

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0019-03

# 利用 GaAs 作为饱和吸收体的被动调 Q 光子晶体光纤激光器

付圣贵 刘晓娟

(山东理工大学理学院, 山东 淄博, 255049)

**摘要** 利用 GaAs 晶体作为可饱和吸收体, 实现了掺镱光子晶体光纤激光器的被动调 Q 输出。实验用掺杂光子晶体光纤的芯径为  $21\ \mu\text{m}$ , 数值孔径为 0.04, 在实现了大模场面积的同时, 保证了激光器的单模运转, 从而得到高光束质量的激光输出。实验使用高功率半导体激光器作为抽运源, 采用自行研制的耦合系统将抽运光耦合进入光子晶体光纤的包层中。在激光器平均输出功率为 5.8 W 时, 实验得到的最短输出激光脉冲为 80 ns, 重复频率为 6.7 kHz。

**关键词** 光纤光学; 被动调 Q; 光子晶体光纤; GaAs 晶体

中图分类号 TN248 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200835s2.0019

## Q-Switched Photonics Crystal Fiber Laser Using GaAs as Saturable Absorber

Fu Shenggui Liu Xiaojuan

(School of Science, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China)

**Abstract** A passive Q-switched Yb-doped photonics crystal fiber (PCF) laser is demonstrated using GaAs as the saturable absorber. The PCF core has a diameter of  $21\ \mu\text{m}$  and an numerical aperture (NA) of 0.04, resulting in transversal single mode wave guiding for 1020~1150 nm light, ensures the good beam quality of the laser. The laser is pumped by a high power laser diode. The pumped laser is coupled to the cladding of PCF through a self-regulating coupling system. A shortest pulse duration as 80 ns was obtained with the maximum repetition rate of 6.7 kHz, when the maximum average output power of PCF laser is 5.8 W.

**Key words** fiber optics; passively Q-switch; crystal fiber laser; GaAs wafer

### 1 引言

脉冲激光可获得更高的峰值功率, 在材料加工、传感、医疗及军事等领域具有广泛的应用, 因此脉冲输出的高功率光纤激光器一直受到研究人员的重视<sup>[1]</sup>。为了获得高能量的激光脉冲, 在高功率光纤激光器中通常使用大模式面积的光纤作为增益介质。在普通双包层光纤中, 要获得大的模式面积, 通常要增大增益光纤的纤芯面积, 允许多个模式同时在光纤中传输, 这样导致激光光束质量的迅速下降<sup>[2]</sup>。光子晶体光纤 (PCF) 的出现解决了这个问题, 它的包层由周期排列的空气孔结构构成, 可精确地控制包层和纤芯间的折射率差, 具有非常灵活的设计特性<sup>[3,4]</sup>, 从而可使光纤具有大的模场面积的

同时具备单模传输的特性, 这样便保证了激光器的单模输出, 同时可降低高功率激光带来的非线性效应<sup>[5]</sup>。在过去几年里, 已报道了多种调 Q 双包层光子晶体光纤激光器<sup>[6,7]</sup>。相对于主动调 Q 技术来说, 被动调 Q 具有结构简单、易于操作、价格低廉、没有复杂的附加电路等特点, 因此在获得高功率光纤激光器的短脉冲输出领域得到广泛使用。与其他一些半导体饱和吸收体相比, GaAs 具有损伤阈值高、低损耗、易于加工等优点, 可被用于各种功率水平的固体激光器的调 Q 和锁模<sup>[8~10]</sup>。本文利用 GaAs 晶体作为饱和吸收体, 进行了被动调 Q 光子晶体光纤激光器的研制。

## 2 实验装置

图 1 为实验装置图,实验使用的抽运激光器由德国 LIMO 公司制造,激光通过尾纤输出。输出激光波长为 $(976 \pm 3)$  nm,随工作温度和抽运电流增加而向长波漂移。抽运光经自行设计的耦合系统耦合进入光纤的内包层。在光纤的抽运端,利用一个二色镜作为激光系统的全反透镜,二色镜对 976 nm 抽运光高透(大于 98%),而对激光波段具有高反射率(大于 95%)。在光纤的输出端,使用对抽运光高反射对激光反射率为 20%的二色镜作为输出腔镜。GaAs 晶片插入到光纤输出端面与输出腔镜之间,作为饱和吸收体。实验中,输出激光经过衰减后,利用快速光电探测器(小于 1 ns)和一个 100 MHz 示波器来测量激光脉冲。

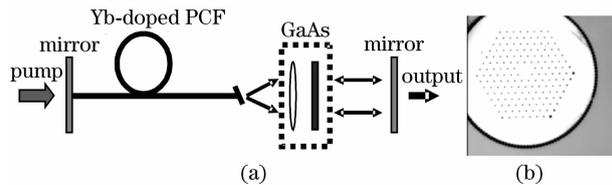


图 1 (a)实验装置图;(b)光子晶体光纤截面扫描电镜图

Fig. 1 (a) Experimental setup;

(b) SEM image of the photonics crystal fiber section

实验用的掺 Yb 光子晶体光纤截面扫描电镜 (SEM)图如图 1(b)所示,其中心为一实心芯,掺杂  $\text{Yb}^{3+}$ ,在纤芯的周围周期分布着 6 排空气孔,由于空气孔对折射率的调整,充当光纤的内包层,在空气孔外层为一层纯硅玻璃充当光纤的外包层,光纤最外层为保护层。光纤为丹麦晶体-光纤公司产品,具体的参量为:纤芯模场直径  $21 \mu\text{m}$ ,数值孔径(NA)为 0.04,单模波长范围  $1020 \sim 1150 \text{ nm}$ ,对 Yb 的整个发射谱均可保持单模传输。内包层  $\text{NA}(950 \text{ nm}) = 0.62$ ,背景损耗( $1310 \text{ nm}$ )小于  $0.05 \text{ dB/m}$ ,内包层直径 $(225 \pm 10) \mu\text{m}$ ,内包层和外包层均为纯石英材料。外包层直径  $465 \mu\text{m}$ ,涂覆层  $550 \mu\text{m}$ 。光纤对抽运吸收( $975 \text{ nm}$ )为  $3.5 \text{ dB/m}$ 。这种光纤充分利用了光子晶体光纤的结构优势,利用周期排列的空气孔层作为光纤的内包层,在折射率调制上非常便利,从而可得到非常大的数值孔径内包层和小的纤芯数值孔径,在具有大的模场面积下也能保证激光的单模传输。

## 3 实验结果

图 2 是示波器显示的抽运功率为 13 W 时输出的激光脉冲序列。随着抽运功率的增加,激光脉冲

的重复频率随之增加,脉冲宽度有所变窄。当抽运功率较小时,输出激光脉冲的宽度超过  $1 \mu\text{s}$ ,随着抽运功率的增加,脉冲宽度减小。实验获得的最窄脉冲脉宽为 80 ns,脉冲的重复频率为 6.7 kHz。系统的最大输出功率为 5.8 W,相对于入纤抽运功率的斜率效率为 50%。与连续输出的掺 Yb 双包层光纤激光器相比,调 Q 掺 Yb 双包层光纤激光器的斜率效率比较低,有几方面的原因,如 GaAs 晶片表面没有镀增透膜导致激光损耗较大,使用会聚透镜的损耗和光纤端面研磨工艺不够完善都会导致谐振腔损耗。如果在这几方面进行改进,将会大大提高系统的效率。

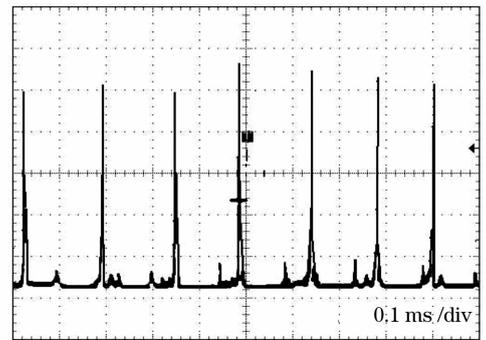


图 2 输出的被动调 Q 激光脉冲序列

Fig. 2 Output pulse train of Q-switched laser

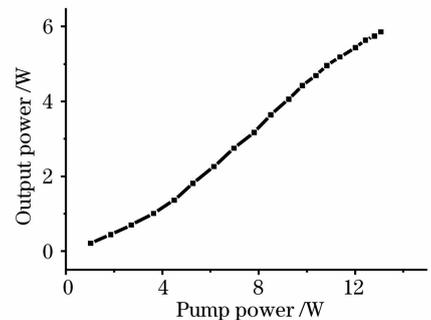


图 3 系统输出的平均功率随抽运功率的变化曲线

Fig. 3 Average output power versus pump power

图 3 为系统的平均输出功率随抽运功率的变化曲线。在抽运功率为 13 W 时,获得了重复频率 6.7 kHz,脉冲宽度为 80 ns 的脉冲输出。

图 4 为抽运功率为 13 W 时输出的激光脉冲,脉宽为 80 ns。脉冲能量的大小存在着一定的波动,这也是被动调 Q 激光器存在的一个比较普遍的问题。根据被动调 Q 理论,输出激光脉冲的宽度与激光腔的光学长度有直接的关系,在其他参量一定情况下,腔长越长,得到的激光脉冲越长。在实验中根据抽运功率和光纤的吸收系数,使用的光纤长度为 5 m,导致了激光器的腔长较长,因此脉冲宽度也相

对较大,这也是被动调 Q 光纤激光器抽运存在的问题。不过随着光纤掺杂技术的进步,高稀土离子掺杂浓度的光纤已经出现,如果使用这种高掺光纤,光纤长度只需要数十厘米甚至更短,输出激光脉冲的宽度可大大压缩。

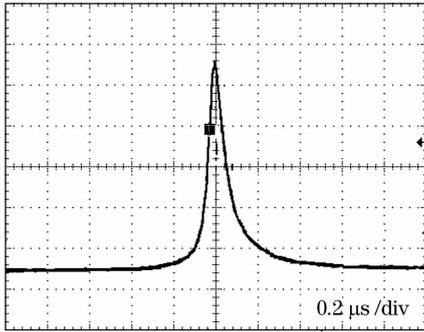


图 4 调 Q 光子晶体光纤激光器输出的单个脉冲

Fig. 4 Single pulse of Q-switched PCF laser

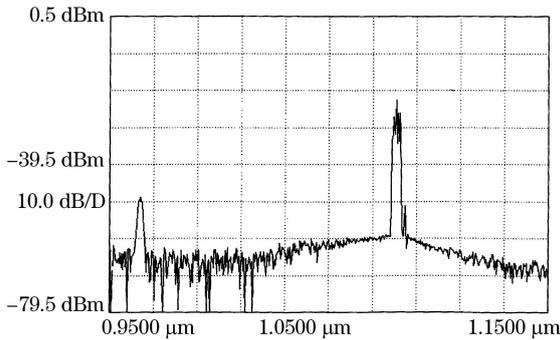


图 5 被动调 Q 光子晶体光纤激光器输出光谱

Fig. 5 Output spectrum of the Q-switching PCF laser

在实验过程中,虽然激光器的输出功率较高,没有观测对调 Q 晶体的损伤,说明这种调 Q 晶体可承受更高的功率。图 5 为脉冲激光器的输出光谱。光谱中心波长为 1080 nm。由于实验使用的二色镜的反射带宽比较宽,导致了输出光谱的宽度也比较大,如果采用光纤光栅选频技术,可获得窄线宽的脉冲激光输出,但目前在光子晶体光纤上写制光栅的技术尚不成熟。相信经过对系统的进一步优化设计和使用低损耗器件,能够作为一种简单、紧凑的被动调 Q 光纤激光器光源。

## 4 结 论

利用 GaAs 作为饱和吸收体,实现了掺镱光子晶体光纤激光器的被动调 Q 输出。实验中使用的光子晶体光纤经过专门设计,在保持大模场面积的同时,满足光纤的单模传输条件,保证了激光器的单模输出。实验获得激光脉冲脉宽为 80 ns,重复频率 6.7 kHz,系统的连续输出功率为 5.8 W。实验系统结构简单,操作方便,经过进一步的改进,可作为一种高功率被动调 Q 光纤激光光源。

## 参 考 文 献

- 1 M. Laroche, A. M. Chardon, J. Nilsson *et al.*. Compact diode-pumped passively Q-switched tunable Er-Yb double-clad fiber laser[J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(22):1980~1982
- 2 Y. Jeong, J. Sahu, D. Payne *et al.*. Ytterbium-doped large-core fiber laser with 1.36 kW continuous-wave output power [J]. *Opt. Express*, 2004, **12**(25):6088~6092
- 3 Deng Hongyou, Rao Yunjiang, Ran Zengling *et al.*. Photonics crystal fiber based Fabry-Perot sensor fabricated by using 157nm laser micromaching[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(2):255~258  
邓洪有,饶云江,冉曾令等.用 157 nm 激光制作的光子晶体光纤法布里-珀罗传感器[J]. *光学学报*, 2008, **28**(2):255~258
- 4 Wu Ming, Liu Hairong, Huang Dexiu. Dispersion property in highly nonlinear photonic crystal fiber[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3):539~542  
吴铭,刘海荣,黄德修.高非线性光子晶体光纤色散特性的研究[J]. *光学学报*, 2008, **28**(3):539~542
- 5 J. J. Larsen, G. Vienne. Side pumping of double-clad photonic crystal fibers[J]. *Opt. Lett.*, 2004, **29**(5):436~438
- 6 J. A. Alvarez-Chavez, H. L. Offerhaus, J. Nilsson, *et al.*. High-energy, high-power ytterbium-doped Q-switched fiber laser[J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(1):37~39
- 7 A. Hideur, T. Chartier, M. Brunel *et al.*. Mode-lock, Q-switch and CW operation of an Yb-doped double-clad fiber ring laser[J]. *Opt. Commun.*, 2001, **198**:141~146
- 8 Gu Jiaohui, Zhou Feng, Xie Wenjie *et al.*. Passive Q-switching of a diode pumped Nd:YAG laser with a GaAs output coupler [J]. *Opt. Commun.*, 1999, **165**(7):245~249
- 9 J. Kong, D. Y. Tang, J. Lu *et al.*. Passively Q-switched Yb:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic laser with a GaAs output coupler[J]. *Opt. Express*, 2004, **12**(15):3560~3566
- 10 G. Q. Gu, F. Zhou, G. Zhang *et al.*. Passive Q-switched single-frequency Nd:YVO<sub>4</sub> laser with GaAs saturable absorber[J]. *Electron. Lett.*, 1998, **34**(6):564~565