

磁膜厚度对磁性能影响的验证

Probation of Magnetic Performance Depended on Magnetic Film Thickness

高适 供稿

摘要 :文章介绍了一种采用射频磁控溅射技术制作的 CoFeBN 纳米晶软磁薄膜 , 检测了其厚度与磁性能的关系。检测揭示 , 该磁膜的矫顽力在临界厚度时会陡然升高 , 但在其微观结构方面却没有任何明显的差异。此外 , 检测发现 , B 、 N 的含量增大 , 可以减小临界厚度。这些磁特性与磁膜的剩余应力有密切关系。

关键词 :软磁薄膜 , 磁性能 , 厚度 , 验证

中图分类号 : TM27

文献标识码 : B

文章编号 : 1606-7517(2014)10-2-139

1 引言

电子设备和电子器件的迅速发展 , 要求磁元件进一步提高性能 , 如提高工作频率和实现小型化。要提高软磁薄膜的性能 , 不仅要求软磁薄膜具有高的电阻率 (ρ) , 还需要有高的饱和磁化强度 (B_s) 和各向异性场 (H_K)。目前 , FeXN (X 为过渡金属) 磁膜在数百兆频率范围具有优良的软磁性能 , 但当把它们应用到 GHz 频段的磁器件中时 , 其各向异性场则显得太低。实验表明 , 纳米晶 CoFe 基系材料是提高各向异性场性能的优良薄膜材料。但是 , CoFe 基磁膜的磁致伸缩系数通常都较大 , 即使是纳米晶结构也是如此。磁性薄膜的软磁性能与磁膜的厚度密切相关。在此 , 我们仅选择介绍 $(Co_{33}Fe_{67})_{100-x-y}B_xN_y$ 软磁薄膜的磁性能与磁膜厚度的关系。

2 磁膜的制作与性能检测

a. 磁膜制作

用 4 " 的 CoFe 合金靶和 B 片 , 输入功率 450W , 在环境压力小于 10^{-7} 的 N_2+Ar 气氛中按反应射频磁控溅射法制作沉积态 Co-Fe-B-N 软磁薄膜。其工作压力保持在 1 毫克。沉积在硅晶片 (P 型 100) 上的磁膜厚度在 100~300nm 以内。为了获得单轴各向异性 , 在磁膜沉积过程中施加 200(oe) 的定向磁场。

b. 性能检测

采用电子谱仪 (AES) 、 X 射线衍射仪 (XRD) 、透射电镜 (TEM) 等仪器分析磁膜的组成成分和微观结构。用磁强计 (VSM) 测定样品的磁性能。用传统的四点探测法测量电阻率 (ρ) 。用 -step(Tencor, p-10) 测量磁膜的厚度和剩余应力。

3 磁膜性能的讨论分析

图 1(a) 所示为不同成分和磁膜厚度的 CoFeBN 磁性薄膜的 B_s 和 ρ 曲线。正如以上分析 , 成分中的 B 、 N 含量高则会降低 B_s (4 Ms) 值 , 而提高 ρ 值 ; 但是 , 磁膜的厚度变化则不会改变 B_s 值和 ρ 值。然而 , 如图 1(b) 所示 , 矫顽力 (H_c) 的高低则与膜厚密切相关。如 100nm 厚的磁膜 , $H_c<5(oe)$, 可是在某个厚度 (临界厚度) 时 , H_c 值陡然升高。并且 , 这个临界厚度与磁膜的成分有关。随着材料成分中 B 、 N 含量的增加 , 其临界厚度将减薄。图 1(b) 中的黑点圆圈就代表磁膜临界厚度的范围。

图 2(a) 所示为 $(Co_{33}Fe_{67})_{85}B_{4.5}N_{10.5}$ 合金的磁化曲线随磁膜厚度的变化。从该图中可以清楚地看到 , 合金的磁性能与磁膜的厚度密切相关。磁膜样品的曲线有 2 个固有斜率 , 这可能是因为存在着垂直各向异性 (K_{perp}) 的缘故。在其它不同的 B 、 N 含量的磁膜中 , 也可以发现同样的磁化特性。 K_{perp} 的存在 , 是由于磁膜弹性各向异性 (磁膜的剩余应力) 、磁晶各向异性 (织构形成) 和形状各向异性 (柱状结构)

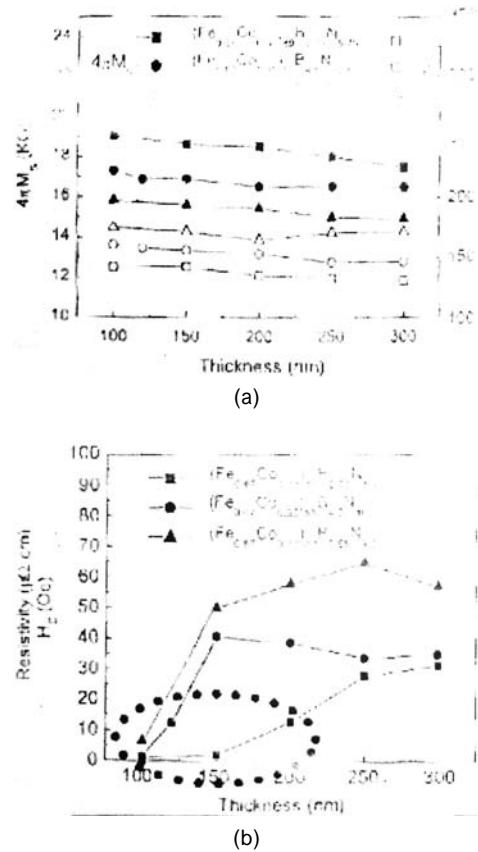


图 1 CoFeBN 合金的饱和磁化强度和电阻率 (a) 及矫顽力 (b) 与磁膜厚度的关系曲线

增大造成的。为检测磁膜的微观结构发生了什么样的变化，进行了 XRD TEM 分析。图 2(b) 示出了 $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ 磁膜系的纳米晶结构，其平均晶粒尺寸大约为 10nm。不管磁膜的成分和厚度如何变化，所测得的磁膜的晶粒尺寸仍然在 10nm 左右，没有发现有任何明显的微观结构变化。此外，在图 2(b) 中选定区域的衍射 (SAD) 图形存在 -CoFe 衍射环，说明这种晶粒为随机取向。将它进行截面 TEM 和 XRD 分析，也没有发现存在任何柱状和织构的结构。由此可见，图 2(a) 中不同的磁化曲线应当与微观结构无关。也没有人发现填隙元素（如 B 和 N）会增大磁膜应力和 K_{perp} ，从而使 CoFe 磁膜产生“条畴”状和更多面内磁特性的各向同性。但有人报道，剩余应力会使矫顽力升高。如图 1(a) 所示，增加 B、N 含量，磁膜的临界厚度将减薄。另外测得了 $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ 和 $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{83}\text{B}_{7.65}\text{N}_{9.35}$ 材料的剩余应力分别为 293Mpa 和 349Mpa。这些测量结果与以

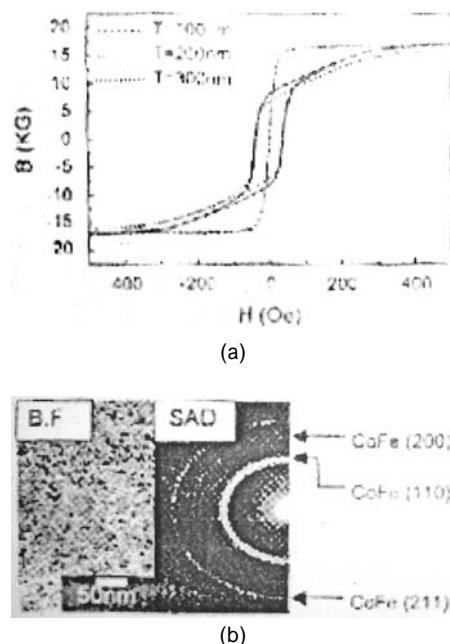


图 2 $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ 合金的磁化曲线随膜厚的变化曲线 (a)，及 $(\text{Co}_{33}\text{Fe}_{67})_{85}\text{B}_{4.5}\text{N}_{10.5}$ 磁膜的 TEM 图像

前所见报告的结果一致。由此得出结论，纳米晶 CoFeBN 磁膜厚度对其软磁性能的影响，不是由织构、柱状结构这些微观结构所造成的，而是由磁膜的剩余应力造成的。为了克服磁膜厚度对其软磁性能的束缚，有科学家制作了厚度为 200nm 厚度的 TiN 层隔开。虽然该磁膜的总厚度远远超过了临界厚度，但测量其 H_c 值仅在 ~5(oe)，这是因为交换耦合和畴壁矫顽力与厚度关系的作用，在实际应用中，这是个非常重要的结论。

4 小结

文章介绍了 CoFeBN 纳米晶薄膜的厚度对其磁性能的影响。检测证明，超过某个厚度值，即临界厚度，磁膜的矫顽力会陡直上升，而饱和磁化强度和材料微观结构则没有变化；增加磁膜中的 B 和 N 含量，可以减小其临界厚度。这些结果表明，磁膜的磁致伸缩在软磁性能中能起关键作用。而且，将这种纳米晶磁膜与 TiN 薄膜相层叠，虽然其总厚度远远超过了纳米晶膜的临界厚度，但可以避免厚度对其软磁性能的影响，这对其实用很有意义。

（参考资料：Magn. Mater., 2004, vol 272-276 pp. 382-384）