

文章编号: 0253-2239(2007)04-0574-5

高双折射光纤环镜改善 40 GHz 光时钟消光比的研究*

吴海静 于晋龙 王耀天 张艳冬 朱利凯 王文睿 汤广强

(天津大学电信学院光纤通信实验室, 天津 300072)

摘要: 时钟信号的好坏在同步、解复用和光判决中起着决定性的作用, 双折射光纤环镜具有灵活可调的滤波特性, 光时钟信号通过双折射环形镜可以使其消光比得到改善, 从而提高时钟信号的质量。为此提出了利用高双折射光纤环形镜提高光时钟信号消光比的方案, 数值上模拟了环形镜透射谱随双折射器件偏振延时量(Δt)、偏振控制器快慢轴角度以及偏振控制器所引入光程差的变化而变化的情况, 并理论分析了消光比不理想的光时钟信号经过环形镜后的光谱形式。用法布里-珀罗滤波器提取的 40 GHz 时钟信号进行实验, 时钟经过环形镜后消光比改善了 13 dB, 实验结果和理论模拟得到了很好的匹配。

关键词: 导波与光纤光学; 消光比; 光纤环形镜; 高双折射光纤; 光时钟信号

中图分类号: TN253 文献标识码: A

Improvement of Extinction Ratio of 40 GHz Optical Clock Using with High-Birefringence Fiber Loop Mirror

Wu Haijing Yu Jinlong Wang Yaotian Zhang Yandong Zhu Likai

Wang Wenrui Tang Guangqiang

(Laboratory of Optical Fiber Communication, School of Electronics and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract: The quality of clock signal plays a key role in synchronization, demultiplexing and optical decision. The extinction ratio of optical clock signal can be greatly increased after passing through birefringent fiber loop mirror (FLM), due to its flexibly tunable filtering characteristics, and then the clock signal quality is improved. We propose a method of using high-birefringence fiber loop mirror to enhance the extinction ratio (ER), numerically simulate the transmission spectrum variation of birefringent fiber loop mirror by adjusting birefringence device' polarization delay, fast/slow axis angle and optical path difference of the polarization controller; and theoretically analyze the clock spectrum after it passes through birefringent fiber loop mirror with an unperfect extinction ratio. With a 40 GHz clock signal extracted by Fabry-Pérot filter as input, an experiment is performed. The result shows that the extinction ratio of the input clock is improved by 13 dB, which verifies the results of numerical simulation.

Key words: guided wave and fiber optics; extinction ratio; fiber loop mirror; high-birefringence fiber; optical clock signal

1 引 言

未来的超高速全光通信系统很有可能是光时分复用(OTDM)和波分复用(WDM)的混合通信网络系统。时钟提取是同步传输系统中的关键技术, 是光时分复用通信系统、全光三再生(3R)技术以及全光交换技术的核心技术。目前时钟提取技术^[1]主要

有: 电时钟提取技术、光电混合时钟提取技术、基于自脉动(self-pulsating)分布反馈(DFB)激光器的时钟提取、基于半导体光纤放大器(SOA)的注入锁模光纤环形激光器的时钟提取、基于法布里-珀罗谐振腔的无源时钟提取等。在实验中采取法布里-珀罗滤波器^[2]进行时钟提取时, 由于该方案自身特点, 提

* 国家 863 计划(2001AA3122)资助课题。

作者简介: 吴海静(1982-), 女, 浙江永康人, 硕士研究生, 主要从事光纤通信技术方面的研究。E-mail: carter7@126.com

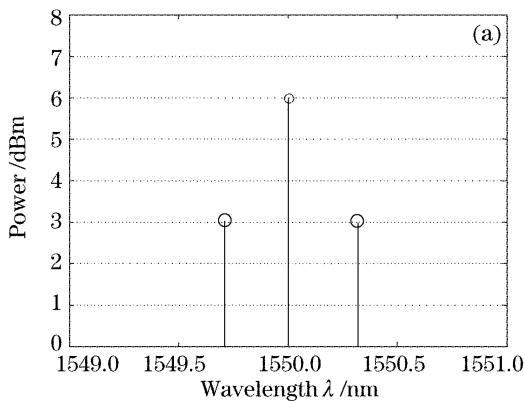
导师简介: 于晋龙(1969-), 男, 山西人, 教授, 博士生导师, 主要从事高速率光纤通信系统和全光处理技术方面的研究。

E-mail: yujinglong@tju.edu.cn

收稿日期: 2006-03-16; 收到修改稿日期: 2006-06-29

取的时钟消光比并不理想。而消光比是决定时钟信号质量的关键参量之一,因此对如何改善光时钟信号的消光比进行研究具有重要意义。

人们对于光纤环形镜已有多年的研究^[3~5],已熟知其基本特性、调制特性和光纤环的相干性。根据其方便可调的滤波特性,已被应用于诸多领域^[6~8]。文中提出了采用高双折射光纤环形镜改善光时钟信号消光比的方案,并根据环形镜的透射率公式^[9,10],数值上模拟了透射谱自由光谱区(FSR),深度及透过谱峰值波长的变化情况;进行了相关的实验,获得了令人满意的结果。该方法容易实现,成本低,灵活性强,具有较大的实用价值。



2 利用高双折射光纤环形镜改善光时钟信号消光比的原理

对于调制度为 1 的理想 40 GHz 光时钟信号,其边带功率之和等于载波功率,频谱图如图 1 所示,图 1(a)和图 1(b)分别为双边带和单边带的情况,此时信号消光比为无穷大。但是由于各种原因,利用法布里-珀罗滤波器提取的时钟信号直流分量过高,载波功率大于边带功率,消光比并不理想,所以需要一种滤波器件来抑制时钟的直流分量,同时相对提高边带功率,从而提高消光比。而光纤环形镜正是能满足这种要求的简单实用的器件。

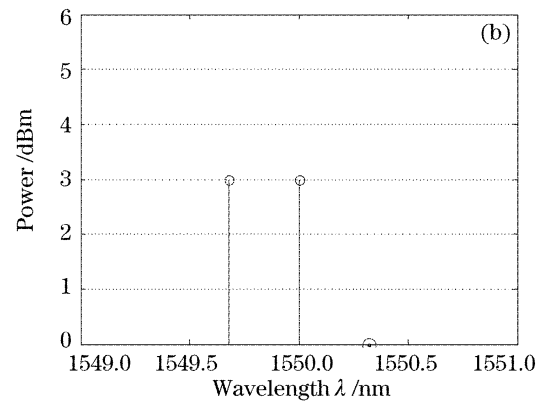


图 1 理想的 40 GHz 光时钟信号

Fig. 1 40 GHz optical clock signal with infinite extinction ratio

考虑如图 2 所示高双折射光纤环形镜(FLM)。它由 1 个 3 dB 耦合器,1 个高双折射器件[保偏光纤、双折射晶体或差分偏振延时线(DDL)],1 段普通单模光纤和偏振控制器(PC)组成。入射光经 3 dB 耦合器进入环形腔之后,在 3,4 端分成功率相等但分别沿顺时针和逆时针传输的两束光,它们经过环路的传播,返回耦合器,最后相干输出。图中 θ_i 表示信号光经过双折射器件和偏振控制器后,偏振态转过的角度,其中 θ_1 为固定值, θ_2 和 θ_3 可通过偏

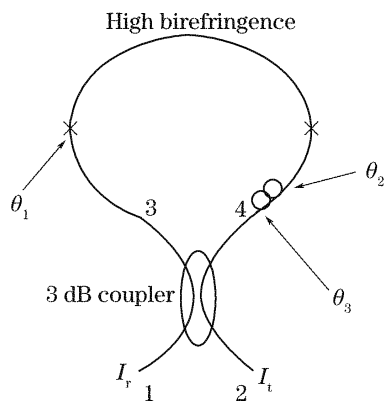


图 2 高双折射光纤环形镜结构

Fig. 2 Configuration of high birefringence fiber loop mirror

振控制器来调节。根据偏振控制器的控制机理,可将其等效为一个快慢轴角度可调,两偏振态相位差也可小范围内($0 \sim 2\pi$)微调的双折射器件。可得环形镜的透射率函数为^[10]:

$$|t|^2 = \left[\cos\left(\frac{2\pi\Delta t(c/n)}{\lambda} + \frac{2\pi\Delta_{pc}}{\lambda}\right) \sin\theta \cos\theta_2 + \cos\left(\frac{2\pi\Delta t(c/n)}{\lambda} - \frac{2\pi\Delta_{pc}}{\lambda}\right) \cos\theta \sin\theta_2 \right]^2,$$

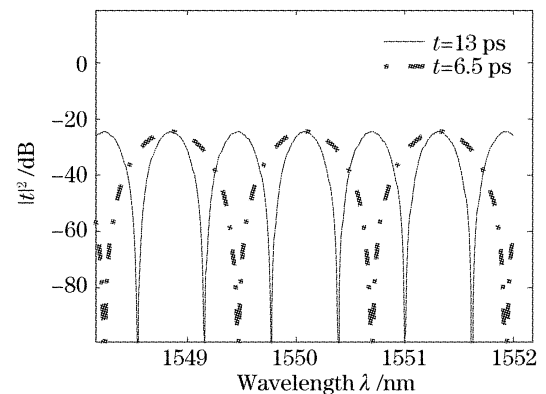


图 3 双折射器件两偏振态的延时量决定了环形镜透射谱的自由光谱区

Fig. 3 Free spectral region of fiber loop mirror is determined by the polarization delay of high birefringence device

其中 Δt 为高双折射器件快慢轴的延时差, Δ_{pc} 为偏振控制器快慢轴的光程差 ($0 \sim \lambda_0$ 范围内可调, λ_0 为中心波长), c 为光速, $\theta = \theta_1 + \theta_3$, n 为光学器件的折射率, λ 为信号波长。

根据上式可见环形镜反射谱和透射谱的形状主要由三个参量决定, 即高双折射器件快慢轴的延时差 Δt , 偏振控制器快慢轴角度 θ , 以及偏振控制器快慢轴光程差 Δ_{pc} 。 Δt 决定了谱的自由光谱区 (FSR)

的大小, Δt 越大则自由光谱区越小, 如图 3 所示; 调节 Δ_{pc} 可以使反射谱和透射谱发生平移, 如图 4(a); 调节 θ (或 θ_2) 可以使谱的深度发生变化, 如图 4(b)。通过改变双折射器件的延时量和调节偏振控制器, 可以使环形镜的透射谱与时钟信号光谱间的位置相匹配 [图 5(a)], 以达到抑制载波能量, 提高信号消光比的效果 [图 5(b)]。

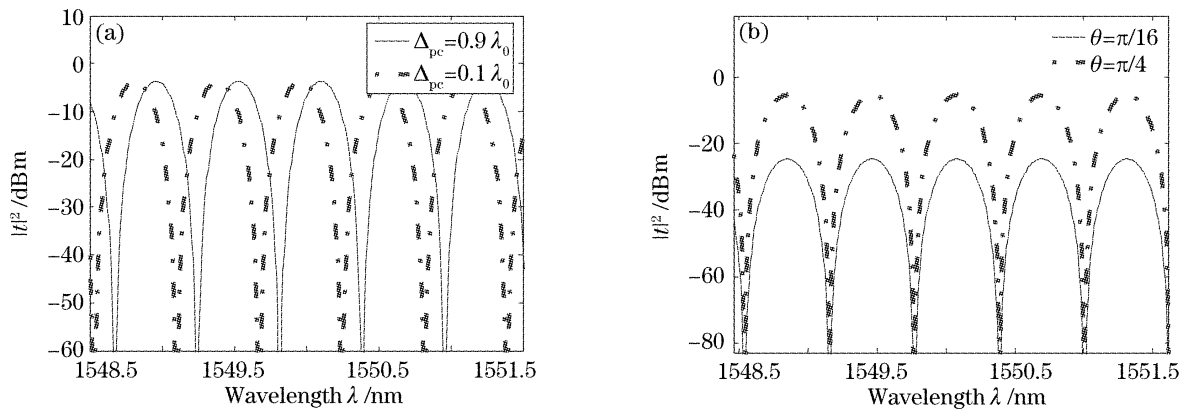


图 4 偏振控制器快慢轴的光程差 Δ_{pc} (a) 或快慢轴角度 θ (b) 对透射谱的影响

Fig. 4 Transmission spectrum variation of high birefringence fiber loop mirror by adjusting the the optical path difference (a) of the fast/slow axis of the polarization controller

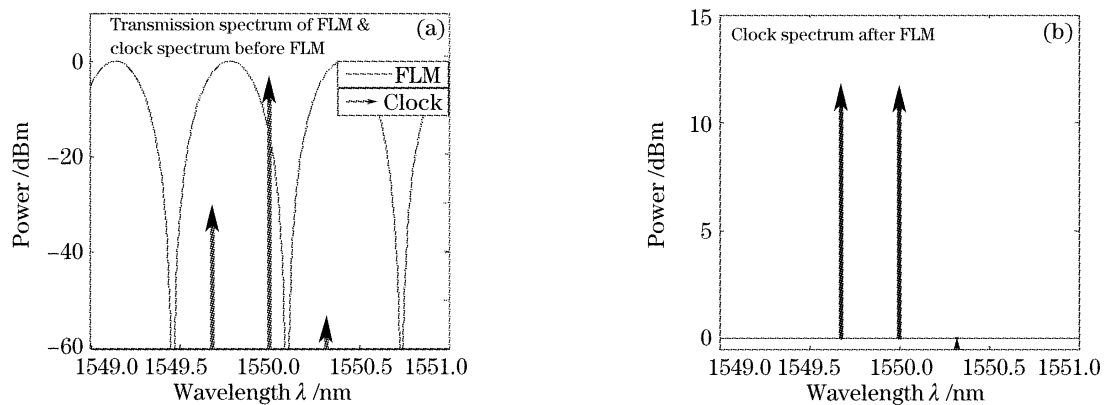


图 5 环形镜透射谱和时钟谱的相对位置匹配时就可以抑制载波提高消光比

Fig. 5 Clock extinction ratio is greatly improved with carrier wave depressed if the relative location of the transmission spectrum of fiber loop mirror and lock spectrum matches. FLM: fiber loop mirror

3 实验与分析

为了验证理论的正确性和方案的可行性, 进行了相关实验。实验装置如图 6 所示, 40 Gbit/s 归零码光脉冲注入进法布里-珀罗滤波器, 当信号光载频与法布里-珀罗滤波器的一个透射峰对准, 且信号码率 f_s 与法布里-珀罗滤波器的自由光谱区相等时, 便能滤出 40 GHz 时钟信号 (如图 7 所示, 其为时钟信号经环形镜前后的波形时, 此时的时钟抖动由示波器测得为 1.3 ps, 考虑到示波器本身有 1 ps 的固有抖动, 实际的时钟抖动还会更小)。此时钟信

号经掺铒光纤放大器 (EDFA) 放大后作为光纤环形镜的输入由 1 端进入环形镜, 由 2 端透射输出, 最后经一个 3 dB 耦合器分别由示波器 (Agilent 86100A) 和光谱仪 (Agilent 86142B) 显示输出。为了方便调节, 环形镜中的高双折射器件采用可调差分延时线 (OZ OPTICS 公司的 DDL-650), 通过调节差分延时线的延时量以及偏振控制器, 就可以使输入信号的消光比得到明显改善。

图 8 所示为 40 GHz 时钟经环形镜之前和之后的光谱, 从图中可以看到各谱线间隔约 0.32 nm, 频

率换算刚好是 40 GHz, 中心波长为 1549.132 nm。对比图 8(a)和图 8(b)可以明显地看到载波功率被大大地抑制了, 对应于图 8(a)所示的输入信号调节差分延时线的延时量使透射谱波长周期为 80 GHz 时, 可以使载波与边带功率几乎相等。而当改变输

入信号后同样可以通过调节延时量以得到最好的输出。实验结果与数值模拟达到了很好的匹配。对比图 7、图 8 可以很直观地看到经过环形镜后, 时钟信号消光比得到了明显改善。

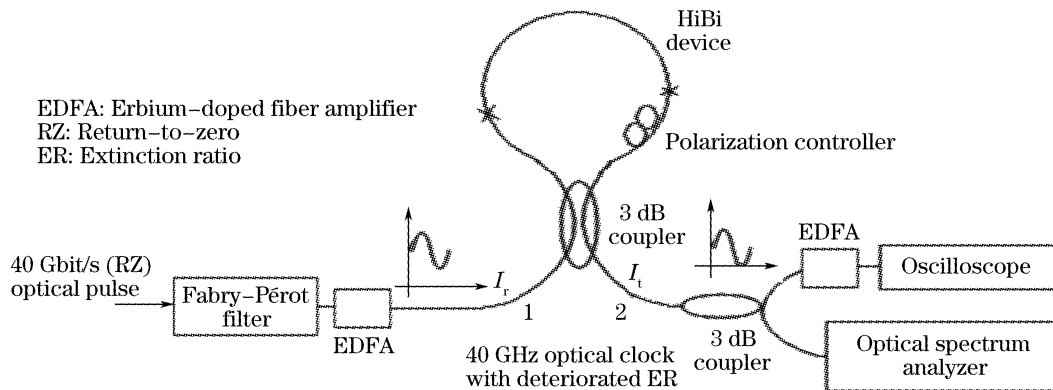


图 6 提高 40 GHz 光时钟信号消光比的实验装置图

Fig. 6 Experimental setup to improve the extinction ratio of 40 GHz clock signal

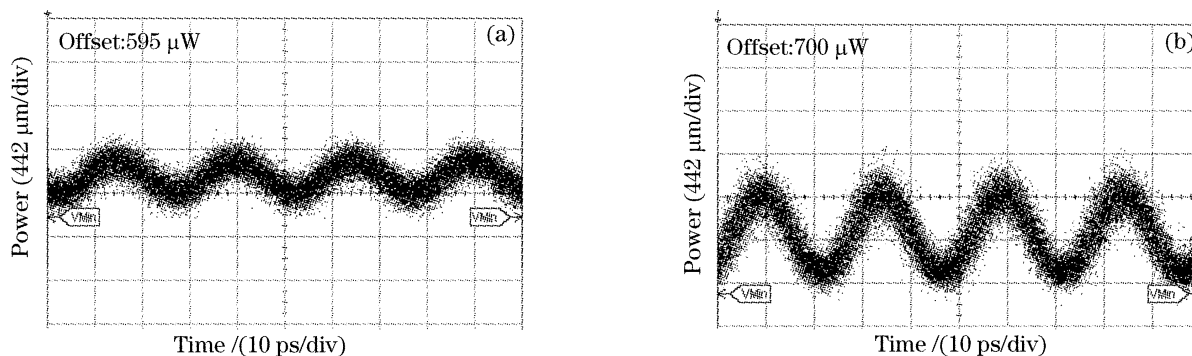


图 7 光纤环形镜的输入(a)和输出(b)时钟波形图

Fig. 7 Waveforms of 40 GHz clock before (a) and after (b) fiber loop mirror

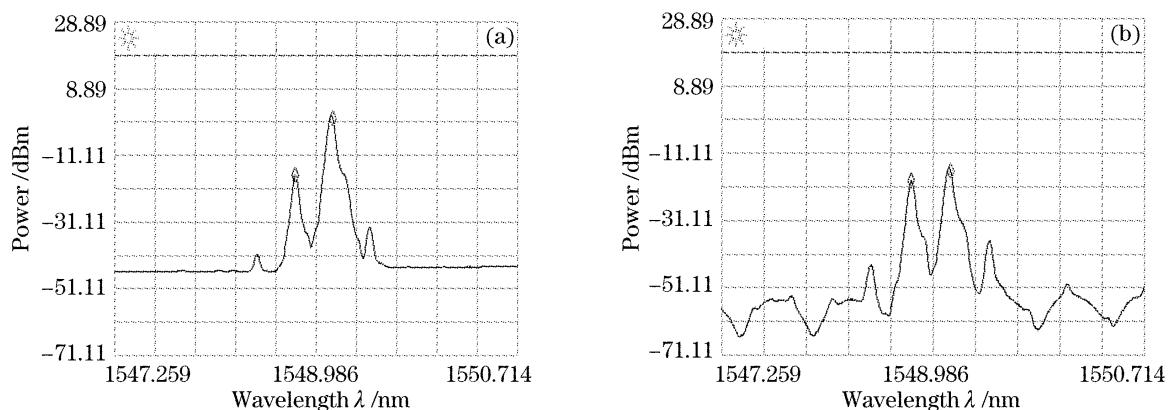


图 8 环形镜的输入和输出时钟光谱图

Fig. 8 Optical spectrum of 40 GHz clock before (a) and (b) after fiber loop mirror

根据光谱图的测试数据, 进入光纤环形镜之前 [图 8(a)] 的时钟载波功率为 -0.177 dBm, 下边带功率为 -17.064 dBm, 上边带功率约为 -33 dBm 可以忽略不计, 所以载波、边带功率之差达 16.9 dBm, 换算消光比为 3.8 dB; 而经过环形镜后 [图 8(b)], 载波

功率为 -16.334 dBm, 边带功率为 -19.251 dBm, 两者功率之差仅为 2.9 dBm, 换算消光比为 17 dB。可见消光比改善了 13.2 dB。

而从图 7 的测试数据分析, 输入环形镜的时钟信号峰值功率为 1.72 mW, 谷值功率为 1.09 mW,

得消光比 1.98 dB; 环形镜输出信号峰值功率为 2.09 mW, 谷值功率为 0.47 mW, 得消光比 6.48 dB。可见消光比改善了 4.5 dB。波形图与光谱图的数值结果不太一致, 原因在于信号光在进入测试仪器之前经过了掺铒光纤放大器的放大, 掺铒光纤放大器引入的自发辐射噪声, 表现在示波器上就是叠加了一个直流分量, 从而恶化了波形和信号消光比, 但是从谱仪上看, 谱的形状不会变化只是等值地抬高了各频点的功率, 所以对计算结果也不会产生显著影响。理论上讲, 只要通过一个宽带的光滤波器就可以大大抑制掉自发辐射噪声, 提高消光比, 但由于实验条件的限制, 未能进行实验。但综合来看环形镜对时钟信号消光比的改善是很显著的。

4 结 论

通过以上实验, 证明了高双折射光纤环镜能有效地改善时钟信号的消光比, 对于不同的输入信号, 通过合理地改变环形镜透射谱的自由光谱区和调节偏振控制器, 就能达到令人满意的效果。

参 考 文 献

- 1 Yu Yinghui, Yu Jinlong, Hua Ying *et al.*. Clock recovery in the 3R regeneration[J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2002, **13**(11): 1202~1205 (in Chinese)
于映辉, 于晋龙, 华颖等. 3R 再生中的时钟提取技术[J]. *光电子 • 激光*, 2002, **13**(11): 1202~1205
- 2 Giampiero Contestabile, Antonio D'Errico, Marco Presi *et al.*. 40-GHz all-optical clock extraction using a semiconductor-assisted Fabry-Perot filter[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(11): 2523~2525
- 3 L. F. Stokes, M. Chodorow, H. J. Shaw. All-single-mode fiber resonator[J]. *Opt. Lett.*, 1982, **7**(6): 288~290
- 4 K. S. Lee, C. Shu. Optical loop mirror multiplexer[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7**(12): 1444~1446
- 5 Yang Yapei, Liu Yongzhi. Analysis about the coherence of optic fiber ring[J]. *Acta Photonics Sinica*, 1999, **28**(3): 230~233 (in Chinese)
杨亚培, 刘永智, 袁纵横. 光纤环相干性分析[J]. *光子学报*, 1999, **28**(3): 230~233
- 6 X. P. Dong, Shenping Li, K. S. Chiang *et al.*. Multiwavelength erbium-doped fiber laser based on a high birefringence fiber loop mirror[J]. *Electron. Lett.*, 2000, **31**(19): 1609~1610
- 7 Hao Zhang, Ling Yu, Yange Liu *et al.*. Noise figure improvement of a double-pass erbium-doped fiber amplifier by using a HiBi fiber loop mirror as ASE rejecter [J]. *Opt. Commun.*, 2005, **244**(1~6): 383~388
- 8 Wang Sijie, Liu Jianhui, Hu zhiyong *et al.*. Gain flattening of L-band EDFA based on high-birefringence fiber loop mirror[J]. *J. Optoelectronic • Laser*, 2004, **15**(9): 1053~1057 (in Chinese)
王思劫, 刘俭辉, 胡智勇等. 基于高双折射光纤环形镜 L-band EDFA 增益平坦实验[J]. *光电子 • 激光*, 2004, **15**(9): 1053~1057
- 9 Liu Lihui, Zhao Qida, Zhou Guang *et al.*. Study on characteristics of two high-birefringence fiber loops mirror filter [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(9): 1185~1188 (in Chinese)
刘丽辉, 赵启大, 周广等. 双折射光纤环形镜滤波器特性研究[J]. *光学学报*, 2004, **24**(9): 1185~1188
- 10 Zhou Guang, Zhao Qida, Liu Yange *et al.*. Filtering characteristics of fiber loop mirror filter composed of multi-stage high birefringence fibers[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(3): 341~345 (in Chinese)
周广, 赵启大, 刘艳格等. 多段双折射光纤构成环镜滤波器的滤波特性[J]. *光学学报*, 2004, **24**(3): 341~345