

CoFe 涂层对非晶薄带 GMI 效应的影响

曹柏泉,何俊彦

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室,四川 成都 610054)

摘要:通过直流溅射法在 Co 基非晶薄带($\text{Co}_{66}\text{Fe}_4\text{NiSi}_{15}\text{B}_{14}$)上制备不同厚度的 CoFe 薄膜层,观察其巨磁阻抗(GMI)效应在 120 kHz~3 MHz 频率范围内随外加磁场的变化。实验结果显示,在 Co 基非晶薄带上涂覆 CoFe 薄膜,可提高薄带的 GMI 效应。研究发现,当趋肤效应显著时材料表面粗糙度对 GMI 效应有较大影响。通过在 Co 基非晶薄带表面镀膜的方式降低样品表面粗糙度,减小表面退磁场的影响,并闭合样品磁通回路,从而提高样品 GMI 效应。

关键词:直流溅射;Co 基非晶薄带;GMI 效应;趋肤效应

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A

GMI Effect in CoFe Coated Amorphous Ribbons

CAO Baiquan, HE Junyan

(State Key Lab. of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: We grew a CoFe thin film on the surface of Co-based amorphous ribbon ($\text{Co}_{66}\text{Fe}_4\text{NiSi}_{15}\text{B}_{14}$) to investigate the effect of this coating on giant magneto-impedance (GMI). We investigated GMI over a frequency range of 120 kHz~3 MHz and under a static magnetic field. The results show that GMI for amorphous ribbons can be enhanced by this coating process. The study found that surface roughness effect on the GMI when skin effect is significant. The very large enhancement of the GMI value is a consequence of reducing the sample surface roughness, reducing the influence of the surface demagnetizing field and the closed magnetic flux path under the CoFe film layer.

Key words: DC sputtering; Co-based amorphous ribbons; GMI effect; skin effect

0 引言

1992 年, Mohri 等^[1]在 CoFeSiB 软磁非晶细丝中发现了巨磁阻抗(GMI)效应,即当对非晶丝通以交流电流时,细丝两端感生的交流电压随着沿丝纵向所施加的一个很小外磁场的变化而灵敏变化。GMI 效应具有灵敏度高,响应速度快,非接触性测量及敏感元件体积小等特点,为开发新型电流传感器提供可能。目前对 GMI 效应传感器的研究侧重于对敏感元件性能的研究上,如何提高材料的 GMI 效应是研究的重点。

研究发现,趋肤效应显著时材料表面粗糙度对 GMI 效应有较大影响^[2-4]。粗糙表面产生退磁场以及表面不规则度大于趋肤深度,都将导致 GMI 效应的减小。Amalout^[5]采用物理抛光与化学腐蚀方式,得到表面粗糙度较小的样品,减小了材料有效磁各向异性,增加了材料的软磁性能。Laurita^[6]、Peksoz 等^[7-8]研究了不同涂敷层(Co, ZnO)对薄带

GMI 效应影响,发现当趋肤效应显著时,薄带表面微小变化都将会对材料 GMI 效应产生影响,粗糙表面产生的退磁场将影响材料 GMI 效应,表面涂敷层使样品形成闭合磁路,也提高了样品 GMI 效应。

本文通过在 $\text{Co}_{66}\text{Fe}_4\text{NiSi}_{15}\text{B}_{14}$ 表面涂覆不同厚度的 CoFe 薄膜层,来研究表面镀膜对薄带 GMI 效应的影响。

1 实验方法

实验使用的非晶带材是上海世路特种金属材料公司生产的 $\text{Co}_{66}\text{Fe}_4\text{NiSi}_{15}\text{B}_{14}$, 薄带宽 2 mm, 厚度 25 μm , 长度 10 mm。采用直流溅射法在薄带上涂覆 CoFe 薄膜,靶材为采用传统陶瓷工艺制备的 CoFe。钴铁薄膜的制备工艺条件:背底真空 3×10^{-5} Pa, 溅射功率 30 W, 溅射时间分别为 30 min, 40 min, 50 min, 制备的钴铁薄膜厚分别约为 300 nm, 400 nm, 500 nm。

收稿日期:2012-07-03

作者简介:曹柏泉(1987-),男,江苏南通人,硕士,研究方向:微磁传感器。

材料的表面形貌采用 Digital Instruments 公司的 Nanoscope 原子力显微镜进行。GMI 效应测量系统由 Agilent 4285A 阻抗分析仪配以亥姆霍兹线圈(Helmholtz Coil)等组成,采用四点法测量样品阻抗,激励电流沿带轴方向,直流磁场施加于样品轴向,样品夹具与测试仪之间用同轴电缆连接。为避地磁场干扰,直流磁场方向与地磁场垂直,测试时交流幅值保持在 10 mA。测量结果表示成巨磁阻抗比随外加直流磁场的变化曲线,其表达式为

$$\Delta Z/Z = \frac{Z(H_{ex}) - Z(H_{max})}{Z(H_{max})} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\Delta Z/Z$ 为巨磁阻抗比; $Z(H_{ex})$ 为任意磁场 H_{ex} 下的巨磁阻抗; $Z(H_{max})$ 为最大磁场 H_{max} 下的巨磁阻抗。

2 结果与讨论

图 1 为 Co 基薄带镀膜前、后样品的表面形貌图。由图 1(a)可看出,由于制备工艺等原因,其表面不光滑,出现了条纹状裂痕。由图 1(b)~(d)可看出,随着膜厚的增加,薄带表面的平整度由好变差,400 nm 时薄带表面的平整度最好。这是因为在镀膜过程中原子沉积在样品表面,填充条纹裂痕,使薄带表面变平整,但随着溅射时间进一步增加,样品表面产生大量中心高,四周低的颗粒状突起,难以通过表面扩散消除,因此表面粗糙度增加。通过 AFM 可得出,镀膜前、后 Co 基薄带表面粗糙度的平均值及均方根值分别为 17.34 nm,23.1 nm;16.8 nm,23 nm;11.1 nm,14.2 nm;14.8 nm,18.1 nm。

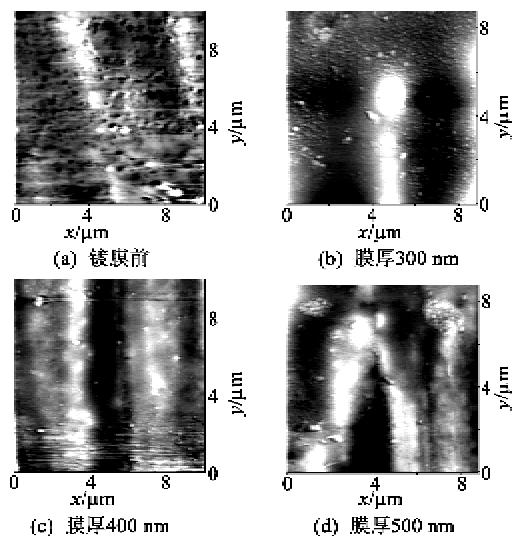


图 1 镀膜前、后 Co 基非晶薄带表面二维形貌图

图 2 为在室温下测得的镀膜前、后样品的磁滞回线。由图可以得出,镀膜前、后样品的矫顽力(H_c),即未镀膜样品的 $H_c = 313.54$ A/m,膜厚 300 nm 样品的 $H_c = 335.02$ A/m,膜厚 400 nm 样品的 $H_c = 335.82$ A/m,膜厚 500 nm 样品的 $H_c = 336.61$ A/m。可认为在 Co 基薄带表面镀 CoFe 薄膜并未改善薄带的软磁性能。

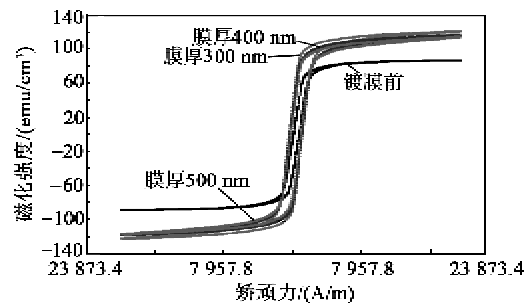
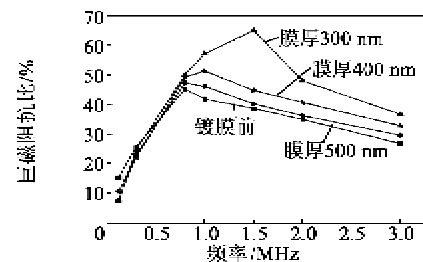
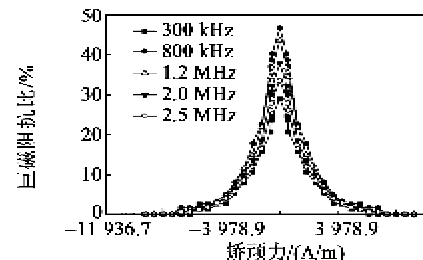


图 2 镀膜前、后样品的磁滞回线

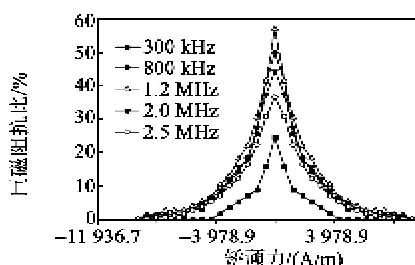
图 3(a)为镀膜前后样品的巨磁阻抗比与激励频率的关系曲线。由图可见,随着频率的升高,镀膜与未镀膜样品的巨磁阻抗比都先增大后减小。对于未镀膜的薄带在频率为 800 kHz 时巨磁阻抗比达最大(46.2%),镀膜厚 400 nm 的薄带在频率为 1.5 MHz 时巨磁阻抗比达最大(65%)。这是因为在低频下,由畴壁位移和磁畴转动贡献的磁导率,使材料 GMI 效应达到最大;频率继续增加,畴壁位移由于涡流阻尼而钉扎,对磁导率贡献主要来自磁畴转动,导致 GMI 效应减小。



(a) 最大巨磁阻抗比与激励频率关系



(b) 未镀膜的 Co 基非晶薄带的巨磁阻抗比与外加磁场的变化



(c) 膜厚400 nm的Co基非晶薄带的巨磁阻抗比与外加磁场的变化

图3 最大巨磁阻抗比与激励频率关系及未镀膜和膜厚400 nm的Co基非晶薄带的巨磁阻抗比与外加磁场的变化

由图3(a)可看出,当频率较低时,未镀膜样品的巨磁阻抗比比镀膜样品高;随着频率的升高,镀膜样品的巨磁阻抗比比未镀膜样品,且随频率的变化更显著。由图2可知,未镀膜样品的软磁性能比镀膜后的样品好,所以在频率较低时未镀膜样品的巨磁阻抗比更大;当频率升高后,镀膜样品的巨磁阻抗比较未镀膜样品得到了提高,并随着薄带表面粗糙度的减小,薄带的巨磁阻抗比越显著。这可能是由于未镀膜样品的粗糙表面突起不平,局部形成了回路磁场,从而使表面退磁场增加,导致GMI效应减小,且在高频下这种现象更明显。通过在薄带表面镀CoFe薄膜层则降低了表面粗糙度,减小表面退磁场的影响,且闭合样品磁通回路,因而提高了样品GMI效应。

图3(b)、(c)分别为频率0.3~2.5 MHz下未镀膜与镀膜厚为400 nm的Co基非晶薄带的巨磁阻抗比与外加磁场的变化曲线。通过比较图3(b)、(c)可见,当激励电流的频率达到一定时,镀CoFe薄膜的Co基非晶薄带巨磁阻抗比得到提高。

3 结束语

通过在 $10\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 25\text{ }\mu\text{m}$ 的Co基非晶薄带上镀CoFe薄膜层,研究镀膜样品与未镀膜样品GMI效应随激励电流频率和外加磁场强度的关系,以及膜厚对非晶薄带GMI效应的影响。研究发现,频率较高时有CoFe薄膜层的样品与未镀膜样品相比,GMI效应得到了改善,并随着膜厚的增加样品的巨磁阻抗比先增加后减小。对于膜厚400 nm的样品,在激励频率1.5 MHz时样品最大巨磁阻抗比

为65%,而未镀膜样品为38.7%,提高近30%。通过AFM观测样品表面形貌,发现镀膜后样品的表面粗糙度较镀膜前得到了明显的减小,表面更加的平整。

通过研究发现,趋肤效应显著时材料表面粗糙度对GMI效应有较大影响,由于粗糙表面突起不平,局部会形成回路磁场,从而使表面退磁场增加。在薄带表面镀膜降低了表面粗糙度,减小表面退磁场的影响,且闭合样品磁通回路,因而提高了样品GMI效应。

参考文献:

- [1] MOHRI K, KAWASHIMA K, YOSHIDA H, et al. Magneto-inductive effect (MI effect) in amorphous wires[J]. IEEE Trans Magn, 1992, 28(5): 3150-3152.
- [2] KRAUS L. GMI modeling and material optimization [J]. Sens Actuators A, 2003, 106: 187-194.
- [3] CHATURVEDI A, DHAKAL T, WITANACHCHI S, et al. Correlation between magnetic softness, sample surface and magnetoimpedance in $\text{Co}_{69}\text{Fe}_{4.5}\text{X}_{1.5}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ($\text{X}=\text{Ni}, \text{Al}, \text{Cr}$) amorphous ribbons[J]. Physica B, 2010, 405: 2836-2839.
- [4] LE A T, KIM C O, CHAU N, et al. Soft magnetic properties and giant magneto-impedance effect of $\text{Fe}_{73.5-x}\text{Cr}_x\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Au}_1$ ($x=1\sim5$) alloys[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2006, 307: 178-185.
- [5] AMALOU F, GIJIS M A M. Giant magnetoimpedance of chemically thinned and polished magnetic amorphous ribbons[J]. J Appl Phys, 2001, 90(7): 3466-3470.
- [6] LAURITA N, CHATURVEDI A, PHAN M H, et al. Enhanced giant magnetoimpedance effect and field sensitivity in Co-coated soft ferromagnetic amorphous ribbons[J]. J Appl Phys, 2011, 109(7): 26-32.
- [7] PEKSOZ A, KAYA Y, TAYSIOGLU A A, et al. Giant magneto-impedance effect in diamagnetic organic thin film coated amorphous ribbons[J]. Sens Actuators A, 2010, 159: 69-72.
- [8] TAYSIOGLU A A, KAYAS Y, PEKSOZ A, et al. Giant magneto-impedance effect in thin zinc oxide coated on Co-based(2705X) amorphous ribbons[J]. IEEE Trans Magn, 2010, 46(2): 405-407.