

文章编号: 0253-2239(2003)09-1080-2

10 瓦级双包层光纤激光器*

楼祺洪¹ 周 军^{1,2} 朱健强¹ 朱晓峥¹ 孔令峰¹ 董景星¹ 魏运荣¹ 王之江¹

1 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800

2 常熟高等专科学校物理系, 江苏省常熟 215500

摘要: 考虑到所用大功率激光二极管的光谱特性, 对光纤激光器的基本法布里-珀罗腔型稍加改变, 研制出激光二极管抽运的 10 W 级双包层光纤激光器, 获得最大功率为 11.8 W、波长 1100 nm 的单模激光输出。

关键词: 半导体激光器; 双包层光纤激光器; 平均有效吸收系数

中图分类号: TN248 文献标识码: A

双包层光纤激光器是高效率激光器小型化、全固化、集成化发展的一个重要方向和必然趋势, 是当前国际上着力开发的新型激光器件。随着双包层光纤制作工艺的改进、大功率激光二极管及其光束整形技术等相关技术的发展, 国际上双包层光纤激光器的连续输出功率已从数百毫瓦上升到百瓦量级^[1,2], 据文献报道, 国内光纤激光的最高输出也已达 5 W 左右^[3,4]。最近我们采用中心波长在 970 nm 左右的激光二极管抽运双包层光纤, 实现了波长在 1100 nm、功率为 11.8 W 的单模激光输出。

所用抽运源是准直输出的大功率激光二极管模块, 输出为 11 mm × 11 mm 3 mrad × 3 mrad 的方形准直光束, 经测其中心波长约在 970 nm。所用双包层光纤为矩形内包层的掺 Yb³⁺ 石英光纤, 内包层尺寸为 170 μm × 330 μm, 数值孔径为 0.47, 掺 Yb³⁺ 纤芯直径约 9 μm, 数值孔径约为 0.1, 掺 Yb₂O₃ 的质量分数为 0.015, 光纤长度 50 m。采用直接端面抽运的方式抽运双包层光纤, 一焦距为 23 mm、数值孔径为 0.26 的光学耦合系统将抽运光聚焦为 110 μm × 110 μm 的光斑, 直接耦合入双包层光纤的内包层。光纤的抽运端面有一双色片(对 975 nm 高透; 对 1.1 μm 高反)作为前腔镜, 另一端直接利用端面的菲涅耳反射($R = 4\%$)作输出镜。

首先对抽运源激光二极管的波长特性进行了测量, 发现我们所用激光二极管模块的中心波长并不

在希望的 975 nm, 而是在 965 nm 到 975 nm 之间(图 1)。增大激光二极管的驱动电流 I 和控制温度 T 可以使得其输出向长波有所漂移, 但依然不能将其中心波长移到掺 Yb 石英光纤的吸收峰 975 nm 附近。为了描述激光二极管的光谱特性对双包层光纤吸收的影响, 我们引入平均有效吸收系数 α_{eff} :

$$\alpha_{\text{eff}} = \int \alpha(\lambda) p(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

其中 $\alpha(\lambda)$ 是所用掺 Yb³⁺ 光纤在波长 λ 的吸收(衰减)系数, $p(\lambda)$ 是激光二极管的归一化输出光谱, 即

$$\int p(\lambda) d\lambda = 1. \quad (2)$$

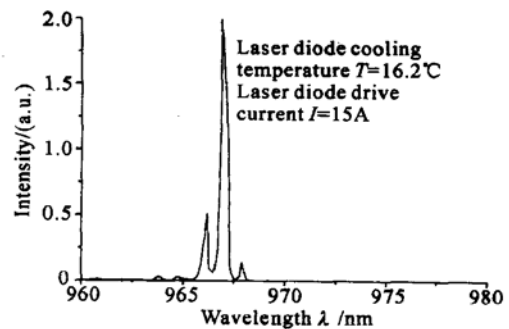


Fig. 1 Spectrum properties of laser diode at 970 nm

从(1)式和(2)式, 根据测量得到的激光二极管的光谱特性, 计算得到抽运源在不同条件下对所用 50 m 双包层光纤的平均有效吸收系数(表 1)。根据文献[5], 对这种光纤之所以选择 50 m, 是为了在 915 nm 波长抽运下可以实现 13 dB 的抽运吸收。由于掺 Yb 石英在 975 nm 的吸收比在 915 nm 的吸收高, 所以采用 975 nm 的激光二极管抽运该光纤, 理论上应该达到 39 dB 的抽运吸收, 然而, 由于我们激光二极管的光谱特性和所用光纤的吸收特性不匹

* 国家自然科学基金(60244005)、中国科学院知识创新工程和上海市科委光科技专项(012261002)资助课题。

E-mail: lzlx@263.net

收稿日期: 2003-01-16; 收到修改稿日期: 2003-05-12

配, 导致实际上的平均有效吸收系数 $\alpha_{\text{eff}} < 13$ dB, 因此如果采用常规的法布里-珀罗腔型, 即光纤的输出端仅仅作垂直光纤轴线平面抛光, 将会有较多的抽运光不能被纤芯吸收而从输出端漏出, 使得转化效率较低。采用这种方式, 实验测得的光纤激光输出光谱特性如图 2 所示, 可知输出光中除了波长 1110 nm 的光纤激光外, 还存在较多波长 965 nm 附近的剩余抽运光。

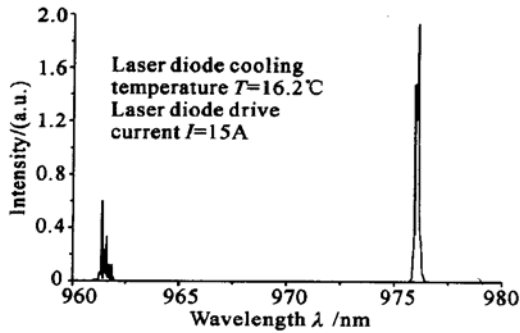


Fig. 2 Output spectrum of laser at 1110 nm and remained pump light at 965 nm

Table 1 The average effective absorption (attenuation) coefficient α_{eff} for the 975 nm laser diode

$T / ^\circ\text{C}$	I / A	$\alpha_{\text{eff}} / \text{dB}$
13.6	15.0	6.3
14.1	15.0	6.3
16.2	15.0	6.3
22.3	15.0	6.5
19.1	20.1	6.4
19.2	25.0	8.5
19.3	30.0	9.7
21.8	30.0	11.2

为了提高双包层光纤的转换效率和激光功率, 并且使得输出激光波长不变, 仍然在 1110 nm, 我们对上述基本的法布里-珀罗腔型稍加改变, 紧贴双包层光纤的输出端放置一双色片 ($R > 95\%$ @ 970 nm, $T > 97\%$ @ 1110 nm)。这样就可将剩余抽运光反射

回光纤重新吸收, 使得 α_{eff} 接近于 13 dB, 提高了抽运光的利用率和激光输出功率。采用这种方法, 在激光二极管驱动电流 $I = 40$ A, 制冷温度在 17.2 $^\circ\text{C}$ 时, 得到了 11.8 W 的激光输出, 激光输出功率曲线如图 3 所示。有关抽运耦合部分和输出准直的模块化工作正在进行中, 近期就可实现实用化、小型化的 10 W 级双包层光纤激光器。

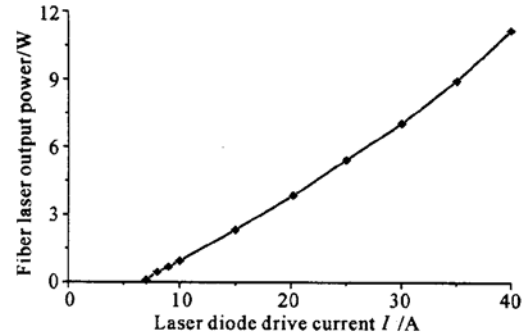


Fig. 3 Fiber laser output power vs drive current of laser diode ($T = 17.2$ $^\circ\text{C}$)

感谢瞿荣辉副研究员、夏江珍博士在光谱测量方面给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 Dominic V, MacCormack S, Waarts R *et al.*. 110 W fiber laser. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(14): 1158~1160
- 2 Limpert J, Liem A, Hofer S *et al.*. 150 W Nd/Yb codoped fiber laser at 1.1 μm . CELO'2002, CThx1, 2002. 590
- 3 Zhou Jun, Lou Qihong, Li Tiejun *et al.*. 4.9 W CW ytterbium-doped double-cladding fiber laser and its output characteristics. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2003, **23**(4): 476~479 (in Chinese)
- 4 Lu F, Fan Y, Wang H *et al.*. High slope efficiency 6.5 W Yb-doped double clad fiber laser. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2002, **A29**(8): 888 (in Chinese)
- 5 Muendel M H. High power fiber laser studies at the Polaroid Corporation. *Proc. SPIE*, 1998, **3264**: 21~29

10 W Double-Cladding Fiber Laser

Lou Qihong¹ Zhou Jun^{1,2} Zhu Jianqiang¹ Zhu Xiaozheng¹ Kong Lingfeng¹
Dong Jingxing¹ Wei Yunrong¹ Wang Zhijiang¹

[¹ Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800
² Physics Department, Changshu College, Changshu, Jiangsu Province 215500]

(Received 16 January 2003; revised 12 May 2003)

Abstract: In consideration the spectrum characteristics of the pump high-power laser diode, a modified Fabry-Perot fiber laser resonator is designed. And a fiber laser with more than 10 W output, near diffraction-limited and operating in the 1110 nm region is developed.

Key words: laser diode; double-cladding fiber laser; average effective absorption coefficient