**磁光效应预习报告**

**王启骅 PB20020580**

**实验目的**

利用一套自由搭建的实验装置，探究磁光克尔效应、法拉第磁致旋光效应、科顿-穆顿磁致双折射效应三种磁光效应的测量。

**实验仪器**

450 nm半导体激光器，光阑，起偏格兰棱镜，线圈，实心铁芯，镍薄膜样品，检偏格兰棱镜，可伸缩的屏蔽杂散光装置，硅探测器，开槽铁芯，蒸馏水样品，磁流体样品。

**实验原理**

**1.磁光克尔效应**

线偏振光入射到样品表面，反射光变成椭圆偏振光且椭偏光的长轴与入射光的偏振方向会发生偏转，铁磁性样品还会导致一个额外的偏转克尔转角，记为*θ*k。而铁磁性也会导致椭偏率变化克尔椭偏率，记为*ε*k。由于*θ*k近似正比于样品的磁化强度*M*的大小，所以可以通过测量*θ*k得到磁化强度的信息。而测量*θ*k与外加磁场*B*的关系，可以反应出样品的磁化强度*M*与外加磁场*B*的关系，近似得到样品的磁滞回线。

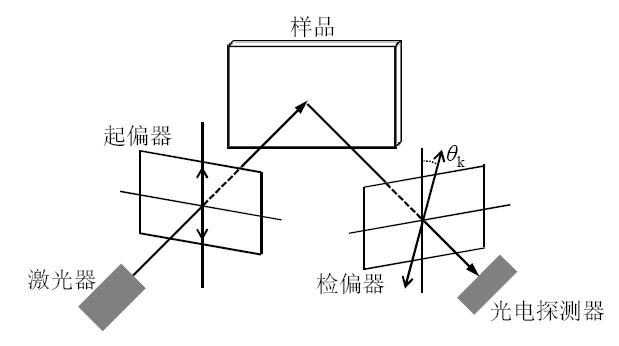


图1　极向克尔效应测量原理图

外磁场方向垂直于样品表面且平行于入射面时，称为极向克尔效应，如图1。选入射光为电场矢量*E*s垂直于入射面的线偏振光。在样品处于未被磁化的初始状态时，反射光仍然是电场矢量垂直于入射面的线偏振光。当加上外加磁场后，样品磁化，由于极向克尔效应，反射光中将含有一个很小的垂直于*E*s的电场矢量*E*p。通常，在一阶近似下有*E*p/*E*s=*θ*k +i*ε*k。取检偏器的透光方向与*E*p方向的夹角*δ*为1度左右，此时通过检偏器的光强为：

 (1)

由于*δ* <<1，可以取sin*δ* ≈ *δ*，cos*δ* ≈ 1，（1）式可写为：

 (2)

本实验中*θ*k << *δ*，*θ*k和εk在同一个数量级上，消去二阶项后，（2）式可写为：

 (3)

式中*I*0为无外加磁场时通过检偏器后的光强。根据（3）可得极向克尔旋转角*θ*k为：

 (4)

一般测量磁滞回线中正向饱和时的极向克尔旋转角和反向饱和时的极向克尔旋转角，取其平均为该样品的极向克尔旋转角。

 (5)

式中*I*(+*M*s)和*I*(-*M*s)分别是达到正负磁饱和状态下的反射光经检偏器的强度。

**2.法拉第磁致旋光效应**

法拉第效应中，光振动方向的旋转角度*θ*F与光在介质中传播的距离*d*以及介质中的磁感应强度*B*成正比，即

 (6)

式中，*V*是表征物质磁光特性的系数，取决于样品介质的材料特性和光的波长，也称为费尔德（Verdet）系数。



图2　法拉第效应示意图

采用与测量极向克尔旋转角相类似的方法，也可以测量出法拉第效应中光振动方向的偏转角度*θ*F，进而求得样品的费尔德系数*V*。在未加磁场的情况下，如果将检偏格兰棱镜偏离消光位置一个小角度*ϕ*，此时通过检偏后的透射光强*I*可以表示为

 (7)

式中*I*0为检偏格兰棱镜的入射光强。根据（7）式，通过控制检偏角度*ϕ*和测量透射光强*I*，就可以求出*I*0，从而避免直接测量*I*0。

加上一定的外加磁场后，由于法拉第效应光的振动方向将旋转一定角度*θ*F，此时通过检偏格兰棱镜后的透射光强*I*(*B*)为

 (8)

通过测量透射光强*I*(*B*)，结合已知参数*ϕ*和*I*0就可以求出法拉第旋转角*θ*F。

改变磁感应强度*B*的大小，进行一系列的测量，就可得到*θ*F与*B*的关系图。知道样品的厚度后，就可利用公式（6）求出材料的费尔德系数*V*。

**3.磁致双折射效应**

磁流体是指磁性纳米颗粒在表面活性剂进行包覆或改性后，均匀分散到载液中，形成的胶体溶液。当外加磁场时，磁流体中的磁性微粒会顺着磁场方向排列形成磁链，使磁流体具有类似单轴晶体那样的双折射性质，这种现象称为科顿－穆顿效应。磁场方向对应单轴晶体的“光轴”方向，入射光的传播方向与磁场方向垂直时，o光的振动方向垂直于磁场方向，e光的振动方向平行于磁场方向。

实验证明，经过磁流体样品后o光与e光的相位差：

 (9)

式中d是样品厚度。



图 3 测量原理示意图

在实验上，可以通过如下的方法测量o光与e光的相位差，进而得到o光与e光的之间的折射率差。一束传播方向与磁场方向垂直、偏振方向与磁场方向夹角成450的线偏振光穿过位于磁场中的样品，入射光强为I0（450），再经过检偏方向与入射光的偏振方向垂直的检偏装置，如不考虑o光和e光透过率的影响（认为透过率*α*为1），则检偏后的光强为：

 (10)

因此通过测量检偏后的光强，就可以得到o光与e光的相位差。本实验中，磁流体的透过率*α*较小，不能近似为1，且o光和e光的强度透过率会随着磁场强度的大小变化，考虑到透过率的影响，检偏器的透射光强为：

 (11)

式中*T*o和*T*e分别为o光和e光的强度透过率，未加磁场时*T*o=*T*e=*α*。加磁场后，*T*o和*T*e可分别写为*T*o=*αk*o(B)、*T*e=*αk*e(*B*)，其中*k*o(*B*)和 *k*e(*B*)为透过率的变化系数，*B*=0时，*k*o(*B*)=1， *k*e(*B*)=1。式(11)可改写为：

 (12)

由上式可知，为确定某磁场强度下o光与e光的相位差Δϕ及折射率差Δ*n* (*n*o-*n*e)，需测量未加磁场时透过光强*αI*0、在该磁场强度下通过检偏后的光强*I* ，以及o光和e光的强度透过率变化系数*k*o和 *k*e。

**测量光路**

1. 磁光克尔效应测量的光路如图4所示。

除光路示意图中提到的设备外，另有为450 nm半导体激光器供电的直流电源（输出电压限定为12 V，输出电流限定为0.19 A，**实验过程中禁止调节**）、为线圈供电的直流电源（通过调节电源的输出电流改变磁感应强度，电流单位：安培（A），不同电流所对应的中心磁感应强度请查附表）、万用表（用于测量硅探测器输出电压，单位：毫伏（mV），测量过程中确保探测器的输出电压**不超过**1800 mV（探测器线性响应范围））。



1. 450 nm半导体激光器，2. 光阑，3. 起偏格兰棱镜，4. 线圈，5. 实心铁芯，6. 镍薄膜样品，7. 检偏格兰棱镜，8. 可伸缩的屏蔽杂散光装置，9. 硅探测器。

图 4 克尔效应测量光路示意图

1. 法拉第磁致旋光效应测量的光路图5所示。

实验中所用到的设备与第一部分实验基本相同，请注意由于法拉第效应测量中光的传播方向要与磁场方向平行，实验中使用开槽的铁芯。



1. 450 nm半导体激光器，2. 光阑，3. 起偏格兰棱镜，4. 线圈，5. 开槽铁芯，6. 蒸馏水样品，7. 检偏格兰棱镜，8. 可伸缩的屏蔽杂散光装置，9. 硅探测器。

图 5 法拉第效应测量光路示意图

1. 磁致双折射效应的测量光路如图6所示。



1. 450 nm半导体激光器，2. 光阑，3. 起偏格兰棱镜，4. 线圈，5. 磁流体样品，6. 检偏格兰棱镜，7. 可伸缩的屏蔽杂散光装置，8. 硅探测器。

图 6 磁致双折射效应测量光路示意图

实验中所用到的设备与前两部分实验基本相同，请注意由于在较大磁场强度下，磁流体样品的稳定性会受到影响，测量数据不稳定，因此实验测量中不加铁芯，降低磁场强度。

**实验内容**

一. 基础性内容

1. 测量镍薄膜的磁光克尔旋转角。实验中需测量两种不同厚度（30 nm、50 nm）镍薄膜样品的“磁滞回线”（探测器输出电压与外加磁感应强度的关系），计算在磁化饱和时的克尔旋转角*θ*k，并判断克尔转角的旋转方向。

(1) 需要先将待测样品放置于样品架上，并按照测量光路示意图调整光路。接着，将样品靠近铁芯一端，但需要在样品和铁芯中间保留约1毫米的空隙，以避免在较大磁场强度下发生微小形变而导致铁芯与样品接触。然后，使激光束以约45度角入射样品表面，并保持入射点在铁芯中轴线上。在调节光路时，需注意等高、共轴，并确保激光束垂直入射于格兰棱镜端面的中心位置。

(2) 在调节光路时，首先需要将激光束高度与铁芯中轴线等高，并保持激光束与光学平台平行；其次，以约45度角入射样品表面，并调节样品架俯仰角，使反射激光束的高度与入射激光束一致；然后，安装光阑和格兰棱镜，保证激光束垂直穿过格兰棱镜中心；接着，安装探测器，使其端面垂直于入射光，并将可伸缩的屏蔽杂散光装置套入探测器接口，调节其位置使激光束穿过中心小孔。在调节光路过程中，需注意细节，如格兰棱镜偏振方向、检偏格兰棱镜安装等。

(3) 粗调格兰棱镜的偏振方向。将起偏格兰棱镜的偏振方向调整为垂直入射面方向，再调节检偏格兰棱镜的偏振方向，观察检偏后激光光斑的亮度，找到粗略的消光位置（格兰棱镜调整架的使用说明请参阅附件）。

(4) 细调格兰棱镜的偏振方向。在安装好可伸缩的屏蔽杂散光装置后，打开探测器的开关，用万用表测量探测器的输出电压。细调检偏格兰棱镜的偏振方向，同时观察输出电压的变化，调整到完全消光的状态。如果只调节检偏格兰棱镜，无法完全消光，说明起偏格兰棱镜的偏振方向与入射面不完全垂直，有微小偏离，此时应微调起偏格兰棱镜的偏振方向。经过对起偏格兰棱镜和检偏格兰棱镜的多次交叉调整后，系统可以达到完全消光的状态，记录下此时探测器的输出电压值（背景噪声信号）。

(5) 微调检偏格兰棱镜的偏振方向，使其偏离完全消光位置1度左右。观察此时探测器的输出电压，如大于1200 mV，后续测量过程中探测器的输出电压可能会超过1800 mV，此时需减弱入射的光强，改用更小孔径的光阑。

(6) 打开为线圈供电的直流电源，改变电源输出电流的大小(不同电流对应的磁场强度，请查附表)，并记下录探测器的输出电压值。电流变化间隔为0.2 A，先从3 A减小到0 A，再从0A减小到-3 A（负的电流通过交换正负接线柱来实现），然后从-3 A增加到0 A，再从0 A增加到3 A，形成一个完整的循环。请注意，线圈不能在大电流下长时间工作，以免线圈过热，影响测量。电流超过2 A的测试需尽快完成，不用时请立即关闭磁场电源的输出。

(7) 迎着光线观察，判断克尔转角的旋转方向。分别给出磁力线从样品正面穿过时和从样品背面穿过时，克尔转角的旋转方向。

(8) 换上另一种厚度的薄膜样品，重复上述测量过程。

(9) 实验数据的处理。根据测量的实验数据，画出样品的“磁滞回线”（探测器输出电压与外加磁场强度的关系），据此给出薄膜样品磁化达到饱和时的外加磁场感应强度，并根据公式(5)，求出样品达到磁化饱和状态时的克尔转角*θ*k。

2. 测量蒸馏水的法拉第旋光系数。测量光程*d*为4毫米的蒸馏水样品在不同磁场强度下，法拉第旋转角*θ*F的大小，并判断旋转方向，计算出蒸馏水样品的费尔德系数*V*。注：由于样品池为玻璃制品，也具有法拉第旋光效应，因此需先测出空样品池的旋转角，并在最后结果中扣除样品池的影响。

(1)调节激光束的高度和方向，使其垂直于样品池端面，并穿过样品池的中心；

(2)调节检偏格兰棱镜，找到完全消光位置并记录探测器的输出电压；

(3)调节检偏格兰棱镜，使其偏离完全消光位置1度，观察探测器输出电压是否超过800 mV，需要减弱激光束强度或更换更小孔径的光阑；

(4)改变加载在线圈的电流大小，记录不同电流下探测器的输出电压；

(5)加入蒸馏水后重复测量；

(6)观察旋转角的旋转方向，分别给出磁力线与光的传播方向同向和异向时的旋转方向；

(7)利用公式求出不同磁场强度下样品的法拉第旋转角，画出θF与B的关系图，并计算出蒸馏水样品的费尔德系数。在实验过程中，需要注意实验步骤的顺序和细节。

二. 研究性内容

1. 测量磁流体的磁致双折射（科顿-穆顿效应）的o光与e光的折射率差。1）不加光阑和磁场时，观察入射线偏光的偏振方向与磁场垂直、平行和成45°夹角三种情况下，通过磁流体样品后是否可以通过检偏格兰棱镜消光。在加磁场（励磁电流1.5 A）的条件下，再次观察上述三种情况。2）测量不同磁场强度下，o光和e光的强度透过率变化系数*k*o和 *k*e，检偏后的光强*I*，未加磁场时透过样品的光强*αI*0，据此计算o光与e光的相位差Δϕ及折射率差Δ*n*。

(1) 将待测磁流体样品装在样品架上（请注意，线圈中的铁芯应去掉），按照测量透过率的光路示意图调节光路，样品置于线圈的中轴线上，样品端面与磁场方向平行，并使激光束垂直与于样品池端面穿过磁流体样品。其它光路调节时的注意事项请参考前一部分实验内容中的说明。

(2) 调整起偏格兰棱镜的偏振方向，使其与磁场方向垂直。改变加载在线圈上的电流(不同电流对应的磁场强度，请查附表)，从0 A增加到3 A，间隔0.2 A，并记录不同电流下探测器的输出电压。

(3) 调整起偏格兰棱镜的偏振方向，使其与磁场方向平行。改变加载在线圈上的电流，从0 A增加到3 A，间隔0.2 A，并记录不同电流下探测器的输出电压。

(4) 按照测量双折射的光路示意图调节光路。不加光阑和磁场时，观察入射线偏光的偏振方向与磁场垂直、平行和成45°夹角三种情况下，通过磁流体样品后是否可以通过检偏格兰棱镜消光。在加磁场（励磁电流1.5 A）的条件下，再次观察上述三种情况。

(5) 调整起偏格兰棱镜的偏振方向，使其与磁场方向成45度夹角。调整检偏格兰棱镜的偏振方向，使其位于完全消光位置。将检偏格兰棱镜的偏振方向偏离消光位置一个小角度，记录此时探测器上的光强，同样利用式(7)，可求得式(12)中的*I*0。

(6) 将检偏格兰棱镜调回到消光位置，改变加载在线圈上的电流（从0 A到3 A，间隔0.2 A），记录不同电流下探测器的输出电压。

(7) 利用式(12)，计算出o光与e光的相位差Δϕ及双折射率差Δ*n*。（式(12)中的*T*o、*T*e是以未加磁场时的数据为基准归一化后的透射率）