

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫五：錳氧化物薄膜超巨磁阻與磁性效應之研究(3/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2112-M-009-046-

執行期間：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

執行單位：國立交通大學物理研究所

計畫主持人：林俊源

共同主持人：溫增明，莊振益，郭義雄，吳光雄

計畫參與人員：林沛宏、劉俐君、吳紹偉

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2 年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 11 月 4 日

鈣鈦礦結構金屬氧化物薄膜物理與元件—
子計畫五：錳氧化物薄膜超巨磁阻與磁性效應之研究(3/3)

計畫編號：NSC91-2112-M009-046

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：林俊源 副教授 國立交通大學物理研究所

共同主持人：郭義雄教授、吳光雄教授、溫增明教授、莊振益教授

國立交通大學電子物理系

計畫參與人員：林沛宏、劉俐君 國立交通大學物理研究所

吳紹偉 國立交通大學電子物理系

一、摘要

在過去三年中，我們對本計畫的執行，已得到令人興奮的成果。我們已完成 0-9T、1.7-400K 的磁化率與磁電阻量測系統的架設與測試，並改進其性能。研究區分為高溫超導體、磁性物質、新穎超導體、X 光吸收光譜，皆有不錯的成果。在高溫超導體方面，我們至少驗證了：1. 在所有載子濃度範圍的銅氧化物超導體的低溫比熱可以用 *d*-wave 超導性來解釋。2. 我們的實驗結果證實對具有雜質的 *d*-wave 超導體準粒子態密度的理論預測是對的。3. 比熱測量顯示摻鋅 $\text{La}_{1.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuO}_4$ 在零能量準粒子附近態密度明顯變少。在磁性物質方面，我們成功的以 TiO_2 緩衝層在 Si 基板上成長高品質的 CrO_2 薄膜，並研究其磁性與磁電阻行為。在新穎超導體方面，我們用比熱的測量決定了 MgB_2 和 MgCNi_3 這兩種新穎超導體的配對對稱性。在 X 光吸收光譜方面，我們知道摻鈣 YBCO 中不同能帶載子的鑑定，YBCO 薄膜在 TiO_2 上與 TiO_2 本身的成長機制研究及 Fehrbacher-Rice (FR) 能帶存在的證據與 FR 能帶的特性。

Abstract

In past three years, we got the exciting results for this project. We have set up the system of magnetization and magnetoresistance measurements. We found several new results in high- T_c superconductors, magnetic materials, new superconductors and X-ray absorption spectra. For high- T_c superconductors, 1. The *d*-wave superconductivity could be applied to the low-temperature specific heat of all cuprate superconductors. 2. Our experimental results confirm the theory of the density of state of quasi-particles in *d*-wave superconductors for various doping. 3. The measurements of specific heat show that the density of states of quasi-particles in zero energy for Zn-doped $\text{La}_{1.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuO}_4$ decrease evidently. For magnetic materials, we deposited TiO_2 as the buffer layers between the CrO_2 thin films and Si substrates. Moreover, we investigated their magnetization and magnetoresistance. For new superconductors, the pair symmetry of MgB_2 and MgCNi_3 could be revealed by

the measurements of specific heat. By the X-ray absorption spectra, the carriers in different energy band for Ca-doped YBCO. Furthermore, the characteristics and existence of FR band, the growth mechanism of TiO_2 and the YBCO above TiO_2 could be revealed clearly.

二、磁化率與傳輸量測系統

在貴會的大力經費支持，與本所、院、校經費補助下，我們已完成對 Quantum Design 的 PPMS 系統的採購，並於架設與測試，我們也已經對系統作了詳細的校正，藉由這些校正數據，使我們更有效率與正確的使用此系統，並改進其性能。

三、研究目的

進入二十一世紀，強關聯系統 (Strongly correlation system) 是凝態物理在二十世紀末未能解決，留到新世紀的難題。越來越多的強關聯系統被發現，顯示出這個我們尚無法完全明瞭的問題的重要性與起初未料到的普遍性；然而它聳立在知識領域的邊境，成為人類知性企欲挑戰的高峰。從理論的觀點而言，簡單的單一粒子 (single particle) 圖像如費米液體，被認為可能不再適用於此類系統；然而其它的有效分析工具如 Hubbard model 尚未被完整發展或解出。從實驗的觀點而言，似乎強關聯系統普遍具有豐富的相圖，如銅氧化物超導體與龐磁阻 (CMR) 錳氧化物系統。而且這些相的物理特性常常超出我們的想像力。正是這些豐富內容與帶著點神秘的難題，激發我們的好奇，邀約我們

去探討、研究它。

四、研究結果及討論

研究區分為高溫超導體、磁性物質、新穎超導體、X 光吸收光譜，皆有不錯的成果，將在以下的內容中簡要呈現。我們也將分各種實驗來呈現實驗結果。

(一) 高溫超導體

我們花了相當的精力研究超導體的低溫比熱，前幾年主要的對象是 La_{214} 高溫超導體。我們對高溫超導體中的配對對稱與準粒子 (quasiparticles) 的態密度，都有相當深入的研究[1-3]。我們至少驗證了：

- 在所有載子濃度範圍的銅氧化物超導體的低溫比熱可以用 d -wave 超導性來解釋。
- 我們的實驗結果證實對具有雜質的 d -wave 超導體準粒子態密度的理論預測是對的。
- 比熱測量顯示摻鋅 $\text{La}_{1.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuO}_4$ 在零能量準粒子附近態密度明顯變少。

這些結果使我們開始在這個領域嶄露頭角，並得以有機會將自己與別人的成果總結成一篇 review article[4]。

我們也研究了雜質對 T_c 與 H_{c2} 的效應。結果證明因雜質種類導致的不同 T_c 抑制效果乃源自於在銅氧面上的非均向性散射。[5,6]

(二) 磁性物質

約兩年半前，我們開始了磁性物質特性的研究。雖然進入這個領域的時間不算甚長，但我們已漸能掌握議題，也有一些不錯的結果。我們成功的以 TiO_2 緩衝層在 Si 基板上成長高品質的 CrO_2

薄膜，並研究其磁性與磁電阻行為。[7] 我們也用 STM 技術嚐試著探索錳氧化物相分離的現象[8]，也學習用 X 光吸收光譜研究其電子結構[9]，現在我們已較剛開始的時候，更能掌握這方面的研究方向。

(三) 新穎超導體

這兩年多來，有不少有趣的新超導體被發現，如 MgB_2 和 MgCNi_3 等。我們用比熱的測量決定了這兩種超導體的配對對稱性，[10,11]在這類研究中佔有一席之地。

(四) X 光吸收光譜

約自四年多前開始，我們開始學習 X 光吸收光譜的實驗技術，這幾年已逐漸成熟，對我們探討物質的電子結構，有極大的助益。[9,12-17]目前的較成熟的成果，約有：

- 摻鈣 YBCO 中不同能帶載子的鑑定。
- YBCO 薄膜在 TiO_2 上與 TiO_2 本身的成長機制研究。
- Fehrebacher-Rice (FR) 能帶存在的證據與 FR 能帶的特性。

以上略舉其要，詳細的研究成果，請參見著作目錄。

(五) CrO_2 的磁電阻效應

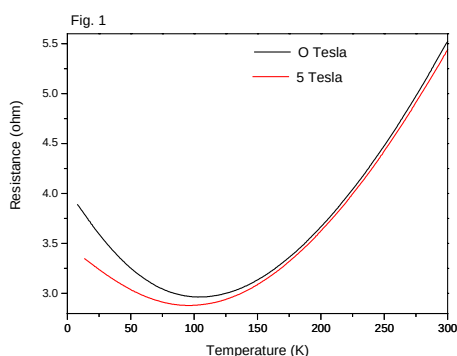
近年來自旋電子學 (spintronics) 日益受到重視，除了以金屬多層膜製成的自旋閥 (spin valve) 結構，還有穿隧磁電阻 (tunneling magnetoresistance) 元件的研發更是研究的重點。除了金屬多層膜外，磁性氧化物的研究也是重點之一，例如巨磁阻 (CMR) 材料 $(\text{La,Ca})\text{MnO}_3$ 系列，其基本的概念就是自旋極化傳輸

(spin-dependent transport)。 CrO_2 是金屬性的鐵磁氧化物，已經廣泛地應用於磁紀錄材料中，而理論預測 CrO_2 的載子為完全極化 (fully polarized)，後來由 spin-polarized photoemission 實驗證實了該項理論預測，更引起諸多理論與實驗學家的注意與研究。

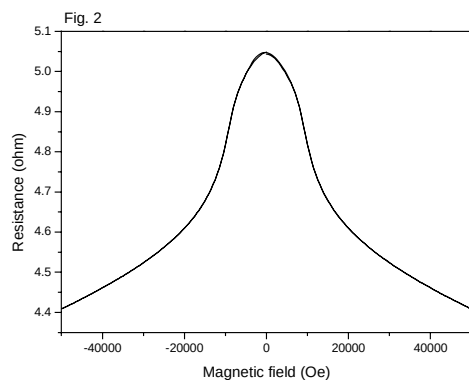
我們以 CrO_3 作為原料利用 CVD 方法，將 CrO_2 薄膜蒸鍍於 TiO_2 上，薄膜樣品的傳輸性質與磁性則使用 Quantum Design 公司的 physical properties measurement system (PPMS) 測量而得。

圖一為 CrO_2 的電阻溫度關係，首先可以發現，無外加磁場時，薄膜電阻隨溫度降低而減小，降到 100K 以下電阻隨溫度降低而升高，推測在低溫時穿隧效應主宰了傳輸行為。再比較外加 5 Tesla 磁場與沒有外加磁場的電阻溫度關係，可發現薄膜呈現負磁電阻特性 (negative magnetoresistance)，而且在 100K 以下，磁電阻效應隨溫度降低而變大，這是由於穿隧勢壘 (tunnel barrier) 由於溫度降低而增強，使得穿隧效應變得更明顯，所以加大了磁電阻效應。圖二顯示在低溫 (5 K) 時電阻值隨外加磁場的變化，可以得知電阻值隨磁場增加而減小，在磁場約 1 Tesla 時，電阻的變化最為明顯，當磁場大於 2 Tesla 時，磁場與電阻的關係近似線性。電阻隨磁場變化的原因是因為磁場使薄膜中磁疇 (magnetic domain) 的磁矩 (magnetic moment) 排列趨於相同方向，進而提高了載子的穿隧機率，所以電阻值降低。圖三顯示 CrO_2 薄膜在 5 K 低溫的磁滯曲線 (magnetic hysteresis loop)，由圖可看出該薄膜樣品的頑磁力 (coercivity) 約為 140 Oe，而且飽和磁化 (saturation

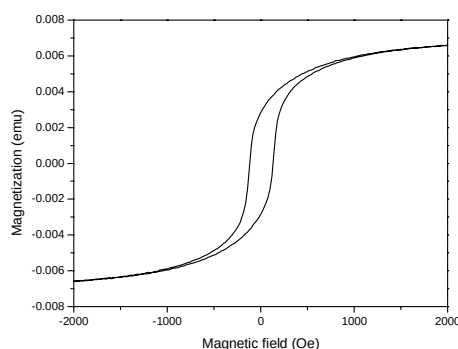
moment)大約為 2000 Oe，這個結果與磁電阻的量測，並不完全相符，既然飽和磁化約為 2000 Oe，電阻應該在 2000 Oe 就出現極小值，但是當外加磁場大於 2000 Oe 直到 5 Tesla 都還可使電阻持續減小，由此可推知，我們製作的 CrO_2 薄膜樣品的低溫電阻除了穿隧電阻外還有其他因素，值得作進一步的研究。



圖一、 CrO_2 的電阻溫度關係



圖二、 CrO_2 在低溫(5K)時電阻值隨外加磁場的變化



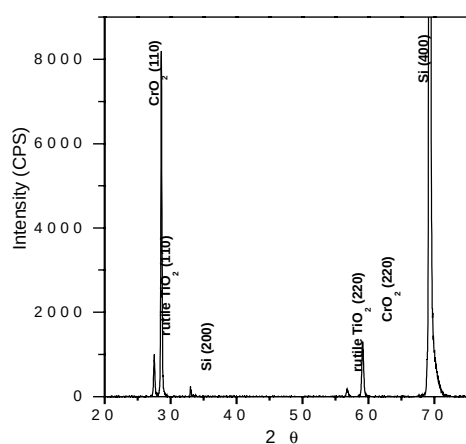
圖三、 CrO_2 薄膜在 5K 的磁滯曲線 (magnetic hysteresis loop)

(六) 利用二氧化鈦為緩衝層成長二氧化鉻薄膜矽基板

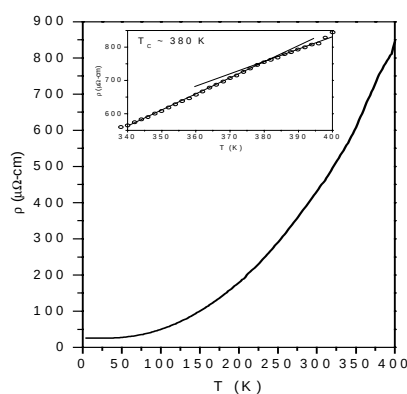
能帶結構計算預測二氧化鉻是屬於半金屬鐵磁材料，其導電電子的極化程度幾近 100%。[18] 此一預測也已經被實驗所證實，包括 photoemission experiments, [19] superconducting point-contact experiments, [20,21] 以及 vacuum tunneling measurements [22]。高度的自旋極化使得二氧化鉻成為製作自旋相關電子元件的重要材料之一。[23]由於結構相同，一般都利用金紅石結構(rutile)二氧化鈦單晶為基板成長二氧化鉻薄膜。然而，金紅石結構二氧化鈦基板非常昂貴。所以也有研究嘗試利用其他基板成長二氧化鉻薄膜，包括 sapphire [24] 與 RuO_2 。也有利用緩衝層將二氧化鉻鍍在石英與玻璃。[25,26]本文中，我們利用二氧化鈦作為緩衝層將二氧化鉻薄膜成長在矽基板上。然而要將二氧化鈦直接磊晶鍍在矽基板上並不容易。[27] 我們先利用脈衝雷射蒸鍍(pulsed-laser deposition)將氮化鈦鍍在(100)軸向矽基板上，在蒸鍍氮化鈦之前必須先以 20%的氫氟酸將矽基板表面的氧化層去除，蒸鍍氮化鈦完成後通入氧氣(0.3 Torr)在高溫下(750 °C)停留

約 10 分鐘將氮化鈦氧化成金紅石結構 (110) 軸向之二氧化鈦，如此可在矽基板上得到磊晶成長的二氧化鈦緩衝層，再利用化學蒸鍍 (chemical vapor deposition) 將二氧化鉻鍍在緩衝層上，如此可得到高品質的 (110) 軸向的二氧化鉻薄膜。

圖四為二氧化鉻/二氧化鈦/矽基板的 X 光繞射光譜，除了矽基板繞射峰外只有二氧化鉻與二氧化鈦 (110) 軸向的繞射峰，可以推知二氧化鉻與二氧化鈦為 (110) 軸向磊晶成長，並無其他軸向或雜相。圖五是二氧化鉻的電阻溫度圖，由圖可得知利用上述方法所得的二氧化鉻薄膜為金屬性，並且由圖五的內圖所顯示在 380K 附近可以觀察到電阻溫度曲線有一斜率轉變，轉變處即為鐵磁轉變點 (ferromagnetic Curie point)，由圖四與圖五可以證明我們成功地利用二氧化鈦緩衝層成長高品質的二氧化鉻，在未來應用上將可取代價格昂貴的二氧化鈦單晶基板。



圖四

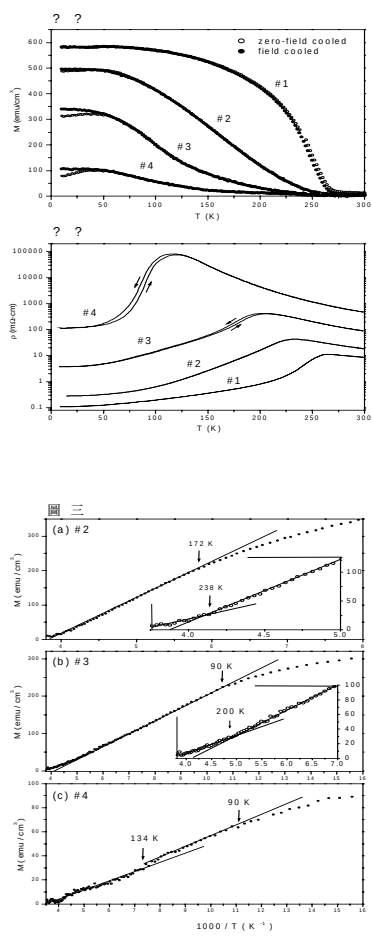


圖五

(七) $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_{3-y}$ 薄膜的短程磁有序與絕緣-金屬相變

由於在絕緣-金屬相變溫度附近發現超巨磁阻效應 (colossal magnetoresistance), $\text{A}_{1-x}\text{B}_x\text{MnO}_3$ (A 代表三價離子如 La, Pr 與 Nd 等等, B 代表二價離子如 Ca, Sr 與 Ba 等等) 型式的鈣鈦礦結構的錳氧化物已經吸引許多研究人員的興趣目光，目前普遍認為在這類材料中所發現的絕緣-金屬相變與磁轉變有關，因為導電載子為自旋極化，所以當這類錳氧化物從順磁轉變為鐵磁態，載子所受到的散射減少，所以在電阻-溫度關係曲線將觀察到絕緣-金屬相變。然而在我們對缺氧的 $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_{3-y}$ 所作的研究中發現，在完全沒有長程鐵磁有序的樣品中依然可以觀察到絕緣-金屬相變。實驗方面，我們利用脈衝雷射蒸鍍製作 $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_{3-y}$ 薄膜，氧含量的變化就利用鍍膜時的氧壓與退火時間來控制，樣品的磁性與傳輸性質完全利用 Quantum Design 公司的 Physical Property Measurement System (PPMS) 進行量測。圖六之圖一是所有樣品的磁化率與溫度關係圖，#1 是滿氧的樣品，其磁化率-溫度曲線可觀察到一明確的鐵磁轉變，即磁化率在所謂 Curie 溫度

急劇增大，然而在缺氧的樣品(#2, #3 與 #4)的磁化率隨溫度降低緩慢增加，而且在 50K 以下，甚至有場冷與零場冷曲線不重合的自旋玻璃的現象，自旋玻璃的行為顯示缺氧樣品在低溫沒有長程磁有序。圖六之圖二是電阻-溫度關係，所有的樣品都顯示絕緣-金屬相變，而且相變溫度隨缺氧而降低。圖六之圖三是缺氧樣品的磁化率與溫度倒數關係，可以看到磁化率與溫度倒數曲線有一斜率轉變點，我們發現這個斜率轉變點與絕緣-金屬相變點相對應。如表一所示。實驗結果顯示目前普遍認為絕緣-金屬相變相對應於順磁-鐵磁轉變的觀念必須作修正。



圖六

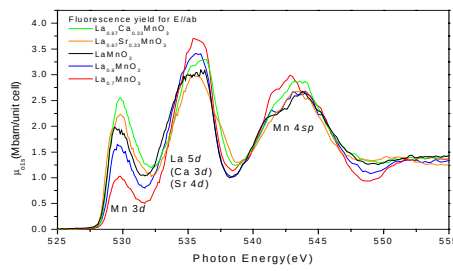
表一

樣品	#1	#2	#3	#4
斜率轉				
變溫度 (K)	264	238	200	134
絕緣-金屬				
相變 (K)	265	234	200	120

(八) $\text{La}_{1-x}\text{MnO}_3$ 的物理性質及 X 光吸收光譜之研究

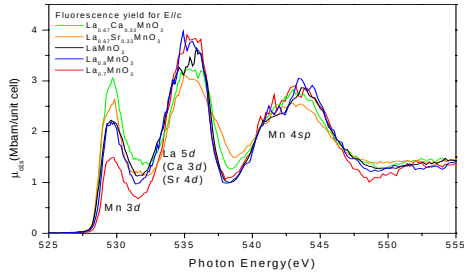
和 $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ 一樣具有金屬-絕緣相變的 $\text{La}_{1-x}\text{MnO}_3$ 薄膜已被我們所研究。為了比較， $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ 和 $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ 薄膜也一同被研究，其中包括傳輸及磁性的性質。在我們的實驗中，除了 LaMnO_3 外，其他樣品皆具有幾乎同時發生的金屬-絕緣相變及鐵磁轉變。

在電子結構方面，我們使用 x 光吸收光譜來加以探討。令人驚訝的是： $\text{La}_{1-x}\text{MnO}_3$ 、 $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ 及 $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ 在 x 光螢光吸收光譜顯示其電子結構具備有極大的異向性，但是在全電子產率卻是同向性。此行為告訴我們這些混合物所製成的薄膜在表面及裡層結構有極大的不同，從氧的 K edge 光譜中 (X-ray absorption near-edge structure) 與 Mn 3d 軌域有關的 peak 好像與金屬絕緣相變無關，而與 La 的缺陷有關 我們試著以沿 a, b 軸的 Mn-O-Mn 鍵角隨 La 缺陷而扭曲的觀點來解釋。由圖七圖八我們發現與 Mn 3d 軌域有關的 peak(約 529.5eV)會因摻雜二價離



子而增大，且因缺 La 而減小。

圖七、顯示缺 La 與摻雜二價離子的 LaMnO₃ 系統,氧的 K edge 光譜 (X-ray absorption near-edge structure), 其中電場方向平行 ab 軸



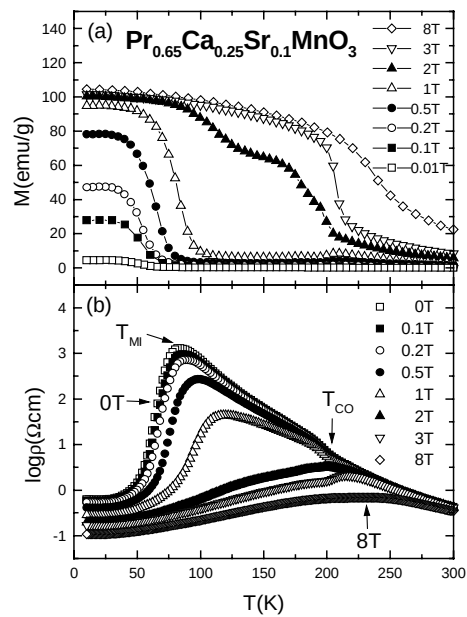
圖八、顯示缺 La 與摻雜二價離子的 LaMnO₃系統,氧的 K edge 光譜(X-ray absorption near-edge structure), 其中電場方向平行 c 軸。

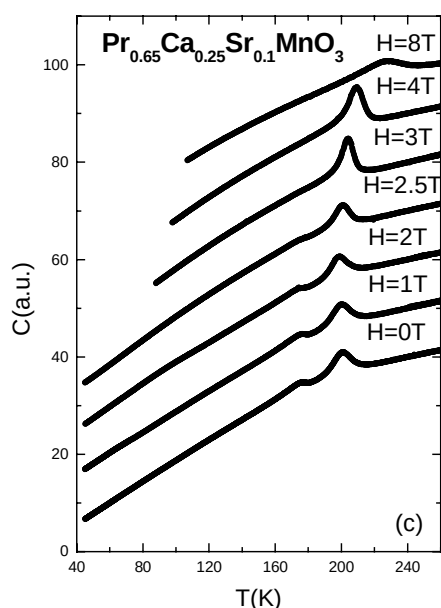
(九) Pr_{0.65}Ca_{0.25}Sr_{0.10}MnO₃ 中電性與磁性的不穩定

我們測量了 Pr_{0.65}Ca_{0.25}Sr_{0.10}MnO₃ 這個樣品在在磁場下的效應, 在圖九的(a)裡我們可以得知從磁化率的量測, 我們可以觀察到電荷有序(CO)以及反鐵磁 (AFM)的相變在低 2Tesla 的磁場下, 而大約在 40K 左右有一個相變使得磁化率隨之飽和, 並隨著磁場的增加磁化率的飽和磁場也伴隨之上升, 同時相變溫度也跟著升高, 基本上這是一個不穩定的態, 但由於這樣的不穩定的結果我們可以從圖一的(b)中發現這個樣品從絕緣體轉變成導體的溫度(T_{MI})變化的非常的快, 當磁場從零加到 1Tesla 時, T_{MI}便從 80K 升高到 120K, 由於這樣迅速的變化可以使我們可以發現在定溫下所量的磁阻變化是非常巨大的, 遠遠超過典型巨磁阻(CMR)在低磁場下的磁阻變化量, 這是由於此樣品磁阻變化來自於 CO 和雙交換作用(DE)的競爭, 使得磁場的作用造成的莫大的影響,

CO 的減弱使得電阻率急遽的變小, 因此有利於我們去研究低磁場下的巨磁阻。

而比熱研究對於相變更是直接的證據, 這可以使我們對於一些相變做直接的討論, 同時確認在磁化率的磁阻上所對應的相變加以驗證如 CO、DE, 而同時我們也可以發現當磁場高於 2.5Tesla 時, CO 的確被融到且被鐵磁 FM 的相變所取代。





圖九、(a)磁化率對溫度的關係
(b)磁阻對溫度的關係
(c)磁場下的比熱對溫度的關係

五、總結

過去幾年的研究，除了以上的成果之外，更重要的是深植了我們的研究能力。有了這樣的底子，使我們有信心執行未來幾年更具挑戰性的工作。我們將繼續對上述課題深入研究，並切切的方向。相信在未來，會有許多令人興奮的成果陸續出現。在加上我們原就有些良好底子的超導研究也有很好的成果〈詳見著作目錄〉，深信不會辜負貴會的期許，並請貴會繼續大力支持。

References

[1] S. J. Chen, C. F. Chang, H. L. Tsay, H. D. Yang, and J.-Y. Lin, Phys. Rev. B **58**, R14 753 (1998).

[2] C. F. Chang, J.-Y. Lin and H. D. Yang, Phys. Rev. Letters **84**, 5612 (2000).
 [3] C. F. Chang, J.-Y. Lin and H. D. Yang, Phys. Rev. B **61**, 14 350 (2000).
 [4] H. D. Yang and J.-Y. Lin, J Phys. Chem. Solids **62**, 1681 (2001).
 [5] J.-Y. Lin, S. J. Chen, S. Y. Chen, C. F. Chang, H. D. Yang, S. K. Tolpygo, M. Gurvitch, Y. Y. Hsu, and H. C. Ku, Phys. Rev. B **59**, 6047 (1999).
 [6] J.-Y. Lin and H. D. Yang, Phys. Rev. B **65**, 216502 (2002).
 [7] S. J. Lin, J. Y. Juang, K. H. Wu, T. M. Uen, Y. S. Gou, and J.-Y. Lin, Appl. Phys. Lett. **80**, 4202 (2002).
 [8] S. F. Chen, P. I. Lin, J. Y. Juang, T. M. Uen, K. H. Wu, Y. S. Gou, and J.-Y. Lin, Appl. Phys. Lett., in press.
 [9] J.-Y. Lin, C. W. Chen, Y. C. Liu, S. J. Liu, K. H. Wu, Y. S. Gou, and J M. Chen, JMMM **239**, 48 (2002).
 [10] H. D. Yang, J.-Y. Lin, H. H. Li, F. H. Hsu, C.-J. Liu, S.-C. Li, R.-C. Yu and C.-Q. Jin, Phys. Rev. Lett. **87**, 167003 (2001).
 [11] J.-Y. Lin, P. L. Ho, H. L. Huang, P. H. Lin, Y.-L. Zhang, R.-C. Yu, C.-Q. Jin, and H. D. Yang, Phys. Rev. B, in press.
 [12] K. H. Wu, P. I. Lin, C. C. Hsieh, S. J. Liu, J. Y. Juang, T. M. Uen, J.-Y. Lin and Y. S. Gou, Physica C **363**, 119 (2001).
 [13] I. P. Hong, J.-Y. Lin, J. M. Chem, S.

- Chatterjee, S. J. Liu, Y. S. Gou, and H. D. Yang, *Europhys. Lett.* **58**, 126 (2002).
- [14] C. C. Hsieh, K. H. Wu, J. Y. Juang, T. M. Uen, J.-Y. Lin, and Y. S. Gou, *J. Appl. Phys.* **92**, 2518 (2002).
- [15] J. M. Chen, S. J. Liu, C. F. Chang, J.-Y. Lin, Y. S. Gou, and H. D. Yang, *Phys. Rev. B* **67**, 014502 (2003).
- [16] J.-Y. Lin, P. C. Chung, S. J. Liu, P. H. Lin, J. M. Lee, J. M. Chen, K. H. Wu, and Y. S. Gou, *J. Low Temp. Phys.*, in press.
- [17] S. J. Liu, J. M. Chen, J. Y. Juang, K. H. Wu, T. M. Uen, Y. S. Guo, and J.-Y. Lin, *J. Appl. Phys.*, in press.
- [18] K. Schwarz, *J. Phys. F: Met. Phys.* **16**, L121 (1986).
- [19] K. P. Kamper, W. Schmitt, and G. Guntherodt, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 2788 (1987).
- [20] R. J. Soulen, J. M. Beyers, M. S. Osofsky, B. Nadgorny, T. Ambrose, S. F. Cheng, P. R. Broussard, C. T. Tanaka, J. Nowak, J. S. Moodera, A. Barry, and J. M. D. Coey, *Science* **282**, 85 (1998).
- [21] Y. Ji, G. J. Strijkers, F. Y. Yang, C. L. Chien, J. M. Byers, A. Anguelouch, Gang Xiao, and A. Gupta, *Phys. Rev. Lett.* **86**, 5585 (2001).
- [22] R. Wiesendanger, H. J. Guntherodt, G. Guntherodt, R. J. Gambino, and R. Ruf, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 247 (1990).
- [23] For example, see A. Gupta, X. W. Li, and G. Xiao, *J. Appl. Phys.* **87**, 6073 (2000) and references therein.
- [24] P. A. Stampe, R. J. Kennedy, S. M. Watts, and S. von. Monar, *J. Appl. Phys.* **89**, 7696 (2001).
- [25] H. Brandle, D. Weller, S. S. P. Parkin, J. C. Scott, P. Fumagalli, W. Reim, R. J. Gambino, R. Ruf, and G. Guntherodt, *Phys. Rev. B* **46**, 13889 (1992).
- [26] K. Suzuki and P. M. Tedrow, *Solid State Commun.* **107**, 583 (1998).
- [27] Ji-Hoon Kim, Seonghoon Lee, and Hong-Sun Im, *Appl. Surf. Sci.* **151**, 6 (1999).