

# 具不對稱人工磁通釘扎陣列之鈮鉕銅氧薄膜霍爾效應之研究

郭致謙、王立民

E-mail: 9511059@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

我們使用射頻磁控濺鍍法(RF magnetron sputtering)成功地在SrTiO<sub>3</sub>(100)基座上成長出高品質高溫超導鈮鉕銅氧(YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-y</sub>)薄膜，再以光學微影術(Lithography)、電子束微影以及離子蝕刻將樣品蝕刻成20 μm微橋寬度之霍爾效應圖形，接著在20 × 20 μm<sup>2</sup>之微橋範圍上成長約2 μm之反點(洞)缺陷釘扎陣列與650 nm點陣距離不對稱之人工奈米鎳釘扎陣列，量測其混合態之霍爾效應。在具不對稱反點(洞)陣列之YBCO薄膜上，我們發現其在電流沿其點陣長軸方向具有較大的釘扎能，其對應最大霍爾負阻  $\rho_{xy,max}$ 也較大。在具不對稱人工鎳釘扎點陣列之YBCO薄膜上，我們發現在電流沿短軸方向具有較大的釘扎能，其對應的最大霍爾負阻也較大。此結果可以使用磁通蠕動模型以及Wang and Ting模型來討論與解釋之。

關鍵詞：高溫超導；霍爾效應；釘扎能；霍爾負阻

## 目錄

目錄 封面內頁 簽名頁 授權書 . . . . .	iii
. . . . . iv 英文摘要 . . . . .	v
. . . . . vi 目錄 . . . . .	vii
. . . . . x 表目錄 . . . . .	
. . . . . xiv 第一章 緒論 1.1 研究背景 . . . . .	1
. . . . . 1.1.1 混合態霍爾效應與磁通釘扎 . . . . .	1
. . . . . 1.1.2 霍爾效應的反正行為 . . . . .	3
. . . . . 1.3 論文架構 . . . . .	5
. . . . . 6.2.2 A-K磁通蠕動模型 . . . . .	6
. . . . . 9.2.4 非理想的二類超導與磁通釘扎 . . . . .	11
. . . . . 2.6 霍爾電阻與縱向電阻 關係式 . . . . .	15
. . . . . 17 3.2 實驗儀器 . . . . .	18
. . . . . 18 3.2.2 熱蒸鍍系統 . . . . .	21
. . . . . 21 3.2.3 掃描電子顯微鏡之應用 . . . . .	22
. . . . . 22 3.2.4 Ar <sup>+</sup> 離子蝕刻 . . . . .	25
. . . . . 25 3.2.5 霍爾量測系統-超導量子干涉儀 . . . . .	27
. . . . . 29 3.3 樣品製程與量測 . . . . .	29
. . . . . 29 3.3.1 樣品製程 . . . . .	29
. . . . . 29 3.4 樣品分析與量測 . . . . .	40
. . . . . 40 第四章 實驗結果分析與討論 4.1 利用光學微影技術之不對稱比例(1:2)人工釘扎洞陣列之特性研究 . . . . .	45
. . . . . 45 4.1.1 樣品Yad <sub>2</sub> 在不同磁場下縱向電阻率( $\rho_{xx}$ )對溫度(T)之討論 . . . . .	45
. . . . . 45 4.1.2 樣品Yad <sub>2</sub> 在外加不同磁場下釘扎能之影響 . . . . .	47
. . . . . 47 4.1.3 樣品Yad <sub>2</sub> 釘扎能各向異性之討論 . . . . .	49
. . . . . 49 4.1.4 樣品Yad <sub>2</sub> 外加磁場對霍爾係數之影響 . . . . .	50
. . . . . 50 4.1.5 樣品Yad <sub>2</sub> 電流強度對霍爾係數之影響 . . . . .	51
. . . . . 51 4.1.6 樣品Yad <sub>2</sub> 各向異性對霍爾係數之影響 . . . . .	52
. . . . . 52 4.1.7 樣品Yad <sub>2</sub> 霍爾負阻與 $\rho_{xy}$ 比值相互關係之討論 . . . . .	53
. . . . . 53 4.2 利用電子束微影技術之不對稱比例(1:2、1:3)人工Ni磁性點釘扎洞陣列之特性研究 . . . . .	57
. . . . . 57 4.2.1 樣品Yni <sub>2</sub> 、Yni <sub>3</sub> 在不同磁場下縱向電阻率( $\rho_{xx}$ )對溫度(T)之討論 . . . . .	57
. . . . . 57 4.2.2 Yni系列樣品外加磁場對釘扎能之影響 . . . . .	59
. . . . . 59 4.2.3 Yni系列樣品之霍爾係數各向異性討論 . . . . .	62
. . . . . 62 4.2.4 Yni系列樣品霍爾負阻與 $\rho_{xy}$ 比值相互關係之討論 . . . . .	63
. . . . . 63 第五章 結論 . . . . .	69
. . . . . 69 參考文獻 . . . . .	70
. . . . . 70 圖目錄 圖1.1 霍爾負阻反正之行為示意圖 . . . . .	2
. . . . . 2 圖2.1 A-K磁通蠕動模型示意圖 . . . . .	7
. . . . . 7 圖2.2 混合態的渦旋結構 . . . . .	10
. . . . . 10 圖2.3 混合態分佈圖 . . . . .	10
. . . . . 10 圖2.4 磁通渦旋線進入超導體內的情形 . . . . .	12
. . . . . 12 圖2.5 磁通流動的示意圖 . . . . .	13
. . . . . 13 圖2.6 為YBCO薄膜在外加磁場1~5 Tesla下對 $\ln \rho_{xy} $ 與 $\ln\rho_{xx}$ 作圖 . . . . .	16
. . . . . 16 圖3.1 物理沉積法的分類整理成 . . . . .	19
. . . . . 19 圖3.2 濺射鍍膜槍示意圖 . . . . .	20
. . . . . 20 圖3.3 磁控濺鍍系統示意圖 . . . . .	20
. . . . . 20 圖3.4 磁控濺鍍系統實體圖 . . . . .	21
. . . . . 21 圖3.5 高真空熱蒸鍍系統示意圖 . . . . .	22
. . . . . 22 圖3.6 電子打斷化學鍵示意圖 . . . . .	23
. . . . . 23 圖3.7 掃描式電子顯微鏡(型號：HITACHI S-3000N) . . . . .	24
. . . . . 24 圖3.8 電子束微影系統示意圖 . . . . .	25
. . . . . 25 圖3.9 非等向性蝕刻示意圖 . . . . .	26
. . . . . 26 圖3.10 高真空Ar離子蝕刻系統 . . . . .	

27	圖3.11 國家科學委員會貴重儀器中心之超導量子干涉儀	28	圖3.12 磁性點陣列分佈與電流流動方向示意圖
29	圖3.13 利用RF磁控濺鍍系統成長高品質YBCO薄膜	31	圖3.14 旋圖光阻AZ5214E
31	圖3.15 (a)利用光學微影曝光(b)顯影霍爾微橋圖形	32	圖3.16 (a)利用Ar離子轟擊薄膜圖 (b)在薄膜上蝕刻出霍爾圖形
33	圖3.18 (a)旋塗光阻AZ 5214E (b)在霍爾微橋中心曝 $2\ \mu\text{m}$ 之點陣列圖形	34	圖3.20 利用離子蝕刻法蝕刻洞陣列圖形
34	圖3.19 顯影後在微橋中心留下洞陣列圖	34	圖3.21 YBCO霍爾微橋上留下洞陣列之缺陷
35	圖3.22 利用光學微影技術做出直徑 $2\ \mu\text{m}$ 比例1:2之人工釘扎缺陷陣列的光學顯微鏡照片	36	圖3.23 利用光學微影與離子蝕刻完成YBCO霍爾微橋圖形
36	圖3.24 完成PMMA塗佈與烘烤	37	圖3.25 利用奈米圖形產生器NPGS系統在微橋中心寫出毫微米結構
38	圖3.26 完成顯影後，在PMMA上會產生毫微米等級之洞陣列圖形	38	圖3.27 舉離後，YBCO霍爾微橋上Ni點釘扎陣列圖形
38	圖3.28 Ni釘扎陣列樣品完成圖	39	圖3.29 利用電子束微影技術做出直徑 $600\ \text{nm}$ 比例1:2之人工釘扎缺陷陣列的SEM照片
41	圖3.30 霍爾微橋上不對稱之人工釘扎Ni點陣列SEM圖	41	圖3.31 霍爾微橋上縱向、橫向電阻率量測接角示意圖
43	圖3.32 霍爾效應量測示意圖	43	圖3.33 Hall Effect 量測圖形及量測方式
44	圖3.34 超導量子干涉儀量測電性時週邊儀器配置圖	46	圖4.1 樣品Yad2在不同外加磁場與不同方向下之縱向電阻率( $\rho_{xx}$ )對溫度(T)之改變圖
46	圖4.2 樣品Yad2在I//a方向上不同電流密度之縱向電阻率對溫度之改變圖	47	圖4.3 樣品Yad2在I//a方向上不同磁場下之 $\ln(\rho_{xx})-1/T$ 之改變圖
48	圖4.4 樣品Yad2在I//a方向上不同電流下之 $\ln(\rho_{xx})-1/T$ 之改變圖	50	圖4.5 樣品Yad2在不同方向之釘扎位能U對 $\ln(H)$ 作圖
51	圖4.6 樣品Yad2在I//a方向上霍爾係數對溫度的作圖	51	圖4.7 樣品Yad2在I//a方向上不同電流對霍爾係數之改變圖
52	圖4.8 樣品Yad2在不同方向上相同電流密度對霍爾係數之影響圖	53	圖4.9 樣品Yad2在不同電流與方向之霍爾負阻對溫度圖
55	圖4.10 樣品Yad2在I//a方向之 $ \ln(\rho_{xy}) $ 與 $\ln(\rho_{xx})$ 作圖	56	圖4.11 樣品Yni2、Yni3在不同外加磁場下之 $\rho_{xx}$ 對T之變化圖
58	圖4.12 樣品Yni2在不同電流方向下 $\rho_{xx}$ 對H之變化圖	58	圖4.13 樣品Yni2在不同電流方向下 $\ln(\rho_{xx})$ 對 $1/T$ 之比較圖
59	圖4.14 樣品Yni2在不同電流強度下 $\ln(\rho_{xx})$ 對 $1/T$ 之比較圖	60	圖4.15 樣品Yni2在不同磁場下之霍爾係數各向異性圖
62	圖4.16 樣品Yni2與Yni3釘扎比例之霍爾係數比較圖	63	圖4.17 樣品Ynd2、Ynd3在電流平行a軸下不同磁場、不同電流之霍爾負阻
65	圖4.18 樣品Ynd2利用WT fitting之霍爾負阻圖	66	圖4.19 樣品Yai3在I//a方向之 $ \ln(\rho_{xy}) $ 與 $\ln(\rho_{xx})$ 作圖(有double sing reversal)的產生
68	表目錄 表3.1 實驗樣品基本參數歸納圖	30	表4.1 樣品Yad2在不同磁場、不同電流與不同方向之釘扎位能U
47	表4.2 樣品Yad2在不同電流與方向之霍爾負阻與磁場關係之表格	54	表4.3 樣品Yad2在 $500\ \mu\text{A}$ 、 $1\ \text{mA}$ 下不同方向之 $\rho_{xx}$ 值
56	表4.4 樣品Yni2在不同磁場、不同電流與不同方向之釘扎位能U	61	表4.5 樣品Yni3在電流平行a軸下不同磁場、不同電流之釘扎位能U
61	表4.6 樣品Yni2在不同磁場、不同電流效應下之霍爾負阻	64	表4.7 樣品Yni3在電流平行a軸下不同磁場、不同電流之霍爾負阻
65	表4.8 樣品Yni2在 $1\ \text{mA}$ 、 $2\ \text{mA}$ 下不同方向之 $\rho_{xx}$ 值	67	表4.9 樣品Yni3在電流平行a軸給予 $500\ \mu\text{A}$ 、 $1\ \text{mA}$ 、 $2\ \text{mA}$ 下之 $\rho_{xx}$ 值

## 參考文獻

- [1] M. Gulffy and E. Zirngiebl, Solid State Commun. 68, 929 (1988).
- [2] Y. Iye, S. Nakamura, and T. Tanegai, Physica (Amsterdam) 159 C, 616 (1989).
- [3] K. C. Woo, K. E. Gray, R. T. Kampurith, and J. H. Kang, Physica (Amsterdam) 162C-164C, 1011 (1989).
- [4] T. Tamegic and Y. Iye, Phys. Rev. B 44, 10167 (1991).
- [5] N. P. Ong et al., Physica (Amsterdam) 185C, 34 (1991).
- [6] Z. V. Zavarisky, A. V. Samoilov, and A. A. Yurgens, Physica (Amsterdam) 180C, 417 (1991).
- [7] A. G. Arrov and S. H. Kami, Phys. Rev. B 41, 9548 (1990).
- [8] J. E. Hirsch and F. Marsiglio, Phys. Rev. B 43, 424 (1991).
- [9] L. Lu, Ph.D. dissertation, Beijing University, China, 1992.
- [10] A. Freimuth, C. Hohn, and M. Gulffy, Phys. Rev. B 44, 10396 (1991).
- [11] J. L. Chen and T. J. Yang, Phys. Rev. B 50, 4064 (1994).
- [12] S. J. Haggren et al., Phys. Rev. B 42, 6777 (1990).

- [13] Y. X. Jia, T.Z. Liu, M. D. Lau, and R.N. Shelton, *phys. Rev. B* 47, 6043 (1993).
- [14] E. Z. Meilikhov and R. M. Farzetdinova. *Physica (Amsterdam)* 210C, 473 (1993).
- [15] Z. D. Wang and C. S. Ting, *Phys. Rev. B* 46, 284 (1992).
- [16] H. E. Horng et al., *Solid State Commun.* 93, 537 (1995).
- [17] M, N, Kunchur, D. K. Christen, and C. E. Klabunde, *Phys. Rev. Lett.* 72, 2259 (1994).
- [18] N. V. Zavaritsky, A. V. Samoilov, A. A. Yurgens, *Physica C* 180 (1991) 417.
- [19] J. Bardeen and M. J. Stefan, *Phys. Rev.* 140, A1197 (1965); J. Bardeen and M. J. Stefan, *Phys. Rev. Lett.* 14, 112 (1965).
- [20] P. Nozieres and W. F. Vinen, *Philos. Mag.* 14, 667 (1966).
- [21] J. M. Harris, N. P. Ong, and Y. F. Yan, *Phys. Rev. Lett.* 71, 1455 (1993). B. D. Josephson, *Phys. Lett.* 16, 242 (1965).
- [22] R. C. Budhani, S. H. Liou, and Z. X. Cai, *Phys. Rev. Lett.* 71, 621 (1993).
- [23] S. Ullah and A. T. Dorsey, *Phys. Rev. B* 44, 262 (1991).
- [24] A. T. Dorsey, *Phys. Rev. B* 46, 8376 (1992).
- [25] R. J. Troy and A. T. Dorsey, *Phys. Rev. B* 47, 2715 (1993).
- [26] N. B. Kopnin, B. I. Ivlev, and V. A. Kalatsky, *J. Low. Temp. phys.* 90, 1 (1993).
- [27] N. B. Kopnin and V. M. Vinokur, *Phys. Rev. Lett.* 83, 4864 (1999) [28] P. W. Anderson, and Y. B. Kim, *Rev. of Mod. Phys.* (1964) 39.
- [29] W. Meissner and R. Ochsenfeld, *Naturwiss.* 21(1933), 787.
- [30] T. Nishizaki et al., *Physica (Amsterdam)* 181C, 223 (1991).
- [31] 超導電性導論 p189-193, p137-153, p208-210 [32] L.M. Wang, H.C. Yang, *Phys. Rev. Lett.* 78, 527 (1997) [33] J. Luo, T.P. Orlando, J. M. Graybeal, X. D. Wu, and R. Muenchausen, *Phys. Rev. Lett.* 68, 690 (1992).
- [34] A. V. Samoilov, *Phys. Rev. Lett.* 71, 617 (1993).
- [35] H.C. Yang, H.E. Horng, L.M. Wang, *Chin. J. Phys.* 36, 527 (1998) [36] A. T. Dorsey and M.P.A. Fisher, *Phys. Rev. Lett.* 68, 694 (1992).
- [37] V. M. Vinokur, V. B. Geshkenbein, M. V. Feigel'man, and G. Blatter, *Phys. Rev. Lett.* 71, 1242 (1993).
- [38] W. Liu, T.W. Clinton, and C. J. Lobb, *Phys. Rev. B* 52, 7482 (1995).
- [39] C. B. Eom, J. Z. Sun, B. M. Lairson, S. K. Streiffer, A. F. Marshall, K. Yamamoto, S. M. Anlage, J. C. Bravman and T. H. Geballe, *Physica C* 171 (1990) 354.
- [40] T. Kobayashi, S. Eto, Y. Kato, K. Usumi and T. Goto, *Jpn. J. Appl. Phys.* 32 (1993) 3150.
- [41] 陳家全、李家維、和楊瑞森, *生物電子顯微鏡學*, p5-22, p112-131 [42] 李學丹、萬英超、姜祥祺、和杜元成, *真空沈積技術*, p65-114 [43] 李秉傑, *科儀新知*, 第十三卷第四期, p28(1992)