

The Studies of Hall Effect in YBa₂Cu₃O_{7-y} Thin Films with Asymmetrically Artificial Flux Pinning Array

郭致謙、王立民

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

ABSTRACT

We were successfully grown High-T_c superconductor YBa₂Cu₃O_{7-y}(YBCO) thin films on SrTiO₃(STO) substrates by using RF magnetron sputtering. We used the photolithography, electron beam writing and ion etching techniques to fabricate the thin film for Hall pattern with 20 μm width microbridge. We fabricated YBCO microstrip lines with a asymmetric anti-dot(array lattice parameters of a = 2 μm and b = 4 μm) and Ni-dot (array lattice parameters of a = 1 μm and b = 2 and 3 μm) arrays. The mixed-state Hall effects were measured. In the asymmetric anti-dot array, we can find that the pinning potential energy is larger when the current was applied along the b axis, corresponding to a maximum negative Hall resistivity was observed. In the asymmetric Ni dot array, we can find that the pinning potential energy is larger when the current was applied along the a axis, corresponding to a maximum negative Hall resistivity was observed. The experimental results can be discussed and explained within the theories of the flux creep model and Wang and Ting 's model.

Keywords : High-T_c superconductor ; Hall effect ; Pinning Potential energy ; Negative Hall resistivity

Table of Contents

目錄 封面內頁 簽名頁 授權書	iii	中文摘要	
. iv 英文摘要		v 誌謝	
. vi 目錄		vii 圖目錄	
. 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	
. 1.1.2 霍爾效應的反正行為	3	1.2 研究動機	4
1.3 論文架構	5	第二章 基本原理 2.1 霍爾效應	
. 6.2.2 A-K磁通蠕動模型	6	2.3 混合態的磁通渦旋線	
. 9.2.4 非理想的二類超導與磁通釘扎	11	2.5 理想的磁通流動	13
2.6 霍爾電阻與縱向電阻 關係式	15	第三章 實驗方法與儀器設備 3.1 前言	
. 17.3.2 實驗儀器	18	3.2.1 薄膜濺鍍系統	
. 18.3.2.2 熱蒸鍍系統	21	3.2.3 掃描電子顯微鏡之應用	22
離子蝕刻	25	3.2.4 Ar+	
. 29.3.1 樣品製程	29	3.2.5 霍爾量測系統-超導量子干涉儀	27
. 40		3.3 樣品製程與量測	
. 45		3.4 樣品分析與量測	
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	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	
. 45.4.1.1 樣品Yad2在不同磁場下縱向電阻率(xx)對溫度(T)之討論	45	4.1.1 樣品Yad2在不同磁場下縱向電阻率(xx)對溫度(T)之討論	
. 45.4.1.2 樣品Yad2在外加不同磁場下釘扎能之影響	47	4.1.3 樣品Yad2釘扎能各向異性之討論	49
4.1.4 樣品Yad2外加磁場對霍爾係數之影響	50	4.1.5 樣品Yad2電流強度對霍爾係數之影響	51
4.1.6 樣品Yad2各向異性對霍爾係數之影響	52	4.1.7 樣品Yad2霍爾負阻與 比值相互關係之討論	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	4.2.1 樣品Yni2、Yni3在不同磁場下縱向電阻率(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	4.2.3 Yni系列	
樣品之霍爾係數各向異性討論	62	4.2.4 Yni系列樣品霍爾負阻與 比值相互關係之討論	
. 63		第五章 結論	69
參考文獻	70	圖目錄 圖1.1 霍爾負阻反正之行為示意圖	2
圖1.1 霍爾負阻反正之行為示意圖	7	圖2.1 A-K磁通蠕動模型示意圖	10
圖2.2 混合態的渦旋結構	10	圖2.3 混合態分佈圖	12
圖2.4 磁通渦旋線進入超導體內的情形	13	圖2.5 磁通流動的示意圖	16
圖2.6 為YBCO薄膜在外加磁場1~5 Tesla下對In xy 與In xx作圖	19	圖3.1 物理沉積法的分類整理成	20
圖3.2 濺射鍍膜槍示意圖	20	圖3.3 磁控濺鍍系統示意圖	21
圖3.4 磁控濺鍍系統實體圖	21	圖3.5 高真空熱蒸鍍系統示	

意圖	22	圖 3.6 電子打斷化學鍵示意圖	23	圖3.7 掃描式電子顯微鏡(型號：HITACHI S-3000N)	24	圖3.8 電子束微影系統示意圖	25	圖3.9 非等向性蝕刻示意圖	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	32	圖3.17 清洗丙酮後留下YBCO霍爾微橋	33	圖3.18 (a)旋塗光阻AZ 5214E (b)在霍爾微橋中心曝2 μm 之點陣列圖形	33	圖3.19 顯影後在微橋中心留下洞陣列圖	34	圖3.20 利用離子蝕刻法蝕刻洞陣列圖形	34	圖3.21 YBCO霍爾微橋上留下洞陣列之缺陷	34	圖3.22 利用光學微影技術做出直徑2 μm 比例1:2之人工釘扎缺陷陣列的光學顯微鏡照片	35	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	36	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	37	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	38	圖3.29 利用電子束微影技術做出直徑600 nm比例1:2之人工釘扎缺陷陣列的SEM照片	39	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	41	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	44	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(ρ_{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	46	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	47	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	48	圖4.5 樣品Yad2在不同方向之釘扎位能U對 $\log(H)$ 作圖	50	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 ρ_{xx} 對T之變化圖	58	圖4.12 樣品Yni2在不同電流方向下 ρ_{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 μA 、1 mA下不同方向之 ρ_{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 mA、2 mA下不同方向之 ρ_{xx} 值	67	表4.9 樣品Yni3 在電流平行a軸給予500 μA 、1 mA、2 mA下之 ρ_{xx} 值	67
--------------	----	----------------------------	----	---	----	---------------------------	----	--------------------------	----	-----------------------------	----	---------------------------------------	----	-----------------------------------	----	---------------------------------------	----	-----------------------------	----	--	----	---	----	---------------------------------	----	---	----	--------------------------------	----	--------------------------------	----	-----------------------------------	----	--	----	---	----	-----------------------------	----	---	----	--	----	--	----	-----------------------------	----	---	----	--	----	--------------------------------------	----	---------------------------	----	---------------------------------------	----	-------------------------------------	----	---	----	--	----	---	----	---	----	--	----	---	----	--	----	--	----	--	----	--	----	---	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	---	----	---	----	--	----	--------------------------------	----	--	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	---	----	--	----	---	----

REFERENCES

- [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. Galffy, 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.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)