

磁致圆二向色性对法拉第旋转器消光比的影响

王光辉 吴福全

(曲阜师范大学激光研究所, 曲阜, 273165)

摘要: 从磁光材料的介电张量出发, 分析了法拉第旋转器消光比与磁致圆二向色性的关系, 在此基础上, 讨论了铋钙钒 BiCaInVIG 法拉第旋转器磁致圆二向色性对光隔离器隔离度、插入损耗的影响。

关键词: 磁光材料 法拉第旋转器 消光比

Effect of magnetic circular dichroism on Faraday rotator's extinction ratio

Wang Guanghui, Wu Fuguan

(Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu, 273165)

Abstract Starting from dielectric tensor of magnetic-optical materials, this paper analyzed the relation between magnetic circular dichroism (MCD) and Faraday extinction ratio, and showed that the extinction ratio of magnetic optical materials was defined by MCD and MCB (magnetic circular birefracton). As an example, the BiCaInVIG material was used to be a optical isolator to discuss the isolation level and insertion loss. The numerical calculation indicated, if MCD was less than 0.2, the optical isolation level would be less than 30dB.

Key words: magnetic-optic material Faraday rotator extinction ratio

引 言

法拉第旋转器是法拉第光隔离器的核心部件, 它的特性直接影响着光隔离器的性能参数, 特别是法拉第旋转器的消光比对光隔离器的隔离度、插入损耗等具有较大的影响。磁光材料的磁光效应包括: 法拉第效应(magnetic circular birefracton——MCB)、磁致圆二向色性(magnetic circular dichroism——MCD)、磁致线双折射(magnetic linear birefracton——MLB)、磁致线二向色性(magnetic linear dichroism——MLD)及各种磁致克尔效应等^[1, 2]。法拉第光隔离器主要是利用 MCB 对入射线偏振光光矢量旋转的非倒易性实现对光波的反向隔离的; 此外, 磁光材料的其它磁光效应对于法拉第光隔离器的性能也有很大的影响^[3, 4], 文献[4]仅给出了 MCD 对常规光隔离器隔离度的影响, 我们从磁光材料的介电张量出发, 分析了 MCD 与法拉第旋转器消光比的关系, 该结果可用于分析 MCD 对任何结构型式光隔离器性能的影响; 并对采用铋钙钒 BiCaInVIG 晶体为磁光材料的楔型光隔离器进行了具体分析。

1 法拉第效应与磁致圆二向色性

磁光材料的介电张量为:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{\perp} & -i\varepsilon_2 & 0 \\ i\varepsilon_2 & \varepsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{\parallel} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中, 下标 \perp 、 \parallel 分别表示与外加磁场垂直、平行, 关于电磁波辐射的麦克斯韦方程是:

$$\begin{cases} \nabla \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{1}{c} \mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{H} = \frac{1}{c} \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \vec{J} \end{cases} \quad (2)$$

磁光介质一般满足 $\sigma \approx 0$, $\mu \approx 1$, 对方程组的平面波解 $\vec{E}_0 \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)]$, 则(2)式化为:

$$n^2 [\vec{E} - \vec{K}(\vec{E} \cdot \vec{K})] = \vec{\mathcal{E}} \quad (3)$$

当 \vec{K} 沿 z 轴方向时, 上式写成分量形式为:

$$\begin{cases} (n^2 - \varepsilon_{\perp}) E_x + i\varepsilon_2 E_y = 0 \\ -i\varepsilon_2 E_x + (n^2 - \varepsilon_{\perp}) E_y = 0 \\ \varepsilon_{\parallel} E_z = 0 \end{cases} \quad (4)$$

方程组(4)有解, 则有:

$$n^2 = \varepsilon_{\parallel} \pm \varepsilon_2 \quad (5)$$

正负号分别对应于:

$$\begin{cases} E_y = iE_x \\ E_y = -iE_x \end{cases} \quad (6)$$

因此, 对于顺着磁感应强度方向传播的光波, 它的简正模式是两个沿相反方向转动的圆偏振光 $\exp\{i[(n_+ z)/c - \omega t]\}$ 与 $\exp\{i[(n_- z)/c - \omega t]\}$, 它们无相互作用地以不同的相速度向前传播, 其中, n_+ , n_- 的实部、虚部都可以不同, 所以, 出射后它们可以产生相位差和不等的振幅。两圆偏振模式的相位差导致了 MCB, 而它们不同的振幅则使磁光材料产生 MCD, MCD 使得入射的线偏振光出射后成为椭圆偏振光。对于 MCB 与 MCD, 可用复旋光率来表述, 定义复旋光率为:

$$\varphi_F = \varphi_F^1 + i\varphi_F^2 = [\omega/(2c)](n_+ - n_-) = [\omega/(2c)](\varepsilon_2/n) \quad (7)$$

其实部和虚部分别与 MCB 和 MCD 对应, 而且 n 满足: $n = (n_+ - n_-)/2$ (8)

2 MCD 对磁光样品消光比的影响

对于一理想的光隔离器, 法拉第旋转器的旋转角为 45° , 返回线偏振光的光矢量方向与入射光的光矢量方向垂直, 因而隔离度趋于无穷大。当受到 MCD 的影响时, 返回光不再是线偏振光, 而是椭圆偏振光, 故部分返回光将通过光隔离器使隔离度有限。在理想情况下, 磁光材料具有零吸收和零 MCD, 则通过起偏器后入射光的琼斯矢量可写为两振幅相同旋性相反的圆偏振光的组合:

$$S = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \left[\begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ -i \end{pmatrix} \right] \quad (9)$$

如果令 φ_+ 和 φ_- 分别为右旋、左旋圆偏振光的旋光率, 则经过法拉第旋转器后光波的琼斯矢量可写为:

$$S_F = \exp\left(i \frac{\varphi_+ + \varphi_-}{2} t\right) \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} \quad (10)$$

式中, t 为磁光材料的厚度, 旋转角 θ 为: $\theta = (\varphi_- - \varphi_+)t/2$ (11)

考虑到磁光材料的吸收和 MCD, θ , φ_+ , φ_- 变为复数:

$$\begin{cases} \varphi_{\pm} = \varphi_{\pm}^1 + i\varphi_{\pm}'' \\ \theta_c = (\varphi_-^1 - \varphi_+^1)/2 + i(\varphi_-'' - \varphi_+'')/2 = \theta^1 + i\theta'' \end{cases} \quad (12)$$

将(12)式代入(10)式得:

$$S_F = \frac{1}{2} \left[\exp(-\frac{\alpha_+}{2}t) \exp(i\phi_+^1 t) \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix} + \exp(-\frac{\alpha_-}{2}t) \exp(i\phi_-^1 t) \begin{pmatrix} 1 \\ -i \end{pmatrix} \right] \quad (13)$$

式中, α_+ , α_- 分别为右、左旋圆偏振光的吸收系数, 且满足:

$$\begin{cases} \phi_{\pm}'' = \alpha_{\pm}/2 \\ \theta'' = (\phi_-'' - \phi_+'')t/2 = (\alpha_- - \alpha_+)t/4 = \Delta\alpha/4 \end{cases} \quad (14)$$

当 $\Delta\alpha = (\alpha_- - \alpha_+)t \ll 1$ 时, 将两圆偏振光相干叠加得到磁光材料的消光比为:

$$e_F = | [1 - \exp(-2\theta'')] / [1 + \exp(-2\theta'')] |^2 \approx (\theta'')^2 = \Delta\alpha^2 t^2 / 16 \quad (15)$$

由于对应最大隔离度的法拉第旋转角为 $\theta = 45^\circ$, 所以, 磁光材料的长度 t 应满足:

$$t = \pi / (4\theta_F) \quad (16)$$

由(14)式和(15)式得:

$$e_F = (\Delta\alpha^2 \pi^2) / (256\theta_F) \quad (17)$$

由上式可以看出, 磁光材料的消光比由 MCD 与 MCB 共同决定。

3 MCD 对法拉第光隔离器隔离度、插入损耗的影响

文献[5]给出了法拉第旋转器消光比与光隔离器隔离度 IS_F , 插入损耗 IL_F 之间满足:

$$\begin{cases} IS_F = -10\lg(e_F) \\ IL_F = -10\lg(1 + 4e_F) \end{cases} \quad (18)$$

式中, e_F , e_P 各为磁光材料和偏光分束镜的消光比。

由上式可见, 法拉第旋转器的消光比对光隔离器隔离度有较大的影响, 而对于光隔离器的插入损耗影响较小可忽略。对 BiCaInVIG 磁光材料, 在 1550nm, 旋光系数 θ_F 由下式给出:

$$\theta_F = 0.403\pi/\text{mm} \quad (19)$$

由(17)式, (18)式和(19)式可得光隔离器隔离度与 MCD 之间满足: $IS_F \approx -10\lg(0.0305\Delta\alpha^2)$ (20)

利用(20)式可得隔离度与 MCD 的关系曲线如图 1 所示。

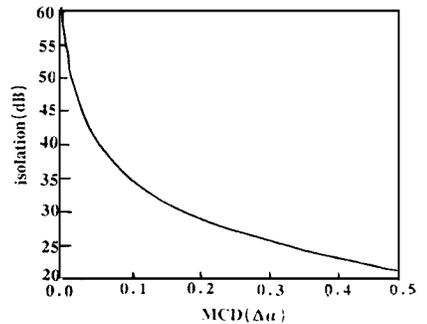


Fig. 1 Influence of MCD on isolator's isolation

4 结 论

法拉第旋转器的消光比由磁光材料的 MCD 与 MCB 共同决定, 而且 MCD 不可避免的与 MCB 相伴而生, 它使磁光材料对左、右旋圆偏振光有不同的吸收率, 因而, 入射的线偏振光射出后变为椭圆偏振光而降低了法拉第旋转器的消光比。要想得到非常高的消光比, 应通过减小 MCD, 增大 MCB 来实现。在红外区, 样品微小的质量差异也会导致 $\Delta\alpha$ 显著地变化, 由图 1 可见, 当 MCD 达到 0.2 时, 光隔离器的隔离度就小于 30dB, 因此, 当要求非常高的隔离度时, 必须考虑到样品的 MCD。

参 考 文 献

- 1 Smi J. 材料的磁性. 第一版, 北京: 科学出版社, 1978: 182~ 194
- 2 Tiwari U, Ghosh R, Sen P. Phys Rev B, 1994; 49(3): 2159~ 2162

光盘光固化复制工艺中玻璃基片表面改性

耿永友 王 豪

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海, 201800)

摘要: 测定了光固化膜分别与玻璃基片、金属 N_+ 模的结合力。采用预涂 PMMA 底化层、使用 α -型硅烷偶联剂和 SOL-GEL 法制备衬底三种方法对玻璃基片表面进行改性并作比较, 来选择合理的、经济的工艺路线。运用此工艺复制了 CD 唱片, 并用 SEM 观察复制信息的微观形貌。

关键词: 光固化复制工艺 玻璃基片 表面改性

Improving of surface adhesion quality of glass substrate to photopolymerized film during the replica procession of optic disk

Geng Yongyou, Wang Hao

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

Abstract: In this paper, the adhesive strength between photopolymerized film, glass substrate and CD's N_+ Stamper has been measured. We separately use three methods: pre-coating a thin layer of PMMA, SOL-GEL processing, dipping coating a thin layer of α -replaced silicane connective, to improving the adhesive quality of glass substrate surface and then compare these methods through different facets to select the simplest and most economical technology. A copy of N_+ Stamper of CD is made by this technology, the microstructure of the copied information is given here with SEM.

Key words: photopolymerization glass substrate improving of surface adhesion quality

引 言

随着信息技术的发展,光致聚合反应(Photopolymerization; 2P 法)也在光存储技术中开拓了更加重要的领域^[2]。已获得巨大成功的视频录像盘 LV 和数字音响盘 CD, 以及一次记录光盘和可录光盘 CD-R, 都采用复制法生产。传统的复制法如压模法、印刷法和注塑成形法等, 都不同程度存在一些缺点^[3], 主要是加热、加压过程中引起的局部轨迹不圆, 基片中的残留应力引起的双折射和光盘卷曲等, 而 2P 法通过选择合适的固化参数, 不需要高压, 并可在室温下进行, 既避免了热致收缩引起的残留应力, 也特别适合于大规模生产。2P 法复制过程如图 1 所示, 与传统的应用相比, 2P 法应用于光盘复制, 还必须满足光盘特有的光学上的、形状上

3 Mitani E. Appl Opt, 1993; 32(27): 5217~ 5221

4 Mstsumoto S, Suzuki S. Appl Opt, 1986; 25(12): 1940~ 1945

5 向 清, 黄德修. 中国激光, 1996; A 23(3): 225~ 228

*

*

*

作者简介: 王光辉, 男, 1972 年 3 月出生。研究方向为偏光测量和偏光器件, 主要从事磁光材料特性研究与光隔离器的研制工作。