

全光纤波长可调谐调 Q 激光器*

葛春风** 袁树忠 樊亚仙 吕福云 董孝义
(南开大学现代光学所, 天津 300071)

摘 要 实现了全光纤波长可调谐主动调 Q 和自调 Q 激光脉冲输出。波长可调谐范围为 5.7 nm。主动调 Q 激光脉冲的最高峰值功率可达 2.6 W, 平均功率 1 mW。观察到了自调 Q 现象, 且对自调 Q 现象给予了初步的解释。

关键词 弛豫振荡, 调 Q , 光纤光栅, 光纤激光器。

1 引 言

光纤激光器是近几年激光领域人们关注的热点之一, 特别是应用到光纤通信窗口的 1.5 μm 波长的光纤激光器发展更加迅猛。常规激光器的调 Q 、锁模等技术也都引入到了光纤激光器中。Lee^[1]报道了一种声光调 Q 激光器, 杜卫冲^[2]报道了一种迈克尔逊型的调 Q 激光器, 但都不是全光纤器件型的。本文报道了一种全光纤波长可调谐的调 Q 光纤激光器。

2 实验装置和实验结果

实验装置如图 1 所示, 实验中使用的抽运激光器(半导体激光器)的峰值波长为 974.5 nm, 半宽度为 2.4 nm, 尾纤的最大输出功率为 62 mW; 掺铒光纤的掺铒浓度的质量比约为 200×10^{-6} , 芯径为 3 μm , 数值孔径为 0.215, 考虑到掺铒光纤(EDF)的增益特性与光纤的长度、掺杂浓度、抽运功率以及输出耦合分束比等的关系, 选用了 9 m 长的铒光纤; 光纤光栅是自行研制的, 其中心波长为 1557 nm, 反射率为 98%, 半宽度为 0.1 nm; 匹配液(IMG)的作用是减少光纤端面的反射, 端面反射有时会产生 1560 nm 附近的激光输出, 造成竞争, 使输出不稳定。

环行腔中的马赫-曾德尔干涉仪由两个 3 dB 耦合器构成, 干涉仪的光谱特性如图 2 所示。两臂长差约为 0.14 mm(干涉仪的自由光谱范围为 7 nm, 远大于激光的线宽 0.1 nm), 消光比为 98%(主要取决于两耦合器分束比), 将两臂分别粘在两个尺寸相同的压电陶瓷(PZT)上, 其中一个压电陶瓷进行调制, 另一个用作参考臂, 以尽量减少外界扰动的影响。

波长调谐装置如图 3 所示。将光纤光栅固定在一长度为 6 cm 长悬臂梁上, 悬臂梁是用双螺纹差动调节器进行细微调谐使梁产生弯曲形变的, 两螺纹分别为 0.4 mm 和 0.5 mm, 旋

* 国家自然科学基金资助项目。

** 现通讯地址: 天津大学精仪学院教育部光电信息技术科学开放实验室, 天津 300072。

收稿日期: 1998-06-22; 收到修改稿日期: 1998-09-28

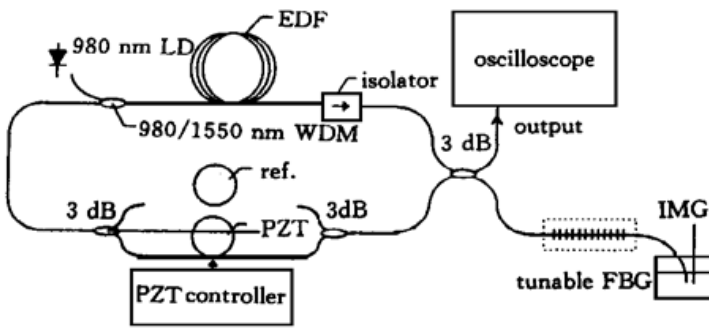


Fig. 1 The schematic of Q-switched fiber laser

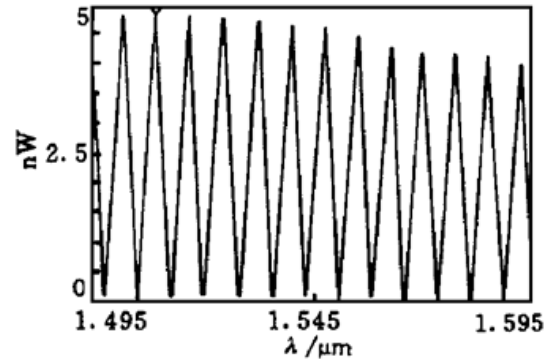


Fig. 2 The transmission spectrum of Mach-Zehnder interferometer

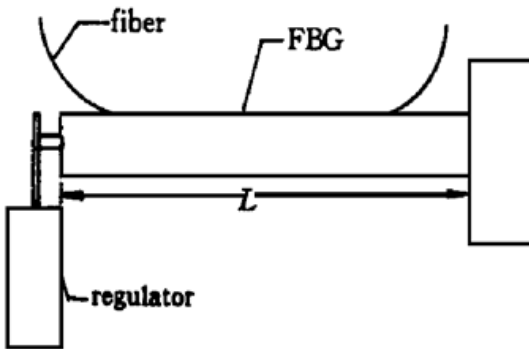


Fig. 3 Schematic of FBG tuning device with cantilever beam

转一周推进量 Δx 为 0.1 mm。根据材料力学原理, 梁弯曲时内侧材料因被压缩而缩短, 外侧被拉伸而伸长, 当调节器将梁分别向两个方向弯曲时, 光纤光栅将被压缩(或拉伸), 工作波长改变量与调节器推进量成线性关系。实验中得到了 1557 nm 附近的激光调 Q 脉冲输出, 调谐范围为 5.7 nm。

用信号发生器调制压电陶瓷, 信号频率为 200~999 Hz, 得到了高功率的激光调 Q 脉冲输出。输出脉冲峰值最高可达 2.6 W, 占空比为 1200 : 1, 平均功率为 1.04 mW, 脉冲半宽度为 4.2 μ s。图 4 为典型的主动调 Q 激光脉冲照片, 图 4(a) 中上边一条正弦曲线为调制信号, 下边的周期性脉冲为调 Q 激光输出, 图 4(b) 为一展宽的调 Q 脉冲包络。

Q 激光脉冲照片, 图 4(a) 中上边一条正弦曲线为调制信号, 下边的周期性脉冲为调 Q 激光输出, 图 4(b) 为一展宽的调 Q 脉冲包络。

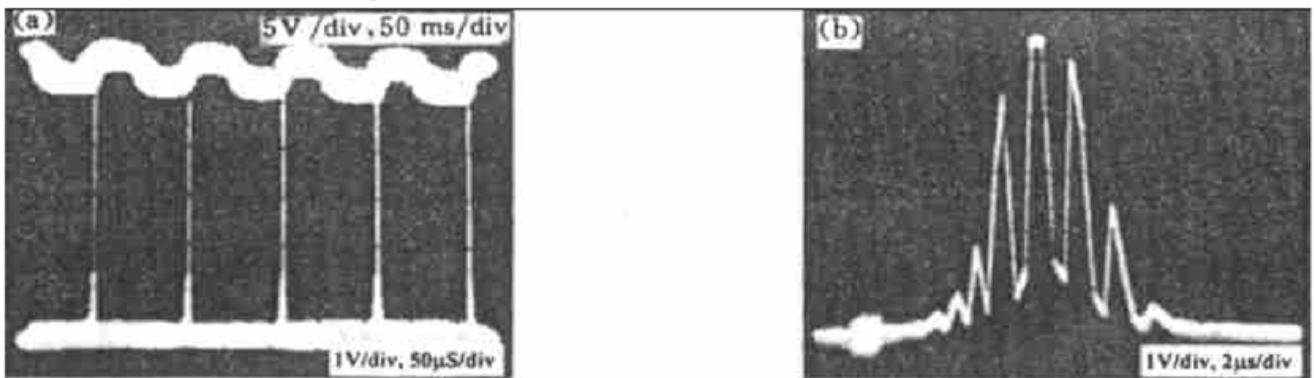


Fig. 4 Typical output pulse from Q-switched laser. (a) Output pulse from Q-switched laser, (b) The delicate structure of single Q-switched pulse

实验中发现, 当压电陶瓷没有加信号调谐时, 也能得到相对稳定的自调 Q 现象, 如图 5 所示。自调 Q 脉冲的周期与泵光功率以及腔内的损耗有关。随泵光功率的增加, 脉冲周期减小。另外, 实验中人为地弯曲光纤以增大腔内损耗, 其结果是, 随着腔内的损耗增大, 脉冲周期减小。

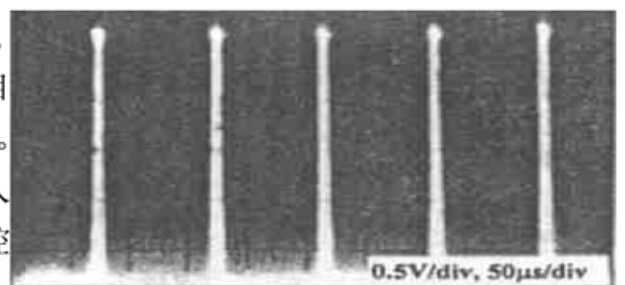


Fig. 5 The phenomenon of self-Q-switching

3 光纤激光器自调 Q 的机理

根据 Haus 的锁模理论^[3], 只有激光工作物质的上能级寿命与光子的腔内寿命 τ_c 的比值较大时, 才能形成自调 Q-自锁模现象。掺铒光纤的上能级寿命 τ 为 1~10 ms, 光子在掺铒光纤激光腔内寿命 τ_c 为 10~100 ns, 符合 Haus 的理论, 可以产生自调 Q 脉冲。

由于粒子反转数随时间的变化率方程和光子数随时间的变化率方程互相关联, 使反转粒子数和光子数之间相互制约和影响, 产生了尖峰脉冲序列, 形成弛豫振荡。激光器无阻尼振荡的周期 T_m ^[4] 为

$$T_m = 2\pi \left[\frac{\tau_c \tau}{r - 1} \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中, r 为抽运速率, $r = W_p/W_{th}$, W_p 为抽运功率, W_{th} 为达到阈值时的抽运速率。而抽运速率与抽运功率的关系为^[5]

$$W_p = \frac{\sigma_p P_p}{A_p h \nu_p} \quad (2)$$

式中, σ_p 为抽运截面, P_p 为 980 nm 的泵光功率, A_p 为铒光纤对抽运光的有效芯区面积, ν_p 为抽运光的频率。可以得到 $r = W_p/W_{th} = P_p/P_{th}$, 设 $T'_m = 2\pi(\tau_c \tau)^{1/2}$, 分别代入掺铒光纤激光器的 τ_c 和 τ , 可得到 $0.02 \text{ ms} < T'_m < 0.2 \text{ ms}$, 不失一般性, 取 $T'_m = 0.11 \text{ ms}$ 代入(4)式, 得到图 6 中的理论曲线。

图 6 中的横坐标

$$R = \left[\frac{1}{r - 1} \right]^{1/2} = \left[\frac{P_{th}}{P_p - P_{th}} \right]^{1/2} \quad (3)$$

稍作运算(1)式可以简化为

$$T_m = T'_m R \quad (4)$$

从图 6 中可以看到, 随抽运功率增加, R 值减小, 自调 Q 脉冲的周期减小, 实验数据趋势与理论曲线基本吻合。由于光子在腔内的寿命 τ_c 与掺铒光纤激光腔的总的损耗成反比, 实验中人为地将掺铒光纤弯曲, 以增大腔内总的损耗, 此时 τ_c 减小, 从(1)式中可得到脉冲周期 T_m 将减小, 这与实验观察到的现象相符。

另外, 按 Masataka 的理论^[6], 抽运功率足够强时, 腔内将同时存在两个以上的纵模, 纵模之间相互作用形成周期性强度调制, 继续增大抽运功率, 将导致窄脉冲输出, 得到自锁模。图 4(b) 为一展宽的调 Q 脉冲, 由于示波器取样带宽不足, 无法得到一个脉冲内的细节, 所以不能观测到光滑的强度调制。如果继续增大抽运功率, 用高速示波器将可能观测到自调 Q-自锁模现象。

结 论 本文利用悬臂梁对掺铒光纤调 Q 激光器起选频作用的光纤光栅进行调谐, 得到了波长调谐范围为 5.7 nm 的调 Q 激光脉冲输出。压电陶瓷主动调 Q 激光脉冲输出的最高峰值功率可达 2.6 W, 平均功率 1 mW, 半宽度在微秒量级(典型的在 3.6~4.2 μs 之间), 并且展宽的脉冲包络中含有近似自锁模的现象。观察到了稳定的自调 Q 现象, 通过分析得到自调 Q 脉冲周期与弛豫振荡周期相符。

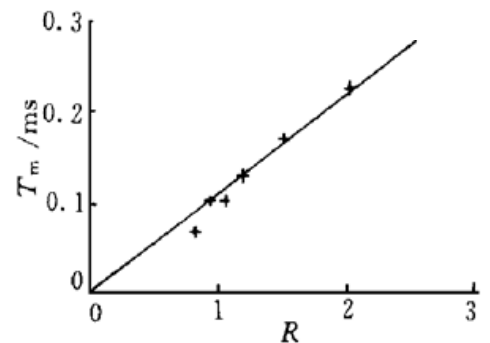


Fig. 6 Function of the period of self-Q-switching as R . + : experimental; —: theoretical results

参 考 文 献

- [1] Lee J M, Chun M K, Nam C H. Diode-pumped femtosecond Nd: glass fiber laser started with a moving mirror. *Opt. Commun.*, 1997, **137**(1~3): 64~68
- [2] 林卫冲, 谭华耀, 刘颂豪. 一种新型的光纤光栅调 Q 掺 Er 光纤激光器. *光学学报*, 1997, **17**(8): 1077~1079
- [3] Haus H A, Fujimoto J G, Ippen E P *et al.*. Analytic theory of additive pulse and Kerr lens mode locking. *IEEE J. Quantum Electron*, 1992, **QE-28**(10): 2086~2096
- [4] 亚里夫 A. 量子电子学, 刘颂豪, 吴存恺, 王明常译. 上海: 上海科学技术出版社, 1983. 282~287
- [5] 邱 昆编著. 光纤通信导论, 成都: 电子科技大学出版社, 1995. 147~156
- [6] Nakazawa M, Suzuki K, Kubota H *et al.*. Self- Q -switching and mode locking in a 1.53- μm fiber ring laser with saturable absorption an erbium-doped fiber at 4.2 K. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(8): 613~615

All-Fiber Tunable Q -Switched Laser

Ge Chunfeng Yuan Shuzhong Fan Yaxian Lu Fuyun Dong Xiaoyi
(*Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071*)
(Received 22 June 1998; revised 28 September 1998)

Abstract Active- Q -switching and self- Q -switching have been observed in a tunable fiber ring laser. The tuning width of 5.7 nm, active- Q -switched pulse with a peak power of 2.6 W and a average power of 1 mW have been successfully demonstrated. Some explanation for the reasons of self- Q -switching has been given.

Key words relaxation oscillation, Q -switching, wavelength tunable, fiber laser.