

文章编号 : 0253-2239(2001)10-1171-03

大功率掺 Yb 双包层光纤宽带超荧光光源*

李乙钢 刘伟伟 付成鹏 覃斌 胡勋 吕可诚

(南开大学物理科学学院, 天津 300071)

摘要: 利用波长为 976 nm 的半导体激光器抽运掺 Yb 双包层光纤, 制成了大功率光纤宽带超荧光光源。最大超荧光输出功率为 54.11 mW, 此时斜率效率为 69.35%, 中心波长为 1082 nm, 3 dB 带宽为 17.2 nm。

关键词: 掺镱双包层光纤; 放大自发辐射; 超荧光

中图分类号: TN245 文献标识码: A

1 引 言

在许多应用领域, 常需要时间相干性较低的光源。掺稀土元素光纤的放大自发发射 (ASE) 具有温度稳定性强、荧光谱线宽以及时间相干度低、使用寿命长等特点, 可以作为低相干性的宽带光源, 被称为光纤宽带超荧光光源 (SFS)。与超辐射发光二极管 (SLD) 相比, 此类超荧光光源具有输出光谱稳定、受环境影响小、易于与单模光纤传感系统耦合等优点, 可在光纤传感 (如光纤陀螺、某些信号处理等光纤系统中)、光学层析照相 (CT) 和医学中细胞组织诊断等技术中得到应用。

近年来, 掺铒和掺镱光纤的超荧光光源已得到广泛研究^[1], 但超荧光 (SF) 的输出功率都相对较低, 因而大功率的掺铒和掺镱光纤超荧光光源逐渐引起了人们的兴趣^[2~4]。本文报道了大功率掺 Yb 双包层光纤 (DCF) 宽带超荧光光源。利用尾纤输出的半导体激光器, 以光纤端面直接抽运的方式, 对掺 Yb 双包层光纤进行了超荧光的实验研究。在吸收的抽运光功率为 279.6 mW 时, 获得了最大输出功率为 54.11 mW 的宽带超荧光输出。

2 实 验

图 1 为实验原理图。

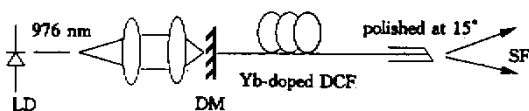


Fig. 1 Experimental configuration

抽运源是由中科院半导体所生产的多模带尾纤耦合输出的半导体激光器 (LD)。其工作的中心波长为 976 nm, 尾纤的最大输出功率为 1.28 W。

实验中采用的掺 Yb 双包层光纤由俄罗斯普通物理研究所生产。光纤长度为 12 m。对 1.06 μm 波长, 纤芯的模场直径为 7 μm。内包层为 125 μm × 125 μm 的方形结构, 其数值孔径为 0.38~0.40。纤芯与内包层的折射率差为 0.01。光纤的吸收光谱如图 2 所示。可以看到光纤在波长 915 nm 附近有较宽的吸收带, 在波长 976 nm 处有很强的吸收峰。采用的抽运光源对应于 976 nm 的吸收峰。

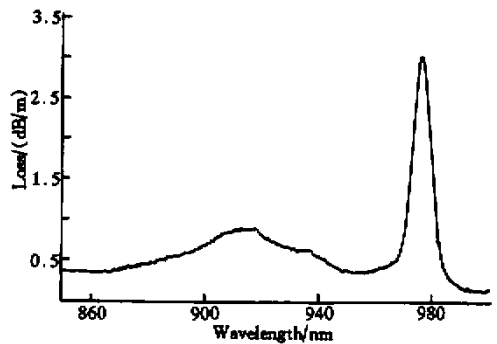


Fig. 2 Absorption spectrum of the Yb-doped double-cladding fiber

利用准直-聚焦透镜系统将抽运光直接由端面耦合进入双包层光纤。为了能使前向和后向的超荧光以相同的方向传输从而增加超荧光输出功率, 将一个二向色介质镜 (DM) 放在双包层光纤的输入端。二色镜对波长 1060 nm 的信号光有近 100% 的反射, 对波长 976 nm 的抽运光有 85% 的透射。双包层光纤的入射端面做 90° 角的切割和抛光处理, 并紧贴于二色镜上。为了抑制由于光纤端面的菲涅尔背向反射而形成的激光振荡, 双包层光纤的

* 国家自然科学基金 (69877006) 资助课题。

收稿日期 2000-06-21; 收到修改稿日期 2000-08-18

输出端面磨成 15° 倾角。

双包层光纤输出端的超荧光输出功率由功率计测得。功率计是中国科学院物理所生产的 LP-3A 型功率计。其测量范围是 $2 \text{ mW} \sim 2 \text{ W}$, 分辨率为 0.01 mW 。双包层光纤输出端的超荧光输出特性曲线由光谱仪测量。光谱仪是 ANRITSU 公司生产的 MS9001B1 型光谱仪。其测量范围为 $600 \text{ nm} \sim 1700 \text{ nm}$, 最小波长分辨率为 0.1 nm 。

3 结果与讨论

3.1 超荧光光谱特性

图 3 是在超荧光输出功率为 40.2 mW 时的超荧光光谱。其中心波长为 1082 nm , 3 dB 带宽为 19.2 nm 。从图中可以看到, 从波长 $1076 \text{ nm} \sim 1088 \text{ nm}$ 大约 12 nm 的范围内, 形成了 $\pm 0.5 \text{ dB}$ 的平坦谱线。实验结果表明, 在超荧光输出功率从 20 mW 到 43 mW 的范围内, 都存在这样的平坦光谱输出。如此宽的平坦增益光谱可以满足各种对大功率光纤宽带光源的需求。

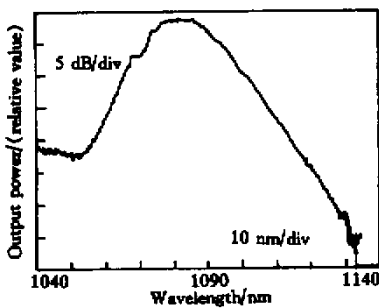


Fig. 3 Superfluorescent spectrum

已有的研究表明^[5], 与光辐射有关的 Yb^{3+} 离子的能级结构是由基态能级 $^2F_{7/2}$ 和激发态能级 $^2F_{5/2}$ 两个能级簇组成, 如图 4 所示。

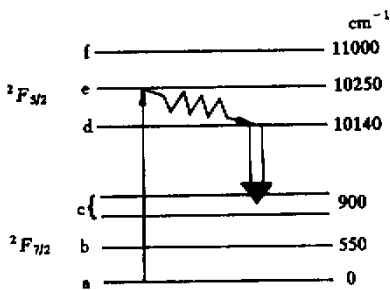


Fig. 4 Yb^{3+} energy levels

分析上述实验结果表明, 当利用波长 976 nm 的激光抽运时, Yb^{3+} 离子将从基态能级 $^2F_{7/2}$ 中的子

能级 a 抽运到激发态能级 $^2F_{5/2}$ 中的子能级 e, 对应抽运波长 976 nm 。然后 Yb^{3+} 离子快速无辐射跃迁弛豫到激发态的子能级 d。在准四能级跃迁情况下, Yb^{3+} 离子将从激发态的子能级 d 到基态的子能级 c 形成自发辐射跃迁, 跃迁对应的中心波长为 1082 nm 。

实验中还观察到, 当吸收的抽运光功率大于 279.6 mW 时, 双包层光纤的输出光谱在波长 1084.6 nm 处出现了带宽很窄的尖峰结构。分析表明, 这种结构的出现是由于光纤输出端面的缺陷形成的剩余背反射在光纤内产生了激光振荡。

3.2 超荧光输出功率与抽运光功率的关系

实验测量了超荧光输出功率与吸收的抽运光功率的关系, 如图 5 所示。图中的点为实验的测量值。最大的超荧光输出功率为 54.11 mW , 这时的斜率效率为 69.35% 。为了从理论上研究超荧光输出功率与抽运光功率的关系, 我们借助 Digonnet 和 Duling 等作者的光纤超荧光输出特性理论^[6,7], 对实验结果进行拟合。在近似条件下, 即光纤入射端的反射率为 100% ($R_0 = 1$), 光纤输出端的反射率为零 ($R_1 = 0$) 时, 光纤输出端的超荧光功率 $P^+(l)$ 与光纤输入端吸收的抽运光功率 P_p 的关系有如下形式^[7]

$$P^+(l) = P_0 \exp \left\{ \frac{[2 P_s k(l) P_p - P^+(l)]}{P_s - 2P_0} - 1 \right\}, \quad (1)$$

其中, l 为光纤的长度; P_0 为描述自发辐射的常数; P_s 为饱和功率常数; $k(l)$ 为与光纤长度有关的常数。当上式各常数分别为 $P_0 = 0.02636 \text{ mW}$, $P_s = 105 \text{ mW}$ 和 $k(l) = 0.0156 \text{ mW}^{-1}$ 时, 理论结果(图中实线)与我们的实验结果(图中点)吻合得很好。

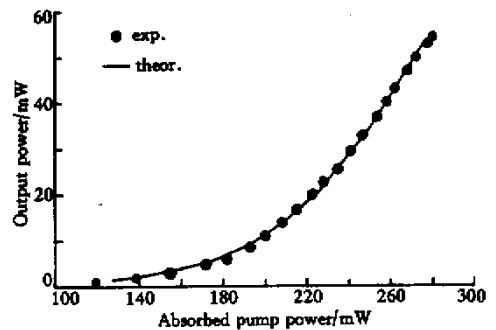


Fig. 5 Output power of superfluorescent source versus absorbed pump power

但我们也看到饱和功率常数 P_s 的值远大于文献 [7] 中的值, 其中的原因有待进一步研究。

3.3 超荧光带宽与抽运光功率的关系

在不同功率的抽运光抽运下, 测量超荧光输出的光谱特性曲线发现, 随着超荧光输出功率的增加, 其 3 dB 带宽将逐渐变窄, 如图 6 所示。这是由于增益介质的均匀展宽特性使得超荧光光谱的带宽随着输出功率的增加而减小。这与文献 [1] 的实验结果相一致。

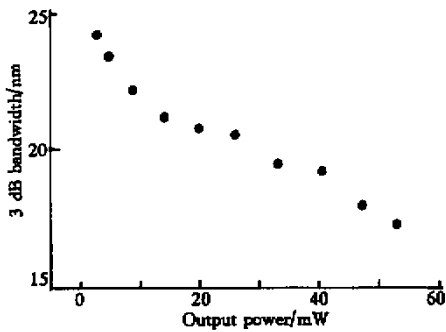


Fig. 6 Bandwidth of the superfluorescent source as a function output power

结论 我们利用准直-聚焦透镜系统, 将波长为 976 nm 的激光二极管抽运光直接由端面耦合进掺 Yb 双包层光纤。当光纤吸收的抽运光功率为 279.6 mW 时, 得到最大输出功率为 54.11 mW 的宽带超荧光输出。此时斜率效率为 69.35%, 中心波长为 1082 nm, 3 dB 带宽为 17.2 nm。

在上述掺 Yb 双包层光纤宽带超荧光光源实验的基础上, 若用波分复用器(WDM)代替二色镜, 则可以将尾纤输出的激光二极管抽运光通过光纤之间的熔接直接耦合进双包层光纤, 从而使器件紧凑小巧, 更具实用性。同时, 若采用光纤放大器技术^[3,4], 宽带光源的超荧光输出功率将是现在的 4 倍, 从而实现真正的大功率宽带放大的自发辐射谱的输出。

参 考 文 献

- [1] Liu K, Digonnet M, Shaw H J *et al.*. 10 mW superfluorescent single-mode fiber source at 1060 nm. *Electron. Lett.*, 1987, **23**(24):1320~1321
- [2] Duling III I N, Burns W K, Goldberg L. High-power superfluorescent fiber source. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(1):33~35
- [3] Minelly J D, Morkel P R, Jedrzejewski K P *et al.*. Nd³⁺-doped singlemode fibre superfluorescent source with 320 mW output power. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(18):1613~1614
- [4] Goldberg L, Koplow J P, Moeller R P *et al.*. High-power superfluorescent source with a side-pumped Yb-doped double-cladding fiber. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(13):1037~1039
- [5] Magne S, Druetta M, Goure J P *et al.*. An ytterbium-doped monomode fiber laser: Amplified spontaneous emission, modeling of the gain and tunability in an external cavity. *J. Lumin.*, 1994, **60&61**:647~650
- [6] Digonnet M J F. Theory of superfluorescent fiber lasers. *J. Lightwave Technol.*, 1986, **LT-4**(11):1631~1639
- [7] Duling III I N, Moeller R P, Burns W K *et al.*. Output characteristics of diode pumped fiber ASE sources. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1991, **QE-27**(4):995~1003

High-Power Yb-Doped Double-Cladding Fiber Broadband Superfluorescent Source

Li Yigang Liu Weiwei Fu Chengpeng Qin Bin Hu Xun Lu Kecheng

(Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

(Received 2 June 2000; revised 18 August 2000)

Abstract: The experimental results on high-power Yb-doped double-cladding fiber broadband superfluorescent source pumped by a 976 nm laser diode are reported. The maximum superfluorescent output power is 54.11 mW, while the slope efficiency is 69.35%, central wavelength of superfluorescent spectrum is 1082 nm with a 17.2 nm 3dB bandwidth.

Key words: Yb-doped double-cladding fiber; amplified spontaneous emission; superfluorescent