



濟南大學

UNIVERSITY OF JINAN

英文或数字等用五号 Times New Roman, 单倍行距, 参考《中国图书馆分类法》

分类号: TN384

学号: 2010010125

汉字五号宋体, 英文或数字等用五号 Times New Roman, 单倍行距, 缩进 2 字符。

初号隶书, 加粗, 居中。

# 博士学位论文

## 老化对 BIFEO3 基薄膜多重铁性的研究

此列汉字四号宋体, 英文或数字等用四号 Times New Roman, 分散对齐。

汉字小二号宋体, 英文或数字等用小二号 Times New Roman, 副标题用小三号宋体或 Times New Roman, 单倍行距, 居中。

作者

王肖鹏

指导教师

黄伟明

合作导师

刘岑

学科

材料科学与工程

学位类别

工学博士

答辩时间

2018 年 1 月 29 日

此列汉字小三号楷体, 英文或数字等用小三号 Times New Roman, 居中。

标题为小二号 Times New Roman,  
副标题为小三号 Times New  
Roman, 粗体, 居中, 行距 30 磅。

# **Influence of Aging Behaviors on Multiferroic Properties of BiFeO<sub>3</sub>-based Thin Films**

**By**

**WANG Xiao Peng**

作者姓名为四号  
Times New Roman,  
粗体, 居中。

**Under the Supervision of**

**HUANG Wei Ming**

导师姓名为四号 Times  
New Roman, 粗体, 居  
中。

**A Thesis Submitted to the University of Jinan**

**In Partial Fulfillment of the Requirements**

**For the Degree of Doctor of \*\*\*\*\***

四号 Times New  
Roman, 粗体, 居  
中, 行距 30 磅。

**University of Jinan**

**Jinan, Shandong, P. R. China**

三号 Times New  
Roman, 粗体, 居  
中, 行距 30 磅。

四号 Times New  
Roman, 粗体, 居中。

**May , 2010**

## 原创性声明

标题为小三号宋体，加粗，居中；正文为四号宋体，左缩进 2 字符，首行缩进 2 字符，行间距为 1.5 倍行距。

本人郑重声明：所提交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：

日期：

## 关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解济南大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借鉴；本人授权济南大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

公开      保密（\_\_\_\_年，解密后应遵守此规定）

论文作者签名：

导师签名：

日期：



自目录部分开始设立页眉页脚信息，小五号宋体。页眉线为粗细双线，粗线在上，奇数页页眉为“济南大学博士学位论文”，偶数页页眉为论文题目。

“目录”为三号黑体，两字中间空两个空格，居中；目录内容分三级，小四号宋体，行间距为 1.5 倍行距。

# 目 录

第一章 绪 论.....	1
1.1 多重铁性.....	1
1.1.1 铁磁性.....	1
1.1.2 铁电性.....	1
1.2 基于铁电薄膜的器件.....	1
1.2.1 铁电存储器.....	2
1.2.2 铁电场效应管.....	2
1.3 铁电薄膜相关物理模型.....	2
第二章 实验方案设计与研究方法.....	3
2.1 原料.....	3
第六章 结论与展望.....	4
参考文献.....	5
致 谢.....	7
附 录.....	8

页脚页码为小五号 Times New Roman，居中；目录、摘要用罗马数字编码，从“1”开始；正文用阿拉伯数字编码，从“1”开始。



## 摘 要

“摘要”标题用三号黑体，两字中间空两格，居中；摘要内容为小四号宋体，行间距为 1.5 倍行距，首行缩进 2 字符；“关键字”为小四号黑体。

在很多材料中都能观察到老化现象，它表现为材料的某些性质随着时间的推移而逐渐发生变化。在铁电材料中，老化行为主要表现为双电滞回线现象和矫顽场的非对称现象。

**关键词：**多重铁；BiFeO<sub>3</sub>；老化行为；低价掺杂





## Abstract

标题为三号 Times New Roman, 加粗, 居中。

Aging behaviors are frequently observed in many kinds of materials, indicating the gradual changes of certain properties of materials with time elapsing. For ferroelectric materials, the aging behaviors mainly include the phenomena of double hysteresis loops and asymmetry of coercive field.

**Key Words:** multiferroic; BiFeO<sub>3</sub>; aging behavior; low-valent doping

小四号 Times New Roman, 加粗。

内容为小四号 Times New Roman, 行间距 1.5 倍行距, 首行缩进 2 字符。



# 第一章 绪论

一级标题为三号黑体，  
段前段后间距各 1 行。

## 1.1 多重铁性

二级标题用小三号黑体，  
段前段后间距各 0.5 行。

多重铁性材料被定义为同时具铁电性、铁磁性和铁弹性材料<sup>[1]</sup>。典型的多重铁性材料包括稀土亚锰酸盐（例如： $TbMnO_3$ 、 $LaMnO_3$ 、 $PrMnO_3$ 、 $NdMnO_3$ 、 $SmMnO_3$ 、 $EuMnO_3$ 、 $GdMnO_3$ 、 $TmMnO_3$ 、 $YMnO_3$ 、 $HoMn_2O_5$ ）、稀土铁氧体（例如： $LuFe_2O_4$ ）、含铋化合物（例如： $BiFeO_3$ 、 $BiMnO_3$ ）和某些氟化物（例如： $BaNiF_4$ ）等<sup>[2,3]</sup>。

正文为小四号宋体或 Times New Roman，  
首行缩进 2 字符，行间距 1.5 倍行距。

### 1.1.1 铁磁性

三级标题用四号黑体，段  
前段后间距各 0.5 行。

过渡族金属（如铁）及它们的合金和化合物所具有的磁性叫做铁磁性，这个名称的由来是因为铁是具有铁磁性的物质中最常见也是最典型的。

### 1.1.2 铁电性

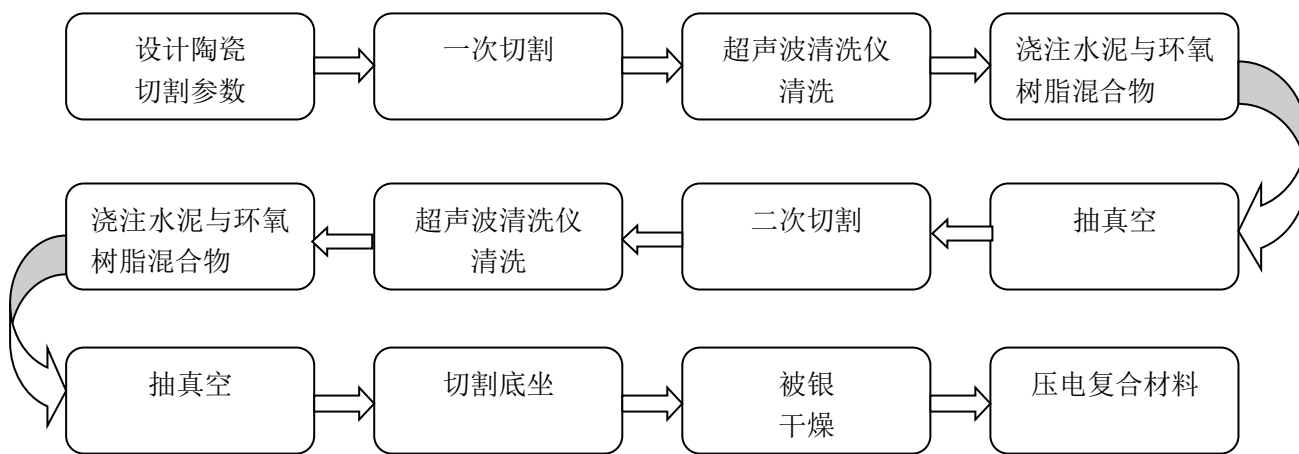


图 1.1 水泥/聚合物基压电复合材料制备流程图

## 1.2 基于铁电薄膜的器件

如上所述，为了使铁电体的极化状态翻转，需要对其施加一定的外加电场。由于铁电薄膜与铁电陶瓷和块材相比在厚度上拥有巨大的优势，所以在铁电薄膜实现极化翻转仅需要很低的电压。这使得铁电薄膜非常适合在集成电路中应用。

图题在图后标注，五号宋体或 Times New Roman，居中，图序与图题间空一个汉字符位。图中字体为五号宋体或 Times New Roman。

### 1.2.1 铁电存储器

基于铁电体存在两个稳定的极化状态的事实，很容易想到将铁电体的两个状态分别表示为 0 和 1，从而达到存储信息的目的。但是，要将这一想法变为现实却非常困难。首先，所有的硅基的电子器件都工作在 5V 以下，而铁电材料典型的矫顽场都在几 kV/cm 的数量级上，因此要满足这一要求必须制备出相当薄的铁电薄膜（亚微米级）。得益于目前先进的薄膜沉积技术，这已不再是问题，并且高密度的非挥发性铁电存储器已经可以商业化。但是，铁电存储器的可靠性却依然是关键的问题。这意味着设计和制造铁电存储器的成本依然很高，并且依然很难保证在使用十年后一枚铁电存储器仍能正常的工作。只有解决了可靠性问题，铁电存储器才能被成功应用。

### 1.2.2 铁电场效应管

使用铁电材料替换场效应管(FET)中制造栅极所用的金属材料，可以制造出场铁电效应管。这种铁电场效应管栅极极化状态可以通过简单的测量源极和漏极之间的电流获得，从而实现的极化状态的非破坏性读出。由于这种读出方式不需要在读取极化状态后对铁电材料进行重新写入的操作，使得对这种器件仅仅进行频繁读出操作的情况下，不会产生明显的疲劳现象。……

### 1.3 铁电薄膜相关物理模型

……

这一模型可表述为翻转的电荷的量是场强和频率的函数，即：

$$\alpha_{(h'k'l)} = \frac{I^f_{(h'k'l)} / I^p_{(n'k'l)}}{\sum (I^f_{(hld)} / I^p_{hld})} \quad (1.1)$$

公式、算式和方程式须用公式编辑器书写，序号应注于该式所在行（当有续行时，应注于最后一行）的最右端。

## 第二章 实验方案设计与研究方法

### 2.1 原料

表题置于表的上方，五号宋体居中，单倍行距，表序与表题间空一个汉字符位；表中文字为五号宋体，居中。

本论文主要研究 BiFeO<sub>3</sub> 基薄膜的老化行为及其对性能的影响，实验所用化学试剂如表 2.1 所示。溶液和薄膜制备过程中用到的有机试剂如表 2.2 所示。

表 2.1 实验所用试剂

名称	分子式	分子量	纯度	产地
硝酸铋	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O	485.07	分析纯	天津市福晨化学试剂厂
硝酸铁	Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	404.02	化学纯	国药集团化学试剂有限公司
硝酸钙	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	236.15	化学纯	国药集团化学试剂有限公司
硝酸镍	Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	290.81	化学纯	国药集团化学试剂有限公司
乙酸	CH <sub>3</sub> COOH	60.05	分析纯	国药集团(上海)化学试剂公司
乙二醇	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	62.07	分析纯	天津市光成试剂有限公司

.....

## 第六章 结论与展望

本文旨在研究 BFO 薄膜的老化机制及其对多重铁性的影响，建立了 BFO 的老化理论模型，并采用金属有机物分解法（MOD），通过层层退火工艺在低温制备了一系列在 A 位和 B 位进行了低价掺杂的 BFO 铁电薄膜，在实验上定性和定量的验证了 BFO 老化模型的正确性。

.....

## 参考文献

“参考文献”为三号黑体，加粗，居中；参考书目为五号宋体或 Times New Roman，悬挂缩进 2 字符，行间距 1.5 倍行距。

- [1] 方允中, 郑荣梁. 自由基生物学的理论及应用[M]. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] Michell A L. Introduction to genetic algorithms[M]. 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996.
- [3] 符涛. 含氟有机硅聚合物的合成与表征[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- [4] Gains R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen[D]. Berkeley: University of California, 1965.
- [5] 梁舰, 李建章, 周波等. N-羟基邻苯二甲酰亚胺用于有机氧化反应的研究进展[J]. 化学研究与应用, 2004, 16 (5): 597-600.
- [6] Chen D H, Bogy D B, Wang K C, et al. Singular stress field near the corner of jointed dissimilar materials[J]. Journal of Applied Mechanics, 1993, 60(3): 607-613.
- [7] Li X F, Feng D G, He Y Z. Research on preprocessing policies in XACML Admin[J]. Journal of Computer Research and Development, 2007, 44(5): 729-736.
- [8] 田荣. 连续与非连续变形分析的流形方法及其在土力学中的应用. 中国土木工程学会第八届全国土力学及岩土工程学术会议论文集[C]. 北京: 万国学术出版社, 1999.
- [9] Odoni A R. The flow management problem in air traffic control: Flow Control of Congested Networks[C]. Berlin: Springer-Verlag, 1987.
- [10] 全国信息与文献标准委员会第六分委员会. GB/T 7714—2005 文后参考文献著录规则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [11] Moses T. Extensible Access Control Markup Language (xacml), Version 2.0[S]. Billerica: Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS), 2005.
- [12] Dublin Core Metadata Initiative. Dublin Core Metadata Element Set, Version 1.1: Reference Description[EB/OL]. (2003-06-02) [2005-03-21]. <http://dublincore.org/documents/2003/08/26/usageguide> .
- [13] 杨林江. 沥青混凝土再生搅拌机: 中国, CN2764814[P]. 2006-03-15.
- [14] Koseki A, Momose H, Kawahito M, et al. Compiler: Us, 828402[P]. 2002-05-25.
- [15] 柴葳. 北京优惠政策安置退役大学生[N]. 中国教育报. 2011-9-1.
- [16] 张海鹏. 辛亥革命为中国的进步打开了闸门 [N/OL]. 人民日报 2011-9-26(7).

[http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2011-09/26/nw.D110000renmrb\\_20110926\\_1-07.htm?div=-1](http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2011-09/26/nw.D110000renmrb_20110926_1-07.htm?div=-1).



## 致 谢

时光荏苒，回到济南大学材料学院进行研究生阶段的学习已近三年。三年中所取得的每一点一滴的进步都与我的导师\*\*\*教授的悉心指导密不可分。\*\*\*严谨的治学态度、渊博的专业知识、崇高的人格魅力，特别是对待科学研究精益求精、实事求是的精神无时无刻不令我感动。在这三年中，从科研学习，到为人处世， .....

2018年5月

## 附 录

三号黑体加粗居中，单倍行距，  
段前段后间距各 1 行

### 一、在校期间发表的学术论文

.....  
.....  
.....

标题用宋体（英文用 Times New Roman）四号加粗，段前段后 0.5 行，发表学术论文格式同参考文献，其他同正文

### 二、在校期间参加的项目

.....

### 三、在校期间获奖情况

.....

单位代码: 10427  
密 级: 公 开

汉字五号宋体, 英文或数字等用五号 Times New Roman, 单倍行距, 缩进 2 字符。



濟南大學  
UNIVERSITY OF JINAN