

文章编号: 0253-2239(2008)04-0726-04

# 新型电光陶瓷调 Q 光纤激光器

郭文刚<sup>1</sup> 李恩邦<sup>2</sup> 吕福云<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>南开大学物理科学学院光电信息科学系, 天津 300071)  
(<sup>2</sup>天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072)

**摘要** 报道了基于 OptoCeramic<sup>®</sup> 电光陶瓷材料的新型调 Q 光纤激光器。采用 976 nm 半导体激光器作为抽运源, 电光陶瓷调制器作为 Q 开关, 峰值吸收系数 1200 dB/m 的高掺杂镱纤作为增益介质构成环形腔激光器。增益光纤的高掺杂浓度使得激光器的腔长得到缩短, 输出光脉冲的宽度得到压缩。通过调节电光元件的电压, 控制材料的折射率, 调节谐振腔的损耗, 实现 Q 开关作用。实验中通过改变腔长、抽运功率和重复频率, 研究了脉冲的输出特性。获得最窄脉宽 104 ns, 重复频率 3~40 kHz 连续可调的调 Q 脉冲输出。

**关键词** 激光器; 光纤激光器; Q 开关; 电光陶瓷

中图分类号 TN242 文献标识码 A

## A Novel Electrooptic Ceramics Q-Switched Fiber Laser

Guo Wengang<sup>1</sup> Li Enbang<sup>2</sup> Lü Fuyun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China

(<sup>2</sup>College of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract** A novel Q-switched fiber laser made of OptoCeramic<sup>®</sup> electrooptic ceramics is reported. The ring laser is composed with an electrooptic ceramics modulator as Q-switch, highly Yb-doped fiber (peak absorption coefficient at 976 nm is 1200 dB/m) as the gain medium, and pumped by semiconductor laser of 976 nm wavelength. The adoption of highly doped gain fiber shortened the cavity, and meanwhile the output pulse width was compressed. Q-switch is realized from cavity loss modulation, the material refractive index control, which are dependent on the voltage of OptoCeramic element. The influences on output pulses from cavity length, pumping power and repetition rate are investigated. The laser system generates short pulses about 104 ns, with the repetition rate continuously adjusted from 3 kHz to more than 40 kHz.

**Key word** lasers; fiber laser; Q-switching; electrooptic ceramics

## 1 引 言

光纤激光器效率高、阈值低、线宽窄、可调谐、便于集成, 因此受到普遍关注。在波分复用(WDM)系统、激光测距、光传感等众多领域中更是作为最基本的光源而被广泛的使用。近几年来, 各种新型光纤器件、新型结构光纤的出现, 调 Q 光纤激光器的研究也得到了快速的发展, 推动了激光雷达、激光测距和激光微加工等应用技术的发展。传统的主动或者被动调 Q 激光器(声光、电光、机械转镜以及可饱

和吸收体等)都已形成可靠、成熟的技术, 但他们都表现出各自固有的缺点: 声光调 Q 插入损耗大, 光束质量不高<sup>[1]</sup>; 电光调制器需要很高的调制电压<sup>[2,3]</sup>; 机械转镜调 Q 则需要庞大的机械调制器<sup>[4]</sup>; 而被动调 Q 激光器无法控制调制频率和脉冲宽度<sup>[5,6]</sup>。这些各自的缺陷, 抑制了它们在小型化、结构紧凑的激光系统中的应用。用马赫-曾德尔(M-Z)干涉仪调 Q、光纤萨尼亚克(Sagnac)环调 Q、周期可调的光纤布拉格光栅(FBG)调 Q 等, 都可以

收稿日期: 2007-08-28; 收到修改稿日期: 2007-08-28

基金项目: 国家自然科学基金(60578054, 60677013)和高等学校博士点基金(20060055021)资助的课题。

作者简介: 郭文刚(1980-), 男, 黑龙江人, 博士研究生, 主要从事光纤激光器和光纤传感器等方面的研究。

E-mail: guo\_wengang@163.com

导师简介: 吕福云(1945-), 女, 河北人, 教授, 博士生导师, 主要从事短脉冲光纤激光器方面的研究。

E-mail: lufy@nankai.edu.cn

实现结构紧凑的全光纤调 Q,但是脉冲宽度限制在  $\mu\text{s}$  量级<sup>[7,8]</sup>。

本文报道了一种新型的、结构紧凑的调 Q 光纤激光器。采用 OptoCeramic<sup>®</sup> 材料制成的调制器作为 Q 开关,这种调制器具有快速响应、宽的动态范围、低的插入损耗、低的偏振相关损耗、高的可靠性能以及超紧凑的结构<sup>[9]</sup>,可以对整个光纤中传输的光信号进行偏振无关调制。获得的最窄脉宽 104 ns,重复频率 3~40 kHz 连续可调。

## 2 实验装置及原理

实验装置如图 1 所示。抽运源为 976 nm 半导体激光器,增益光纤采用 Liekki 公司生产的高掺杂镱纤(YDF),纤芯对 976 nm 光吸收系数为 1200 dB/m,数值孔径 0.2,足够高的掺杂浓度为缩短激光器的腔长提供了可能。腔内放置一偏振无关隔离器(ISO),保证腔内光单向运转,抑制光纤中背向布里渊散射等非线性效应。调制器所用材料 OptoCeramic<sup>®</sup> 是一种透明铁电陶瓷,其具有很强的克尔(Kerr)效应,电光系数比铌酸钽大 2 个数量级,半波电压远低于铌酸钽晶体。用这种材料制成的调制器,开关速度小于 100 ns,插损小于 0.6 dB,动态范围大于 25 dB。调制器的内部结构示意图如图 2 所示。

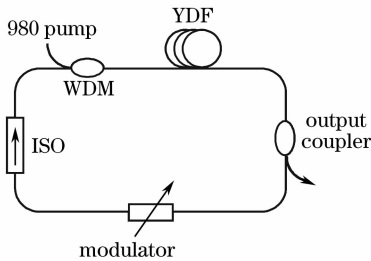


图 1 调 Q 光纤激光器示意图

Fig. 1 Schematic of the Q-switched fiber laser

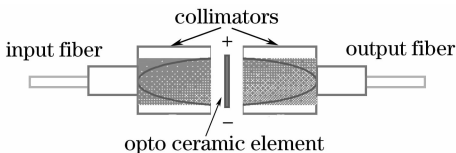


图 2 调制器内部结构示意图

Fig. 2 Configuration schematic of the modulator

光由准直器输入,垂直通过电光元件(由偏振分离器、光电相位延迟器和偏振复合器构成),然后经输出准直器输出。调制器控制光衰减的机理是:光线经偏振分离器后被分为两束正交偏振光,相位延迟器能根据外加电场的大小改变其中一束光的相位,最后由复合器将两束光合成。电场改变某一方

向电光陶瓷的折射率,进而改变了这一方向光的相位,使得两束光在复合器干涉时光强随外加电压变化,这样通过调节电场就可以调节光的透射率,进而调节谐振腔的损耗,实现 Q 开关作用。

## 3 实验结果及分析

### 3.1 腔长对脉冲的影响

抽运功率设定为 65 mW, Q 开关的调制频率固定在 5 kHz,改变环形腔中普通单模光纤的长度,观察脉冲输出特性,结果如图 3 所示。从图中可以看出,随着腔长的增加,脉冲宽度单调增大,输出脉冲的峰值功率单调递减,二者与腔长有近似线性的关系。这与理论的结果<sup>[10]</sup>相符。

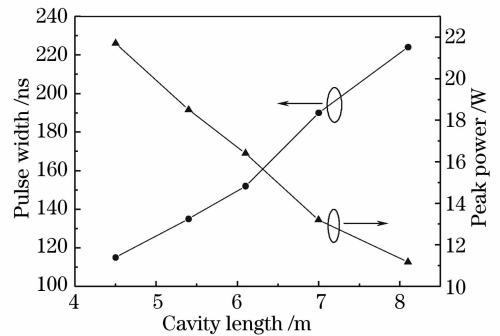


图 3 不同腔长下输出的脉冲宽度

Fig. 3 Output pulse width at different cavity lengths

### 3.2 抽运功率对脉冲的影响

将 Q 开关的频率设定在 5 KHz,逐渐增大抽运功率,图 4 给出了抽运功率对脉冲宽度以及脉冲平均功率的影响。从图中可以看出,在抽运功率小于 50 mW 时,随着抽运功率的增加,脉宽下降很快,在 60 mW 附近脉宽达到最小值,此后随着抽运功率的进一步增加,脉宽略有增加;而光脉冲输出平均功率随抽运功率一直是线性增加的,这与理论的分析的结果基本一致<sup>[11]</sup>。对于抽运功率超过 60 mW 脉宽

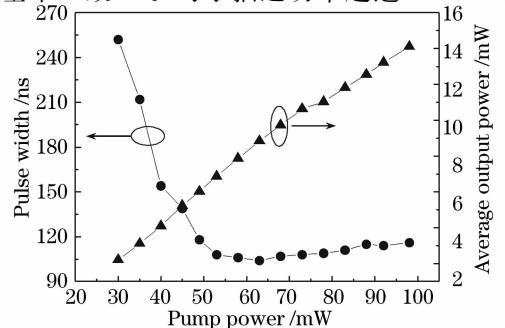


图 4 抽运功率对脉宽和平均功率的影响

Fig. 4 Pulse width and average output power of pulse as function of pump power

略增,我们分析是由于腔内没有选频元件,造成腔内振荡模式增加引起的。

### 3.3 调制频率对脉冲的影响

抽运功率固定为 70 mW,改变 Q 开关的调制频率,从 3 kHz 逐渐增加到 40 kHz,实验结果如图 5 所示。在调制频率小于 10 kHz 时,脉冲宽度基本不变,大于 10 kHz 以后,脉冲宽度逐渐增加;脉冲平均功率随调制频率的变化始终是单调的,调制频率小于 10 kHz,平均功率增加的比较快,大于 10 kHz 以后,脉冲平均功率随调制频率的增加逐渐趋近于连续状态时的输出功率。这是因为,在抽运功率保持不变的情况下,增大调制频率,初始反转粒子数密度将减小,理论分析<sup>[10]</sup>可知随着初始反转粒子数密度的减小,脉宽将变大。因此理论与实验结果是相符的。

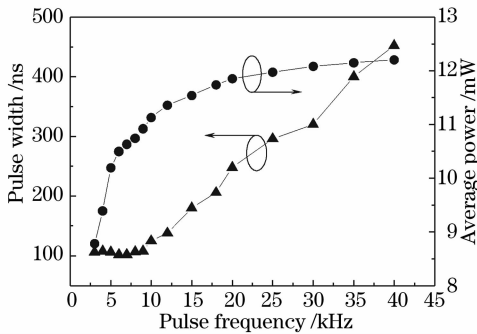


图 5 调制频率对脉冲宽度和功率的影响

Fig. 5 Pulse width and power of the pulse as function of modulation frequency

### 3.4 实验结果

实验中,用带宽为 2 GHz 的 PIN 光电二极管检测脉冲,通过 500 M 数字存储示波器显示脉冲波形。当抽运功率为 65 mW,调制频率为 5 kHz 时,测量的结果如图 6 所示。其脉冲宽度为 104 ns,平均功率为 9.2 mW,计算得出光脉冲的峰值功率为 17.7 W。当调制频率增加到 20 kHz 时,图 7 给出

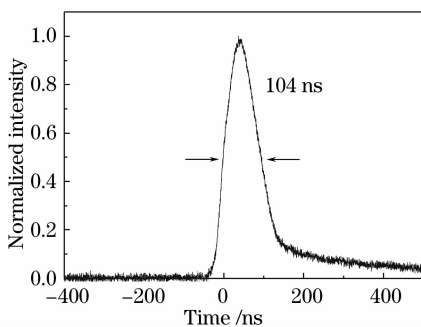


图 6 典型的调 Q 脉冲形状

Fig. 6 Typical Q-switched pulse profile

了示波器上测量的结果。图 7(a) 图为调制器上加的调制信号,调制电压为 130 V, Q 开关开通的时间为 5  $\mu$ s,开关速度小于 80 ns,图 7(b) 是对应的调 Q 脉冲序列。实验中发现,调制器驱动电压从 80 ~ 200 V 范围内都可得到脉冲输出,在 5 kHz 时,脉冲宽度从 100 ns 到 180 ns 变化,在 130 V 附近,脉冲宽度最小;调制频率从 3 ~ 40 kHz 范围内,都可以得到稳定的脉冲输出,10 kHz 以上时输出稳定度在 5%,频率越高,稳定度越好。调制频率低于 3 kHz 时,脉冲变得不稳定,并且频率越低,脉冲抖动的越厉害。受调制器驱动电路的限制,高于 40 kHz 未能加以测量,从 Q 开关开通的时间上来判断(实验发现,开关开通时间要大于 5  $\mu$ s,脉冲才能稳定),调制频率可以继续增加。

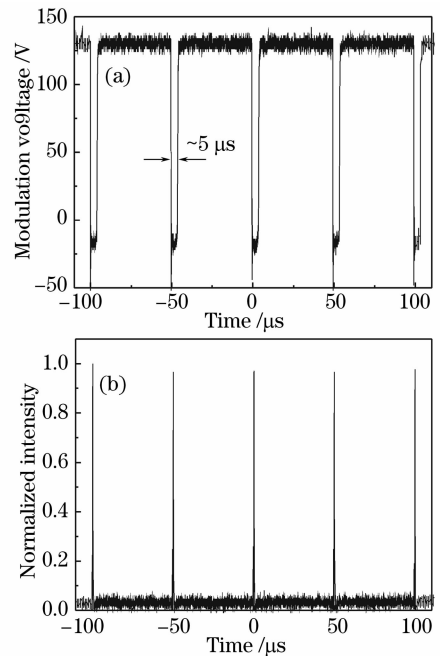


图 7 (a) 重复频率为 20 kHz 时调制信号, (b) 抽运功率 65 mW 时调 Q 脉冲序列

Fig. 7 (a) Modulation response at the repetition rate of 20 kHz, (b) Q-switched pulse train of the laser with pump power of 65 mW

## 4 结 论

报道了一种结构紧凑、性能稳定的新型调 Q 光纤激光器。研究了基于这种 OptoCeramic<sup>®</sup> 材料制成的 Q 开关光纤环形腔激光器的腔长、抽运功率和重复频率对脉冲宽度以及输出功率的影响。在抽运功率为 65 mW 时,获得脉宽 104 ns 稳定的脉冲输出,脉冲重复频率从 3 kHz 到 40 kHz 连续可调。预计进一步的缩短腔长或者将腔结构设计成线形

腔,将会获得更窄的调 Q 脉冲。利用这种调制器制成的调 Q 激光器,具有结构紧凑、操作方便、安全性高、性能稳定等诸多优点,在工业、医疗等领域具有很好的应用前景。

### 参 考 文 献

- 1 D. Zalvidea, N. A. Russo, R. Duchowicz *et al.*. High-repetition rate acoustic-induced Q-switched all-fiber laser [J]. *Opt. Commun.*, 2005, **244**(1~6): 315~319
- 2 Ashrat E. El-Sherif, Terence A. King. High-energy, high-brightness Q-switched Tm<sup>3+</sup>-doped fiber laser using an electro-optic modulator[J]. *Opt. Commun.*, 2003, **218**(4~6): 337~344
- 3 Zhang Shaojun, Tian Zhaobing, Yin Xin *et al.*. Study of a Nd:YAG laser with voltage-decreased electro-optical Q-switch of optical activity crystal La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub> [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(5): 689~692  
张少军,田召兵,尹鑫等. 退压式 La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub> 晶体电光调 Q Nd:YAG 激光器激光性能研究[J]. *光学学报*, 2006, **26**(5): 689~692
- 4 Woojin Shin, Bong-Ahn Yu, Yeung Lak Lee *et al.*. Tunable Q-switched erbium-doped fiber laser based on digital micro-mirror array[J]. *Opt. Exp.*, 2006, **14**(12): 5356~5364
- 5 Feng Xiaoxing, Chen Bai, Zhu Yi *et al.*. Study of self mode-locking in Q-switched and continuous working Yb-doped fiber laser[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(7): 873~877  
冯小星,陈柏,朱毅等. 调 Q 及连续掺 Yb 光纤激光器中的自锁模研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(7): 873~877
- 6 Gan Yu, Xiang Wanghua, Zhou Xiaofang *et al.*. Passive Q-switching and modelocking Yb<sup>3+</sup>-doped fiber laser[J]. *Chin. J. Lasers*, 2006, **33**(8): 1021~1024  
甘雨,向望华,周晓芳等. 被动调 Q 锁模掺镱光纤激光器[J]. *中国激光*, 2006, **33**(8): 1021~1024
- 7 Anting Wang, Hai Ming, Jianping Xie *et al.*. Single-frequency Q-switched erbium-doped fiber ring laser by combination of a distributed Bragg reflector laser and a Mach-Zehnder interferometer[J]. *Appl. Opt.*, 2003, **42**(18): 3528~3530
- 8 P. Pérez-Millán, A. Díez, M. V. Andres *et al.*. Q-switched all-fiber laser based on magnetostriction modulation of a Bragg grating[J]. *Opt. Exp.*, 2005, **13**(13): 5046~5051
- 9 Chen Jie, Cao Yongliang, Zhang Xianmin *et al.*. High speed variable optical attenuator based on transparent ferroelectric ceramics[J]. *Piezoelectrics & Acousto-optics*, 2006, **28**(1): 21~26  
陈捷,曹永良,章献民等. 基于透明铁电陶瓷的高速可变光衰减器[J]. *压电与声光*, 2006, **28**(1): 21~26
- 10 Nie Qiuhua. *The Technology for Fiber Laser and Amplifier* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1997. 256~262  
聂秋华. *光纤激光器和放大器技术* [M]. 北京: 电子工业出版社, 1997. 256~262
- 11 Fan Yaxian, Dai Wutao, Zhai Aiting *et al.*. The optimization for a Q-switched all fiber laser[J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2001, **12**(9): 906~909  
樊亚仙,戴武涛,翟爱亭等. 全光纤调 Q 激光器优化设计的理论分析[J]. *光电子 • 激光*, 2001, **12**(9): 906~909