

文章编号: 1001-3806(2012)03-0312-03

一种降低渐变折射率反射膜表面电场的方法

贺敏波, 江厚满*

(国防科学技术大学 光电科学与工程学院, 长沙 410073)

摘要: 为了解决渐变折射率反射膜表面电场不为0, 容易造成表面损伤的问题, 提出了反射相移补偿方法, 即不引入另外界面, 在渐变折射率反射膜表面增加一层适当厚度的均匀膜, 来降低渐变折射率反射膜的表面电场。结果表明, 该方法确实降低了渐变折射率反射膜的表面电场; 缺点是导致了渐变折射率反射膜中心波长的略微漂移, 但该漂移相比于反射带宽而言可以忽略。该研究对制备高损伤阈值的渐变折射率反射膜具有参考价值。

关键词: 薄膜; 渐变折射率; 电场分布; 反射相移

中图分类号: O484 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.03.006

A method for reducing surface electric field of graded-index reflective coating

HE Min-bo, JIANG Hou-man

(College of Opto-Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Considering graded-index reflective coating with high surface electric field and low surface damage threshold, a compensation process of reflection-induced retardance is applied for reducing the surface electric field of graded-index reflective coating. To achieve this compensation, without generating another interface, a uniform thin layer should be added on the surface of graded-index reflectance coating. This method obviously reduces the surface electric field. But it makes the central wavelength of reflective coating appreciably drift. However, comparing to reflectance bandwidth, this drift is so little that it can be ignored. This study will play an important role in designing graded-index reflectance coating with high damage threshold.

Key words: thin film; graded-index; electric field distribution; reflection-induced retardance

引言

渐变折射率薄膜又称为非均匀膜, 其主要特征为沿着膜层表面法线方向折射率连续变化, 而在垂直于法线方向折射率保持不变^[1-2]。传统光学薄膜是基于分层介质理论模型来设计的, 但是, 由于膜层之间存在界面, 界面的跃变特性及其不稳定性, 使得某些特定的光谱性能很难实现, 且膜层间的界面是形成损伤或性能退化的薄弱环节^[3-4]。非均匀膜既消除了膜层间的界面, 又极大地增加了膜系设计的调控度, 因此, 越来越受到科研工作者的重视并得到了应用^[5-7]。

然而, 相对于传统层状周期反射膜容易出现界面损伤的情形而言, 由于渐变折射率反射膜表面电场不为0, 加之一般而言膜系表面吸收比较大, 可能更容易出现表面损伤^[8-9], 因此, 本文中提出一种降低渐变折射率反射膜表面电场的反射相移补偿方法, 即不引入另外界面, 在渐变折射率反射膜表面增加一层适当厚

度的均匀膜, 目的在于实现渐变折射率反射膜反射相移的补偿, 希望通过该方法实现降低渐变折射率反射膜表面电场的作用。与此同时, 也研究了反射相移补偿对渐变折射率反射膜的中心波长的影响。

1 渐变折射率薄膜光学特性的分析方法

对于渐变折射率薄膜, 折射率首先从低折射率向高折射率变化称为正变; 折射率首先从高折射率向低折射率变化称为负变。膜层的折射率从高变到低再变到高或者从低变到高再变到低则称为一个周期。本文中假设渐变折射率按余弦规律变化, 记为余弦折射率模型^[10], 如下式所示:

$$n(z) = \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi z}{d}\right) \right] \times \frac{(n_h - n_l)}{2} + n_l \quad (0 \leq z \leq d) \quad (1)$$

式中 d 为周期厚度, n_h 为高折射率, n_l 为低折射率。

取渐变折射率膜系的周期厚度为 300nm, 周期数为 10 层, 空气折射率为 1, 基底折射率为 1.52, 高折射率为 1.96, 低折射率为 1.46。图 1 中给出了渐变折射率周期分布示意图, 其中图 1a 为负变折射率的周期性分布示

作者简介: 贺敏波(1986-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光与物质相互作用的研究。

* 通讯联系人。E-mail: jhm3395@sina.com

收稿日期: 2011-08-31; 收到修改稿日期: 2011-09-27

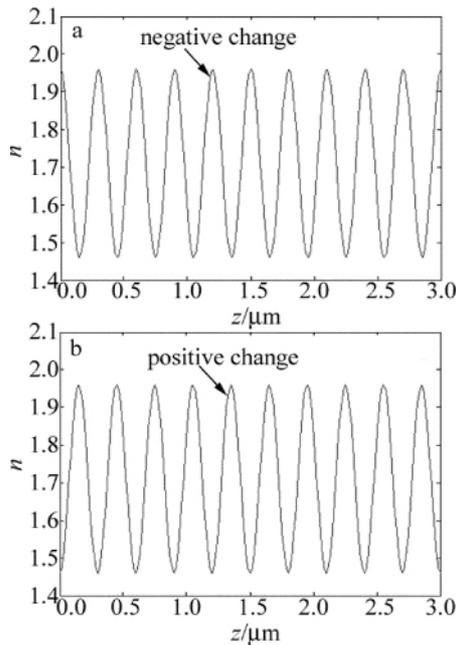


Fig. 1 Periodic changes of graded refractive index

意图,图1b为正变折射率的周期分布示意图。

从理论上讲,渐变折射率薄膜系统的研究必须通过求解非均匀介质中的麦克斯韦方程,在实际分析中该方法实行起来很是困难。因此,本文中采取一种近似方法来分析渐变折射率膜系,即将其分成若干层很薄的均匀子层^[1]。根据分层理论,可将渐变折射率薄膜沿其法线方向划分为 m 个子层,每个子层的几何厚度分别相等且折射率均匀。一般来说,当 m 取足够大时,该近似结果是足够精确的。对于渐变折射率膜的一个周期,文中取 $m=80$,即每个周期等分为80个均匀子层。

2 反射相移补偿对薄膜光学特性的影响

2.1 对电场分布的影响

为克服渐变折射率反射膜表面强电场的不足,在不引入另外界面的条件下,在渐变折射率反射膜表面增加一层适当厚度的均匀膜,该层均匀膜折射率与渐变折射率反射膜表面折射率保持相同,利用该均匀膜层实现渐变折射率反射膜反射相移的补偿。

对于上述周期厚度300nm,10个周期的渐变折射率反射膜,通过计算知,负变折射率反射膜的中心波长为1000nm,正变折射率反射膜的中心波长为1036nm。可见,对于相同条件下,负变和正变折射率反射膜所对应的中心波长不同,且负变折射率反射膜的中心波长小于正变折射率反射膜的中心波长。下面分别针对中心波长为1000nm的负变折射率反射膜和中心波长为1036nm的正变折射率反射膜,本文中获在负变折射率反射膜表面增加厚度为46.8nm的高折射率均匀膜

层,或在正变折射率反射膜表面增加厚度为274.1nm的低折射率均匀膜层,其均可实现渐变折射率反射膜反射相移的补偿。图2中分别给出了中心波长为1000nm负变折射率反射膜经过反射相移补偿前后的电场分布。图3中给出了中心波长为1036nm正变折射率反射膜经过反射相移补偿前后的电场分布。

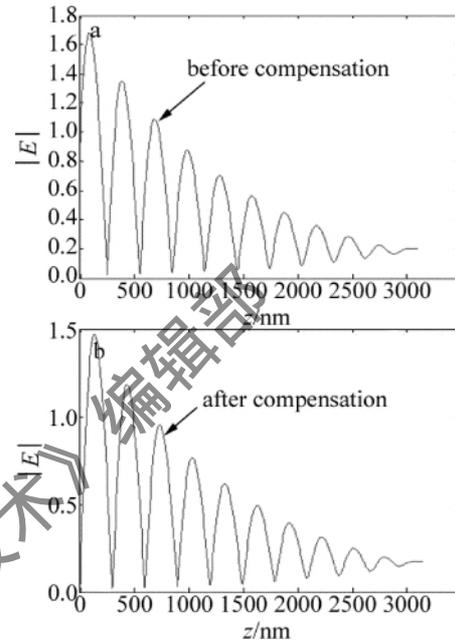


Fig. 2 Electric field distribution of negative change index reflective coating before and after compensation

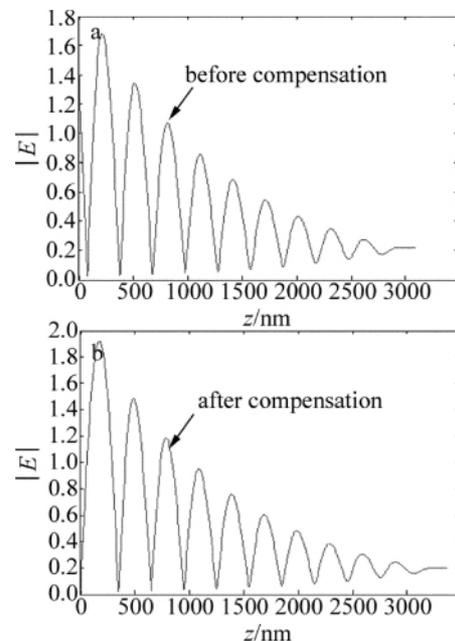


Fig. 3 Electric field distribution of positive change index reflective coating before and after compensation

由图2和图3明显可看出,无论是负变还是正变折射率反射膜,其表面电场均不为0,呈现出强电场,该结果与参考文献[6]中的结果相一致。一般而言,膜表面吸收比较大,假若膜表面电场强度较高,则容易造成表面损伤。因此,降低表面电场可能是解决渐变

折射率反射膜表面损伤的关键。其次,经过反射相移补偿后,无论负变还是正变折射率反射膜,其表面电场均接近于0,实现了降低表面电场的作用。值得注意的是,与未经反射相移补偿前的电场相比,反射相移补偿后的负变折射率反射膜的电场峰值有所下降,而反射相移补偿后的正变折射率反射膜的电场峰值有所增大。

2.2 对反射光谱的影响

相比于传统层状周期反射膜,渐变折射率反射膜理论上消除了界面的影响,且在不引入另外界面的情况下,经反射相移补偿,实现了表面电场的降低。但对于特定的渐变折射率反射膜,通过反射相移补偿后,其光学性能能否保持稳定将是问题的关键。因此,下面讨论渐变折射率反射膜的反射相移补偿对反射光谱的影响。图4中给出了反射相移补偿前后的负变折射率反射膜的反射光谱曲线。图5中给出了反射相移补偿前后的正变折射率反射膜的反射光谱曲线。

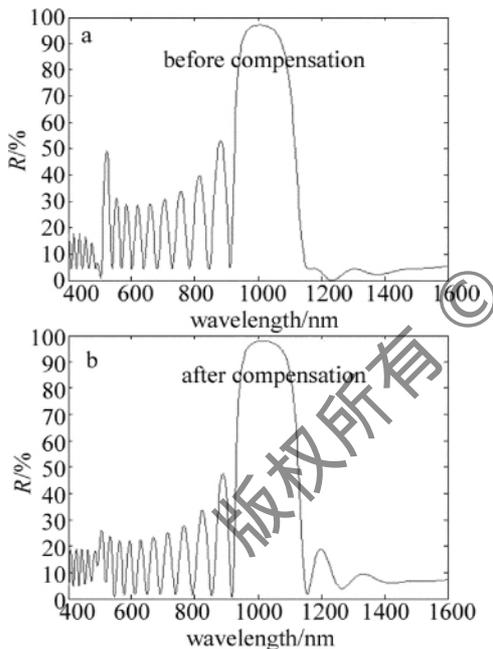


Fig. 4 Reflectivity of negative change index reflective coating before and after compensation

由图4和图5可以看出,与传统层状周期反射膜类似,无论是负变还是正变折射率反射膜,其均有一定的反射带宽。且经过反射相移补偿后,渐变折射率反射膜的反射光谱曲线依然具有相似性,但是,补偿后的渐变折射率反射膜的中心波长略微有所偏移,其中补偿后的负变折射率反射膜的中心波长右移为1010nm(与补偿前相比右移了10nm),而补偿后的正变折射率反射膜的中心波长左移为1028nm(与补偿前相比左移了8nm)。但与反射带宽相比较,反射相移补偿引起的中心波长漂移相对来说可以忽略。

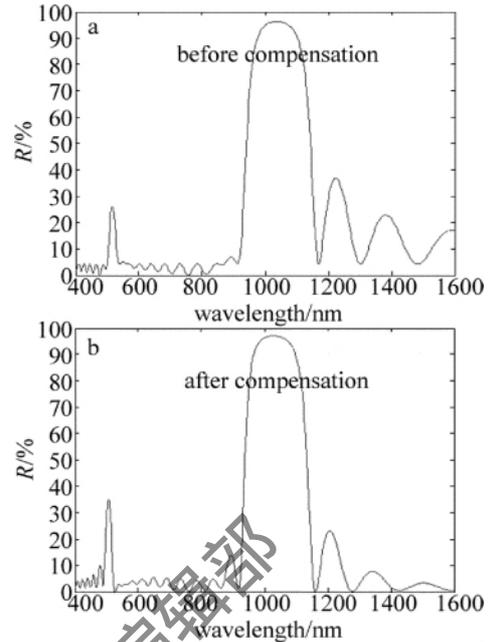


Fig. 5 Reflectivity of positive change index reflective coating before and after compensation

3 结论

提出了一种降低渐变折射率反射膜表面电场的反射相移补偿方法。该补偿方法在不引入另外界面的情况下,理论上实现了降低渐变折射率反射膜表面电场的作用。作为推广,对于渐变折射率反射膜,不同周期厚度对应不同的中心波长,即通过选择合适的周期厚度,可以得到目标中心波长;对于不同的周期厚度,渐变折射率反射膜均可利用该方法实现表面电场的降低。虽然该反射相移补偿导致渐变折射率反射膜中心波长的略微漂移,但该漂移相比于反射带宽来说可以忽略,且对原来的中心波长依然具有很高的反射率。

参考文献

- [1] SHEN Z C, SHEN J. Discussion on the stratified merit of graded index coatings [J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, 56(3): 1325-1328 (in Chinese).
- [2] SHEN Z C, WANG Y J, FAN Zh X, *et al.* Modeling analysis of inhomogeneous coatings prepared by double-source co-evaporation [J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, 54(1): 295-300 (in Chinese).
- [3] ZHAO Q, FAN Z X. Interface absorption effect on temperature field of optical coatings [J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, 16(6): 777-782 (in Chinese).
- [4] CHEN F L, HU P. Thermal and mechanical damage characteristics of two reflective multilayers films under laser irradiation [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(11): 1610-1616 (in Chinese).
- [5] SHEN Z C, SONG Y X, WANG Y J, *et al.* Influence of inhomogeneities on the optic characteristics of single coatings [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(10): 1526-1529 (in Chinese).
- [6] SHEN Z C, KONG W J, SHAO J D, *et al.* Simulation analysis of error characteristic of inhomogeneous coatings prepared by linear coevaporation [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(6): 866-

(下转第329页)

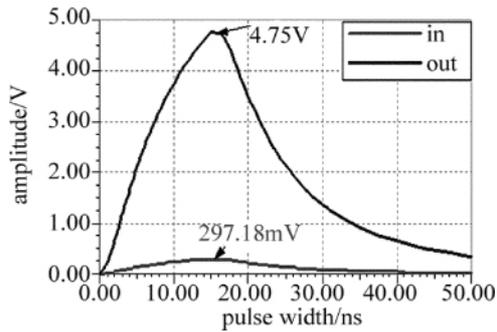


Fig. 10 Simulation of the second amplifier circuit

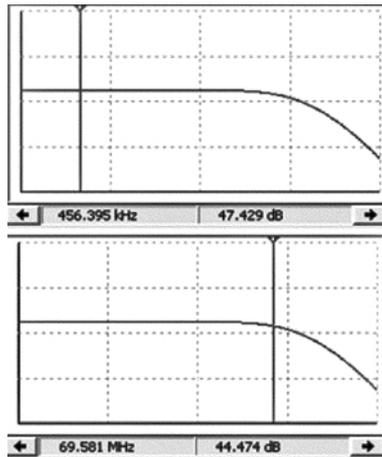


Fig. 11 Amplitude-frequency response curve of main amplifier circuit

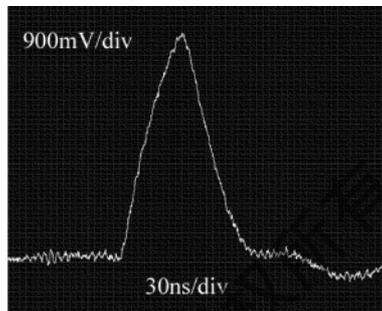


Fig. 12 Experiment of the main amplifier circuit

31.4ns 幅值为 4.05V 左右,实际增益为 47.28dB,比仿真结果略小,但满足实际需要。

3 结论

根据脉冲激光引信回波特性和引信的使用要求,

本文中针对脉宽为 15ns 的弱回波信号,设计了激光引信接收机中的光电转换系统,包括以 PIN 光电二极管为探测器的探测电路、前置放大电路和主放大电路。经实际测试,测得整个系统的带宽为 61.089MHz,增益为 72.14dB,对于脉宽为十几纳秒的回波脉冲信号进行了很好的低噪声、不失真放大,极大地方便了激光引信接收系统中后续信号的处理。

参考文献

- [1] LIU J J, von der LIPPE C M. Advanced high-bandwidth optical fuzing technology [J]. Proceedings of SPIE, 2005, 6017: 60170F1-60170F7.
- [2] LIU P, LI P, CHEN H M. Research on improving measurement precision of pulse laser fuse [J]. Laser Journal, 2010, 31(1): 14-16 (in Chinese).
- [3] STEPHEN B A. Optical communication receiver design [M]. Washington: SPIE, 1997: 254-286.
- [4] JI T G, ZHANG H, CHEN B L. The research of improving the precision for phase laser proximity fuze [J]. Laser Journal, 2004, 25(6): 11-12 (in Chinese).
- [5] WANG Ch Y, XIE J, BIAN B M, et al. Optimum signal threshold ratio for improving the ranging accuracy of lidar [J]. Laser Technology, 2007, 31(4): 408-411 (in Chinese).
- [6] LI Zh, DENG J H, ZHANG Y, et al. Design of the underwater laser fuze receiver system based on APD [J]. Laser and Infrared, 2009, 39(7): 753-756 (in Chinese).
- [7] YOUNG S K, IN S J, KWANG H K, et al. Design and characterization of CMOS avalanche photodiode with charge sensitive preamplifier [J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2008, 55(3): 1376-1380.
- [8] HAMRITA H, RAULY E, BLUMENFELD Y, et al. Charge and current-sensitive preamplifier for pulse shape discrimination techniques with silicon detectors [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2004, A531(3): 607-615.
- [9] ZHAO Y, ZHANG Y. Theory and technology of photoelectric signal detection [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2005: 81-82 (in Chinese).
- [10] MENG L, YU L L, PU Y Q, et al. Design of amplifying circuit for tiny signal [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(6): 1012-1013 (in Chinese).
- [11] LI Ch Q, MEI X L, MING Q. Implementation of weak optical signal detection circuit [J]. Journal of Applied Optics, 2010, 31(5): 724-727 (in Chinese).

(上接第 314 页)

970 (in Chinese).

- [7] SONG Q M, HUANG F, LI M, et al. Graded refractive-index SiO_x infrared rugate filter prepared by reactive magnereon sputtering [J]. Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(8): 2144-2149 (in Chinese).
- [8] DENG H X, ZU X T, ZHENG W G, et al. Gradient optical film taking the place of classical high-reflectivity film [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2007, 19(1): 58-62 (in Chinese).

- [9] NI X W, LU J, HE A Zh, et al. Study of damage mechanism of optical dielectric film by high power laser [J]. Laser Technology, 1994, 18(6): 348-351 (in Chinese).
- [10] QIN J L, YI K, SHAO J D, et al. Soft X-ray reflectivity of periodic graded-index multilayers [J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(8): 1191-1193 (in Chinese).