第26卷 第3期 物 理 学 报 Vol. 26, No. 3
1977 年 5 月 ACTA PHYSICA SINICA May, 1977

溅射钆钴合金薄膜的磁性*

王荫君 陈书潮 郑德娟
李德忠 郭慧群 孟庆安
(中国科学院物理研究所)

提 要

用射频溅射的方法制备得的钆钴膜具有垂直于膜面的单轴各向异性. 电子衍射结果表明薄膜是非晶态的. 电子探针分析证明钆和钴的"混合"是均匀的. 用极向克尔效应观察了样品的磁畴,并测量了相应的磁滞迴线;发现在一定的工艺条件下,制备得的样品,在退磁状态呈现条状畴,并在一合适的外磁场作用下能转变为磁泡.

一、引 言

Chaudhari 等人[1] 在 1973 年报道了用溅射的方法得到的非晶钆钴膜具有垂直于膜面的单轴各向异性. 在一定的工艺条件下,样品在退磁状态的磁畴是条状畴 (Stripe Domain); 当在垂直于膜面的方向加一合适的直流偏场时,就能形成磁泡. 他们还用钆钴膜作成了泡径为 2 微米的移位寄存器.

非晶钆钴膜除了泡畴应用外,尚有可能作为磁光存贮材料[2]. 利用在室温附近的抵消点,可实现信息的热磁写入和清洗. 采用非晶钆钴膜作热磁存贮和磁光读出,其优点是低的抵消温度和较大的信噪比[3].

对于泡畴和磁光应用的薄膜材料,长时间的热稳定性和一致性是必须的. 所以,自 Chaudhari 等人报道了非晶钆钴薄膜工作以来,他们和其他一些作者,做了很多较为深入的研究工作,并先后报道了: 钆钴膜的结构和磁性随温度的变化[4],非晶钆钴钼薄膜的退火行为[5,6],应用于泡畴的非晶钆钴膜的一致性[7],非晶钆钴膜的泡畴的静力学特性[8],钆钴膜的制备和性能间的关系[9],以及非晶钆钴膜单轴各向异性来源[6,10,11]等等. 最近据 Kryder 等人[12]报道,已作成了 8000 位、存贮密度为 10^7 位/吋^{2}的非晶钆钴膜的泡畴器件.

作为泡畴应用的非晶钆钴膜,虽然存在热稳定性问题,但由于它具有存贮密度大、成本低、工艺简单、动态特性好等优点,所以引起了人们的重视. 对于磁光存贮,钆钴膜也是一种新的有意义的材料[13]. 此外,开展钆钴膜的研究工作,将有助于研究非晶材料的磁特性,而且,作为研究稀土元素和铁族元素的磁性也是有益的.

本文主要报道非晶钆钴膜的制备工艺,磁畴观察及一些测量结果.

* 1976 年 2 月 9 日收到.

二、制备工艺

用射频溅射的方法制备钆钴膜．溅射靶用电弧熔融法获得．靶的成分分别为 $GdCo_2$, Gd_2Co_5, $Gd_2Co_{5.5}$, Gd_2Co_6, Gd_2Co_7．靶的大小为直径 30 毫米、厚 5 毫米．溅射时，靶粘在水冷的阴极上． 靶和阳极间的距离约为 5 厘米． 基片上加负直流偏压 120 伏． 钆钴膜的基片是 0.1 毫米厚的玻璃或 0.03 毫米厚的云母片． 基片安置在离阳极 6 毫米处，加有直流负偏压，并由液氮冷却的铜板上．

溅射前，先把溅射室抽至 1×10^{-5} 乇，然后使氩气进入溅射室．溅射时，真空度维持在 $4—6\times10^{-3}$ 乇．

为了清洁靶的表面，每次溅射前须作预溅射 30 分钟．溅射毕钆钴膜后，在同一溅射室内，溅射氧化硅保护膜．

溅射速率为 70 埃/分．

溅射膜的厚度由淀积条件控制，可由几百埃变至几个微米．

三、实验结果和讨论

图 1 是钆钴膜的电子衍射照片．由图表示，溅射得到的膜是非晶态的．

用 $GdCo_2$—$GdCo_3$ 成分范围内的靶溅射时，在基片大小为 10 厘米×4 厘米的面积上，得到了垂直于膜面的单轴各向异性．与 Heiman 等人[11]报道的结果不同的是我们在直流负偏压为零时，仍然得到垂直于膜面的单轴各向异性．垂直膜面单轴各向异性可由磁转矩的测量得到直接的证明． 在磁转矩测量中，如外加磁场足够强，则磁场 H 转过样品的难磁化方向时，转矩 L 将从大的正值突变到大的负值．令磁场 H 与膜平面法线间的夹角为 θ．倘若上述转矩突变发生于 $\theta=\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$ 时，薄膜的易轴是垂直于膜面的；当突变发生在 $\theta=0, \pi, 2\pi$ 时，则易轴是平行于膜面的．图 2 表示一易轴垂直于膜面的转矩曲线．

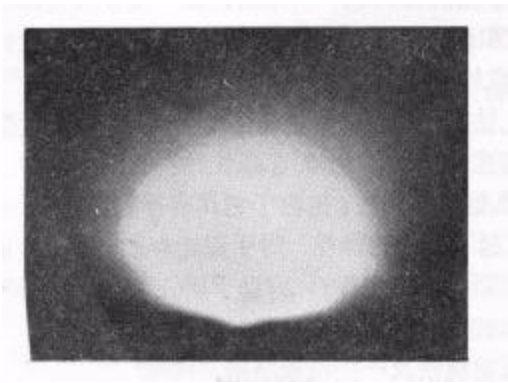

图 1 非晶钆钴膜的电子衍射照片

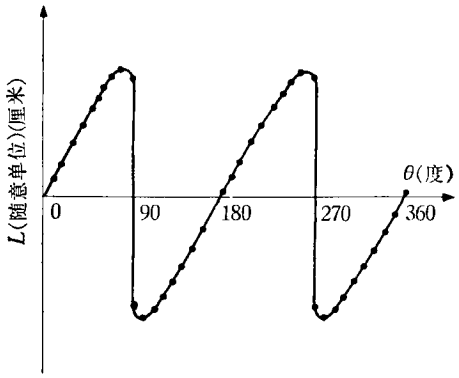

图 2 表示易轴垂直于膜面的磁转矩曲线 磁场 H 与膜平面垂直时为零度．测量磁场 $H=1.5$ 千奥斯特

在转矩测量中，除了得到图 2 那样结果外，尚有下述这样的情形，即在 $\theta = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3}{2}\pi, 2\pi$ 时，转矩 L 都发生突变，说明易磁化方向不是单一的．这可能是由于长时间的淀积过程中，工艺条件不稳定而出现局部晶化或是淀积后膜表面被局部氧化的缘故，由此造成了膜的不均匀性，亦即膜是由具有易轴垂直膜面和平行膜面这两部分组成．

用极向克尔效应装置，在溅射的钆钴膜上（厚度大于 400 埃），观察到了条状畴和磁泡．图 3 表示 Gd_2Co_5 靶所溅射得的厚度为 2000 埃样品的磁畴随外场的变化．在退磁状态时，所见的是条状畴，外磁场为 150 奥斯特时，条畴缩短，继续加大偏场，在外场为 225 奥斯特时，短条畴缩成泡．

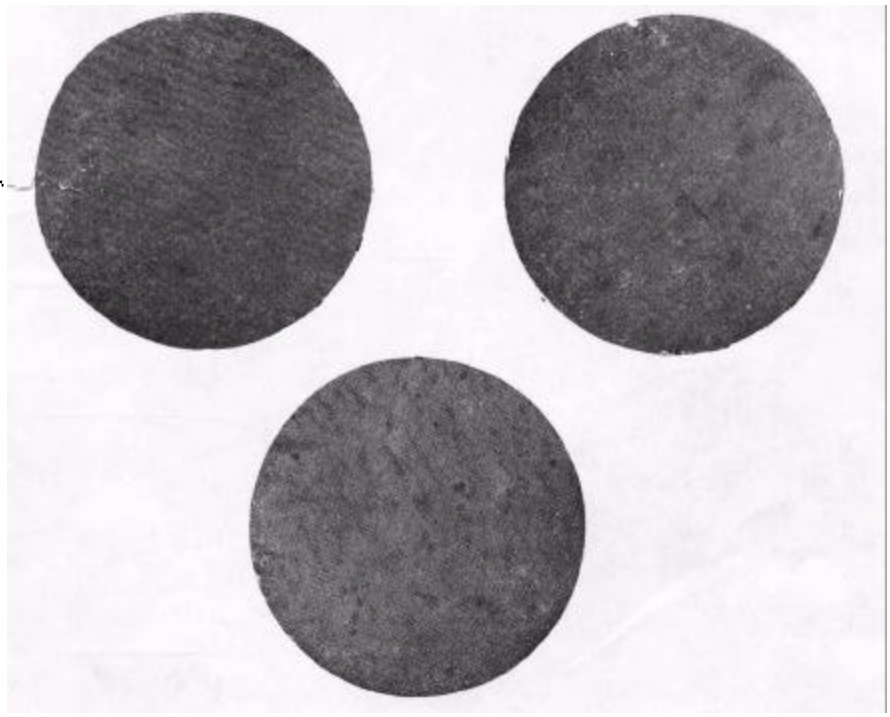

图 3　在垂直膜面的直流偏场作用下磁畴的变化

左图外场为零，中图外场为 150 奥斯特，右图外场为 225 奥斯特

磁畴图案依赖于成分．电子探针分析结果表明，除了基片中心正对靶面积的区域成分是均匀的而外，基片上其余位置的成分是各不相同的．图 4 表示基片上四个不同区域的磁畴和相应的磁滞迴线．这四个不同区域（a, b, c, d）的位置由图 5 给出．对图 4 需附加说明的是，在靶下正对于靶面积的区域，磁畴图案是大块畴．

图 6 表示在基片上不同位置，采用 Neugebauer 转矩方法[14]，所测得的磁化强度 M_s 和各向异性常数 K_u．图中，横坐标表示位置．左边纵标是磁化强度 M_s 的值，右边纵标是各向异性常数 K_u 和 $2\pi M_s^2$ 的值．溅射靶的成分为 $Gd_2Co_{5.5}$．

从图 6 可见，在正对靶的相同大小的区域内，M_s 的数值没有什么变化，在 80 高斯左右．在距靶中心 30 毫米的区域是接近抵消点成分．从各向异性常数 K_u 和位置的关系曲线中可以看出，K_u 值在靶下方附近变化也不大，大约在 0.6—1 × 10^5 尔格/厘米^3．离

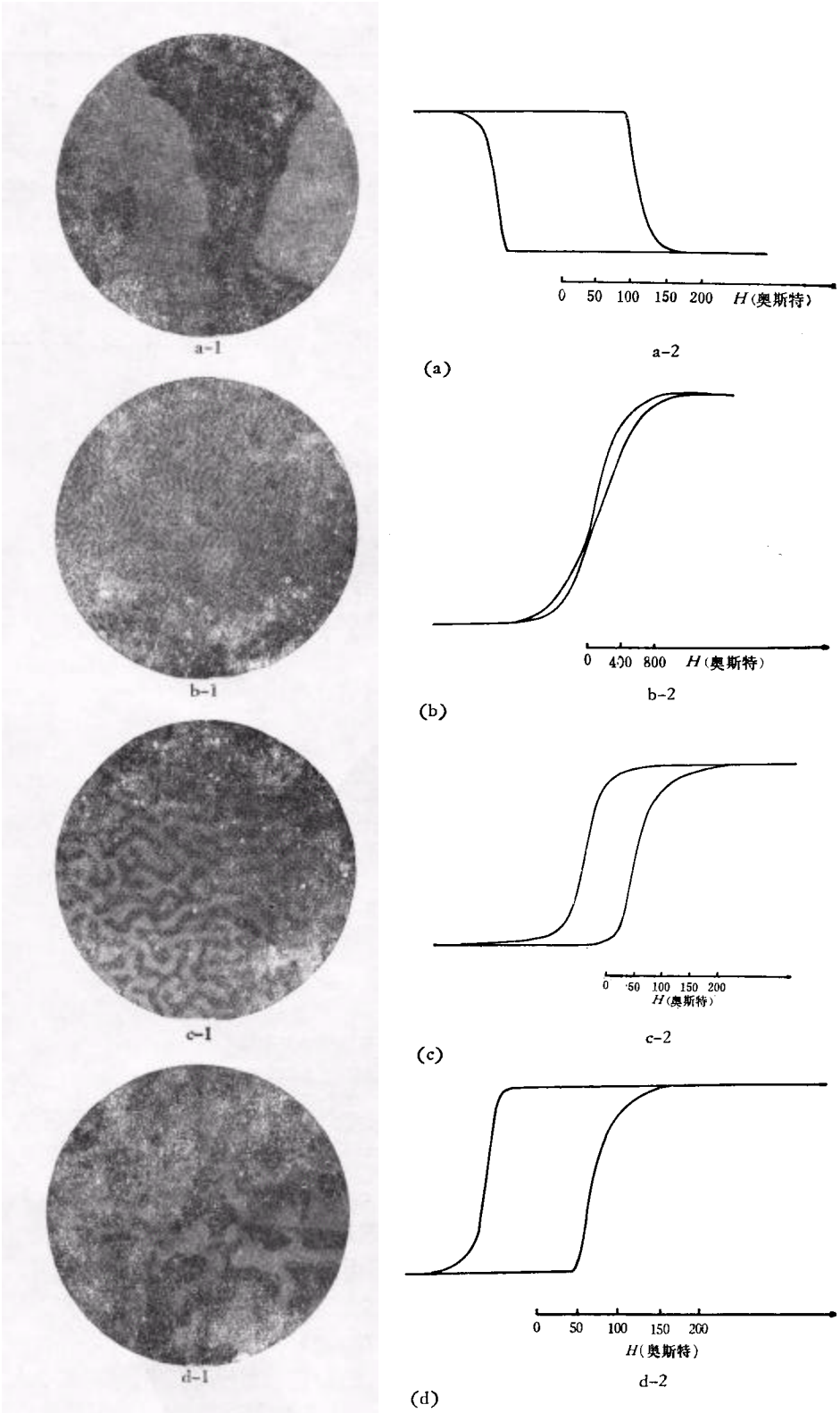

图 4　基片上不同区域的磁畴和相应的磁滞迴线
溅射靶的成分是 Gd_2Co_5，靶区域下的膜厚为 4500 埃．观察和测量温度为室温．样品处于退磁状态

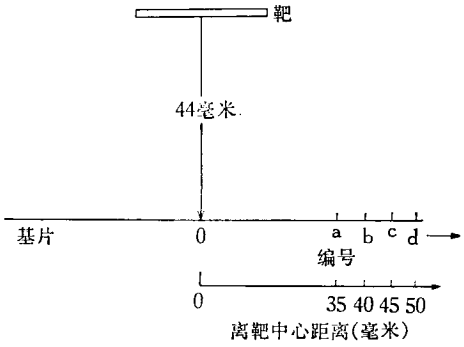

图 5　靶与基片的相对位置

基片上正对靶中心的位置假定为零，则图 4 中的 a, b, c, d 四个不同位置分别距零点为 35, 40, 45, 50 毫米

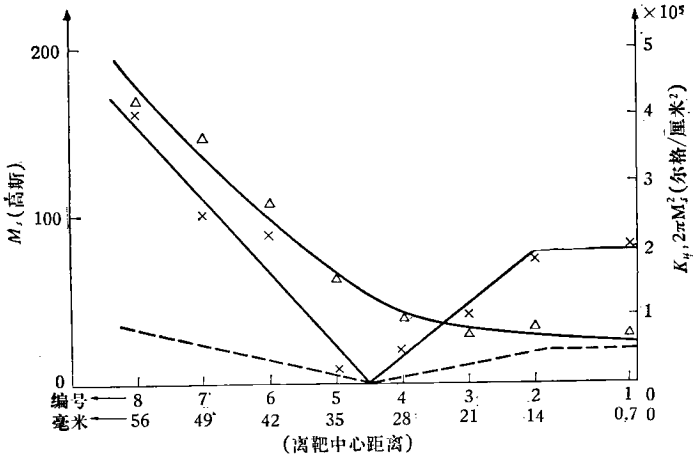

图 6　基片上不同位置钆钴膜的磁化强度 M_s 和各向异性常数 K_u 的值
溅射靶的成分为 $Gd_2Co_{5.5}$. 靶区域下的膜厚 2000 埃. 测量温度为室温. 图中"△"表示 K_u; "×"表示 M_s; 虚线表示 $2\pi M_s^2$ 计算值

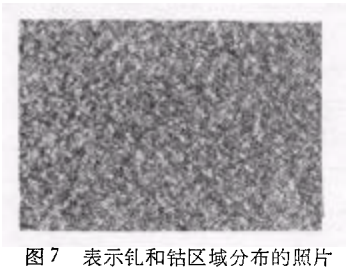

图 7　表示钆和钴区域分布的照片

靶愈远的膜，其 K_u 值愈大，这可能是由于斜入射的影响. 从图 6 还可以看到，在被测量的所有不同位置，薄膜的 K_u 值都大于 $2\pi M_s^2$.

图 7 是电子探针分析钆和钴的"混合"情形的照片. 照片的亮点显示钆原子分布，黑的部位显示钴原子分布. 由照片可说明，钆原子和钴原子在区域分布上是比较均匀的.

溅射钆钴膜的磁光特性以及一些测量结果和讨论参阅文献[15].

参 考 文 献

[1] P. Chandhari, J. J. Cuomo, R. J. Gambino, *IBM J. Res. Develop*, **17** (1973), 66.
[2] P. Chandhari, J. J. Cuomo, R. J. Gambino, *Appl. Phys. Lett.*, **22** (1973), 337.
[3] Carl F. Shelton, *IEEE Trans. on mag.*, **9** (1973), 398.
[4] S. R. Herd, P. Chandhari, *Phys. Stat. Sol.*, (a) **18** (1973), 603.
[5] R. Hasegawa, R. J. Gambino, J. J. Cuomo and J. F. Ziegler, *J. Appl. Phys.*, **45** (1974), 4036.
[6] R. J. Kobliska and A. Gangulee, *AIP Conf. Proc.*, **19** (1974), 567.
[7] R. J. Kobliska, R. Ruf and J. Cuomo, *AIP Conf. Proc.*, **19** (1974), 570.
[8] Ryusuke Hasegawa, *J. A. P.*, **45** (1974), 3109.
[9] T. Shirakawa, K. Okamoto, K. Onishi, S. Mataushita and Y. Sakurai, *IEEE Trans. on mag.*, **10** (1974), 795.
[10] D. C. Cronemeyer, *AIP Conf. Proc.*, **18** (1973), 85.
[11] Neil Heiman, A. Onton, D. F. Kyser, Kenneth Lee and C. R. Guarnieri, *AIP Conf. Proc.*, **19** (1974), 573.
[12] M. H. Kryder, K. Y. Ahn and J. V. Powers, *IEEE Tran. on mag.*, **11** (1975), 1145.
[13] S. Matsushita, K. Sunago and Y. Sakurai, *IEEE Tran. on mag.*, **11** (1975), 1169.
[14] C. A. Neugebauer, Structure and Properties of Thin Films p. 358.
[15] 李德忠等，物理学报，**25** (1976), 450.

MAGNETIC PROPERTIES OF SPUTTERED Gd-Co ALLOY FILMS

WANG YIN-JUN CHEN SHU-CHAO ZHENG DE-ZUAN LI DE-ZHONG
GUO HUI-QUN MENG QING-AN
(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The Gd-Co films reported here were prepared by radio frequency sputtering and have been proved to have uniaxial anisotropy perpendicular to the film plane. Electron diffraction results show that these films are amorphous. Also, electron probe analyses show that these films are of uniform composition. Magnetic domains have been observed and hysteresis loops measured, using Kerr's apparatus. It was found that with suitable sputtering conditions, at remanence such films exhibit stripe domains, which, when acted on by a suitable external field perpendicular to the film plane, can transform into bubble domains.