

交变磁场下磁光薄膜动态 法拉第效应特性的测量*

欧阳嘉 张 颖 何华辉

(华中理工大学固体电子学系, 武汉 430074)

摘 要 论述了在交变磁场下测量磁光薄膜动态法拉第效应的原理和方法. 利用此方法, 在不同的调制磁场强度和频率下测量磁光薄膜的动态法拉第旋转特性, 获得了较好的测量结果, 并对测量误差进行了分析.

关键词 磁光薄膜, 法拉第效应, 交变磁场.

1 引 言

液相外延磁光薄膜作为一种新型磁光材料已越来越受到人们的重视. 用它制成的磁光器件已广泛应用于光通信和光信息处理中. 法拉第旋转角是磁光薄膜重要材料参数之一, 目前关于它的测量大都是在直流磁场下进行的^[1], 而在交变磁场下磁光薄膜动态法拉第效应测量尚未见报道. 众所周知, 当磁光薄膜受到交流磁场磁化时, 通过畴壁位移, 它的磁化强度将随着交变磁场的大小、方向而变化, 从而导致一个动态的法拉第效应. 由于很多磁光器件如: 磁光调制器、传感器中都是利用磁光薄膜的动态法拉第效应^[2], 因此研究和测量磁光薄膜材料动态法拉第效应对研制和开发磁光器件具有很重要意义.

关于在交变磁场下测量磁光薄膜动态法拉第角, 有人提出使起偏器和检偏器透光轴成 45° 夹角, 分别测量输出光的最大值和最小值可计算动态法拉第旋转角^[3]. 本文所采用的方法是通过偏离起偏器和检偏器消光位置几个角度, 分别测量输出光强中的基波、二次谐波分量, 来计算出对应磁光薄膜动态法拉第旋转角幅值.

2 测量原理

如图1所示将装有磁光薄膜样品线圈放在两个偏振器 P 和 A 之间, 且以 P 位置作为参考零点 0° , 则 A 位于 $(90^\circ + \varphi)$, φ 为检偏器 A 偏离消光位置角度. 当在线圈上加一交变电流时, 则在垂直于膜面的方向产生一交变磁场 $H \sin \omega t$, 由此引起动态法拉第角为 $\varphi_F \sin \omega t$. 由Malus定律, 透过检偏器 A 的光束强度 I 正比于起偏器 P 与检偏器 A 两者偏振平面之间夹角的

* 国家自然科学基金资助项目.

收稿日期: 1993年7月8日; 收到修改稿日期: 1993年9月13日

余弦平方, 故由检偏器 A 输出的光强 I 为

$$I = I_0 [\cos^2(90^\circ + \varphi + \varphi_F \sin \omega t)] \\ = I_0 [1 - \cos 2(\varphi + \varphi_F \sin \omega t)]/2, \quad (1)$$

式中 I_0 为入射光强, φ_F 为动态法拉第旋转角, 将上式用贝塞尔函数展开成傅里叶级数形式^[4]

$$2I/I_0 = 1 - J_0(2\varphi_F) \cos 2\varphi + 2J_1(2\varphi_F) \sin 2\varphi \sin \omega t \\ - 2J_2(2\varphi_F) \cos 2\varphi \cos 2\omega t \\ + 2J_3(2\varphi_F) \sin 2\varphi \sin 3\omega t - \dots \quad (2)$$

从上式可看出, 当 P 和 A 垂直时, 即 $\varphi = 0^\circ$, 输出光强

基波分量为零, 二次谐波分量的分量达最大值. 令 λ 为二次谐波分量幅值 I_{2f} 与基波分量幅值 I_f 之比, 则

$$\lambda = I_{2f}/I_f = J_2(2\varphi_F) \cos 2\varphi / J_1(2\varphi_F) \sin 2\varphi \quad (3)$$

因此, 当检偏器偏离消光位置 φ 角度时, 有

$$J_2(2\varphi_F)/J_1(2\varphi_F) = \lambda \operatorname{tg} 2\varphi \quad (4)$$

设探测器的灵敏度为 K , 则对应的测量信号电压为

$$V = KI \quad (5)$$

由(3)、(5)两式, 有

$$\lambda = V_{2f}/V_f \quad (6)$$

V_f , V_{2f} 分别为输出光强基波和二次谐波幅值对应的电压, 如果对应于每一个偏离消光位置角度, 分别测量输出光强基波和二次谐波分量幅度对应的电压从而得到相应 λ 值, 因此从(4)式可求解出 φ_F .

3 测量和结果

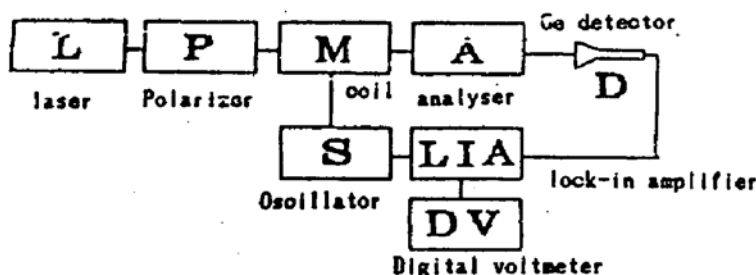


Fig. 2 Experimental setup for measuring the dynamic Faraday rotation

测量装置如图 2 所示, 由波长为 1520 nm, 功率为 3 mW 的 He-Ne 激光器 L 发出的光通过汤姆逊偏振棱镜 P 成为线偏振光, 进入装有待测样品线圈 M 中, 其交变电流由信号源 S 提供. 经过检偏器 A 后的光入射到 Ge 探测器 D 上转变成对应电信号输入到 E & GG 128A 型锁相放大器 LIA 中, 它可分别测量基波和二次谐波分量, 参考信号来自信号源 S . A 装在可旋转的圆盘上, 读数精度为 0.005° .

测量时, 将锁相放大器上参考信号模式置于 f , 旋转检偏器 A 直到电压表读数为零, 此时为 P 和 A 相互垂直的位置. 然后旋转 A , 对于每一个偏离消光位置 φ , 分别测出对应基波和二次谐波读数, 代入(4)式计算出 φ_F 值. 实验中, 被测样品为 $20 \mu\text{m}$ 厚液相外延磁光单晶薄膜. 当交变磁场频率为 1 kHz, 强度为 17.5 kA/m 时, 测量和计算结果如表 1 所示.

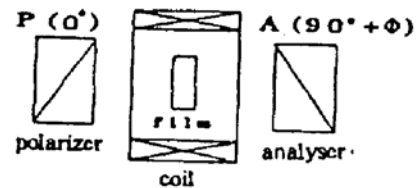


Fig. 1 Measuring cell

Table 1. Measurement of the dynamic Faraday rotation
and calculate result of magneto-optical film

φ	V_f	V_{2f}	λ	φ_r
1°	1	0.07	0.07	0.29
2°	2	0.08	0.04	0.32
3°	2.9	0.075	0.026	0.31
4°	4.3	0.08	0.019	0.30

从表 1 中可看出, 几个不同角度测得的结果有较好的一致性. 当电流保持不变, 改变交变电流频率, 测得动态法拉第角 φ_r 与频率 f 关系如图 3 所示. 磁光薄膜动态法拉第旋转角由交变磁场磁化决定. 由于材料缺陷对畴壁位移和反转的阻碍作用, 使得磁化落后于交变磁场变化, 由此引起磁化弛豫导致动态法拉第角随着频率增加而减小. 当频率固定在 1 kHz 时, 减小电流, 测得不同磁场强度下, φ_r 与磁场 H 关系如图 4 所示.

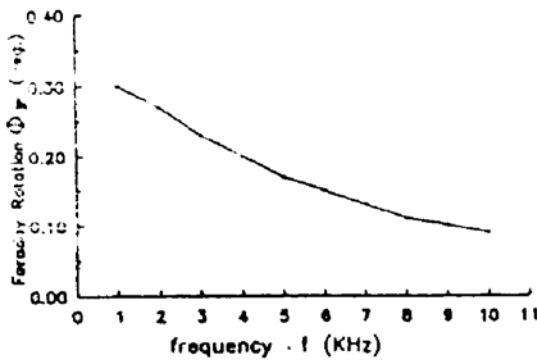


Fig. 3 Faraday rotation as a function of the frequency

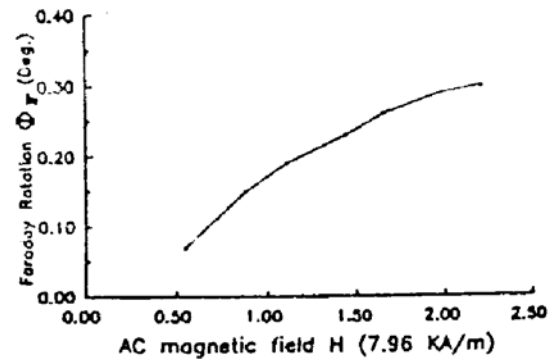


Fig. 4 Faraday rotation as a function of the AC magnetic field

4 讨 论

从(4)式可看出, 动态法拉第旋转角 φ_r 是根据 λ 和 φ 值来计算, 因此测量误差来源于 λ 和 φ 的测量误差, 由于测量的样品为磁光薄膜, 其动态法拉第旋转角 φ_r 较小, 利用贝塞耳函数近似公式, 有

$$J_2(2\varphi_r)/J_1(2\varphi_r) = \varphi_r/2 \quad (7)$$

由(4)、(7)两式, 得:

$$\varphi_r = 2\lambda \operatorname{tg} 2\varphi, \quad (8)$$

动态法拉第旋转角 φ_r 相对测量误差为

$$\Delta \varphi_r / \varphi_r = \Delta \lambda / \lambda + 4\Delta \varphi / \sin 4\varphi. \quad (9)$$

为了保证测量精度, 必须减小 λ 和 φ 的测量误差, 因此在使用锁相放大器测量基波和二次谐波分量时, 应在相同的增益下进行, 并保证交变电流的稳定性, 同时使用精度高的电压表, 此外采用精度高的测角盘可减小 φ 的测量误差.

综上所述, 利用此方法测量交变磁场下材料动态法拉第旋转角具有装置简单、操作方

便、灵敏度高等特点, 它为研究宽频带范围内各种磁光材料的动态法拉第特性提供了一种实用的测量方法, 此外它还是制作磁场传感器的基础.

参 考 文 献

- [1] 刘公强, 刘湘林, 磁光调制和法拉第旋转测量. 光学学报, 1984, 4(7): 588~592
- [2] O. Kamada, H. Minemoto, S. Ishizuka, Mixed rare-earth ion garnet for magnetic field sensors. *J. Appl. Phys.*, 1987, 61(7): 3268~3270
- [3] 刘公强, 虞志强, 磁光石榴石薄膜的光吸收系数. 中国激光, 1986, 13(2): 108~111
- [4] S. J. Williamson, J. M. Weingart, New high-precision photoelectric universal polarimeter and birefringence compensator. *J. Opt. Soc. Am.*, 1964, 54(3): 337~341

Measurement of the Faraday Effect of Magneto-Optical Film in Alternating Magnetic Fields

Ouyang Jia Zhang Ying He Huahui

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

(Received 8 July 1993; revised 13 September 1993)

Abstract The experimental apparatus for measuring the peak value of the Faraday rotation φ_F induced by alternating magnetic field is set up. The sample used here is a magneto-optical film prepared by liquid phase epitaxy. By measuring the fundamental and the second harmonic of the photodetector current at a angle away from cross setting of P , A , the φ_F can be calculated. The method is simple and accurate and can be used at any frequency.

Key words magneto-optical film, Faraday effect, alternating magnetic field.