

# 基于光纤光栅和光纤环形镜的波长选择开关\*

赵 浩

(上海交通大学光纤技术研究所, 上海 200030)

瞿荣辉 方祖捷

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 提出并实验研究了采用压电陶瓷调制的光纤环形镜与光纤光栅结合的新型波长选择性光纤开关, 获得了开关动态范围大于 16 dB、波长选择端口插入损耗小于 0.5 dB 的实验结果。研究表明光纤环形镜干涉臂长的平衡是器件的关键。

**关键词** 波长选择开关, 光纤光栅, 光纤环形镜。

## 1 引 言

为了进一步使光纤通信系统发展成为全光网络, 需要各种能够完成波长路由的功能单元, 如光分插复用器和光交叉连接器等<sup>[1]</sup>。各种光纤开关是构成上述功能单元的关键器件之一。已有采用光纤分插滤波器和 1×2 光纤开关来构成波长选择性开关的报道<sup>[2]</sup>。本文采用压电陶瓷(PZT)调制接入光纤光栅(FBG)的光纤环形镜, 构成了一种可以完成与文献[2]中所报道的波长选择开关相同功能的器件, 并且具有结构相对简单、性能良好的特点。

## 2 原 理

光纤波长选择开关是一种能对光纤中传输的多波长光信号作选择性开关操作的全光器件。为了实现这种功能, 可以采用分光器、光纤滤波器和机械或电光的光开关等器件来实现, 但是一般这样的方案往往带来较大的插入损耗和过分复杂的结构。本文提出利用光纤光栅的选择性反射结合光纤环形镜的干涉结构来实现这种功能, 其结构如图 1 所示。光纤环形镜采用宽带 50·50 的光纤耦合器(图中耦合器 A)构成。对于被光纤光栅反射的光来说, 这一结构与一个迈克耳孙结构的干涉仪相似。被光纤光栅反射的光波将在光纤耦合器位置发生干涉。干涉的结果决定于光在两干涉臂来回的光程差  $\delta L = L_1 - L_2$ 。根据光纤光栅的传输谱和光纤耦合器的特性, 可以导出从端口[2]输出的光强与输入光强之比为:

$$\frac{I_2}{I_0} = |t(\lambda)|^2 [1 - 2p(\lambda)]^2 + 4|r(\lambda)|^2 p(\lambda) [1 - p(\lambda)] \cos^2(\beta\delta L) +$$

\* 上海应用物理研究中心和国家自然科学基金重点项目(69637050)资助课题。

收稿日期: 1999-04-16; 收到修改稿日期: 1999-08-17

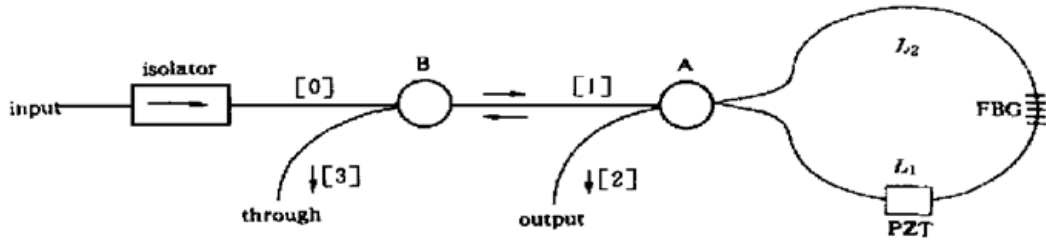


Fig. 1 Schematic structure of the wavelength-selective switch and the concept of its “off” and “on” states

$$2[1 - 2p(\lambda)] \sqrt{p(\lambda)[1 - p(\lambda)]} Q(\lambda) \cos(\beta\delta L), \quad (1)$$

式中  $\beta$  为传播常数,  $r(\lambda)$ 、 $t(\lambda)$  为光纤光栅的复振幅反射率和透射率,  $p(\lambda)$  为光纤耦合器的分束比  $s$  的函数, 它可以表示为  $p(\lambda) = s/(1 + s)$ 。  $Q(\lambda)$  为光纤光栅传输谱的一个特性参量。它可以表示为  $Q(\lambda) = i(rt^* - tr^*)$ 。所选用的光纤耦合器是一个宽带的分束器。其分束比为波长的缓变函数。光纤环形镜要求分束比应为 1:1。即,  $p = 0.5$ 。实际上的分束比多少有所偏离, 记  $\delta p = p - 0.5$ , 可得

$$\begin{aligned} \frac{I_2}{I_0} = & 4|t(\lambda)|^2(\delta p)^2 + |r(\lambda)|^2[1 - 4(\delta p)^2] \cos^2(\beta\delta L) - \\ & 2(\delta p) \sqrt{[1 - 4(\delta p)^2]} Q(\lambda) \cos(\beta\delta L), \end{aligned} \quad (2)$$

当  $\delta p = 0$  时,

$$\frac{I_2}{I_0} \approx |r(\lambda)|^2 \cos^2(\beta\delta L). \quad (3)$$

由(1)~(3)式可见, 当光纤耦合器的分束比十分接近 1:1、而且两臂长严格相等时, 从端口 [2] 将有与光纤光栅反射谱对应的光波输出。环形镜一臂的一段光纤被固定在一个压电陶瓷圆片上。因此改变压电陶瓷上的电压, 就可以改变二臂间的光程差。当  $\beta\delta L = \pi/2$  时,  $I_2 = 0$ , 从而实现布拉格波长光波的开关作用。

从图 1 中光纤耦合器 B 的端口 [3], 可以测量从光纤环形镜返回的光波。但是光纤耦合器 B 的引入带来了 6 dB 的固有损耗。如采用一个三端口的光纤环形器来代替, 就可以大大减少插入损耗。

由以上的分析可知, 在这一开关方案中关键的因素有三个: 一是光纤环形镜的隔离度, 它决定于光纤耦合器 A 的分束比。由(1)式可推出这一隔离度为:  $-20 \lg [1 - 2p(\lambda)]$  dB。这里, 耦合器分束比  $p$  是波长的函数。本文所提出的波长选择开关, 同邻近波长可以获得足够高的隔离度。但是在一个多波长的系统中, 其可用的光谱宽度范围决定于光纤耦合器分束比的带宽。二是环形器二臂长的初始程差, 这是决定开关可用的光谱线宽更为严重的限制因素, 实验上已经观测到这个性质, 这也是工艺上的主要难点。三是光纤光栅的反射率必须足够高。

### 3 实 验

实验所用光纤光栅是在载氢后的普通单模通信光纤上采用 193 nm 紫外激光和相位版方法写入<sup>[3]</sup>。

图 2(a) 和(b) 分别是光纤光栅的反射谱和透射谱。中心波长 1548.9 nm, 反射率大于 22 dB, 线宽(FWHM) 为 0.25 nm。从反射谱和透射谱的对比中, 发现在主峰的短波长侧有一

些小的损耗峰<sup>[4]</sup>。由于是损耗，它们不会带来相邻波长通道之间的功率串扰。光纤光栅熔接在光纤耦合器两臂的中间，工艺上尽量保证光栅两边臂的等长。所用的光纤耦合器为宽带 3 dB分束器商用产品，在 1550 nm 波段±20 nm 谱宽内的分光比偏离值  $\delta p$  小于 2%。光纤环形镜端口间的隔离度可达 28 dB。采用尾纤耦合的发光二极管作为测量光源，从光纤隔离器的入口输入。用光谱分析仪(Anritsu 9710B)在[2]和[3]端口测量开关的光谱特性(光谱仪的分辨率为 0.07 nm)。

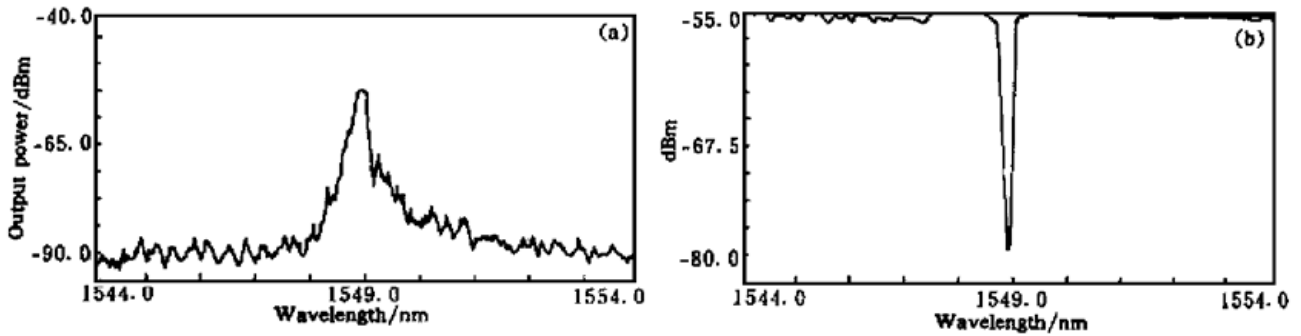


Fig. 2 The reflection (a) and transmission (b) spectra of the FBG

调制加在压电陶瓷上的电压，可以从端口[2]和[3]的光谱明显在看到器件的“开”和“关”二种状态，如图3所示。图3(a)是从端口[2]测得的在“ON”、“OFF”状态下的光谱。图3(b)为端口[3]测得的光谱。在光纤光栅的峰值波长上，端口[2]和[3]分别获得了大于 17 dB 和 16 dB 的开关动态范围。波长选择开关的光谱线宽决定于光纤光栅的反射谱带宽，在本实验中为 0.25 nm。测得端口[1]到[2]在所选择波长上的插入损耗小于 0.5 dB。它主要来自光纤熔接损耗、接头损耗和耦合器损耗。端口[0]到端口[3]之间的插入损耗在 1535~ 1565 nm 范围内小于 6.5 dB。

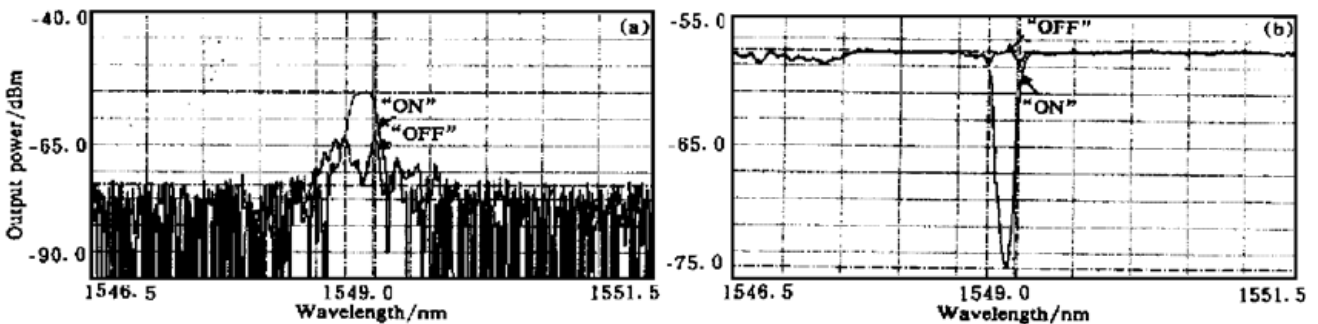


Fig. 3 The spectra at port 2 (a) and port (3) (b) of the two switch states

在图3中处于“关”状态的两条曲线中位于主峰两侧分别有两个峰(谷)，实验表明，这不是偶然的现象。从多次实验曲线的分析，这可能是迈克尔孙干涉臂的不等长造成的。由于臂长差，干涉结果造成对于波长变化的振荡。根据(1)式作模拟计算，同实验曲线拟合，可推算出  $\delta L = 1.35 \text{ mm}$ 。这一现象是影响开关性能的重要问题。对有关因素和解决方法的研究工作正在进行之中。

实验中测量了开关的时间响应，如图4所示。上面波形为压电陶瓷的电压信号，下面波形为从端口[2]得到的光信号。可以看到响应时间小于 1 ms。还可观测到波形中的弛豫振荡现象，估计是由于压电陶瓷的谐振引起的。这也是值得研究解决的课题。

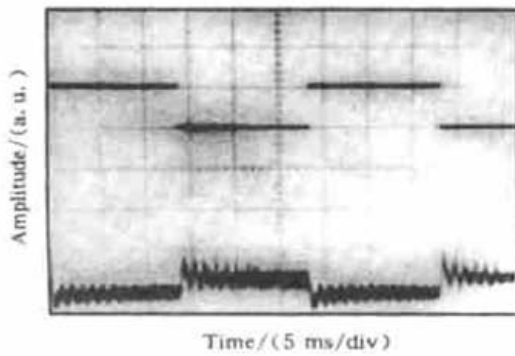


Fig. 4 Time response

**结 论** 本文提出并实验研究了一种基于光纤光栅和光纤环形镜的波长选择性光开关。这一器件具有结构简单、波长选择性好等优点。在光开关的波长选择端口[2]和通过端口[3]分别实现了大于 17 dB 和 16 dB 的开关动态范围。理论分析和实验表明,干涉两臂的光程差、光纤耦合器的分束比和光纤光栅的反射率是决定器件性能的关键因素。在改进光纤熔接工艺、减小干涉臂长差等方面得到提高之后,有希望同其他器件配合,在波长复用光通信系统中发挥一定的作用。

### 参 考 文 献

- [1] Al-Slameh D Y, Fatehi M T *et al.*. Optical networking. *Bell Labs Technical Journal*, January-March, 1998. 39~ 61
- [2] Kewitsch A S *et al.*. All-fiber zero-insertion-loss add-drop filter for wavelength-division multiplexing. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(2) : 106~ 108
- [3] 赵 浩, 丁 浩, 刘 斌等. 载氢光纤光致折变布喇格光栅. *光学学报*, 1996, **16**(4) : 575~ 577
- [4] Mizrahi V, Sipe J E. Optical properties of photosensitive fiber phase gratings, *J. Lightwave Technology*, 1993, **11**(10) : 1513~ 1517

## A Wavelength-Selective Switch Based on Fiber Bragg Grating and Fiber Loop Mirror

Zhao Hao

(Institute of Optical Fiber Technologies, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Qu Ronghui Fang Zujie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 16 April 1999; revised 17 August 1999)

**Abstract** A new structure optical wavelength-selective switch based on fiber loop mirror and fiber Bragg grating is studied. The dynamic range of greater than 17 dB and insertion loss of 0.5 dB at wavelength-selective port were obtained. The measured spectra and numerical simulation indicate that the imperfect of the device can be attributed to the definite difference between the two arms, which was about 1.35 mm. Devices with better characteristics can be developed by decreasing the difference.

**Key words** wavelength-selective switch, fiber Bragg grating, fiber loop mirror.