

·激光技术·

掺镱双包层调Q脉冲光纤激光器研究

樊秋林¹, 李飞翔¹, 王立新^{1,2}

(1.东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000; 2.北京理工大学光电学院, 北京 100081)

摘要: 光纤激光器是近几年激光领域关注的热点之一, 与传统的固体激光器相比, 光纤激光器具有容易实现单模、高光束质量输出等优点。对双包层掺镱光纤工作原理及激光放大机理进行了研究, 并设计实现了一种声光调Q光纤激光器, 该激光器不需要使用光纤隔离器等相关光纤元件, 具有结构紧凑、效率高、线宽窄等优点。

关键词: 光纤激光器; 双包层光纤; 调Q; 掺Yb³⁺

中图分类号: TN248.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)06-0035-03

Research on Double Clad Q-switched Yb Doped Pulsed Fiber Laser

FAN Qiu-lin¹, LI Fei-xiang¹, WANG Li-xin²

(1. Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China;

2. School of Electro-optic, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Optical fiber lasers have become a highlight in the laser field in recent years. Compared with conventional solid-state lasers, optical fiber lasers have many advantages such as easy to form single mode and good beam quality, etc. The principle of double cladding Ytterbium doped fiber and its amplification are discussed. An acousto-optic Q-switched optical fiber laser is designed and relative optical fiber components such as laser fiber isolators are not to be used. The laser has the advantages of compact structure, high efficiency and narrow spectral line width, etc.

Key words: optical fiber laser; double clad optical fiber; Q-switched; Yb doped

近几年来, 脉冲光纤激光器在激光雷达、材料加工、远距离遥感以及非线性光学领域取得了巨大进展并获得广泛应用^[1]。与传统的固体激光器相比, 光纤激光器容易实现单模、高光束质量的激光输出。同时, 光纤材料具有很好的柔性介质, 激光器的腔结构设计、整机封装和使用均十分方便, 可形成传输光纤与有源光纤一体化。常规的光纤激光器因需要将泵浦光耦合进入到直径低于10 μm的单模纤芯, 因而耦合效率较低, 限制了光纤激光器的输出功率。而双包层光纤内包层具有大的数值孔径和横向尺寸, 使得采用多模LD阵列作为泵浦源成为可能, 容易实现大功率激光输出^[2]。但高功率脉冲形式工作的双包层光纤激光器极易产生受激拉曼散射(SRS)和受激布里渊散射(SBS)等非线性现象造成光纤损坏^[3],

因此高功率脉冲光纤激光器的研究更具挑战性。

产生激光脉冲的方法主要有两种: 一种是声光(AO)调Q光纤激光器形式, 通过Q开关技术, 产生脉冲激光输出^[4-6]; 另一种是采用主振荡功率放大(MOPA)结构, 通过放大较小功率的种子激光器, 产生脉冲激光输出^[5-8]。文中实现了一种声光调Q光纤激光器, 该激光器不需要使用光纤隔离器等相关光纤元件, 具有结构紧凑、效率高、线宽窄等优点。

1 双包层掺镱光纤工作原理及激光放大机理

系统选用的双包层光纤激光器, 光纤包层内具有大的数值孔径和横向尺寸。通过设计光纤结构和选择合适的材料, 在掺稀土离子的单模纤芯外面形

成一个可以传输多模泵浦光的通道——内包层,以大功率多模激光器为泵浦源,通过包层泵浦技术将多模泵浦光耦合进入内包层。当泵浦光沿光纤内包层的纵向传播时将多次穿越纤芯,并逐渐被稀土离子所吸收,从而产生激光,如图1所示。

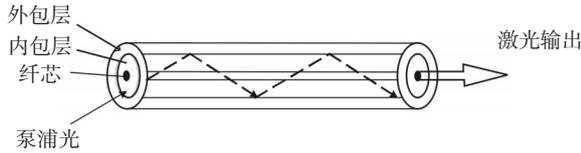


图1 双包层光纤工作原理示意图

双包层光纤激光器工作时,泵浦光被直接耦合到内包层,因而泵浦效率更高。泵浦光在包层内以多模形式传导,多次透过纤芯,从而被纤芯吸收,最终实现双包层光纤的全长度泵浦。内包层主要有两个作用:将激光限制在纤芯中;传导多模泵浦光,使其被纤芯吸收并转换为激光输出。

掺镱单模石英光纤具有宽的增益带宽、长的上能级荧光寿命、高的量子效率和无浓度淬灭、无激发态吸收等特点,激光输出波长在1.01~1.162 μm 范围内可调谐,可用于高功率激光系统和抽运1.3 μm 掺镨光纤放大器、掺铈上转换光纤激光器等。掺镱光纤放大器可以实现功率放大和小信号放大,因而可用于光纤传感器、自由空间激光通信和超短脉冲放大等领域。

如图2所示, Yb³⁺电子构型为4f¹³,有2个电子态,即基态和激发态(²F_{7/2}、²F_{5/2})。在配位场作用下,基态和激发态产生斯塔克分裂,形成准4能级的激光运行机制。普遍认为,作为能级结构最简单的激活离子, Yb³⁺不存在上转换、激发态吸收和浓度淬灭,极大地降低了材料的热负荷,具有很高的能量转换效率,可获得很好的激光输出光束;具有较长的荧光寿命,能有效储存能量。

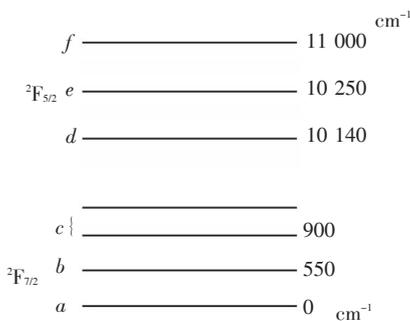


图2 Yb³⁺离子在二氧化硅玻璃中的能级图

与其他稀土离子相比, Yb³⁺离子的光谱结构更为

简单,仅由基态²F_{7/2}和激发态²F_{5/2}两个能级族组成。当利用波长为976 nm的激光抽运时, Yb³⁺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,对应抽运波长为976 nm。然后, Yb³⁺离子快速无辐射跃迁弛豫到激发态的子能级d,在准4能级跃迁的情况下, Yb³⁺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1 081 nm。

2 掺镱双包层调Q脉冲光纤激光器设计

激光器谐振腔采用典型的F-P腔结构,如图3所示。泵浦源为大功率LD阵列,波长为976 nm。泵浦光经耦合后聚焦为小圆斑,经过前腔镜后耦合进光纤。采用掺Yb³⁺双包层光纤作为激光介质,长度20 m,内包层200 μm,外包层为380 μm。掺镱光纤的泵浦端直接对接到腔镜上,双包层掺镱光纤两端均打磨抛光。腔内放置声光Q开关。前腔镜紧贴光纤的入射端面,它对1.05~1.1 μm 波段信号光的反射率大于99%,对976 nm的泵浦光透射率为93%。

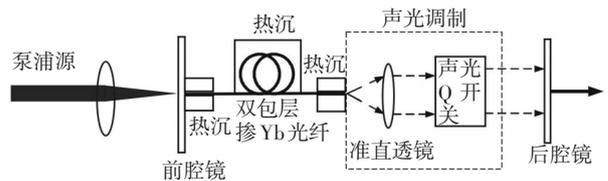


图3 半导体泵浦的掺Yb³⁺光纤激光器示意图

光纤端面易受激光损害,为了有效散热,将掺镱双包层光纤的两端夹持在紫铜热沉上;掺镱光纤的中间部分夹在两铜片之间,通过空气对流散热。声光Q开关在谐振腔内起到了一个光束分束的作用,声光开关打开时,一级衍射位置的全反镜将衍射光反射到光纤中去,在零级位置上没有完全发生衍射的光形成输出;当声光开关关断时,激光由于一端面磨成斜面,故形成高阈值的激光谐振,此时激光器处于储能状态。实验中,将声光开关打开时间门控制在几个微秒时,该光纤激光器输出典型的调Q脉冲,宽度从几十纳秒到近微秒量级,在几百纳秒附近;当打开时间门宽度减少到几百个纳秒附近时,该光纤激光器再次输出稳定的宽度维持在几十个纳秒附近的窄的激光脉冲,增加调制重复频率,其脉冲宽度与重复频率关系不是很明显。实验中该调Q方式能够很好地抑制锁模现象的发生,产生的脉冲波形(见图4)没有发现光纤激光器输出Q脉冲常见的锁模现象。

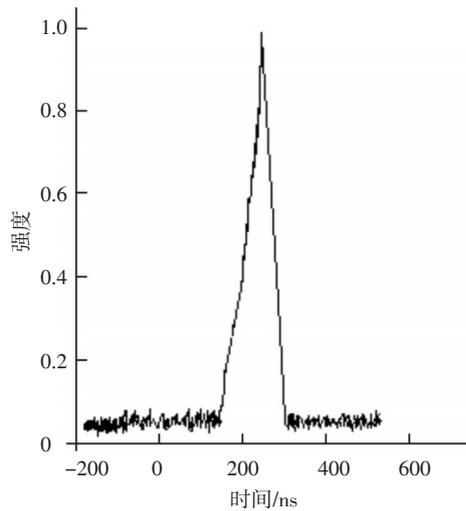


图4 输出 50 kHz 的激光脉冲波形

3 结束语

双包层光纤激光器在加工、军事、医学等领域具有广泛的应用价值。文中研究了双包层掺镱光纤工作原理及激光放大机理,并对双包层掺镱脉冲调Q光纤激光器进行了设计,将进一步开展提高光纤激光器转换效率和输出功率等方面的研究工作。

(上接第15页)

- [16] 杨深,石挺,唐效峰,等.无汞光源研究进展(下)[J].中国照明电器,2010(2):6-11.
- [17] 柴国生,杨正名,高光义,等.无汞金卤灯[J].灯与照明,2006,30(3):31-33.
- [18] 江珊.陶瓷金属卤化物灯技术发展概述[J].中国照明电器,2005(8):6-10.

(上接第25页)

轻等要求,保证了足够的接收功率。文中设计的单个非球面透镜适应当今时代科学技术的发展趋势,具有很强的实用性。

参考文献

- [1] Yagiu Y, Kumazawa T, Shimaoka M. New collimating lens system for laser diode package[C]//IEEE of proceeding-Electronic Componets and Technology Conference, 1993:1135-1138.
- [2] 韩肇邦.半导体激光器光纤微透镜耦合技术研究[D].长春:长春理工大学,2008.
- [3] 张隼,王雪洋,严高师.激光测距仪单透镜发射准直模块

参考文献

- [1] 郭玉彬,霍佳雨.光纤激光器及其应用[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 楼祺洪,周军,朱健强,等.高功率光纤激光器研究进展[J].红外与激光工程,2006,35(2):135-138.
- [3] C Ye, P Yan, L Huang, et al. Stimulated Brillouin scattering phenomena in a nanosecond linearly polarized Yb-doped double-clad fiber amplifier[J]. Laser Phys. Lett., 2007, 45: 376-381.
- [4] 姜培培,蔡双双,沈永行,等.掺镱脉冲光纤激光器抽运的高功率PPMgLN光参变振荡器[J].中国激光,2008,35(4):168-171.
- [5] 宁继平,张伟毅,尚连聚,等.掺镱包层光纤激光器的全光纤调Q技术[J].中国激光,2008,35(4):483-487.
- [6] P Roy, D Pagnoux, L Mouneu, et al. High efficiency 1.53 um all-fiber pulsed source based on a Q-switched erbium doped fiber ring laser[J]. Electron. Lett., 1977, 33(15): 1317-1318.
- [7] 聂秋华.光纤激光器和放大器技术[M].北京:工业出版社,1997.
- [8] 张晓娟.Tm脉冲激光器泵浦的中红外固体激光器研究[J].光电技术应用,2011,26(2):15-17.

- [19] 陈育明,刘洋.金属卤化物灯的现状 & 研究进展[J].中国照明电器,2011(4):1-5.
- [20] 李振华,陈国庆.金卤灯的科技发展趋势[J].中国高新技术企业,2011(1):17-18.
- [21] 岑继文,何明兴,李新军,等.紫外半导体电致发光器件研究进展,2005,19(1):90-96.

的优化设计[J].激光与红外,2009,33(4):383-385.

- [4] William S C Chang. Principle of Lasers and Optics[M]. England: Cambridge University Press, 2002.
- [5] Mert Serkan, Hulya Kirkici. Optical beam-shaping design based on aspherical lenses for circularization, collimation, and expansion of elliptical laser beams[J]. Applied Optics, 2008, 47(2):230-241.
- [6] 戴永江.激光雷达原理[M].北京:国防工业出版社,2001.
- [7] 勾志勇,王江,王楚,等.非球面光学设计技术综述[J].激光杂志,2006,27(3):1-2.
- [8] 周炳坤,高以智,陈倜嵘,等.激光原理[M].5版.北京:国防工业出版社,2007.
- [9] 王健,鄢定尧,李洁,等.非球面聚焦透镜数控加工技术研究[J].强激光与粒子束,2003,15(10):951-954.