

光纤孤子激光器及用其作源的光孤子传输实验

姚建国 杨淑雯 张登国

(深圳大学新技术研究中心, 深圳 518060)

提要 介绍了一个 $1.55 \mu\text{m}$ 光纤孤子激光器及利用它作源的光孤子脉冲传输实验。其中采用了掺铒光纤放大器锁模技术。实测孤子激光器输出脉冲宽度为 30 ps , 谱宽为 0.16 nm ; 经过 50 km 色散位移光纤传输后, 其脉宽与谱宽基本维持不变。

关键词 光纤, 孤子激光器, 光孤子传输

1 引言

由于光孤子具有窄脉宽及传输过程中波包非常稳定的特点, 光孤子已成为超大容量、超高速率和超长距离数字式光纤通信一个有效的信息载体。光孤子通信是实现新一代全光通信的关键技术之一。

光孤子通信的关键之一是光孤子的产生。亦即对光孤子激光器的研制^[1~4]。英国电信实验室的 X. Shan 等人利用铌酸锂光强度调制器与掺铒光纤环行激光器做成了 2 Gb/s 光纤孤子激光器^[5]。由于铌酸锂光调制器是无源器件, 其插入损耗大($\sim 6 \text{ dB}$), 消光比小($\sim 10 \text{ dB}$), 且对输入信号偏振态很敏感, 因此环路内需要用高增益光纤放大器才能充分保证环路起振。本文研究的光纤孤子激光器采用有源半导体作光调制器, 具有正向增益(导通时)、高消光比($> 20 \text{ dB}$)、同时对脉冲偏振荡的敏感度低等优点, 因此只需配以低增益光纤放大器就可使环路稳定工作。

2 光纤孤子激光器的构成

图 1 为光纤孤子激光器的构成示意图。光纤环路由宽带掺铒光纤(EDF)、普通单模光纤、光纤定向耦合器和波分复用器(WDM)、偏振控制器(PC)以及有源半导体光调制器等组成。为了防止环路外反射信号的干扰, 在输出光纤耦合器前加了一个光隔离器(ISO)。掺铒光纤长度约 20 m , 芯径 $5.1 \mu\text{m}$, 与包层折射率差为 0.0135 。泵源采用 $1.48 \mu\text{m}$ 中功率半导体激光器($\sim 30 \text{ mW}$), 其构成的光纤放大器净增益约为 16 dB 。有源光调制器采用多量子阱半导体光放大器(MQWSLA)构成, 且使用超高频封装; 在驱动电路上采取补偿措施后, 其小信号调制带宽达到 4 GHz 。当设入电调为 100 mA 时, 其内部功率增益约为 18 dB 。整个环路长度约为 100

m, 其中包括了 80 m 标准单模光纤, 对应的基本谐振频率为 2 MHz。有源半导体调制器由一个频率合成器直接驱动, 并调谐到环路基频的某一高次谐振频率上(本实验调到约 2.5 GHz)。在实际系统应用时, 可以把整个环路光纤或一部分光纤绕到一个圆筒上, 通过热应力(或机械应力)作用, 使光纤长度产生微量变化, 从而达到调谐和稳定环路工作的作用。

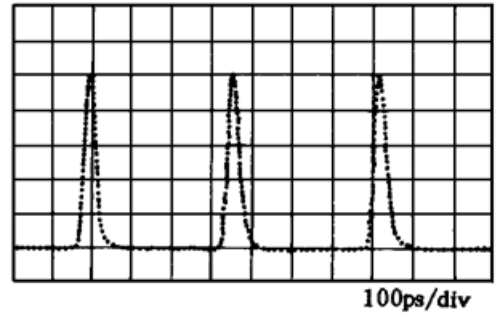
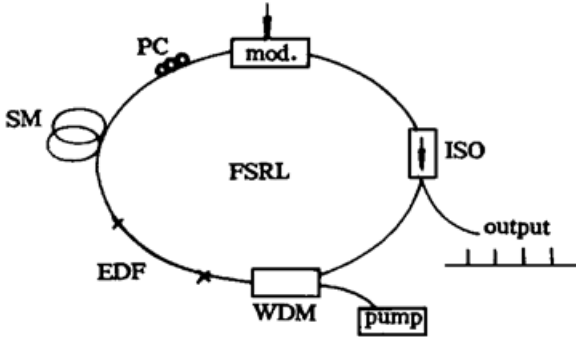
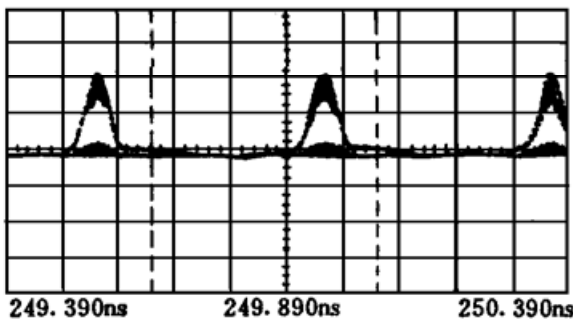


Fig. 1 Construction scheme of fiber soliton ring laser

Fig. 2 Output pulses of the fiber soliton ring laser

FSRL: fiber soliton ring laser; Mod: modulator;
SM: single mode fibre; EDF: erbium-doped fibre;
ISO: isolator; WDM: wave division multiplier;
PC: Polarization controller



光纤孤子激光器的输出脉冲波形示于图 2。采用光示波器时, 测得的平均脉冲宽度约为 30 ps。由于光示波器本身的脉冲响应时间在 10 ps 左右, 因此实际测得的孤子脉冲宽度应该小于 25 ps。

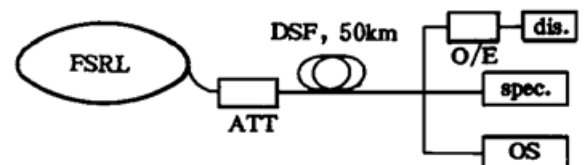
Fig. 3 Experimental spectrum width of the soliton pulse

图 3 给出了实测的孤子脉冲的频谱宽度, 为 0.16 nm。由于所用光谱仪的分辨率仅为 0.1 nm, 所以实际的脉宽与谱宽乘积约为 0.4, 介于传输限孤子脉冲(0.315)与高斯脉冲(0.44)之间。

3 光孤子传输实验

光孤子传输实验装置如图 4 所示。实验中采用了两种光纤: 第一种为 12.5 km 长的普通单模光纤; 第二种为 50 km 长的色散位移光纤。传输后的孤子脉冲依次送到光示波器、光谱仪及宽带光/电转换器以测量脉冲宽度、频谱宽度及信号眼图。

Fig. 4 Measurement setup of the transmission of the fiber soliton ring laser



FSRL: fiber soliton ring laser; ATT: optical attenuator; O/E: optical/electrical converter; Dis: display; Spe: spectrometer; OS: optical oscillograph; DSF: dispersive displacement optical fibre

由光孤子的传输理论知, 孤子脉冲的传输需要维持一定的脉冲宽度, 低于这个门限幅度时则非孤子脉冲成份增加、脉冲展宽也增加。通常这个门限幅值与光纤的色散特性有关。普通单膜光纤在 1.55 μm 窗口色散较大, 所需峰值脉冲在 100 mW 数量级, 而色散位移光纤所需的门限幅值较小, 约为 10 mW 数量级。图 5 给出了孤子脉冲经过 12.5 km 常规单模光纤传输后

的脉冲宽度、频谱宽度与入纤功率的关系。由图中可见, 当平均入纤功率小于 5 mW 时, 经传输后孤子脉冲变形很大, 脉冲宽度到 50 ps, 谱宽也上升到 0.18 nm。当平均入纤功率增加到 25 mW 时, 传输后的孤子脉冲只是略有失真, 脉宽为 32 ps, 谱宽为 0.138 nm。由于实验条件限制, 最大入纤功率我们只能测到 25 mW。若进一步增加孤子入纤功率, 则可望经过传输后孤子形状基本不变, 甚至加以压缩。

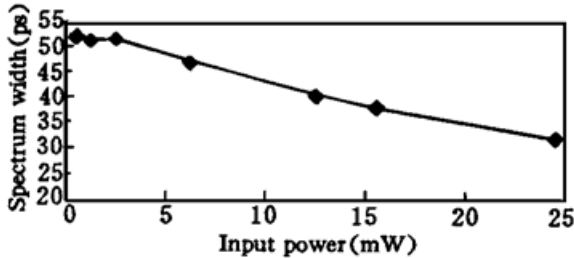


Fig. 5 Pulse width of optical soliton pulse after transmission of a 12.5 km ordinary single mode fiber

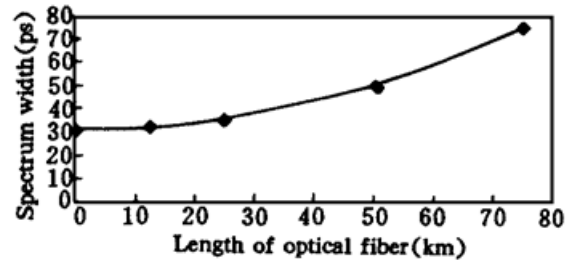


Fig. 6 Pulse width of optical soliton versus length of the ordinary single mode fiber

图 6 所示为实测孤子脉冲宽度与单模光纤长度的关系曲线。测试中入纤光功率为 +13.6 dBm (25 mW)。经过 25 km 单模光纤传输后, 孤子脉宽只是略有展宽 (~35 ps), 但经过 75 km 单模光纤后, 脉冲展宽则达 75 ps。原因是经过 75 km 的传输后, 信号幅度将近衰减了 20 dB, 已不足以维持孤子脉冲所需的最低幅值, 因此脉冲到后面已不是孤子波, 光纤色散引起的脉冲展宽占了主导地位。由此可见, 要维持孤子脉冲波在传输过程中的特性不变, 必须不断给孤子脉冲补充能量, 以补偿光纤的损耗。

图 7 为经过 50 km 色散位移光纤后脉冲宽度与入纤脉冲功率的关系曲线。由于色散位移光纤对 1.55 μm 孤子脉冲所需的门限幅值较低, 因此 5 mW 的入纤功率足以使孤子脉冲经过 50 km 传输后基本不变。这从一方面亦说明了输入传输光纤的脉冲是光孤子; 当然我们判定是光孤子还因为我们利用了非线性光纤, 光脉冲不断被压缩, 从而保证了输出的脉冲是光孤子。我们实验中还发现, 7~10 mW 的入纤功率可使孤子脉冲在 50 km 传输后被进一步压缩到 25 ps 左右。

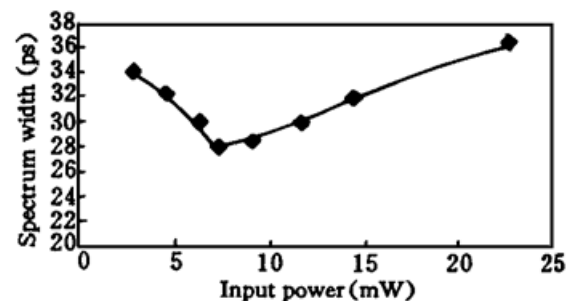


Fig. 7 Pulse width against input pulse power after transmission of a 50.0 km dispersive displacement optical fiber

致谢 本文实验部分工作是在英国电信实验室进行的, 实验过程中得到单雪康博士和其他英国同行们的支持和帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 J. Kafka, T. Baer, D. Hall. Mode-locked erbium-doped fiber laser with soliton pulse shaping. *Opt. Lett.*, 1989, **14**: 1269~1271
- 2 K. Smith *et al.*. Totally integrated erbium fiber soliton laser pumped by laser diode. *Electr. Lett.*, 1991, **27**: 144~146
- 3 X. Shan, D. Cleland, A. Ellis. Stabilising Er fiber soliton laser with pulse phase locking. *Electr. Lett.*, 1992, **28**: 182~183

- 4 G. P. Agrawal. Fiber-optic communication systems. A Wiley-Interscience Publication, USA, 1992. Chapter 9, 391~ 427
- 5 X. Shan *et al.*. Novel method to suppress noise in harmonically mode locked erbium fiber laser. *Electr. Lett.*, 1993, **29**: 979~ 980

A Fiber Soliton Laser and Its Application as an Amplifier in the Optical Soliton Transmission Experiment

Yao Jianguo Yang Shuwen Zhang Dengguo

(*Advanced Tech. Res. Center, Shenzhen University, Shengzhen 518060*)

Abstract A 1.55 μm fiber soliton laser is described and the transmission experiment of the fiber soliton pulse by using it as an amplifier is also introduced. A mode locked erbium fiber laser is used in the experiment. Experimentally, the output pulse width and spectrum width of the fiber soliton laser are 30 ps and 0.16 nm, respectively. There is nearly no change for the output pulse width and the spectrum width after the transmission of a 50 km dispersive displacement optical fiber.

Key words optical fiber, soliton laser, transmission of optical soliton