

基于薄膜等厚干涉的平面显示研究*

赵晓红

(北京邮电大学 理学院, 100876)

摘要: 讨论了不同光源的薄膜等厚干涉的光强, 通过对单色光、汞灯和卤钨灯等不同光源的空气薄膜等厚干涉光强用 MATLAB 进行仿真模拟和实验测量, 实验结果表明, 薄膜厚度和干涉光颜色、亮度的关系与计算模拟的结果一致. 对于单色光, 光程差相差为 $1/2$ 波长干涉光强可以由最亮到最暗, 控制薄膜厚度可以实现单色显示, 对于具有连续光谱的白光光源, 等厚干涉可产生由红色向紫色渐变的彩色条纹, 控制空气薄膜的厚度可以实现彩色平面显示.

关键词: 白光干涉; 光程差; 干涉调制显示

中图分类号: O436.1

文献标识码: A

0 引言

利用干涉光束的位相差实现探测和成像在实际中已广泛应用^[1-3], 如全息成像、干涉成像光谱仪、光学相干层析成像和各种干涉传感器等, 这些都是通过分析和处理光束的位相差引起的亮度在空间中的分布来实现探测和成像的, 相反我们也可以应用光的等厚干涉原理, 通过辅助的逻辑电路控制空气薄膜的厚度、选择光源等手段控制干涉的颜色、亮度, 实现平面显示, 即干涉调制显示.

目前流行的几种显示技术有阴极射线显示(CRT)和平板显示, CRT 最大的优势在于高的性能价格比及大画面高密度显示, 它成本较低、亮度高、色彩还原度高、色度均匀、分辨率高、全视角且可以长期连续使用, 但是它体积大、电压高、功耗大、辐射强等固有的不可克服的缺点, 在便携式电子产品和大屏幕显示方面的应用受到限制, 随着显示尺寸的不断增大, 其质量和厚度也随之不断增大, 无法满足人们对大屏幕、薄型化日益增长的要求, 这就限制了它向更广的显示领域发展. 20 世纪 60 年代后出现的平板显示器件包括液晶显示器、等离子显示器^[4]、场致发射器件、有机电致发光器件、数字光处理投影机、发光二极管、液晶硅显示器等, 具有体积小、质量轻、耗电省、辐射小、电磁兼容性好等一系列优点, 而且随着显示工艺技术的发展, 平板显示器的亮度、视角、全彩色等性能已经可以和 CRT 显示器媲美.

近期, 美国 Qualcomm 公司开发了一种基于微机电系统 (MEMS) 的干涉仪调节器显示技术^[5], 该技术被命名为干涉测量调制 (Interferometric Modulator)

技术 iMoD. iMoD 显示器是一种基于薄膜光学原理和 MEMS 结构的具有保持双稳态特性的反射型显示器. iMoD 目前尚处在开发阶段, 与传统的 OLED 或 LCD 相比, iMoD 显示器的功耗大大降低, iMoD 显示器的双稳态特性, 不但能大量降低功耗, 而且与 LCD 和 OLED 显示器需要不断地对屏幕上的图像进行刷新不同, 只有在当前的显示图像需要变化时才进行图像刷新, 这一特性使得 iMoD 显示器在需要长时间保持图像稳定的应用领域具有巨大优势, 适用手机等电池电量有限的移动装置, 这种显示器在阳光下也能清晰可见.

本文研究了单色光、汞灯和白光等不同光源的空气薄膜等厚干涉的光强和色度变化. 讨论了空气薄膜厚度对干涉的光强和色度的影响, 在白光光源下显示三基色的空气薄膜厚度, 对干涉调制显示进行了理论和实验模拟.

1 理论及模拟计算

两束波长为 λ 单色光发生干涉时, 如图 1, 干涉光强可以表示为

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad (1)$$

I_1, I_2 为两束光的光强, δ 为干涉处的位相差, 若图 1 中 a, b 两束光的光程差为 l , 光强均为 I_0 , 干涉光强为

$$I = 2I_0 \left(1 + \cos \frac{2\pi l}{\lambda}\right) \quad (2)$$

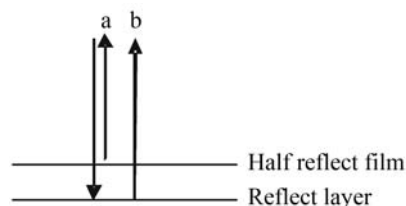


图 1 薄膜干涉

Fig.1 Schematic of thin film interference

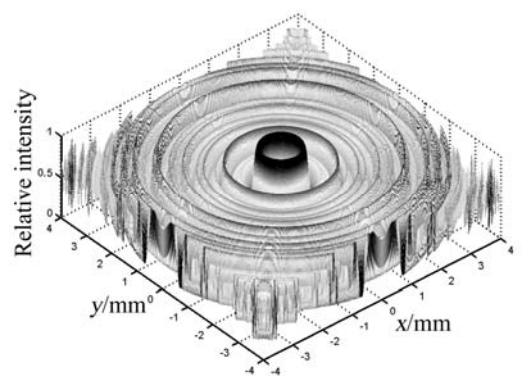
*教育部留学回国人员科研启动基金资助

Tel: 010-62282452 Email: x_zhao@bupt.cn

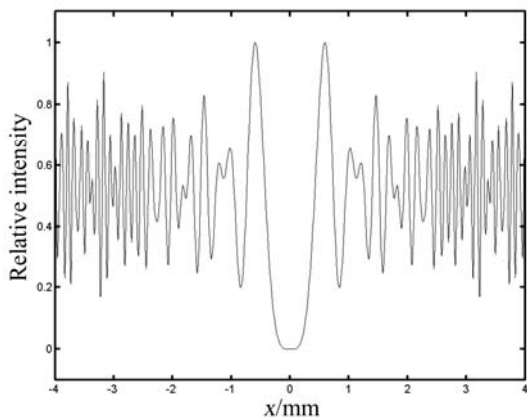
收稿日期: 2008-11-05

在光程差 l 为波长整数倍时最强, 为半波长奇数倍时光强为 0, 可见度为 1, 空气薄膜厚度变化 $\lambda/4$ 时, 光强由最亮到 0. 控制半反半透膜与反射层间的空气薄膜厚度可以实现干涉调制单色显示.

根据汞灯谱线, 在可见光范围选择几条强度较大的谱线, 每条谱线可看作一个单色光, 形成各自一套干涉条纹, 其干涉光强和颜色就是几条谱线干涉条纹光强叠加的结果. 用 MATLAB 编程模拟得到汞灯在牛顿环的空气间隙中的干涉光强分布, 如图 2(a). 图 2(b)为任意径向的光强分布, 在较长的光程差内, 干涉光强变化没有周期性, 但可见度都很高, 不是普遍认为的非单色光干涉在 0 级暗条纹附近只有几级彩色条纹, 汞灯干涉应该看作单色光干涉条纹的叠加.



(a) Intensity distribution



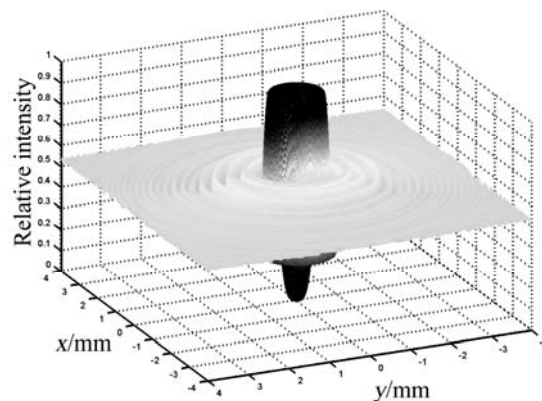
(b) Radial intensity distribution

图 2 汞灯的等厚干涉光强模拟

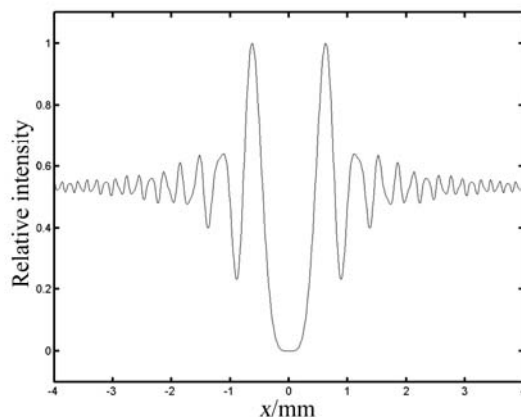
Fig.2 Simulation result of Hg light interference

对于具有连续光谱的白光, 见图 3, 其有效波长范围约为 400~780 nm, 谱宽约为 380 nm, 不同颜色的光分别形成不同周期间隔的干涉条纹, 周期间隔是连续变化的, 叠加后产生带有颜色的干涉图样, 由于反射引起的半波损失, 在中心位置光程差为 $\lambda/2$, 显示为暗斑, 周围光强极小到极大变化过程中, 出现几个彩色的条纹, 随着级数的增加, 不同级数不同颜色的条纹错位增大, 可见度越来越小, 只有中心有较高的可见度^[6], 在 0 级暗条纹外围光强最大处附近, 对应微小的光程差变化, 出现颜色的连续变化. 红黄蓝

RGB 三基色光的标准波长分别为 700.0 nm、546.1nm、435.8 nm, 一级亮条纹对应的薄膜厚度分别为 17 nm、136 nm 和 109 nm.



(a) Intensity distribution



(b) Radial intensity distribution

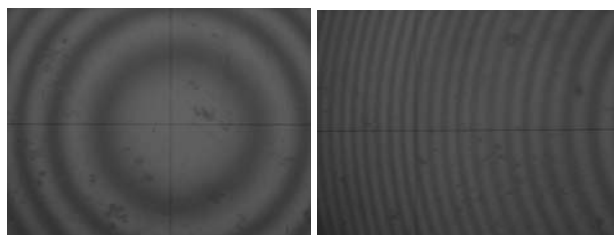
图 3 白光等厚干涉光强分布模拟结果

Fig.3 Simulation result of white light interference

2 实验结果

利用牛顿环的平凸透镜和平玻之间的厚度渐变的空气薄膜对不同光源的等厚干涉, 得到干涉条纹的分布. 单色光在能够观察到的范围内得到明暗相间的有严格周期性的多级次的干涉条纹^[7].

汞灯的干涉条纹也是分布很广, 具有很大的相干长度, 而不是普遍认为的只在 0 级附近有几级干涉条纹, 但条纹的亮度和颜色变化没有周期性, 如图 4, 并且出现谱线颜色以外的颜色, 这是不同谱线干涉条纹叠加的结果, 光强变化与模拟计算结果一致.



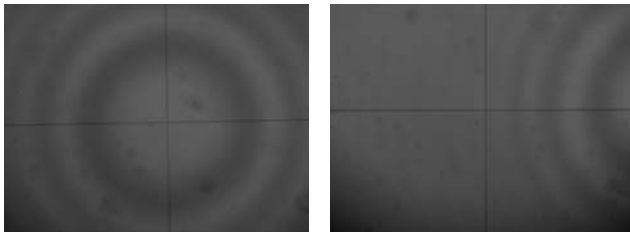
(a) Central fringes

(b) Peripheral fringes

图 4 汞灯的牛顿环干涉实验结果

Fig.4 The experimental result of Hg light interference

对于具有连续光谱的白光光源卤钨灯,只在中心附近出现几级可见的彩色条纹,如图5(a).远离条纹中心时,用CCD相机可以记录到外围的可见度很低的模糊的条纹,如图5(b),与模拟计算结果一致.对



(a) Central fringes (b) Peripheral fringes

图5 白光的牛顿环干涉实验结果

Fig. 5 The experimental result of white light interference

干涉调制显示,本文关注的是光强最大的一级条纹的颜色及对应的空气膜的厚度.可以看到一级条纹的颜色是连续变化的,由红色向紫色渐变的彩色条纹,由模拟计算结果不同颜色一级亮纹对应的空气膜厚度分别为100~180 nm,对应的空气膜厚度为0时,呈现黑暗.

3 结论

通过单色光、汞灯和白光等的薄膜等厚干涉的光强和亮度变化的实验和模拟,表明实现干涉测量调制技术的关键在于三原色显示单元空气薄膜厚度的控制,对应标准波长分别为700.0 nm、546.1 nm、

435.8 nm,一级亮条纹对应的薄膜厚度为其波长的1/4,即175 nm、136 nm和109 nm.每个单色显示单元由空隙厚度为以上数值的三个微型F-P标准具,通过电路控制实现彩色显示.

参考文献

- [1] PAVLICEK P, SOUBUSTA J. Measurement of the influence of dispersion on white-light interferometry[J]. *Appl Opt*, 2004, **43**(4): 766-770.
- [2] SHI You-bin, LI Shen-de, WANG Wen-hua, *et al.* Influences of incidence angle and surface characteristic of thin slice on laser interference thermometry[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(11): 2115-2119.
石友彬, 李慎德, 王文华, 等. 入射角和薄片表面特性对激光干涉测温的影响[J]. *光子学报*, 2007, **36**(11): 2115-2119.
- [3] ZHANG Li-xin, HUANG Yu-mei, WANG Feng. Errors analysis of interferometry and accuracy measurement for NC machine tools[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(6): 1224-1228.
张立新, 黄玉美, 王峰. 干涉测量的误差分析与并联机床的准确度测量[J]. *光子学报*, 2008, **37**(6): 1224-1228.
- [4] CAO Zhen-xin, WU Le-nan. Display technology based on the surface plasmon resonance effect[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, **53**(8): 857-864.
曹振新, 吴乐南. 基于表面等离子体共振效应的显示技术[J]. *中国科学*, 2008, **53**(8): 857-864.
- [5] CATHEY J. IMOD technology explore colour charm of digital home[J]. *Global Electronics China*, 2008(09): 30-32.
CATHEY J. 干涉测量调制(IMOD)技术探索数字家庭色彩魅力[J]. *世界电子元器件*, 2008(09): 30-32.
- [6] SUN Jie, LIU Tie-gen, ZHANG Yi-mo, *et al.* Four-step method and its precision analysis for zero light path difference measurement in white light interfering system[J]. *Journal of Tianjin University*, 2004, **37**(4): 363-367.
孙杰, 刘铁根, 张以谟, 等. 白光干涉零光程差位置四步测量法及其精度分析[J]. *天津大学学报*, 2004, **37**(4): 363-367.
- [7] ZHONG Xi-hua. *Modern fundamentals of optics*[M]. Beijing: Peking University Press, 2003: 169.
钟锡华. *现代光学基础*[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 169.

Investigation of Flat Display Based on Equal Thickness Interference of Film

ZHAO Xiao-hong

(School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Received date: 2008-11-05

Abstract: The equal thickness interference of different light with air film was discussed. The interference of monochromatic light, Hg light and tungsten halogen lamp as a white light source were simulated with MATLAB and measured by Newton ring. The experimental result of the relations between the air film thickness and interference color, intensity agrees with the calculating simulation. For monochromatic light, interference intensity varies from minimum to maximum as light path difference changes half wavelength, monochromatic flat display can be realized by control the air film thinness. For white light with continuous spectrum the interference fringes color varies from violet to red, so colored flat display can be reached by controlling the air film thinness.

Key words: White light interference; Light path difference; Interferometric modulator display



ZHAO Xiao-hong was born in 1964. Now she is a professor at School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, and her main research focuses on nonlinear optics and fiber optics.