

The practical technology research of optical fiber Bragg grating

CHEN Zhi-hong, WANG Li-hui

College of information, Mechanical & Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai, China, 201418

zhchen@shnu.edu.cn

Abstract: Optical fiber Bragg gratings (OFBG) and optical passive components based on OFG will play an important role in the Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) system and have huge market in the near future. Fiber Bragg Grating (FBG) products for DWDM applications are developed. Using apodization techniques improve the isolation of FBG filters and the ripple of delay curve; The regulation of the FBG's Bragg wavelength can be realized by imposing stress on FBG when fabrication; A simple and effective annealing technology is used to improve the stabilization of FBG.

Keywords: optical fiber grating; photosensitivity; apodization; annealing

Bragg 光纤光栅的实用化技术研究

陈志红, 王丽慧

上海师范大学信息与机电工程学院, 上海, 中国, 201418

zhchen@shnu.edu.cn

【摘要】实用化光纤光栅及其衍生关键光无源器件是高速光传输和密集波分复用全光通信系统中的关键器件。本文对光纤光栅的实用化进行了研究, 采用高光敏光纤更精确地实现预定的变迹改善光栅反射谱的边模抑制比和时延曲线的抖动; 通过在制作光纤光栅时施加应力实现对光纤光栅布拉格波长的调节; 通过选取适当的退火工艺对光纤光栅进行了退火处理, 使其性能更加稳定。

【关键词】光纤光栅; 光敏性; 变迹; 退火

1 引言

作为未来高速、超大容量光通信系统的关键元器件, 光纤光栅的研究和开发在世界范围受到重视, 研究方向涉及光纤光敏性^[1]、光栅形成机理和制作方法^[2]以及器件稳定性^[3]等方面。对于光通信系统应用来说, 元件的长期稳定、可靠性对于实用化, 具有基本重要的意义, 例如, 作为激光器波长稳定器, 其反射率和 Bragg 波长的变化都可能引起整体器件的报废; 又如, 密集波分复用 (DWDM) 系统的波长选择器, 也要求其滤波特性保持长期稳定, 否则会造成全系统的故障。本文通过采用变迹技术提高了边模抑制比和时延曲线抖动, 实验中采用了一种施加应力来改变布拉格波长的方法, 并取得了好的效果, 通过选取适当的退火工艺对光纤光栅进行了退火处理, 使其性能更加的稳定。目前研制的 DWDM 光栅的边模抑制比在 25–30dB 之间, 时延曲线的抖动小于 30ps, 光栅的布拉格波长在退火后具有长时间的稳定

性, 已经达到实用化产品的要求。

2 光纤光栅的实用化技术研究

光纤光栅的产品化技术研究除光栅的色散和时延是针对啁啾光栅而言, 其它技术对均匀 Bragg 光纤光栅和啁啾光栅都适用。

2.1 反射谱边模抑制比和时延曲线抖动实验改善

光纤光栅色散补偿器属于反射型滤波器, 因此必须具有高的隔离度, 即大的边模抑制比, 才能用于光通信系统中。一般而言, 光纤光栅经各种处理后, 最后形成产品时的边模抑制比要大于 25dB。对光纤光栅进行变迹可有效地抑制反射谱的边模, 通过计算机模拟, 选取适当的变迹函数, 可取得很好的效果。但实际操作时很难完美实现预定的变迹函数, 如光纤掺铒的不均匀性, 扫描系统的不稳定性及脉冲激光光束的能量不均匀性等都会对精确实现预定变迹函数有不利的影响。

在实验中发现, 当一开始对光敏光纤曝光时, 光

资助信息: 上海师范大学科研项目 (SK200857)

纤光栅的反射率不断上升，反射谱的带宽也变宽；一段时间后，反射率趋于饱和，带宽仍在缓慢加宽。比如，实际需要 3dB 带宽为 0.5nm，在大约 2 分钟后，反射率基本饱和，带宽约有 0.3nm。为了获得所需带宽，只有继续曝光，使反射谱带宽继续增加，到达 0.5nm 带宽时大约需 8 分钟。观察表明，虽然后 6 分钟使反射谱的带宽增加了 0.2nm，但反射谱的边模也跟着增加，大约增长了 3~5dB 左右，也就是说，反射谱带宽的增加是以边模变大为代价的。根据对实验系统及光敏光纤的分析，曝光时间稍长，边模增加可能是由于激光光束能量密度的不均匀性所引起的。因为通过对激光光束能量的空间检测（激光器的理想光束能量分布是高斯型），确实发现存在光束能量不均匀这一很难克服的问题。

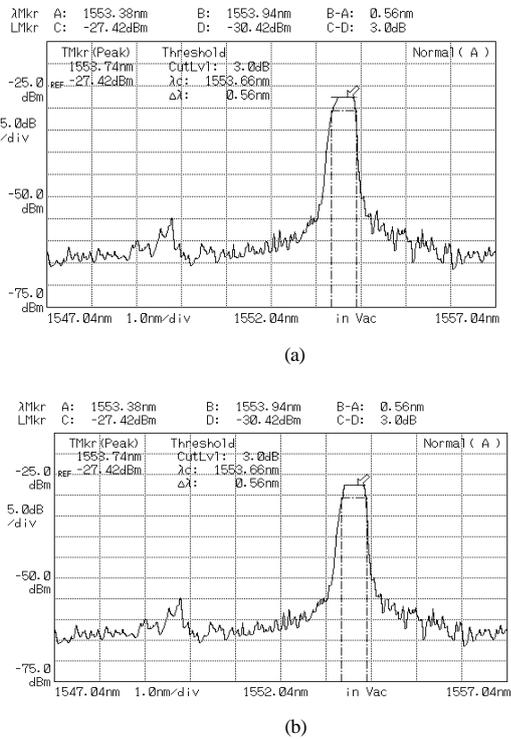


Figure 1. reflection spectrum of chirped fiber grating(a)(fiber of weak photosensitivity),(b)(fiber of strong photosensitivity)

图 1.啁啾光纤光栅反射谱(a) (弱光敏光纤), (b) (强光敏光纤)

显然，若预先设计的变迹函数是高斯型，由于激光光束能量分布的不均匀性，实际实现的变迹函数势必偏离原来的设计，甚至破坏高斯函数形式，使反射谱的边模增加。特别是曝光时间越长，光束能量不均匀性对变迹函数的负影响或破坏作用就越大，从而使反射谱的边模相应变大。要想尽力减小不均匀激光光束对光栅变迹的不利影响，一个简单可行的方法是增加光纤的光敏性，减少曝光时间，使以边模增加换取带宽变宽的过程

缩短。为此，我们采取了先去掉光纤涂敷层再放入高压氢气的氢载办法，并取得了好的效果。图 1(a)(b)是不同光敏性光纤在经历了不同的曝光时间，最后都获得了相同的带宽的反射谱。从图中可看出，光敏性强的光纤（去掉涂敷层氢载）所用的曝光时间短，制备的光栅反射谱的边模抑制比大，约 27.5dB，而光敏性小的光纤（含涂敷层氢载），相应的光栅反射谱边模抑制比只有 24dB。

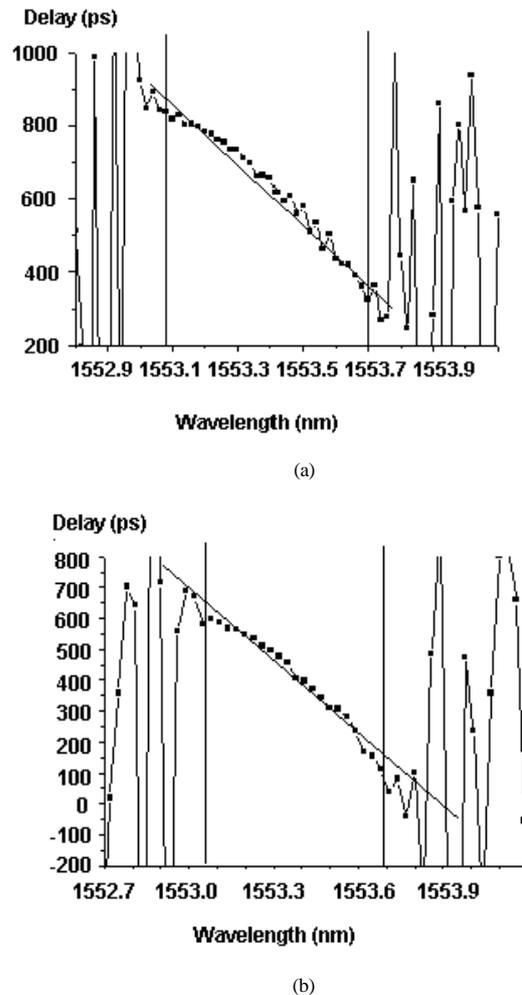


Figure 2. delay curve of chirped fiber grating(a)(fiber of weak photosensitivity),(b)(fiber of strong photosensitivity)

图 2 啁啾光纤光栅时延图(a) (弱光敏光纤), (b) (强光敏光纤)

实际上，上述方法的原理在于如何尽量完美地实现预定的变迹函数。通过使用强光敏性光纤，在反射谱达到预定的带宽所用的曝光时间大大减小，激光光束能量的不均匀性所带来的坏影响被大大的减小，这样不但反射谱的边模抑制比提高了，就连时延线（啁啾光栅而言）的抖动也变小了。图 2 是用不同光敏光纤制备的光纤光栅的时延曲线，光栅(a)（弱光敏性光纤所制备）的时延

曲线的抖动比光栅(b) (强光敏性光纤所制备) 的时延曲线的抖动要大, 分别约为 50ps 和 30ps (指带宽内的平均值, 从时延曲线的数据分析得到的)。

2.2 布拉格波长的调节

相位掩模法制备光纤光栅虽有诸多优点, 但也有其不足之处。比如一块掩模板原则上只能制作某一布拉格波长的光纤光栅。而在实际的 DWDM 系统中, 每个信道都按 ITU-T 波长标准划分的, 如用于一个 32 信道的 DWDM 系统, 就得制备 32 个满足相应 ITU-T 标准波长的光纤光栅。用相位掩模法制作上述光栅时, 就得用 32 个相位板, 无论从经济上还是从实验系统的稳定性上来讲, 都是不可取的。为此, 实验中采用了一种施加应力来改变布拉格波长的方法, 并取得了好的效果。

光纤光栅的布拉格波长受应力的影响非常明显, 文献^[4]已报道该现象的物理解释。比如某一相位板对应的布拉格波长为 λ_B , 那么在刻写光栅前先对光敏光纤施加应力, 刻写好光栅后再释放应力, 则光栅的周期会变小, 使布拉格波长变小, 达几个纳米; 若在光栅刻写完后施加应力, 则布拉格波长会变长, 数值也可达几个纳米。这样通过施加应力就可在数个纳米的范围内调节布拉格波长, 使之对应于 ITU-T 标准波长。可见, 用这种方法, 一块相位掩模板就可制备出布拉格波长位于不同 ITU-T 波长的多个光栅来, 使相位掩模板的用量大大减小。

2.3 啁啾光纤光栅的稳定性研究

啁啾光纤光栅的长期稳定性是其产品化研究的一个重要课题^[5]。光纤光栅如不经过一定的处理, 其性能是很不稳定的, 如反射谱的布拉格波长等重要参量都会随时间发生较大的变化。为使光纤光栅的特性能够稳定, 目前主要采取的方法是退火。

光敏光纤氢载后, H_2 就扩散进入光纤, 当对光纤进行曝光时, H_2 就会和掺锗光纤中的硅反应形成 $Si-OH$ 和锗缺氧缺陷, 二者都会使光诱导折射率变大。一些没有参加反应的溶解在光纤里的 H_2 也会使光栅的有效折射率增加, 但这些 H_2 会随着时间的推移慢慢的跑掉, 结果使光栅的有效折射率相应减小, 光栅反射谱的布拉格波长向短波方向漂移。为了消除上述不稳定因素, 常采用退火的办法来一次性消除残留在光纤中未参加反应的 H_2 , 使光诱导折射率变得稳定。

退火温度和退火时间的选择是退火工艺的两个重要因素, 二者与光纤的类型、氢载量的多少、曝光时间等因素有关, 是需要通过实验来确定的。退火温度过高

或退火时间过长, 可能导致光纤光栅变脆, 甚至使反射谱谱形劣化, 其机理有待进一步探讨; 退火温度不够或时间过短, 则不能使残余 H_2 完全逸出, 不能保证光栅的长期稳定性。图 3 是啁啾光纤光栅的反射谱峰值波长在退火前(A)和退火后(B)随时间变化的关系图, 可见退火后反射谱的布拉格波长在很长的时间内基本不变, 而不退火光栅的布拉格波长随时间有较大的变动(开始变化较大, 后来变化逐渐减小)。

图 3 中所用的光纤为单模掺锗光敏光纤, 在常温下氢载 10 天, 氢气压力为 $10^7 Pa$, 光源为 244nmUV 脉冲激光器。制作的啁啾光纤光栅, 在 80°C 退火 2 小时, 从图 3 可看出, 光栅的布拉格波长在退火后具有长时间的稳定性。

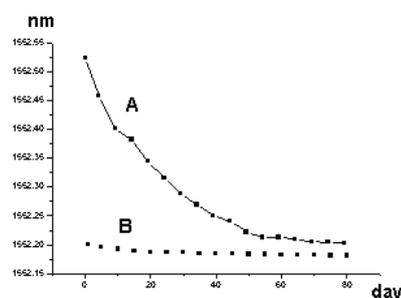


Figure 3. the relationship between FBG peak wavelength of reflection spectrum and time before(A) ,after(B) annealing

图 3. 光纤光栅的反射谱峰值波长在退火前 (A) 和退火后 (B) 随时间变化的关系图

3 论文结束语

本文对光纤光栅系统地进行了实用化研究, 包括: 1) 提出了一种新的能增加光纤光敏性的氢载技术, 即去涂层氢载技术; 采用高光敏光纤更精确地实现预定的 Apodization 来改善光栅反射谱的边模抑制比和时延曲线的抖动, 使反射谱的边模抑制比可达 28dB, 时延曲线的抖动小于 30ps。2) 通过在制作光纤光栅时施加应力或在封装时施加应力可实现对光纤光栅布拉格波长的调节, 使布拉格波长大于或小于设定波长(由相位板决定的), 调节范围可达数个纳米。3) 通过选取适当的退火工艺对光纤光栅进行了退火处理, 使其性能更加的稳定。

致谢

作者感谢武汉邮电科学研究院提供实验条件, 感谢实验室马卫东博士等的帮助。

References (参考文献)

- [1] M. Douay, W. X. Xie, T. Taunay et al, Densification involved in the UV-Based photosensitivity of silica glasses and optical fibers[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1997, 15(8): 1329-1342
- [2] P. J. Lemaire, R. M. Atkins, V. Mizrahi and W. A. Reed, high pressure H₂ loading as a technique for achieving ultrahigh UV photosensitivity and thermal sensitivity in GeO₂ doped optical fibers[J]. *Electron.Lett.*, 1993, 29(13): 1191-1193
- [3] T. Erdogan, V. Mizrahi, P.J. Lemaire and D. Monroe, Decay of Ultraviolet-induced fiber Bragg grating[J]. *J. Appl. Phys.*, 1994, 76(1): 73-80
- [4] Z.Qin, D.A.Brown, L.Reinhart, et al., Tuning Bragg wavelength by writing gratings on prestrained fibers[J]. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1994, 6(7):839-841
- [5] D.L.Williams and P.R.Smith., Accelerated lifetime tests on UV written intracore gratings in boron germanium co-doped silica fiber[J]. *Electron. Lett.*, 1995, 31(24):2120-2121.