

三维信息存储读出信号振幅的计算机仿真

赵晓云¹, 杨华军¹, 邱 昆²

(1. 电子科技大学物理电子学院 成都 610054; 2. 电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】针对信息存储低容量、低速率的现状,提出了将阵列激光器、波分复用技术(密集型波分复用)和多层镀膜相结合实现三维信息存储的方法。该方法利用光纤光学头的耦合物镜实现对光斑的自动近场聚焦,可实现海量信息的并行读写,并能极大地减少三维存储的寻道时间。对光电探测器检测的光信号幅度进行了计算机仿真分析,这种并行存储的探索是实现高密度、大容量的重要基础研究。

关键词 三维存储; 计算机仿真; 波分复用

中图分类号 O439 TP391.0 文献标识码 A

Computer Simulation of Amplitude on the Read-Out Signal in Three-Dimensions Information Storage

ZHAO Xiao-yun¹, YANG Hua-jun¹, QIU Kun²

(1. School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054;

2. School of Communication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract This paper proposes that array laser, wavelength division multiplexing (density wavelength division multiplexing) and multi-magnetization layers storage are combined to realize 3D information storage. The coupling object lens of optical fiber head can auto-focus the optical spot in near field, so that enormous information can be written and read simultaneously, and the tracking time of three-dimension information storage can be reduced greatly. At the same time, the optical signal amplitude received by photo-electricity detector is simulated by computer in detail. The search of parallel storage mode is important and basic to realize high density and enormous capacity storage.

Key words three dimensions; computer simulation; wavelength division multiplexing

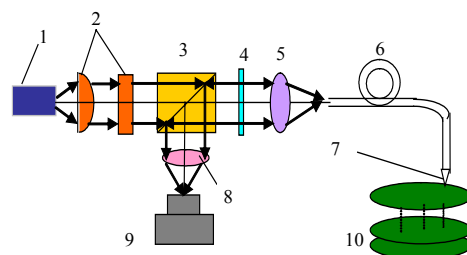
随着信息时代的发展,人类社会面临知识信息的大爆炸,大容量、高密度的存储变得越来越重要。传统的光盘记录技术因受激光衍射光斑极限的限制(微米数量级),存储密度是有限的(600~700 MB),而且其平均寻址时间较长(85~120 ms)。为了改变这种状况,本文提出一种新型的三维存储理念。既具有大容量,轻重量的优点(对于航空航天业,股票和期货、多媒体工作站、三维图像处理技术、影视业等领域有重要的意义),而且利用光的波分复用技术实现对信息的并行传输,又可显著降低平均寻道时间(低于20 ms)^[1-6]。

1 存储系统的设计

将磁光薄膜作为记录介质,采用镀膜技术来实现多层信息存储。具体来说,对于某一信息层,需实现对某一特定波长进行反射,对其余波长的光进行透射,即每层记录介质对应一个工作波长。在整个系统中,每层之间的距离大于焦深,这样可以避免层间串扰。工作时,层间寻址靠透镜的聚焦来实现。从而实现多

层磁光信号的记录和读取。

为了将不同频段的光聚焦于各层记录介质上,在利用波分复用技术,即光纤的多波长并行传输技术实现快速记录和读取。为了实现更多层记录,拟使用密集波分复用技术以使更多的波长作为信息记录波长,进而使记录信息更多。具体来说是使用保偏光纤与精密设计的光学系统构成集成化保偏光纤光学头以实现三维信息进行高速的并行存储和读取。在光学头中,将激光用耦合了中心波长的1/4波片和物镜的锥形光纤作为记录头向光盘,并由伺服系统控制光纤尖端与记录介质的间距在每层对应焦深范围以内,在亚毫米级距离内,由于克服了光学衍射的物理极限,形成纳米量级光斑,从而提高了信息存储密度。同时还可以极大地减小三维存储的寻道时间,以及其非接触式的读写方式可以防止振动,都能体现其优良的性能。整个存储系统原理如图1所示。



1. 垂直腔面发射微型半导体激光器阵列;2. 准直、整形透镜;3. 偏振分束器(PBS);4. 起偏器;5. 耦合物镜;6. 保偏光纤;7. 光学读写头;8. 聚焦透镜;9. 光电探测器阵列;10. 三维记录介质。

图1 存储系统原理图

2 光盘系统标量衍射理论

利用Hopkins的光盘系统标量衍射理论^[7],分析光学系统影响激光光束的因素,得出光强表达式。为了分析方便首先引入正则坐标,定义物,像空间正则坐标变换分别为:

$$u = \frac{n \sin a}{\lambda} \xi, v = \frac{n \sin a}{\lambda} \eta \quad (1)$$

$$u' = \frac{n' \sin a'}{\lambda} \xi', v' = \frac{n' \sin a'}{\lambda} \eta' \quad (2)$$

式中 λ 为波长; $NA = n \sin a$ 为物空间数值孔径; $(\xi, \eta), (u, v)$ 相应为物空间的真实坐标和正则坐标;同理 $(\xi', \eta'), (u', v')$ 对应于像空间相应的坐标。在正则坐标下,可使复杂的衍射公式转化为单位圆的光瞳函数的傅里叶变换^[4]。设从激光源发出的发散球面波,在入瞳的振幅调制函数为:

$$\tau(x, y) = \exp\left[-\frac{\sigma}{2}(x^2 + y^2)\right] \quad (3)$$

在出瞳处产生的波像差(以光在真空中的波长为单位)典型形式为:

$$W(r, \phi) = (W_{20}r^2 + W_{22}r^2 \cos^2 \phi) + (W_{40}r^4 + W_{60}r^6 + W_{80}r^8 + W_{100}r^{10}) + (W_{31}r^3 \cos \phi) + W_{51}r^5 \cos \phi + W_{71}r^7 \cos \phi + W_{91}r^9 \cos \phi \quad (4)$$

式中 主要参数 $W_{11}, W_{20}, W_{22}, W_{31}, W_{40}$ 分别代表畸变、离焦、像散、彗差、球差系数,其余为高次像差。通过光学系统后,物镜出瞳处的幅值分布为:

$$f(x, y) = \begin{cases} \tau(x, y) \exp[j2\pi W(x, y)] & x^2 + y^2 \leq 1 \\ 0 & x^2 + y^2 > 1 \end{cases} \quad (5)$$

入射光聚焦于记录介质上,并被反射,反射系数 $R(m, n)$ 为信息凹坑轮廓所确定。故入射光因反射而离开光盘面时,其复振幅分布为: $F(m, n)R(m, n)$, 当光束再衍射回出瞳点 (x, y) 时,经变换其复振幅为:

$$a(x, y) = \sum_m \sum_n \exp\left\{-j2\left[\left(\frac{m}{p}\right)u + \left(\frac{n}{q}\right)v\right]\right\} R(m, n) f\left(x - \frac{m}{p}, y - \frac{n}{q}\right) \quad (6)$$

其中:

$$R(m, n) = \frac{\sin(\pi m)}{\pi m} \frac{\sin(\pi n)}{n} + \left[\left(\frac{-j}{2\pi m q} \right) I_1\left(\frac{n}{q}; \gamma\right) + \left(\frac{1}{p q} \right) I_2\left(\frac{m}{p}, \frac{n}{q}; \gamma\right) \right] \times \left[\exp\left(-j\pi \frac{m}{p}\right) \beta \right] + \left[\left(\frac{-j}{2\pi m p} \right) I_1\left(\frac{n}{q}; \gamma\right) + \left(\frac{1}{p q} \right) I_2\left(-\frac{m}{p}, \frac{n}{q}; \gamma\right) \right] \exp\left(j\pi \frac{m}{p}\right) \beta \quad (7)$$

则探测器所检测到的光信号总强度为:

$$I = \iint_{x^2+y^2 \leq 1} a(x, y)a(x, y)dxdy = \sum_m \sum_n \sum_{\mu} \sum_{\nu} \exp(j2\pi \frac{\nu}{q}) \exp(j\omega_{\mu} t) R(m, n) R(m + \mu, n + \nu) D(m, n; m + \mu, n + \nu) \quad (8)$$

其中：

$$D(m, n; m + \mu, n + \nu) = \iint_{x^2+y^2 \leq 1} f(x - \frac{m}{p}; y - \frac{n}{q}) f^*(x - \frac{m'}{p}, y - \frac{n'}{q}) dx dy \quad (9)$$

为交叉传递函数，令：

$$I_{\mu} = \sum_{\nu} \sum_m \sum_n \exp[j2\pi \frac{\nu}{q}] R(m, n) R^*(m + \mu, n + \nu) D(m, n; m + \mu, n + \nu) \quad (10)$$

只有先计算出 $D(m, n; m + \mu, n + \nu)$ 和 $R(m, n)R^*(m + \mu, n + \nu)$ ，才能进一步得出光信号强度 I 。而交叉传递函数和反射系数可通过高斯积分插值法求出。

3 计算机仿真结果分析

上述提出的存储概念，在实际应用中，诸如激光光束光强分布，光学元件的缺陷(即：物镜的像差)以及离焦，光盘的倾斜等因数都会影响扫描光点的正确聚焦，相应的影响检测信号的提取，针对一些主要的因素进行讨论。这里考虑三层信息层模型，并给出第一层信号幅度归一化模拟结果。

1) 入射光束的高斯参数 σ 对检测信号的影响($W = 0, NA = 0.45, \lambda = 0.53 \mu\text{m}$)，由于高斯光束存在最佳聚焦，故高斯参数要选择适当。从图2中，可以看到： σ 值小，检测信号曲线可以得到改善。但 σ 越小，信号振幅和相应的检测线路通常会增加成本，应折中考虑。

2) 离焦系数 W_{20} 对检测信号幅值的影响($\sigma = 1.46, NA = 0.45, \lambda = 0.53 \mu\text{m}$)，由图3可知，当离焦系数是 $|W_{20}| = 0.4$ ，其信号曲线振幅已明显降低，而不能满足Strehl判据($I_0 \geq 0.8$)因而不能被正确地读写。为了使信号曲线振幅满足Strehl判据，则要求 $|W_{20}| \leq 0.2$ 。因为焦深 $\Delta z = 2W_{20} \lambda / (NA)^2$ ，故可求出相应的焦深范围，以便正确地写、读信息。

3) 球差 W_{40} 对检测信号幅值的影响($\sigma = 1.46, NA = 0.45, \lambda = 0.53 \mu\text{m}$)，球差使聚焦光斑弥散散度变大，既影响系统的信号幅值，又降低频响带宽，如图4所示。在光盘系统中，球差可以通过对物镜的优化设计进行改善。

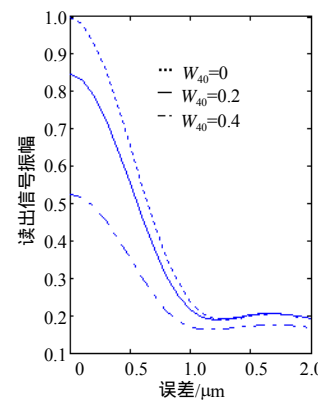
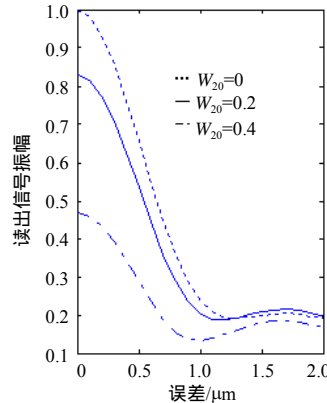
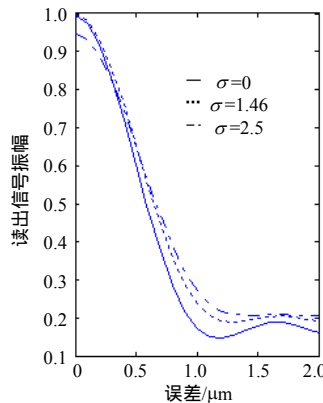


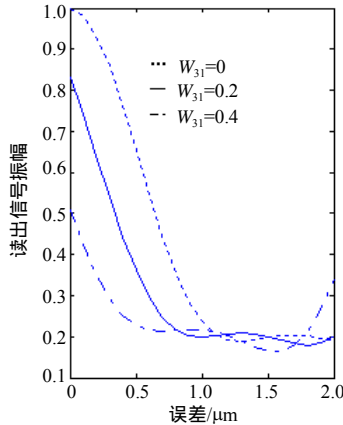
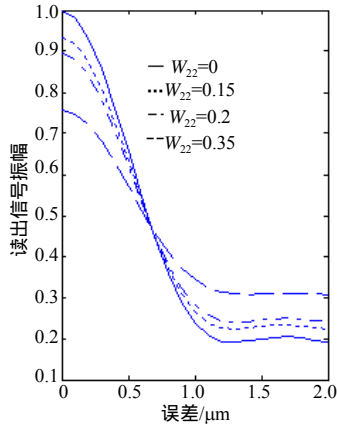
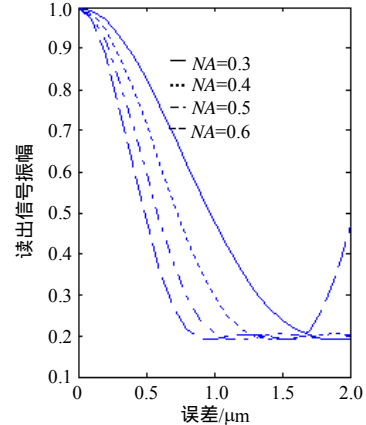
图2 高斯参数 σ 对检测信号幅值的影响 图3 离焦 W_{20} 对检测信号幅值的影响 图4 球差 W_{40} 对检测信号幅值的影响

4) 彗差系数 W_{31} 对检测信号幅值的影响($\sigma = 1.46, NA = 0.45, \lambda = 0.53 \mu\text{m}$)，彗差可能由于物镜的偏心或倾斜产生，也可能由于读出时光盘的倾斜所引起。由光盘倾斜引起的彗差系数 W_{31} 表示为： $W_{31} = (n^2 - 1)d(NA)^2 a / 2n^3$ ， a 为光盘倾斜角。由图5可知，彗差使信号强度分布呈非对称，当彗差越小时，对信号强度分布影响越小。

5) 像散 W_{22} 对检测信号幅值的影响($\sigma = 1.46, NA = 0.45, \lambda = 0.53 \mu\text{m}$)，由图6可知，物镜的像散系数一般为： $|W_{22}| \leq 0.3$ ，否则信号强度将不满足Strehl判据。将增大串扰。

6) 数值孔径 NA 对检测信号振幅的影响($\sigma = 1.46, \lambda = 0.53 \mu\text{m}$)，由光学衍射理论，衍射光斑直径：

$d = k\lambda / NA$, 若光斑为爱里班, 则沿径向强度降低为最大值1/2时对应的 $k = 0.61$, 故 $d = 0.61\lambda / NA$, 但焦深由 $\Delta z = \lambda / 2(NA)^2$ 决定。因此, 当 NA 增加, 光点直径减小, 可以增加信号记录密度, 但却对应于焦深缩短, 使层间准确聚焦更加困难, 并且由前面的分析可知, 系统波像会随 NA 增加而加大, 因此, 我们必须对 NA 值进行优化选择。图7中, 可很明了地看出 NA 对读出信号振幅的影响。一般选择 $NA=0.4 \sim 0.5$ 。

图5 慧差 W_{31} 对检测信号幅值的影响图6 像散 W_{22} 对检测信号幅值的影响图7 数值孔径 NA 对检测信号的影响

用同样的分析方法, 将记录波长、反射率以及波像差等因数变动, 利用保偏光纤实现偏振态保持, 并利用波分复用技术实现多波长的并行传输, 可实现多层磁光膜信号强度检测。

4 结束语

通过以上计算机模拟分析, 选用适当的入射高斯光束以及适当数值孔径的光纤光学头耦合物镜, 并配以高精度, 快响应的伺服电路, 可实现信息的高数据传输、短平均存取时间、超大容量并行存储, 这对航空航天事业和人们的生活都具有重要的意义。

本文研究工作得到了电子科技大学青年基金(新型三维高密度磁光信息存储技术研究)的资助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 孙利群, 章思耀, 王 佳, 等. 基于近场光学超衍射分辨力的高密度光存储[J]. 光电子激光, 2001, 12(6): 646-651
- [2] 任庆利, 吴洪才, 罗 强, 等. 现海量存储的最新进展[J]. 激光与光子学进展, 2001, 6: 26-34
- [3] 时东霞, 巴德纯, 解思深, 等. P-nitrobenzonitrile 纳米有机薄膜的超高密度存储研究[J]. 电子显微学报, 2001, 20(5): 603-605
- [4] 宋贵才, 全 薇, 张先徽, 等. 提高光信息存储主要性能参数的方法[J]. 长春理工大学学报, 2003, 26(1): 72-72
- [5] 高鸿钧. 超高密度信息存储分子存储及存储机理[J]. 物理, 2001, 1(8): 453-455
- [6] 王长顺. 光子学及光信息存储研究进展[J]. 河南大学学报, 2001, 31(1): 1-5
- [7] Hopkins H H. Diffraction theory of laser read-out systems for optical video discs[J]. Optical Society of America, 1979, 69(1): 4-15

编 辑 孙晓丹