

学校编码: 10384
学 号: 20720111150097

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

Fe-Ni 基高频软磁多层膜的制备及其性能研究

Fabrication and Performance Investigation of the Fe-Ni
Based High-frequency Soft-magnetic Multilayer Thin Films

徐 睿

指导教师姓名: 彭栋梁 教授

专业 名称: 材料物理与化学

论文提交日期: 2014 年 05 月

论文答辩日期: 2014 年 05 月

学位授予日期: 2014 年 06 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 05 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目 录

摘 要	I
Abstract.....	i
第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 磁性材料的发展.....	1
1.1.2 软磁薄膜.....	2
1.2 研究现状	3
1.3 研究目的	5
参考文献	7
第二章 理论基础	10
2.1 软磁材料静态磁化理论	10
2.1.1 磁化曲线和磁滞回线.....	10
2.1.2 纳米晶软磁材料的基本理论.....	11
2.2 软磁材料动态磁化理论	15
2.2.1 软磁材料的磁损耗机制.....	15
2.2.2 动态磁性参数.....	17
参考文献	19
第三章 样品的制备及分析测试	21
3.1 样品制备	21
3.1.1 溅射镀膜的原理与方法.....	21
3.1.2 磁控溅射设备.....	22
3.1.3 制备工艺的影响.....	23
3.1.4 实验材料.....	24
3.1.5 薄膜生长过程.....	25
3.2 薄膜性能分析测试	25

3.2.1 膜厚测量.....	25
3.2.2 X 射线衍射分析.....	26
3.2.3 扫描电子显微镜与透射电子显微镜分析.....	27
3.2.4 薄膜成分分析.....	28
3.2.5 原子力显微镜分析.....	28
3.2.6 磁性的测量.....	29
3.2.7 电阻率的测量.....	29
3.2.8 高频磁导率的测量.....	30
参考文献	31
第四章 [Fe₈₀Ni₂₀-O/NiZn-ferrite]_n 多层软磁薄膜的制备及性能	32
4.1 引言	32
4.2 实验过程	33
4.3 NiZn-ferrite 层厚度对多层膜结构和性能的影响	34
4.3.1 结构和形貌分析.....	35
4.3.2 静态磁学和电学性能分析.....	37
4.3.3 高频磁学性能分析.....	41
4.4 Fe₈₀Ni₂₀-O 层厚度对多层膜结构和性能的影响	43
4.4.1 结构及形貌分析.....	43
4.4.2 静态磁学和电学性能分析.....	45
4.4.3 高频磁学性能分析.....	48
4.5 基片温度对多层膜结构和性能的影响	50
4.5.1 结构和形貌分析.....	51
4.5.2 成分分析.....	54
4.5.3 静态磁学和电学性能分析.....	55
4.5.4 高频磁学性能分析.....	58
4.6 总层数对多层膜结构和性能的影响	60
4.6.1 结构及形貌分析.....	61
4.6.2 静态磁学和电学性能分析.....	63
4.6.3 高频磁学性能分析.....	66

4.7 本章小结	68
参考文献	70
第五章 $[\text{Fe}_{80}\text{Ni}_{20}\text{-O/SiO}_2]_n$ 多层软磁薄膜的制备及性能	73
5.1 引言	73
5.2 实验过程	73
5.3 基板温度对多层膜结构和性能的影响	74
5.3.1 结构分析.....	74
5.3.2 静态磁学和电学性能分析.....	76
5.3.3 高频磁学性能分析.....	79
5.4 本章小结	81
参考文献	82
第六章 全文总结	84
攻读硕士期间发表论文	86
致谢.....	87

Table of contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	i
Chapter I Introduction	1
1.1 Research Background	1
1.1.1 Development of Magnetic Materials	1
1.1.2 Soft Magnetic Thin Films	2
1.2 Research Status	3
1.3 Research Purposes	5
References	7
Chapter II Related Magnetic Theories	10
2.1 Static Magnetization of Soft Magnetic Materials	10
2.1.1 Magnetization Curves and Hysteresis Loops.....	10
2.1.2 Causes of Soft Magnetic Properties of Nanocrystalline Materials	11
2.2 Dynamic Magnetization Theories	15
2.2.1 Magnetic Loss Mechanism	15
2.2.2 Dynamic Magnetic Parameters	17
References	19
Chapter III Preparation and Characterization	21
3.1 Preparation Methods of Films	21
3.1.1 Principle of Magnetron Sputtering.....	21
3.1.2 Sputtering Equipment	22
3.1.3 Influence of Preparation Technology	23
3.1.4 Experiment Materials.....	24
3.1.5 Growth Process of Thin film.....	25
3.2 Analysis of Films	25

3.2.1 Film Thickness Measurement	25
3.2.2 X-Ray Diffraction Analysis	26
3.2.3 Scanning Electron and Transmission Morphology Analysis	27
3.2.4 Film Component Analysis.....	28
3.2.5 Atomic Force Microscope Analysis	28
3.2.6 Measurement of Magnetic Properties	29
3.2.7 Measurement of Resistivity	29
3.2.8 Measurement of High-Frequency Magnetic Permeability.....	30
References	31
Chapter IV [Fe₈₀Ni₂₀-O/NiZn-ferrite]_n Multilayer Thin Films	32
4.1 Introduction.....	32
4.2 Preparation of Thin Films	33
4.3 Effect of NiZn-ferrite Layer Thickness on Structure and Properties	34
4.3.1 Structure and Morphology Analysis	35
4.3.2 Static Magnetism and Electricity Performance Analysis.....	37
4.3.3 High Frequency Magnetism Performance Analysis	41
4.4 Effect of Fe₈₀Ni₂₀-O Layer Thickness on Structure and Properties	43
4.4.1 Structure and Morphology Analysis	43
4.4.2 Static Magnetism and Electricity Performance Analysis.....	45
4.4.3 High Frequency Magnetism Performance Analysis	48
4.5 Effect of Substrate Temperature on Structure and Properties.....	50
4.5.1 Structure and Morphology Analysis	51
4.5.2 Composition Analysis	54
4.5.3 Static Magnetism and Electricity Performance Analysis.....	55
4.5.4 High Frequency Magnetism Performance Analysis	58
4.6 Effect of Total Thickness on Structure and Properties.....	60
4.6.1 Structure and Morphology Analysis	61
4.6.2 Static Magnetism and Electricity Performance Analysis.....	63
4.6.3 High Frequency Magnetism Performance Analysis	66

4.7 Chapter Conclusion	68
References	70
Chapter V [Fe₈₀Ni₂₀-O/SiO₂]_n Multilayer Thin Films.....	73
5.1 Introduction.....	73
5.2 Preparation of Thin Films	73
5.3 Effect of Substrate Temperature on Structure and Properties.....	74
5.3.1 Structure and Morphology Analysis	74
5.3.2 Static Magnetism and Electricity Performance Analysis.....	76
5.3.3 High Frequency Magnetism Performance Analysis	79
5.4 Chapter Conclusion	81
References	82
Chapter VI Summary	84
Published Papers.....	86
Acknowledgements	87

摘要

随着电子信息技术的迅速发展,电子元器件逐渐向高频化和集成化发展,其对磁性材料的性能需求逐渐提升。目前具有高饱和磁化强度的软磁薄膜引起了学者们的广泛关注。应用于高频范围的软磁薄膜需要具备高饱和磁化强度($4\pi M_s$),高电阻率(ρ),高磁导率(μ)以及可调控的面内磁各向异性场(H_k)等特性。NiZn-铁氧体作为一种金属氧化物不仅具有铁磁性,还有很高的电阻率。将 NiZn-铁氧体作为中间绝缘层与 Fe-Ni 合金复合形成软磁多层膜,铁氧体可为多层膜提供一定的磁性并同时提高多层膜的电阻率,使得该多层膜体系与传统多层膜体系相比可在保持高的饱和磁化强度的同时获得较高的电阻率。此外研究没有磁性的 SiO₂ 作为绝缘层的多层膜有助于探究 FeNi/NiZn-ferrite 多层膜的磁性来源机制。

本研究的主要内容及结果如下:

(1) 采用磁控溅射方法制备了 $[\text{Fe}_{80}\text{Ni}_{20}\text{-O/NiZn-ferrite}]_n$ 和 $[\text{Fe}_{80}\text{Ni}_{20}\text{-O/SiO}_2]_n$ 两种成分的多层膜,通过控制靶材溅射的时间和改变基片温度等参数来改变多层膜的微观结构和性能。

(2) 利用膜厚测试仪、XRD、SEM、TEM、XPS、四探针电阻测试、VSM 及高频磁导率磁谱测试仪等分析测试方法,对纳米软磁多层膜的微观结构、形貌、静态磁学性能、动态磁学性能以及电学性能进行了系统的表征分析。

(3) 研究了 NiZn-ferrite 层厚度、Fe₈₀Ni₂₀-O 层厚度、基片温度以及多层膜总厚度的变化对 $[\text{Fe}_{80}\text{Ni}_{20}\text{-O/NiZn-ferrite}]_n$ 多层膜的微观结构和电学、磁学性能的影响。结论表明在最优条件下制备的多层膜拥有优异的软磁及高频特性。通过改变基片温度可以提高多层膜的饱和磁化强度,改变多层膜绝缘层厚度可以调制多层膜的铁磁共振频率。此外,研究还发现多层膜在总厚度增加时能保持较高的饱和磁化强度和铁磁共振频率,这对多层膜在高频中的应用是十分有意义的。

(4) 研究了不同基片温度对 $[\text{Fe}_{80}\text{Ni}_{20}\text{-O/SiO}_2]_n$ 多层膜的微观结构和电学磁学性能的影响。实验结果表明适宜的基片温度有利于多层膜的结晶过程,优化多层膜的软磁性能以及高频性能。

关键词: Fe-Ni 基薄膜; 软磁性能; 高频性能

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库