

磁光薄膜的干涉增强

范正修

(中国科学院上海光机所)

提要: 讨论了磁光薄膜的基本特性,并用光学薄膜的设计技术研究了磁光效应的干涉增强。作为例子,文中给出了TbFe膜的一些设计结果。

Interference enhancement of magneto-optical effect

Fan Zhengxiu

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Basic properties of magneto-optical thin films are discussed. The method of thin film optics is used to study the interference enhancement of the magneto-optical effect. As an example, the design considerations of magnetic film TbFe are given.

光盘存贮技术要求磁光薄膜具备以下性能,1、非晶态结构,2、记录灵敏度高,3、高信噪比,4、高稳定性,5、长寿命等。以上性能既与材料本身及薄膜的淀积工艺有关,而且记录介质与入射介质和出射介质的匹配以及匹配介质的材料也起着举足轻重的作用,这是因为,记录介质两侧的匹配状况决定了进入它内部和可能被它吸收的光能的大小,进入膜内的光能愈多,磁光效应愈大,信噪比越高;被记录介质吸收的能量愈多,膜内温升愈高,记录灵敏度也越高。

一般吸收膜都具有较高的表面反射,从而阻止了激光能量进入薄膜,为了使尽可能多的光能进入薄膜,可以对磁光薄膜表面进行增透。

设磁光薄膜的复折射率为 $n-ik$ (这里 $n-ik = \hat{n} = (\hat{n}^+ + \hat{n}^-)/2$)。为了对它的表面增透,首先在它表面匹配适当的介质层使组合导纳 Y 为实数。设匹配薄膜的折射率为 n ,

$$Y = Y_1 + iY_2$$

$$= \frac{n \cos \delta_1 + i(n_1 \sin \delta_1 - k \cos \delta_1)}{\cos \delta_1 + \left(\frac{k}{n_1}\right) \sin \delta_1 + i\left(\frac{n}{n_1}\right) \sin \delta_1}$$

$$Y_2 = 0$$

得

$$Y = \frac{\begin{cases} n_1^2 + n^2 + k^2 \\ \pm \sqrt{(n_1^2 + n^2 + k^2)^2 - 4n^2 n_1^2} \end{cases}}{2n} \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}(2\delta) = \frac{2n_1 k}{n_1^2 - n^2 - k^2} \quad (2)$$

这样便可得出匹配膜层的位相厚度。这里需要指出的是,在 Y 的表达式中,当根号前面取“-”时,膜层的位相厚度取 δ ; 取“+”号时,位相厚度为 $\delta + \frac{\pi}{2}$ 。

为了消除磁光薄膜的表面反射,可以取 $Y = n_0$, 这时有

收稿日期:1986年1月21日。

$$n_1 = \sqrt{(n_0 \cdot k^2 + n_0 \cdot n^2 - n n_0^2) / (n - n_0)} \quad (3)$$

大多数情况下用单层匹配膜来消除磁光膜表面反射是困难的,为此,必需加上若干层光学厚度为 $\frac{\lambda_0}{4}$ 的高、低折射率交替层,它们与 Y 的组合导纳为 Y_0 ,且有 $Y_0 - n_0 = 0$ 。这样便可以得到如下的结果^[1]: 对奇数膜 $m = 2P + 1, P = 0, 1, 2, \dots$

$$Y_0 = (n_H/n_L)^{2P} (n_H^2/Y) \\ 2P = \log(n_0 Y / n_H^2) / \log(n_H/n_L) \quad (4)$$

对偶数层膜

$$Y_0 = (n_H/n_L)^{2P} \cdot Y \\ 2P = \log(n_0/Y) / \log(n_H/n_L) \quad (5)$$

式中 n_H, n_L 分别表示高、低折射率。

表1给出几种磁光薄膜在不进行匹配时的磁光效应。可以看出,不同材料有较大的差别。在我们所列举的材料中以 MnBi 膜最佳,但这种材料不够稳定,所以实际应用得很少。

表1 几种磁光膜的磁光效应

膜料	n^+	n^-	k^+	k^-	R_x	R_y	θ_k^0	γ_k^0
TbFe	2.325	2.275	3.010	2.990	0.537	7×10^{-6}	0.21	0.01
GdCo	2.310	2.290	3.220	3.260	0.642	2.6×10^{-5}	0.23	0.28
MnBi	3.77	3.56	3.92	3.79	0.599	4.5×10^{-5}	0.45	0.23

表2给出 TbFe 膜在不同匹配状况下的性能。为了便于比较,表中同时列入单层 TbFe 膜的结果。可以看出,在适当的匹配条件下,磁光薄膜的磁光效应大大加强。在其表面反射完全消除的情况下,极克尔旋转角可以大两个数量级。

由文献[2], [3]可以知道,在 $R_x > R_y$ 的情况下,磁光光盘的信噪比正比于 R_y ,磁光薄膜的温升取决于单位体积内的能量淀积。因而在上面所讨论的薄膜性能中, R_y 和能量密度的淀积更重要,极克尔角是磁光效应的重要参量,它可以由增加 R_y 或减少 R_x 来增加,而 R_x 对信噪比的贡献是不灵敏的。

表2 在不同匹配条件下 TbFe 薄膜的磁光效应

	膜系	R_x	R_y	θ_k	γ_k
材料	ZnS-SiO-ZnS-TbFe				
n	2.3 1.9 2.3	3×10^{-5}	3.4×10^{-5}	42.9°	0.25°
$d(\text{nm})$	91.3 110.5 62.5 200				
材料	ZnS-TbFe				
n	2.3	0.038	3.2×10^{-5}	1.63°	0.33°
$d(\text{nm})$	62.5				
材料	TbFe	0.53	7×10^{-6}	0.21°	0.01°

磁光薄膜的单面增透使磁光效应得到很大的改进,但从增加 R_y 来说还没达到最佳匹配。这是因为光束进入磁光薄膜后,其强度迅速衰减,因此,只有一定深度的膜层对磁光效应做出贡献;其次,激光能量虽然几乎全部淀积在磁光薄膜内,但这种磁光膜比较厚,单位体积内的能量淀积并不是很高。为了进一步提高磁光效应,我们研究另外一种匹配形式。在磁光膜和不透明的高反射膜层之间镀一层透明电介质薄膜,构成一类法布里-珀洛型干涉滤光片。适当选取电介质层和磁光膜的厚度,使 R_x 尽量小,从而在磁光膜内得到最大的能量淀积。在这种设计中,尽管磁光膜不是很厚,但是由于光在膜层内多次往返的结果,磁光效应得到充分的发挥。图1,图2分别给出改变磁光膜和匹配介质膜厚度时

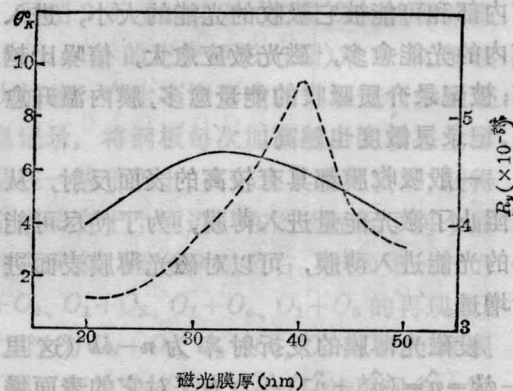


图1 匹配层厚度一定时,磁光效应与磁光膜厚度的关系

..... Q_k ; — R_y

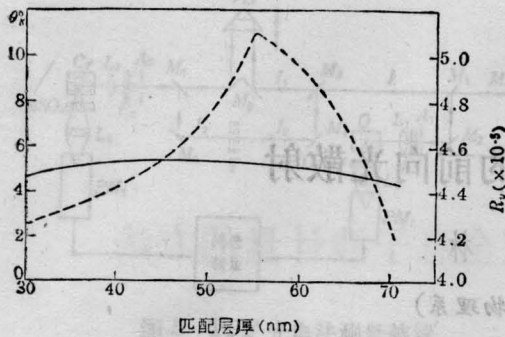


图2 磁光膜厚度固定时,磁光效应与内匹配层厚度的关系

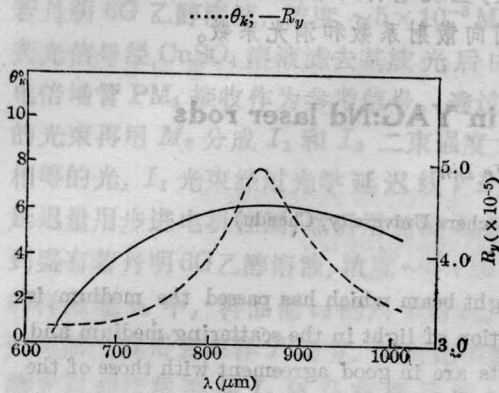


图3 磁光效应的光谱曲线

R_y 和 Q_k 极克尔旋转角的变化。图3给出确定膜系的磁光效应的光谱曲线,表3给出三个图中膜系内固定的膜层参数。这里还需指出的是,在这种设计中,磁光薄膜的最佳匹配厚度一般都比较薄,而较薄的膜层稳定性可

(上接第98页)

电荷迁移过程是由于银电极费米面里的电子吸收入射光子跃迁到吡啶分子激发态,发生喇曼散射过程;而 SCN^- 离子的 SERS 光谱,其电子电荷迁移过程是由于 SCN^- 基态电子吸收入射光子跃迁到银电极费米面能态内,从而发生喇曼散射过程。可以认为前一电子电荷迁移过程对后一过程有一增强作用,且影响着各自的能级和能态结构。所以,当吡啶分子与硫氰酸根 (SCN^-) 同时化学吸附于银电极表面后,对 SCN^- 离子的 SERS 光谱

能变差,在实际选择时要注意权衡。此外,膜系设计是以 840 nm 作为工作波长的。由图3可以看出,在设计波长有较好的结果,但在一定波长范围内变化并不很大。

以上分析可以看出,把光学薄膜的设计技术用于磁光记录膜,对改进其性能起着相当大的作用。多层干涉膜不仅可以用在磁光膜;而且还可用于相变型和其他类型的光盘薄膜。把光学薄膜和功能薄膜溶合在一起,对薄膜技术的发展将有很大的促进作用。

本工作在编写程序和计算过程中得到杨本棋、章宏芬二同志的大力协助,特此致谢。

表3 图1~图3磁光多层膜膜层参数

		第一层	第二层	第三层	第四层
图1	n	2.3	2.3-i3	2.3	2-i7.1
	$d(\mu m)$	62.5		45	40
图2	n	2.3	2.3-i3	2.3	2-i7.1
	$d(\mu m)$	62.5	40		
图3	n	2.3	2.3-i3	2.3	2-i7.1
	$d(\mu m)$	62.5	40	45	40

参 考 文 献

- [1] 唐晋发,郑权;“应用薄膜光学”,1985年,科学出版社。
- [2] M. Mansuripur *et al.*; *SPIE*, 1982, **239**, 215.
- [3] M. Mansuripur *et al.*; *Appl. Opt.*; 1982, **21**, No. 6, 1106

强度有一增强作用。

作者感谢湘潭大学物理系杨皋、方显承老师在实验上提供的帮助。

参 考 文 献

- [1] J. E. Rowe *et al.*; *Phys. Rev. Lett.* 1980, **44**, 1770.
- [2] J. E. Demuth *et al.*; *Chem. Phys. Lett.*, 1980, **76**, 201.
- [3] 凌德洪等;《光学学报》, 1985, **11**, No. 5, 1035.
- [4] 顾仁敖等;《苏州大学学报》(自然科学版), 1985, No. 2, 84.
- [5] J. R. Lombardi *et al.*; *Chem. Phys. Lett.* 1984, **104**, 240.