

14

233-236

磁性液体复合体的磁光效应

徐明祥

(浙江大学材料系, 浙江, 杭州, 310027)

0482-55

摘要 制备了含强磁性 Fe_3O_4 的纯磁性液体胶体和掺入聚苯乙烯小球的磁性液体复合胶体样品, 系统测量了样品的双折射效应和线二向色性, 并对测量结果进行比较分析, 认为磁性液体复合体中非磁性小球的不同排列影响了它的磁光特性。

关键词 磁性液体复合体, 磁光效应, 磁性颗粒链。

引言

磁性液体复合体是在磁性液体中加入适量的半径约为几个微米的非磁性小球而构成的系统。当复合体在外场下磁化时, 非磁性小球将成为磁性液体中的“空穴”, 即形成磁矩方向与磁性液体磁化方向相反的磁偶极子。小球之间, 依赖于这些磁偶极子相互作用, 在不同的磁场条件下, 形成不同的排列结构^[1-3]。磁性液体的磁光特性包括法拉第效应、圆双色性、双折射效应和线二向色性。我们认为, 磁性液体复合体的非磁性小球的不同排列, 势必影响磁性液体的磁光特性, 正如复合体对低频的电磁波起调制作用一样。本文测量了磁性液体复合体的双折射效应和线二向色性, 并与相应的磁性液体的结果作比较, 得到了磁性液体复合体的这些效应与纯磁性液体有显著的差异。对此作进一步的研究, 可为如磁场测量、光快门及计算机光记忆等新型磁光器件的开发及生产奠定基础。

1 实验方法

本文采用化学共沉淀方法制备了以煤油为基液的强磁性 Fe_3O_4 磁性液体胶体, 用化学凝聚方法制备聚苯乙烯小球, 将非磁性的聚苯乙烯小球掺入到磁性液体中而构成磁性液体复合胶体。用厚度约为 $50\mu m$, 边长为 $18mm$ 的载波片, 在其表面的两边蒸上一层宽为 $6mm$ 的有一定厚度(d)的铜膜, 然后将磁性液体或者磁性液体复合体滴于空缝上, 再用另一载波片盖在上面, 夹紧并用 502 胶将其密封。本文用以上方法制备了纯磁性液体样品 a、不同磁性液体复合体样品 b(聚苯乙烯小球浓度为 $0.02g/ml$)及 c(聚苯乙烯小球浓度为 $0.2g/ml$)的样品以备测试, 样品厚度均为 $10\mu m$, 3 个样品中含磁性颗粒 Fe_3O_4 的浓度均为 $0.69g/ml$ 。用磁光调制倍频法^[4,5]进行磁光效应测量。

2 结果及讨论

图 1 和 2 分别为样品 a 和 c 的 Φ 角(出射光的偏振方向与入射光偏振方向之夹角)随外场 H 的变化曲线。从中发现: 无论是纯磁性液体还是其复合体, 它们的 Φ 角都随外场的

增加而增大,当外磁场达到一定值时, Φ 趋于饱和.这种现象与介质的磁化规律相类似.引起偏振转角 Φ 的原因在于介质的双折射效应或线二向色性,或两者兼而有之.

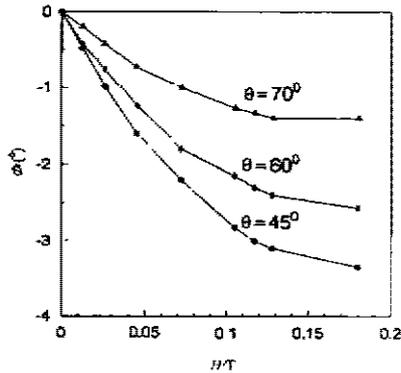


图1 样品a的 Φ 角与外场 H 的关系曲线
Fig. 1 Applied field dependence of angle Φ for sample a

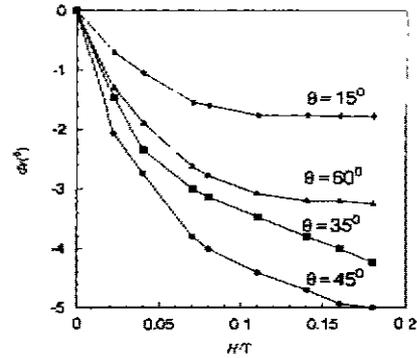


图2 样品c的 Φ 角与外场 H 的关系曲线
Fig. 2 Applied field dependence of angle Φ for sample c

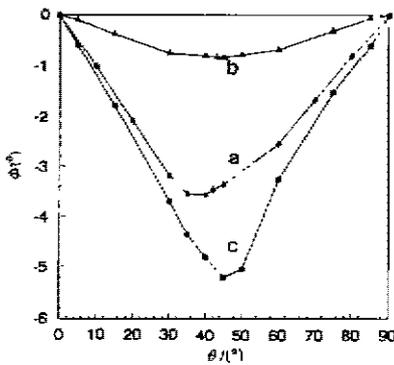


图3 样品的 Φ 角与 θ 角的关系曲线,外场为0.18T
Fig. 3 The relationship between Φ and θ for samples a, b, c at $H=0.18$ T

图3给出了样品a、b和c在相同的外磁场($H=0.18$ T)下,偏转角 Φ 随 θ 角(θ 为入射线偏振方向与外磁场方向之夹角)的变化曲线.不难发现,它们之间的 Φ 角大不相同,即表明在相同的外场下,纯磁性液体的偏转角 Φ 与其复合体的 Φ 很不一致;对于复合体样品b和c而言,它们的偏转角 Φ 亦大相径庭,这正说明复合体的 Φ 与其所含的非磁性小球浓度有着极大的关系.偏转角 Φ 之不同,反映了它们之间的双折射效应和线二向色性不一致.另外,利用 $I_i(H)=I_0e^{-2k_i(H)}$,其中 I_0 、 $I_i(H)$ 分别为外场为零和为 H 时透过样品之光强,而 i 则分别代表 e 光及 o 光.若定义线二向色性的相对吸收率 $K=e^{-2k_2}/e^{-2k_1}=e^{-2(k_2-k_1)}$,则由我们对样品a

和c的测试分析(见图4),得到在相同的外磁场下,无论是纯磁性液体还是复合体, e 光的透射率要大于 o 光的透射率.

众所周知,介质的双折射效应和线二向色性是由于介质对光作用的各相异性所引起的.而对光的各相异性亦反映了介质结构的各相异性.本文所用煤油作为磁性液体的基液,它是非磁性的,在外磁场中不可能有很大的各相异性分布,即基液对双折射效应和线二向色性无贡献,而磁性液体之中的 Fe_3O_4 颗粒是各相异性的,它对磁光效应的作用与其在外磁场中的磁化有关^[6].从显微镜下观察一定磁场下磁性液体中的 Fe_3O_4 颗粒形成链状的现象,我们认

为磁性颗粒链是引起双折射效应和线二向色性的重要原因. 弱场下, 由于磁性颗粒排列较混乱, 此时的双折射效应和线二向色性微弱; 随外场的增加, 颗粒链的排列也逐渐趋于整齐, 最后当达一定磁场强度时, 其排列完全趋于一致. 故此时沿外场方向偏振的线偏振光容易穿透, 但垂直于外场方向偏振的线偏振光则难以穿透^[6,7].

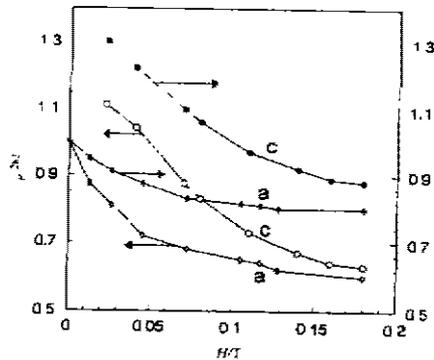


图4 样品 a 和 c 的吸收系数 $e^{-2\delta}$ 与外场 H 的关系曲线

Fig. 4 Applied field dependence of $e^{-2\delta}$ for samples a and c

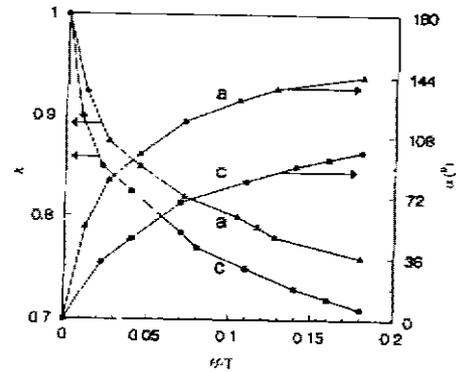


图5 样品 a 和 c 的 K 值和 α 值与外场 H 的关系曲线

Fig. 5 Applied field dependence of K and α for samples a and c

而当磁性液体复合体样品 b 及 c 在外场中磁化时, 非磁性的小球将成为磁性液体中的“空穴”, 它形成与磁化方向相反的磁矩. 聚苯乙烯小球间依赖于这种磁矩相互作用而构成一定的排列结构. 沿磁场方向的小球间形成具有相互吸引的作用力, 而垂直于磁场方向则存在相互排斥力^[1,3]. 当复合体中非磁性小球浓度较高时, 由于小球之间距离较近, 其相互作用较强, 故易形成沿磁场方向的小球链, 而由于垂直外场方向的小球间的相互排斥作用, 故这些小球链平行于外磁场方向并相距一定间隔. 假定复合体中, 仅磁性颗粒链对双折射效应有贡献, 则由于非磁性小球的掺入, 使得磁性颗粒链浓度变稀, 引起双折射效应的减弱. 因此, 样品 c 的 α 值 (双折射效应相位差) 小于样品 a (见图 5), 而从样品 c 的 K 值略小于样品 a (见图 5), 说明非磁性的聚苯乙烯小球链与磁性颗粒链同样具有线二向色性. 由于线二向色性和双折射效应对样品偏转角 Φ 的贡献相反, 故样品 c 的线二向色性的增加及其双折射效应的减弱使其 $|\Phi|$ 角大于样品 a (见图 3). 而当复合体中非磁性小球浓度较低时, 小球之间距离较远, 其相互作用较弱, 故不能形成沿磁场方向的小球链. 这些具有与磁化方向相反磁矩的非磁性小球与其近邻的磁性颗粒链发生磁相互作用, 影响了磁性颗粒链的排列, 使其不再严格沿磁场方向排列, 导致复合体的线二向色性和双折射效应均减弱. 从图 3 可见样品 b 的 $|\Phi|$ 角小于样品 a 的 $|\Phi|$ 角.

3 结论

(1) 对于纯磁性液体而言, 其中磁性颗粒 Fe_3O_4 在外磁场中的排列方向决定了纯磁性液体的磁光效应.

(2) 对于磁性液体复合体,其磁光效应是由非磁性的聚苯乙烯小球链与磁性颗粒链共同作用的结果。

致谢:作者感谢浙江省杭州华坤磁性材料有限公司基金资助。

REFERENCES

- 1 Skjeltorp A T. Ordering phenomena of particles dispersed in magnetic fluids (invited), *J. Appl. Phys.*, 1985, **57**(1), 3285—3290
- 2 Davies P, Popplewell J, Martin G, *et al.* Monte Carlo simulations of the structure of magnetic fluid composites, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1986, **19**, 469—476
- 3 Skjeltorp A T. Monodisperse particles and ferrofluids; A fruit-fly model system, *J. M. M. M.*, 1987, **65**, 195—203
- 4 LIU Gong-Qiang, LIU Xiang-lin. Magneto-optic modulation and measurement of Faraday rotation, *Acta Optica Sinica* (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
- 5 Zhang S Y, Zhang Z L, Huang M. Magneto-optic properties of GdBilG bulk crystals in near-infrared wavelength range, *Chinese Physics*, 1992, **12**(3), 740—743
- 6 Jangssen J J M, Perenboom J A A J. Magneto-optical phenomena in magnetic fluids, The influence of orientation of anisotropic scatterers, *J. M. M. M.*, 1989, **81**:14—24
- 7 Taketomi S. Magnetic fluid's anomalous pseudo-Cotton Mouton effects about 10^7 times larger than that of nitrobenzene, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1983, **22**(7), 1137—1143

MAGNETO-OPTICAL EFFECT IN THE COMPOSITE MAGNETIC FLUIDS

XU Ming-Xiang

(Department of Material Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, 310027, China)

Abstract Both pure Fe_3O_4 magnetic fluids and that containing polystyrene spheres composite magnetic fluids were prepared. The magneto-optical effects of different samples were measured by the magneto-optically modulated double-frequency method. The author analyzed the results and suggested that the different arrangement of nonmagnetic spheres in the composite magnetic fluids affects its magneto-optical property.

Key words composite magnetic fluids, magneto-optical effects, magnetic particle chains.