

Longitudinal Giant Magneto-Impedance Effect of $\text{Fe}_{76}\text{Si}_{7.6}\text{B}_{9.5}\text{P}_5\text{C}_{1.9}$ Alloy Ribbon by Current Annealing*

Yun Ma, Wenzhong Li, Linfeng Jin, Jianlong Kou, Yunzhang Fang

Research Center for Light Emitting Diodes, Zhejiang Normal University, Jinhua
Email: mayun615801@163.com

Received: May 6th, 2013; revised: May 9th, 2013; accepted: Jun. 1st, 2013

Copyright © 2013 Yun Ma et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Effectively controlling the giant magneto impedance (GMI) of amorphous soft magnetic materials can expand the application fields. In this paper, the longitudinal GMI changes of the $\text{Fe}_{76}\text{Si}_{7.6}\text{B}_{9.5}\text{P}_5\text{C}_{1.9}$ alloy ribbon-films are studied by using current annealing in the open air. It shows that oxidize process can control the performance of the samples GMI effect. For annealing of 10 min, the soft magnetic properties are improved obviously and the sensitivity is increased greatly. For annealing of 1 h, the GMI of sample shows a good linear relationship.

Keywords: Longitudinal Giant Magneto Impedance; Current Annealing; Linear

电流退火 $\text{Fe}_{76}\text{Si}_{7.6}\text{B}_{9.5}\text{P}_5\text{C}_{1.9}$ 合金薄带的纵向巨磁阻抗效应*

马云, 李文忠, 金林枫, 寇建龙, 方允樟

浙江师范大学 LED 芯片研发中心, 金华
Email: mayun615801@163.com

收稿日期: 2013 年 5 月 6 日; 修回日期: 2013 年 5 月 9 日; 录用日期: 2013 年 6 月 1 日

摘要: 有效地调控非晶软磁材料的巨磁阻抗, 能使其应用的领域更加广泛。本文研究了在大气环境下电流退火过程中 $\text{Fe}_{76}\text{Si}_{7.6}\text{B}_{9.5}\text{P}_5\text{C}_{1.9}$ 合金薄带纵向巨磁阻抗的变化规律, 发现氧化可以调控样品的巨磁阻抗性能。通过 10 min 退火, 样品磁性能得到明显改善, 灵敏度大幅度提高; 1 h 退火, 样品的 GMI 表现出良好的线性关系。

关键词: 纵向巨磁阻抗; 电流退火; 线性

1. 引言

非晶和纳米晶材料, 由于其优异的软磁性能和巨磁阻抗效应(GMI), 在磁敏传感和磁记录等领域有着广泛的应用前景^[1-4], 因而引起了科研人员的广泛关注。目前, 已有 GMI 传感器成功制备, 如: Mohri 等已开发了磁场, 电流, 压力传感器^[5-7]。随着传感器研究和开发的不断深入, 寻找一种成本低, 应用性能

更好的非晶材料显得越来越必要。需要注意的是, 除了 GMI 效应的大小对磁场的灵敏度有重要影响外, GMI 曲线的形状(磁场的敏感区间)对其在不同领域的应用也有着重要的影响^[8]。Fang^[9]和 Kim^[10]等人发现 TGMI 和 AGMI 效应是通过适当热处理改变 GMI 曲线形状来实现对近零场的响应。本文探讨了在大气环境下, $\text{Fe}_{76}\text{Si}_{7.6}\text{B}_{9.5}\text{P}_5\text{C}_{1.9}$ 合金薄带电流退火过程中 GMI 的变化规律, 发现氧化可以调控样品 GMI 曲线的形状, 可使其 GMI 曲线在较宽的磁场范围内, 表现出良好的线性。

*资助信息: 作者感谢 National Key Basic Research Program of China (2012CB825700)的资助。

2. 实验

用单辊快淬法喷制宽 0.35 mm, 厚 0.033 mm 的 Fe₇₆Si_{7.6}B_{9.5}P₅C_{1.9} 合金薄带, 截成 100 mm, 在大气环境中进行电流退火, 退火电流密度为 50 A·mm⁻², 然后对其纵向巨磁阻抗进行测量。如图 1 所示, 测量阻抗时, 截取 100 mm 合金带中间部分长度为 15 mm 的薄带, 放入一个线圈内, 组成一个等效的阻抗组件。用频率为 300 KHz 的 10 mA 正弦交流电驱动线圈, 对样品产生一个纵向的驱动场。线圈为线径 0.11 mm 漆包线绕制成的 100 匝内直径 0.57 mm 的螺线管, 外加的直流磁场由一赫姆赫兹提供, 纵向阻抗值 Z 采用 HP4294A 型阻抗分析仪测得^[11]。

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

(1)式中 Z_{H_{ex}} 和 Z_{H_{max}} 分别表示任意外加磁场和最大外加磁场下样品的阻抗值。

3. 结果与讨论

图 2 所示为铸态, 电流密度为 50 A·mm⁻² 退火 10

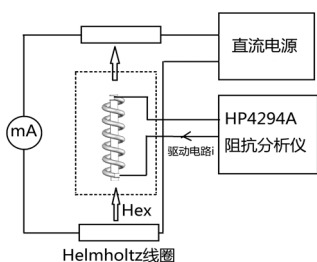


Figure 1. Schematic diagram for the measurement of longitudinal giant magneto-impedance

图 1. 纵向巨磁阻抗测量原理示意图

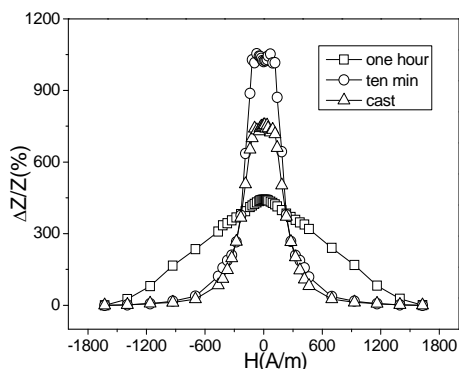


Figure 2. GMI curves of samples as-cast, annealed in air for ten minutes and for an hour, respectively

图 2. 铸态样品, 大气中退火 10 分钟和 1 小时的样品巨磁阻抗

min 和 1 h 样品的 GMI 曲线。可以看到, 10 min 退火后样品的灵敏度明显增高, 最大阻抗比由铸态的 754% 增大到 1035%。这种巨磁阻抗性能的改善, 是由于退火过程中薄带成型时的应力得到了释放。随着退火时间的增长, GMI 曲线的最大值减小, 曲线展宽, 半高宽增大, 在 1 小时退火后, 最大阻抗比下降到 441%, 而 GMI 曲线则表现出线性特性。

经拟合在 0~1162 A/m 的磁场范围内, 线性相关系数为 0.995。图 3 所示为铸态和 1 h 电流退火样品表面的 XRD 谱线, 铸态样品 XRD 谱线典型的馒头峰, 处于非晶状态; 1 h 电流退火后样品的 XRD 曲线依然有一明显的馒头峰, 处于非晶状态, 只多出一个 Fe₂O₃ 的峰, 这说明在整个退火过程中样品的没发生相变, 最大阻抗比的变化与氧化有关。

为了进一步确定是否与表面的氧化有关, 图 4 给出了退火过程, 样品表面的变化, 为便于观察, 在铸态样品上找到了一适合观察的特征点。从图中可见, 10 min 退火样品表面已经有了一层浅浅的暗色出现, 随着退火时间的增长, 这层暗色上不断有新的颗粒长出, 到 1 h 时样品表面有大量的不均匀分布的氧化颗粒形成, 这说明在退火过程中, 氧化是从样品表面慢慢开始。这种氧化会导致样品表面合金成分的偏析, 正是这种偏析导致了样品纵向巨磁阻抗曲线的变化。

4. 结论

1) 大气环境中对 Fe₇₆Si_{7.6}B_{9.5}P₅C_{1.9} 非晶薄带短时间(10 min)的电流退火, 能释放材料成型时引入的应力, 改善材料的软磁性能, 阻抗比最大值达到 1035%。

2) 长时间退火(1 h)样品则表现出良好的线性, 在 0~1162 A/m 的磁场范围内, 线性相关系数为 0.995。

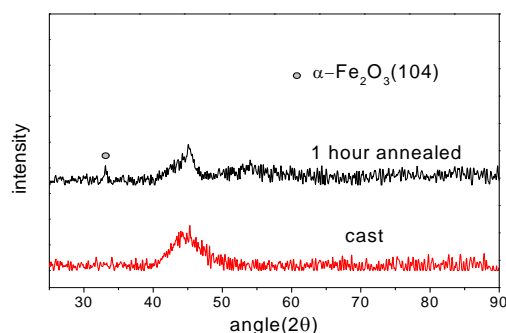


Figure 3. The XRD patterns of samples as-cast and annealed by current for an hour

图 3. 铸态和一小时电流退火和样品的 XRD 谱线

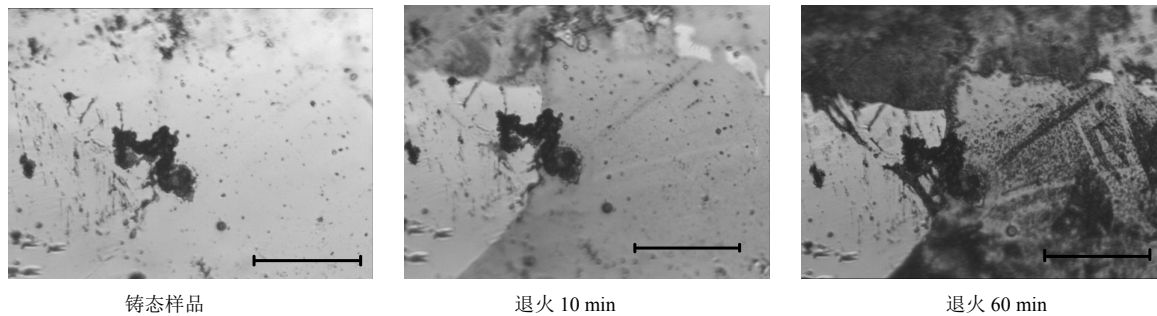


Figure 4. Optical micrographs of the sample surface during the annealing process
图 4. 电流退火过程样品表面的原位观测

3) 退火时间延长, GMI 效应的变化与样品表面的氧化有关。当退火时间较短时, 表面氧化较少, 样品以释放内应力为主, 软磁性能得到改善。随着退火时间的增长, 氧化加重, 样品表面成分发生偏析, 导致样品阻抗性能下降。适当地控制氧化程度就可以调控样品的巨磁阻抗性能, 以适用于不同的领域。

参考文献 (References)

- [1] M. H. Phan, H. X. Peng, S. C. Yu, et al. Optimized giant magnetoimpedance effect in amorphous and nanocrystalline materials. *Journal of Applied Physics*, 2006, 99(8): Article ID: 08C505.
- [2] I. Giouroudi, H. Hauser, L. Musiejovsky, et al. Giant magnetoimpedance sensor integrated in an oscillator system. *Journal of Applied Physics*, 2006, 99(8): Article ID: 08D906.
- [3] G. V. Kurlyandskaya, V. F. Miyar, A. Saad, et al. Giant magnetoimpedance: A label-free option for surface effect monitoring. *Journal of Applied Physics*, 2007, 101(5): Article ID: 054505.
- [4] T. Nakai, K. Ishiyama and J. Yamasaki. Analysis of steplike change of impedance for thin-film giant magnetoimpedance element with inclined stripe magnetic domain based on magnetic energy. *Journal of Applied Physics*, 2007, 101(9): Article ID: 09N106.
- [5] K. Mohri, T. Uchiyama and P. V. Panina. Recent advances of micro magnetic sensors and sensing application. *Sensors and Actuators A: Physical*, 1997, 59(1-3): 1-8.
- [6] R. Valensuela, J. J. Freijo, A. Salcedo, A. Hernando, et al. A miniature dc current sensor based on magnetoimpedance. *Journal of Applied Physics*, 1997, 81(8): 4301-4303.
- [7] M. Tejedor, B. Hernando, M. L. Sanchez, et al. Magnetoimpedance effect in amorphous ribbons for stress sensor application. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2001, 81(1-3): 98-101.
- [8] M. H. Phan, H. X. Peng. Giant magnetoimpedance materials: Fundamentals and applications. *Progress in Materials Science*, 2008, 53(2): 323-420.
- [9] Q. K. Man, Y. Z. Fang. A new type of longitudinally driven GMI effect of FeCo-based alloy. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(3): 329-334.
- [10] C. G. Kim, K. J. Jang, H. C. Kim, et al. Asymmetric giant magnetoimpedance in field-annealed Co-based amorphous ribbon. *Journal of Applied Physics*, 1999, 85(8): 5447-5449.
- [11] 杨介信, 杨燮龙, 陈国等. 一种新型的纵向驱动巨磁致阻抗效应[J]. *科学通报*, 1998, 43(10): 1051-1053.