

文章编号: 0258-7025(2003)12-1061-04

单一偏振的多波长环形腔掺镱光纤激光器

迟荣华, 吕可诚, 陈胜平, 李乙钢

(南开大学物理科学学院, 天津 300071)

摘要 在环形腔掺镱光纤激光器中加入一段 G. 652 光纤作为多模光纤, 依靠其中导模的空间模式跳变构成动态梳状滤波器, 于室温下实现了掺镱光纤激光器 1.03 μm 波长附近稳定的 6 波长激光同时输出。激光线宽为 0.15 nm, 边模抑制比达到 40 dB 以上。通过调整腔内的偏振控制器, 可以得到不同波长个数和波长间隔的多波长激光输出。

关键词 激光技术; 掺镱光纤激光器; 多波长振荡; 空间模式跳变; 梳状滤波器

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Multi-wavelength Yb-doped Ring Fiber Laser with Same Polarization State

CHI Rong-hua, LÜ Ke-cheng, CHEN Sheng-ping, LI Yi-gang

(Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract A section of G. 652 fiber was spliced into the Yb-doped ring fiber laser as multimode fiber for lasing light. This combination of fiber types acts as a wavelength-dependent dynamical comb-like filter in the laser through spatial mode beating. Up to six stable laser wavelengths can be obtained in the region of 1030 nm with spectrum linewidth of 0.15 nm and SMSR of 40 dB. By adjusting the polarization state of the light, the number of lasing wavelength and its space can be controlled.

Key words laser technique; ytterbium doped fiber laser; multi-wavelength oscillation; spatial mode beating; dynamical comb-like filter

1 引 言

多波长激光器可以同时为多个信道提供所需光源, 使光发射端的设计更为紧凑经济, 因而在密集波分复用系统、光谱测量、光纤传感等领域有着广泛的应用。目前已有很多研究者报道了掺镱光纤多波长激光器的实现方案。Yamashita 等^[1]把掺镱光纤放到液氮中冷却得到了多波长输出, 但是这种方法因为要用液氮所以不宜推广; Park 等^[2]报道了一种利用空间烧孔效应和偏振烧孔效应实现 24 波长输出的掺镱光纤激光器。

掺镱光纤激光器具有很宽的吸收谱和发射谱, 可以采用不同波长的抽运源, 在 970~1200 nm 波长范围内获得激光输出, 并可进行宽带调谐^[3]。同时, 它不存在激发态吸收、浓度淬灭和多声子跃迁等

消激发过程, 可得到很高的能量转化效率。因而, 近年来掺镱光纤激光器引起了人们的广泛关注。

掺镱光纤基本属于非均匀展宽类型介质, 与均匀展宽介质掺镱光纤相比, 较易得到多波长激光输出。我们在掺镱环形腔光纤激光器腔内加入一段 G. 652 光纤, 其截止波长为 1260 nm, 对 1030 nm 激光而言属于多模光纤, 利用多模光纤中基模与低阶模之间的空间模式跳变构成动态梳状滤波器^[4], 于室温下得到了 1030 nm 附近较稳定的 6 波长激光输出。

2 实验装置

如图 1 所示, 最大输出功率 60 mW, 输出波长 976 nm 的半导体激光器(LD)作为抽运源, 经由插

收稿日期: 2002-06-28; 收到修改稿日期: 2002-11-01

基金项目: 天津市自然科学基金(编号: 013602311)资助项目。

作者简介: 迟荣华(1973—), 女, 山东莱阳人。南开大学物理学院光电信息科学系在读博士生, 研究方向为激光光电子学和现代光通信技术。E-mail: chironghua@eyou.com

损为 0.4 dB 的 980/1060 nm 波分复用器(WDM), 对长 6.5 m, 芯径 5.05 μm 的掺镱光纤进行抽运。掺镱光纤对 976 nm 抽运光的吸收系数为 3.5 dB/m。分束比为 45:55 的 1060 nm 耦合器焊接在掺镱光纤的另一端, 作为 55% 输出耦合器用。一段长 4.5 m 的 G. 652 光纤缠绕到偏振控制器(PC)上, 焊

接在 WDM 和耦合器之间。G. 652 光纤截止波长 1260 nm, 对实验中产生的 1030 nm 附近激光而言, 其归一化频率 $\nu = 2.942 > 2.405$, 所以这段接续的 G. 652 光纤就可以看作多模光纤, 构成腔内梳状滤波器^[4]。

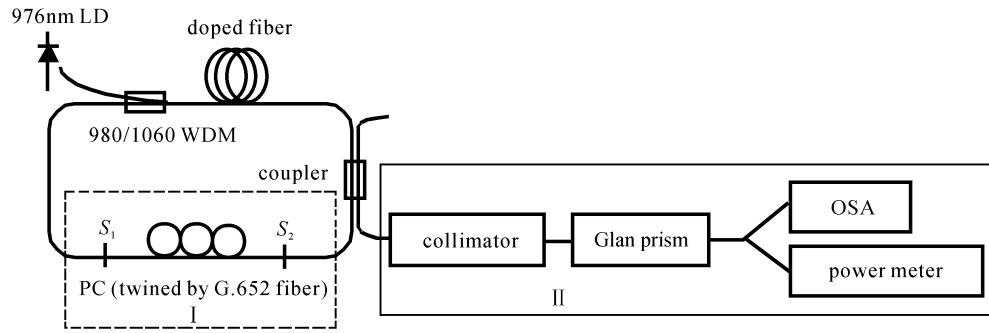


图 1 实验装置图
Fig.1 Experiment setup

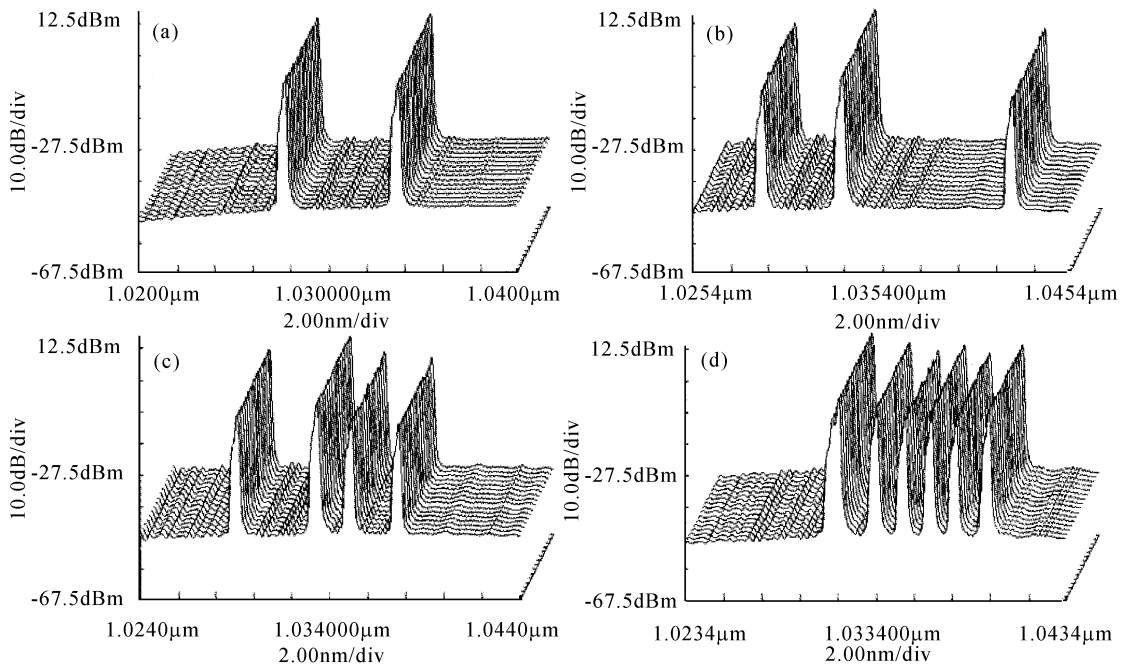


图 2 稳定的多波长输出(每隔 15 s 扫描一次, 共扫描 16 次)
(a) 2 波长; (b) 3 波长; (c) 4 波长; (d) 6 波长

Fig. 2 Stability of multi-wavelength laser (16 times scanning every 15 seconds)
(a) 2-wavelengths; (b) 3-wavelengths; (c) 4-wavelengths; (d) 6-wavelengths

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

在如上所述激光器环形腔结构中不加入带 PC 的 G. 652 光纤(去掉图 1 中虚线 I 部分), 而是直接焊接上 WDM 与耦合器, 在抽运光功率加大到一定

值时, 1030 nm 附近会出现不稳定的激光振荡, 有时候还会出现多个波长同时振荡, 但是激光振荡很不稳定。

将带 PC 的 G. 652 光纤接入腔中构成图 1 所示结构后, 在抽运功率增加到 22.5 mW 时, 波长为 1024.2 nm 的激光首先起振, 从耦合器输出端输出。

不改变偏振控制器和抽运光功率, 该单波长激光能保持长时间稳定。但随着抽运光功率的增加, 激光器由单模运转发展到多模运转。仔细调节偏振控制器, 可于室温下得到不同波长个数和波长间隔比较稳定的多波长激光输出。每个波长的光谱线宽约为 0.15 nm, 边模抑制比(SMSR)达 40 dB, 激光波长位于 1024.2~1046.6 nm 范围内, 波长间隔一般为 1.3 nm 的整数倍。仔细调节偏振控制器, 在 1.3~13 nm 范围内, 可以得到不同波长间隔(一般是 1.3 nm 整数倍)的双波长激光。调节偏振控制器, 室温下可以得到稳定的 6 个激光波长同时输出, 波长依次为: 1031.44, 1033.44, 1034.92, 1036.30, 1037.64 和 1039.16 nm。

为了研究激光器多波长运转的稳定性, 观察了多波长激光的输出功率和振荡光谱随时间的变化, 观察时间为 15~20 min。实验证明, 功率起伏小于 0.2 dBm, 波长漂移小于 0.1 nm。图 2(a)~(d) 示出实验所得多波长激光 16 次连续扫描光谱图, 相邻两次扫描间隔为 15 s。从图中可以看出, 在进行光谱扫描的 4 min 内, 光谱是很稳定的。

输出激光的稳定性会随着振荡峰个数的增加而下降。实验中只能得到 6 个以下波长的稳定振荡, 起振的波长个数超过 6 个时, 输出激光便不再稳定。图 3 所示即为某一瞬间的 9 波长输出光谱图, 可以明显看到模式竞争现象。

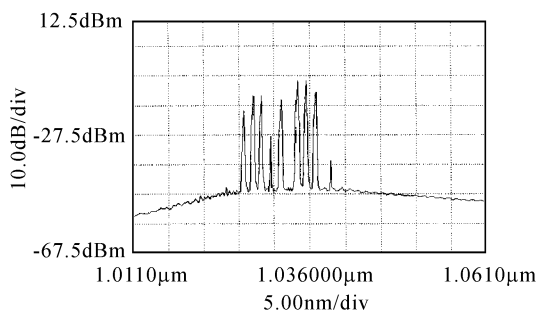


图 3 9 波长输出时有模式竞争现象

Fig. 3 9-wavelengths output with mode competition

实验发现, 在抽运光功率一定时, 输出激光的振荡模式个数及各振荡模的中心波长由腔内双折射状态决定。因而, 如果由于光纤弯曲、扭转导致腔内双折射状态改变的话, 输出激光会随之变化。上述对多波长激光稳定性的观察实验, 是在保证激光谐振腔内各部件的状态相对稳定, 即腔内双折射状态不变的前提下进行的。如果经过稳定封装, 输出激光的稳定性预计还可大幅度提高。

调整偏振控制器, 使输出激光稳定到某一状态, 将耦合器输出端光纤与自聚焦棒尾纤焊接在一起, 利用格兰棱镜观察经准直后的激光偏振态。将格兰棱镜后的输出光分成两束, 一束接光谱仪, 一束接光功率计(见图 1 虚线 II 部分)。旋转棱镜, 从光谱仪上可看到多个波长同时消光, 从功率计上的读数算得消光比在 15 dB 以上。这说明输出的多波长激光为单一方向的线偏振光。调节偏振控制器得到各种不同波长个数和波长间隔的稳定激光输出, 测得其均为单一方向线偏振光。

3.2 分析

在单模光纤激光谐振腔内接续一段 G. 652 光纤作为多模光纤使用, 在多模光纤 ($\nu = 2.942$) 中, 仅能传输基模 (LP_{01}) 与低阶模 (LP_{11})。在光从单模光纤传输到多模光纤中时, 会进行模场间光能的重新分配, 在多模光纤中激发出 LP_{01} 模与 LP_{11} 模。这两种模式的光以不同的传播常数 β_1 和 β_2 在多模光纤中传输, 当到达多模光纤与单模光纤的另一接续点时, 两种模式的光相互作用耦合进单模光纤中。耦合进单模光纤中的光能大小主要取决于 LP_{01} 模与 LP_{11} 模在此接续点的位相差。假定 $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$ 为两模传输常数差, 则拍长 $L_B = 2\pi/\Delta\beta$, 一般光纤中, 其量级在数百微米^[4]。对不同波长的光, $\Delta\beta$ 不同, 因而 L_B 也不同。当波长满足多模光纤长度 L 刚好为 L_B 整数倍时, 这一波长经过多模光纤所引起的损耗就很小, 而不满足这一条件的波长经过多模光纤则会引起较大的损耗, 由此便产生了波长相关损耗。加之多模光纤的长度 L 一般比 L_B 大好几个数量级, 因此便形成了腔内梳状滤波器。所以, 在单模光纤激光腔中焊接一段多模光纤, 相当于加入了一个梳状滤波器, 使得多波长运行成为可能。

在本实验条件下, 激光器振荡波长个数少于或等于 6 个时, 可以得到稳定的激光输出; 而振荡波长个数多于 6 个时, 输出很不稳定。不稳定的激光输出在波谱上的表现是, 对应不同波长的模式幅度起伏很大: 某一瞬间有些模幅度骤增, 而另一些模则骤然减至很小, 甚至熄灭。这是一种典型的模式竞争现象, 如图 3 所示。以下对这种现象作一定性说明。

一个激光器究竟有多少个模式(波长)起振达到稳定运转, 取决于增益介质的展宽类型、激光器的纵模间隔和振荡阈值。本实验的增益介质是掺镱光纤, 基本上属非均匀展宽激光介质, 但均匀展宽的宽度相对较大。另一方面, 用于本实验的光纤激光器腔长较长(约 20 m), 使得纵模间隔较小(约 10^{-4} nm

量级),各纵模烧孔严重重叠,相邻纵模的竞争是非常激烈的。模式竞争的结果是许多纵模被抑制,只有那些具有增益优势的模获得稳定振荡。至于某一激光器至多能有多少个模式获得稳定振荡,取决于激光器的具体结构参数和运转条件。诸如决定增益轮廓的镱离子的掺杂浓度;决定纵模间隔的激光器的腔长;决定振荡阈值的腔内各类损耗,尤其是本实验中的偏振相关损耗(主要由 PC 控制);以及抽运光的强度和增益饱和效应。可以设想,如果降低激光腔的损耗或增加抽运光的功率,获得稳定运转的波长个数将会增加。本实验稳定运转的最多波长个数是 6 个。

另外,由于本实验中梳状滤波器和偏振控制器的存在,增加了理论分析的复杂性。更为深入的理

论分析和模拟计算正在研究之中。

参 考 文 献

- 1 S. Yamashita, K. Hotate. Multiwavelength erbium-doped fibre laser using intracavity etalon and cooled by liquid nitrogen [J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(14):1298~1299
- 2 N. Park, P. F. Wysocki. 24-line multiwavelength operation of erbium-doped fiber ring laser [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(11):1459~1461
- 3 U. Ghera, N. Konforti, M. Tur. Wavelength tunability in Nd-doped fiber laser with an intracavity polarizer [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1992, **4**(1):4~6
- 4 A. J. Poustie, N. Finlayson, P. Harper. Multiwavelength fiber laser using a spatial mode beating filter [J]. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(10):716~718

百瓦级掺镱双包层光纤激光器*

高功率掺镱双包层光纤激光是近年来国际上固体激光技术中的一个热点领域,它具有光束质量好、结构紧凑、转换效率高等优点,在工业加工和国防军事等领域有着广泛的应用前景。最近,我们在 50 W 双包层光纤激光研究的基础上,通过改进抽运端面处理工艺和优化抽运耦合系统,有效地提高了抽运耦合效率,使双包层掺镱光纤激光输出功率又上升到一个新台阶,最大输出功率达 112 W。

我们采用单波长单端抽运的方法代替国际上常用的双端抽运方法,从而使激光器结构更紧凑。所用的抽运源为准直输出的大功率 LD 模块,输出中心波长约在 975 nm 附近,LD 采用循环水冷却,水温 18℃。双包层光纤为 D 形内包层(350/400 μm)的掺 Yb³⁺ 石英光纤,纤芯掺杂浓度为 65 × 10⁻⁴ mol,光纤长度约为 39 m。实验中依然采用典型的 F-P 腔结构,光纤的抽运端面有一对抽运光高透激光高反的双色片作为前腔镜,另一端则直接作为输出镜,并通过一短焦距透镜将输出激光准直。为了避免抽运光纤端面被高强度的聚焦抽运光束烧蚀,

对抽运光采取了空间滤波技术,从而有效地滤除了聚焦光斑的杂散成分。然后通过非球面透镜耦合系统,将高功率抽运光注入双包层光纤。

实验中,当入纤功率为 1.7 W 时,开始有激光输出,增大抽运光功率,激光输出功率逐渐增大,当入纤功率为 159 W 时,得到了 112 W 的最大激光功率,光-光转换效率为 67%,斜率效率为 72%。采用光谱分析仪,测量了输出激光的光谱特性,输出激光中心波长在 1.1 μm,光谱宽度约为 10 nm。抽运光通过 39 m 的光纤后基本全部被吸收,漏光功率不到激光功率的 1%。

中国科学院上海光学精密机械研究所,

上海 201800

楼祺洪,周 军,朱健强,孔令峰,

吴中林,薛 冬,董景星,魏运荣,

叶震寰,凌 磊,王之江

收稿日期:2003-11-21

* 国家自然科学基金(编号:60244005)、中国科学院知识创新工程和上海市科委光科技专项资助项目。