

也可能有重大改善。显微机械加工的探头比早期探头将有更高效率,最终可提供极高的

存储密度。

(从 征供稿)

## 衬底对光盘数据存储系统的微妙影响

### 1 引言

在光数据存储领域,光盘衬底和它对系统性能的影响一直被广泛研究<sup>[1~12]</sup>。众所周知,衬底双折射使磁光数据存储系统产生诸多问题。为测量垂直双折射和横向(面内)双折射<sup>[1~9]</sup>,以及搞清衬底双折射如何影响这种系统的性能<sup>[10~12]</sup>,已作了很多研究。特别是,衬底双折射使磁光系统产生像散和偏振椭圆性,这两个因素均可使系统总性能降格。本文处理一种较微妙的衬底双折射效应,即光向激光腔的反馈。本研究的一个结果是发现了测量衬底双折射的新方法。本文同时也处理当激光束通过光盘衬底聚焦时对焦深的影响。

### 2 向激光器反馈

为提高功率效率和防止向激光腔的反馈,CD系统都采用类似图1(a)所示的激光隔离方案<sup>[4]</sup>,由于图1(a)的光束通过偏振分束器和 $\lambda/4$ 波片时产生发散,它变成像差,导致在光盘存储层上产生比衍射极限系统应有的光斑稍大。发散光束通过偏振分束器和 $\lambda/4$ 波板传输,还引起激光与反射光的隔离不完善。由于目前CD系统中数据密度较低和转速较慢,信噪比的余量相当大,这种问题还是可允许的。然而,在下一代CD、特别是数字多用盘(DVD)系统中,数据标记尺寸将缩小,光盘转速变得更快。因此DVD制造商将对光束质量更为谨慎,以便达到令人满意的信噪比水平。因此,在DVD系统中必须采用类似图1(b)所示的系统。在此系统中,如果使用玻璃光盘,与激光器便有完善的隔离。

作者对图1(b)玻璃光盘系统用计算机DIFFRACT程序建立了模型,发现反射回激光器的反射光基本为零。然后又对双折射塑

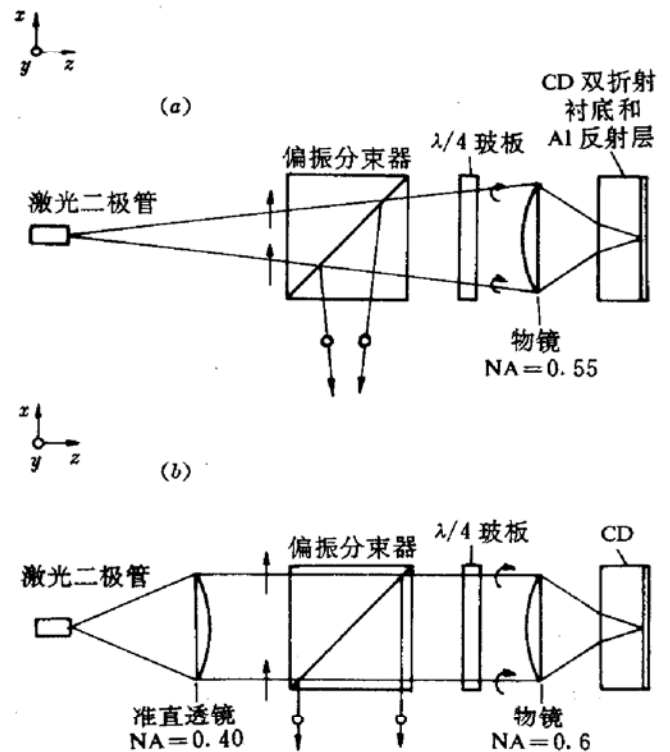


图1 (a) CD唱机的典型光学头简图,用偏振分束器和 $\lambda/4$ 波板使反射光与激光二极管隔离。由于光束通过偏振分束器和 $\lambda/4$ 波板时发生发散而稍有像差。(b)数字多用盘(DVD)播放机光学头简图。用偏振分束器和 $\lambda/4$ 波板使反射光与激光器隔离。由于光束经准直再通过偏振分束器和 $\lambda/4$ 波板,不存在像差

料光盘的上述同样系统建立了模型,发现以典型聚碳酸酯作衬底的光盘系统,反射回激光器的反射光约为10%左右。为了消除由CD数据产生衍射级次而引起的影响,用没有数据的光盘区域进行了模拟和实验,发现返回激光器的光有相当强度,并有相位图样。

返回激光器的光强图样有两个暗区,下面将讨论这种暗区与衬底双折射的关系。实验测得的光强分布图与模拟结果相当符合。作者计算和测量了参考平面波和返回激光器光束之间的干涉图。也计算了返回光束的相位分布图,并用一系列相移干涉图从实验上测量了相位分布图,计算和实验结果很一致。

接着,作者又建立了当光盘通过最好聚焦平面的移动时反射激光束(返回激光器)性能的模式,发现了反馈光强图样和反馈量在士1.4 μm 散焦范围内保持不变,但相位分布图在这一散焦范围内有很大变化。作者也用一系列相移干涉图确认了上述图样的理论相位分布。由于该模型精确预言了图 1 (b) 系统的特性,我们用这个模型确定了反馈随光盘衬底双折射量变化的情况。图 2 表示当双折射从零(玻璃)变到 2 倍一般 CD 衬底双折射值时返回激光器的反射光计算值。实线表示对 1.2 mm 厚的衬底,反馈大小近似按双折射的平方关系变化。虚线表示对 0.6 mm

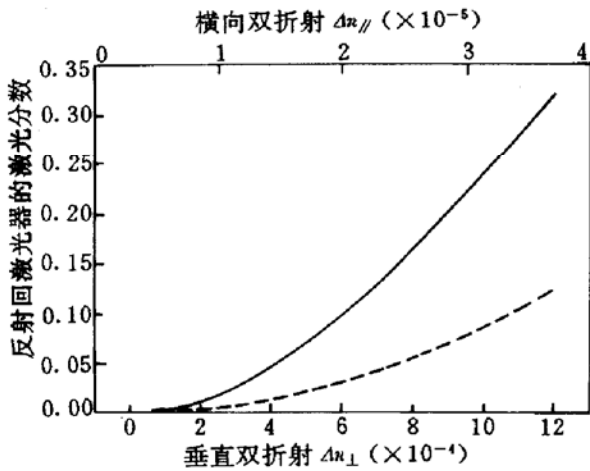


图 2 横向双折射从 0 增大到  $4 \times 10^{-5}$  和垂直双折射从 0 增大到  $12 \times 10^{-4}$  时返回激光器的反射光分数。实线对应 CD 衬底厚为 1.2 mm 和  $\lambda = 0.8 \mu\text{m}$ , 虚线对应 0.6 mm 衬底 (DVD 盘) 和  $\lambda = 0.65 \mu\text{m}$

厚的衬底,向激光器返回的反馈光量显著减小。在系统适当位置处插入波板,必然可使反馈减小。我们用 DIFFRACT 程序模拟了图

1 (b) 偏振分束器和  $\lambda/4$  波板之间放置一半波板的效应(见图 3)。结果表明,对于这种改进型系统,当  $\lambda/2$  波板的快轴相对于  $x$  方向成  $5^\circ$  角取向时,反馈减小最多。 $\lambda/2$  波板反馈减少约 50%。为简化计算起见,我们用了矩形  $\lambda/2$  波板。但如果采用与反馈图样相匹配形状的波板,甚至可使反馈减少更多。

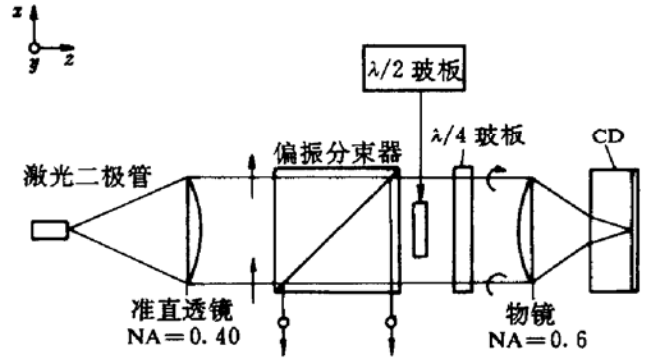


图 3 在偏振分束器和  $\lambda/4$  波板之间放置一个矩形半波板的图 1 (b) 的改进型系统简图。半波板的快轴相对于  $x$  方向成  $5^\circ$  角,返回激光器的光约可减少 50%

### 3 用反射光分布图样测量衬底双折射

在模拟图 1(b) 系统中的激光反馈时,在反馈光强图样中观测两个光强分布的暗区。这些暗区是由垂直双折射和横向双折射组合效应的净零相位推迟引起的。为证实这种观点,我们从该模型中消去了横向双折射;在只存在垂直双折射情况下,反射回激光器的光减少了 30%,并显示对称图样。由于光盘衬底是双轴双折射,它有两个光轴<sup>[16]</sup>,以及所观察到的暗点相应于沿这两个光轴传播的光线,因此没有相位推迟(图 4)。所以,可用这个黑斑确定衬底双折射的大小。为测量衬底双折射大小,我们可对横向双折射作简单测量而与垂直双折射无关。这种测量是当正入射光束的偏振态由  $s$  偏振向  $p$  偏振转动时获得反射光束的偏振旋转角和椭圆度。以前,我们曾用这种测量和倾斜入射时的相当复杂的

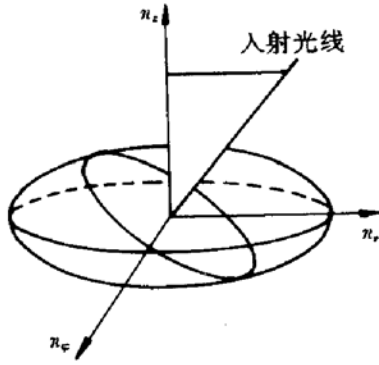


图4 塑料光盘衬底双折射椭球。沿光轴的入射光线遇到各向同性介质而不引起相位推迟。这种光线完全与激光器隔离,在物镜出射光瞳内只产生一个暗区

测量确定垂直双折射<sup>[9]</sup>。现在可用上面介绍的横向双折射的简单测量来确定垂直双折射,简单程度类似于物镜出射光瞳处暗斑位置的测量。根据暗斑和衬底光轴的对应性,可以导出横向双折射和垂直双折射的大小与物镜出射光瞳内暗斑位置之间的关系,也就是

$$\Delta n_{\perp} \approx \frac{n^2(\Delta n_{\parallel})}{\sin^2(\theta)} \quad (1)$$

式中  $\Delta n_{\perp}$  为垂直双折射,  $\Delta n_{\parallel}$  为横向双折射,  $n$  为衬底的平均折射率,  $\theta$  为暗斑的角位置

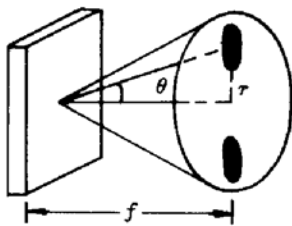


图5 物镜出射光瞳内暗斑和由暗斑确定衬底双折射所需的物理参数的简单图示

(图5)。假定该角度为小角,则该式可进一步简化成用暗斑径向位置表示的式子,即

$$\Delta n_{\perp} \approx \frac{n^2(\Delta n_{\parallel})}{(r/f)^2} \quad (2)$$

这里  $f$  是物镜的焦距,  $r$  是暗斑的径向位置。重要的是要指出,如果光盘相对于测量系统的光轴倾斜,则暗斑移向物镜出射光瞳

内的不同位置。因此,为使上述关系精确,关键是要使光盘垂直于系统的光轴。暗斑另一有趣特性是它在出射光瞳中的取向与横向双折射方向相对应。因此,作两次简单测量便可确定垂直双折射和横向双折射的大小以及横向双折射的方向。

#### 4 焦深

在光盘数据存储器中,由于存储介质可以卸换和不是处在封闭环境中,有必要使光束通过衬底聚焦到存储层上。这可以去除存储层平面上任何污物,因此,不存在由微粒引起的信号损失<sup>[17]</sup>。物镜是模压的非球面单透镜,可对光束通过光盘衬底聚焦时产生的球差进行校正。图6示出对通过1.2mm厚光盘衬底入射光束聚焦的典型物镜结构。如斯奈尔定律所指出的,衬底内射线的锥角小于空气中的锥角。因此,显而易见,在衬底内可以比空气中更加离开旁轴聚焦平面,均方根光斑尺寸才会变成相当大。这种肤浅分析导致一个错误的结论,即由于衬底对光束聚焦的结果,焦深已提高了  $n$  (衬底折射率)倍。

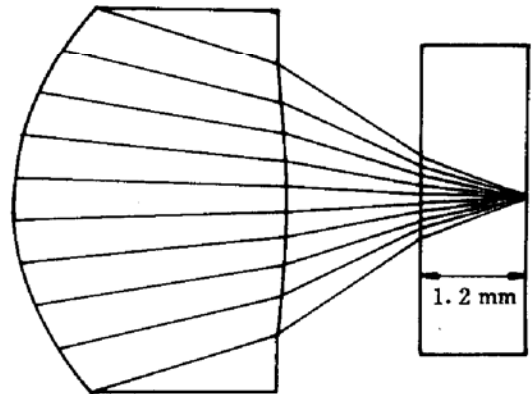


图6 光盘系统中用的典型模压非球面单透镜结构。该透镜这样校正,通过光盘衬底的光束聚焦不引入球差

在数据存储系统中,旋转光盘是向着或离开物镜方向在焦深范围内移动的。当存储层处在旁轴焦点平面上时,跟踪误差信号的幅度最大。当光盘离开旁轴焦点平面移动时,

跟踪误差信号的幅度变小。当该幅度减到某一约定值之前光盘所能移动的距离规定了系统的焦深。因此,为了决定通过光盘衬底聚焦时焦深是否有增大,我们用一静态试验装置(图7)对如下两种情况测量了通过焦点的跟踪误差信号,这两种情况是:(a)在空气中直接聚焦到存储层,(b)通过衬底聚焦到存储层。图8示出这两种情况下归一化跟踪误差

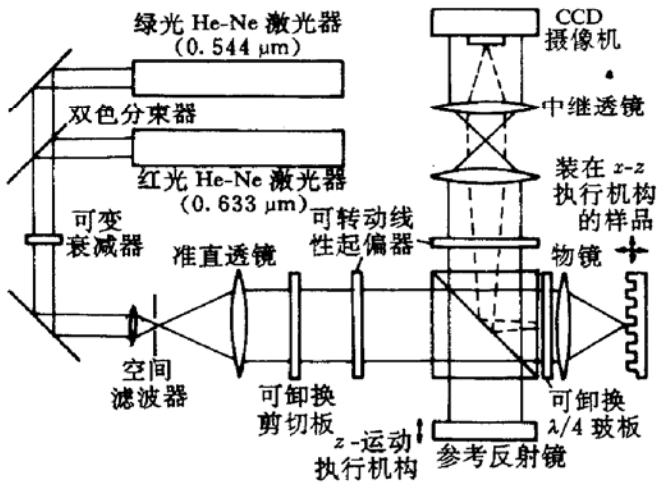


图7 用于研究图1(b)系统的静态试验装置简图。该系统也可用于相移干涉术

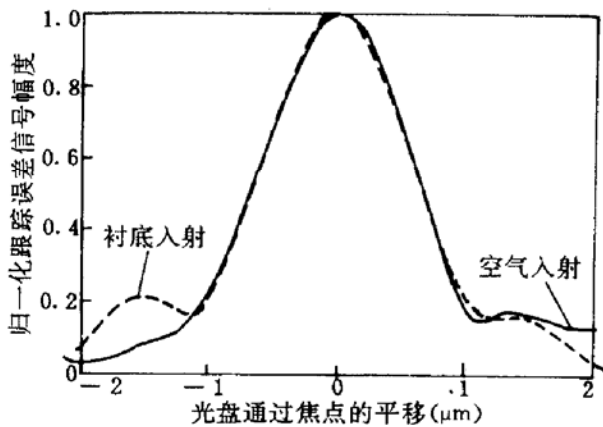


图8 空气入射(实线)和衬底入射(虚线)两种情况下归一化跟踪误差信号幅度与散焦的关系图。这些测量是用图7静态试验装置和 $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$ 波长进行的,表示两种情况的焦深没有差别,本实验中,槽纹轨迹节距为 $0.8 \mu\text{m}$ , $NA = 0.8$ 。在衬底入射情况下,用 $NA = 0.8$ 的物镜作校正,以致通过衬底的光束聚焦并不引入球差

信号幅度与散焦的关系。根据文献[18],我们

把焦深定义为使跟踪误差信号幅度减到70%最大值时所需的光盘在轴向的位移。对于轨迹节距为 $\lambda/NA$ 的光盘,轴向位移 $\Delta z$ 的理论表示式为

$$\Delta z = \pm 0.42 \lambda / NA^2 \quad (3)$$

对 $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$ 波长和 $NA = 0.8$ 的物

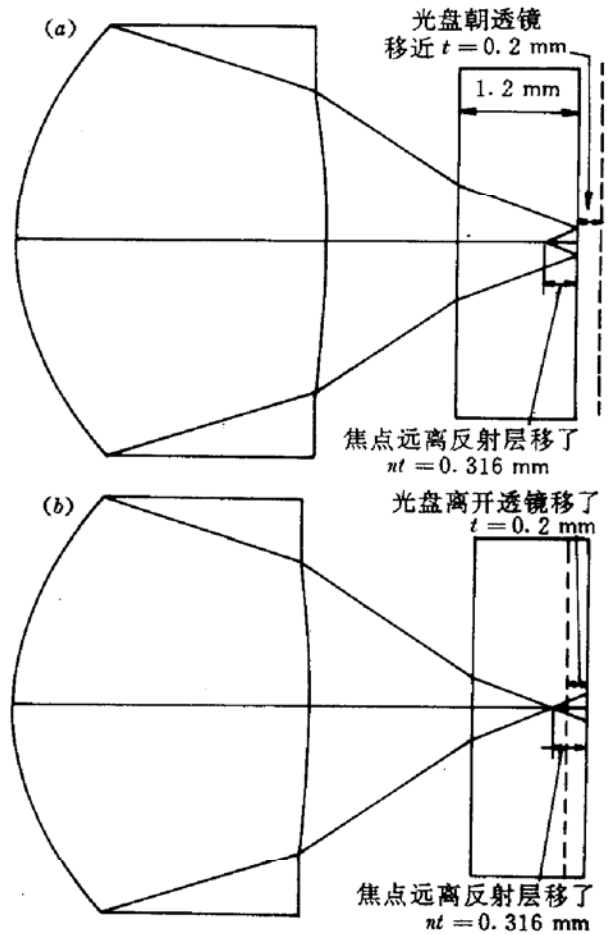


图9 非球面单透镜和光盘衬底的安排。(a)衬底靠近透镜0.2 mm,(b)衬底远离透镜0.2 mm。这种安排表明,尽管存储层移开旁轴焦点0.2 mm,焦斑位置也有同样变化,以致在两种情况下,它离存储层的距离是0.316 mm

镜,这个公式给出的焦深为 $\pm 0.42 \mu\text{m}$ 。图8表示对空气入射和衬底入射两种情况的焦深,它为 $\pm 0.48 \mu\text{m}$ ,理论和实验值显然符合良好。但对空气入射和衬底入射情况的焦深没有差别,预期这是由于我们论证太简单之故。对两种情况的焦深相同,可作如下解释。如果光盘朝物镜方向移动某一距离 $t$ ,在空气

入射情况下,存储层也向物镜移动了同样距离 $t$ 。但在衬底入射情况下,如果光盘朝透镜移动距离 $t$ ,存储层向物镜也移动距离 $t$ ,而同时,旁轴焦点向物镜移动 $(n-1)t$ (图9)。因此,在衬底入射情况下,在光盘移动了 $t$ 之后,存储层离旁轴焦点移动了距离 $nt$ ,因此,对空气入射和衬底入射两种情况,存储层处的光点尺寸是相同的。这个论点对光盘离开物镜情况也成立(图9)。当然,如果我们察看的是最好焦点而不是旁轴焦点情况,上面介绍的则与物镜的 $NA$ 有关,原因是光束通过衬底聚焦时产生像差。

## 5 结论

上面研究了光盘数据存储系统中衬底的

某些微妙影响,其中包括向激光二极管的反馈和通过衬底的焦深。在如图1(b)所示的激光隔离方案下,向激光二极管的反馈主要是由于衬底的双折射。在CD系统中,发现反馈约为反射光的10%并随双折射率平方而变化。在DVD系统中,由于衬底要薄得多,反馈约为反射光的3%。但在DVD系统中,当光波长变得较短时,反馈将增大。返回激光二极管光强的有趣分布图使我们发现一种确定衬底双折射大小和方向的简单方法,这种方法也许可作为光盘制造中的一种检测手段使用。最后,已证明通过光盘的聚焦并不增大焦深,这是从对系统的肤浅分析中可必然预料到的。

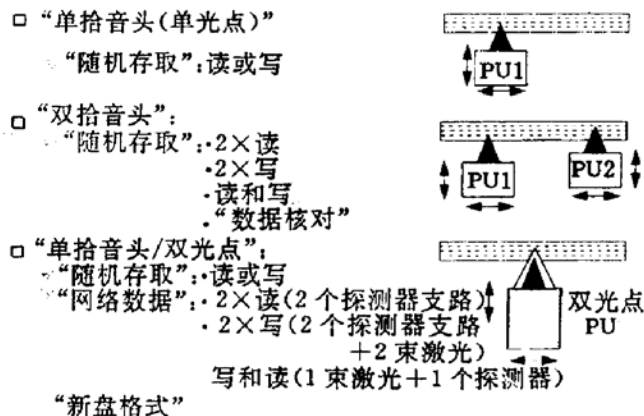
(友 清供稿)

# 德、法联合开发光学多媒体存储器

DVD 投放市场后,可重写的光学大容量存储器作为只读式光学大容量存储板成了开发的中心。在欧洲的一项尤里卡计划(EU 1505-REMOD)中,德、法科学家共同开发 DVD 随机存取存储器。例如新的介质要能记录 2 小时的艺术片,为此,所需的存储容量为 15 Gbyte。对于存储,在相变介质中考虑

采用多层热激光写入法。参加这方面工作的有:德国汤姆逊·勃兰特公司、Degussa 公司、亚森 RWTH 公司的科学家和法国生产 CD 的 MPO 公司以及 LETI 研究中心的科学家。组合式光学写入-扫描系统将由德国企业(耶那蔡司、耶那光学、埃尔富特、耶那大学达姆斯达特、埃尔兰根以及弗赖堡的弗琅和夫物理测量技术研究所等)联合开发。德联邦财政部到 1999 年为德国参与伙伴出资 1840 万德国马克。法国的政府也为其参与者资助同等额度经费。法方主要开发相变数据载体材料。双方将与日本企业共同实施国际标准化。将采用新技术来解决多媒体应用中急剧增长的数据量,首先是终端用户同时产生的、分散的大量数据。因此,开发将瞄准廉价的解决方案。光存储系统中可获得的每比特价格约是磁存储器的百分之一。

多层光盘的扫描方案



(晓 晨供稿)