

固体浸没透镜飞行高度的气浮控制^{*}

冯晓强^{1,2,3} 贺锋涛^{1,2} 张东玲¹ 白永林^{1,2} 侯 洵^{1,4}

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 西北大学光子学与光子技术研究所, 西安 710069)

(4 西安交通大学电子科学与技术系, 西安 710049)

摘 要 采用固体浸没透镜的光存储方法是提高光存储密度的比较实用的近场光存储方法, 而严格控制 SIL 下底面与光存储介质之间的亚波长级距离是此光存储系统正常工作的前提. 本文采用电容法测量 SIL 的飞行高度, 采用弹性悬臂将 SIL 加载在转盘表面上, 转盘以不同速度转动时 SIL 将悬浮在不同的高度. 计算机首先采集到 SIL 的飞行高度信息, 再与设定的飞行高度作比较, 根据比较结果调整转盘转速, 从而达到调整 SIL 飞行高度的目的. 采用此方法, 可以动态地将 SIL 的下底面控制在距高速转动的转盘表面上 150~600 nm 范围内的一定高度上.

关键词 固体浸没透镜(SIL); 气浮; 飞行高度; 近场光存储

中图分类号 TP29 **文献标识码** A

0 引言

80 年代发展起来的近场扫描光学显微术, 不仅得到了突破衍射极限的超高分辨光学图像, 而且提供了一种超高密度光存储的思路: 采用近场光源, 得到亚波长级的存储光点. 被认为最可能实用化的近场光存储方法主要有固体浸没透镜 (Solid Immersion Lens, SIL) 近场存储和介质超分辨 (super-RENS) 近场存储. 介质超分辨方法是在盘片的记录层上近场范围内增加一层掩膜层, 掩膜层在光强高斯分布的激光照射下会产生纳米孔径, 产生的透射光直径要小于聚焦光斑直径, 从而实现超衍射分辨记录^[1]. 而使用 SIL 的方法相当于提高了物方折射率, 增大了光学系统的数值孔径, 从而减小记录光斑的直径. 正常工作时 SIL 的底面与记录介质之间距离保持在近场范围内, 聚焦在 SIL 底面的光斑通过近场耦合将光能量传到记录介质中, 实现高密度记录. 由于这种方法得到的光能量较大, 读写速度较高, 而且可利用许多现有存储的相关技术, 因此用 SIL 进行近场光学存储有较大的发展前景. 但是, 利用 SIL 来实现近场光记录有一些关键技术和难点, 如系统的调焦伺服, 要让激光束经过聚焦物镜后准确聚集于 SIL 的底面; 再如 SIL 与记录盘片间距动态的控制, SIL 飞行高度的变化对系统读写特性的影响十分敏感^[2,3], 要通过伺服系统始终保持两者的距离在近场的范围内, 以利用近场耦合来

对盘片进行读写. 这里根据硬盘飞行磁头的气动悬浮原理, 实现了通过改变介质转动速度或者改变加载力大小的方法对 SIL 的飞行高度的控制.

1 原理

对于 SIL 的飞行高度的控制采用了反馈控制系统, 即先用高度传感器得到 SIL 的高度, 再将此高度与设定的高度做比较, 如果实际飞行高度与设定飞行高度有一定的误差, 就控制执行机构调整介质的转动速度, SIL 的飞行高度随之会发生预期的变化, 从而达到控制其飞行高度的目的.

由于 SIL 飞行时其下底面和介质的距离要控制在亚微米上下, 要动态地检测此距离可以用电容法. 对于一个平行板电容器, 其电容可以表示为

$$c = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$

式中: $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$; ϵ_r 为相对介电常数; S 为极板的面积; d 为极板距离. 如果介质的表面有一层导电膜, 固定 SIL 的飞行头采用具有抛光表面的金属材料, 而且此表面与 SIL 的下表面共面, 那么此金属表面与介质表面就相当于一个容量可变的平行板电容器, SIL 飞行在不同的高度时此等效电容器有不同的极板之间距离, 从而有不同的电容容量. 所以通过检测此等效电容容量可以得到 SIL 的飞行高度.

SIL 飞行高度控制的执行部分采用三相电机. 当电动机驱动的硬盘盘片高速旋转时, 盘片的转动所产生的气流会对其上悬浮的 SIL 光学头产生一个上浮力, 此浮力大小与盘片转速、光学头形状以及在盘片上的高度等因素有关, SIL 光学头最终在自

^{*} 西安交通大学“行动计划”资助
Tel: 029-88303281 Email: xufeng@nwnu.edu.cn
中国知网 <https://www.cnki.net>
收稿日期: 2004-04-14

身重力、悬臂加载力和空气浮力的作用下平衡,保持在盘片上某个高度.采用气浮技术的硬盘存储技术经过多年的发展,已经在改善磁头的稳定性方面建立了动力学模型^[4],通过优化算法求解磁头稳定飞行状态参数,研究了在保证磁头飞行状态稳定的条件下,不同悬浮预载力参数和磁头几何结构参数对磁头飞行状态影响的一系列变化规律等方面取得了许多重大进展,技术也比较成熟,所以这里采用了硬盘的气浮技术.气浮技术巧妙地利用了空气动力学原理,从根本上解决了磁头飞行高度控制问题,至今仍是硬盘存储系统中的关键技术之一,其工作原理如图 1.飞行头利用空气动力学原理,随着盘片的高速旋转,在盘面上形成一层随盘片而旋转的空气流,气流产生升力使磁头滑块浮在这个空气流上.气浮飞行磁头具有自动平衡能力,即飞行时能自动跟随盘面的不平和谐振动,这样就能保证磁头到盘面距离稳定,而且通过改变盘的旋转速度以及加载在滑块上的压力大小可以方便地调节磁头飞行高度.该技术使获得稳定的、更小的磁头-盘距成为可能.目前的硬盘系统中磁头的飞行高度已由最初的几个微米降到现在的 30 nm 左右^[5].

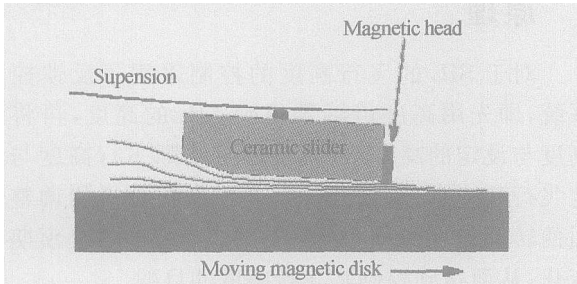


图 1 气浮飞行头结构
Fig. 1 Structure of flying head

SIL 高密度光存储技术主要有固体浸没透镜的加工、SIL 与介质的间距控制和聚焦伺服等.采用电容法可以检测到 SIL 的飞行高度,采用控制盘片转速的方法可以控制其高度,这样,可以建立一个反馈控制系统.计算机首先对 SIL 的飞行高度进行检测,根据结果调整转盘转速,达到调整并控制 SIL 飞行高度的目的.由于盘片加速过程比较慢,比例控制方法会引起较大的超调量,甚至会导致系统不能正常工作,所以此处采用了计算机查询的方法,即计算机调整盘片转速后经过一定的延迟再对 SIL 飞行高度进行查询.

2 试验装置

SIL 飞行高度的控制可以采用常规运动伺服控制方法,即先检测 SIL 底面到盘面的距离,再把距离的误差量反馈到控制电路系统,控制系统启动运

动执行机构,最后调整 SIL 的高度.执行机构可以采用压电致动器,也可以采用音圈电机带动 SIL 以调整高度^[6],但是这样的执行机构结构复杂,可靠性也比较差.这里借鉴了硬盘驱动器飞行磁头的原理,让硬盘盘片高速转动,而把 SIL 飞行头通过弹性悬臂加载在硬盘表面,即可把 SIL 漂浮在盘片表面一定高度.这种气浮飞行头技术不需要复杂的伺服控制系统,而只通过控制盘片的转速就可以控制飞行头的飞行高度,结构简单,性能可靠.

根据气浮磁头原理,参考现有的硬盘磁头结构,同时考虑到压力平衡加载问题,设计了图 2 所示的 SIL 飞行头悬臂.滑块在磁盘表面高速滑行,为了保证滑行间隙的均匀和可靠性,滑块上的加载力分布必须平衡.硬盘磁头的设计一般采用在滑块的上表面中心通过单点接触进行压力加载.对于 SIL 系统,由于 SIL 的直径相对比较大,一般 SIL 处于滑块的中心,若要将压力通过 SIL 四周的滑块均匀加载实现起来比较困难.考虑到改装的光学头如果和 SIL 配合使用,要求在二者之间加补偿片,如果把补偿片直接压在 SIL 球面上,则加在补偿片上的加载力就可以均匀分布到滑块上.这样做虽然在一定程度上可能导致 SIL 表面的磨损,但其简单有效.组合的 SIL 飞行头结构如图 3.压力通过补偿片加载以后,还要考虑滑块的连接问题,这里采用两根弹性连接片把滑块和补偿片柔性连接起来.

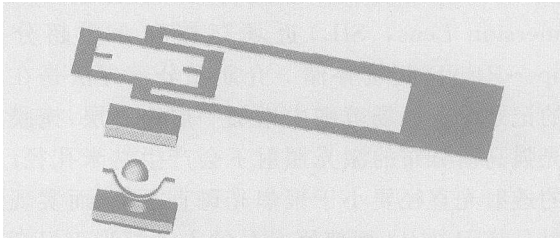


图 2 固体浸没透镜悬臂
Fig. 2 Cantilever of SIL

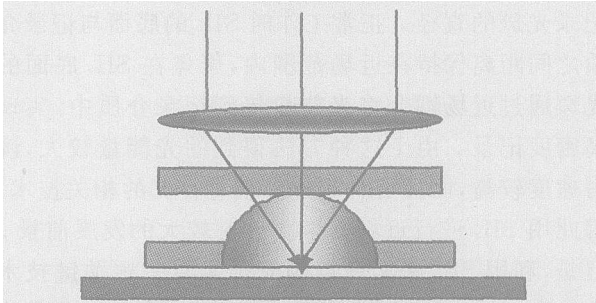


图 3 固本浸没透镜飞行头
Fig. 3 Flying head of SIL

试验中 SIL 飞行头的滑块采用金属片,固体浸没透镜镶嵌在其中,底面四条边棱倒角抛光,滑块与 SIL 胶合以后再进行一次抛光,以去除表面毛刺并使二表面更加吻合.半球形 SIL 直径 1.5 mm,折射率 $n=1.6$,转盘采用计算机硬盘.计算机硬盘表

面具有很好的平整度,而且转动很平稳,转速也易于控制,这样,此金属片与硬盘的表面形成了一个平行板电容器,SIL 飞行在不同的高度时就有不同的电容. 补偿片采用 DVD 盘基光学塑料,尺寸为 $6\times6\times0.6\text{ mm}^3$. 加载悬臂使用弹性塑料片加工而成,通过外加压紧螺钉调节加载力大小. 经测量,滑块与硬盘表面的电容有效面积为 1.854 mm^2 ,飞行过程中滑块与盘片的夹角比较小,在高度测量中可忽略,可将滑块与盘片之间的电容简化为平板电容. 在设计中,为了使检测电路有较大的检测范围,同时又有足够的检测灵敏度,经过选择检测电路参数,将高度检测范围设为 $60\sim1600\text{ nm}$.

电容的检测实际上是一个电容-电压转换器,不同的输入电容对应不同的输出电压,其输入输出特性如图 4. 图中,连续线是根据所选择的外围电路参数进行理论计算应该输出的电压曲线,小方格是用标准电容器进行实际测量的结果. 可以看出,在 300 pF 以内测量结果和所设计的理论输出吻合得很好. 计算机对飞行高度的采集是通过 A/D 转换得到衡量电容的电压信号,换算成 SIL 飞行高度之后再与设定的高度进行比较,根据比较结果再确定电机的加速或者减速,并通过 D/A 转换输出电机转速的一个参考电压,电机驱动器以此参考电压对电机转速进行调整,从而对飞行高度进行调整. 为了得到比较稳定的飞行高度,对转速进行一次调整之后至少延迟 10 ms 后再进行下一次检测和调整.

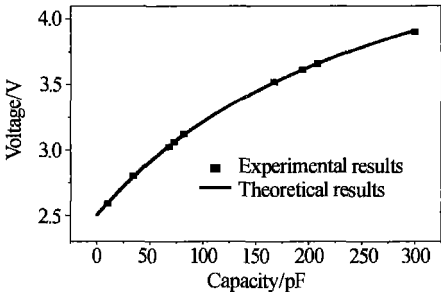


图 4 电容-电压转换
Fig. 4 Conversion of capacity to voltage

3 结果

通过以上系统对 SIL 在不同的盘片转速条件下的飞行高度进行了测量,结果如图 5. 可以看出,在此条件下盘片转速越高,SIL 的飞行高度也越高,如果将盘片转速稳定在某一转速上,SIL 也将稳定在某一高度上. 同时,不同的悬臂加载力也会影响 SIL 的飞行高度. 图 6 是在计算机的控制下 SIL 飞行在 400 nm 时的飞行高度检测时的输出电压. 此电压在一定的范围之内波动,对应的 SIL 的飞行高度也就在 400 nm 上下波动,波动幅度约为 80 nm . 造成此波

动的原因比较复杂,但是由于 SIL 飞行高度是亚微米级,滑块底面抛光程度、空气中的尘埃、盘片的晃动以及电机的震动都会影响此电压输出信号.

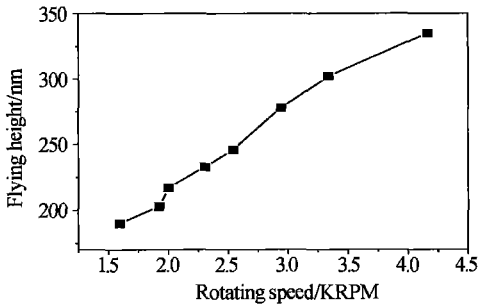


图 5 转速不同,飞行高度也不同
Fig. 5 Different flying height with different rotating speed

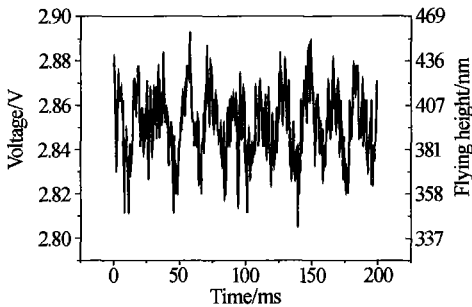


图 6 SIL 飞行在 400 nm 时大约有 80 nm 的波动
Fig. 6 About 80 nm undulation when the SIL flying at the height of 400 nm

4 总结与展望

采用固体浸没透镜的近场光存储方法是近年来被认为最可能实用化的超高密度光存储方案之一,而如何保证固体浸没透镜能在高速飞行的光盘上稳定在一定的高度是 SIL 光存储系统所要解决的课题之一. 采用气浮技术通过调整盘片转速可以将 SIL 悬浮在一定的高度,上下浮动约为 80 nm . 此结果基本上能满足存储要求,即能保证动态地将固体浸没透镜保持在转盘表面的近场区域一定高度,但是作为一个完整的近场光存储系统,还必须解决另一个课题,即光学系统的聚焦伺服,如何保证光源经过 SIL 之后能正好聚焦在 SIL 的下表面.

参考文献

- 1 Tominaga J, Nakano T, Atoda N. An approach for recording and readout beyond the diffraction limit with an Sb film. *Appl Phys Lett*, 1998, **73**(15):2078~2080
- 2 Kawano H, Chekanov A, Matsunoto K, et al. Air gap dependence of write and read characteristics in magneto-optical recording with solid immersion lens. *IEEE Trans Magn*, 2001, **37**(4):1409~1411
- 3 Wang C, Lue J. Linear stability analysis of gas-lubricated slider in magnetic recording system with ultra-thin spacing. *J Phys D: Appl Phys*, 1998, **31**(21):1757

~1769

4 Suzuki Shoji, Nishihira Henry. Study of slider dynamics over very smooth magnetic disks. *ASME Journal of Tribology*, 1996, **118**(2):382~387

5 Schardt B C, Schreck E, Sonnenfeld R. Flying height measurement while seeking in hard disk drives. *IEEE Trans on Magnetics*, 1998, **34**(4): 1765~1767

6 Shingo Imanishi, Tsutomu Ishimoto, Yuichi Akl, *et al.* Near-field optical head for disc mastering process. *Jpn J Appl Phys*, 2000, **39**(2B): 800~805

Flying Height Control of Solid Immersion Lens by Slipstream

Feng Xiaoqiang^{1,2,3}, He Fengtao^{1,2}, Zhang Donglin¹, Bai Yongling^{1,2}, Hou Xun^{1,4}

1 State Key Laboratory of Transient Optics and Technology, Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

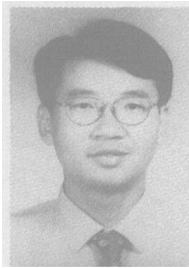
3 Institute of Photonics & Photon-Technology, Northwest University, Xi'an 710069

4 Department of Electronic Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049

Received date:2004-04-14

Abstract To use solid immersion lens is one of the practical methods to realize the near-field high-density optical data storage. But the storage system will work only on the condition that the distance between the bottom of the SIL and the surface of media is exactly controlled within the sub-wavelength scale. In this letter the flying height of the SIL is measured by the capacity between the SIL and the disc, and the SIL fixed in flying head is loaded on the surface of the rotating disc by flexible cantalever. The SIL will fly at different height with the different rotating speed of the disc. When it works, a computer is used to detect the flying height of the SIL, and after comparing this result with the preset value, it controls the disc to accelerate or decelerate, and this will result in adjusting the flying height of the SIL. In this way a certain height within the scale of 150~600 nm of the flying height over the disc surface is dynamically controlled when the disc is rotating in high speed.

Keywords Solid immersion lens (SIL); Slipstream; Flying height; Near-field optical data storage



Feng Xiaoqiang was born in 1974. He received the B. S. degree in 1998 from department of physics and M. S. degree in 2000 from Institute of Photonics & Photon Technology, Northwest University respectively. In September 2000, he began to work toward the Ph. D. in State Key Laboratory of Transient Optics, Xi'an Institute of Optical and Precision Mechanics, CAS. His research work includes optical information processing, high-density optical data storage, servo system of high-density data storage and near-field optic technology. Besides his research work, he is good at computer programming, circuit designing, computer controlling and integration of optics, mechanism and electricity.