

热极化保偏光纤构成的全光纤电光强度调制器*

陈 哲¹ 廖廷彪²

(1 暨南大学光电工程研究所, 广州 510632)

(2 清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要 利用热极化熊猫保偏光纤器件和保偏光纤耦合器, 构成 Mach-Zehnder 干涉仪结构, 实验验证了一种新型的全光纤电光强度调制器. 由于该光纤电光强度调制器是用全保偏光纤构成, 解决了偏振衰减问题, 因此获得了稳定的光强调制响应输出.

关键词 电光调制器; 热极化光纤; 光纤器件; 保偏光纤; 强度调制

中图分类号 TN25 **文献标识码** A

0 引言

飞速发展的光纤通讯和光纤传感技术迫切需要新型的全光纤强度调制器. 全光纤强度调制器的方案之一是用光纤干涉仪来构成, 而其中的关键器件是全光纤相位调制器. 目前常用的全光纤相位调制器用压电陶瓷环上缠绕光纤来实现, 但这种相位调制器受到压电陶瓷材料的响应特性的限制, 调制频率通常低于 100 kHz, 这极大地限制了它在光纤传感或传输系统中的应用. 于是人们考虑直接应用光纤来制作电光相位调制器. 然而, 用熔石英制成的光纤是中心对称的材料, 不存在线性电光效应, 而二阶电光效应又太小. 1994 年以来, 光纤热极化技术的发展, 使得在熔石英光纤中可以产生二阶非线性, 这为获得新型实用的全光纤电光调制器提供了可能^[1-3]. 虽然目前的全光纤电光相位调制器的线性电光系数仍较小, 但人们已开始探索将其制成新型光纤器件的途径. 英国南安普顿大学的 Kazansky 将热极化单模光纤作为电光相位调制器用于制作单模光纤 Mach-Zehnder 干涉仪, 演示了 0.83 μm 波长的光在 150 kHz 调制频率的单模光纤电光强度调制器^[1], 由于该强度调制器用普通单模光纤制成, 光传输中光的偏振态变化较大, 实验中需用偏振控制器来控制 Mach-Zehnder 干涉仪系统中的偏振态. 另外, 该实验中的调制电极是机械地压在光纤上的, 没有进行电极的实用化封装, 因此该实验在偏振态控制和电极封装上存在困难, 也就无法实现长时间的稳定调制.

在相干光通信或光纤干涉仪传感器中, 用到许多全保偏光纤器件, 其中之一就是全保偏光纤的电

光相位调制器^[3], 由于这种调制器解决了偏振不稳定性问题, 所以可实现长时间稳定调制. 通常全光纤电光强度调制器用光纤 Mach-Zehnder 干涉仪构成, 然而要构造全保偏、稳定的光纤 Mach-Zehnder 干涉仪系统, 这首先需获得全保偏光纤电光相位调制器. 我们已用热极化熊猫保偏光纤制成了带有微带电极的全保偏光纤电光相位调制器^[3], 该相位调制器较好地解决了偏振态的控制和电极封装的问题, 这为全光纤电光强度调制器提供了制作基础. 本文首次报道了用热极化保偏光纤构成的全光纤电光强度调制器的实验验证, 并描述了它的构成与调制响应.

1 全光纤电光强度调制器的构成

在 280 $^{\circ}\text{C}$ 温度下, 在磨抛并镀有微带电极的熊猫光纤两侧加 3000 V 直流高电压进行极化, 我们已经制成了有着微带电极的新型热极化保偏光纤电光相位调制器^[3], 该器件在光波长 1.3 μm 的电光系数为 $0.47 \pm 0.05 \text{ pm/V}$. 该器件用一段商品熊猫光纤制备, 因此在偏振稳定性和易于与外部光纤系统熔接方面有着较好的性能. 另外, 直接镀在抛磨平面上的微带电极可以改善热极化光纤器件的高频调制特性. 该相位调制器较好地解决了以往光纤相位调制器所面临的偏振态控制和电极封装的问题.

将全保偏热极化光纤电光相位调制器用保偏光纤熔接机熔接入用保偏光纤及保偏光纤耦合器制成的 Mach-Zehnder 干涉仪的一个臂中, 可以构成一个全光纤电光强度调制器. 如图 1 所示, 其中 C1 和 C2 都是保偏光纤耦合器. 当在热极化光纤器件上施加以一定频率的调制电压时, 由 1.3 μm 激光器发出的光在 Mach-Zehnder 干涉仪的一个臂上被热极化光纤电光相位调制器所调制, 两束光在耦合器 C2 中干涉, 两束光的相位差的变化使干涉光强被调制, 从而形成全光纤电光强度调制器. 光路中一臂上的

*国家自然科学基金资助(项目号 69787002)

Tel: 020-85220484 Email: thzhechen@163.com

收稿日期: 2003-06-02

压电陶瓷 (PZT) 光纤相位调制器用于控制 Mach-Zehnder 干涉仪系统的工作点, 以补偿外界干扰 (例如温度等) 对系统的影响. 光强调制信号由光电探测器送往示波器显示. 通常如果要构成一个具有偏振选择性的全光纤电光强度调制器, 需要在相位调制器件上再熔接上一个光纤偏振器, 然而我们所制作的热极化光纤电光相位调制器本身就兼有电光调制器和偏振器双功能^[4], 因而使构成的强度调制器具有良好的偏振性能.

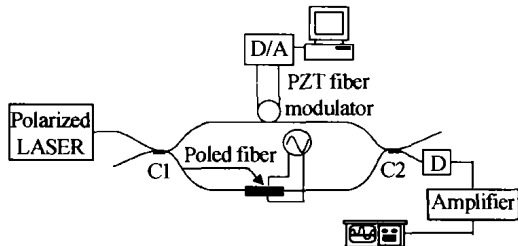


图 1 Mach-Zehnder 干涉仪型全保偏光纤电光强度调制器演示示意图
Fig. 1 Demonstration setup of all PM fiber electro-optic intensity modulator

2 全光纤电光强度调制器的强度调制响应

2.1 干涉仪式电光强度调制器的响应分析

对于由 Mach-Zehnder 干涉仪构成的电光强度调制器, 如图 1 所示, 当全保偏光纤电光相位调制器上施加的调制电压的圆频率为 ω_m 时, 横向调制电压则为

$$V_m(t) = V_{m0} \sin(\omega_m t) \quad (1)$$

式中, V_{m0} 为调制电压幅值, t 为时间. 在 Pockels 电光效应作用下^[5], 此时光纤 Mach-Zehnder 干涉仪两臂间的相位差为

$$\phi(t) = \delta \sin(\omega_m t) + \phi_0 \quad (2)$$

式中 δ 为相位调制度, ϕ_0 为干涉仪系统两臂的初始相位差, 于是光电探测器 D 上光电转换的输出电压为

$$V(\omega_A t) = V_0 \cos[\delta \sin(\omega_m t) + \phi_0] \quad (3)$$

式中 ω_A 为输出的相干光信号的频率, 也即是输出电信号幅值的变化频率, V_0 为输出的峰值电压. 利用压电陶瓷光纤相位调制器, 调整控制整个干涉仪装置, 如果使其工作在两臂初始相位差为 $\phi_0 = \pi/2 + 2n\pi, n = \pm 1, 2, 3, \dots$ 的状态, 则

$$V(\omega_A t) = V_0 \sin[\delta \sin(\omega_m t)] \quad (4)$$

由于本实验中的 $\delta \ll 1$, 则

$$V(\omega_A t) \approx V_0 \delta \sin(\omega_m t) \quad (5)$$

这表明, 在此 ϕ_0 状态下, 干涉仪强度调制器的光强调制信号输出的频率 ω_A 与热极化光纤上所施加的驱动信号的频率 ω_m 相同, 而且相位同步.

如果调整干涉仪装置工作在初始相位差为 $\phi_0 =$

$3\pi/2 + 2n\pi, n = \pm 1, 2, 3, \dots$, 则由于本实验中 $\delta \ll 1$, 光电探测信号输出为

$$V(\omega_A t) \approx -V_0 \delta \sin(\omega_m t) \approx V_0 \delta \sin(\omega_m t + \pi) \quad (6)$$

这表示, 在此 ϕ_0 状态下, 光强调制信号输出的频率 ω_A 与热极化光纤上所施加的驱动信号的频率 ω_m 仍相同, 但光强调制信号输出的相位与驱动信号反相.

2.2 调制响应的实验结果

图 2 中的示波器显示图片给出了控制压电陶瓷相位调制器使干涉仪工作在 $\phi_0 = \pi/2 + 2n\pi, n = \pm 1, 2, 3, \dots$ 的实验结果. 图 2 显示的是调制频率为 212 kHz 的正弦信号的光强调制, 上面的波形是加在热极化光纤上的电压调制信号, 下面的波形是由光电探测器检测到的光强调制信号. 由图 2 可知, 两者的信号频率相同, 两者相位几乎相同. 照片中显示光电探测信号相对于驱动信号有少许的响应延迟, 使两者之间稍不同步, 这是由于热极化光纤相位调制器或光电转换电路的响应延迟造成的.

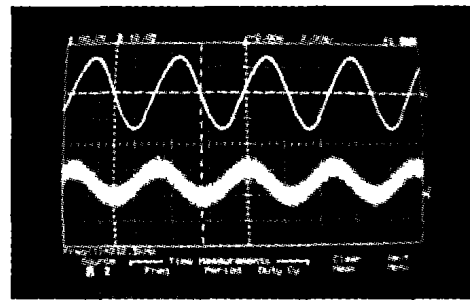


图 2 当 $\phi_0 = \pi/2 + 2n\pi, n = \pm 1, 2, 3, \dots$ 时, 施加调制频率为 212 kHz 的正弦信号, 在示波器上显示的光强调制照片
Fig. 2 Signal photographs of oscilloscope when $\phi_0 = \pi/2 + 2n\pi, n = \pm 1, 2, 3, \dots$ and modulation frequency of 212 kHz applied on the fiber electrooptic phase modulator

图 3 中给出了控制压电陶瓷相位调制器使干涉仪工作在 $\phi_0 = 3\pi/2 + 2n\pi, n = \pm 1, 2, 3, \dots$ 的实验结果. 图 3 给出的也是调制频率为 212 kHz 的正弦信号的光强调制, 上面的波形是加在热极化光纤上的电压调制信号, 下面的波形是由光电探测器检测

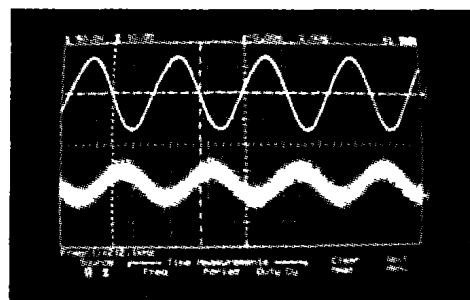


图 3 当 $\phi_0 = 3\pi/2 + 2n\pi, n = \pm 1, 2, 3, \dots$ 时, 施加调制频率为 212 kHz 的正弦信号, 在示波器上显示的光强调制照片
Fig. 3 Signal photographs of oscilloscope when $\phi_0 = 3\pi/2 + 2n\pi, n = \pm 1, 2, 3, \dots$ and modulation frequency of 212 kHz applied on the fiber electrooptic phase modulator

到的光强调制信号. 由图 3 可知, 两者的信号频率相同, 但两者的相位除有少许延迟外, 几乎相反.

在图 2 和图 3 的示波器照片中, 调制光强输出信号的噪声较大, 这是由于光强调制深度较小, 需经光电转换电路放大所带来的噪声, 如果改用低噪声放大电路将改善输出信号的信噪比.

本实验中所用的热极化光纤器件的电光系数为 $0.47 \pm 0.05 \text{ pm/V}$, 与晶体的电光系数相比仍然较小, 所以需用大功率信号源来驱动, 而我们在实验中所用的大功率信号源的频率上限是 212 kHz, 因此我们的实验只验证了 10 Hz ~ 212 kHz 范围内的光强调制. 实际上, 本研究中所用的热极化光纤电极结构可以工作在更高的调制频率上. 由于我们制作的热极化光纤兼有线性电光效应和偏振消光效应双功能^[4], 所以此全光纤电光强度调制器的偏振性能很稳定, 光强调制输出信号也是长时间稳定的. 另外, 该电光强度调制器带有保偏光纤的尾纤, 因此易于与光纤系统熔接.

3 总结

利用热极化熊猫保偏光纤器件和保偏光纤耦合器, 构成 Mach-Zehnder 干涉仪结构, 实验验证了一种新型的全光纤电光强度调制器. 器件带有保偏光纤的尾纤, 易于与光纤系统熔接. 由于该光纤电光强度调制器完全由保偏光纤构成, 解决了偏振衰减

问题, 因此可获得稳定的光强调制输出. 当全光纤光强调制器的初始相位差改变时, 调制器的光强输出与调制电压的相位关系也会发生改变, 从而可以实现调制的同相或反相工作状态.

进一步的研究工作将是提高热极化光纤的电光系数, 降低半波电压, 这将最终提高全光纤电光强度调制器的调制深度.

参考文献

- 1 Kazasky P G, Russell P S J, Takebe H. Glass fiber poling and application. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, 1997, **15**(8): 1484 ~ 1493
- 2 Long X C, Brueck S R J. Large-signal phase retardation with a poled electrooptic fiber. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1997, **9**(6): 767 ~ 769
- 3 Chen Zhe, Liao Yanbiao, Hu Yongming, et al. Thermally poled PANDA fiber device with micro-strip electrode. *Electronics Letters*, 2000, **36**(22): 1839 ~ 1840
- 4 陈哲. 极化光纤电光器件的理论与实验研究. [博士论文]清华大学, 2000, 89 ~ 90
Chen Z. Theories and Experiments on Poled Glass Fiber Electro-optic Device, [Dissertation of PhD] Tsinghua University, 2000, 89 ~ 90
- 5 彭江得. 光电子技术基础. 北京: 清华大学出版社, 1988. 119 ~ 131
Peng J D. Introduction of Photoelectronic Technology. Beijing: Tsinghua University Press, 1988. 119 ~ 131

All Polarization Maintaining Thermal Poling Fiber Electro-optic Intensity Modulator

Chen Zhe¹, Liao Yanbiao²

¹ Department of Physics, Jinan University, Guangzhou 510632

² Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084

Received date: 2003-06-02

Abstract An all optical thermal poled fiber electro-optic intensity modulator has been firstly demonstrated. The modulator is a Mach-Zehnder interferometer constructed by a thermal poling polarization maintaining (PM) fiber device and two PM fiber couplers. The output of intensity modulator is stable without polarization fading as the modulator was constructed by polarization maintaining fiber.

Keywords Electro-optic modulator; Thermal poled fiber; Fiber device; Polarization maintaining fiber; Intensity modulation

Chen Zhe is with Jinan University, Guangzhou, China. He received PhD degree in physical electronics from Tsinghua University. His current research interests include optical fiber sensors and optical fiber passive components used for sensors and telecommunication.

