

近场记录光盘的写入能量的研究*

黄 浩 裴先登 黄 俊

(华中理工大学计算机科学与工程系, 武汉 430074)

摘 要 近场记录光盘是一种新的光盘记录技术, 它有二个特点: 1) 极高的记录密度; 2) 很高的寻道速度。本文介绍了近场光盘记录技术的特点; 提出了近场光盘记录技术中动态条件下读写系统中的写入能量问题; 对头盘间的能量传输问题进行了仿真计算。

关键词 近场记录光盘, 锥尖光纤, 浮动光学头。

1 引 言

近场光盘记录技术是一种新提出的光盘记录技术, 它是基于下面两项技术: 1) 根据近场光学原理, 利用锥尖光纤等光学器件可得到极小的光斑; 2) 借鉴硬盘的磁头浮动技术^[1], 采用光学头浮动技术, 大大提高光盘的寻道速度。它与传统的(即采用聚焦形成远场光斑)光盘记录技术相比有两个明显的优点: 1) 由于它的光学头的结构能克服聚焦技术中的光波的衍射极限问题, 因而可获得极高的记录密度, 理论上可将记录密度提高二个数量级以上; 2) 由于它的光学头质量很小并采用浮动技术, 因此可达与硬盘一样高的寻道速度^[2]。由于近场光盘记录技术的这种极高密度、高速的特点, 它可望成为新一代极具竞争力的计算机外存储设备。

近场光盘记录技术目前正处于研究阶段, 有许多技术问题还没有得到解决。例如, 读写系统的能量传输效率问题、光学头的超低飞浮动问题、跟踪伺服系统的纳米级定位问题、高速低功耗记录介质问题。这些问题有些有可借鉴的技术, 但是整个近场光盘记录技术还需进一步研究。

美国和日本的一些研究机构如 IBM 研究中心等也在进行近场光盘记录技术方面的研究^[3], 据公布的研究报告来看, 他们主要是利用近场光学显微镜(NSOM)进行了一些静态试验^[4], 在他们的试验中最好的结果是得到了直径为 60 nm 的记录斑点^[5]。这意味着在静态条件下, 记录密度已提高二个数量级。但在动态条件下, 有些问题就必须重新考虑, 如能量问题、热场效应问题等。

2 动态条件下写入能量问题的提出

传统的光盘驱动技术中, 由于采用聚焦形成光斑, 读写系统的能量损耗很小。在近场光

* 国家自然科学基金资助项目(69773047)和博士点基金资助课题(97048726)。

收稿日期: 1998-01-23; 收到修改稿日期: 1998-08-03

盘记录技术的静态试验中, 尽管读写系统的能量损耗很大, 但由于热场效应的作用^[6], 还是能形成合乎要求的记录斑点。但作为驱动器中的读写系统必须是动态的, 因此热场效应的作用就很复杂了, 读写系统的能量损耗问题就必须考虑。

本文中近场光盘驱动器的光波导系统可分成三个部分: 第一部分是从光源经过信号调制到光学头的锥尖光纤的入口处; 第二部分是锥尖光纤的入口到出口的部分; 第三部分是从锥尖光纤的出口到记录介质表面之间的部分。

第一部分的能量损耗主要为光波在元器件之间的耦合损失: 光纤与激光器之间的耦合损失, 光纤的传输损失等。由于元器件都是标准的, 所以这部分的能量损耗比较容易估计, 并可用实验的方法测定。

第二部分是光波在锥尖光纤中传输的损耗。由于将光纤拉制成很细的锥尖光纤后, 光波能量损失很大, 而且锥尖拉得越细, 损失越大。有文献记载实验测量损耗达 99% 以上^[7]。如何优化锥尖光纤的形状和结构以得到较高的通光效率将是设计高效的光波导系统的关键问题之一^[8]。

第三部分实际上是一个光波的衍射问题, 光波从锥尖光纤的出光口衍射, 考虑到达记录介质层上的那部分光波的分布, 即可计算出该部分的能量损耗。理论计算可以看出, 在极低的浮动高度时, 记录光斑的大小可由出光口径决定。本文后半部分将对这部分的能量传输问题(即头盘间的能量传输问题)进行仿真计算。

3 头盘间光波的能量传输模型

嵌有锥尖光纤的浮动块中, 锥尖光纤的通光口的尺寸比浮动块的尺寸小得多(两者之比小于万分之一), 故可对头盘间的能量传输问题进行如下建模:

如图 1 所示, 平面 A 表示浮动块, 平面 B 表示盘片的记录介质层所在的平面, 平面 A 中的小孔 D 表示锥尖光纤的通光口。则该能量传输问题可考虑为光波经过小孔 D 到平面 B 的衍射问题。由于锥尖光纤的通光口的尺寸小于波长, 所以这里采用矢量衍射理论进行计算。

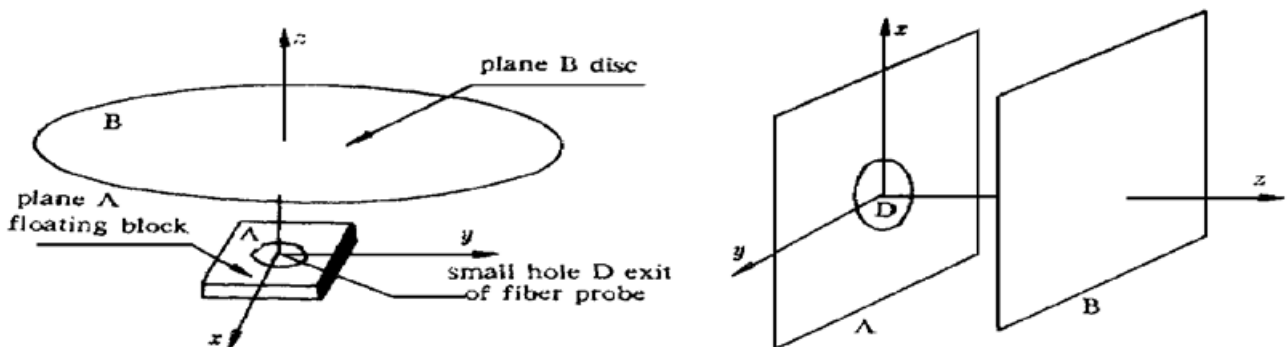


Fig. 1 Model of optical disc and head

设光波在小孔 D 中的电磁场为 $(\mathbf{E}_0, \mathbf{H}_0)$, 这是进行计算的边界条件。其中

$$\mathbf{E}_0 = (E_{0x}, E_{0y}, E_{0z}), \quad \mathbf{H}_0 = (H_{0x}, H_{0y}, H_{0z}). \quad (1)$$

光波在平面 A 的其余部分设为零。由于电磁场的各分量在直角坐标系中都满足标量波动方程, 利用标量波动方程的边值问题可求出电磁场在平面 A 后的场解。进而可求出平面 B(记录介质层)上的光强和光功率及光强的半幅宽。

标量波动方程的边值问题用如下的傅里叶变换公式来求^[9]。设小孔 D 的直径为 d , 出光

口小孔上的一点表示为

$$D = \{(x, y, 0) | x^2 + y^2 \leq (\frac{d}{2})^2\} \quad (2)$$

设标量场在 $U(x, y, z)$ 满足标量波动方程, 而且它在 D 上的值为 $U(x, y, 0)$, 在平面 A 的其余部分为零。则该标量场在 $z > 0$ 的区域内的场分布可用下列公式计算

$$U(x, y, z) = \iint_H F(k_x, k_y) \exp [iz(k^2 - k_x^2 - k_y^2)] \exp [i(xk_x + yk_y)] dk_x dk_y \quad (3)$$

其中: $H = \{(k_x, k_y) | -\infty \leq k_x, k_y \leq +\infty\}$; $k = 2\pi/\lambda$; $F(k_x, k_y)$ 可用下式求得:

$$F(k_x, k_y) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_D U(x, y, 0) \exp [-i(xk_x + yk_y)] dx dy \quad (4)$$

由于模型的限制, 上式中仅对小孔 D 进行二重积分即可

$$F(k_x, k_y) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_D U(x, y, 0) \exp \{-i(xk_x + yk_y)\} dx dy \quad (5)$$

4 数值计算结果与分析

下面的数值计算给出在给定的锥尖光纤出光口直径 d 、头盘间距 z 的条件下, 记录介质层的单位面积上的平均光功率、光强的半幅宽与写入光束的波长的关系。

设电磁场在小孔 D 上为沿 z 方向传播的单色平面波, 电场为 x 轴向线偏振, 磁场为 y 轴向线偏振。那么光波在小孔 D 中的电磁场设为 $(\mathbf{E}_0, \mathbf{H}_0)$, 其中

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_0 &= (E_{0x}, 0, 0), & \mathbf{H}_0 &= (0, H_{0y}, 0), \\ E_{0x} &= \exp(-\frac{x^2}{2}), & H_{0y} &= \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_{0x}. \end{aligned} \quad (6)$$

利用上节的公式进行数值计算, 所得结果示于图 2、图 3。图中 d 表示锥尖光纤出光口直径, z 表示头盘间距。

图 2 给出光强的半幅宽与写入光束的波长的关系: 图 3 给出平均光功率 E/E_0 与写入光束的波长的关系, 这里 E_0 表示锥尖光纤出光口中的单位面积上的光功率, E 表示记录介质层的下述区域中的单位面积上的光功率:

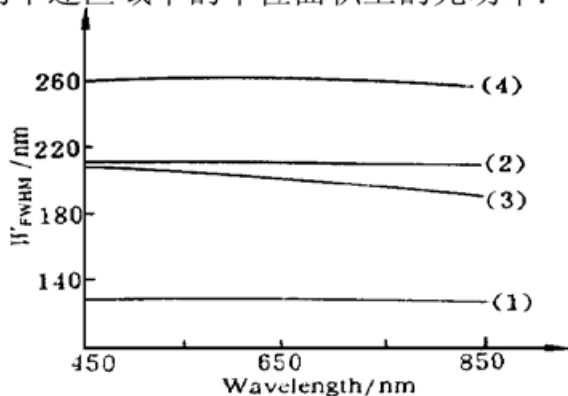


Fig. 2 The relation of W_{FWHM} with wavelength of laser. (1) $d = 100$ nm, $z = 50$ nm, (2) $d = 200$ nm, $z = 50$ nm, (3) $d = 100$ nm, $z = 100$ nm, (4) $d = 200$ nm, $z = 100$ nm

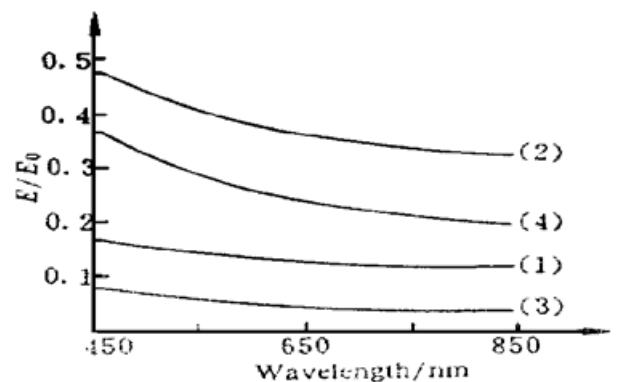


Fig. 3 The relation of light power with wavelength of laser. (1) $d = 100$ nm, $z = 50$ nm, (2) $d = 200$ nm, $z = 50$ nm, (3) $d = 100$ nm, $z = 100$ nm, (4) $d = 200$ nm, $z = 100$ nm

$$D_z = \{(x, y, z) | x^2 + y^2 \leq d^2\} \quad (7)$$

从图 2 看出, 在较小的浮动高度时, 记录光束的波长对半幅宽影响较小。从图 3 还可看出, 在较小的浮动高度时, 记录光束的波长对平均光功率 E/E_0 影响也较小, 所以可使用较廉价的常用的激光器。

从二个方面对计算结果进行了验证:

1) 当锥尖光纤出光口直径 d 、头盘间距 z 都较大时(相对于波长), 本模型得出的结论与传统的标量衍射理论得到的结论吻合得很好。图 4 给出当出光口直径 $d = 20\lambda$, 头盘间距 $z = 4000\lambda$ (λ 为波长), 小孔入射光波为沿正 z 轴向传播的均匀单色平面波时用本模型得到的记录介质平面上的光强分布。图中横坐标以 80λ 为单位, 纵坐标以相对光强(与衍射光斑中心点的光强相比) 为单位, 同时左上角的 I_0 表示衍射光斑中心点的光强(以小孔入射光波的光强为单位)。

2) 当头盘间距 z 都很小时, 本模型得出的关于半幅宽的结论与近场光学理论中的结论相吻合: 当与小孔衍射屏很近时(小于衍射孔半径), 衍射光斑光强的半幅宽变化较小, 稍大于小孔的直径。图 5 给出当光口直径 d 为 90 nm, 入射光波长为 450 nm 时用本模型得到的光强的半幅宽, 图中横坐标为头盘间距 z , 纵坐标为记录介质平面上的光强的半幅宽 W_{FWHM} 。

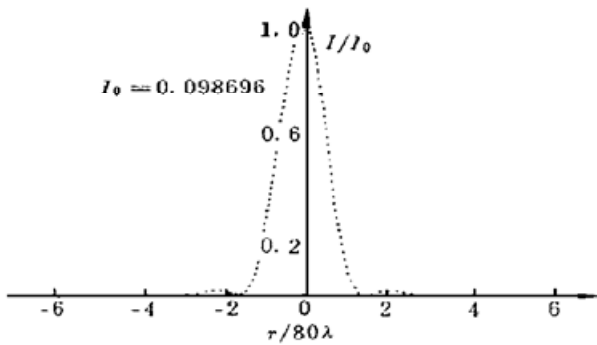


Fig. 4 Light intensity distribution on disc. λ is the wavelength

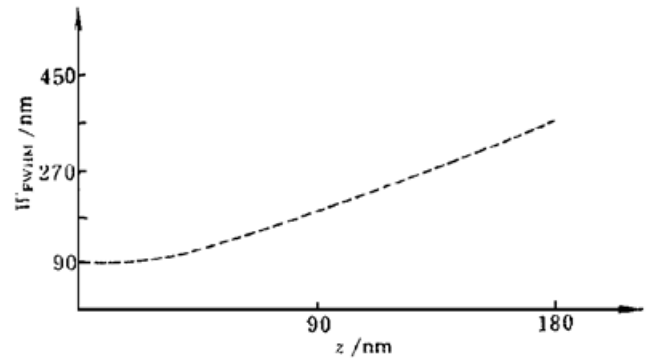


Fig. 5 Relation of W_{50} with z

参 考 文 献

- [1] 华 伟, 谭炳麟, 王成焘等. 磁头浮动系统研究工作的近期进展. 电子计算机外部设备, 1995, **19**(5): 1~ 5
- [2] 杨建东. 光盘机快速精密定位技术研究. 博士论文, 武汉: 华中理工大学, 1995, **10**: 13~ 19
- [3] AT&T BELL Laboratory. AT&T BELL Tests New Ultra-High Density Magneto-Optic Technique. *Optical Memory News*, 1992, **8**: 13
- [4] U. Ch. Fischer, U. T. Dürig, D. W. Pohl. Near-field optical scanning microscopy in reflection. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **52**(4): 249~ 251
- [5] Sumio Hosaka, Toshimichi Shintani *et al.*. Nanometer-sized phase-change recording using a scanning near-field optical microscope with a laser diode. *Japan. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(1B): 443~ 447
- [6] Mitsuhide MIYAMOTO, Toshimichi SHINTANI, Sumio HOSAKA *et al.*. Thermal simulation analysis of scanning near-field optical microscope point heating mechanisms. *Japan. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(5A): L584~ L586
- [7] A. K. Horsfall. An investigation of optical fields using near-field optical techniques. *Proc. SPIE*, 1995, **2535**: 137~ 146
- [8] Pei-Kuen Wei. Method to increase brightness of tapered fiber probe for scanning near-field optical microscope. *Proc. SPIE*, 1995, **2384**: 174~ 184

- [9] A. И. 苏哈鲁柯夫, O. B. 鲁登科, M. Б. 维诺格拉多娃等原著, 王珊编译. 波动理论. 上海: 复旦大学出版社, 1995. 212~ 218

Study of Write Energy of Near-field Recording Optical Disc

Huang Hao Pei Xiandeng Huang Jun

*(Department of Computer Science and Engineering,
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)*

(Received 23 January 1998; revised 3 August 1998)

Abstract Near-field recording optical disc is a new optical disc recording technique. It has two characteristics: 1) extreme high recording density; 2) very high seeking speed. Characteristic of near-field optical disc recording technique is discussed. The write energy problem of a read-writing system with dynamic state in near-field optical disc recording technique is presented; Simulation calculations for the energy transmission between the flying head and optical disc are carried out.

Key words near-field recording optical disc, tapered-fiber, flying optical head.