

Bi-YIG 单晶的克尔磁光旋转

王焕元 张鹏翔 张绪信 徐孝贞

(中国科学院物理研究所)

1980 年 10 月 21 日收到

提 要

在 0.4—0.8 微米波长范围测量了助熔剂法生长的 Bi-YIG 系列单晶自然晶面和内部切面的克尔磁光旋转谱,讨论了 Bi 对磁光旋转的影响,以及从克尔效应作为一种分析工具观察到的晶体内部的不均匀性。

一、引 言

YIG 是迄今已知最透明的磁性材料,在波长为 1.2 微米时,吸收系数可接近 0.01 cm^{-1} ,与其他较透光的磁性材料如 CrBr_3 , EuSe 等相比, YIG 尚有居里点在室温以上的优点,因此可望成为最有广泛应用前途的磁光材料。

作为磁光材料, YIG 的磁光旋转度是不够高的,但已经发现, YIG 中 Bi 的置换可以增强可见—红外光段磁光旋转一个数量级,许多工作^[1-4]中,在单晶、外延膜或多晶样品上通过反射光的极向克尔旋转或透射光的法拉第旋转测量所得到的数据均可表明此事实。YIG 的磁光旋转来源于 Fe^{3+} 离子^[5],已知 Fe^{3+} 离子分布于有 4 个配位体 (O^{2-}) 的四面体中心,或有 6 个配位体的八面体中心,而 Bi^{3+} 离子由于太大只能进入有 8 个配位体的十二面体中心。考虑到 Bi^{3+} 还是抗磁离子,它能大大增强磁光效应的事实不能不引起人们的注意。从应用角度看, Bi 的置换既然能提高磁光旋转,在 YIG 的基础上找出具有应用价值的磁光材料来当然也是可能的。

为了研究 YIG 中 Bi 置换对磁光性能影响极大的起因,我们采用了极向克尔效应的测量方法。这是因为在可见光段所用单晶样品是不透明的,无法采用其他透射的测量方法。极向克尔旋转谱 (PKR) 与其他磁光谱,如磁圆二色性谱 (MCD),磁圆双折射谱 (MCB) 即法拉第旋转谱等同属偏振调制光谱,从中能得到关于电子能级、跃迁性质、自旋轨道耦合强度、磁有序中两个子点阵的磁化强度相对值以及其他微观结构的信息。磁光谱与光吸收谱的选择定则不同,因此得到的信息也不同。在我们的实验中,利用克尔效应对样品的不同切面作测量也是很方便的。

极向克尔效应的测量装置见文献[6],测量波长范围从 0.4 至 0.8 微米,旋转角测量精度为 0.02 度。Bi-YIG 系列单晶样品是用助熔剂法生长的^[7],晶粒大小一般为 3—5 毫米直径,自然晶面是(110)面,由于自然晶面较亮,所以稍加抛光即可测量。测量用磁场大于两千高斯,足够使样品磁化到饱和。

二、结果与讨论

在 Bi-YIG 系列单晶的自然晶面上测得克尔旋转与波长的关系见图 1, 参数 x 为 Bi 含量. 由图 1 可见, Bi 的置换使克尔旋转谱发生根本性的变化. 纯 YIG 的克尔旋转角在被测波段一般不大而有相当大的部分保持正值; Bi-YIG 则不同, 克尔旋转角毫无例外都是负的, 在 460 毫微米附近还出现一个明显的负峰, 峰的高度随 Bi 含量的增加而增加, 峰的位置则基本上不随含 Bi 量改变, 往长波方向稍有位移, 这位移量比起峰的高度来也是相当小的. 在 PKR 谱中出现了一个与 Bi 的存在有关的峰, 这就表明正是 Bi^{3+} 离子使 460 毫微米附近的一个跃迁变成磁光活性的. 这个跃迁有人认为是 YIG 中原来没有的. 也有人认为是原来就有的. Wittekoek^[4] 曾对 BiCaYIG 中 Bi^{3+} 增强磁光效应的作用提出过一个解释, 按照他的解释这个 460 毫微米附近的跃迁应该是 YIG 中原来就有的, 只是非磁光活性的罢了. 我们用图 2 来说明这个问题. 这是四面体和八面体中心 Fe^{3+} 离子的分子轨道示意图, 用的是单电子模型, 虚线箭头表示纯 YIG 中对磁光旋转有贡献的允许跃迁, 终态都是轨道三重态. 一

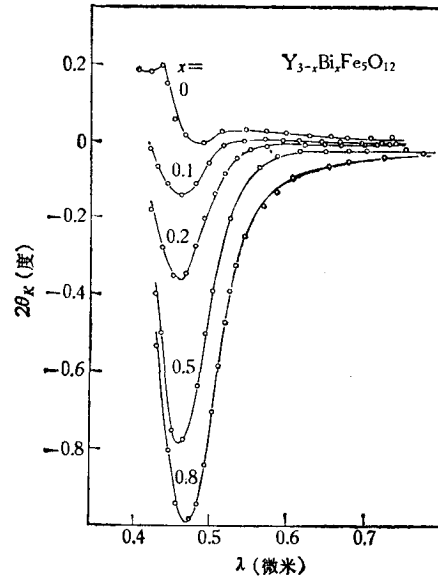


图 1 Bi-YIG 系列单晶的克尔旋转角与波长关系

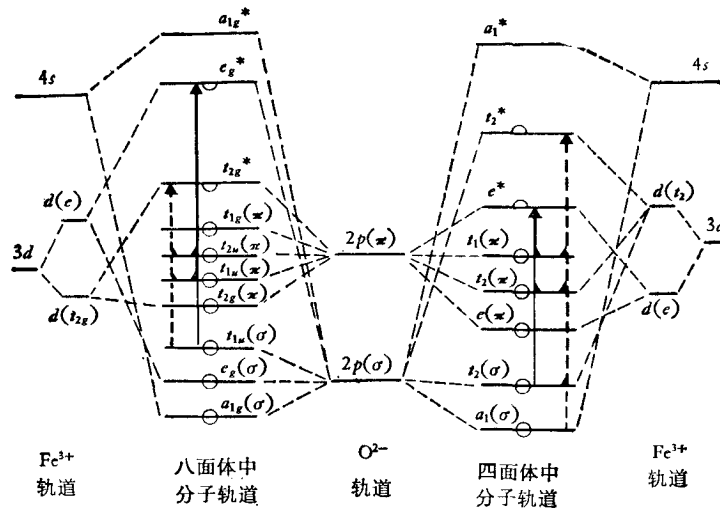


图 2 O^{2-} 四面体和八面体中心 Fe^{3+} 的分子轨道示意图 箭头表示磁光活性的允许跃迁; $\uparrow$ 为纯 YIG; $\uparrow$ 为 Bi-YIG; 黑圈表示基态的电子填充状况; $\odot$ 由两种自旋的电子填满, $\triangle$ 分别由一种自旋的电子填满

般认为在纯 YIG 中八面体中的电荷转移跃迁是对磁光旋转起主要作用的, 尽管八面体中的 Fe^{3+} 离子数比四面体中的 Fe^{3+} 离子数要少. 图 2 中实线箭头表示 Bi-YIG 中对磁光旋转有贡献的允许跃迁, 其特点是初态都是轨道三重态. 因为这些轨道三重态是属于 O^{2-} 离子的, 自旋-轨道耦合作用很弱, 在纯 YIG 中这类跃迁因此并不能提供磁光旋转. 但在 Bi 置换的情况下, $t_2(\pi)$ 已不再纯属于 O^{2-} , 而是带有 Bi 的 $6p$ 电子性质. 由于 Bi 的 $6p$ 电子具有很强的自旋-轨道耦合作用, 在 Bi-YIG 中这类电荷转移跃迁因而就能产生大的磁光旋转.

用电荷转移跃迁能定性解释 Bi^{3+} 离子在 YIG 中对磁光旋转的增强效应, 但是定量上并不符合. 接着提出过种种不同的机理, 颇有影响的是由 Scott 等^[8]提出的成对跃迁的机理. 成对跃迁使原被禁止的晶场跃迁成为允许的, 由于这类跃迁的几率是与两个子点阵中的 Fe^{3+} 离子间交换作用有关, Bi 置换对磁光旋转的增强效应因此与 Bi 置换提高居里点的实验事实之间找到了联系, 但这不能作为直接的证明. Bi 在 YIG 中的置换引起的效果是多方面的, 居里点提高是一方面, 此外晶格常数也发生改变, 这些效果与磁光旋转的增强可能有联系, 也可能仅是巧合.

在 Bi-YIG 系列单晶样品上测得的 460 毫微米附近的峰值与 Bi 含量的关系可以画成一根直线, 见图 3. 如果与 Wittekoek^[9] 的多晶样品数据比较, 则单晶数据要偏高 15% 左右, 这个偏高的数值经我们观察并不反映晶体的各向异性, 而是单晶样品的表里不均匀性引起的. 对单晶样品平行于自然晶面即 (110) 面作不同深度的切片, 经抛光后测量各个切片表面的克尔旋转谱, 发现峰值位置不变而峰值幅度却是变

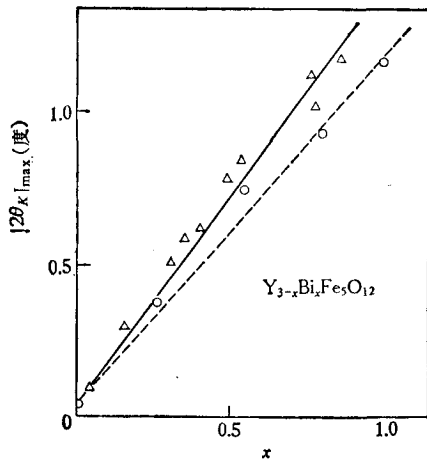


图 3 460 毫微米附近克尔旋转极大值与 Bi 平均含量的关系 多晶数据取自文献^[9];
○ 为多晶; △ 为单晶

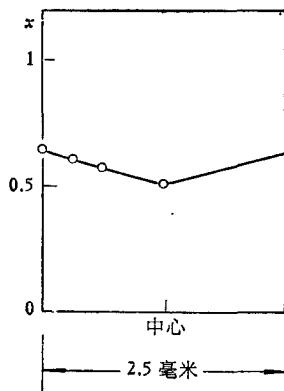


图 4 助熔剂法生长 Bi-YIG 单晶
内对应 Bi 含量的分布(典型例)

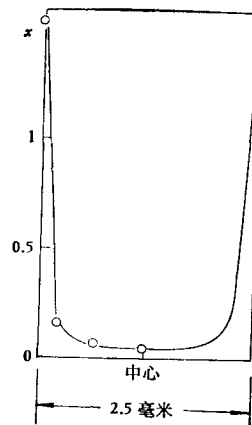


图 5 一个单晶的对应 Bi
含量分布(特例)

化着的, 峰值位置不变可以认为是 Bi^{3+} 离子引起的磁光活性跃迁, 而幅度的变化表明 Bi^{3+} 离子进入十二面体的含量的变化. 根据 Bi 含量与峰值的直线关系, 可以求出与峰值相对应的 Bi 含量. 图 4 所示是一个典型的 Bi-YIG 单晶中与峰值对应的 Bi 含量的分布曲线, 这分布具有线性变化的特征, 对于 3 毫米大小的晶粒, 表面要比中心部分含 Bi 量高出 20%, 也就是比样品的平均含 Bi 量差不多高出 10%. 考虑到这点, 图 3 中的单晶数据如以所测表面的实际含 Bi 量为准, 则应向右移动 10%, 仅经这一项修正, 单晶数据就非常接近多晶数据, 可能的偏差至多不超过 5%. 由此可见, 我们用助熔剂法生长的单晶体内 Bi 含量的表里不均匀性是导致与多晶数据存在差别的主要原因.

在我们所测的一批单晶样品中, 有一个行为异常, 其平均含 Bi 量根据化学分析虽然不高, 在自然晶面测得 460 毫微米附近的峰值却比一般样品高出近两倍. 在这单晶上经不同深度作切片, 得到对应 Bi 含量的分布如图 5 所示. 由图 5 可见, 与一般样品不同, 变化急剧, Bi 含量似乎集中分布在不到几百个微米的表面薄层中. 这是不是一种表面分凝的现象, 有待进一步观察.

三、结 论

极向克尔旋转谱可在不透明样品上进行测量, 有较宽的可测波长范围, 在研究抗磁离子对磁光旋转的增强效应的起源时是不可缺少的一种测量手段. 在克尔旋转测量中, 光的穿透深度不过几百埃, 因此可以作为表层的分析工具. 由于光的穿透深度比电子束的深得多, 对表面污染可能不如电子谱那样敏感. 实验表明, 通过克尔磁光谱可以探测某种原子在特定晶位中的置换量, 可望用于研究一些离子过程, 如离子分布、扩散和表面分凝等现象.

参 考 文 献

- [1] C. F. Buhrer, *J. Appl. Phys.*, **40**(1969), 4500.
- [2] A. Akselrad, *AIP Conference Proceedings*, (5)(1971), 249.
- [3] D. E. Lacklison, G. B. Scott, H. I. Ralph and J. L. Page, *IEEE Trans. MAG-9* (1973), 457.
- [4] S. Wittekoek and D. E. Lacklison, *Phys. Rev. Lett.*, **28**(1972), 740.
- [5] F. J. Kahn, P. S. Pershan and J. P. Remeika, *Phys. Rev.*, **186**(1969), 891.
- [6] 李德忠等, *物理学报*, **25**(1976), 450.
- [7] 徐孝贞等, *物理学报*, **29**(1980), 1558.
- [8] G. B. Scott and D. E. Lacklison, *IEEE Trans.*, **MAG-12** (1976), 292.
- [9] S. Wittekoek and T. J. A. Popma, *J. Appl. Phys.*, **44**(1973), 5560.

KERR ROTATION IN THE BI-YIG MONOCRYSTALS

WANG HUAN-YUAN ZHANG PENG-XIANG ZHANG XU-XIN XU XIAO-ZHEN

(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Polar Kerr rotation (PKR) spectra of Bi-substituted YIG monocrystals, grown by flux method, were measured in the wave length region of 0.4 to 0.8 μm at room temperature. The natural grown surfaces, as well as surfaces newly cut across different parts of the crystals were all taken under examination. The variations in the height of the same characterizing peak near 2.7 eV reveal the inhomogeneity of the content of Bi ions, entering the dodecahedral site of the lattice. Our work demonstrates the possibility of PKR spectra as a tool of surface layer analysis, applicable in the investigation of such processes as ionic distribution, diffusion or surface segregation.