

背投显示技术及其用光学薄膜

徐学科 孙喜莲 王 丹 邵建达

(上海光学精密机械研究所薄膜中心, 上海 201800)

提 要 对比了背投领域几种主要技术的原理和性能特点,同时介绍了多媒体投影系统所需要的各类光学薄膜的作用、参数和光学性能;并针对该领域国内外最新研究状况进行了调研,给出了现在所面临的关键技术难题并对其发展前景做了预测。

关键词 背投 显示技术 光学薄膜 市场预测

Projection Display Technology and Its Thin film Coatings

XU Xueke SUN Xilian WANG Dan SHAO Jianda

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract Display principle, performance and thin film coatings used for the optical engine are introduced. Thin film coatings is the key component in the projection system, so the function, parameters and the optical performances of all kinds of thin films applied in the multi-media projection system are introduced in detail. Investigation in this field all over the world is given and the key problems and prospect are described.

Key words projection display technology optical thin film market forecast

1 引言

信息时代的网络技术,使人们对于共享信息和集合信息的需要日益突出,这也导致了对超大屏幕显示的最大需求。多媒体教学、商务演示、现代化会议室建设、自动化监控、家庭娱乐等,使大屏幕投影显示系统成为信息传播的重要手段之一。传统的以 CRT(阴极射线管)作为图像发生源的显示技术,由于其体积大、重量大以及受自身亮度的限制,逐渐成为限制其发展的“瓶颈”,代之而来的是以 LCD(Liquid crystal display)、DLP(Digital light processing)、LCOS(Liquid crystal on silicon)为机理的大屏幕投影显示系统,并成为了一块诱人的“蛋糕”。它具有分辨率高和清晰度高、显示图像质量好、体积小、重量轻等优点。不论采用哪种图像发生源的系统都包含了由照明系统、分光系统、调制面板、合光系统及投影镜头

组成的光学引擎。而组成光学引擎的薄膜元件的性能好坏直接影响整个投影系统的成像质量,又成了束缚背投系统发展的“瓶颈”。

2 背投技术

2.1 LCD 液晶投影机

LCD 液晶投影机, 可以分成

液晶板投影机 and 液晶光阀投影机,前者是目前投影机市场上的主要产品。液晶是介于液体和固体之间的物质,本身不发光,工作性质受温度影响很大,其工作温度为 $-55\sim+77^{\circ}\text{C}$ 。投影机利用液晶的光电效应,即液晶分子的排列在电场作用下发生变化,影响其液晶单元

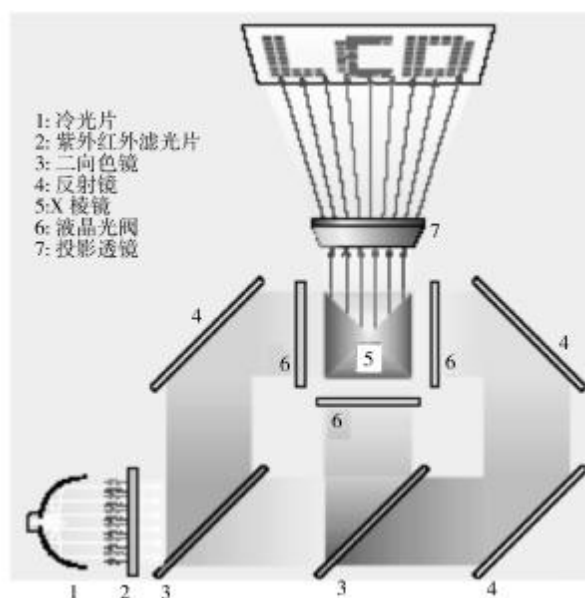


图 1 LCD 液晶投影机原理示意图

收稿日期: 2004-09-30; 收到修改稿日期: 2004-12-14

的透光率或反射率,从而影响它的光学性质,产生具有不同灰度层次及颜色的图像。

在投影仪中有3块液晶板,其中分布着液晶体。液晶体像荧光屏上的像素一样整齐地排列着。液晶投影机中的光源是金属卤素灯或UHP(冷光源),发出明亮的白光,经过光路系统中的分光镜,将白光分解为RGB(红色、绿色、蓝色)三原色的光线。RGB三原色的光线在精确的位置上穿过液晶体,这时候每一个液晶体的作用类似于光阀门,控制每一个液晶体中光线的通过与否以及通过光线的多少。三原色的光线经过投影仪的镜头准确投射到屏幕上,哪一点该是什么颜色、光的强度有多少,都分布得很正确。就这样,在屏幕上投影组成了与源图像一致的彩色斑斓的图像。普通的LCD投影机具有色彩好、价格低和亮度均匀性好等多方面优势,因此目前正在以万元甚至低于万元的价格逐渐普及到家庭和小型商用场所之中。

2.2 DLP 数字投影机

DLP以DMD(Digital Micro-mirror Device)数字微反射器作为光阀成像器件。一个DLP电脑板由模数解码器、内存芯片、一个影像处理器及几个数字信号处理器(DSP)组成,所有文字图像就是经过这块板产生数字信号,再经过处理,数字信号转到DLP系统的核心DMD。而光束通过一高速旋转的三色透镜后,被投射在DMD上,然后通过光学透镜投射在大屏幕上完成图像投影。一片DMD是由许多个微小的正方形反射镜片(简称微镜)按行列紧密排列在一起贴在一块硅晶片的电子节点上形成的,每一个微镜都对应着生成图像的一个像素。因此,DMD装置的微镜数目决定了一台DLP投影机的物理

分辨率,例如一台投影机的分辨率为 600×800 ,所指的就是DMD装置上的微镜数目就有 $600 \times 800 = 480000$ 个。

在DMD装置中,每个微镜都对应着一个存储器,该存储器可以控制微镜在 $\pm 10^\circ$ 范围内切换转动。而且DMD块上每一个像素的面积为 $16\mu\text{m} \times 16\mu\text{m}$,间隔为 $1\mu\text{m}$ 。根据所用DMD的片数,DLP投影机可分为:单片、两片、三片。DMD数字信号按红、绿、蓝顺序旋转,小镜子根据像素的位置及色彩的多少被打开或关闭,此时DLP可以看作是只有一个光源和一组投影镜头组成的简单光路系统,镜头放大了DMD的反射影像并直接投射在屏幕上,这样,一幅生动、明亮的演示效果就展现在我们面前了。

DLP 投影机特点

- 结构紧凑;
- 光效率高;
- 高对比度;
- 寿命长,画质稳定性好;

- 没有汇聚问题;
- 响应速度快。

虽然目前DLP投影机所占的市场份额还不及主力LCD投影机,但作为新型的投影机产品,在技术和应用市场方面,与LCD投影技术相比,DLP投影的最大优势在于高解析度与高亮度等优点,图像更加清晰锐利,黑色和白色更纯正,灰度层次更加丰富,体积小和重量轻的优势更为突出。因此DLP已成为未来投影机发展的一个重要方向,应用领域与市场前景都相当被看好。

2.3 LCOS 背投显示

LCOS属于新型的反射式MICRO LCD投影技术,其结构是在硅片上,利用半导体制作驱动面板(又称为MICRO-LCD),然后在电晶体上通过研磨技术磨平,并镀上铝当作反射镜,形成CMOS基板,然后将CMOS基板与透明电极之上的玻璃基板贴合,再注入液晶,进行封装测试,见图3。

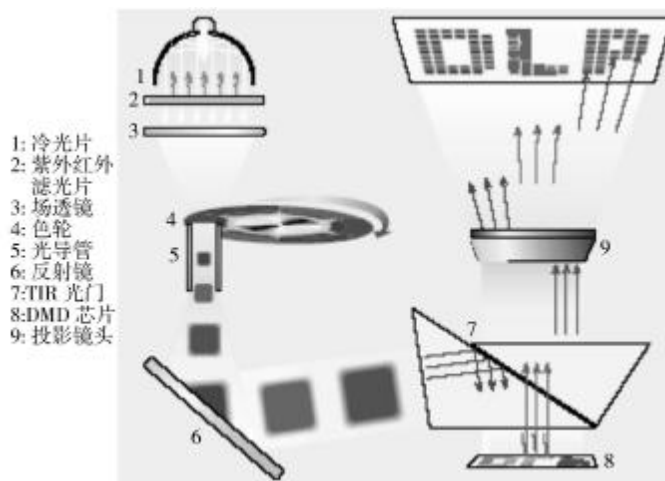


图2 DLP 液晶投影机原理示意图



图3 LCOS 芯片结构图解

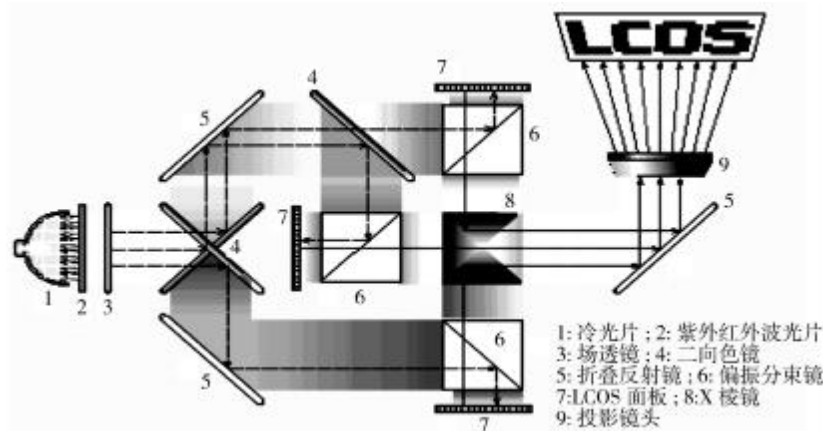


图 4 LCOS 液晶投影机原理示意图

如图 4 所示,LCOS 投影机的基本原理与 LCD 投影机相似,只是 LCOS 投影机是利用 LCOS 面板来调变由光源发射出来欲投影至屏幕的光信号,而利用反射的架构,属于反射式,LCD 投影机是利用光源穿过 LCD 作调变,属于穿透式,LCOS 面板是以 CMOS 芯片为电路基板及反射层,然后再涂布液晶层,以玻璃平板封装。

简单来说,LCOS 是直接 CRT 投影技术、高温多晶硅液晶(Ploy-Si LCD)穿透式投影技术、DMD 数据光学处理反射式技术相关。这三项技术已发展成熟,故 LCOS 可成为投影显示技术的新主流。与穿透式 HTPS-LCD 及 DLP 相比,LCOS 具有下列优势:光利用效率高;体积小;分辨率高;制造技术较成熟。

3 背投用光学薄膜

3.1 概述

各类投影系统所需要的光学薄膜类型、指标、作用因其图像发生源机理(LCD、DLP、LCOS)的不同和系统结构的差异,既有共同的地方又有各自的独特性,见表 1。

从表中可以看出 DLP 系统采用 DLP 调制芯片技术,设法避开了使用偏振分束器(PBS)薄膜,虽然

给厂家的生产带来了方便,但这也说明制备该种薄膜仍是一个难点。三板 LCOS 系统和 LCD 系统是通过分色镜片将光源信号分解为 R、G、B 三基色,经调制后将其合成。而单板 LCOS 和 DLP 系统则采用一个高速旋转的色轮替代了上述的三个分色片,使结构得到了简化,调制面板的个数也相应减少。

3.2 具体介绍

3.2.1 PBS(polarizing beam splitter)

薄膜

该薄膜是背投系统中技术量要求最高的薄膜,其偏振度比一般的偏振片要高两个数量级,再加上偏振转换装置可以使整个投影系统能量的利用率提高 1 倍。PBS 薄膜既可以使一束自然光分解成 S 偏振光和 P 偏振光,同时也可以应用于 S 偏振光和 P 偏振光的合成系统。

英国光学公司最新提出的指标要求在 420~680nm 波段范围内,空气中 $\pm 11.5^\circ$ 入射角内达到 $T_p/T_s > 1000$ 的优良偏振分束性能。图 5 是 PBS 薄膜的一个典型光谱曲线(OCLI 公司产品的实际测量曲线),可以发现它的分束性能非常好。

如何研制出光学性能非常好的 PBS 薄膜,Baumeister P,Li Li

表 1 各类显示系统类型所需薄膜类型对比表

显示系统类型	主要薄膜种类
LCD	冷光片、紫外红外滤光片、折叠反射镜、二向色镜、偏振分束镜、X-棱镜、减反射膜
DLP	冷光片、紫外红外滤光片、折叠反射镜、光导管、色轮、TIR 棱镜、减反射膜
单板 LCOS	冷光片、紫外红外滤光片、折叠反射镜、光导管、色轮、减反射膜、偏振分束镜
三板 LCOS	冷光片、紫外红外滤光片、折叠反射镜、二向色镜、偏振分束镜、X-棱镜、减反射膜

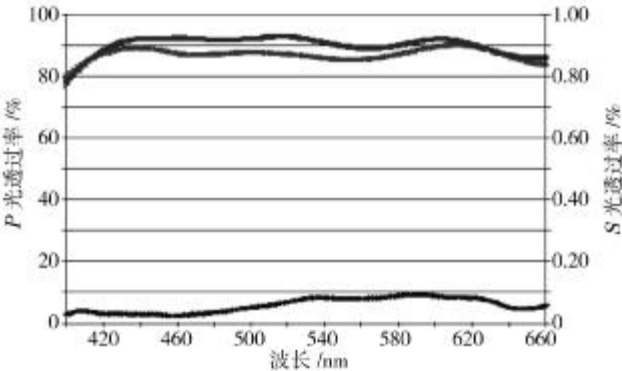


图 5 PBS 薄膜的光谱特性

等人做了很多工作^[2,3]。他们试图提高入射角范围又不影响其光谱特性。比如文献[2]采用依赖于数值计算的方法,文献[3]采用抑制全反射的方法都获得了不错的效果。在国内上海光机所薄膜技术中心采用多对迈克尼尔对组合来满足宽入射角范围的要求,采用多个中心波长不同的 1/4 膜堆来满足宽光谱范围的方法也得到了性能稳定的薄膜。

其实能实现宽带偏振分束的方法有很多种^[4]:(1)利用选择吸收方法制成的偏振片,但其却吸收了超过 50%的入射光的能量;(2)利用晶体的双折射方法实现偏振分束,但其受到尺寸的限制和昂贵价格的制约而没有得到广泛的应用;(3)利用衍射原理制成的金属光栅实现的偏振分束,但它仅能对红外波段起作用;(4)利用光学薄膜的干涉原理实现的偏振分束,从理论上讲可以实现宽角度宽波段的偏振分束功能,造价又低,制备灵活,因此备受关注。它的发展也是一个渐进的过程,最早的薄膜分束器是由 MacNeille 于 1946 年研制出来的^[5],是基于 Brewster 角和薄膜干涉原理实现的,虽然能在可见及红外波段内实现分束但其入射角却非常小。后来 Buchman 等人基于边缘分离特性得到了较宽角度的 PBS 薄膜,但是其几乎只能在单一光谱内实现分束^[6]。Bergstein 利用内部反射还制成了三层 PBS 薄膜,可惜的是后来却没有继续做深入报道^[7]。还有利用薄膜干涉和晶体的双折射原理杂交而成的 PBS 薄膜^[4]。今天,人们继续向理想的 PBS 薄膜不断地探索和深入。但如何最大限度地设计出既有宽光谱范围又有宽入射角范围并具有优良分束比的 PBS 薄膜仍是一个值得研究的问题。

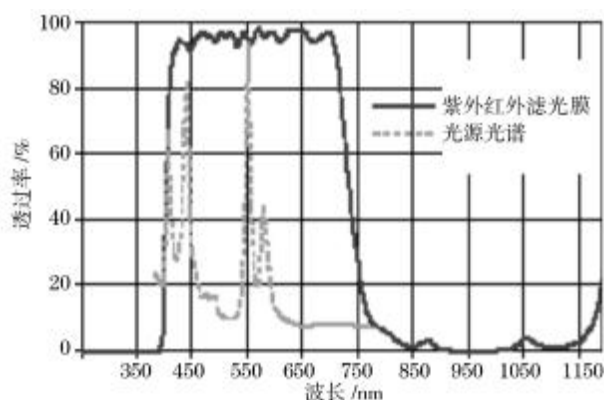


图 6 光谱特性

3.2.2 紫外红外截止滤光膜

紫外红外截止滤光膜(UV-IR Filter)能抑制投影系统中因高功率宽光谱光源而产生的紫外、红外辐射所带来的对整个液晶显示系统的损坏。因此它的好坏直接影响着系统的寿命,现在虽然此类薄膜属于经典的光学薄膜,但要得到性能很好的产品也有很多事情要做:(1)要由宽的红外和紫外波段的反射以及可见光范围内的高透过率;(2)减少光谱的抖动提高截止特性;(3)没有颜色失真;(4)良好的化学及机械稳定性;(5)要求反射特性不受基底的影响。

3.2.3 光导管

光导管(Light-tunnel)主要应用于 DLP 投影系统中,它是一个空腔结构[图 7(a)是一个实物图,(b)为一个剖面图],内表面镀有反射膜,它是由四片镀有满足一定要求的反射膜(它要求在 420~680nm 波长范围内,平均 $R>98\%$,并且入射角 i 接近 70°)胶合而成的。

以前这种光导管采用实心结构,今天之所以改成这种腔形结构,其主要原因是通过高的反射提高出射光的准直性,同时还能防止光导管外侧的灰尘对传输光束的影响。另外如果采用实心结构那么对体材料的均匀性、材料的纹理、有无气泡的要求非常高,这给制备带来了麻烦,而采用这种胶合结构

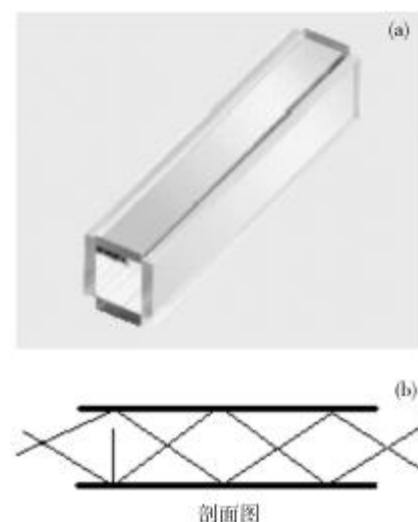


图 7 光导管的结构图

只要工艺成熟,性能应当非常稳定,同时还能降低光源波动带来的影响,并使系统的结构显得更加紧凑。当然采用这种胶合机构后整个器件的成本也可以得到很大程度的降低。

制作此类薄膜的主要难题有:(1)要保持在较大的人射角范围内对 420~680nm 任何波段任何偏振态的反射率都要达到 98%以上;(2)提高薄膜的耐腐蚀性和耐高温性;(3)反射片的胶合。

3.2.4 TIR 棱镜用薄膜

在 DLP 系统中又一个非常重要的元件是 TIR (total internal reflection) 棱镜,它被称之为 DLP 系统的“光门”(light gate)。它是提高图像对比度和图像一致性的关键元件。它可以增强傍轴照明、缩

短焦深并使结构显得紧凑。在它工作的表面需要镀制的是一层宽带并满足一定角度范围的减反膜,另外几个非工作面涂有高质量的黑色涂料,另外两块棱镜之间胶合时还要留有一个满足一定要求的空气间隙。

它的结构和光谱特性曲线如图 8 所示:采用这种结构能使入射光到达间隙层时被全反射,而经过 DLP 调制后的光束直接能透过光门入射到投影镜头上。从光谱曲线(OCLI 公司产品的实际测量曲线)中可以看出,此类减反膜在 $\pm 4^\circ$ 入射角内整个 420~680nm 范围透过率都在 90%以上,而 $\pm 8^\circ$ 内也能保持在 80%以上。

3.2.5 色轮中的分色膜

分色膜主要作用是把一束白光分成红、绿、蓝三种基本颜色。目前使用的色轮主要有扇形和螺旋型两种结构。但不论采用哪种形式,其所使用的薄膜类型主要有以下三种:透红反蓝绿型、透蓝反红绿型、透绿反红蓝型。

设计时如何抑制通带的波纹及抬高通带的透过率,修正过程中如何减少敏感层数目是一个很关键的问题,它直接关系到膜系的可镀制性和批量生产的可重复性。另外截止波长处的透过率曲线还要求越陡峭越好,这样才能够体现出良好的分色性。

图 9 是几种分色膜的典型透过率曲线,整个通带的透过率都能保持在 98%以上,透射峰的抖动基本被消除。

4 国内外研究现状

根据统计,2001 年国内背投市场容量为 50 万台,2002 年,达到 80 万台左右,据预测到 2005 年,将达到 500 万台。我国已经成为全球

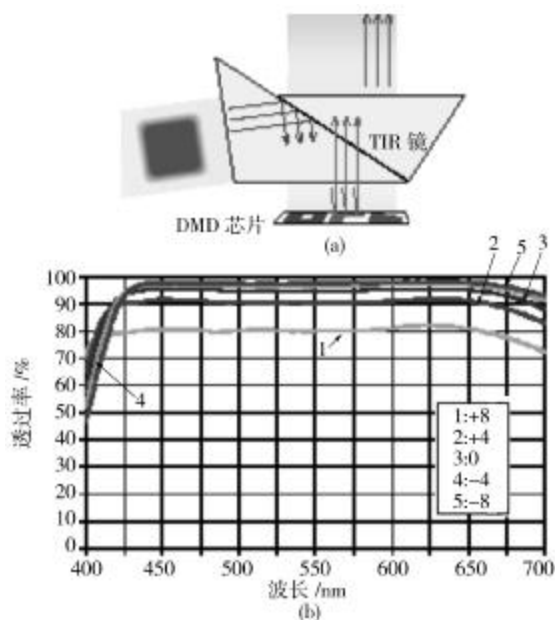


图 8 TIR 棱镜的机构与光谱特性

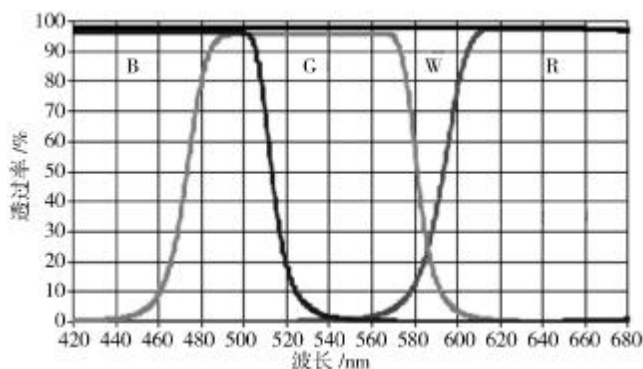


图 9 应用于色轮中分色膜的光谱特性

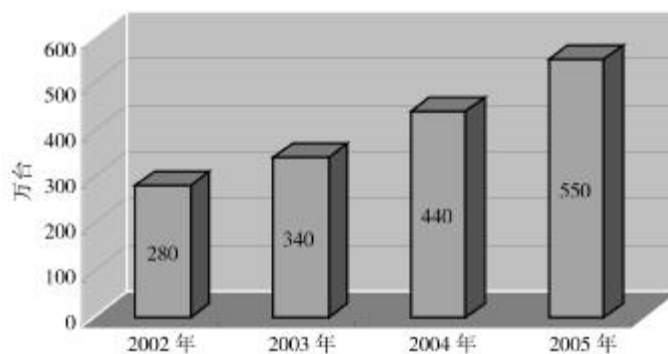


图 10 全球背投市场预测分布图

第二大背投消费市场,仅次于美国。放眼世界,背投显示系统的发展前景更是不可估量,这给我们光学薄膜产业也带来了前所未有的机遇和挑战^[8]。

图 10 是国际背投市场的需求

分布,应该说前景非常乐观,这必将带来一场背投技术发展和相关薄膜产业发展的革命。

(下转第 29 页)

参 考 文 献

- 1 干福熹. 数字光盘存储技术. 北京: 科学出版社, 1998
- 2 张 锋, 王 阳, 徐文东 等. 超分辨近场结构技术及其应用. 光学技术, 2003, 29(5): 518~522
- 3 Fukaya T, Tominaga J, Atoda N. Nonlinear optical properties of mask layer in super-RENS system. *Proc.SPIE*, 2001, 4268: 79~87
- 4 Fukaya T, Tominaga J, Tsai D P *et al.* Micro-optical nonlinearity of a silver oxide layer. *J. Appl. Phys.*, 2001, 89(11): 6139~6144
- 5 Ho F H, Lin W Y, Chang H H *et al.* Nonlinear optical absorption in the AgO_x -type super-resolution near-field structure. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, 40(6A): 4101~4102
- 6 Ho F H, Chang H H, Tsai D P *et al.* Measurements of nonlinearity of AgO_x super-resolution near-field structure. *Proc. SPIE*, 2002, 4930: 68~75
- 7 Liu W C, Tsai D P. Nonlinear near-field optical effects of the AgO_x -type super-resolution near-field structure. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2003, 42(2B): 1031~1032
- 8 Chiu Y, Rambabu U, Hsu M H *et al.* Fabrication and nonlinear optical properties of nanoparticle silver oxide films. *J. Appl. Phys.*, 2003, 94(3): 1996~2001
- 9 Liu Q, Fukaya T, Tominaga J *et al.* Nonlinear features and response mechanisms of a PtO_2 mask layer for optical data storage with a super-resolution near-field structure. *Opt. Lett.*, 2003, 28(19): 1805~1807
- 10 Liu Q, Kim J, Fukaya T *et al.* Thermal-induced optical properties of a PdO_x mask layer in an optical data storage system with a super-resolution near-field structure. *Opt. Exp.*, 2003, 11(21): 2646~2653
- 11 Tsai D P, Lin W C. Probing the near fields of the super-resolution near-field optical structure. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, 77(10): 1413~1415

(上接第 22 页)

参 考 文 献

- 1 艾曼灵, 章岳光, 刘 旭. 多媒体夜晶投影机中的光学薄膜. 光学仪器, 1999, 21(4~5): 189~194
- 2 Li Li, Dobrowolski J D. Visible broadband, wide-angle, thin-film multilayer polarizing beam splitter. *Appl. Opt.*, 1996, 35(13): 2221~2225
- 3 Baumeister P. Rudiments of the design of an immersed polarizing beam divider with a narrow spectral bandwidth and enhanced angular acceptance. *Appl. Opt.*, 1997, 36(16): 3610~3613
- 4 Li Li, Dobrowolski J A. High-performance thin-film polarizing beam splitter operating at angles greater than the critical angle. *Appl. Opt.*, 2000, 39(16): 2754~2771
- 5 MacNeille S M. Beam Splitter. U. S. Patent, 2 403 731, 1949-07-06
- 6 Buchman W *et al.* Single-wavelength thin-film polarizers. *J. Opt. Soc. Am.*, 1971, 61: 1604~1606
- 7 Bergstein L. Novel thin-film polarizer for the infrared. *J. Opt. Soc. Am.*, 1971, 61: A665~A665
- 8 徐学科, 汤兆胜, 范正修 等. 多媒体背投系统中的光学薄膜. 光学仪器, 2003, 25(1): 45~49