

12

293-241

0484.41

Co₃₄Cu₆₆颗粒膜的磁光性质研究*

0482.55

王松有¹⁾ 陈良尧¹⁾ 郑卫民¹⁾ 张荣君¹⁾ 钱栋梁¹⁾ 郑玉祥¹⁾ 金晓峰¹⁾ 李白云²⁾ ✓

(¹⁾复旦大学物理系, (²⁾复旦大学材料系, 上海, 200433)

摘要 详细研究了 Co₃₄Cu₆₆ 颗粒膜在不同退火温度下的磁光性质. 结果表明: 未退火时在测量的能量范围内, 位于 3.8eV 处有一 θ_k 峰. 随着退火温度的升高, θ_k 有不同程度的增加, 当退火温度高于 200℃ 时, 可以观察到在 2.1eV 附近出现一个 θ_k 的增强峰. 其中 2.1eV 处的峰来源于 Cu 的带间跃迁, 3.8eV 处的峰来源于 Co. 面内和极向 Kerr 回线的测量表明: 经退火后 Co 颗粒变成平行于膜面的盘状.

关键词 颗粒膜, Kerr 效应, 磁光谱.

钴34 铜66

引言

由铁磁性过渡金属和贵金属组成的颗粒膜, 由于具有许多反常的性质和潜在的应用价值而成为人们研究的热点. 最近人们在两种不互溶的均匀体系组成的颗粒膜如 Co-Cu、Co-Ag 及 Fe-Ag^[1,2] 的研究中发现存在有类似于多层膜的巨磁电阻效应和巨霍尔效应, 这些材料由纳米尺寸的磁性颗粒弥散在非磁金属衬底中构成. 至今还没有一种完善的理论对此加以解释, 其物理机制涉及到颗粒膜表面导带电子的散射. 另外, 磁性颗粒的大小、形状及分布等都对颗粒膜的 GMR 有很大的影响, 这些参数不仅与制备方法有关, 而且退火也是很重要的因素, 在大多数情况下最大巨磁阻是退火后获得的. 在过去几十年里, 由于磁光效应在高密度数据存储中的实际应用, 引起了人们的极大兴趣. 本文将从磁光方面研究 Co-Cu 颗粒膜的退火条件下的性质, 实验发现由 Co 和 Cu 组成的颗粒膜在退火条件下 θ_k 有明显的增强, 退火后的 Co-Cu 颗粒膜的磁光性质与 Co-Cu 多层膜的磁光性质相似. S. Uba^[3] 等人从理论和实验两方面研究了 Co/Cu 多层膜的光学和磁光性质, 发现在 0.8~5.5eV 范围内 θ_k 谱具有双峰结构, 其中 2.1eV 处出现了在纯 Co 中未观察到的峰. 理论计算表明 2.1eV 处的峰只有在较厚的 Cu 层且界面粗糙时由 Cu 的带间跃迁贡献引起.

1 样品制备和测量

实验用的 Co₃₄Cu₆₆ (原子百分比) 颗粒膜是用离子束共溅射的方法制备的. Co-Cu 颗粒膜生长在 Si(100) 表面, 复合靶由 99.99% 的纯 Co 和 99.9% 的纯 Cu 组成, 溅射前样品室的压力为 7×10^{-4} Pa, 溅射时 Ar 气的压力为 3×10^{-2} Pa, 膜厚由溅射时间控制, 大约 180nm 左右, 可以排除界面干涉的影响. 在真空条件下对所有的样品退火 1 小时, 然后自然降温. Co 和 Cu 的组分和表面形貌由扫描电子显微镜测定; 采用 X 光衍射法测定其结构; 光学常数和

* 国家攀登计划、上海应用物理研究中心和国家自然科学基金(编号 69425004)资助项目
稿件收到日期 1998-11-09, 修改稿收到日期 1999-03-01

极向 Kerr 参数分别用扫描型偏振仪^[4]和 Kerr 谱仪^[5]测定,磁场垂直膜面,磁感应强度为 8kG,在 300℃以下退火时, θ_k 已达到饱和,400℃以上时未饱和.所有测量都是在室温下,能量为 1.5~4.5eV.

2 结果分析和讨论

由 X 射线衍射分析可清楚观察到在不同条件下的 $\text{Co}_{34}\text{Cu}_{66}$ 颗粒膜具有 fcc 结构的衍射峰,同时也可看到随退火温度的升高,峰的强度都有所增强.未退火时,通过 SEM 观察到样品表面十分平整,低温退火时,可以观察到有同种原子的积聚,表面有岛状结构出现,但在 400℃的高温退火后,发现样品表面又十分平整.

利用磁光 Kerr 谱仪对未退火和不同退火条件下的样品进行了磁光和磁滞回线测量.图 1 给出了不同退火条件下 Co-Cu 和纯 Co 的 θ_k 随光子能量的变化关系,从中可以得出以下结论:(1)未退火时在测量的能量范围内,位于 3.8eV 处有一 θ_k 的峰;(2)随着退火温度的升高, θ_k 都有不同程度的增加,100℃退火后,除 3.8eV 处的峰外,未出现 θ_k 的其它增强峰,当退火温度高于 200℃时,可以观察到在 2.1eV 附近又出现了一个 θ_k 的增强峰,其峰值比 3.8eV 处的峰高,随着退火温度的升高,2.1eV 处的峰值有较大增加,而 3.8eV 处的峰增加得较缓慢,且 2.1eV 处的峰高于 3.8eV 处的峰.

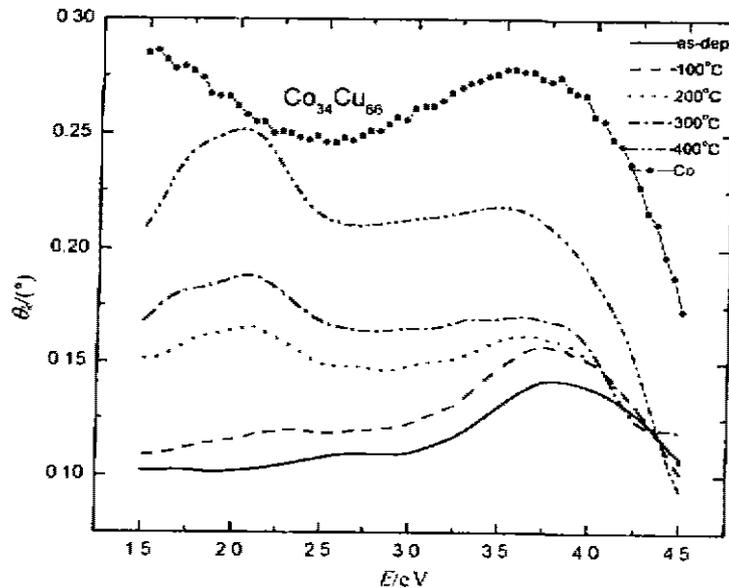


图 1 不同退火温度下的 θ_k 随能量的变化曲线

Fig. 1 Measured spectra of θ_k vs energy at different annealing temperature

对上述现象可作如下的分析:在 1.5~4.5eV 范围内,纯 Co 的 θ_k 谱只有一个增强峰,约位于 3.8eV 处,因此 3.8eV 处 θ_k 的峰起源于 Co 的贡献.在未退火条件下,Co 和 Cu 颗粒分布均匀,由于 Cu 的抗磁性,其 Kerr 效应很小,所以在未退火和较低温度退火下,没有其它 θ_k 增强峰.经 200℃退火后在 2.1eV 处 θ_k 的增强峰与 Cu 颗粒有关. Cu 在 2.1eV 附近存在

一个带间吸收边, 对应于 Cu 的 d 电子到费密能级的跃迁 ($L_{23} \rightarrow L_{2'}$), θ_k 在此处的增强由该跃迁的贡献引起. 在较高温度下退火, 薄膜内的颗粒分布和形状发生变化, 两种颗粒的大小都逐渐变大, 由于 Cu 的成份多, 最终是变大的 Co 颗粒镶嵌在 Cu 基体内, 因此在高温退火条件下体系表现出 Cu 的性质, 这一点从光学常数的虚部随能量的变化曲线也可以看出. 磁性颗粒的形状由原先的球状可能转变为平行于膜面的扁平状形态, 因此产生类似于 Co/Cu 多层膜的磁光效应, 使得本实验结果与文献[3]所报道的结果相类似. 文献[6]中报道了 $\text{Co}_{22}\text{Ag}_{78}$ 颗粒膜中颗粒的大小和形状随退火温度的变化也证明了这一点, 该文利用透射电镜和铁磁共振观察到 Co 颗粒随退火温度的升高沿膜面方向由球形和长条形变成鹅卵石形, 尺寸逐渐变大, 垂直于膜面的退磁场随退火温度的升高而增大, 而平行于膜面的退磁场随退火温度的升高而减小. 利用有效介质模型和经典振子模型对此现象进行理论模拟, 发现这两种模型都不能得到满意的结果. 具体原因有待于进一步分析.

图 2 分别是极向 Kerr 回线和面内 Kerr 回线. 从图中可以看出: 面内回线随退火温度的升高其剩磁有变大的趋势, 饱和磁感应强度变大, 在制备态膜面内的回线呈长矩形, 随着退火温度的升高, 回线和形状不再为矩形, 这表明随退火温度的升高, 膜的剩磁比下降, 出现了垂直于膜面的各向异性, 在 400°C 时剩磁比有一定的回升, 回线的形状又变成长矩形. 极向回线的饱和场远大于面内, 且随退火温度的升高而变大, 未退火条件下为 0.5T , 矫顽力比较小. 另外从面内和极向饱和场的大小可以推断出磁性颗粒随退火温度的升高变为平行于膜面的盘状形态的结论.

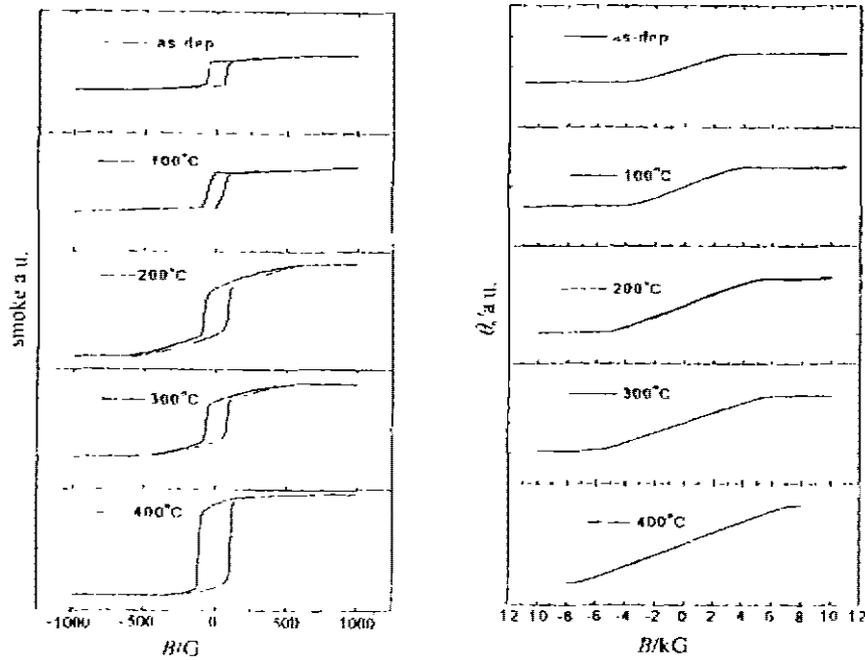


图 2 面内和极向 Kerr 回线

Fig. 2 The measured magnetic Kerr hysteresis loops in and out plane

根据

$$\left. \begin{aligned} M &= \chi H, \\ H &= H_e - NM. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

可得

$$M = \chi H_e / (1 + N\chi). \quad (2)$$

式中 M 是磁化强度, H 为磁场强度, H_e 为外磁场的磁场强度, N 为退磁因子, χ 为磁化率.

如果退火后颗粒形状由原来的球状变成平行于膜面的扁平状, 则垂直于膜面的退磁因子大于平行于膜面的, 即 $N_{\perp} > N_{\parallel}$, 所以 $M_{\perp} < M_{\parallel}$, 再根据外磁场能 $E_H = -\mu_0 \mathbf{M} \cdot \mathbf{H}$, 在一定的外场能下, 所需要的极向的饱和场 H_e 要远大于外场平行于膜面时的. 这一推断与本文所得实验结果是相符的.

3 结论

通过详细的研究利用离子束溅射的方法制备的 $\text{Co}_{34}\text{Cu}_{66}$ 颗粒膜在 100、200、300, 和 400℃ 退火条件下的磁光性质, 得出如下结论: 未退火时在测量的能量范围内, 位于 3.8eV 处有一 θ_k 的峰, 该峰是 Co 的 Kerr 峰. 随着退火温度的升高, θ_k 都有不同程度的增加, 100℃ 退火后, 除 3.8eV 的峰外, 未出现 θ_k 的其它增强峰, 当退火温度高于 200℃ 时, 可以观察到在 2.1eV 附近又出现了一个 θ_k 的增强峰, 该峰来源于 Cu 的带间跃迁. 对面内和极向 Kerr 回线的测量表明: 经退火后 Co 颗粒变成平行于膜面的盘状形态, 从而使的本文的结果和 Co/Cu 多层膜的实验结果相似.

REFERENCES

- 1 Xiao G, Jiang J S, Chen C L. Giant magnetoresistance in nonmultilayer magnetic system, *Phys. Rev. Lett.*, 1992, **68**: 3749
- 2 Yu C T, Yang Y, Zhou Y Q, et al. Influence of microstructure on magnetoresistance of FeAg granular films, *J. Appl. Phys.* 1994, **76**: 6487
- 3 Uba S, Uba L, Perlov A Ya, et al. Experimental and abinitio theoretical study of optical and magneto-optical properties of Co/Cu multilayers. *J. Phys: Condens. Matter.*, 1997, **9**: 447
- 4 Chen L Y, Feng X W, Su Y, et al. Improved rotating-analyzer-polarizer-type of scanning ellipsometer. *Thin Solid Film.*, 1993, **243**: 385
- 5 Chen L Y, Zhou S M, Zheng Y X, et al. Method to measure spectra of both the magneto-optical Kerr and Faraday effect, *Opt. Eng.*, 1997, **36**: 3188
- 6 Sang H, Zhang S Y, Chen H, et al. Dynamic behavior of cobalt granules with annealing treatment in ion-beam cosputtered $\text{Co}_{32}\text{Ag}_{78}$ granular film, *Appl. Phys. Lett.*, 1995, **67**: 2017

MAGNETO MAGETO-OPTICAL PROPERTIES OF $\text{Co}_{34}\text{Cu}_{66}$ GRANULAR FILMS*

WANG Song-You¹⁾ CHEN Liang-Yao²⁾ ZHENG Wei-Min¹⁾
ZHANG Rong-Jun¹⁾ QIAN Dong-Liang¹⁾ ZHENG Yu-Xiang¹⁾
JIN Xiao-Feng¹⁾ LI Bai-Yun²⁾

¹⁾ Department of physics, Fudan university, Shanghai 200433, China;

²⁾ Department of Material Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract The magneto-optical properties of $\text{Co}_{34}\text{Cu}_{66}$ granular films annealed at different temperature were carefully studied. Before annealing, there was a peak at 3.8eV in the spectra for the sample $\text{Co}_{34}\text{Cu}_{66}$. The Kerr rotation was enhanced by increasing the annealing temperature. There were two peaks of Kerr rotation in the photon energy range 1.5~4.5eV after annealing over 200°C. One of the peaks was attributed to the interband transition due to the Cu band structure near 2.1eV, and the other was attributed to the Co effect which occurred near 3.8eV photon energy. The measured magnetic loops in and out plane show that the Co particles may become a plate-like form parallel to the surface after annealing.

Key words granular magnetic film, Kerr effect, magneto-optical spectrum.

* The project supported jointly by "Climbing Program" and National Natural Science Foundation of China and Shanghai Research Center of Applied Physics
Received 1998-11-09, revised 1999-03-01