

绿光光存储实验研究

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

(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 西安交通大学电子科学与技术系,西安 710049)

(4 河南大学物理与信息光电子学院,开封 475001)

摘要 在光存储技术中,采用短激光波长激光器和大数值孔径物镜是提高光存储密度的两种有效途径. 本文采用 532 nm 波长激光, 0.65 数值孔径物镜,建立了绿光存储实验装置. 并采用该实验装置在 CD-RW 相变光盘上进行了存储实验研究,实现了线宽约为 500 nm 的实验结果.

关键词 光存储;离焦检测;自动聚焦

中图分类号 TP333 **文献标识码** A

0 引言

进入二十一世纪后,随着科学研究和信息产业的迅猛发展,对计算机设备的存储容量和存取速度提出了更高要求,光存储技术自 70 年代开始研究和开发,已经过了近 30 年的发展. 作为一种新型的光存信息处理技术,与磁存储相比,具有存储密度高、存储寿命长、信噪比高、读取速度快等一系列优点,受到世界各国的普遍重视. 相继投入大量人力、物力和财力进行竞争,使得近年来光存储技术不断取得重大突破,已逐渐形成了一个巨大的高科技产业.

提高光存储密度是光存储发展的主要指标之一. 由分析可知,在远场光记录中,光存储的数据容量取决于光盘驱动器所用的激光器波长、物镜的数值孔径、数据记录格式,以及光盘的物理尺寸和结构. 其中,激光器波长 λ 和数值孔径 NA 将影响激光经光学聚焦后的最小光斑尺寸,其大小受瑞利衍射极限的限制. 与激光波长 λ 成正比,与聚焦物镜的数值孔径成反比. 存储密度则正比于 NA/λ 的平方,所以要提高光存储密度,缩短激光波长和增大物镜的数值孔径是两种有效途径^[1,2]. 目前 CD 和 DVD 光盘系统中采用波长分别为 770 ~ 830 nm 和 630 ~ 650 nm 的近红外和红光半导体激光器;数值孔径分别为 0.45 和 0.65. 随着蓝绿光半导体激光器的技术不断成熟,蓝绿光短波长高密度光存储技术研究已成为目前研究的热点之一. 本文以实验为基础,采用 532 nm 绿光激光器,数值孔径为 0.65 的聚焦物镜建立了绿光存储实验装置,采用该装置在 CD-RW 相变光盘上进行了存储实验研究,实现了线宽约为 500 nm 的记录线.

1 绿光存储实验原理及装置

为了实现绿光存储,实验装置必须有以下基本功能:第一,将激光光束转换成亚微米光斑;第二,根据从光盘上反射的光学信号进行自动聚焦,使聚焦光斑准确聚焦在光盘的信息存储面上.

图 1 为该装置的光学原理图. 由 532 nm 绿光激光 LD 发出的线偏振光,经过扩束镜后,穿过偏振分束镜 PBS 及 1/4 波片 QWP,此波片的光轴与入射的线偏振光成 45° 夹角,经由 1/4 波片的作用而形成圆偏振光,最后通过物镜聚焦到光盘上,从光盘反射的圆偏振光经物镜,再一次通过 1/4 波片形成与原入射光相互垂直的线偏振光,此时激光束不在通过偏振分束镜,而是经过偏振分束镜及柱面透镜后被四象限探测器 QD 所接收,其产生的光电信号经过一个四输入端的加减运算放大器,将信号经过加减运算放大之后形成聚焦误差信号. 自动聚焦伺服执行机构根据这一聚焦误差信号,对聚焦物镜的位置进行调整,使得激光焦点正确聚焦在光盘信息存储面上,从而将信息存储在光存储面上.

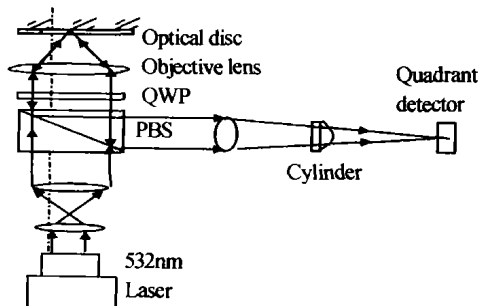


图 1 532 nm 绿光存储光学原理图

Fig. 1 Optical system of data storage with 532 nm laser

1.1 激光光源

激光光源采用温控型 532 nm 全固化绿光激光器,具有较好的输出功率稳定性和光束质量. 其出射最大功率 100 mW,光束直径小于 1 mm,光束发散

角小于 1.0 mrad.

1.2 物镜

物镜是光学系统的关键元件,为使存储激光光斑尽量小,物镜的数值孔径都比较大,且像差也必须进行良好的校正,以得到近于衍射极限的光斑.其次物镜装在自动调焦的执行机构之上,为实现自动调焦,必须重量轻,结构紧凑,运动轻便.本文中采用 0.65 的高数值孔径非球面物镜,可对相差进行较好的校正.物镜用光学树脂注塑而成,重量较轻.

1.3 离焦检测机构

离焦检测方法很多,有刀口法、像散法、振动法等.本文采用像散的方法,反射光经分光镜反射后,经柱面透镜汇聚在四象限探测器上,柱面透镜的作用如图 2 所示,柱面透镜作为像散元件,可将光盘离焦量的变化转变成不同方向上光能的变化.光经柱面透镜后产生像散现象,在焦点附近像散光束出现轴向不对称性,在最佳焦点的两边出现水平方向和垂直方向的像散线,四象限光电探测器及四输入端加减运算电路可将这种不同方向上光能的变化转变成电信号,从而产生离焦误差信号.根据离焦误差信号即可对光盘信息存储面距离激光焦点的位置进行检测.四象限光

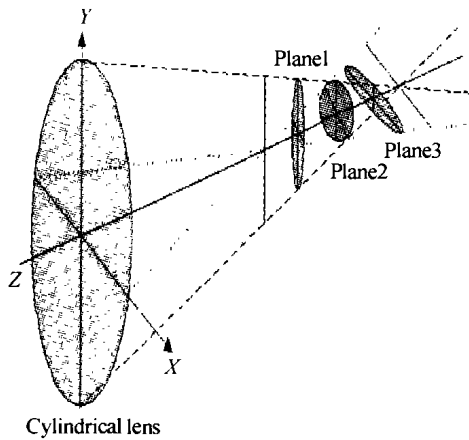


图 2 柱面镜像散原理

Fig. 2 Principle of astigmatism with cylindrical lens

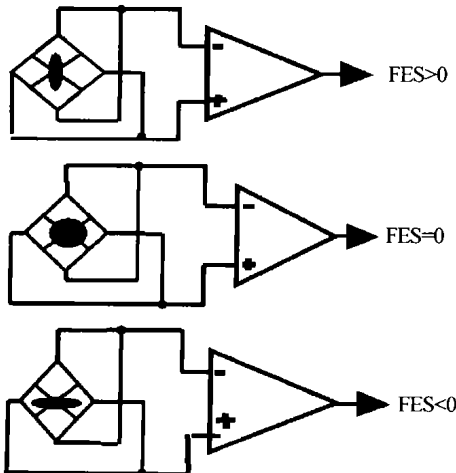


图 3 四象限探测器

Fig. 3 Quadrant detector

电探测器的位置必须调整的很精确,如图 3 所示,使之在正焦时,在四象限探测器上的光斑为圆形,四个象限上光强相等,误差信号 FES 输出为零;而在光盘存储介质反射面距离物镜过远,则探测器上四象限探测器上的光斑形状是长轴处于竖直位置的椭圆光斑,调焦误差信号输出大于 0;如果反射面距物镜过近,则相反,调焦误差信号输出小于 0.

当光盘信息面沿光轴上下起伏时,将会引起四象限探测器聚焦误差信号发生变化,在焦点附近这一变化是线性的^[3].因此,精确测量出系统聚焦误差信号随光盘位置的变化曲线后就可根据曲线的线形确定离焦检测系统的线性响应范围,对于某一确定的光学实验装置,这一线性区的大小是固定的.为了精确测量光盘位置与聚焦误差输出之间的关系,将光盘固定在高精度电控微动平台上,使光盘沿光轴方向匀速扫描.这里使用的微动平台是 PI 公司的 M-111 型,其移动最大范围 15 mm,最大速度 2.5 mm/s,设计分辨率为 7 nm,测量中我们使用的扫描速度为 210 $\mu\text{m/s}$,移动范围 1 mm.试验中使用 HP50543A 数字示波器采集聚焦误差曲线.图 4 是测出的光盘位置与聚焦误差电压信号输出之间的关系曲线,从图 4 可以确定本文离焦检测系统误差信号线性变化的区域为 4.7 μm .

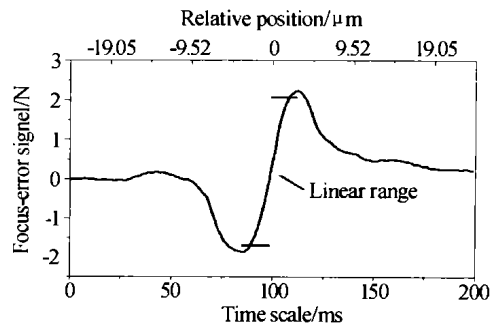


图 4 光盘位置与聚焦误差电压关系

Fig. 4 Relationship between position of CD-RW and FES

1.4 自动聚焦控制机构

自动聚焦控制机构的作用在于使激光焦点跟随光盘的上下振动,使光盘信息存储面始终处于焦深之中,图 5 调焦控制装置原理图.在图 5 的调焦控制机构中,利用图 4 光学位置检测系统提供的与调焦误差成线性的误差电压信号,放大后经补偿网络

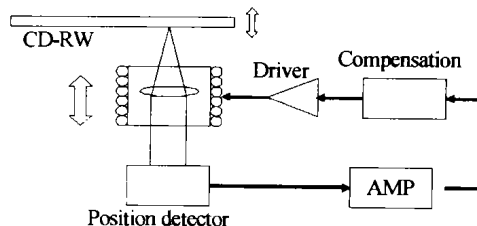


图 5 调焦控制原理

Fig. 5 Control principle of focusing

滤波,再经放大,转换成电流,驱动双向执行机构的调焦线圈,使物镜在竖直方向运动,跟踪盘片的摆动。

整个控制电路原理如图 6 所示. 系统得到调焦指令后,首先启动三角波形发生器,三角波形发生器输出的电压经驱动放大之后驱动双轴力矩器,使聚焦物镜上下移动,当移动到一个位置使得激光聚焦在存储介质表面附近时,电压保持器保持此时的三角波形发生器输出电压,同时切断三角波形发生器. 粗聚焦完成后启动精密聚焦,由位置探测器输出的聚焦误差信号判断焦点离存储介质表面的距离,并根据此聚焦误差信号对物镜相对于存储介质的距离进行修正,经过驱动放大后推动线圈做相应的调整,从而使得激光束能准确地聚焦在记录介质上。

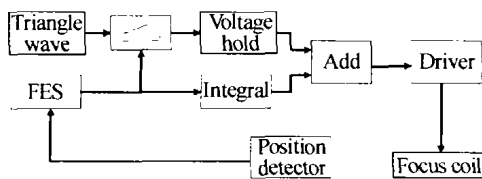


图 6 控制电路
Fig. 6 Control circuits

2 实验结果

采用上述实验装置,在 CD-RW 相变光盘上进行了存储实验研究. 对存储结果的观察采用金相反射显微镜的 45X 物镜,配合 CCD 图像采集处理系统,图 7 为观测的实验结果. 实验时首先启动自动聚焦控制系统,保证激光束聚焦到光盘信息存储面上. 然后主轴电机开始旋转,同时使激光焦点沿平行光盘面的某一方向开始扫描,在激光焦点扫过的区域由于产生相变,反射率变小,从而在信息存储面上得到一组刻录线宽约为 500 nm 为螺旋线。

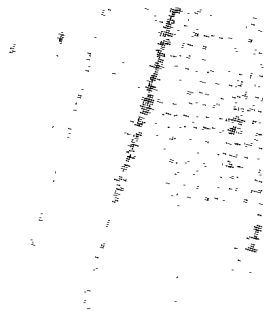


图 7 CD-RW 相变光盘上的刻录线
Fig. 7 Written track on the CD-RW

实验时从物镜出射功率约为 8 mW,光盘转速为 14 mm/s. 图中,水平方向的道为光盘信息道,道间距 1.6 μm . 在记录过程中,由于物镜的微小移动,自动聚焦系统要不停地调整,误差信号也有一定的起伏,但是其幅度约为 200 mV,由于其线性范围是 4.7 μm ,光盘误差信号线性区对应的电压幅值为 1.9 V,从而可得自动聚焦精度约为 0.5 μm . 这里激光波长为 532 nm,物镜数值孔径为 0.65,而此时物镜 $1/e^2$ 光强处的光斑直径为

$$FWHM = 0.56 \frac{\lambda}{NA} = \frac{0.56 \times 532}{0.65} = 460 \text{ nm}$$

在写入过程中,由于聚焦控制过程是一个动态调整过程,光盘在焦点附近很小范围内上下波动,这种很小的波动将使得实际写入过程中聚到光盘表面的光斑要大于 460 nm,但是由于光斑强度沿光斑半径方向的高斯分布以及介质产生相变需要一定阈值,因此得到了约 500 nm 记录线宽。

3 结束语

本文采用 532 nm 波长激光,0.65 数值孔径物镜,建立了绿光存储实验装置. 并采用该装置在 CD-RW 相变光盘上进行了存储实验研究,实现了线宽约为 500 nm 的实验结果. 采用蓝绿光短波长光存储技术是本世纪初提高光存储密度的主要方法之一,随着蓝绿光半导体激光器技术及其光电检测器件制造技术的不断成熟,蓝绿光短波长高密度光存储技术应具有广阔的商业前景。

参考文献

- 1 Kozlovshy W J, Dewey A G, Juliana A, et al. Optical recording in the blue using a frequency-doubled diode laser. *SPIE*, 1992, **1663**: 410 ~ 415
- 2 Mansfield S M, Studenmund W R, et al. High-numerical-aperture lens system for optical storage. *Opt Lett*, 1993, **18** (4): 305 ~ 307
- 3 徐端颐. 光盘存储系统设计原理. 北京:国防工业出版社, 2000. 1, 325 ~ 328
Xu Duanyi. Design principle of optical storage systems. Beijing: National Defence Industry Press, 2000. 1, 325 ~ 328

Study of Optical Data Storage with Green Laser

He Fengtao^{1,2}, Feng Xiaoqiang^{1,2}, Bai Yonglin¹, Zhang Dongling⁴, Hou Xun^{1,3}

1 *State Key Lab 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 *Department of Electronic Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049*

4 *College of Physics and Information Optic - electronics, Henan University, Kaifeng 475001*

Received date: 2003-06-27

Abstract To improve optical storage density, short wavelength laser and high numerical aperture (NA) objective lens are often applied. In this paper, an optical storage device with 532 nm laser and an objective lens of $NA = 0.65$ is setup. An experimental result of a recording track of about 500 nm is obtained on CD-RW disk with this experimental device.

Keywords Optical data storage; Focus error detecting; Automatically focusing



He Fengtao was born in 1974. In 2000, he received his master degree in the department of physics, Northwest University. Now he is a Ph. D. candidate in State Key Laboratory of Transient Optics and Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics. His current research interest lies in the near-field optics and height density optical data storage.