

高功率包层光剥离器最新研究进展

孙 静^{1,2}, 邹淑珍², 陈 寒², 于海娟², 王旭葆¹, 林学春^{2*}

¹北京工业大学激光工程研究院, 北京 100124;

²中国科学院半导体研究所全固态光源实验室, 北京 100083

摘要 包层光剥离器(CLS)是保证高功率全光纤激光器稳定性与光束质量的核心器件,有效剥除包层光是光纤激光器全光纤化、工程化的重要步骤。详细阐述了 CLS 制备技术的研究现状,并将其分为基于折射效应、吸收效应、散射效应 3 种 CLS 制备技术,分析了各种 CLS 制备技术的特点。该研究为未来可实现低温升系数、高衰减系数的高功率 CLS 制备技术提供了参考。

关键词 光纤光学; 光纤器件; 包层光剥离器; 高功率; 全光纤激光器

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

doi: 10.3788/LOP54.110001

Recent Progress of High-Power Cladding Light Stripper

Sun Jing^{1,2}, Zou Shuzhen², Chen Han², Yu Haijuan², Wang Xubao¹, Lin Xuechun²

¹*Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;*

²*Laboratory of All-Solid-State Light Sources, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*

Abstract The cladding light stripper (CLS) is a key device to guarantee the stability and beam quality of high-power all fiber lasers. It is an especially important step to effectively strip the cladding light for all fiber lasers and its engineering. We present a detailed discussion about the latest progress of the fabrication technology of CLS, which is classified three types based on refraction effect, absorption effect and scattering effect. The characteristics of various techniques to manufacture CLS are analyzed. Some suggestions are put forward to achieve high power cladding light strippers with low temperature rise coefficient and high attenuation coefficient in the future.

Key words fiber optics; fiber device; cladding light stripper; high power; all fiber lasers

OCIS codes 060.2340; 140.3460

1 引 言

光纤激光器具有转换效率高、能量密度高、光束质量好、结构紧凑和性能稳定等优点,已受到了广泛的关注^[1-2],并被应用于各个领域,包括激光光纤通信、光纤传感、工业制造、军事国防安全、医疗器械仪器设备、大型基础设施建设等^[3-6]。随着光纤器件制作水平与光纤激光技术^[7-12]的飞速发展,高功率全光纤激光器的最高输出功率不断被刷新^[13]。目前美国 IPG 公司已经推出了输出功率为 20 kW 的单模光纤激光器及输出功率为 500 kW 的多模光纤激光器^[14]。

包层抽运技术^[15]是光纤激光器产生高功率信号激光输出的关键技术之一。然而,在高功率全光纤激光器中,双包层光纤(DCF)的包层结构中不可避免地含有残余抽运光、放大自发辐射^[16]和因非理想熔接、光纤

收稿日期: 2017-04-24; **收到修改稿日期:** 2017-05-25

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFB0402201)

作者简介: 孙 静(1992—),女,硕士研究生,主要从事光纤激光器核心器件方面的研究。

E-mail: jingsun@emails.bjut.edu.cn

导师简介: 王旭葆(1972—),男,博士,副研究员,主要从事固体激光技术方面的研究。E-mail: wangxubao@bjut.edu.cn

* **通信联系人.** E-mail: xclin@semi.ac.cn

弯曲^[17]等因素泄漏的信号光,这些包层光会恶化输出激光的光束质量^[18],甚至损坏半导体抽运源和激光器系统中的其他光纤器件,例如准直器、光纤合束器等^[19],从而严重影响激光器的稳定性。因此,如何将包层光可靠、高效地从包层波导中剥离是研制高功率全光纤激光器的关键问题之一。

包层光剥离器(CLS)是一种用来滤除光纤中包层光的无源器件,其基本工作原理是通过破坏包层光传输的全反射条件,使包层光折射或散射出内包层。近年来,美国、英国、加拿大、伊朗、中国等国家的研究人员均开展了对 CLS 制备技术的研究,通过设计多种剥离结构或提出不同的制备方法,优化了器件温度场分布,提高了器件的剥离功率水平,并且在高包层光功率衰减下保持纤芯中信号光的高效率、高光束质量传输。本文分类阐述了国内外 CLS 的制备技术方案,系统分析了各种制备技术方案的特点,对实现低温升、高功率、大衰减系数的 CLS 制备技术提出了建议。

2 高功率 CLS 研究现状

高性能 CLS 具有大包层光功率衰减系数、低纤芯光传输损耗和小温升系数,能在高剥离功率下安全稳定地工作。根据这些特点,下面对各种 CLS 制备技术的优势和劣势进行总结和分析。

2.1 基于折射效应的 CLS 制备技术

关于添加高折射率层的 CLS 制备方法的研究开展得较早,该方法利用所添加高折射率层的折射率高于光纤包层折射率的特点,将包层光折射出光纤包层之外,其剥离效果与折射率差值相关。最常用的 CLS 制备方法是采用涂覆高折射率胶的方法。基于此,研究者设计了不同的剥离结构以优化器件的温升性能。

Wetter 等^[19]于 2008 年对 CLS 进行了报道。为了解决器件严重的局部热效应并减小器件的温升系数,Wetter 等提出了使用两种具有不同折射率的光胶涂覆裸纤段的方案,涂覆总长度为 50 mm;当包层光输入功率为 78 W 时,获得了 30 dB 的功率衰减系数,器件的温度升至 55 °C,温升系数为 0.4 °C/W。

Guo 等^[20]于 2014 年提出了一种级联式 CLS 结构。将长度为 50 mm、纤芯直径为 30 μm 、包层直径为 250 μm 的光纤分为 5 段,剥去其中 3 段涂覆层(第 1 段剥去涂覆层的 1/4,第 3 段剥去涂覆层的 1/2,第 5 段剥去所有的涂覆层),分别在剥去部位涂覆折射率 n 为 1.42,1.46,1.56 的光胶以完成 CLS 的制备,并将 CLS 嵌入铜热沉中进行散热,其原理如图 1 所示。所制备的 CLS 在 150 W 包层光输入功率下可获得 18 dB 的功率衰减系数,局部温度小于 64 °C。Guo 等在 Wetter 等报道的 CLS 结构的基础上,加入剥离有效区域变化的设计,提高了器件的温度分布均匀性。

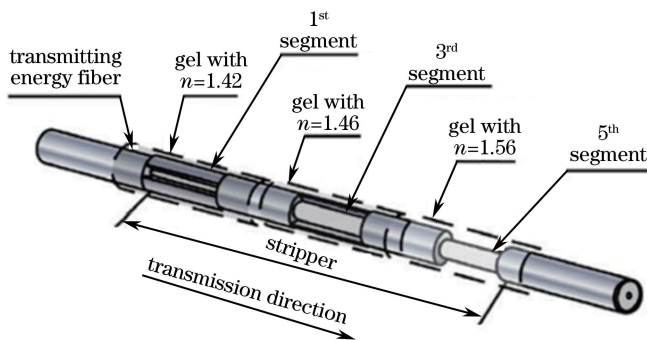


图 1 分段剥离不同涂覆层区域的级联式剥离器制作原理图

Fig. 1 Schematic of cascaded stripper for stripping different coating areas

Bansal 等^[21]于 2015 年设计了一种利用硅硼酸毛细玻璃管改进器件温升性能的剥离结构,使用氢-氧火焰作为热源,将折射率匹配的透明石英套管均匀收缩固定在包层光剥离区域的裸纤上,并沿石英套管表面涂覆高折射率光胶,使包层光在较大的表面上被导出,其原理如图 2 所示。剥离区长度为 50 mm,获得的最大功率衰减系数为 20 dB。在 100 W 的包层光功率下,表面最高温度达 98 °C,温升系数为 0.75 °C/W。裸光纤与直径较大、折射率匹配的玻璃套管熔融为一体的结构在本质上增加了光剥离区域的光纤内包层直径,形成了一个附加包层,增大了传热面积,减小了散射光的功率密度,从而有效降低了光剥离区域的温度,并提高了 CLS 的稳定性。

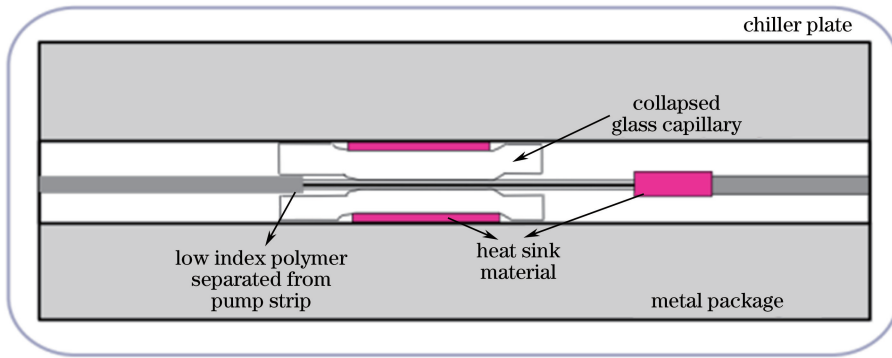


图2 剥离器横截面原理图

Fig. 2 Schematic of stripper cross section

2.2 基于吸收效应的 CLS 制备技术

在光纤包层表面包裹软金属材料是制备 CLS 的另一种技术方案。该方案利用金属对包层光的吸收特性产生包层光衰减。金属与包层的接触面积是影响 CLS 衰减系数和热扩散能力的重要因素。

Babazadeh 等^[22]于 2014 年分别对利用硒、金、铜和铝材料制备 CLS 的方法进行了研究,器件性能测试表明金属铜能够有效剥离包层光。将两片厚度均为 $120\ \mu\text{m}$ 的铜片分别放置于裸纤上下,利用 $100\ \mu\text{m}$ 厚的石墨片填充铜片之间的间隙,并利用螺栓挤压石墨片使光纤与铜片接触良好,其原理如图 3 所示。基于 4 个器件级联结构的有效剥离区长度为 280 mm,获得的 CLS 最大功率衰减系数为 12.4 dB。在 150 W 的包层光输入功率下,表面最高温度为 $36\ ^\circ\text{C}$,且热分布均匀。

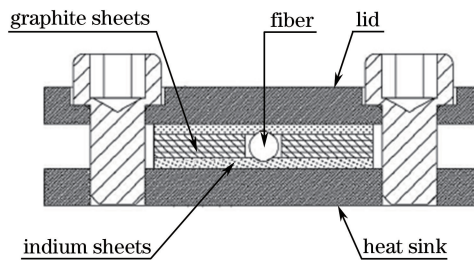


图3 钢制剥离器横截面图

Fig. 3 Cross-section diagram of In stripper

2.3 基于散射效应的 CLS 制备技术

对于高功率光纤激光器,光纤包层中残余的抽运光功率可达数百瓦,对 CLS 的温度特性提出了更高的要求。基于散射效应的 CLS 的原理为:通过破坏原本平滑的光纤包层表面,使包层光在包层与空气界面处发生散射,产生包层光衰减。基于散射效应的 CLS 制备方法主要包括光纤表面腐蚀和激光微加工等。

2.3.1 采用光纤表面腐蚀工艺

Kliner 等^[23]于 2013 年制备了基于全腐蚀结构的 CLS。将刻蚀胶作用于光纤包层表面,刻蚀胶包含氢氟酸和酸性氟化物,二者化学反应生成的氟硅酸盐晶体牢牢附着在光纤包层表面,如图 4 所示。该结构表面可发生随机光散射,从而将包层光导出。该结构中有效剥离区域的长度为 180 mm,当光源数值孔径分别为 0.05, 0.13, 0.44 时,输入包层光可分别获得 6 dB, 14 dB, 27 dB 的功率衰减系数。无主动冷却条件下,该器件在最高测试功率(500 W)下稳定运行 6 h。这种制备方案预示腐蚀方法在提升器件剥离功率性能方面具有巨大的潜力。

Li 等^[24]于 2015 年提出了利用石英玻璃管制备腐蚀型 CLS 的方法,该方法的优势在于增强了该类型器件的机械强度并优化了升温性能,其原理如图 5 所示。在 200 W 的包层光输入功率下,获得最大 20 dB 的功率衰减系数,且最高温度为 $39\ ^\circ\text{C}$ 。

2.3.2 利用激光器在光纤表面进行微加工

Boehme 等^[25]于 2014 年提出了一种利用脉冲激光沉积工艺改变光纤表面结构的 CLS 制备方法。实验

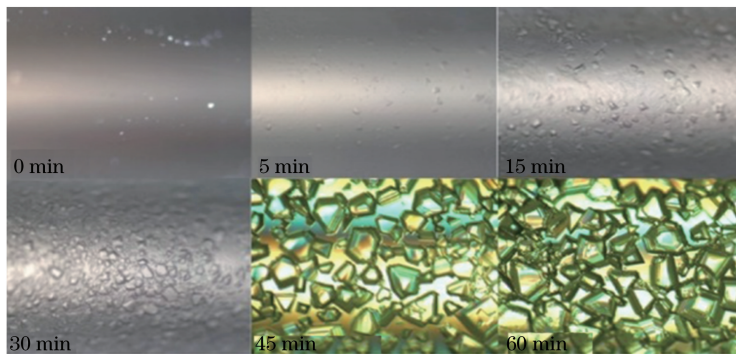


图4 不同时刻下被腐蚀的光纤表面光学显微图

Fig. 4 Optical micrographs of fiber surface etched for different times

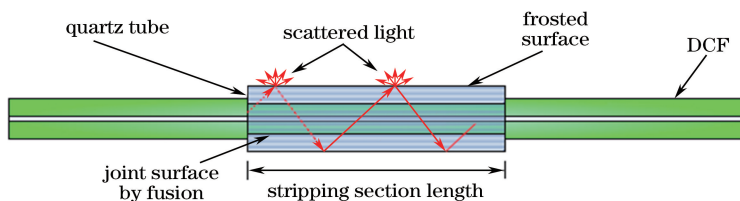


图5 包层光剥离器原理图

Fig. 5 Diagram of cladding light stripper

装置如图6所示,将包层直径为 $500\ \mu\text{m}$ 的无芯光纤外包层剥离 $80\ \text{mm}$,并将光纤固定于可移动光纤夹持器上,在待加工光纤下方放置排气装置和熔融石英基质。首先,将二氧化碳(CO_2)激光器发出的激光聚焦于熔融石英基质上,使其蒸发并在光纤表面沉积。然后,沿水平方向移动并旋转光纤,使熔融石英在待加工光纤表面均匀沉积。最后,利用 CO_2 激光器形成环形激光光束,利用激光光束局部融化光纤上的熔融石英沉积物,从而获得光纤表面具有特殊结构的CLS。在无主动冷却的条件下,对该器件在 $200\ \text{W}$ 的光功率下进行 $2\ \text{h}$ 的稳定性测试,获得了最大 $10\ \text{dB}$ 的功率衰减系数,表面温度达 $135\ ^\circ\text{C}$ 。

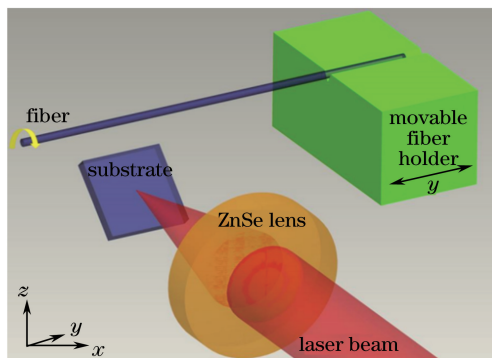


图6 实验装置示意图

Fig. 6 Schematic of experimental setup

2016年Berisset等^[26]利用紫外激光器对光纤进行微加工,利用光纤表面形成的纹理来实现包层光剥离,如图7所示。对包层全表面进行微加工处理,制得条纹深度为 $7.5\ \mu\text{m}$ 的CLS,测试获得了最大 $15.2\ \text{dB}$ 的功率衰减系数,温升系数为 $1\ ^\circ\text{C}/\text{W}$;当剥离功率约为 $11\ \text{W}$ 时,器件升温至 $38\ ^\circ\text{C}$ 。

Boyd等^[27-28]使用 CO_2 激光器在光纤包层表面生成周期消融沟道,以完成CLS的制备。将包层直径为 $400\ \mu\text{m}$ 、纤芯直径为 $20\ \mu\text{m}$ 的光纤剥除 $60\ \text{mm}$ 涂覆层,并将其固定于垂直步进电机上,用直径为 $25.4\ \text{mm}$ 、焦距为 $50\ \text{mm}$ 的硒化锌(ZnSe)透镜将激光聚焦于光纤表面,通过改变激光脉冲宽度来控制光纤表面消融深度,从而实现包层光的剥离。实验原理及处理后光纤结构形态如图8所示。对熔断深度为 $35\ \mu\text{m}$ 、熔断间隔为 $620\ \mu\text{m}$ 、总长为 $60\ \text{mm}$ 的CLS进行测试,当输入光功率为 $300\ \text{W}$ 时,功率衰减系数提高至 $20\ \text{dB}$,表面温度达 $80\ ^\circ\text{C}$ 。

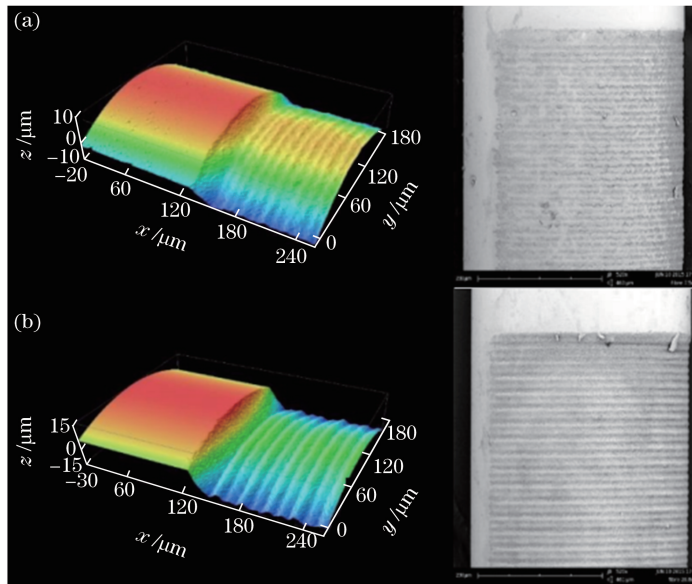


图7 光纤表面纹理结构电子显微图。(a)条纹深度为 $7.5\ \mu\text{m}$;(b)条纹深度为 $28.8\ \mu\text{m}$

Fig. 7 Electron micrographs of texture structure on fiber surface. (a) Stripe with depth of $7.5\ \mu\text{m}$; (b) stripe with depth of $28.8\ \mu\text{m}$

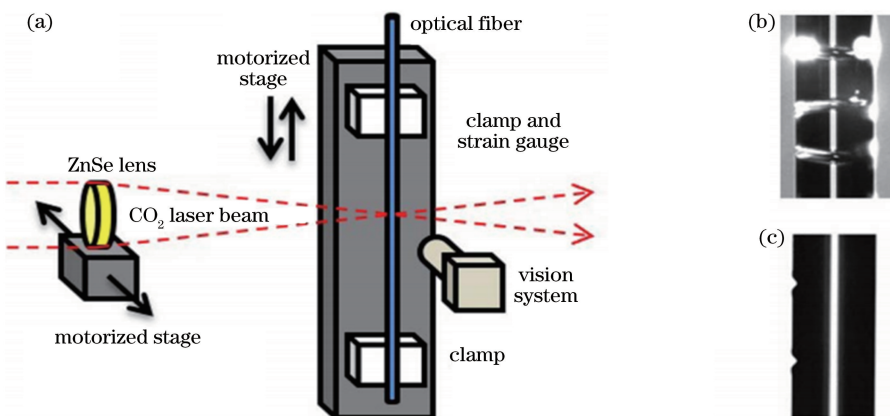


图8 (a)制备剥离器的实验装置原理图;(b)光纤表面消融沟道烧蚀图;(c) 90° 视角的形貌图

Fig. 8 (a) Diagram of experimental setup for fabrication of stripper; (b) ablation diagram of melting channel of fiber surface; (c) topography at view of 90°

2.4 基于折射效应结合散射效应的 CLS 制备技术

Poozesh 等^[29]于 2012 年提出了腐蚀法结合高折射率胶涂覆法来制备 CLS 的方案。器件剥离结构如图 9 所示。首先,使用氢氟酸将裸纤腐蚀成 20 mm 的锥形区和 30 mm 的直区(直径为 $160\ \mu\text{m}$);然后用氢氟酸蒸气毛化锥形区表面,以形成微孔结构;最后在锥形区和直区上分别涂覆折射率为 1.37 和 1.56 的紫外光固化胶,并将该结构嵌入铜热沉中通水冷却。最高测试功率为 90 W,包层光功率衰减系数可达 16.7 dB,最高温度不超过 $52.7\ ^\circ\text{C}$ 。

Yan 等^[30]于 2017 年展示了一种将腐蚀工艺与涂覆高折射率层结合的级联式 CLS 制备方案。该器件由

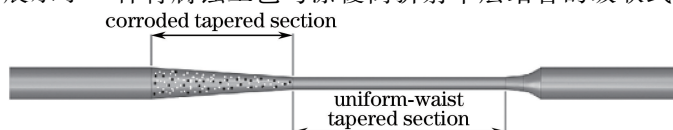


图9 锥形光纤原理图

Fig. 9 Schematic of tapered fiber

4级组成,总长为1.5 m,如图10所示。将经氢氟酸和酸性氟化物腐蚀处理并涂覆低折射率($n < 1.4$)紫外光固化胶的裸纤作为剥离结构的第1级(长度为80 mm),以均匀剥除一部分包层光。使用高折射率($1.440 \leq n \leq 1.451$)紫外光固化胶涂覆的裸纤作为剥离结构的第2、3级,使用高折射率($n > 1.48$)紫外光固化胶涂覆的裸纤作为剥离结构的第4级。每一级CLS的长度均为200 mm,用来剥除其余部分的包层光,使用4块通水热沉分别对4级剥离区域进行高效散热。在功率为1187 W的包层光下获得了最大26.59 dB的功率衰减系数,器件整体最高温度为35 °C。

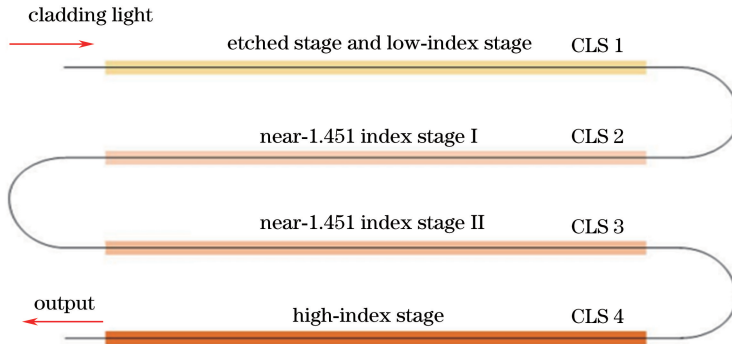


图10 千瓦级剥离器结构原理图

Fig. 10 Structural diagram of stripper at kilowatt level

2.5 各方法对比

表1总结了已报道的不同CLS制备技术下包层光剥离器的性能指标及其特点。

表1 不同制备技术下包层光剥离器性能比较

Table 1 Performance comparison of cladding optical stripper fabricated by different technologies

Method	Temperature /°C , stripping power /W	Attenuation /dB	Characteristic
Polymer-recoated CLS (one polymer-recoated)	55 °C , 35 W	17.60	Simple structure, easy to fabricate but low thermal damage threshold and limited stripping power
Polymer-recoated CLS (three polymers-recoated)	64 °C , 150 W	18.00	Same to the above
Polymer-recoated CLS (surface-recoated on index-matched glass capillary)	98 °C , 100 W	20.00	High demand for precision preparation with glass capillary collapse
Etched CLS (surface etched fiber)	500 W	27.00	High attenuation, low mechanical strength
Etched CLS (surface etched on index-matched glass capillary)	39 °C , 200 W	20.00	Low temperature elevation, high mechanical strength, high demand for precision preparation
Metal-covered CLS (indium)	36 °C , 150 W	12.40	Uniform power stripping, low temperature elevation but limited attenuation
Laser surface micro machined CLS (solation of an optical fiber by using CO ₂ laser)	80 °C , 300 W	20.00	Low mechanical strength, high fabrication efficiency but complex setup
Polymer-recoated combined with etched CLS (surface etched + one polymer-recoated fiber)	52.7 °C , 90 W	16.70	Low temperature elevation and mechanical strength
Polymer-recoated combined with etched CLS (surface etched + various polymers-recoated fiber)	35 °C , 1187 W	26.59	High attenuation, low temperature elevation but large size of the device

综合以上对各类 CLS 制备技术及剥离效果的阐述,可以看出:1) 基于涂覆高折射率胶制备 CLS 时,器件均需要在高强度的通水热沉冷却下才能稳定工作,使用时需要充分考虑散热问题,且高折射率胶本身的高温耐受性差,限制了该类型器件的功率承载能力;2) 在无主动冷却条件下,腐蚀型的 CLS 将包层光直接散射至空气中,器件制备过程中未引入易热损伤的介质,大大提高了器件的热处理能力,CLS 承载的功率达数百瓦,且在合适的长度上具有高剥离系数,在高功率应用中具有很大的优势;3) 应用毛细玻璃管制备的 CLS 可显著提高器件的温度性能和机械强度,毛细玻璃管是一种强有效的辅助结构;4) 利用金属包裹制备 CLS 的方案比较新颖,但是其剥离能力有限;5) 利用先进的激光表面微加工方法制备 CLS,其制备效率高,重复性好,但制备装置要求高精密的机械与光学控制,且制备过程中易引入光纤波导熔融弯曲形变;6) 将腐蚀法应用于高折射率胶涂覆型 CLS 的制备中,可实现光源数值孔径的预先衰减,大大降低了后续高折射率胶剥离区域的热负载,精密配置多种高折射率胶可有效地降低器件的温升系数,但是增加了器件长度,影响了器件的结构紧凑性。

未来对 CLS 的研究将主要着力于进一步提高剥离功率和增大衰减系数,以制备出低温升系数、高衰减系数的紧凑型器件,使其服务于具有更高输出功率的全光纤激光器。添加高折射率层、制备光纤表面微结构是 CLS 技术发展的主流方向,相应的制备方法也将多元化。另外,采用毛细玻璃管作为制备 CLS 的辅助结构可使器件同时满足大衰减、低温升和高机械强度的性能要求。

3 结 论

根据包层光滤除的原理对 CLS 的制备方法进行分类,包括折射型、吸收型和散射型,并对不同类型的 CLS 制备方法及其性能进行了详细阐述,分析了各个制备方案的优劣势,提出了今后 CLS 制备技术的发展方向。CLS 作为高功率全光纤激光器的核心器件之一,它的性能直接影响高功率全光纤激光器输出激光的品质。深入研究光纤包层腐蚀技术与制备工艺,制备出满足工程化应用的低温升系数、高承载功率和大衰减系数的 CLS,对于国产高功率全光纤激光器的实用化具有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] Richardson D J, Nilsson J, Clarkson W A. High power fiber lasers: Current status and future perspectives[J]. Journal of the Optical Society of America B, 2010, 27(11): B63-B92.
- [2] Zhang Jian, Lin Shijun, Su Shaoxing, *et al.* Effect of defocusing amount on weld shaping in fiber laser welding of aluminum alloy[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(12): 121405.
张健, 林仕君, 苏绍兴, 等. 光纤激光焊接铝合金离焦量对焊缝成形的影响[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(12): 121405.
- [3] Wu Yuan, Wang Bingjie, Wang Yuncai. Research progress in applications of chaotic laser[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2015, 52(6): 060005.
武媛, 王冰洁, 王云才. 混沌激光应用研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2015, 52(6): 060005.
- [4] Lou Qihong. High-power fiber laser and its applications[M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2010.
楼祺洪. 高功率光纤激光器及其应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010.
- [5] Zeng Hui Fang, Xiao Fanghui. The development of Yb-doped double-clad fiber laser and its application[J]. Laser Technology, 2006, 30(4): 438-441.
曾惠芳, 肖芳惠. 高功率光纤激光器及其应用[J]. 激光技术, 2006, 30(4): 438-441.
- [6] Yu Hailong, Wang Xiaolin, Su Rongtao, *et al.* Advances in high power femtosecond fiber laser systems[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(5): 050007.
于海龙, 王小林, 粟荣涛, 等. 高功率飞秒光纤激光系统的研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(5): 050007.
- [7] Wang Yonggang, Ma Xiaoyu, Zhang Hongbo, *et al.* Research and development of the high power semiconductor laser for pumping and its applications[J]. Optoelectronic Technology, 2003, 23(4): 250-253.
王勇刚, 马晓宇, 张洪波, 等. 泵浦用大功率半导体激光器研制与应用发展状况[J]. 光电子技术, 2003, 23(4): 250-

253.

- [8] Lou Qihong, Zhu Jianqiang, Zhou Jun, *et al.* Double cladding fiber laser and its application in military[J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2003, 14(5): 28-32.
楼祺洪, 朱健强, 周军, 等. 双包层光纤激光器及其在军事中的应用[J]. 装备指挥技术学院学报, 2003, 14(5): 28-32.
- [9] Tang Z, Zhang R, Mondal S K, *et al.* Optimization of fiber-optic coupling and alignment tolerance for coupling between a laser diode and a wedged single-mode fiber[J]. Optics Communications, 2001, 199(1): 95-101.
- [10] Kim J W, Jelger P, Sahu J K, *et al.* High-power and wavelength-tunable operation of an Er, Yb fiber laser using a volume Bragg grating[J]. Optics Letters, 2008, 33(11): 1204-1206.
- [11] Liu Deming, Yan Changling. Key technologies and applications for high power fiber laser[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(s3): 105-109.
刘德明, 阎嫦玲. 高功率光纤激光器的关键技术及应用[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(s3): 105-109.
- [12] 黄榜才. 高功率全光纤激光器及放大器中关键问题的研究[D]. 天津: 南开大学, 2008.
- [13] Muendel M H, Farrow R, Liao K H, *et al.* Fused fiber pump and signal combiners for a 4-kW ytterbium fiber laser[C]. SPIE, 2011, 7914: 791431.
- [14] IPG Photonics. High power CW fiber lasers[EB/OL]. [2017-04-24]. <http://www.ipgphotonics.com/en/products/lasers/high-power-cw-fiber-lasers/>
- [15] Hu Kai, Jiang Qun. The principle and application of the cladding-pump technology[J]. Study on Optical Communications, 2004, 5: 58-61.
胡恺, 蒋群. 包层泵浦技术原理及其应用[J]. 光通信研究, 2004, 5: 58-61.
- [16] Xiao Y, Brunet F, Kanskar M, *et al.* 1-kilowatt CW all-fiber laser oscillator pumped with wavelength-beam-combined diode stacks[J]. Optics Express, 2012, 20(3): 3296-3301.
- [17] Koplow J P, Kliner D A V, Goldberg L. Single-mode operation of a coiled multimode fiber amplifier[J]. Optics Letters, 2000, 25(7): 442-444.
- [18] Dong Fanlong, Zhao Fangzhou, Ge Tingwu, *et al.* Optimization of beam quality for all-fiber lasers[J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(4): 844-849.
董繁龙, 赵方舟, 葛廷武, 等. 全光纤激光器光束质量的优化[J]. 光学精密工程, 2014, 22(4): 844-849.
- [19] Wetter A, Faucher M, Sévigny B. High power cladding light strippers[C]. SPIE, 2008, 6873: 687327.
- [20] Guo W, Chen Z, Zhou H, *et al.* Cascaded cladding light extracting strippers for high power fiber lasers and amplifiers[J]. IEEE Photonics Journal, 2014, 6(3): 14298675.
- [21] Bansal L, Supradeepa V R, Kremp T, *et al.* High power cladding mode stripper[C]. SPIE, 2015, 9344: 93440F.
- [22] Babazadeh A, Nasirabad R R, Norouzey A, *et al.* Robust cladding light stripper for high-power fiber lasers using soft metals[J]. Applied Optics, 2014, 53(12): 2611-2615.
- [23] Kliner A, Hou K C, Plötner M, *et al.* Fabrication and evaluation of a 500 W cladding-light stripper[C]. SPIE, 2013, 8616: 8616ON.
- [24] Li T L, Wu J, Sun Y H, *et al.* An improved method for stripping cladding light in high power fiber lasers[C]. SPIE, 2015, 9255: 92550M.
- [25] Boehme S, Hirte K, Fabian S, *et al.* CO₂-laser-based coating process for high power fiber application[C]. SPIE, 2014, 8968: 89680Z.
- [26] Berisset M, Lebrun L, Faucon M, *et al.* Laser surface texturization for high power cladding light stripper[C]. SPIE, 2016, 9730: 973014.
- [27] Boyd K, Simakov N, Hemming A, *et al.* CO₂ laser-fabricated cladding light strippers for high-power fiber lasers and amplifiers[J]. Applied Optics, 2016, 55(11): 2915-2920.
- [28] Boyd K, Rees S, Simakov N, *et al.* Advances in CO₂ laser fabrication for high power fibre laser devices[C]. SPIE, 2016, 9728: 972838.
- [29] Poozesh R, Norouzy A, Golshan A H, *et al.* A novel method for stripping cladding lights in high power fiber lasers and amplifiers[J]. Journal of Lightwave Technology, 2012, 30(20): 3199-3202.
- [30] Yan P, Sun J, Huang Y, *et al.* Kilowatt-level cladding light stripper for high-power fiber laser[J]. Applied Optics, 2017, 56(7): 1935-1939.