

300 W 侧面分布式抽运掺 Yb 全光纤放大器

董繁龙 葛廷武 张雪霞 谭祺瑞 王智勇

300 W all-fiber amplifier with distributed side-coupled pump configuration

Dong Fan-Long Ge Ting-Wu Zhang Xue-Xia Tan Qi-Rui Wang Zhi-Yong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 084205 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.084205

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.084205>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I8>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

覆盖可见光波长的掺 Er 光纤飞秒光学频率梳

Er-fiber femtosecond optical frequency comb covering visible light

物理学报.2015, 64(9): 094204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.094204>

光子晶体光纤飞秒激光非线性放大系统的耦合动力学过程研究

Coupling dynamics for a photonic crystal fiber femtosecond laser nonlinear amplification system

物理学报.2015, 64(9): 094203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.094203>

高重复频率全光纤被动锁模掺铒光纤激光器

High-repetition-rate passively mode-locked erbium-doped all fiber laser

物理学报.2015, 64(6): 064206 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.064206>

增益导引-折射率反导引大模场光纤激光器抽运技术研究进展

Progress in gain-guided and index-antiguide large mode area fiber laser pump technology

物理学报.2015, 64(2): 024210 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.024210>

780W 全光纤窄线宽光纤激光器

780 W narrow linewidth all fiber laser

物理学报.2014, 63(13): 134205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.134205>

300 W 侧面分布式抽运掺 Yb 全光纤放大器*

董繁龙 葛廷武 张雪霞 谭祺瑞 王智勇†

(北京工业大学激光工程研究院, 国家产学研激光技术中心, 北京 100124)

(2014年9月22日收到; 2014年10月30日收到修改稿)

采用角度磨抛的方式, 在纤芯/包层为 20/400 μm 双包层掺 Yb 光纤上制作了侧面抽运耦合器. 该耦合器对 975 nm 的半导体二极管抽运光的耦合效率最高可达 97%, 对 1080 nm 信号光的泄漏比小于 2%. 分析了侧面抽运耦合器的性能以及多个侧面抽运耦合器的级联分布对抽运耦合效率的影响; 同时, 在前向抽运和双向抽运方式下, 分析了级联耦合器的分布及信号光泄漏比对激光器整体效率的影响, 并进行了数值模拟. 采用自行研制的侧面抽运耦合器, 搭建了侧面耦合分布式抽运、掺 Yb 双包层全光纤主振荡功率放大器, 获得了波长为 1080 nm、功率为 303 W 的基模激光输出. 进一步增加抽运点个数, 提高抽运功率, 可获得更高的输出功率.

关键词: 光纤放大器, 角度磨抛侧面抽运耦合器, 侧面分布式抽运, 信号光泄漏比

PACS: 42.55.Wd, 42.55.Xi, 42.60.By, 42.60.-v

DOI: 10.7498/aps.64.084205

1 引言

抽运耦合技术是高功率光纤激光器的核心技术之一, 其目的是要将几十、几百乃至数千瓦的抽运光耦合进双包层光纤, 从而获得高功率的激光输出. 锥形光纤束端面抽运和侧面抽运是光纤激光器的主要抽运方式. 目前, 光纤激光器大多采用端面抽运的方式, 并且可以很容易地实现千瓦级的激光功率输出^[1-4]. 然而, 端面抽运方式会在双包层增益光纤的抽运端面产生严重的热效应. 杨未强等^[5]理论上分析了高功率光纤激光器二级抽运的热管理问题, 发现二级抽运方式在热管理上具有明显的优势. 但在现有技术条件下, 采用端面抽运方式——不管是直接抽运还是二级抽运, 使用常规的 976 nm 激光二极管抽运单模掺 Yb 光纤的极限功率是 4.2 kW^[6]. 因此, 侧面抽运耦合方式越来越受到重视. 在高功率光纤激光器领域, 只有 SPI 公司和 IPG 光子公司掌握了独特的侧面抽运耦合技术. 2009 年, IPG 光子公司采用侧面抽运多级放大的方

式已经实现了 10 kW 的单模激光输出^[7]. 对于低中等功率光纤激光器领域, 其他一些侧面抽运方法被广泛采用, 例如传统的光纤角度磨抛法^[8]、棱镜-光纤耦合法^[9]、V 形槽侧面耦合技术^[10]、嵌入式透镜耦合法^[11]、嵌入式反射镜耦合法^[12]、衍射光栅侧面耦合技术^[13,14]和蚀刻硅毛细管侧面耦合方法^[15]. 应当指出的是, 棱镜-光纤耦合方式、V 形槽侧面耦合技术、嵌入式透镜耦合法和嵌入式反射镜耦合法是不适合全光纤结构的, 它们的机械性能难以保证并且耦合功率有限(不超过 20 W); 而衍射光栅侧面耦合技术和蚀刻硅毛细管侧面耦合方法因其结构复杂难以制造, 导致应用范围极小. 传统的角度磨抛抽运耦合技术使用光学胶将抽运光纤与主光纤(双包层光纤)粘接在一起, 因此限制了激光功率(不超过 10 W). 清华大学欧攀等^[16,17]提出了通过二氧化碳激光将角度磨抛后的抽运光纤直接与主光纤熔接制作耦合器的方法. 并且他们通过该方法将 144.7 W 的抽运光耦合进 D 形双包层光纤, 抽运耦合效率达到 90%^[18].

虽然单个侧面抽运耦合器的耦合功率和耦合

* 国家科技重大专项(批准号: 2010ZX04013-052)和科研基地-科技创新平台-光纤激光器研究平台(批准号: PXM2011_014204_09_000060)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: fanlongd@emails.bjut.edu.cn

效率不断提高,但是将多个侧面抽运耦合器级联后用于高功率光纤激光器时,总的抽运耦合效率以及激光器的光-光转换效率呈现明显的下降趋势.事实上,在制作耦合器的过程中,由于制作工艺的原因,将不可避免地改变主光纤的波导结构,使得信号光(激光)在经过抽运点时发生“泄漏”,即部分信号光泄漏到光纤包层.因此,如何减少纤芯中信号光泄漏到包层,才是侧面多点抽运方案所要解决的关键问题.清华大学的欧攀等^[19,20]对侧面多点抽运耦合方式下的光纤激光器进行了初步分析,采用三个侧面抽运耦合器对掺Yb光纤激光器进行分布抽运,获得了1.38 W的激光输出,斜效率为48.9%. Glick等^[21]在纤芯/包层为47/400 μm的放大级光纤上制作了6个侧面抽运耦合器,最终获得了287 W的1070 nm激光输出,光-光效率为50%.可见,采用侧面抽运方式,光纤激光器的功率和效率都比较低.

本文自主研制了角度磨抛侧面抽运耦合器,并对侧面多点抽运耦合方式下的光纤放大器进行了数值模拟,分析了侧面分布抽运方式下单个耦合器的性能以及耦合器的分布方式对光纤放大器效率的影响.本文的研究可为侧面抽运技术在更高功率光纤激光器上的实现提供参考.

2 角度磨抛侧面抽运耦合器

角度磨抛侧面抽运耦合器的基本结构如图1所示^[22].耦合器由双包层增益主光纤和抽运光纤组成,包括抽运输入端、信号输入端和输出端3个可用端口.

传统的角度磨抛侧面抽运耦合技术是在双包层主光纤上剥去一小段涂覆层和外包层,将内包层沿纵向进行磨抛,得到小段用于耦合抽运光的平面

(内包层为D形、正多边形光纤,由于其本身已有直线边,因此不必磨抛).然后将端面按一定角度磨抛好的抽运光纤的纤芯相对该平面紧密贴合,并固定好两纤的相对位置.最后,还需要利用折射率匹配的胶将抽运光纤与主光纤之间的空隙填充,从而将抽运光有效导入主光纤内包层中.该侧面抽运耦合方式可以获得高达90%的耦合效率,但是耦合功率还未见有高于1 W的报道.

而利用二氧化碳激光照射抽运光纤与主光纤的粘接部,可以在不改变主光纤形状的条件下直接将抽运光纤和主光纤熔接在一起.这种新型的侧面抽运耦合器可以承受百瓦级的抽运功率.

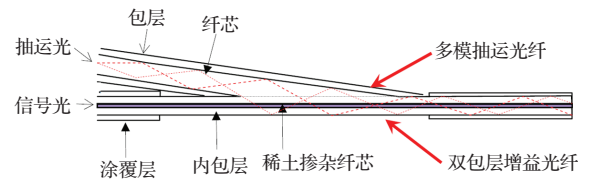


图1 (网刊彩色) 角度磨抛侧面抽运耦合器结构图
Fig. 1. (color online) Schematic diagram of angle-polished side-pump coupler.

为了能够将耦合器直接用于光纤放大器,我们采用大模场面积掺Yb双包层光纤作为主光纤,如图2(a)所示.该光纤芯径为20 μm,内包层为正八边形,对边距离400 μm,边长约为150 μm,内包层数值孔径 NA_o 为0.46.多模抽运光纤的芯径为105 μm、数值孔径 NA_m 为0.22、包层直径为125 μm.

实验中,首先将多模光纤的一端按照一定的角度进行磨抛形成一个椭圆斜面,该椭圆斜面的长轴方向和光纤的轴线方向的夹角为 θ ,最后形成的侧面耦合器的夹角主要由 θ 决定.由于选取的多模光纤纤芯的折射率 n_m 和主光纤内包层的折射率 n_o 相同,均为熔融石英的折射率1.4507,则只要保证

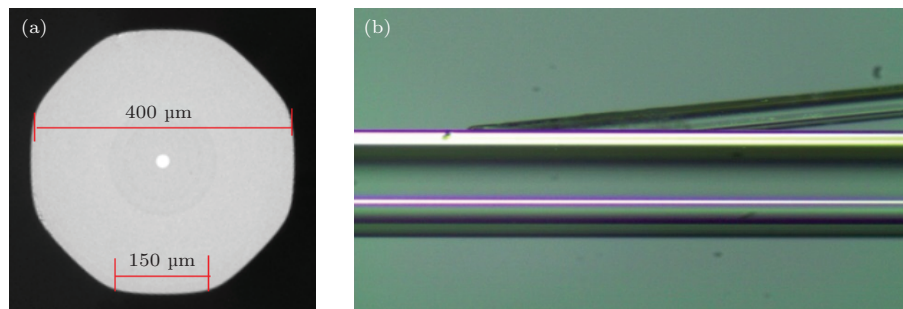


图2 (网刊彩色) 角度磨抛侧面抽运耦合器显微图像 (a) 主光纤端面; (b) 角度磨抛侧面抽运耦合器
Fig. 2. (color online) Microscopic images of angle-polished side-pump coupler: (a) main fiber cross-sectional view; (b) actual picture of angle-polished side-pump coupler.

$$\theta \approx \theta_c = \arcsin\left(\frac{NA_o}{n_o}\right) - \arcsin\left(\frac{NA_m}{n_m}\right) = 9.8^\circ \quad (1)$$

就能将多模光纤中的抽运光有效地耦合入主光纤, 其中 θ_c 为理论上的磨抛耦合主夹角. 因此, 实验中采用的多模光纤的磨抛夹角 θ 约为 10° . 我们将磨抛好的多模光纤与主光纤熔接, 效果如图 2(b) 所示. 然后对其耦合效率进行了测试. 由于采用掺 Yb 光纤作为主光纤, 它会吸收抽运光而产生放大自发辐射. 因此, 在测试过程中, 为避免增益光纤对抽运光的吸收, 只能在光纤放大自发辐射阈值功率下进行测试. 实验中的最大抽运功率为 25 W, 耦合器前端的掺 Yb 光纤长度为 0.5 m, 以确保无放大自发辐射产生. 侧面耦合效率定义为主光纤输出端抽运光功率 P_1 和信号输入端抽运光功率 P_2 之和与多模光纤内抽运光功率 P_{in} 之比,

$$\beta = \frac{P_1 + P_2}{P_{in}}, \quad (2)$$

其中, 输出端功率 P_1 较大, 输入端 P_2 较弱. 功率计测试结果显示, 输入端功率 P_2 约为 P_1 的 3%. 对制作完成的耦合器进行了测试, 耦合器的抽运光耦合效率最高可达 97%.

引言中提到, 侧面分布式抽运的缺点是会使一部分信号光泄漏到包层. 为了定量分析其对信号光的影响, 定义耦合器的信号光泄漏比

$$\sigma = \frac{P'}{P}, \quad (3)$$

其中, P 为从耦合器的信号输入端注入的信号光功率, P' 为耦合器输出端前剥除了泄漏到包层的信号光后的输出功率. 耦合器的信号光泄漏比的大小, 除了受其本身的波导结构影响外, 还与注入信号光源的光束质量有关. 实验上, 当注入信号光源为基模时, 单个耦合器的信号光泄漏比可以做到 2% 以下.

3 侧面多点抽运光纤放大器

3.1 侧面耦合器的抽运光泄漏比

侧面分布式抽运相比于端面抽运的优势在于可以将抽运点分散, 从而减轻单个抽运点的抽运压力. 因此, 在相同的总抽运功率下, 抽运点越多, 光纤上的抽运功率分布越平均; 抽运点的分布越分散, 光纤上各处的抽运功率分布越平均. 但同时,

抽运点越多, 泄漏的抽运功率就越多. 因此, 在确定抽运方案时, 要综合考虑以上因素.

首先, 考虑单个耦合器的耦合泄漏比. 一个耦合器对应光纤上的一个抽运点, 假设某个耦合器在自身抽运点处的泄漏比为 δ_0 , 并且该耦合器后接有 N 个耦合器(相应的, 就有 N 个抽运点), 后续第 n ($n < N$) 个抽运点的泄漏比为 δ_n , 则该耦合器总的抽运泄漏比为

$$\delta = \delta_0 + \sum_{n=1}^N \delta_n. \quad (4)$$

若相邻抽运点的间距为 Δz , 且抽运泄漏比 δ_n 均相同为 δ' , 则

$$\delta = \delta_0 + \sum_{n=1}^N \delta' (1 - \delta')^{n+1} \cdot e^{-n\alpha\Delta z}. \quad (5)$$

图 3(a) 给出了三种抽运泄漏比下抽运点间距与总抽运效率的关系. 这里, 自身抽运点的泄漏比 $\delta_0 = 0.05$, 增益光纤对抽运光的吸收系数 α 为 0.29 m^{-1} . 抽运点数 $N = 20$. 可见, 抽运点越分散,

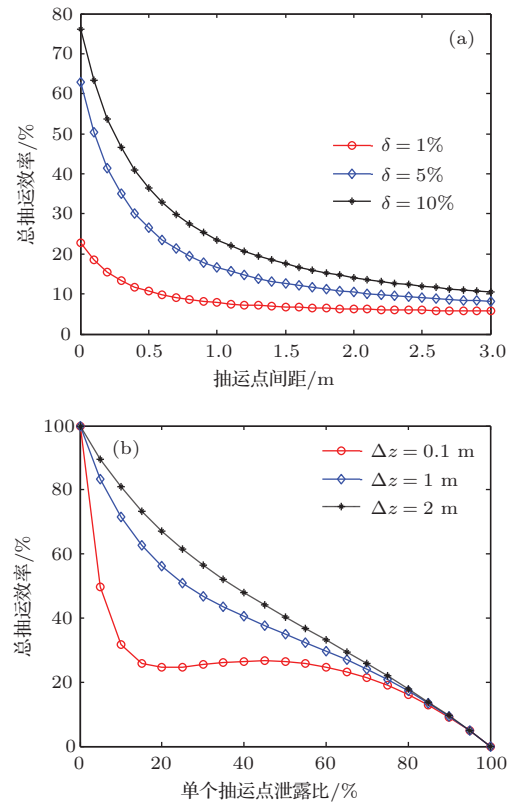


图 3 (网刊彩色) (a) 抽运点间距对总抽运效率的影响; (b) 单个抽运点的耦合效率对总抽运效率的影响

Fig. 3. (color online) (a) Relationship of the distance between adjacent pump-points to the total pumping efficiency; (b) relationship between the coupling efficiency of a single pump-point and the total pumping efficiency.

总的抽运泄漏比越大, 抽运耦合效率越低. 考虑所有抽运点泄漏比相同的情况, 即 $\delta_0 = \delta'$. 图 3(b) 给出了三种不同抽运点间距下, 单个抽运点泄漏比与总的(经过 20 个抽运点)抽运泄漏比的关系, 可见单个抽运点泄漏比在从 0 上升到 20% 的过程中总的抽运泄漏比有明显的增大. 因此, 为了获得较高的抽运耦合效率, 单个抽运点泄漏比应该低于 10%.

3.2 侧面耦合器的信号光泄漏比

在制作侧面抽运耦合器的过程中, 不可避免地会改变主光纤的波导结构, 从而导致纤芯中的信号光泄漏到光纤包层. 因此, 分析信号光的泄漏比对激光器效率的影响尤其必要. 我们对侧面耦合分布式抽运下的光纤放大器进行了数值模拟, 放大级采用 25 m 长的 20/400 μm 双包层掺 Yb 光纤, 该光纤对 975 nm 的抽运光的吸收系数 $\alpha = 1.26 \text{ dB/m}$.

注入放大级的种子信号光功率为 20 W, 放大级上 8 个侧面耦合器级联分布, 抽运源采用 8 个 60 W、波长为 975 nm、带尾纤输出的半导体激光器.

首先, 考虑 8 个级联侧面耦合器的信号光泄漏比均相同的情形. 采用龙格-库塔法和打靶法对前向抽运和双向抽运下放大级光纤上的功率分布分别进行模拟, 得到结果如图 4(a) 和图 4(b) 所示.

图 4(a) 为前向抽运结果, 此时抽运点间距为 1 m, 单个耦合器对抽运光和信号光的泄漏比分别为 10% 和 2%. 在种子激光功率为 20 W、放大级抽运功率为 480 W 的条件下, 获得了 364 W 的激光输出; 图 4(b) 为双向抽运结果, 4 个前向抽运点, 4 个后向抽运点, 每组抽运点间距为 1 m, 同样的耦合器参数下, 最终获得了 374 W 的激光输出. 可见, 双向抽运下的激光输出功率更高. 但是, 从图 5 可以看出, 当耦合器的信号光泄漏比逐渐增大时, 前向抽运方式下的输出功率更高.

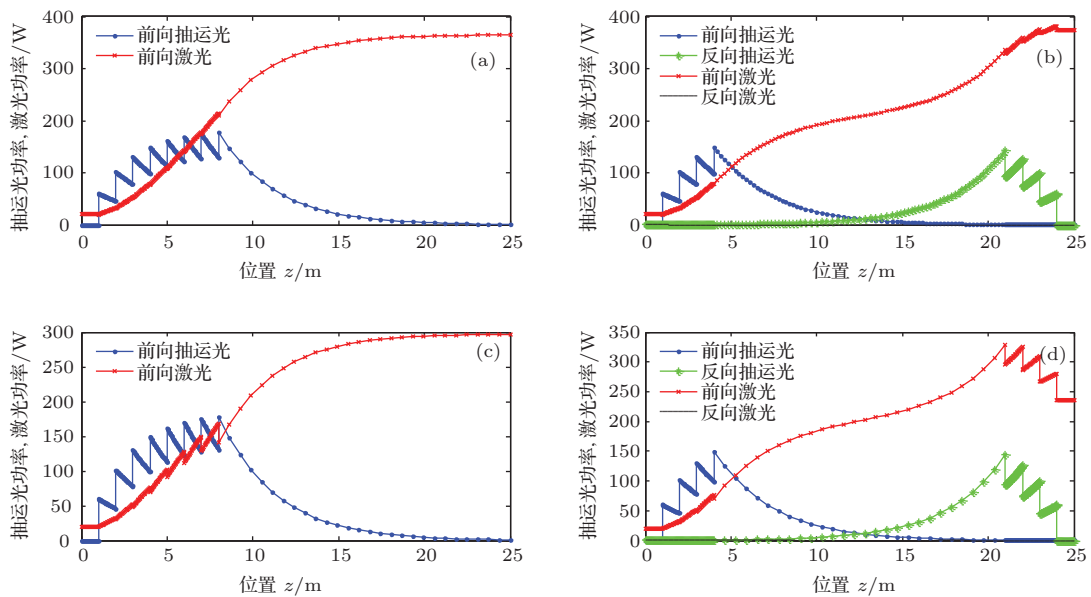


图 4 (网刊彩色) 放大级光纤上的功率分布 (a) 信号光泄漏比均相等, 前向抽运; (b) 信号光泄漏比均相等, 双向抽运; (c) 信号光泄漏比呈等差分布, 前向抽运; (d) 信号光泄漏比呈等差分布, 双向抽运

Fig. 4. (color online) Power distribution of gain fiber. (a) The same signal light leakage ratio, the forward pumping; (b) the same signal light leakage ratio, bidirectional pumping; (c) the signal light leakage ratio is arithmetic distribution, forward pumping; (d) the signal light leakage ratio is arithmetic distribution, bidirectional pumping.

图 4 所示的模拟结果是在所有耦合器的信号光泄漏比均相同的条件下得到的. 实验中发现, 多个耦合器级联使用时, 后级耦合器的信号光泄漏比要比前级耦合器的高. 考虑到 20/400 μm 掺 Yb 光纤并非单模光纤, 它可以容纳 LP_{01} 和 LP_{11} 模两种导波模式, 其中 LP_{01} 模——基模在纤芯内的能量分布更集中, 但是耦合器的存在改变了波导结构,

导致一部分 LP_{01} 模转化成 LP_{11} 模, 从而有更多的信号光泄漏到包层.

现在, 考虑级联耦合器的信号光泄漏比依次增大的情况. 根据实验结果, 我们假设 8 个级联耦合器的信号光泄漏比依次为 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14% 和 16%. 单个耦合器的抽运光泄漏比为 10%, 耦合器间距为 1 m. 在种子激光功率为

20 W、放大级抽运功率为480 W的条件下,图4(c)和图4(d)给出了两种抽运方式下的结果:前向抽运下,输出激光功率为297 W;双向抽运下,输出激光功率为236 W.但是,前向抽运下光纤上抽运功率的最大值达到了178 W,这对耦合器的散热是不利的.在确定抽运方案时,要综合考虑激光器效率和耦合器的散热.一个折中的方法是,采用前密后疏的不均匀分布抽运方式.图6给出了不均匀分布抽运的结果.放大级8个级联耦合器的间距从0.5 m到3 m成等差分布.在种子激光功率为20 W、放大级抽运功率为480 W的条件下,最终输出激光功率为288 W.对比图4(c),输出功率有所下降,但是光纤上的抽运功率的最大值也下降到了134 W.

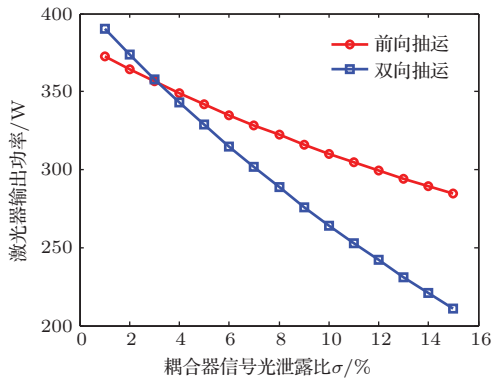


图5 (网刊彩色) 两种抽运方式下耦合器信号光泄漏比对激光器输出功率的影响

Fig. 5. (color online) Signal light leakage ratio versus the output power of fiber laser under the bidirectional pumping and the forward pumping condition.

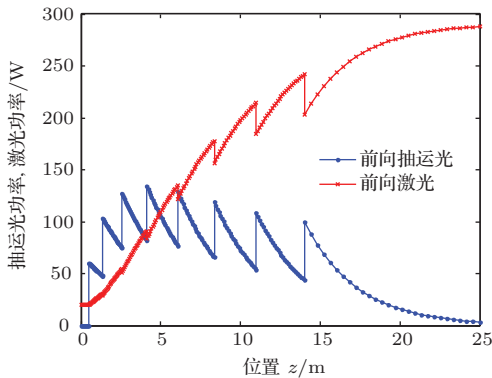


图6 (网刊彩色) 非均匀分布抽运下放大级光纤上的功率分布

Fig. 6. (color online) Power distribution of amplifier stage fiber under non-uniform distribution pumping.

3.3 实验装置与结果

侧面分布式抽运主振荡功率放大全光纤激光器原理示意图如图7所示.主振荡级采用两只国

产商用中心波长为975 nm、最大输出功率为60 W的半导体激光器作为抽运源,对谐振腔内20 m的20/400 μm 掺Yb光纤进行抽运.放大级采用22 m的20/400 μm 掺Yb光纤作为多点抽运的主光纤,8根多模光纤在侧面同时进行前向抽运,并采用不均匀分布抽运方式,抽运点间距从0.5 m到2 m之间成等差数列分布,每个抽运点采用一个60 W的半导体激光器作为抽运源.振荡级和放大级之间以及输出端前均采用自制的包层光剥离器用来剥除包层信号光和残余抽运光.

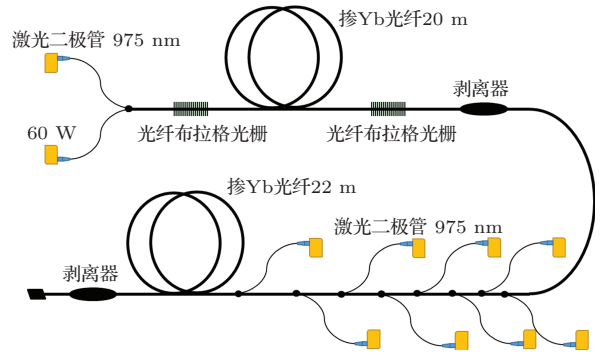


图7 (网刊彩色) 侧面多点抽运方式下的光纤放大器
Fig. 7. (color online) Schematic diagram of all-fiber amplifier with distributed side-coupled pump configuration.

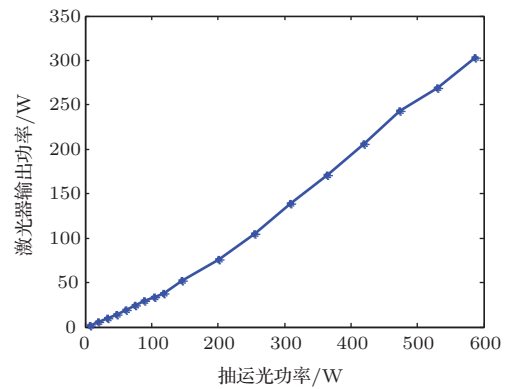


图8 侧面抽运光纤放大器输出激光功率

Fig. 8. (color online) Output power of side-pumped fiber laser.

激光功率随抽运功率的变化如图8所示.最大抽运功率为586 W时,剥除包层信号光和残余抽运光后的输出功率为303 W,总的光-光转换效率为52%.振荡级注入抽运功率为117 W时,谐振腔输出1080 nm波长的单模激光,功率为82 W,但经过放大级后,大部分激光泄漏到包层,最终输出功率只有38 W.放大级8只激光二极管注入抽运功率为469 W时,输出激光功率为265 W,放大级光-光转换效率为57%.

4 结 论

本文开展了基于侧面分布式抽运方式的高功率掺 Yb 光纤放大器实验研究. 自行研制了角度磨抛侧面抽运耦合器, 实现了 90% 以上的抽运光耦合效率. 理论分析表明, 除抽运光耦合效率和信号光泄漏比之外, 侧面抽运点的分布也是影响光纤放大器效率的主要因素. 实验发现, 多个耦合器级联使用时, 后级耦合器的信号光泄漏比要比前级耦合器的高. 为了获得较高的功率输出, 只能采用前向抽运方式. 搭建了全光纤结构主振荡功率放大器, 采用 8 个级联侧面抽运耦合器对放大级光纤进行抽运, 获得了 303 W 的功率输出, 光-光转换效率为 52%, 其中, 放大级光-光转换效率达到为 57%. 进一步增加抽运点数和抽运功率可获得更高的激光功率输出.

参考文献

- [1] Jeong Y, Sahu J K, Payne D N, Nilsson J 2004 *Opt. Express* **12** 6088
- [2] Limpert J, Roser F, Klingebiel S, Schreiber T, Wirth C, Peschel T, Eberhardt R, Tunnermann A 2007 *IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron.* **13** 537
- [3] Gapontsev V, Gapontsev D, Platonov N, Shkurikhin O, Fomin V, Mashkin A, Abramov M, Ferin S 2005 *2 kW CW Ytterbium Fiber Laser with Record Diffraction-limited Brightness* (IEEE: Conference on Lasers and Electro-Optics Europe) p508
- [4] Duan K L, Zhao B Y, Zhao W, Wang Q S, Zhou L 2009 *Chin. J. Lasers* **12** 3219 (in Chinese) [段开棕, 赵保银, 赵卫, 王屹山, 周良 2009 中国激光 **12** 3219]
- [5] Yang W Q, Hou J, Song R, Liu Z J 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 084210 (in Chinese) [杨未强, 侯静, 宋锐, 刘泽金 2011 物理学报 **60** 084210]
- [6] Zhu J J, Du W B, Zhou P, Xu X J, Liu Z J 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 064209 (in Chinese) [朱家健, 杜文博, 周朴, 许晓军, 刘泽金 2012 物理学报 **61** 064209]
- [7] IPG Photonics Corporation *IPG Photonics Successfully Tests World's First 10 Kilowatt Single-mode Production Laser* http://www.ipgbeijing.com/Collateral/Documents/English-US/Summer_Newsletter_IPG_2009.pdf [2014.09.21]
- [8] Larsen J J, Vienne G 2004 *Opt. Lett.* **29** 436
- [9] Weber T, Lüthy W, Weber H P 1996 *Appl. Phys. B* **63** 131
- [10] Ripin D J, Goldberg L 1995 *Electron. Lett.* **31** 2204
- [11] Wang D Z, Wang Y G, Liu S P, Ma X Y 2009 *Acta Opt. Sin.* **29** 974 (in Chinese) [王大拯, 王勇刚, 刘素平, 马晓宇 2009 光学学报 **29** 974]
- [12] Moore S W, Koplow J P, Hansen A, Kliner D A V, Wien G 2008 *Conference on Quantum Electronics and Laser Science* San Jose, USA, May 4-9, 2008 p1
- [13] Zhang F, Wang C C, Ning T G, Liu C, Geng R, Lu Y C 2009 *Opt. Commun.* **282** 3325
- [14] Zhang F, Wang C C, Ning T G, Liu C, Geng R, Lu Y C 2010 *J. Opt.* **12** 015501
- [15] Jauregui C, Böhme S, Wenetiadis G, Limpert J, Tünnermann A 2010 *Proc. SPIE* **7580** 75801E
- [16] Ou P, Yan P, Gong M L, Wei W L 2004 *Chin. Opt. Lett.* **2** 285
- [17] Ou P, Yan P, Gong M L, Zhang C X 2008 *Laser Technol.* **32** 8 (in Chinese) [欧攀, 闫平, 巩马理, 张春熹 2008 激光技术 **32** 8]
- [18] Xiao Q, Yan P, Yin S, Hao J, Gong M L 2011 *Laser Phys. Lett.* **8** 125
- [19] Yan P, Gong M L, Li C, Ou P, Xu A A 2005 *Opt. Express* **13** 2699
- [20] Ou P, Yan P, Gong M L, Wei W L, Yuan Y Y 2004 *Opt. Commun.* **239** 421
- [21] Glick Y, Sintov Y, Koplowitch T, Nafcha Y 2007 *Conference on Lasers and Electro-Optics* Baltimore, USA, May 6-11, 2007 p1
- [22] Sintov Y, Glick Y, Koplowitch T, Katz O, Nafcha Y, Shamir Y, Lavi R 2007 *Proc. SPIE* **6552** 65520R

300 W all-fiber amplifier with distributed side-coupled pump configuration*

Dong Fan-Long Ge Ting-Wu Zhang Xue-Xia Tan Qi-Rui Wang Zhi-Yong[†]

(National Center of Laser Technology, Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

(Received 22 September 2014; revised manuscript received 30 October 2014)

Abstract

The angle-polished side-pump coupler is fabricated by fused splicing angle-polished multimode fibers and 20/400 μm double-clad Yb-doped large mode area fiber together. The coupling efficiency of side-pumped coupler for 975 nm pumping light can reach up to 97%, and the leakage ratio of 1080 nm signal light is less than 2%. We analyze the performance of a single side-pumped coupler and also the influence of the distribution of cascade stage couplers on the efficiency of fiber amplifier. Using self-developed side-pumped couplers, we build a distributed side-pumped, ytterbium-doped double-clad all-fiber master oscillator amplifier, and an continuous and single mode laser of 1080 nm wavelength with a 303 W maximum output power is obtained. Finally, increasing the number of the side couplers to improve pump power, the output power of the amplifier becomes higher.

Keywords: fiber amplifier, angle-polished side-pumped couplers, distributed side-pump, leakage ratio of signal light

PACS: 42.55.Wd, 42.55.Xi, 42.60.By, 42.60.-v

DOI: [10.7498/aps.64.084205](https://doi.org/10.7498/aps.64.084205)

* Project supported by the National Science and Technology Major Project of the Ministry of Science and Technology of China (Grant No. 2010ZX04013-052) and the Scientific Research Foundation-Science and Technology Innovation Infrastructure-Fiber Laser Research Infrastructure, China (Grant No. PXM2011_014204_09_000060).

[†] Corresponding author. E-mail: fanlongd@emails.bjut.edu.cn