

脉冲强磁场下的法拉第效应

朱泽智

(上海发电设备成套设计研究所)

高瑞芬

(中国科学技术大学物理系)

摘 要

本文提出了利用脉冲强磁场测量法拉第效应的方法。测得火石玻璃 (flint glass) 和硫化锌 (ZnS) 的 Verdet 常数为 $0.458 (\text{deg}/\text{T} \cdot \text{mm})$ 和 $2.98 (\text{deg}/\text{T} \cdot \text{mm})$ 。

一般的磁场可以直接用探测线圈来测量。但是,当磁场上升到 10^2T 量级的时候,由于探测线圈的有效直径不能精确确定以及探测线圈引线上的杂散感应,测量的可靠性就受到影响^[1]。而法拉第效应是一个物理光学效应,可以避免这个问题,象火石玻璃的法拉第转角与磁场的关系是线性的,甚至在 100T 的高场下仍然保持线性关系,这样对于较高磁场的测量也较为可靠。

法拉第旋光效应是由晶体的光学各向异性决定的。一个光学各向同性的晶体或非晶体,因磁化而变成光学各向异性物体,其介电常数和电导率都为张量。如果沿 z 轴磁化,由旋转对称性决定其介电张量为

$$\epsilon = \begin{vmatrix} \epsilon_{\perp} & \epsilon' & 0 \\ -\epsilon' & \epsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{\parallel} \end{vmatrix}$$

从麦克斯韦方程出发,可求出左、右圆偏振光在介质内沿磁化方向 z 轴传播,折射率分别为

$$n'_{\pm} = \sqrt{\epsilon_{\perp} \pm i\epsilon'}$$

n'_+ 对应于右旋圆偏振光, n'_- 对应于左旋圆偏振光。线偏振光可分解为左旋和右旋两个圆偏振光,由于二者在磁化介质内的折射率不同,所以偏振面就发生旋转。法拉第转角与磁场的关系为

$$\theta = VBd,$$

其中 θ 是转角, V 是 Verdet 常数, B 是磁场强度, d 是样品长度。

利用法拉第效应测量磁场,只要在正确标定的磁场中准确地测量样品的 Verdet 常数,然后在未知磁场中测量该样品的法拉第转角,就可以确定所测的场强。此外,利用法拉第效应还可以研究半导体材料能带结构参数(如载流子有效质量,费米能级等)和磁性材料磁结构相变。

我们初步建立了一套室温下法拉第效应的实验装置,对提高用法拉第旋转角测量磁场强度的精确性作了一些探索,为今后进一步开展研究工作打下了基础。

一、实 验

1. 测量仪器及实验光路

本实验装置的光路如图 1 所示。光源采用功率为 2mW 的 He-Ne 激光器,它的波长为 6328\AA 。使用 2AV 型锗光敏二极管为接收器。起偏器 P 上的刻度可直接显示出 P_1 与检偏器 P_2 偏振面之间的夹角 θ_0 。在检偏器与接收器之间安装一个焦距为 30cm 的透镜,把光敏二极管放在透镜的焦点上,使其尽可能多接收从检偏器出来的光信号。记录仪器采用两台 TCH-1000 型瞬时记录仪,一台连接光敏二极管,记录光强信号,另一台接脉冲磁体^[2],记录磁体电流。两台记录仪用一台脉冲触发器同时触发。

2. 样品

本实验所用样品为火石玻璃和硫化锌样品

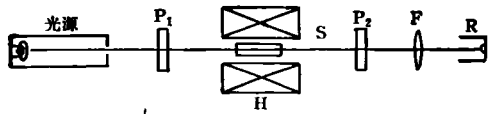


图1 实验装置的光路图

P_1 为起偏器; P_2 为检偏器; H 为脉冲磁体; S 为样品;
 F 为透镜; R 为接收器(光敏二极管)

均装在有机玻璃管内, 以确保样品与磁体的轴线重合。

二、实验结果

实验时先不加磁场, 改变 P_1 和 P_2 偏振面之间的夹角 θ_0 , 测量接收器接收到的光强与 θ_0 之间的关系。对于火石玻璃, 当磁场最大值为 20.1 T 时, 实验曲线如图 2 所示。图 2(a) 是磁

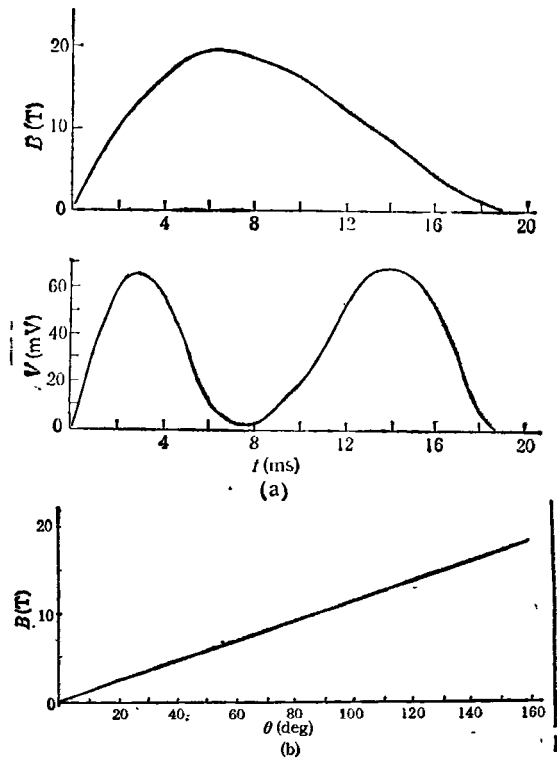


图2 (a) 磁场信号和光信号; (b) 旋转角随磁场的变化

(上接第726页)

- Amsterdam, Vol. 20, (1984), 350.
- [5] J. W. Budai and S. L. Sass, *Phil. Mag.*, **A40**(1979), 757.
- [6] J. W. Budai et al., *Acta Metall.*, **31**(1983), 699.
- [7] M. D. Vaudin et al., *Advanced Photon and Particle Techniques for the Characterization of Defects in Solids*, Materials Research Society Symposia Proceedings

场强度随磁场变化的法拉第旋转光强度。图 2 (b) 是法拉第转角与磁场的关系曲线, 曲线基本上是线性关系。图 2 (b) 的曲线斜率为

$$k = 0.118 \text{ (T/deg)}.$$

根据

$$\theta = V B d,$$

$$V = \frac{\theta}{B d} = \frac{1}{k d} = 0.458 \text{ (deg/T} \cdot \text{mm)},$$

即火石玻璃的 Verdet 常数为 0.458 (deg/T · mm)。用同样的实验方法可得到硫化锌的 Verdet 常数为

$$V = \frac{1}{k d} = 2.98 \text{ (deg/T} \cdot \text{mm)}.$$

三、讨论

本实验中引起误差的原因很多, 大至有下列几种:

1. 样品的缺陷和杂质会引起光的消偏。激光器的不稳定也可能引起误差。为了提高光源的稳定性, 可以在激光器电源次级线圈装一个稳流器, 以提高光源强度的稳定性。

2. 产生脉冲磁场时以及其它外界干扰引起实验台的机械振动。透镜在实验台上安装得并不很稳, 振动会破坏透镜与光敏管的共轴, 这样就对光敏管所接收到的光强带来较大影响。

3. 磁场测量中的误差。由于标准线圈标定精度限制, 在测量中也引起了一些误差。

4. 如果连续进行磁体放电, 使磁体发热, 这样就会引起样品发热, 其磁化强度就会降低, 从而使法拉第转角减小。

[1] 近角聪信, 极端状态物理, 丸善社, (1970), 155.

[2] 高瑞芬等, 物理, **10**(1981), 429.

(edited by J. B. Roberto et al.), Pittsburgh, Pa.: Materials Research Society, Vol. 41, (1985), 221.

- [8] M. D. Vaudin et al., *Acta Metall.*, **31**(1983), 1109.
- [9] D. M. Vardanyan and Kh. M. Petrosyan, *Acta Crystallogr.*, **A43-3** (1987), 316.
- [10] D. M. Vardanyan and Kh. M. Petrosyan, *Acta Crystallogr* **A43-3**(1987), 322.