

基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的特性分析

刘超 裴丽 吴良英 王一群 翁思俊 余少伟

Analysis of all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings

Liu Chao Pei Li Wu Liang-Ying Wang Yi-Qun Weng Si-Jun Yu Shao-Wei

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 174207 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.174207

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.174207>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I17>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

Bragg 反射齿型平面凹面衍射光栅性能研究

[Study on planar concave diffraction grating with Bragg reflector facets](#)

物理学报.2015, 64(15): 154211 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.154211>

准随机矩形孔阵列透射光栅

[Qusia-random rectangular holes self-supporting transmission grating](#)

物理学报.2015, 64(7): 074201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.074201>

基于 Bragg 反射面结构的衍射光栅设计与研究

[Study of the diffraction grating designed based on the Bragg reflection structure](#)

物理学报.2014, 63(19): 194209 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.194209>

二维光栅与周期性缝隙阵列组合薄膜结构的杂散光抑制

[Suppression of the stray light of 2-dimensional gratings combined with an array of periodic slit](#)

物理学报.2013, 62(20): 204208 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.204208>

基于 Talbot 效应的掺镁铌酸锂二维六角位相阵列光栅的研究

[A study of two-dimensional hexagonal phase array grating in MgO:LN based on the Talbot effect](#)

物理学报.2013, 62(9): 094216 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.094216>

基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的特性分析*

刘超 裴丽[†] 吴良英 王一群 翁思俊 余少伟

(北京交通大学全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 光波技术研究所, 北京 100044)

(2015年2月5日收到; 2015年3月22日收到修改稿)

本文提出了一种基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器, 与普通光纤布拉格光栅型全光纤声光可调谐滤波器相比, 该滤波器能够对光纤叠栅的两个中心波长进行同步调制. 理论分析了声波频率和声致应变幅度对基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱的影响, 结果表明, 各阶次反射峰分别以两个主反射峰为中心呈对称关系, 且主反射峰与其所调制出的次反射峰之间的波长间隔与声波频率成正比, 而两个主反射峰所调制出的同阶次反射峰之间的波长间隔与声波频率无关; 声致应变幅度主要影响主反射峰及次反射峰的反射率的变化. 实验中, 分别测试声波频率为 390 kHz 和 710 kHz 的基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱, 实验结果的变化趋势与仿真分析结果相一致.

关键词: 光纤叠栅, 声光调制, 传输特性

PACS: 42.79.Dj, 42.79.Jq, 42.81.-i

DOI: 10.7498/aps.64.174207

1 引言

近年来, 全光纤声光可调谐滤波器以其结构简单、调谐范围宽、调谐速度快、插入损耗低等优点, 引起了国内外研究者的广泛关注. 由于具备优良的调谐特性, 全光纤声光可调谐滤波器被广泛应用于光纤激光器^[1]、光上下话路^[2]、光纤传感等^[3,4]领域. 迄今为止, 全光纤声光可调谐滤波器的种类较多, 从声波振动类型上可以划分为: 弯曲波型、扭转波型和纵波型. 弯曲波型全光纤声光可调谐滤波器是利用弯曲声波使得光纤基模与高阶模之间产生耦合, 主要作用于单模光纤^[5]及微结构光纤等^[6]; 扭转波型全光纤声光可调谐滤波器是利用扭转波导致光纤的两个正交偏振态之间产生耦合, 主要作用于保偏光纤^[7]; 纵波型全光纤声光可调谐滤波器一般为光纤光栅型声光器件^[8,9], 其原理是利用纵波造成的光纤轴向的压缩和拉伸, 引起了光栅的折射率微扰分布的变化.

光纤光栅作为目前最常用的光纤器件之一, 其以体积小、耐腐蚀、抗电磁干扰等优点, 被广泛应用于光载无线通信^[10,11]、光纤激光器^[12]、光纤传感等^[13-15]领域. 基于光纤光栅的全光纤声光可调谐滤波器作为光纤光栅的一种衍生光纤器件, 吸引了大多数研究者的目光. 自从1997年Liu等提出了光纤布拉格光栅的声光超晶格调制^[8]以来, 基于光纤光栅的全光纤声光可调谐滤波器的调谐特性得到深入的分析和研究^[16-21], 并被广泛应用于光纤调Q激光器^[22]、光纤锁模激光器^[23]、光纤通信等^[24]领域. 2013年, Marques等提出了一种基于微结构聚合物光纤布拉格光栅的全光纤声光可调谐滤波器^[9], 扩展了基于光纤光栅的全光纤声光可调谐滤波器的类型. 但是, 目前大多数基于光纤光栅的全光纤声光可调谐滤波器都是对单个反射峰进行调制, 无法对多个反射峰进行同步调制.

本文提出了一种基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器, 与普通光纤布拉格光栅型全光纤声光可调谐滤波器相比, 该滤波器能够对光纤叠栅的

* 国家自然科学基金(批准号: 61275076)资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: lipei@bjtu.edu.cn

两个中心波长的反射峰进行同步声光调制, 进一步提高了该类型滤波器的调谐性能, 能够应用于波分复用系统的波长选择、多波长光纤激光器的波长间隔可调及光载无线通信的微波信号产生等领域. 在特性分析部分, 采用光纤光栅的傅里叶模式理论^[25,26]作为理论模型, 分析了声波频率和声致应变幅度对基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱的影响. 在实验部分, 分别测试声波频率为 390 kHz 和 710 kHz 的基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱, 实验结果的变化趋势与仿真分析结果相一致.

2 理论分析

基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器如图 1 所示, 主要由压电陶瓷 (PZT)、圆锥及光纤叠栅组成, 其中, PZT 和圆锥均为空心结构. 为了提高声光耦合效率, 光纤叠栅的包层直径通过氢氟酸腐蚀变小. 当与光纤叠栅呈垂直关系放置的 PZT 加载有信号时, PZT 产生左右的振动; 通过圆锥, PZT 的左右振动使得光纤中产生了一个纵向振动的声波, 从而导致了光纤叠栅周期性的压缩和拉伸, 其中, 纵向振动的声波在光纤中所产生的应变分布为^[17]

$$s(z) = s_0 \cos(k_a z),$$

$$k_a = 2\pi/\Lambda_a, \quad \Lambda_a = v_a/f_a, \quad (1)$$

式中, k_a 是纵向声波的传播常数, Λ_a 是纵向声波的周期, v_a 是声波在光纤中的传播速度, f_a 是声波频率; s_0 是纵向声波在光纤中的声致应变幅度, 主要取决于光纤的结构和纵向声波的参数. 对于光纤横截面积为 S 的光纤叠栅, 当纵向声波的功率为 P_a 时, 声致应变幅度 s_0 为^[17]

$$s_0 = \sqrt{2P_a/ESV_a}, \quad (2)$$

式中, E 是光纤的杨氏模量, V_a 是纵向声波在光纤中传播的群速度.

对于光纤叠栅, 其本质是由两个不同周期的均匀布拉格光纤光栅制作在同一段光纤上, 因此其折射率微扰分布为

$$\Delta n(z) = \delta n_1 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda_1} z\right) \right]$$

$$+ \delta n_2 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda_2} z\right) \right],$$

$$0 \leq z \leq L, \quad (3)$$

式中, δn_1 和 δn_2 是光纤叠栅的折射率调制深度, 一般情况下, 在光纤叠栅制作过程中保证 δn_1 与 δn_2 相等; Λ_1 和 Λ_2 是光纤叠栅的两个周期; L 是光纤叠栅的长度. 当 PZT 加载电信号时, 由于光纤中的纵向声波对光纤叠栅的周期性的压缩和拉伸, 因此, 光纤叠栅的折射率微扰分布得到了周期性的声波调制, 其调制后的折射率微扰分布为

$$\Delta n(z) = \delta n_1 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda_1} z + \frac{\Lambda_a}{\Lambda_1} s_0 \sin(k_a z)\right) \right]$$

$$+ \delta n_2 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda_2} z + \frac{\Lambda_a}{\Lambda_2} s_0 \sin(k_a z)\right) \right], \quad 0 \leq z \leq L. \quad (4)$$

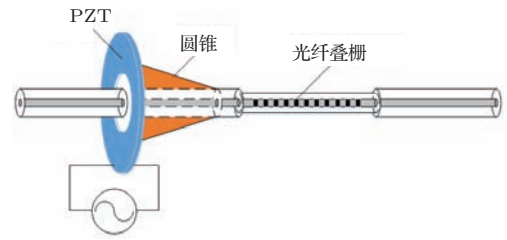


图 1 基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的结构示意图

Fig. 1. The structure of all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings.

3 特性分析

基于光纤光栅的傅里叶模式耦合理论^[25,26], 我们可以得到基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱. 图 2 为不同声波频率 f_a 下, 基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的反射光谱, 其中, 光栅的周期 Λ_1 和 Λ_2 分别约为 526.66 nm 和 527.26 nm, 光纤叠栅的中心波长 λ_1 和 λ_2 分别为 1543.11 nm 和 1544.86 nm, 光纤叠栅的长度 L 为 20 mm, 声致应变幅度 s_0 为 $100 \mu\epsilon$. 从图中可以看出, 当未加载声波时, 基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的反射光谱中只有中心波长分别为 λ_1 和 λ_2 的主反射峰; 当加载声波后, 滤波器除了在中心波长为 λ_1 和 λ_2 存在主反射峰外, 在其他波长也出现了次反射峰. 如图 2(c) 所示, 当加载的声波频率 f_a 为 2.16 MHz 时, 波长分别为 1542.81 nm, 1543.41 nm, 1544.56 nm 和 1545.16 nm 处出现了明显的四个一阶次反射峰, 而且, 波长分别为 1542.81 nm 和 1543.41 nm 的一阶次反射峰以中心波长为 λ_1 的主反射峰为中心呈对称关系; 波长分别为 1544.56 nm 和 1545.16 nm 的一阶次反射峰以中心波长为 λ_2 的主反射峰为中心呈对称关系. 这

就意味着对基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器而言, 声波能够对滤波器的两个主反射峰进行同步调制.

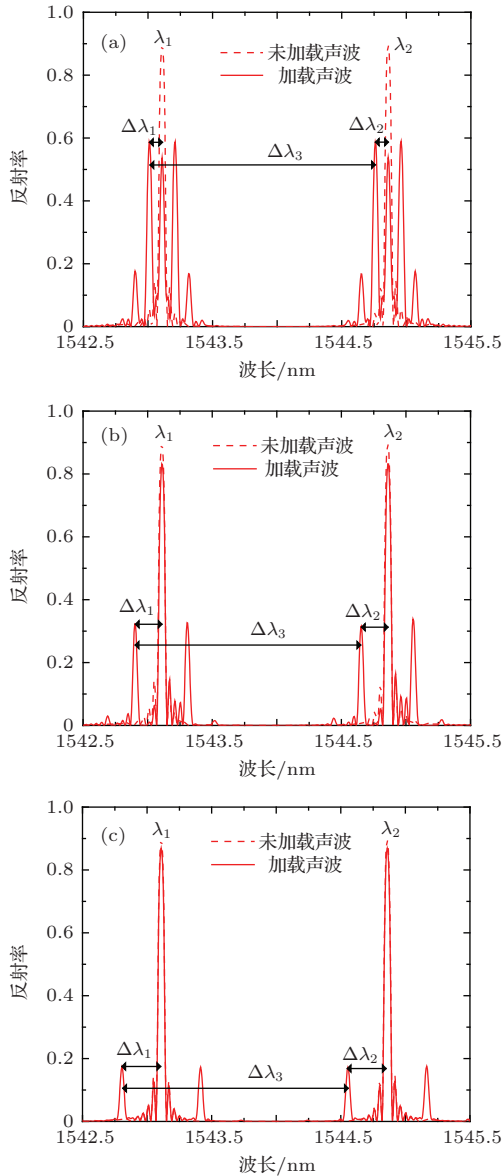


图2 (网刊彩色) 不同声波频率 f_a 下, 基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的反射光谱 (a) $f_a = 0.72$ MHz; (b) $f_a = 1.44$ MHz; (c) $f_a = 2.16$ MHz
 Fig. 2. (color online) The reflection spectrum of all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings with different acoustic frequencies f_a : (a) $f_a = 0.72$ MHz; (b) $f_a = 1.44$ MHz; (c) $f_a = 2.16$ MHz.

我们定义中心波长为 λ_1 的主反射峰左边的一阶次反射峰的中心波长与 λ_1 的波长间隔为 $\Delta\lambda_1$, 中心波长为 λ_2 的主反射峰左边的一阶次反射峰的中心波长与 λ_2 的波长间隔为 $\Delta\lambda_2$, 中心波长为 λ_1 的主反射峰左边的一阶次反射峰的中心波长与中心波长为 λ_2 的主反射峰左边的一阶次反射峰的

中心波长的波长间隔为 $\Delta\lambda_3$. 比较图 2(a), (b) 和 (c) 可以发现, 当声波频率 f_a 从 0.72 MHz 增加到 2.16 MHz 时, $\Delta\lambda_1$ 和 $\Delta\lambda_2$ 在逐步增大, 而 $\Delta\lambda_3$ 保持不变, 且一阶次反射峰的反射率随着声波频率 f_a 的增加而减小. 图 3 为 $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$ 及 $\Delta\lambda_3$ 与声波频率 f_a 的关系示意图. 从图中可以看出, $\Delta\lambda_1$ 和 $\Delta\lambda_2$ 随着声波频率 f_a 的增加呈线性增长趋势, 且 $\Delta\lambda_1$ 和 $\Delta\lambda_2$ 的增长曲线是一致的, 它们的增长系数为 0.143 nm/MHz, 而 $\Delta\lambda_3$ 随着声波频率 f_a 保持恒定, 其值与 λ_1 和 λ_2 之间的波长间隔相同, 为 1.75 nm. 这就说明了在基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器中, $\Delta\lambda_1$ 和 $\Delta\lambda_2$ 主要由声波频率 f_a 来决定, 而 $\Delta\lambda_3$ 主要由光纤叠栅的两个主反射峰的中心波长来决定. 图 4 为一阶次反射峰的反射率与声波频率 f_a 的关系示意图. 从图中可以发现, 一阶次反射峰的反射率随着声波频率 f_a 的增加呈非线性下降的趋势, 且在相对较高的声波频率 f_a 区域, 一阶次反射峰的反射率下降的趋势相对较为缓慢.

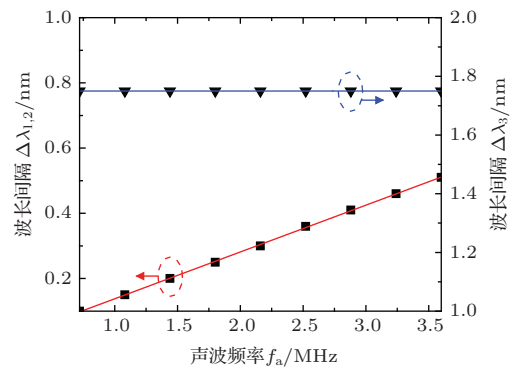


图3 (网刊彩色) 波长间隔 $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$ 及 $\Delta\lambda_3$ 与声波频率 f_a 的关系示意图
 Fig. 3. (color online) Acoustic frequency f_a versus wavelength spacing $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$ and $\Delta\lambda_3$.

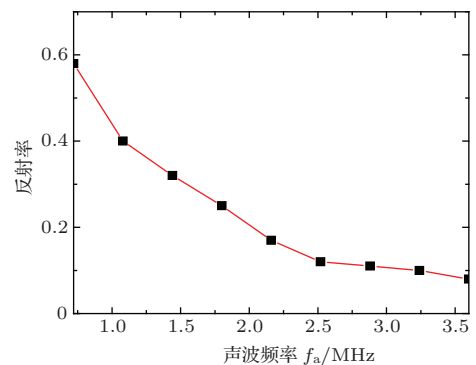


图4 一阶次反射峰的反射率与声波频率 f_a 的关系示意图
 Fig. 4. The relationship between the reflectivity of the 1st order secondary reflection peak and the acoustic frequency f_a .

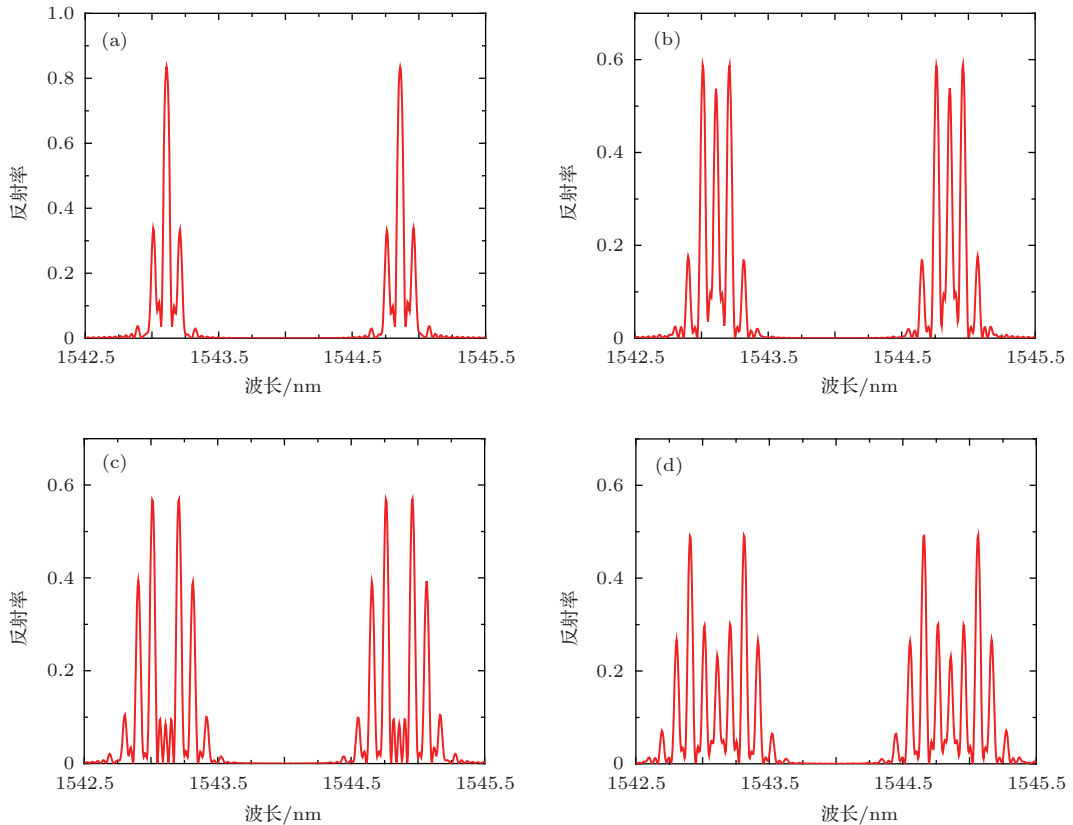


图5 (网刊彩色) 不同声致应变幅度 s_0 下, 基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的反射光谱 (a) $s_0 = 50\mu\epsilon$; (b) $s_0 = 100\mu\epsilon$; (c) $s_0 = 150\mu\epsilon$; (d) $s_0 = 200\mu\epsilon$

Fig. 5. (color online) The reflection spectrum of all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings under different acoustically induced strain s_0 : (a) $s_0 = 50\mu\epsilon$; (b) $s_0 = 100\mu\epsilon$; (c) $s_0 = 150\mu\epsilon$; (d) $s_0 = 200\mu\epsilon$.

从(4)式可以看出, 对于基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器, 除了声波频率 f_a 之外, 声致应变幅度 s_0 也影响了滤波器的传输光谱的变化情况. 图5为不同声致应变幅度 s_0 下, 声波频率 f_a 为0.72 MHz的基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的反射光谱. 从图中可以看出, 随着声致应变幅度 s_0 的增大, 次反射峰的个数也在逐渐增加, 而且, 当声致应变幅度 s_0 变化时, 中心波长分别为 λ_1 和 λ_2 的主反射峰及其他波长的次反射峰的反射率都将发生变化. 比较图5(a)—(d), 可以看出, 当声致应变幅度 s_0 从 $50\mu\epsilon$ 增加至 $150\mu\epsilon$ 时, 中心波长分别为 λ_1 和 λ_2 的主反射峰的反射率从0.83降至0.08; 当声致应变幅度 s_0 继续增加至 $200\mu\epsilon$ 时, 中心波长分别为 λ_1 和 λ_2 的主反射峰的反射率又增加至0.23. 次反射峰的反射率也有类似的增大降低的变化趋势, 且当声致应变幅度 s_0 为 $200\mu\epsilon$ 时, 二阶次反射峰的反射率要高于—阶次反射峰的反射率. 这一变化趋势是由于声波对光纤叠栅的折射率微扰分布进行了周期性的调制, 使得光纤叠栅的相位

匹配条件和耦合功率发生了改变. 同时, 可以注意到, 对基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器而言, 由于声波是对滤波器的两个主反射峰进行同步调制, 因此, 同阶的次反射峰的反射率的变化趋势也是一致的.

4 实验

图6是基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的实验测试装置图. 实验所用的光纤叠栅的两个反射峰的中心波长分别为1543.11 nm和1544.86 nm, 反射率都约为90%, 其反射光谱及透射光谱如图7所示. 光纤叠栅的直径通过氢氟酸腐蚀, 由125 μm 减小至60 μm 左右. 滤波器的PZT的驱动装置由信号发生器(DG1022U, RIGOL)和电压放大器(2340, TEGAM)组成, 其中, 电压放大器的放大倍数约为50倍, 信号发生器发出的信号为正弦信号, 正弦信号的电压幅度越大, PZT振动越强, 声致应变幅度 s_0 也越大. 实验中所使用的光源为ASE光

源, 其波长范围约为 1520 nm 至 1560 nm; 滤波器的输出光谱由 ANDO 公司的 AQ6317C 型号光谱仪 (OSA) 所测得, 采用的测试精度为 0.01 nm.

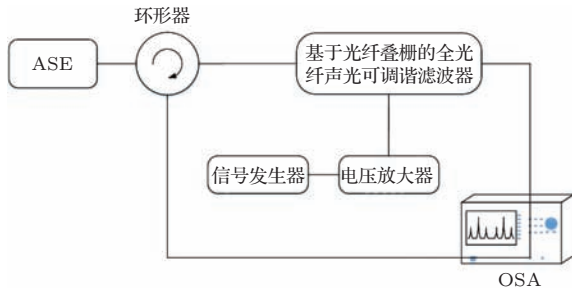


图6 基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的实验测试装置图

Fig. 6. Experimental setup of all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings.

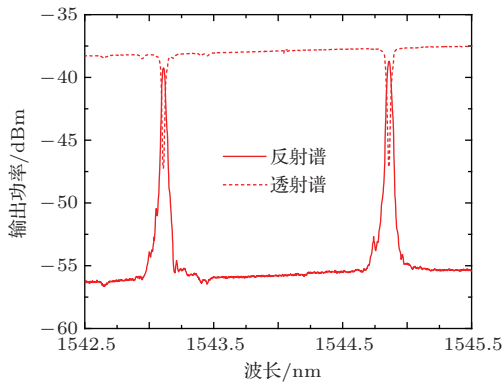


图7 (网刊彩色) 实验所测的光纤叠栅的传输光谱

Fig. 7. (color online) Measured spectrum of superimposed fiber Bragg gratings.

图8和图9分别是不同的信号电压幅度下, 声波频率 f_a 分别为 390 kHz 和 710 kHz 的基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱. 从图中可以看出, 与仿真结果较为相似, 当 PZT 加载振动信号时, 在滤波器的反射光谱中除了在中心波长 1543.11 nm 和 1544.86 nm 处存在两个主反射峰外, 在其他波长处也出现了多个次反射峰; 而且随着信号的电压幅度的不断增加, 次反射峰的数量在不断的增加, 其反射功率也在逐渐增大, 而两个主反射峰的反射功率在不断减小. 同时, 可以发现, 各个次反射峰分别以两个主反射峰为中心呈对称关系, 且两个主反射峰和四个同阶的次反射峰的反射功率的变化趋势较为一致. 这也论证了对基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器而言, 声波能够对滤波器的两个主反射峰进行同步调制. 比较图8和

图9, 可以发现, 声波频率 f_a 为 710 kHz 的滤波器的主反射峰与一阶次反射峰的波长间隔要大于声波频率 f_a 为 390 kHz 的滤波器; 而且, 对于同一信号电压幅度下, 声波频率 f_a 为 710 kHz 的滤波器的反射光谱中次反射峰的数量及反射功率都要小于声波频率 f_a 为 390 kHz 的滤波器.

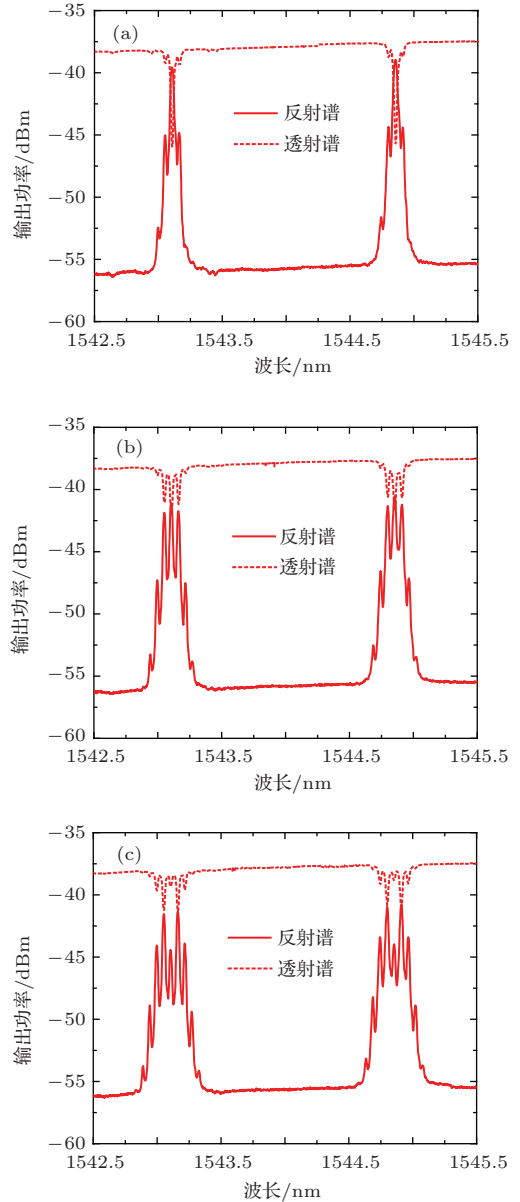


图8 (网刊彩色) 不同的信号电压幅度下, 声波频率 f_a 为 390 kHz 的基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱 (a) 0.4 V; (b) 0.8 V; (c) 1.2 V

Fig. 8. (color online) Spectrum of all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings with acoustic frequency f_a of 390 kHz under different signal voltage amplitude: (a) 0.4 V; (b) 0.8 V; (c) 1.2 V.

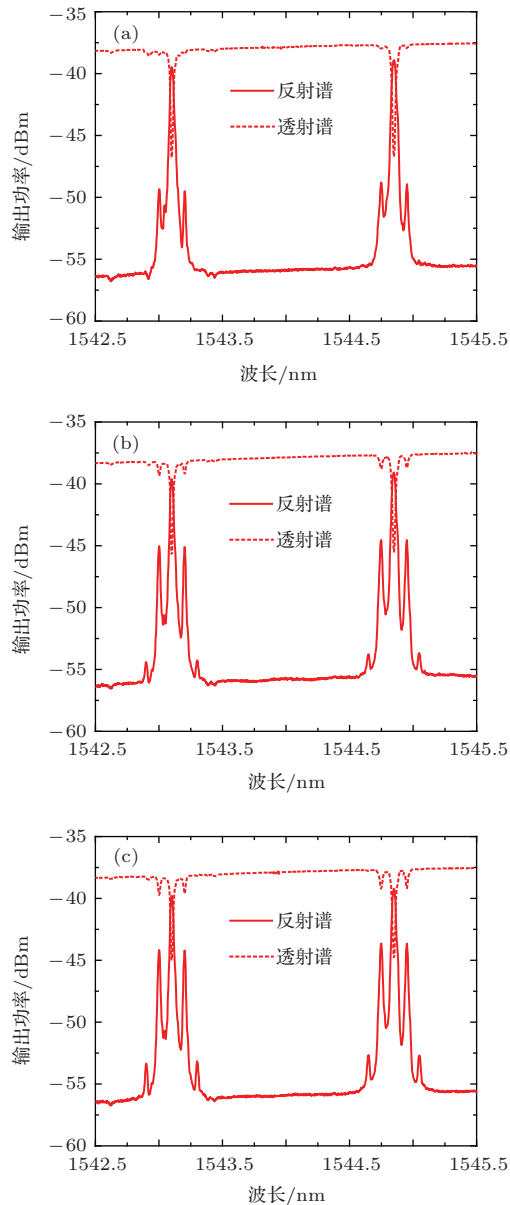


图9 (网刊彩色) 不同的信号电压幅度下, 声波频率 f_a 为 710 kHz 的基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱 (a) 0.4 V; (b) 0.8 V; (c) 1.2 V

Fig. 9. (color online) Spectrum of all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings with acoustic frequency f_a of 710 kHz under different signal voltage amplitude: (a) 0.4 V; (b) 0.8 V; (c) 1.2 V.

5 结 论

本文提出了一种基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器, 与普通光纤布拉格光栅型全光纤声光可调谐滤波器相比, 该滤波器能够对光纤叠栅的两个中心波长进行同步调制. 在理论分析中, 分析了声波频率 f_a 和声致应变幅度 s_0 对基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱的影响.

仿真结果表明, 当加载声波时, 除了在中心波长为 λ_1 和 λ_2 存在两个初始的主反射峰外, 在其他波长也出现了次反射峰, 且各阶次反射峰分别以两个主反射峰为中心呈对称关系; 中心波长为 λ_1 的主反射峰左边的一阶次反射峰的中心波长与 λ_1 的波长间隔 $\Delta\lambda_1$ 和中心波长为 λ_2 的主反射峰左边的一阶次反射峰的中心波长与 λ_2 的波长间隔 $\Delta\lambda_2$ 与声波频率 f_a 都呈线性增长关系, 其增长系数为 0.143 nm/MHz, 而中心波长为 λ_1 的反射峰左边的一阶次反射峰的中心波长与中心波长为 λ_2 的反射峰左边的一阶次反射峰的中心波长的波长间隔 $\Delta\lambda_3$ 与声波频率 f_a 无关, 主要由光纤叠栅的两个主反射峰的中心波长来决定. 当声致应变幅度 s_0 保持不变, 一阶次反射峰的反射率随着声波频率 f_a 的增加而减小. 声致应变幅度 s_0 主要影响两个主反射峰及各个次反射峰的反射率的变化, 且由于声波是对滤波器的两个主反射峰进行同步调制, 因此, 同阶的次反射峰的反射率的变化趋势也是一致的. 在实验上, 分别测试声波频率为 390 kHz 和 710 kHz 的基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的传输光谱, 实验结果的变化趋势与仿真分析结果相一致. 本文的研究为基于光纤叠栅的全光纤声光可调谐滤波器的设计与制作提供了一定的基础, 扩展了全光纤声光可调谐滤波器的类型, 促进了全光纤声光可调谐滤波器的应用.

参考文献

- [1] Cuadrado-Laborde C, Díez A, Andrés M V, Cruz J L, Bello-Jiménez M 2011 *Opt. Photon. News* **22** 36
- [2] Zhang W D, Huang L G, Gao F, Bo F, Zhang G Q, Xu J J 2013 *Opt. Express* **21** 16621
- [3] Wang D Y, Wang Y M, Gong J M, Wang A B 2011 *Opt. Lett.* **36** 3392
- [4] Oliveira R A, Canning J, Cook K, Nashqbandi M, Pohl A A P 2011 *Sensors Actuat. B-Chem.* **157** 621
- [5] Zhang W D, Gao F, Bo F, Wu Q, Zhang G Q, Xu J J 2011 *Opt. Lett.* **36** 271
- [6] Lim S D, Park K J, Eom S, Jeong J-M, Kim B Y, Lee S B 2011 *Opt. Lett.* **36** 1101
- [7] Lee K J, Hwang I-K, Park H C, Kim B Y 2010 *Opt. Express* **18** 12059
- [8] Liu W F, Russell P S J, Dong L 1997 *Opt. Lett.* **22** 1515
- [9] Marques C A F, Bilro L, Kahn L, Oliveira R A, Webb D J, Nogueira R N 2013 *J. Lightwave Technol.* **31** 1551
- [10] Li J, Ning T G, Pei L, Qi C H 2009 *Opt. Lett.* **34** 3136
- [11] Li J, Ning T G, Pei L, Qi C H, Hu X D, Zhou Q 2010 *IEEE Photonic. Tech. L.* **22** 516
- [12] Li Q, Yan F P, Peng W J, Feng T, Feng S C, Tan S Y, Liu P, Ren W H 2012 *Opt. Express* **20** 23684

- [13] Zhang J H, Qiao X G, Feng Z Y, Hu M L, Gao H, Zhou R, Yang Y 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 054215 (in Chinese) [张敬花, 乔学光, 冯忠耀, 忽满利, 高宏, 周锐, 杨扬 2012 物理学报 **61** 054215]
- [14] Nan Q M, Song L 2014 *Chin. Opt. Lett.* **12** S12302
- [15] Zhang X L, Zhang F X, Li S J, Wang M, Wang L J, Song Z Q, Sun Z H, Qi H F, Wang C, Peng G D 2014 *Chin. Opt. Lett.* **12** S10608
- [16] Li Z X, Pei L, Liu C, Ning T G, Yu S W 2012 *Appl. Opt.* **51** 7314
- [17] Russell P S J 2000 *J. Opt. Soc. Am. A* **17** 1421
- [18] Oliveira R A, Neves Jr P T, Pereira J T, Pohl A A P 2008 *Opt. Commun.* **281** 4899
- [19] Liu C, Pei L, Li Z X, Ning T G, Gao S, Kang Z X, Sun J 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 034208 (in Chinese) [刘超, 裴丽, 李卓轩, 宁提纲, 高嵩, 康泽新, 孙将 2013 物理学报 **62** 034208]
- [20] Liu C, Pei L, Li Z X, Ning T G, Yu S W, Kang Z X 2013 *Appl. Opt.* **52** 3318
- [21] Wu L Y, Pei L, Liu C, Wang Y Q, Weng S J, Wang J S 2014 *Chin. Phys. B* **23** 110702
- [22] Delgado-Pinar M, Diez A, Cruz J L, Andres M V 2007 *Appl. Phys. Lett.* **90** 171110
- [23] Cuadrado-Laborde C, Diez A, Delgado-Pinar M, Cruz J L, Andrés M V 2009 *Opt. Lett.* **34** 1111
- [24] Marques C A F, Oliveira R A, Pohl A A P, Nogueira R N 2013 *Opt. Fiber Technol.* **19** 121
- [25] Zeng X K, Rao Y J 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 8597 (in Chinese) [曾祥楷, 饶云江 2010 物理学报 **59** 8597]
- [26] Zeng X K, Liang K 2011 *Opt. Express* **19** 22797

Analysis of all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings*

Liu Chao Pei Li[†] Wu Liang-Ying Wang Yi-Qun Weng Si-Jun Yu Shao-Wei

(Key Laboratory of All Optical Network and Advanced Telecommunication Network of Ministry of Education, Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

(Received 5 February 2015; revised manuscript received 22 March 2015)

Abstract

In this paper, an all fiber acousto-optic tunable filter based on superimposed fiber Bragg gratings (SFBG-AOTF) is demonstrated and studied. Compared to the normal fiber Bragg gratings based all fiber acousto-optic tunable filter, SFBG-AOTF can modulate the two optical resonant wavelengths of the gratings synchronously. The spectrum of SFBG-AOTF at various acoustic frequencies and under acoustically induced strains, has been analyzed theoretically. Based on simulation results, one can find that each order of the secondary reflection peak is symmetrical with respect to the two primary reflection peaks with SFBG as the center, and the resonant wavelength spacing between the primary reflection peak and the secondary reflection peak which is modulated by the former, is proportional to the acoustic frequency. But the resonant wavelength between the same order secondary reflection peaks which are modulated by two different primary reflection peaks, is independent of the acoustic frequency. The acoustically induced strains mainly affect the variation of the reflectivities of the primary and secondary reflection peaks. In the experiment, the spectra of SFBG-AOTF with acoustic frequencies of 390 and 710 kHz, are measured. The variation trend of the experimental results accords well with the simulated one.

Keywords: superimposed fiber Bragg gratings, acousto-optic modulation, transmission characteristic

PACS: 42.79.Dj, 42.79.Jq, 42.81.-i

DOI: 10.7498/aps.64.174207

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61275076).

† Corresponding author. E-mail: lipei@bjtu.edu.cn