

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0206-03

## 混合调 Q 包层抽运光纤激光器

樊亚仙 吕福云 胡殊玲 戴武涛 吕可诚

(南开大学物理科学学院光电信息科学系, 天津 300071)

**摘要** 报道了主被动混合调 Q 包层抽运光纤激光器的实验研究。采用连续光抽运,在光纤激光器共振腔中,利用单模通信光纤的非线性效应——受激 Brillouin 散射(SBS)进行自调 Q,得到纳秒量级的脉冲输出。在自调 Q 光纤激光器中,采用脉冲光抽运,通过改变抽运源的重复频率,实现了纳秒量级光脉冲周期的调制。重复频率在 1 kHz~10 kHz 之间变化时,得到稳定的光脉冲输出。脉冲峰值功率 8.3 kW,脉宽(FWHM)4.8 ns。

**关键词** 包层抽运, 光纤激光器, 受激 Brillouin 散射, 混合调 Q

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

## Hybrid Q-Switched Cladding Pumped Fiber Laser

FAN Ya-xian LÜ Fu-yun HU Shu-ling DAI Wu-tao LÜ Ke-cheng

(Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

**Abstract** A cladding pumped  $\text{Yb}^{3+}$ -doped fiber laser operating in a hybrid Q-switched regime with a tunable repetition rate is described. By exploiting fiber nonlinearity——stimulated Brillouin scattering (SBS) process in the laser cavity, the pulses with duration of 4.8 ns and the peak power of 8.3 kW have been achieved. The repetition rate was stable and adjustable by the pump source.

**Key words** cladding pumped, fiber laser, stimulated Brillouin scattering, hybrid Q-switching

### 1 引 言

高功率、窄线宽脉冲光纤激光器在机械加工、光学参量振荡、远程传感、激光测距、激光医疗等众多领域中有着十分广泛的应用。获得激光脉冲有两种有效的途径,一种是调 Q 技术,另一种是锁模技术。调 Q 光纤激光器能够产生脉冲间隔相对较大,脉冲宽度在几纳秒至几百纳秒之间调 Q 脉冲。近年来出现了一种新型的调 Q 技术,利用单模光纤中的非线性效应——受激 Brillouin 散射,调 Q 获得脉冲宽度大约 2 ns<sup>[1,2]</sup>。普通的单模通信光纤中背向受激布里渊散射(SBS)以极短的弛豫振荡脉冲(1 ns)形式给激光共振腔提供很强的反馈。它不仅起到了腔反馈的作用,而且产生了一个纳秒量级的窄脉冲。我们利用单模光纤中背向 SBS 在掺铒光纤和掺镱双包层光纤激光器中均得到约 2 ns 的脉冲输出,但脉冲重复率较高。

本文介绍了一种混合式调 Q 双包层掺  $\text{Yb}^{3+}$  光纤激光器。在利用单模通信光纤中的背向 SBS 产生纳秒量级的窄脉冲的同时,加入主动调制信号使 LD

抽运源变为脉冲光,使得纳秒量级脉冲信号频率得到调制,调制范围在 1 kHz~10 kHz 之间时可观察到稳定的巨脉冲输出,最大脉冲峰值功率为 8.3 kW。

### 2 实验装置

我们在实验中采用了主被动混合的调 Q 方式,实验装置如图 1 所示。抽运源为大功率的多模半导体激光器(LD),带有直径 800  $\mu\text{m}$  的输出尾纤,数值孔径 0.2,输出中心波长为 975.8 nm,可输出脉冲重复率 1 Hz~10 kHz 的激光。LD 经过二相色镜抽运掺  $\text{Yb}^{3+}$  双包层光纤(DCF)。二相色镜对 976 nm 光波透过率为 89.9%,对 1064 nm 光波反射率为 99.5%。双包层掺  $\text{Yb}^{3+}$  光纤由俄罗斯普通物理研究所提供,其纤芯直径为 7  $\mu\text{m}$ ,内包层为矩形结构(125  $\mu\text{m}$ ~125  $\mu\text{m}$ ),作为抽运光的通道。外面涂一层硅橡胶作为外包层。内包层相对于纤芯的数值孔径为 0.11,外包层相对于内包层的数值孔径为 0.5。由于双包层光纤特殊的结构不仅使得大功率的多模半导体激光器(LD)可以作为抽运源,而且大大提高

了抽运效率。实验中用带宽 20 GHz 的快速光电探测器(HTP75 InGaAs)和带宽为 500 MHz 的示波器(HP54616B)观测脉冲波形。

### 3 实验结果及分析

在如图 1 所示的装置中,首先采用连续抽运的方式。在最大入纤抽运功率 650 mW 的条件下,改

变单模光纤长度。发现光纤长度较短时观察不到纳秒量级的巨脉冲;当光纤长度增加到 400 m 后观察到纳秒量级的脉冲,但脉冲强度不稳定。当光纤输出端反馈被抑制后(端面磨 8° 斜面),便可以得到稳定的巨脉冲输出,平均输出功率 400 mW,图 2 为典型的光脉冲输出。脉冲重复率 5.5 MHz,脉宽 5 ns,脉冲峰值功率 15 W。

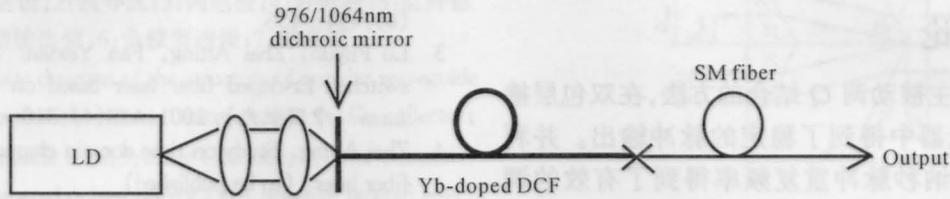


图 1 混合调 Q 包层抽运光纤激光器示意图

Fig. 1 Experimental setup of composite Q-switched cladding pumped fiber laser

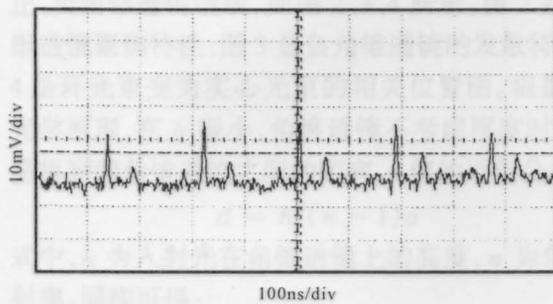


图 2 典型的自调 Q 脉冲(光纤 2.1 km)

Fig. 2 Output pulse train of self-Q-switched (with the SM fiber of 2.1 km)

当采用脉冲抽运后,发现纳秒脉冲的重复率受到调制,其重复率由抽运脉冲的频率决定。当重复率在 1 kHz~10 kHz 之间变化时,可以观察到稳定的巨脉冲输出,图 3 为单模光纤长 2.1 km 时典型的巨脉冲输出,脉冲重复率 2 kHz,脉冲宽度 4.8 ns,峰值功率 8.3 kW。

当采用脉冲抽运后,发现纳秒脉冲的重复率受到调制,其重复率由抽运脉冲的频率决定。当重复率在 1 kHz~10 kHz 之间变化时,可以观察到稳定的巨脉冲输出,图 3 为单模光纤长 2.1 km 时典型的巨脉冲输出,脉冲重复率 2 kHz,脉冲宽度 4.8 ns,峰值功率 8.3 kW。

单模通信光纤中背向 SBS 的阈值可以表示如下<sup>[5]</sup>:

$$p_{th} g_B L_{eff} / A_{eff} \approx 21$$

式中  $g_B$  是布里渊散射增益系数,几乎与抽运波长无关, $L_{eff}$  为单模光纤的有效作用长度, $A_{eff}$  为单模光纤的有效纤芯截面。当将单模光纤置于共振腔内

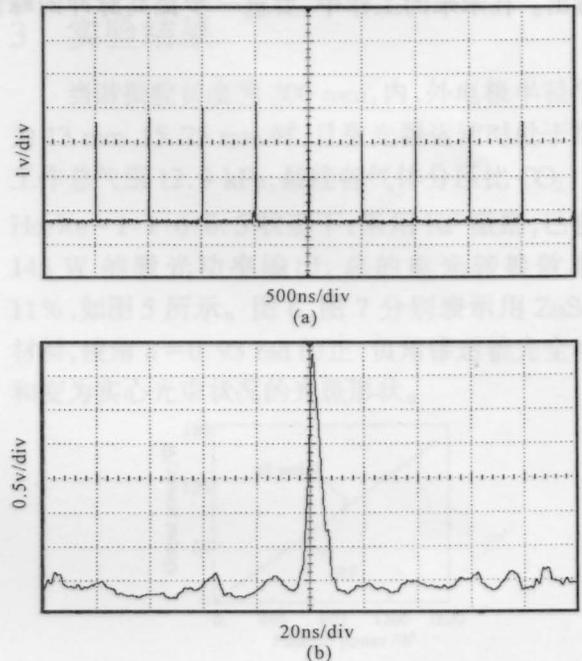


图 3 主被动混合调 Q 脉冲输出(SMF  $L=2.1$  km)

Fig. 3 Output pulses by composite Q-switching 时,由于共振腔提供了反馈,布里渊散射的阈值可以大大降低。根据耦合情况不同上式中的系数 21 可以降为 0.1~1<sup>[5]</sup>。从上式我们可以看出 SBS 的阈值功率与光纤长度成反比,光纤越短阈值功率越高。因而在光纤较短时共振腔中的激光功率没有达到 SBS 阈值,我们观察不到纳秒脉冲。当光纤长度增加时,一旦光波强度超过 SBS 的阈值,就会产生背向 SBS 过程。单模通信光纤中的背向 SBS 过程以纳秒量级弛豫振荡脉冲的形式为共振腔提供一强反馈,这相当于共振腔的 Q 值在一级短的时间内得到增加,从而实现被动调 Q。

