

文章编号: 0253-2239(2003)09-1090-5

蓝光磁光盘的优化设计与分析*

王现英 张约品 阮 昊 沈德芳 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 以 TbFeCo 作为蓝光磁光盘的记录介质, 需要对传统磁光盘热、光学结构进行改进以提高载噪比。利用光学特征导纳矩阵法对改进结构的磁光盘膜层进行了优化设计, 得到了较好的匹配结果; 并通过热学计算得到了记录膜体温度分布, 从理论上证明了新结构的优越性。

关键词: 信息光学; 蓝光磁光盘; 热控制层; 品质因子; 温度分布

中图分类号: O438 文献标识码: A

1 引 言

随着磁光存储容量的增大, 用短波长激光作为记录和读出光源已成为下一代磁光盘发展的必然趋势。Pt-Co、石榴石氧化物等材料在短波长的实用化还有很多问题需要解决。而稀土过渡金属合金是实用化的磁光存储介质, 非晶态薄膜可以产生一个低噪声的界面, 可在很大范围内通过成分调节对其磁和磁光性能任意剪裁, 因此在磁光存储特别是多层耦合膜磁光存储中有不可替代的作用。但是, 稀土过渡金属合金薄膜克尔角随着读出波长的降低而减小, 当读出激光移向蓝光时, 磁光盘的载噪比将下降。

Yuichi 等^[1,2]提出了改进结构的稀土过渡金属磁光盘。他们认为, 蓝光下读出克尔角的减小同时

使信号水平和噪声水平降低, 当散射噪声大于光盘噪声时, 读出载噪比就会下降; 而增大读出激光功率可以使载噪比维持在原来的水平。但是读出激光功率的增加会引起聚焦光斑内温度过高, 使克尔效应更小, 如何使记录层温度在较大功率的聚焦蓝光作用下不升得过高是稀土过渡金属蓝光磁光盘优化设计的关键。实验证明在紧贴记录层处镀一层金属层作为热传导层(图 1), 可以控制记录层的温升, 这就必须对五层结构稀土过渡金属磁光盘进行光学和热学结构的双重优化设计。本文从理论上对以 Al 膜作为热控制层和反射层的稀土过渡金属蓝光磁光盘的光学和磁光性能作了具体优化设计, 得到比较好的设计结果, 并计算了膜体温度场分布, 很好地证明了热传导层对温度的控制作用。

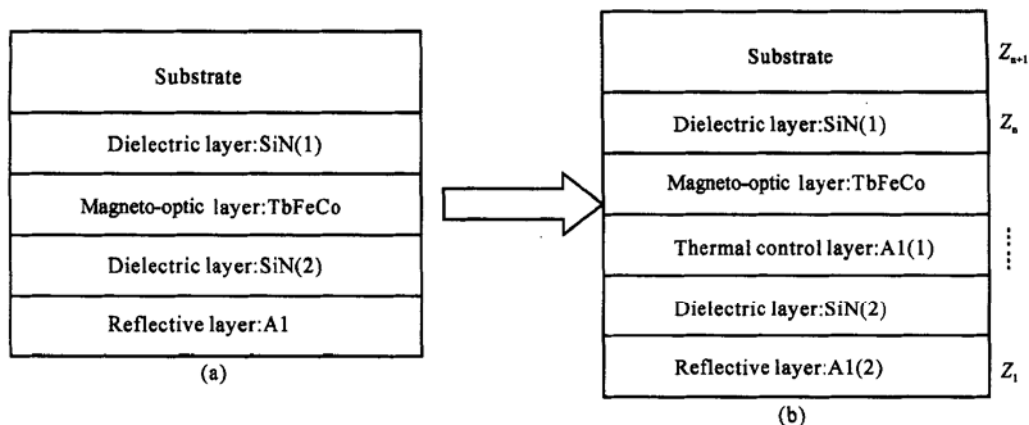


Fig. 1 Disk structure used in this paper. (a) Conventional disk; (b) Improved disk

* 上海市应用物理中心(99JCI4006)资助课题。

E-mail: wangxianying79@yahoo.com

收稿日期: 2002-07-10; 收到修改稿日期: 2002-09-18

2 理论模型

2.1 理论计算所用的光盘结构

当记录和读出激光为蓝光时, 聚焦光斑单位面积内积聚的能量要比红光的高得多, 过高的能量积累必然会引起记录层温度过高; 而稀土过渡金属为介质的蓝光存储还要求有较高的读出功率。传统磁光盘由于磁光层有较小的热传导率, 优化反射层或介电层的厚度对降低记录膜温度没有太大作用。而紧贴记录层镀一层金属层作为热传导层, 可以减小温度的积累, 增大读出阈值功率。本文中以 Al 作为热传导层, 也得出了类似的结论。因为通常光盘都是以 Al 作为反射层, 同样以 Al 作为热控制层, 可以简化镀膜工艺。所以以 Al 作为热控制层进行设计, 为我们以后的实验有较直接的指导作用。光盘结构如图 1 所示。

2.2 光学特征矩阵法^[3]

磁光盘通常是由吸收膜和电介质膜组成的多层膜体系, 其各膜层折射率和厚度的变化将导致整个膜系的一系列薄膜光学特性发生变化。多层膜导纳特征矩阵法是适合计算机运算求解多层膜反射率和克尔角的方法, 这种方法运算过程比较简单, 对在经验值附近膜系品质因子的优化是很实用的。具体的运算过程和公式在此不再详细列出, 可见于参考文献^[3]。

2.3 热学计算方法

多层膜系温度分布的计算主要是参考 Mansuripur 的计算方法^[4] (简称 M 法) 进行的。不同的是, 本文的计算假设激光从衬底入射 (这更接近实际), 而 M 法假设光从非衬底的一侧入射。程序设计均用 Matlab 语言实现。

3 优化设计结果及其分析

设计中所用的读/写激光波长为 410 nm, 所用的光学、热学参量如表 1 所示。

Table 1 Optical and thermal parameters used for calculation

Material	Refractive index n	Specific heat capacity $c / 10^3 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$	Thermal conductivity $K / 10^2 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
PMMA	1.58	1.512	0.0019
Al	0.45 - i3.61 ^[5]	2.7	2.4
SiN	2.0	1.924	0.015
TbFeCo	2.10 - i2.95 ^[6]	3.12	0.12

3.1 光学优化设计结果

光学优化设计的目的在于通过各层之间的干涉相互作用, 使读出波长处有最大品质因子 $R \sin^2(\theta_K)$, 其中 R 为反射率, θ_K 为克尔角。同时考虑实际信道跟踪的需要, 使反射率在 20% ~ 30% 的范围之内。在光学设计中, 先固定其它各层的厚度: 磁光层 30 nm、热控制层 15 nm、上介质层 45 nm、反射层 100 nm。从增透层开始进行优化设计, 增透层的优化设计结果如图 2 所示。随增透层厚度的增加, 克尔转角和反射率以及品质因子都呈周期性变化, 在克尔角最大处, 反射率有最小值, 这表明在磁光多层膜的设计中, 克尔角的增加是以降低反射率为代价的, 在设计中要同时考虑克尔角和反射率的大小。在增透层的厚度为 30 nm、130 nm、230 nm 时, 膜系的品质因子达到最大值, 且反射率均大于 20%。考虑到实际应用, 取增透层的厚度为 30 nm。

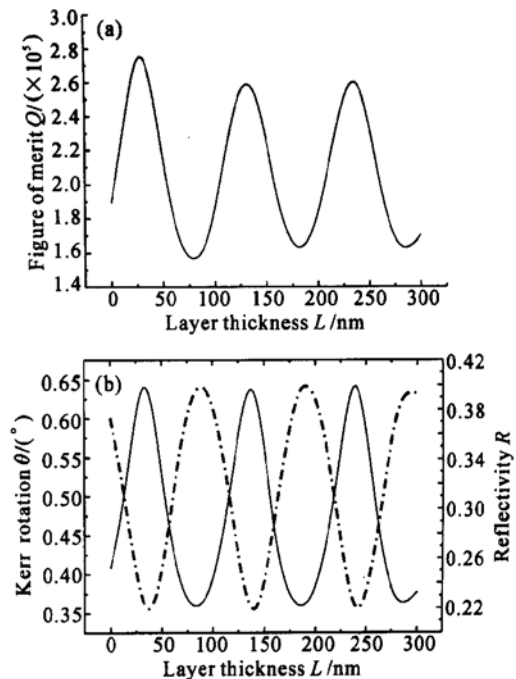


Fig. 2 Dependence of figure of merit, Kerr rotation and reflectivity on low dielectric layer thickness

图 3 为磁光层的优化设计结果, 当磁光层的厚度小于 25 nm 时, 读出品质因子随厚度的增加而增加, 而厚度大于 25 nm 时, 品质因子却随厚度的增加而减小, 当磁光层的厚度大于 50 nm 时, 品质因子、克尔角和反射率基本上不随厚度的增加而变化。取磁光层的厚度为 25 nm, 此时有最大的品质因子和克尔角, 反射率为 20.9%, 也满足大于 20% 的要求。

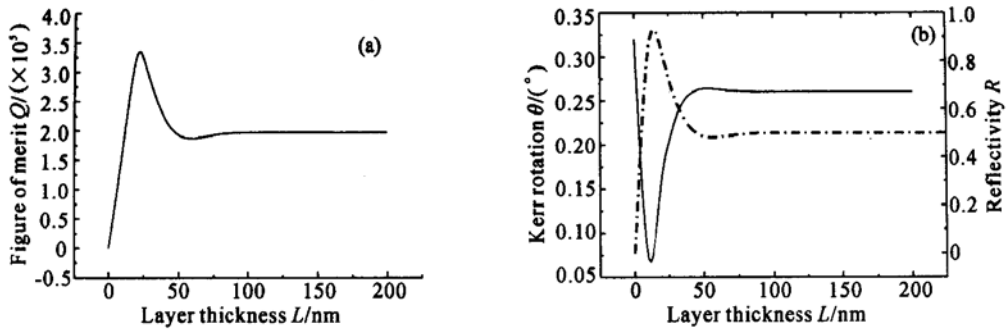


Fig. 3 Dependence of figure of merit, Kerr rotation and reflectivity on recording layer thickness

图 4 为热控制层的计算结果。随热控制层厚度的变化,读出质因子、克尔角、反射率的变化趋势和磁光层的差不多。热控制层的作用主要是增大热传导率,避免过高的能量积累,所以,对它的设计要同时兼顾热学和光学两个方面。当热传导层的厚度太小时,起不到降低温度积累的作用,而厚度太大

时,又会使磁光层的温度过低,使写入功率增大。因此热传导层厚度的选取要权衡读出功率和写入功率,一方面,要尽量使磁光盘的读出阈值功率提高,另一方面,还不能使写入阈值功率过高。此处取热控制层的厚度为 10 nm。

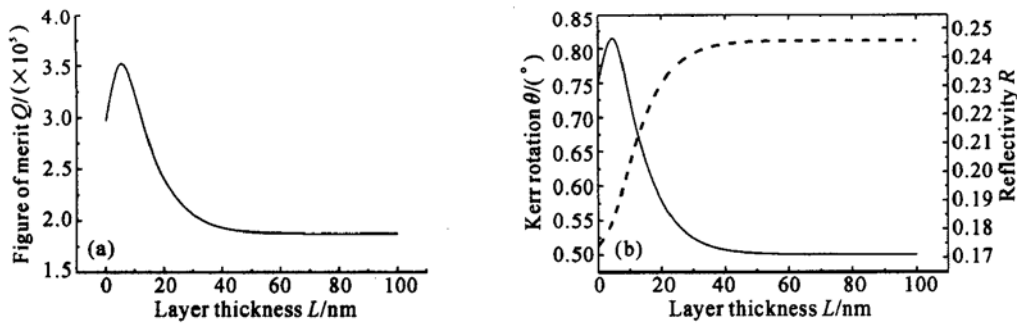


Fig. 4 Dependence of figure of merit, Kerr rotation and reflectivity on thermal control layer

图 5 为上介质层匹配设计的结果。可见,当上介质层的厚度为 50 nm、160 nm、260 nm 时,品质因子均有最大值。为了使磁光层的热量同时通过热控

制层和反射层传导,上介质层的厚度应该尽量取小,所以取上介质层的厚度为 50 nm。

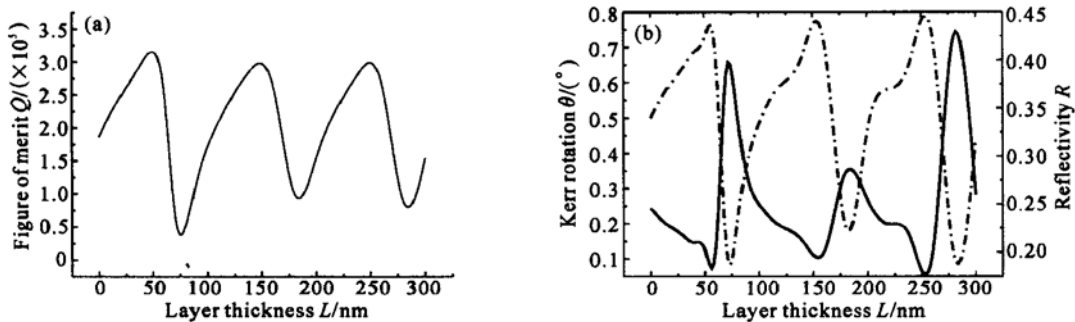


Fig. 5 Dependence of figure of merit, Kerr rotation and reflectivity on upper dielectric layer thickness

图 6 为反射层的优化设计结果,反射层的厚度大于 20 nm 时,各参量均不随厚度而变化。反射层的作用主要是增大膜系的反射率,提高光能利用率,同时,也起热传导的作用,所以必须要有一定的厚度。另外,反射层的厚度也是关系磁光盘成本的一

个重要标准,因此,反射层的厚度不宜太高。取反射层的厚度为 100 nm。

综合以上设计结果,各层的厚度分别取为:增透层 30 nm,磁光层 25 nm,热控制层 10 nm,上介质层 50 nm,反射层 100 nm。此时,读出波长处的品质因

子为 3.25×10^{-5} , 克尔角为 0.7255° , 反射率为 0.2029 。

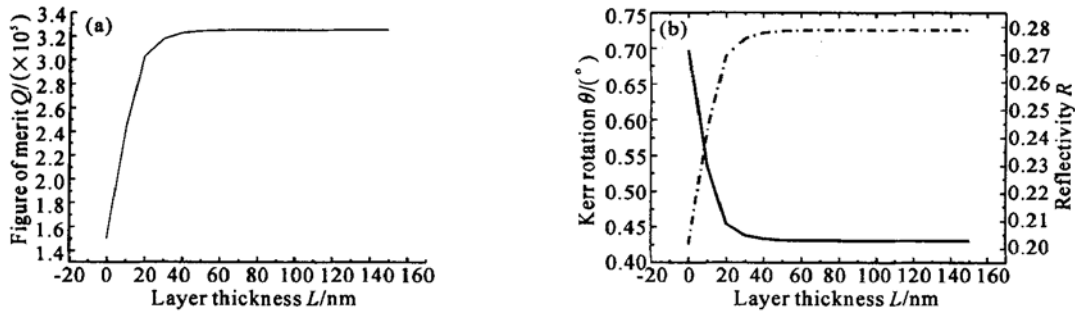


Fig. 6 Dependence of figure of merit, Kerr rotation and reflectivity on reflective layer thickness

3.2 热学计算结果

在光学设计中,通过各层厚度的优化设计,我们得到了相对较高的克尔转角和合适的反射率,但由前面的分析可知,将稀土过渡金属介质用于短波长的磁光存储中,为了保证读出信噪比,必须适当增加读出激光功率,同时,根据分子场理论,磁光介质的饱和和磁化强度随温度的升高而降低,而克尔角又正比于饱和磁化强度,故克尔角反比于温度,所以磁光层的温度不能升得过高。另一方面,还要考虑介质的可写性,即不能使写入阈值功率过高。所以新磁光盘结构能不能在蓝光作用下有合适的温度值,还要通过热学的计算来证明。基于麦克斯韦方程和坡印亭矢量定理,采用差分法和有限元技术,我们计算了温度场分布。表面热流速率假设为 0。计算中采用的激光脉冲形状如图 7 所示。

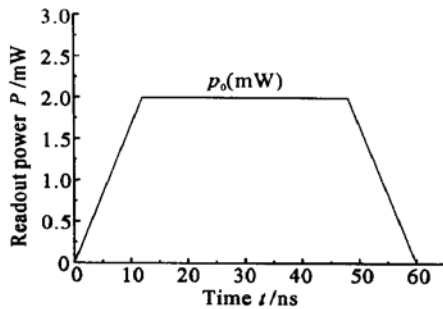


Fig. 7 Laser pulse used in calculation

图 8 为不同读出激光功率时磁光层的最高温度。图 8 中曲线 a 为传统四层磁光盘结构在蓝光照射时磁光层的最高温度,在聚焦激光作用下,当读出激光功率为 2.5 mW 时,磁光层的最高温度就大于 $200^\circ C$,而一般 $TbFeCo$ 薄膜的居里温度小于 $200^\circ C$,也即对传统的四层结构,当读出激光功率为 2.5 mW 时,记录信息即被擦除。而对加了一热控制层(10 nm)的五层结构(图 8 中曲线 b),当读出功率为 4 mW 时,磁光层的最高温度仅为 $170^\circ C$,所以

读出功率可以增大到 4 mW。通过调整热传导层的厚度,还可以使读出阈值功率提高更多。

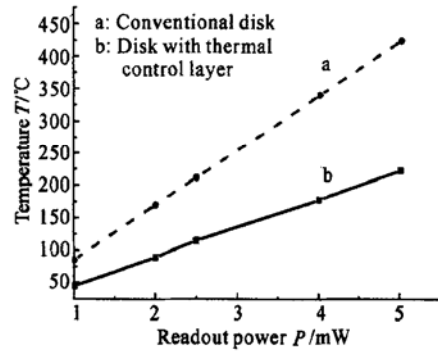


Fig. 8 Dependence of temperature on readout power

图 9 为激光功率为 2.5 mW 时记录层膜体温度的径向分布曲线。由图 9 可见,随着半径 r 的增大,膜体温度均匀降低。我们计算了传统四层结构磁光盘在不同反射层厚度时的径向温度分布,发现随反射层厚度的增加,膜体中心温度稍有降低。但计算结果表明,当反射层厚度大于 250 nm 时,温度即不随反射层厚度而变。而对于加了厚度为 10 nm 的热控制层的五层结构,在反射层厚度为 100 nm 和同样的激光功率下,温度明显降低,且越靠近聚焦光斑中心处,这种温差越大,说明热控制层对于聚焦光斑内

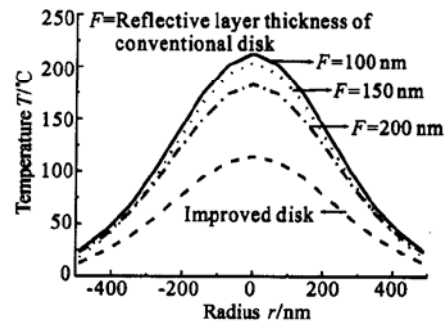


Fig. 9 Temperature distribution of magnetooptical layer along radial direction

介质温度的升高有很好的控制作用。

图 10 为激光功率为 2 mW 时不同热控制层厚度时膜体温度随时间的分布曲线。记录层最高温度在激光功率下降处 ($t = 48$ ns) 时开始下降。热控制层厚度越大, 膜体中心最高温度越低, 按分子场理论, 读出克尔角应越大, 从而读出质因子越大, 应该有更高的信噪比, 这与 Yuichi 等得到的实验结果具有类似的结论。比较传统四层和改进的五层结构的温度时间分布曲线可见, 五层结构磁光盘温度上升和下降的速度要比四层结构快得多, 这反映了五层结构具有更好的热响应特性, 写入灵敏度要高。

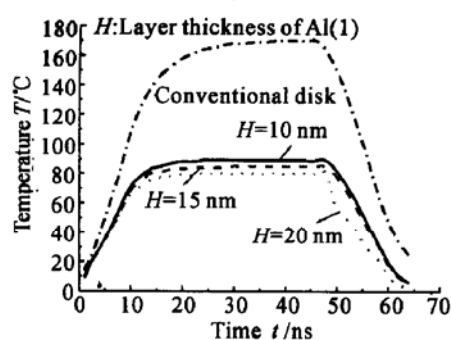


Fig. 10 Time dependence of magneto-optical film maximum temperature

结论 将稀土过渡金属非晶态磁光存储薄膜用于短波长磁光存储中, 对光盘结构的调整是得到较高信噪比的关键。本文利用光学特征导纳矩阵法对改进结构的稀土过渡金属磁光盘作了具体的优化设计, 得到膜系克尔角为 0.7225° , 反射率大于 20%。在光学设计过程中, 没有考虑衬底槽对光的散射作用和薄膜光学常数随厚度的变化, 这可能会影响设计

结果的准确性, 尽管如此, 得到的优化结果反映的规律性对实验仍有很好的借鉴作用。热学计算结果表明, 在传统四层磁光盘结构紧贴记录层加一热控制层后, 由激光照射引起的磁光层的温度升高要小的多, 读出阈值功率提高近 1.5 倍, 而且可以通过热控制层厚度的调节读出阈值功率可以提高更多。本文热学计算的结果对蓝光相变、有机光盘以及高数值孔径红光存储中记录层温升的控制同样有很好的借鉴作用。

参 考 文 献

- 1 Yuichi S, Kimitaka K, Kazunori Y *et al.*. Magneto-optical disk for blue lasers. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2000, **39**(2B): 943~ 947
- 2 Kimitaka K, Yuichi S, Kazunori Y *et al.*. 10 Gbit/inch² MO-disk using blue lasers. *Proc. SPIE*, 2000, **4090**: 271~ 273
- 3 Tang J F, Zheng Q. *Applied Thin Film Optics* (实用薄膜光学). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984. 49~ 51 (in Chinese)
- 4 Mansuripur M, Neville G A, Joseph W G. Laser-induced local heating of multilayer. *Appl. Opt.*, 1982, **21**(6): 1106 ~ 1114
- 5 Jiang Qi, Shen Defang, Gan Fuxi. Recording characteristics of storage media for magneto-optical disks. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1989, **9**(10): 925~ 931 (in Chinese)
- 6 Nakagawa K, Itoh A, Chen L Y. Wavelength dependence of optical characteristics for TbFeCo and MO disk structure for double wavelength readout MO disk. *IEEE Trans. Magnetics*, 1999, **35**(5): 3124~ 3126
- 7 Fu H, Zheng Y, Lee S K *et al.*. Dielectric tensor characterization and evaluation of several magneto-optical recording media. *J. Appl. Phys.*, 1995, **78**(6): 4076~ 4090

Optimization of Magneto-Optical Disk for Blue Lasers

Wang Xianying Zhang Yuepin Ruan Hao Shen Defang Gan Fuxi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 10 July 2002; revised 18 September 2002)

Abstract: The conventional TbFeCo magneto-optical medium has a relatively small Kerr rotation in blue region than in the red, consequently, intensive optimization of RE-TM blue disk is needed. Optimization of magneto-optical properties and optical properties is carried out, and good results are obtained. The temperature distribution of the recording layer is calculated, the results show that the newly designed structure is successful in temperature control and has better thermal response.

Key words: information optics; RE-TM blue disk; thermal control layer; figure of merit; temperature distribution