)06-0445-04

## L-波段可调谐环形掺铒光纤激光器

肖磊, 郭玉彬, 张健生, 魏林, 周健

(吉林大学通信工程学院光通信系, 吉林 长春 130012)

**摘要:**报道了一种波长调谐范围达 41nm(1569nm 到 1610nm)的 L-波段环形腔掺铒光纤激光器。波长选择部分由偏振控制器和偏极器构成,通过调整环形腔内偏振控制器,改变腔内不同波长的偏振态以获得可变波长输出。高双折射光纤的引入,能够极大的压缩线宽,3dB 线宽 0.12nm,在 1590nm 的斜率效率为 24.7%。实验中还对耦合器的输出耦合比与激光输出功率和调谐范围的关系进行了研究。

**关键词:**偏振; L-波段; 高双折射; 环形腔光纤激光器

**中图分类号:** TN248.1      **文献标识码:** A

## Tunable L-band Ring Erbium-doped Fiber Laser

XIAO Lei, GUO Yu-bin, ZHANG Jian-sheng, WEI Lin, ZHOU Jian

(Department of Optical Communications, College of communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

**Abstract:** A tunable L-band erbium-doped fiber ring laser whose wavelength selection mechanism is formed by the combination of a polarization controller and a polarizer is demonstrated. The output wavelength can be tuned in a wide range of 41nm, from 1569nm to 1610nm, by changing the states of the polarization controller in the cavity. A narrow linewidth can be obtained by introducing a high birefringent PM fibre in the cavity, linewidth in 3 dB 0.12nm. A high slope efficiency of 24.7% is obtained at lasing wavelength of 1590nm. The relationship between the output coupling ratio, output power and tunable range is also investigated.

**Key words:** polarization; L-band; high birefringence; fiber ring laser

### 1 引言

随着各种数据业务对传输带宽需求的不断增长,如何利用现有的光纤传输系统,进一步提高通信容量,满足日益膨胀的需求,已成为光通信领域研究的热点。当前光传送网中波分复用(WDM)技术主要在光纤的 C-波段(1530~1565nm)使用。随着 L-波段掺铒光纤放大器(EDFA)的日趋成熟,将 WDM 系统由传统的 C-波段延伸到 L-波段(1570~1610nm)已经是大势所趋。因此,作为全光通信核心器件的 L-波段光纤激光器也逐渐成为研究热点之一<sup>[1]</sup>。

本文报道了一种工作在 L-波段的波长可调谐环形腔掺铒光纤激光器,其波长可调范围达 41nm,覆盖整个 L-波段。由于采用高掺杂浓度的掺铒光纤有效地缩短了光纤的长度,大大缩小了结构尺寸,提高了光源的稳定性和输出特性。通过合理选择输出耦合器分光比等参数,优化激光器谐振腔的结构,获得了高性能的掺铒光纤激光器,具有很好的应用前景。

**作者简介:**肖磊(1979-),男,吉林大学通信工程学院 2002 级硕士研究生,主要从事全光通信器件的研究。

**收稿日期:**2004-05-21

### 2 实验装置与原理

L-波段环形腔掺铒光纤激光器结构如图 1 所示。泵浦源采用 Multiplex Inc. 的 MTX914B2F2 980nm 高功率泵浦激光器,峰值波长为 979.5nm。环形腔主要由两段铒光纤 (EDF1 和 EDF2),隔离器 (ISO),偏极器 (P),偏振控制器 (PC),高双折射保偏光纤 (PM) 和 1 × 2 光纤耦合器 (C,输出耦合比 0.6) 组成。EDF1 为长约 11m 的进口掺铒光纤,在 979nm 处的峰值吸收约为 11.7dB/m,EDF2 为长约 1.9m 的进口掺铒光纤,在 979nm 处的峰值吸收约为 14.8dB/m。偏极器和偏振控制器一起构成了腔内的波长选择机构,通过调整偏振控制器的状态可以在输出端得到不同波长的激光输出。

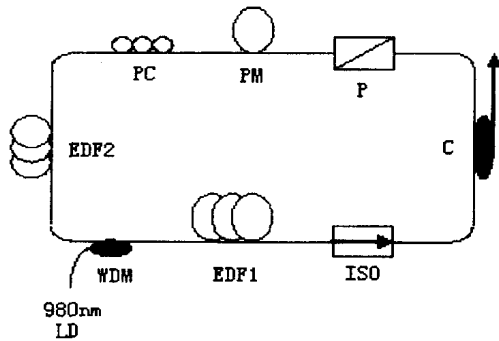


图 1 L-波段环形腔掺铒光纤激光器结构示意图

980nm 泵浦光经过 980/1550nm WDM 耦合进 EDF1 对其进行抽运,在光纤中形成粒子数反转,辐射光经过偏极器和偏振控制器构成的波长选择部分,某一波长的光被选出并在腔内不断的循环。每一次循环过程中光波的能量均得到放大,当增益大于腔内传输损耗时,形成激光。光纤型隔离器(隔离度 > 46dB,回波损耗 > 60dB)使光在环形腔内只能单向传输,避免了当两个不同方向的光在腔内传输时形成的竞争,提高激光自身的信噪比,保证激光工作稳定性。

#### 2.1 L 波段工作原理

L-波段 ASE 的形成与 C-波段一样都是由能级  $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$  的跃迁产生的,不同的是 L-波段的 ASE 是由  $^4I_{13/2}$  和  $^4I_{15/2}$  主能级的斯塔克分裂能级的低能级之间的跃迁产生的。铒离子吸收 980nm 泵浦激光后首先在铒光纤的前端产生 C-波段的 ASE,C-波

段的 ASE 再被后端铒光纤吸收作为二次泵浦源从而形成 L-波段的 ASE 谱<sup>[2]</sup>。由于 L-波段放大自发辐射用到的是铒离子增益带的尾部,其发射和吸收系数都比 C-波段小 3~4 倍。因此为了获得 L 波段的放大,需要利用较长的掺铒光纤。实验中使用了两段高掺铒光纤 EDF1 和 EDF2,其中 11m 的 EDF1 就能使腔内增益谱移到 L-波段,再加入 EDF2 是为了充分利用 EDF1 所产生的正反向 ASE 谱,提高泵浦效率,降低 ASE 噪声,从而提高输出激光的信噪比,其超荧光辐射谱如图 2 所示。

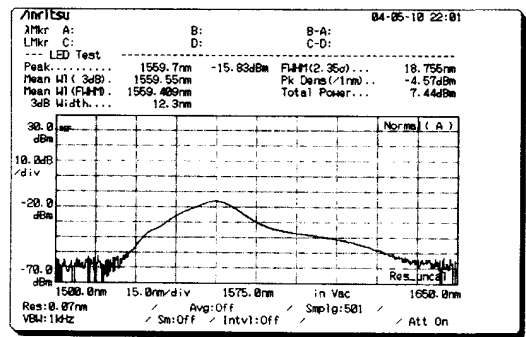


图 2 掺铒光纤增益介质的荧光谱

#### 2.2 偏振调谐原理

从偏振的角度看,在单模光纤中实际上传输着两个相互垂直的模式  $HE_{11x}$  和  $HE_{11y}$  (其电场各沿 x, y 方向)。在理想光纤中,光纤的横截面形状及折射率分布是均匀对称的,  $HE_{11x}$  模与  $HE_{11y}$  模的传播常数相等 ( $\beta_x = \beta_y$ ),彼此简并,沿光纤传播时总的偏振态保持不变。但实际光纤总带有某种程度的不完善,例如纤芯几何形状的椭圆形变,光纤内部的残余应力,光纤的变曲、扭转等引起的折射率各向异性都将使  $HE_{11x}$  和  $HE_{11y}$  模的简并受到破坏,传播常数  $\beta_x$  和  $\beta_y$  不再相等,使光波的偏振态沿光纤的传播长度而变化<sup>[3]</sup>。

由于光纤中存在这种模式双折射效应,从偏极器 P 出来的线偏振光在腔内传输时,其偏振态要发生变化。并且波长不同,偏振态的变化也不同。由于光纤中的偏振色散,这些不同偏振态的偏振光再次经过 P 后,所受到的偏振相关损耗也不同。当某一波长的光的电场矢量方向与偏极器的偏振方向一致时,所受到的损耗最小。当光波在腔内的增益大

于损耗时,就能够形成谐振,输出激光<sup>[4]</sup>。腔内激光的谐振条件可以表示为<sup>[5]</sup>:

$$|P^*(\lambda) \cdot M(\lambda) \cdot P(\lambda)| \exp[G(\lambda)L] \cdot T_{eff} = 1 \quad (1)$$

其中  $P(\lambda)$  表示从偏极器 P 出来的线偏振光的偏振态, 为该线偏光相对于某一固定的实验室坐标轴的夹角。 $P^*(\lambda)$  为  $P(\lambda)$  的哈密顿共轭函数,  $M(\lambda)$  表示光波在环形腔内传输一周偏振变化的琼斯矩阵,  $G(\lambda)$  为波长为  $\lambda$  的光在腔内的增益系数,  $L$  为腔内增益介质的长度,  $T_{eff}$  为腔内器件的波长相关传递因子。由方程 (1) 可以看出, 通过调整偏振控制器, 来控制腔内的偏振变化, 使  $M(\lambda)$  发生改变, 从而达到波长调谐的目的。

但是, 只靠单模光纤本身产生的双折射效应, 不足以获得窄线宽, 即不同波长的光在腔内传输一周, 再次经过 P 时, 其偏振态变化不显著, 造成腔内多个模式竞争激烈, 输出激光的线宽较宽。通过加入一段高双折射光纤 (1.1m 在 1550nm 处拍长为 5.0nm), 加强了腔内的双折射效应, 使不同波长的光在传输一周后其偏振方向的差异变大, 通过偏极器后所受到的损耗差异也增大, 从而降低模式竞争, 获得窄线宽。图 3, 图 4 分别为加与不加高双折射保偏光纤的激光输出光谱。

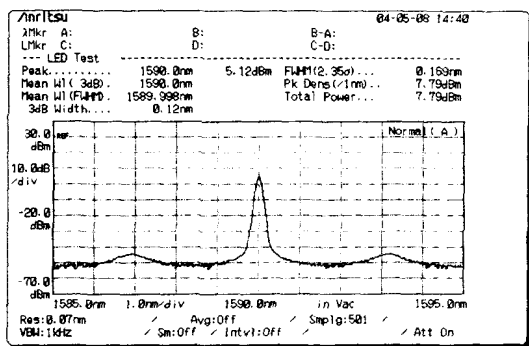


图 3 加入高双折射保偏光纤的激光输出光谱

### 3 实验结果分析与讨论

实验中, 采用 Anritsu MS9710B 光谱分析仪 (工作范围 600 ~ 1750nm, 分辨率 0.07nm) 测得输出波长在 1569nm 到 1570nm 范围内可调, 其调谐范围宽达 41nm, 覆盖整个 L 波段, 波长变化过程中线宽基本保持稳定, 边模抑制比 > 45dB。如图 5 所示。

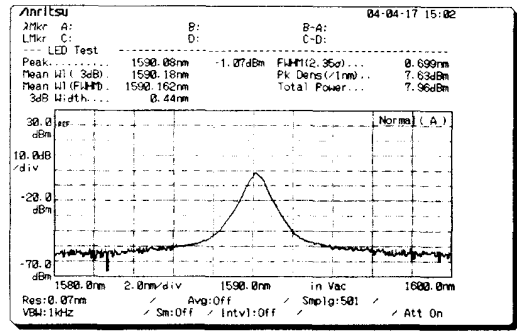


图 4 不加高双折射保偏光纤的激光输出光谱

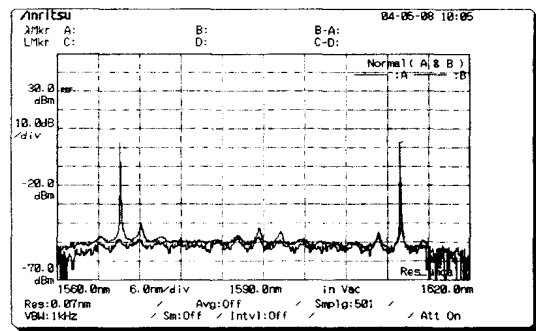


图 5 光纤激光器在 1569.0nm 和 1609.92nm 的输出光谱

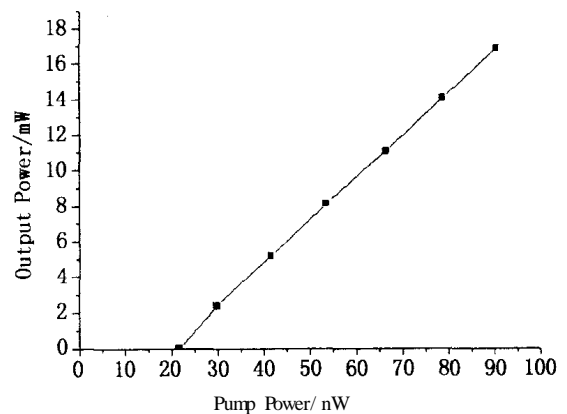


图 6 光纤激光器输出功率与泵浦功率的关系

当泵浦功率为 90mW 时, 采用 NOYES OPM4 光功率计 (测量范围 25dBm ~ - 50dBm), 测得激光器在 1590nm 的最大输出功率为 17.02mW, 输出功率稳定性优于 0.02dB。阈值泵浦功率为 21.56mW, 求得斜率效率为 24.7%。在 L-波段得到如此高的斜率效率, 主要是因为采用高掺杂浓度的铒光纤, EDF1 的铒离子掺杂浓度为  $1.8 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$  (体积粒子数), EDF2 的铒离子掺杂浓度为  $2.48 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$ , 极大的降低了光纤长度, 从而降低铒光纤的被动吸收损耗和反向放大自发辐射的能量积累, 提高了效率。图

6 所示为激光器在 1590nm 的输出功率随泵浦功率的变化。

实验中,我们看到,输出激光的带宽随着泵浦功率的增大而增大,如图 7 所示。这是由于随着腔内泵浦能量的增大,模式竞争加剧,导致输出激光中包含了多个模式,使线宽变宽。当泵浦功率在 90mW 以下时,即激光输出功率在 17mW 以下时,3dB 带宽窄于 0.12nm。考验 1h 以上,波长稳定性优于 0.02nm。

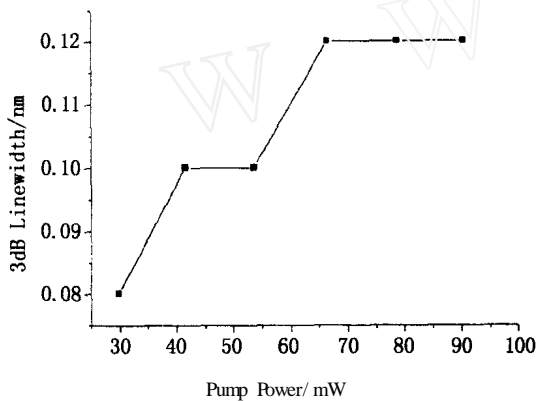


图 7 输出激光的 3dB 线宽与泵浦功率的关系曲线

表 1 输出耦合比与调谐范围的关系

输出耦合比	调谐范围 (nm)
0.1	1587 - 1613 (26)
0.2	1587 - 1609 (22)
0.3	1572 - 1608 (36)
0.4	1578 - 1610 (32)
0.5	1571 - 1607 (36)
0.6	1569 - 1610 (41)
0.7	1575 - 1606 (31)
0.8	1571 - 1598 (27)
0.9	1564 - 1575 (11)

实验中,观察到输出耦合比对调谐范围和输出功率都有影响。输出耦合比与调谐范围的关系见表 1。从表 1 可以看出,当输出耦合比较小时,调谐范围向 L-波段的长波长方向偏移;当输出耦合比较大时,调谐范围向 L-波段的短波长方向偏移。我们认为这与腔内泵浦能量的大小有关,当腔内泵浦能量较大时(输出耦合比较小),泵浦能量被充分的吸收,L-波段的长波长区域被充分激发出来,经过腔内多

次循环,抑制了 L-波段的短波长区域,使得调谐范围向 L-波段的长波长方向偏移;而当腔内泵浦能量较小时,能量吸收不充分,因此长波长部分无法激发出来。输出耦合比在 0.5 左右时,调谐范围较大。0.6 时达到最大,完全覆盖 L-波段。

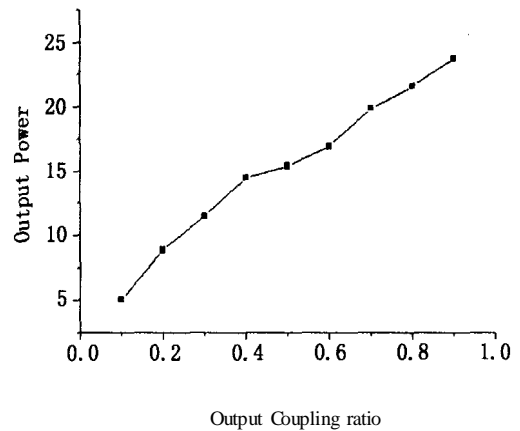


图 8 输出功率与输出耦合比的关系曲线

输出耦合比与输出功率(在泵浦功率 90mW,输出波长 1590nm 下测得)的关系曲线如图 8 所示,随着输出端耦合比的增加,相同泵浦功率得到的激光输出功率也越来越高。在输出耦合比为 0.9 时,由于输出波长无法达到 1590nm,故测试在 1570nm 下,其输出功率高达 23.7mW。但综合考虑线宽,调谐范围等参数,0.6 为最佳输出耦合比。

#### 参考文献:

- [1] 杨石泉,赵春柳,蒙红云,等.工作在 L-波段的可调谐环形腔掺铒光纤激光器[J].中国激光,2002,29(8):677-679.
- [2] J Lee, UH Chan Ryu, SJ Ahn, et al. Enhancement of power conversion efficiency for an L-band EDFA with secondary pumping effect in the unpumped EDF section[J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1999, 11(1):42-45.
- [3] 廖延彪. 偏振光学[M]. 北京:科学出版社,2003,156-157.
- [4] Deyu Zhou, P R Prucnal, Ivan Gesk. A Widely Tunable Narrow Linewidth Semiconductor Fiber Ring Laser[J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1998, 10(6):781-783.
- [5] U Ghera, N Konforti, M Tur. Wavelength tenability in a Nd doped fiber laser with an intracavity polarizer[J]. IEEE Photon. Technol Lett, 1992, 4(1):4-6.