

# 正交結構鎳錳氧薄膜之磁各向異性研究

研究生：蔡宗祐

指導教授：莊振益 教授

國立交通大學 電子物理學系碩士班

## 中文摘要

本實驗使用脈衝雷射濺鍍系統在 LAO(110)基板上成功成長出高純相且軸向明確之正交結構鎳錳氧薄膜，以進一步了解 E-phase 的稀土錳氧化物獨特的物理性質。我們使用超導量子干涉儀量測磁化率與溫度變化關係時，發現正交結構鎳錳氧化合物之磁結構特性，具有非常顯著的各向異性。量測中發現鎳錳氧薄膜在 b 軸方向約 33 K 有明顯的反鐵磁構造相稱-不相稱的相轉變，和理論的預測的磁性結構相近；本論文同時將得到的結果與鈮錳氧及鈦錳氧的結果比較，以探討離子半徑的改變導致之晶格扭曲對磁性產生的影響。

# Anisotropic magnetic properties of orthorhombic LuMnO<sub>3</sub> thin films

Student : Tsai Tsung-Yu

Adviser : Jenh-Yih Juang

## Abstract

Orthorhombic phase of LuMnO<sub>3</sub> thin films were epitaxially deposited on LAO(110) substrates by pulse laser deposition (PLD). The obtained films not only exhibit highly b axis oriented characteristic but also nearly perfect a-c plane alignment with the substrate. As a result, the current films have allowed us to analyze the anisotropic magnetic property of orthorhombic LuMnO<sub>3</sub> thin film. In addition to the usual anti-ferromagnetic (AFM) transition around 42 K, we find the second transition at 33 K along the b-axis, presumably to be associated with the commensurate- incommensurate transition of AFM ordering. The result is consistent with the theoretical prediction of E-phase structure of ReMnO<sub>3</sub>. By comparing with the results obtained in YMnO<sub>3</sub> and HoMnO<sub>3</sub>, we found the lattice distortion originated from ionic size variations in playing an important role in magnetic property of these multiferroic rare-earth manganites. Finally, We will also report on the anisotropic magnetic properties displayed in these o- LuMnO<sub>3</sub> thin films.

## 致謝

感謝上帝。

邁向人生下一個階段前，感謝所有在交大遇到的人。

感謝莊老師的教誨，每次 meeting 總是令我收穫良多；感謝林老師在實驗上的幫助及三不五時的圍棋分享；還有固態實驗室的吳老師、溫老師、羅老師。

感謝實驗室的學長們，昌學長、宗漢、燦耀、訊全、裕仁等在我有問題時的幫助。感謝實驗室的學弟妹，上至宗叡下至彥智(中間有很多人)的陪伴，還有可以 A 時間量 SQUID。最重要的，是一起走過碩班的同學”竣揚大仔”、家治、怡君、彥宇、大砲、小嘍嘍，感謝大家~~無論一起打球一起吃快炒，總是要你們才夠味啦~~

最最感謝的，是無論何時，無論何事，都在後面支持著我的父母家人，thank for everything 。

中文摘要	I
英文摘要	II
致謝	III
目錄	IV
圖目錄及表目錄	VI
第一章 緒論	1
第二章 理論與樣品特性簡介	4
2-1 磁性、電性的簡介	4
2-1 $\text{ReMnO}_3$ 之理論及物理特性	11
第三章 實驗系統及操作原理	23
3-1 $\text{LuMnO}_3$ 薄膜製備	23
3-1-1 靶材製作	23
3-1-2 脈衝雷射沉積	25
3-2 薄膜基本特性量測與分析	29
3-2-1 X-ray diffraction	29
3-2-2 $\alpha$ -step	31
3-2-3 $\Phi$ scan	32
3-2-4 SQUID	33

第四章 結果與討論.....	36
4-1 鎳錳氧靶才之性質.....	36
4-2 鍍膜結果.....	40
4-3 $\Phi$ scan 量測.....	44
4-4 磁性分析.....	47
4-5 比較及討論.....	53
4-6 樣品的重現性.....	61
第五章 結論與展望.....	65
參考文獻 .....	66



## 圖目錄

圖 2-1 順磁磁矩排列	5
圖 2-2 順磁、反磁磁化率對溫度的作圖	5
圖 2-3 磁滯曲線	6
圖 2-4 不同類型的鐵磁自旋排列狀態	7
圖 2-5 亞鐵磁物質中的磁矩排列	8
圖 2-6 鈣鈦礦結構 (鉬鈦氧)	9
圖 2-7 鐵電 P-E 圖	10
圖 2-8 perovskite 結構	11
圖 2-9 不同離子半徑的稀土元素對應的結構相圖	12
圖 2-10 超交換示意圖	13
圖 2-11 雙交換示意圖(a)	14
圖 2-12 雙交換示意圖(b)	14
圖 2-13 $MnO_6$ 結構	15
圖 2-14 晶格場下能階示意圖	15
圖 2-15 不同軌域對應之電子雲分佈	16
圖 2-16 Jahn-Teller Distortion 後的能階分裂情況	16
圖 2-17 鈣鈦礦 $RMnO_3$ 隨著不同稀土的離子半徑繪成的結構相圖	17

圖 2-18 A type 和 E type 反鐵磁結構型態	18
圖 2-19 $\text{TbMnO}_3$ 的磁電效應	20
圖 2-20 E-phase 中鐵電成因的示意圖。	21
圖 3-1 真空腔內部分實體片	26
圖 3-2 真空腔示意圖	27
圖 3-2 真空腔示意圖	30
圖 3-4 $\alpha$ -step 機器基座示意圖	31
圖 3-5 四環繞射儀	33
圖 3-6 約瑟芬界面示意圖	34
圖 3-7 約瑟芬等效電路圖	34
圖 3-8 SQUID 示意圖	35
圖 4-1 $\text{LuMnO}_3$ 靶材之 XRD	36
圖 4-2 $\text{LuMnO}_3$ 靶材之 $\chi/T$	36
圖 4-3 不同成長溫度下薄膜之 XRD 圖譜	41
圖 4-4 不同厚度下薄膜之 XRD 圖譜	42
圖 4-5 不同氧壓下薄膜之 XRD 圖譜	43
圖 4-6 薄膜 $\Phi$ Scan 圖	44
圖 4-7 薄膜相對基板關係	45
圖 4-8 不同軸向的 $\chi/T$ 圖	48

圖 4-9	$\text{RMnO}_3$ 之比熱-溫度圖	49
圖 4-10	多晶鎳錳氧磁訊號	50
圖 4-11	為不同磁場下磁各異向性	51
圖 4-12(a)	真實的鎳錳氧結構	
	(b) 錳-氧-錳 鍵角示意圖	53
圖 4-13	鈣鈦礦 $\text{RMnO}_3$ 之 離子半徑-結構 相圖	54
圖 4-14	不相稱 $\rightarrow$ 相稱	54
圖 4-15	雙交換下氧的位移	55
圖 4-16	不同離子半徑的 $\text{RMnO}_3$ 對應之錳氧錳夾角	56
圖 4-17	不同鍵角時的電極化大小	56
圖 4-18	多晶和薄膜型式正電荷和負電荷的位置	57
圖 4-19	欽錳氧 $\chi/T$ 圖	59
圖 4-20	新樣品 XRD	61
圖 4-21	新樣品的對稱性	62
圖 4-22	新舊樣品 a 軸磁性比較	62
圖 4-23	新舊樣品 b 軸磁性比較	63
圖 4-24	新舊樣品 c 軸磁性比較	63



## 表目錄

表 2-1 數種多鐵材料的相轉變溫度·····	19
表 4-1 鎵錳氧薄膜與 LAO 基板的晶格常數·····	39
表 4-2 由四環繞射校正出的薄膜晶格常數和扭曲程度·····	46
表 4-3 鎵錳氧、鈮錳氧、鈦錳氧成長在 LAO(110)基板上 的晶格扭曲程度比較·····	58

