

高功率光纤激光器发展概况

张劲松

(深圳信息职业技术学院 电子通信技术系,广东 深圳 518029)

摘 要:高功率光纤激光器以其优越的性能和超值的价格,在光通信、印刷、打标、材料加工、医疗等领域有着广阔的应用,将会很大程度上替代传统激光器,并开辟一些新的激光应用领域,扩大激光产业的规模。概述国内外高功率光纤激光器的发展历史与现状。展望了高功率光纤激光器的发展前景。

关键词:大功率光纤激光器;双包层光纤;包层泵浦

中图分类号:TN248 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2009)12-0008-03

Survey of high-power fiber lasers

ZHANG Jing-song

(Electronic communications technology department,

Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen Guangdong 518029, China)

Abstract: High-power fiber lasers have wide applications in the filed of optical communication, printing, marking, material processing, medicine etc. High-power fiber lasers may substitute conventional lasers largely, have new application of laser, broaden the scope of laser industry. The history and recent development of high-power fiber lasers home and aboard are surveyed. The prospect of high-power fiber lasers is discussed.

Key words: high-power fiber laser, double-clad fiber, cladding pump

0 引言

从 1960 年第一台激光器(美国 Maiman 等首先用红宝石晶体获得了激光输出)问世到现在近 50 年过去了,激光技术确如人们所期,渗入了各行各业:通信、生物技术、医学、印刷、制造、军事、娱乐业等。在某些领域,它已经成为不可替代的核心技术。但是激光产业规模还不够大,究其原因,不是人类不需要激光,而是传统激光器不好用:成本高、效率低、故障多。

光纤激光器的出现带来了扩大激光产业规模的希望。光纤激光器激光光束质量好,电-光转换效率高,输出功率大;所有的半导体器件及光纤组件都可以融接成一体,避免了元件的分立,可靠性得到极大提高。

1 国外高功率光纤激光器发展概况

光纤激光器的最早有关研究可以追溯到 20 世纪 60 年代初期,当时激光器刚刚出现不久,人们对激光器的研究投入了极大热情,积极研制开发各种新型激光器。1961 年,美国光学公司的 E. Snitzer 等在光纤激

光器领域进行了开创性的工作,他们利用棒状掺钕(Nd^{3+})玻璃波导获得了波长 $1.06\mu\text{m}$ 的激光。

20 世纪 70 年代,光纤通信的研究开始起步,新兴的光纤通信系统对新型光源的需求极大地刺激了激光器的研究工作。但由于人们的注意力集中到迅猛发展的半导体激光器技术上,以及光纤激光器自身的一些当时无法克服的困难,光纤激光器的研究逐渐沉寂下来。尽管如此,仍然取得了一些值得一提的成就。例如,1973 年, J. Stone 等成功地研制出能够在室温下连续工作的掺钕光纤激光器,他们采用的半导体注入型激光器终端泵浦方式对以后实用型光纤激光器的研究具有重要的意义。

20 世纪 80 年代,英国 Southampton 大学的 S. B. Poole 等用 MCVD 法成功地制备了低损耗的掺钕和掺铒光纤,因为掺铒光纤激光器的激射波长恰好位于通信光纤的 $1.55\mu\text{m}$ 低损耗窗口,人们开始认识到光纤放大器和光纤激光器在提高传输速率和延长传输距离等方面无疑将给光纤通信带来一场革命。掺铒光纤放大器(EDFA)得到了迅速的发展并成为一项成熟的应用技术。但是,光纤通信用的光纤激光器输出功率一般都是毫瓦级,一直以来只局限于光通讯等领域;同时由于巨大的行业差距,几乎无人把它与激光

收稿日期:2009-08-31。

作者简介:张劲松(1969-),男,博士,高工,现主要从事光纤激光器、放大器等方面的研究。

加工等联想到一起。然而,对于大多数的激光应用领域,相比于毫瓦级,我们更需要瓦级的光功率输出。

1988年 Snitzer 等人提出了双包层的泵浦技术^[1],改变了人们对光纤激光器只能产生小功率输出的看法,使得利用光纤激光器产生大功率和高亮度的激光输出成为可能。

初期人们主要研究掺 Nd³⁺包层泵浦光纤激光器,因其为 4 能级系统, 阈值功率低等优点。1992 年 Minelly 等人报道了输出功率大于 1W 的 Nd 掺杂双包层光纤激光器。1993 年,在包层泵浦掺 Nd³⁺光纤激光器实验中,H. Po 等得到了输出功率 5W、斜率效率 51% 的激光^[2];1995 年,H. Zellmer 等报道了输出波长为 1064nm、功率为 9.2W 的双包层泵浦的掺 Nd³⁺光纤激光器,斜率效率仅为 25%,主要是因为采用了圆形包层泵浦结构导致单模芯层对泵浦光的吸收不够充分^[3]。

然而,由于 Nd 的吸收带非常窄,对泵浦源的波长稳定性和精度要求较高,而 Yb 则具有相当宽的吸收带,可提供更高的转换效率与输出功率,人们转而重点关注 Yb 掺杂光纤激光器的研究。

1994 年,H.M.Pask 等率先在掺 Yb 石英光纤中实现了包层泵浦^[4],采用 975nm 的泵浦光在波长 1040nm 处获得了 0.5W 的激光输出,斜率效率达到了 80%。

1997 年,美国宝丽来公司的 M.Muendel 等报道了 1100nm、35.5W 的单模输出连续激光的掺 Yb 双包层光纤激光器^[5]。

1998 年,Lucent 技术公司的 Kosinki 等报道了一种内包层截面形状为星形的掺 Yb 双包层光纤激光器,得到了 20W 的激光输出。

1999 年 SDL 公司的 V. Dominic 等利用四个 45W 的半导体激光器从两端泵浦,研制成功 110W 的单模连续激光输出掺 Yb 双包层光纤激光器,光-光转换效率 58%^[6]。

2000 年,IPG 公司利用其发明的多光纤侧向耦合技术,率先实现百瓦级光纤激光器的全光纤化,为其商业应用奠定了坚实的基础。

2002 年,德国的 J.Limpert 等报告了双掺杂的双包层光纤激光器的结果。采用双波长(808nm、975nm)的半导体激光器泵浦 45m 长的 Nd/Yb 共掺的双包层光纤,获得 150W 激光输出。

2003 年,德国 V.Reichel 等、IPG 公司、SPI 公司分别报道了 200W、300W、610W 的单模激光输出的掺镱光纤激光器。

2004 年,SPI 研制成功 1.36kW 连续光纤激光器^[7]。

2005 年,IPG 公司推出了 2kW 单模光纤激光器^[8]。

2006 年,IPG 光纤激光器单模输出功率最高可达 3kW^[9]。

2009 年,IPG 在美国向客户交付了它的第一个 5kW 单模光纤激光器。

多模激光输出方面:2002 年 IPG 公司公布了 2kW 的掺 Yb 双包层光纤激光器。2004 年建成 10kW 掺 Yb 双包层光纤激光器。2005 年,17kW 光纤激光器进入生产线。目前输出功率已经达到 10 万瓦级。

2 国内高功率光纤激光器发展概况

国内关于双包层光纤激光器的研究始于 20 世纪 90 年代末。已有多家单位开展了双包层光纤激光器的研究,如中科院上海光学精密机械研究所、南开大学、中国电子科技集团公司第十一研究所、中国兵器装备研究院、北京光电技术研究所、烽火通信、清华大学、复旦大学等。

1999 年,南开大学与电子部 46 所合作研制出大数值孔径的掺 Yb 双包层光纤,并在双包层光纤光栅等方面进行了研究。

2000 年,上海光机所报道了输出功率为 3.84W,斜率效率为 55% 的掺 Yb 双包层光纤激光器的实验结果^[10];南开大学采用国产半导体激光器分别泵浦电子部 46 所、俄罗斯研制的双包层光纤,实现了大于 200mW 的激光输出^[11]。

2001 年,复旦大学研究了一种高效率可调谐掺镱双包层光纤激光器^[12],最大输出功率为 440mW,斜率效率约为 80%,输出波长可在 1070~1150nm 的范围内调谐。

2002 年,南开大学报道了全光纤掺 Yb 双包层光纤激光器,输出功率 1.2W。

2003 年,上海光机所分别报道了 50W、115 W 的掺镱双包层光纤激光器。

2004 年,清华大学报道了双端侧向泵浦掺 Yb 双包层光纤激光器,实现 137W 的激光输出;2004 年底,上海光机所与烽火通信合作,采用掺镱 D 形双包层光纤,获得了 444W 的激光输出,转换效率 70% 以上。

2005 年,北京光电技术研究所研制成功 30W 单模连续全光纤激光器。上海光机所研制出实用化 20W 光纤激光器。

2006 年,清华大学精密仪器系光子与电子学研究中心,采用烽火通信提供的新型掺 Yb 双包层光纤,当前向与后向泵浦功率共计约 1020W 时,输出功率达

张劲松:高功率光纤激光器发展概况

714W,光-光转换效率达到70%^[13]。中国电子科技集团公司第十一研究所研制的大功率光纤激光器,当泵浦光功率为1550W时,光纤激光输出功率为1207W,斜率效率为78.6%^[14]。中国兵器装备研究院采用双端泵浦、高效的偏振耦合等技术研制成功的单根光纤激光器输出功率达到1049W,光-光转换效率大于60%,电-光转换效率大于30%^[15]。

2007年上海光机所单根光纤获得了916W的激光输出。

3 结束语

包层泵浦光纤激光器在光纤通信、印刷、打标、材料加工、军事、医疗等领域有着广阔的应用。例如:对于目前在技术上已经成熟的百瓦量级以下的商用光纤激光器来说,其输出为单横模,可广泛应用于精密激光打标、雕刻、非金属的切割与小型元件的焊接等领域中。对于采用常规组束技术的上千瓦的高功率光纤激光器,很多特性也优于同等功率水平的CO₂或固体YAG激光器,可用于金属加工等领域。

在Raman放大器中有重要应用。光纤Raman放大器需要较高的泵浦功率,多年来未能实现其实用化的主要困难就是没有合适的泵浦源,固体激光器如Nd:YAG、Nd:YLF等虽然有足够功率,但系统复杂不适用于光通信系统。包层泵浦光纤激光器可让喇曼光纤放大器获得合适波长的高功率泵浦源,使Er提供的80nm带宽可以开发利用,远距离大容量的光通信成为了现实。包层泵浦光纤激光器由于结构紧凑、价格相对低廉和无气体、染料、溶剂等而特别适用于医学应用。可用于显微外科手术、医学诊断、药检、DNA排序、细胞分类以及蛋白质分析等领域。

高功率光纤激光器的出现是激光发展史的一个里程碑,以其优越的性能和超值的价,可能很大程度上替代传统的CO₂和YAG固体激光器,开辟一些新的激光应用领域,扩大激光产业的规模。

参考文献:

- [1] SNITZER E, PO H, HAKIM I F, et al. Double-clad, offset core Nd fiber laser[C]. Optical fiber communication Conf, 1988; PD5.
- [2] PO H, CAO J D, LALIBERTE B M, et al. High power neodymium-doped single transverse mode fiber laser [J]. Electron. Lett., 1993, 29 (17): 1500-1501.
- [3] ZELLMER H, WILLAMOWSKI A, TUNNERMANN A, et al. High power cw neodymium-doped fiber laser operating at 9.2W with high beam quality[J]. Opt. Lett., 1995, 20(6): 578-580.
- [4] PASK H M, ARCHAMBAUH J L, HANNA D C. Operation of cladding-pumped Yb₃₊ doped silica fibre lasers in 1 m region[J]. Electron. Lett., 1994, 30(11): 863-865.
- [5] MUENDEI M, ENGSTROM B, KEA D. 35-watt CW single mode ytterbium fiber laser at 1.1μ m [C]. Proc. CLEO 1997, Post-deadline paper CPD30-1.
- [6] DOMINIC V, ACCORMACK SM, WAARTS R. 110W fiber laser[J]. Electron. Lett., 1999, 35(14): 1158-1160.
- [7] JEONG Y, SAHU J K, PAYNE D N, et al. Ytterbium-doped large-core fiber laser with 1.36 kW continuous-wave output power [J]. Opt Express, 2004, 12(25): 6088-6092.
- [8] HECHT JEF. The highest single-mode powers of Yb-doped fiber Lasers achieved 2 kW CW output [C]//Lasers and Electro-Optics Europe; 2005, CLEO/Europe 2005 Conf., Publication Date: 12-17, 2005, 6: 508.
- [9] KENNEDY R E, POPOV S V, RULKOV A B, et al. High power fiber-integrated sources[EB/OL]. IET London Dec. 2006, www.Femto.ph.ic.ac.uk.
- [10] 陈柏, 陈兰荣, 林尊琪, 等. LD抽运的掺Yb双包层光纤激光器[J]. 中国激光, 2000, 27(2): 101-104.
- [11] 宁鼎, 王文涛, 阮灵, 等. 掺Yb双包层石英光纤的研制及其激光特性[J]. 中国激光, 2000, 27(11): 987-991.
- [12] 孙宏志, 梁建中, 胡谊梅, 等. 高效率可调谐掺镱双包层光纤激光器研究[J]. 光学学报, 2001, 22(11): 1372-1374.
- [13] 李晨, 闫平, 陈刚, 等. 采用国产掺Yb双包层光纤的光纤激光器连续输出功率突破700W[J]. 中国激光, 2006, 33(6): 738.
- [14] 赵鸿, 周寿恒, 朱辰, 等. 大功率光纤激光器输出功率超过1.2kW[J]. 激光与红外, 2006, 36(10): 930.
- [15] 李伟, 武子淳, 陈曦, 等. 大功率光纤激光器输出功率突破1kW[J]. 强激光与粒子束, 2006, 18(6): 890.

优秀论文评选活动公告

为推动光通信技术的发展,促进技术交流,活跃学术气氛,广开科研思路、加强科技合作,及时刊登本领域的前沿信息,努力开阔广大科研人员的学术和技术视野,从2006年以来,本刊每期评选一篇优秀论文,获得优秀论文的作者由本刊给予一定额度的奖金。敬请广大作者积极支持我们的工作,踴躍赐佳作,与我们共同携手把《光通信技术》办得更好。

本刊编辑部