

$\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 磁性的 Preisach 模拟

席 力^{1,2}, 池俊红², 葛世慧², 李成贤², 刘青芳^{1,2}

(1.兰州交通大学 光电技术与智能控制教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730070;

2.兰州大学 磁学与磁性材料教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 用溶胶-凝胶法制备了多晶 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 块状样品。利用超导量子磁强计测量了样品在不同状态下的场冷却、零场冷却、等温剩磁、热剩磁曲线以及磁滞回线, 分析得到了样品的技术磁化参数。用相同的一套参数, 利用基于双势阱的 Preisach 模型再现了样品所有的磁测量曲线, 得到了耗散场的大小和分布。

关键词: 类钙钛矿锰氧化物; 磁性; Preisach 模型

中图分类号: O482

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2007)01-0025-03

MODELING THE IRREVERSIBLE RESPONSE OF $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ BASED ON PREISACH MODEL

XI Li^{1,2}, CHI Jun-hong², GE Shi-hui², LI Cheng-xian², LIU Qing-fang^{1,2}

(1.Key Laboratory of Opto-Electronic and Intelligent Control of Ministry of Education, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Key Lab for Magnetism and Magnetic Materials of the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The lumpish polycrystalline $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ samples were fabricated by sol-gel method. The temperature dependence of the field cooled moment, the zero field cooled moment, the thermoremanent moment, and the isothermal remanent moment were collected in a fixed external field by SQUID. The numerical simulations clearly replicate all of the experimental data using the same parameters based on the Preisach model. The distribution of the dissipation field is obtained.

Key words: perovskite manganites; magnetic properties; Preisach model.

1 引 言

测量磁性样品的场冷却 FC 磁矩、零场冷却 ZFC 磁矩、热剩磁磁矩 TRM 以及等温剩磁磁矩 IRM 的温度和磁场依赖性, 一直是磁性样品的有力表征工具^[1]。由于 FC 和 TRM 曲线对磁性相的改变很敏感, 因而常用来表征顺磁到铁磁性的转变以及顺磁向自旋玻璃态的转变等。而 ZFC 和 IRM 通常展现出热弛豫的效应, 因而影响矫顽力的温度依赖性。FC 和 ZFC 曲线的分叉表明了不可逆磁性的存在, 两条曲线分开的程度常用来区分铁磁性和超顺磁性、自旋玻璃态等。尽管目前对它们的测量非常的普遍, 但是一般都是定性的说明, 很少用理论来定量的讨论。作者利用 Preisach 模型模拟了多晶 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 不同状态下的不可逆磁响应曲线。

2 实 验

多晶 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 块体样品利用溶胶-凝胶法(sol-gel)得到。首先, 把 $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

收稿日期: 2006-09-19.

基金项目: 国家自然科学基金(50371034) 和兰州交通大学光电技术与智能控制教育部重点实验室开放课题(K04113)资助。

作者简介: 席力(1973-), 男, 陕西省勉县人, 博士, 从事磁学和磁性薄膜技术研究。

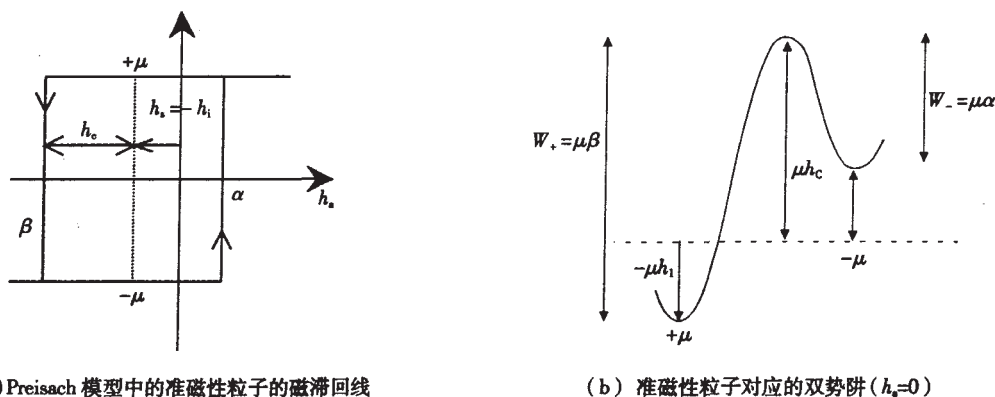
和 $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 按 0.7 0.3 1.0 的摩尔比溶解于蒸馏水中, 再将一定量的聚乙烯醇 (PVA) 加入去离子水中并加热到 60~80 , 使其完全溶解。然后加入上述硝酸盐溶液, 搅拌 1 h 左右得到溶胶体。将溶胶体脱水后得到凝胶体。最后使凝胶体在 520 K 下分解, 并在 800 K 下在空气中预烧结。将预烧产物在 250 MPa 的压力下压成形, 然后再在不同的温度下在空气中烧结。样品的磁性利用 PPMS 6000 型量子磁强计测得。

3 结果和讨论

在磁化过程中, 整个磁性系统经历着磁畴的连续改变, 也就是巴克豪森跳跃的连续改变。Preisach 模型^[1]将每一个磁畴分解为具有 2 个磁性状态的准磁性粒子。在磁化过程中, 整个系统的磁矩就为所有的准磁性粒子的磁矩之和。每一个准磁性粒子的磁矩为 μ , 也就是磁化过程中每一个巴克豪森跳跃中的磁矩的改变量。如图 1 所示, 准磁性粒子具有 2 种可能的磁性状态 $\pm\mu$, 相应于磁矩向上或向下排列。从能量的角度来说, 准磁性粒子对应着一个独立的双势阱, 具有两势垒高度 $W_{\pm} = \mu(h_c \pm h_i)$, 相应准磁性粒子磁矩翻转的 2 个临界场 $\alpha = h_c - h_i$, $\beta = -h_c - h_i$ 。其中 h_c 称为耗散场, 代表在外场 $h_a = 0$ 时, 粒子在 $\pm\mu$ 之间变化时所需施加的磁场; h_i 表示准磁性粒子之间相互作用场的大小。每一个准磁性粒子都具有历史记忆特性的磁化状态: 当 $h_a \geq \beta$ 时, $m = (1-f)\mu \pm f\mu[1 - e^{-\lambda|h_a|}]$; 当 $h_a \leq \alpha$ 时, $m = -(1-f)\mu \pm f\mu[1 - e^{-\lambda|h_a|}]$ 。其中 $0 \leq f \leq 1$; h_a 为所加外场的大小。这二式中最后一项代表样品中可逆的磁化部分对磁矩的贡献。对于一给定的磁性材料来说, 可以选择特定的准磁性粒子在 Preisach 平面上的分布几率密度, 作者选择下式来描述

$$p(h_c, h_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_c} \exp\left(-\frac{(h_c - \bar{h}_c)^2}{2\sigma_c^2}\right) \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} \exp\left(-\frac{h_i^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

热扰动通过下式将降低所有的自由能势垒的高度: $W^* = k_B T \ln\left(\frac{t_{\text{exp}}}{\tau_0}\right)$, 其中 t_{exp} 为测量时仪器的时间常数。双势阱的各个参数的本征温度依赖性由下述表达式描述: $\mu(T) = \mu_0 f_{\mu}\left(\frac{T}{T_c}\right)$, $\bar{h}_c(T) = \bar{h}_{c0} f_{\bar{h}_c}\left(\frac{T}{T_c}\right)$, $\sigma_c(T) = \sigma_{c0} f_{\sigma_c}\left(\frac{T}{T_c}\right)$, 以及 $\sigma_i(T) = \sigma_{i0} f_{\sigma_i}\left(\frac{T}{T_c}\right)$ 。其中, 当 $T \rightarrow T_c$ 时, $f\left(\frac{T}{T_c}\right) \rightarrow 0$ 。关于各个磁性参数的数学计算的详细描述见参考文献^[2-4]。



(a) Preisach 模型中的准磁性粒子的磁滞回线

(b) 准磁性粒子对应的双势阱 ($h_a = 0$)

图 1 Preisach 模型

图 2 和图 3 为 FC、ZFC、IRM 和 TRM 在不同磁场下的温度依赖性。其中 ZFC 和 IRM 曲线的测量是首先将样品从 350 K 的温度下在零场中冷却到温度 T, 然后连续地施加和去掉磁场 h_a , 再分别测量样品的磁矩而得到。将样品在非零的磁场 h_a 中从 350 K 冷却到温度 T, 然后测量其磁矩得到 FC 曲线, 去掉磁场 h_a 后测得 TRM 曲线。这里分别选择 $h_a = 50$ Oe ($1 \text{ Oe} = 79.577 \text{ 5 A/m}$) 和 300 Oe 来示意磁矩及剩磁在不同外场下的变化趋势。由图可以看出, 对于不同的 h_a , IRM 曲线都和 ZFC 曲线具有相似的形状, 只是大小不同。在低场

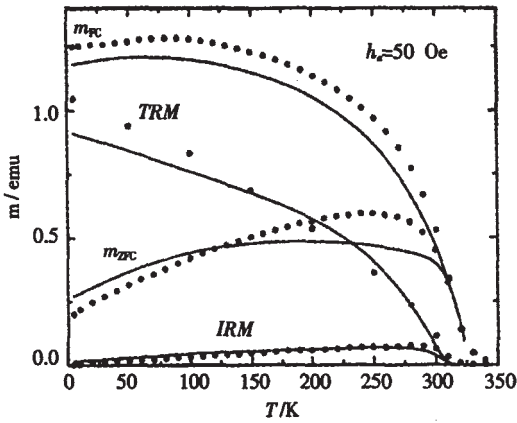


图2 50 Oe 磁场下的 FC、ZFC、IRM 和 TRM 曲线
(实线为模拟结果,点为测量值)

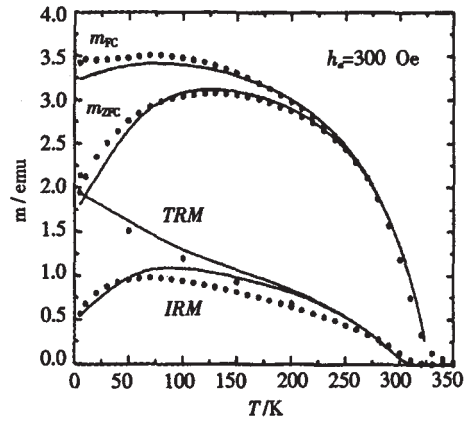


图3 300 Oe 磁场下的 FC、ZFC、IRM 和 TRM 曲线
(实线为模拟结果,点为测量值)

下, TRM 曲线具有和 FC 曲线基本相似的形状, 都为下凹型; 而在高场下, TRM 曲线改变了其弯曲的形状, 变为上凹型, 而且 TRM 曲线和 FC 曲线之间的分离也很大。图 4 所示为 5 K 温度下的磁滞回线, 其中包括起始磁化曲线、磁化状态下的剩磁曲线 (IRM) 以及退磁状态下的剩磁曲线 (IRMd)。可看出矫顽力约 190 Oe, 它比由退磁状态下的剩磁所决定的矫顽力(不可逆磁化所决定的本征矫顽力) 290 Oe 小很多, 表明可逆磁化在样品中占有较高的比例。在所有的图中, 实线都是根据 Preisach 模型模拟得到的。图 5 所示为表示巴克豪森跳跃大小的元磁矩 $\mu(T)$ 和平均耗散场 $\bar{h}_c(T)$ 的温度依赖关系, 以及由 $\mu(T)$ 和 $\bar{h}_c(T)$ 定义的平均耗散势垒的大小 $W_d(T) = \mu(T) \bar{h}_c(T)$, 以及它们和热能 $W^* = k_B T \ln(\frac{t_{\text{exp}}}{T_0})$ 、矫顽力的测量值之间的关系。在整个模拟中其他的参数值为: $\bar{h}_{c0} = 300$ Oe 为 5 K 温度下样品的剩磁矫顽力, $\sigma_{c0} = 210$ Oe, $\sigma_{i0} = 105$ Oe, $f = 0.65$, $\lambda = 0.3 \text{ Oe}^{-1}$, $\ln(\frac{t_{\text{exp}}}{T_0}) = 25$, $m_{\text{ex}} = 6.22 \text{ emu}$ 。

4 结 论

用相同的一套参数, 利用 Preisach 模型基本上给出了与所有的实验测量结果相近似的变化关系。值得指出的是, 在本系统中热激发所导致的弛豫只占很小的比例, 相反外场所导致的巴克豪森跳跃和其本征的温度依赖性占主导地位, 如图 5 所示。另外, 尽管 Preisach 模型中本身就包含了一部分可逆的变化量, 但是

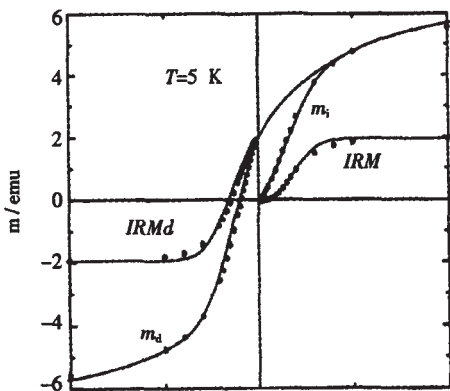


图4 5 K 温度下的起始磁化曲线(m_i)、反向退磁曲线(m_d)、磁化状态下的剩磁曲线(IRM)以及退磁状态下的剩磁曲线(IRMd) (实线为模拟结果,点为测量值)

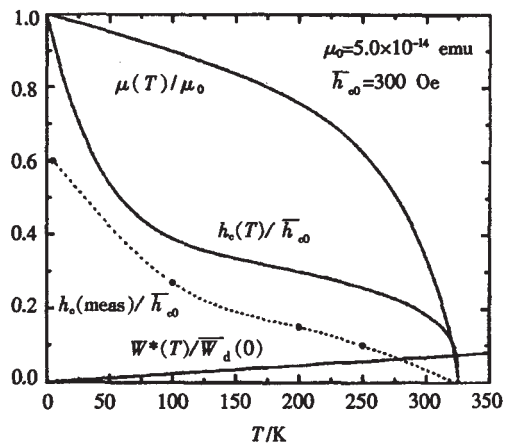


图5 矫顽力的测量值($H_c(\text{meas})$)、Preisach 模拟中矫顽场的平均值 $\bar{h}_c(T)$ 、磁矩 $m(T)$ 以及热扰动能 $W^*(T)$ 随温度的变化关系
(下转第 37 页)

M 及开/关机命令等), 在主程序中对这些参数重新进行计算变换, 刷新事件管理器 EVA 设置, 实现对制冷机的运行频率、幅度、相位等参数的调控。

运行参数的测量是在 A/D 转换子程序中完成, 加入了软件滤波, 以防止干扰。

控制器的主程序流程如图 2 所示。

4 工艺结构设计

控制器的功率驱动电路和其他电路在空间上隔离。测量信号线和驱动线通过不同的电缆输入或输出。DSP 及周围电路采用 4 层板设计, 尽可能选用贴片器件。控制器采用金属外壳整体屏蔽。

5 结 论

采用新方案设计的斯特林制冷机控制器体积较单片机方案减少约 1/3。由于波形的改善, 使系统的功效也有所改善。由于集成度提高, 大量减少了元器件, 所以有助于提高控制器可靠性指标。

斯特林制冷机是一个精密复杂的系统, 控制器的优劣对系统的性能影响很大。采用 DSP 作为控制器核心, 在改善电机电流波形, 减少损耗的同时, 由于其计算能力强、存储空间大、对相关控制算法更易实现, 因而为进一步实现斯特林制冷机的自适应控制打下较好的基础。

参考文献:

- [1] 何苏勤, 王忠勇. TMS320C2000 系列 DSP 原理及实用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] 朱建炳, 潘雁频. 星载斯特林制冷技术研究进展[J]. 真空与低温, 2005, 11(3) : 131~134.

(上接第 27 页)

$f=0.65$ 表明在本系统中可逆的磁化机制所占的比例较高。这也是图 5 中所示在相同温度下耗散场(矫顽场) 分布的平均值 $\overline{h_c}(T)$ 比实验测量得到的矫顽力 h_c 大的原因。

参考文献:

- [1] BERTOTTI G. Hysteresis in Magnetism [M]. New York: Academic, 1998.
- [2] SONG T, ROSHKO R M. Preisach model for systems of interacting superparamagnetic particles [J], IEEE Trans Magn, 2000, 36: 223~225.
- [3] SONG T, ROSHKO R M, DAHLBERG E D. Modelling the irreversible response of magnetically ordered materials: a Preisach-based approach [J]. J Phys Condens Matter, 2001, 13: 3 443~3 448.
- [4] ROSHKO R M, XI L. Modeling the irreversible response within the ferromagnetic phase of $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ [J]. J Appl Phys, 2003, 93: 6 653~6 555.

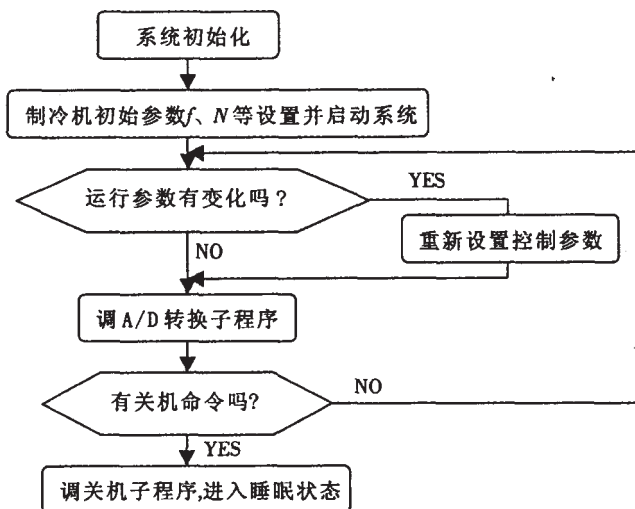


图2 主程序流程图