

# 基于声光调 Q 的高峰值功率全光纤脉冲激光器

冀翔 周朴 王小林\* 粟荣涛 陆启生 赵伊君

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

**摘要** 报道了基于声光调 Q 的高峰值功率全光纤脉冲激光器,通过改变驱动信号,可获得不同特性的脉冲激光输出。当重复频率为 10 kHz 时,脉冲宽度在 3~900 ns 可调。在脉冲宽度为 65 ns 时,获得 1.24 W 的平均功率输出,单脉冲能量 0.13 mJ,峰值功率 2 kW。当重复频率为 100 Hz 时,可获得脉冲宽度为 86 ns、平均功率 84 mW 的输出,单脉冲能量 0.84 mJ,峰值功率 10 kW。该激光器结构简单,可以通过调制方便地改变激光参数,可作为进一步放大、压缩脉冲和提高重复频率的种子源。

**关键词** 激光器;脉冲光纤激光器;声光调制;占空比

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.s102001

## High Peak-Power Q-Switched All-Fiber Pulsed Laser Based on Acousto-Optic Modulator

Ji Xiang Zhou Pu Wang Xiaolin Su Rongtao Lu Qisheng Zhao Yijun

(College of Opto-Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

**Abstract** An all-fiber pulsed laser which can output different characteristic pulse laser by adjusting an acousto-optic modulator (AOM) is introduced. The pulses full width at half maximum (FWHM) vary from 3 ns to 900 ns at the repeat-frequency modulated to 10 kHz. Average output power 1.24 W is obtained at 10 kHz, and FWHM is 65 ns, single-pulse power is 0.13 mJ and peak power is 2 kW. At 100 Hz peak-power can reach 10 kW with output power 84 mW, single pulse power 0.84 mJ and FWHM 86 ns. The all-fiber laser has simple configuration, its parameter can be adjusted by AOM easily, which can greatly extend the applications in power amplification, pulse-compression and high-repeat frequency as laser seeds.

**Key words** lasers; pulsed fiber laser; acousto-optic modulator; duty ratio

**OCIS codes** 140.3510; 140.3538; 140.3540

## 1 引 言

光纤激光器具有转换效率高、光束质量好、热管理方便、结构紧凑等优点,在工业领域有广泛的应用前景。随着大模场面积掺杂双包层光纤和大功率半导体激光器(LD)技术的成熟,单纤中连续激光的输出功率已大于 10 kW<sup>[1]</sup>,脉冲激光的单脉冲能量和脉冲峰值功率也越来越高<sup>[1~5]</sup>。与连续光纤激光器相比,脉冲光纤激光器具有峰值功率更高,与物质的

作用效率更高,更有利于实际应用,同时保持了高光束质量、高斜率效率、光纤输出、结构紧凑等优势,正广泛运用于精密加工、材料处理、医疗、激光雷达、空间通信等领域<sup>[1,6]</sup>,高可靠性的脉冲光纤激光器已成为应用研究的重点。

高功率连续光纤激光向高功率脉冲激光发展,是当前激光技术领域最重要的发展趋势之一,如何实现高能量、高重复频率、纳秒量级、高亮度的窄脉

收稿日期: 2012-01-16; 收到修改稿日期: 2012-03-01

作者简介: 冀翔(1974—),男,博士研究生,主要从事大功率光纤激光器及其应用等方面的研究。

E-mail: jxzju@126.com

导师简介: 赵伊君(1930—),男,中国工程院院士,博士生导师,主要从事高能激光技术方面的研究。

E-mail: zhaoyij70@sina.com

\* 通信联系人。E-mail: chinawxllin@163.com

冲输出,是当前的一个研究热点<sup>[7]</sup>。产生激光脉冲的方法主要有3种:第一种是调Q光纤激光器,采用谐振腔结构,通过Q开关技术,产生脉冲激光输出;第二种是采用主振荡功率放大(MOPA)结构,通过放大较小功率、参数优越的种子激光器,得到脉冲激光输出<sup>[8]</sup>;第三种是自组织耦合产生脉冲输出,常见的有自滤波腔和相互注入结构等<sup>[9~13]</sup>。传统的声光调Q光纤激光器结构简单,不需要使用光纤隔离器等相关光纤元件,其输出功率、脉冲输出稳定性以及脉冲宽度由谐振腔和调制器决定。脉冲光纤激光器在高功率运行时,峰值功率较高,容易导致光纤器件损坏,在不做进一步放大时提高输出功率困难。本文基于声光(AO)调Q技术提出一种全光纤脉冲激光器方案,平均输出功率和脉冲峰值功率都较高,光束质量和稳定性较好,激光参数可以方便地通过调制激光器加以改变,作为进一步放大和压缩脉冲、提高重复频率的种子源具有较大优势。

## 2 实验装置

全光纤结构脉冲光纤激光器由抽运源、掺杂光纤、声光调制器(AOM)和一对光栅组成,如图1所示。所有元器件均采用光纤熔接的方式进行连接。抽运源为波长975 nm的LD;光栅A为反射率大于99%的反射型光栅,中心波长1064 nm,3 dB带宽0.70 nm;光栅B为反射率10%的透射型光栅,中心波长1064 nm,3 dB带宽0.39 nm。掺Yb<sup>3+</sup>单模光纤长5 m,该光纤在975 nm波长处的峰值吸收系数为3.5 dB/m。AOM中心波长1064 nm,插入损耗1.7 dB。AOM由1台脉冲信号发生器(SG)提供驱动信号,通过调制改变激光参数。输出端面处理为斜角,以抑制光纤端面的菲涅耳反射和自发辐射光的自振荡。

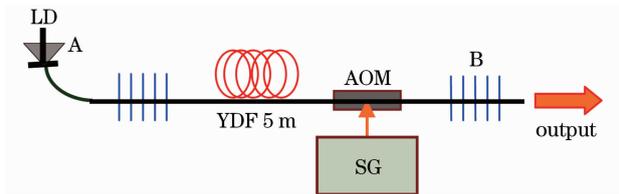


图1 全光纤脉冲光纤激光器结构示意图  
Fig. 1 Experimental setup of all-fiber pulsed laser

## 3 实验结果和讨论

激光器连续工作时输出功率如图2所示,当抽运功率为9.37 W时,输出功率为2.54 W,光-光转换效率达到27.11%。

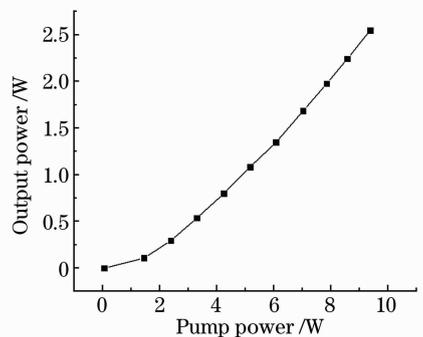


图2 激光器连续工作时输出功率和抽运功率的关系  
Fig. 2 Relative of output power and pump power

脉冲信号发生器提供10 kHz驱动信号,控制驱动信号的占空比,可获得不同脉宽的激光输出。当激光器输出功率为2.35 W时,输出功率和占空比的关系如图3所示,功率随占空比增大而增大,同时脉冲宽度也从3 ns(占空比0.1%)增大到938 ns(占空比80%),图4给出了占空比为0.5%和80%(对应脉宽为15 ns和938 ns)的脉冲波形。需要说明的是并不是在所有情况下都能得到较好的脉冲,只是在特定的频率、占空比和抽运功率条件下才能获得稳定且较窄的脉宽,多数情况下有多组脉冲以

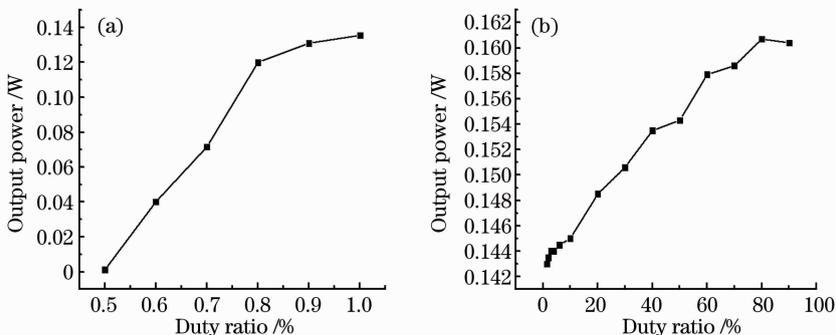


图3 输出功率和占空比的关系。(a)占空比为0.1%~1.0%;(b)占空比为1.0%~99%

Fig. 3 Relation of output power and different duty. (a) Duty ratio (0.1%~1.0%); (b) duty ratio (1.0%~99%)

一定的时序出现。脉宽较窄时波形不好主要是因为 AOM 工作时存在一定的弛豫时间。

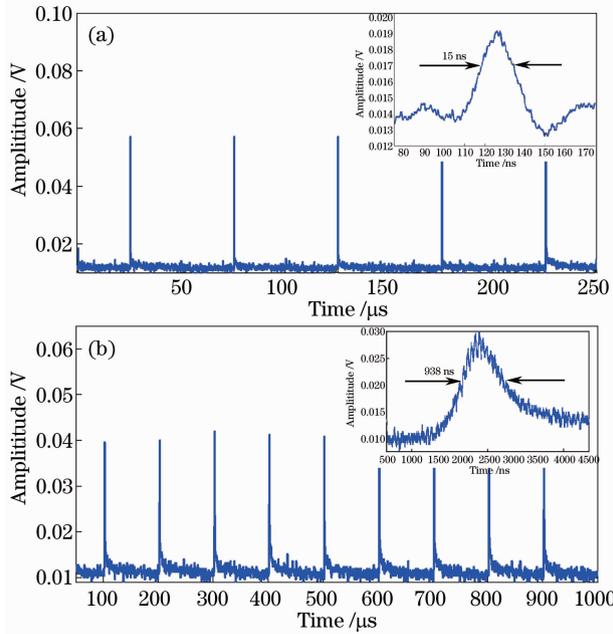


图 4 不同占空比下的脉冲图形。(a)  $f=10\text{ kHz}$ , 占空比为 0.1%；(b)  $f=10\text{ kHz}$ , 占空比为 80%

Fig. 4 Pulse in different duty. (a)  $f=10\text{ kHz}$ , duty ratio 0.1%；(b)  $f=10\text{ kHz}$ , duty ratio 80%

保持频率不变,增加抽运功率至 4.65 W,调节驱动信号,使占空比为 1.0%,此时激光器输出平均功率为 1.24 W,脉冲宽度 65 ns,单脉冲能量 0.13 mJ,峰值功率 2 kW,此时的脉冲波形和光谱如图 5 和图 6 所示。

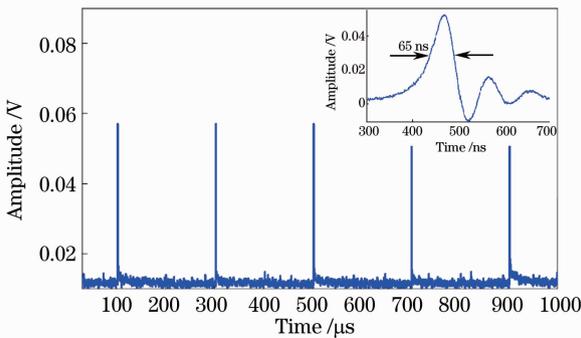


图 5 2 kW 峰值功率输出时的脉冲波形

Fig. 5 Pulse at peak-power 2 kW

改变驱动信号的重复频率为 100 Hz、占空比为 50%。当抽运功率为 2.35 W 时,激光器平均输出功率为 84 mW,时域特性如图 7 所示。此时脉冲宽度为 86 ns,对应单脉冲能量为 0.84 mJ,脉冲峰值功率达 10 kW。在以上的波形图中可以看到脉冲图形存在直流基底,这主要是两个原因造成的:一是实验测试用 THORLABS PDA10A 型探测器的响应

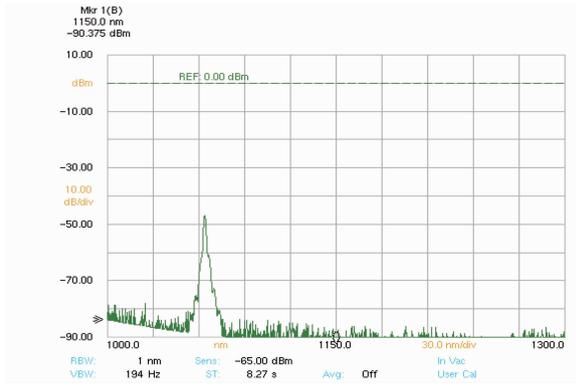


图 6 2 kW 峰值功率输出时的光谱

Fig. 6 Spectrum at peak-power 2 kW

波长为 200~1100 nm,对可见光存在一定响应,实验在灯光下进行,所以脉冲图形存在一个直流的基底;二是因为  $\text{Yb}^{3+}$  的荧光寿命 1~3 ms,远大于 AOM 的调制上升时间 50 ns,导致激光器输出存在连续的放大自发辐射(ASE)成分,在探测器上表现为直流基底。且在超低频工作时 ASE 很强,这是图 7 和图 4、图 5 相比脉冲图形底部尤其不平坦的原因。

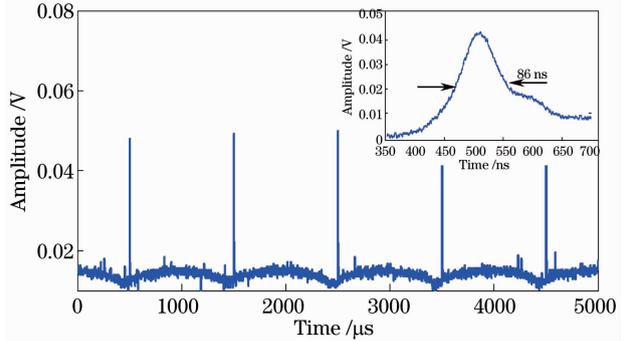


图 7 10 kW 峰值功率输出时的脉冲波形

Fig. 7 Pulse at peak-power 10 kW

## 4 结 论

报道了一台基于声光调 Q 的高峰值功率全光纤脉冲激光器。当重复频率为 10 kHz 时,脉冲宽度在 3~900 ns 可调,在脉冲宽度为 65 ns 时,可获得 1.24 W 的平均功率输出,单脉冲能量 0.13 mJ,峰值功率 2 kW。当重复频率为 100 Hz 时,可获得脉冲宽度为 86 ns、平均功率 84 mW 的输出,单脉冲能量 0.84 mJ,峰值功率 10 kW。脉冲输出功率和脉冲峰值功率较高,光束质量和稳定性好,且激光器结构简单,操作简便,激光参数可以方便地通过调制加以改变,可作为进一步放大和压缩脉冲、提高重复频率的种子源。

## 参 考 文 献

- 1 D. J. Richardson, J. Nilsson, W. A. Clarkson. High power fiber lasers; current status and future perspectives[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2010, **27**(11): 63~92
- 2 Angel Flores. Coherent beam combining of fiber amplifiers in a kW regime[C]. in CLEO, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2011), paper CFE3
- 3 Roger L. Farrow, Dahv A. V. Kliner, Paul E. Schrader *et al.*. High-peak-power (>1.2 MW) pulsed fiber amplifier[C]. *SPIE*, 2006, **6102**: 138~148
- 4 Juho Kerttula, Valery Filippov, Yuri Chamorovskii *et al.*. Actively Q-switched 1.6-mJ tapered double-clad ytterbium-doped fiber laser[J]. *Opt. Express*, 2010, **18**(18): 18543~18549
- 5 Luis Escalante-Zarate, Yuri O. Barmenkov, José L. Cruz *et al.*. Q-switch modulator as a pulse shaper in Q-switched fiber lasers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2012, **24**(4): 312~314
- 6 M. W. Wright, G. C. Valley. Yb-doped fiber amplifier for deep-space optical communications[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2005, **23**(3): 1369~1374
- 7 Lou Qihong. High-power Fiber Laser and Its Applications[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2010. 4~5, 100~106  
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. 4~5, 100~106
- 8 Wang Yuanxiang, Jiang Peipei, Yang Dingzhong *et al.*. All-fiberized master oscillator power amplifier structured pulsed Yb fiber laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1861~1865  
汪园香, 姜培培, 杨丁中等. 全光纤结构主振荡功率放大大型掺镱脉冲光纤激光器[J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1861~1865
- 9 J. Impert, A. Liem, H. Zellmer *et al.*. High-average-power millijoule fiber amplifier system[C]. in CLEO, OSA Technical Digest, 2002, **1**: 591~592
- 10 Kurt Wiesenfeld, Slaven Peles, Jeffrey L. Rogers. Effect of gain-dependent phase shift on fiber laser synchronization [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron.*, 2009, **15**(2): 312~319
- 11 J. Guillot, A. Desfarges-Berthelemot, V. Kermène. Experimental study of cophasing dynamics in passive coherent combining of fiber lasers [J]. *Opt. Lett.*, 2011, **36**(15): 2907~2909
- 12 J. Cao, Q. Lu, J. Hou *et al.*. Effect of mutual-injection ways on phase locking of arrays of two mutually injected fiber lasers; theoretical investigation[J]. *Appl. Phys. B*, 2010, **99**(1-2): 83~93
- 13 Erik J. Bochove, Sami A. Shakir. Analysis of a spatial-filtering passive fiber laser beam combining system [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron.*, 2009, **15**(2): 320~327

栏目编辑:李文喆