

# Applications of Electron Beam Lithography to the High Temperature Superconductors Tunneling Devices

方彥博、王立民、陳昭翰

E-mail: 9511058@mail.dyu.edu.tw

## ABSTRACT

The major study of this thesis is to fabricate nano-scale weak link by electron beam lithography. This is an advanced process of nano-scale electronic devices technology. First, we study Andreev reflection on superconductor/ferromagnet interface, and we fabricate  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y/\text{LaSrMnO}_3$  ramp-edge tunnel junction with different crystalline-interface angle. Then measure voltage-current curve at low temperature (20 K), we find conductance  $G(V=0)$  changes in different crystalline-interface angle. This result proved YBCO has d-wave symmetry on a-b plane. The Josephson junctions with nano-scale weak link on  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (YBCO) thin films were fabricated by photolithography and electron beam lithography process. After measuring current-voltage curve, we find the critical current density is  $340 \text{ kA/cm}^2$  when the width of microstrip is about 250 nm. It appears YBCO weak link's character.

Keywords : electron beam lithography ; Josephson junction ; Andreev reflection

## 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
致謝 . . . . .	vi
目錄 . . . . .	vii
圖目錄 . . . . .	x
表目錄 . . . . .	xiv
第一章 緒論 1.1 研究背景 . . . . .	1
1.2 研究目的 . . . . .	2
1.2.1 鈾銀銅氧/鐵磁界面安得綴夫反射(Andreev reflection, AR)超導能隙 對稱性研究 . . . . .	3
1.2.2 利用電子束微影製技術(E-BEAM LITHOGRAPHY)製作高溫超導穿隧界面 . . . . .	3
第二章 基本原理 2.1 超導體的基本特性 . . . . .	5
2.1.1 臨界溫度 . . . . .	5
2.1.2 零電阻與抗磁性 (Diamagnetism) . . . . .	5
2.2 半金屬含錳氧化物巨磁阻材料介紹 . . . . .	7
2.2.1 磁阻簡介 . . . . .	7
2.2.2 巨磁阻材料 . . . . .	10
2.3 安得綴夫反射(Andreev reflections, AR)超導 / 鐵磁穿隧 . . . . .	13
2.3.1 自旋偏極化率P . . . . .	13
2.3.2 利用超導 / 鐵磁界面之安得綴夫反射(Andreev reflection)研究YBCO超導能隙 之對稱性 . . . . .	16
2.4 約瑟夫森(Josephson junctions)原理 . . . . .	17
2.5 直流超導量子干涉元件(dc SQUIDS) . . . . .	20
第三章 實驗儀器與實驗方法 3.1 薄膜成長方法 . . . . .	27
3.1.1 基板的選取 . . . . .	27
3.1.2 使用射頻磁控濺鍍(RF Magnetron Sputtering) 成長鈾銀銅氧薄膜 . . . . .	28
3.2 光學微影與蝕刻 . . . . .	30
3.2.1 光學微影步驟 . . . . .	30
3.2.2 光阻 . . . . .	33
3.2.3 高真空離子蝕刻系統 . . . . .	35
3.3 電子束微影的原理與操作概要 . . . . .	37
3.3.1 歷史背景 . . . . .	37
3.3.2 基本原理 . . . . .	38
3.3.3 儀器架構 . . . . .	39
3.3.4 電子束散射效應與充電效應 . . . . .	41
3.4 電子束微影的操作過程與概要NPGS(Nanometer Pattern Generation System) . . . . .	44
3.4.1 聚甲基丙烯酸甲酯正電子阻劑及顯影液配製 . . . . .	44
3.4.2 法拉第杯製作 . . . . .	46
3.4.3 NPGS基本操作步驟與機台校正 . . . . .	47
3.5 安得綴夫反射(Andreev reflections, AR)超導 / 鐵磁 穿隧界面製作步驟與量測方法 . . . . .	50
3.5.1 安得綴夫反射 超導 / 鐵磁穿隧界面製作步驟 . . . . .	50
3.5.2 安得綴夫反射 超導 / 鐵磁穿隧界面量測方法 . . . . .	53
3.6 約瑟夫森接面(Josephson junctions) 元件製作步驟與量 測方法 . . . . .	55
3.6.1 約瑟夫森接面元件製作步驟 . . . . .	55
3.6.2 約瑟夫森穿隧界面量測方法 . . . . .	56
第四章 結果與討論 4.1 安得綴夫反射(Andreev reflections, AR)超導 / 鐵磁穿隧界面 . . . . .	59
4.1.1 製程結果與討論 . . . . .	59
4.1.2 薄膜特性量測結果與討論 . . . . .	61
4.1.3 電流對電阻(I-V)結果與討論 . . . . .	63
4.2 約瑟夫森接面(Josephson junctions)元件 . . . . .	69
4.2.1 製程結果與討論 . . . . .	69
4.2.2 電壓對電流(V-I)結果與討論 . . . . .	76
第五章 結論 . . . . .	86
參考文獻 . . . . .	87
圖目錄 圖1.1 欲製作的弱連結結構圖 . . . . .	4
圖2.1 理想導體與超導體在外加磁場下冷卻的差異 . . . . .	6
圖2.2 五種磁阻的示意圖 . . . . .	6

9	圖2.3 CaTiO <sub>3</sub> 鈣鈦礦結構圖	11	圖2.4 LaMnO <sub>3</sub> 之磁矩排列構造圖
12	圖2.5 Strijfers等人[26]對T=1.5 K所計算G(V)的一些結果	15	圖2.6 (a)(b)(c) 利用超導 / 鐵磁界面之Andreev reflection研究YBCO超導能隙 對稱性之製程示意圖
17	圖2.7 超導體(S)/絕緣體(I)/超導體(S), 組成SIS幾何形狀的約瑟夫森界面	18	圖2.8 約瑟夫森界面的等效電路圖
20	圖2.9 直流超導量子干涉元件的示意圖	21	圖2.10 dc-SQUIDS之V-I曲線V- 曲線之關係
26	圖3.1 雙離軸式(off-axis)磁控濺鍍示意圖	29	圖3.2 光學微影製程流程圖
30	圖3.3 (a)接觸式 (b)近接式 (c)投影式之示意圖	32	圖3.4 正負光阻微影流程圖
34	圖3.5 氬離子束產生器	35	圖3.6 真空鍍膜系統與離子蝕刻系統實體圖
36	圖3.7 為本套系統 - 離子蝕刻、薄膜蒸鍍、濺鍍系統之示意圖	37	圖3.8 電子打斷化學鍵示意圖
38	圖3.9 NPGS儀器裝置圖	40	圖3.10 散射效應
41	圖3.11 引用導電性材料前後的比較	43	圖3.12 (a)3 %PMMA正電子阻劑
45	圖3.12 (b)10 %PMMA正電子阻劑	45	圖3.13 法拉第杯構造圖
46	圖3.14 SEM畫面下隔孔圖	47	圖3.15 NPGS基本操作步驟流程圖
47	圖3.16 NPGS專用載台圖	49	圖3.17 奈米金30萬倍放大圖
49	圖3.18 (a)~(i) 安得綴夫 超導 / 鐵磁穿隧界面製作步驟	52	圖3.19 低溫測量系統
54	圖3.20 製作方法	55	圖3.21 電子束微影的圖型
56	圖3.22 低溫測量系統	58	圖4.1 光學微影製程流程圖
59	圖4.2 鍍金接腳後的成品圖	59	圖4.3 樣品表面形狀SEM放大圖
60	圖4.4 LSMO與NSMO $\log[R/R(T=300\text{ K})]$ 對溫度關係圖	61	圖4.5 各接角超導 / 鐵磁界面R-T關係圖
62	圖4.6 為在T=20 K各不同角度 之 $dI/dV$ -V關係圖	64	圖4.7 G(V=0)對不同角度接角圖
65	圖4.8(a) $\theta = -45^\circ$ (110)時在不同溫度下之G-V曲線圖	66	圖4.8(b) $\theta = 90^\circ$ (100)時在不同溫度下之G-V曲線圖
67	圖4.9 $\theta = -45^\circ$ 與 $90^\circ$ 之G(V=0)-T	67	圖4.10 在同一塊樣品上(100)與(110)界面的G-V曲線圖
68	圖4.11 乾式與濕式蝕刻的流程圖	69	圖4.12 酸蝕刻後左右蝕刻不均
70	圖4.13 酸蝕刻後	71	圖4.14 乾蝕刻前處理
72	圖 4.16 第一道黃光微影蝕刻後圖	72	圖 4.17 經過電子束微影製作後
74	圖 4.18 離子蝕刻後	74	圖 4.19 離子蝕刻後
75	圖4.20 方法一製程前後YBCO薄膜電阻對溫度量測結果	76	圖 4.21 酸蝕刻後結果與V-I量測圖
77	圖 4.22 酸蝕刻後結果與V-I量測圖	78	圖 4.23 離子蝕刻一分鐘後
79	圖 4.24(a)(b)(c) 不同時間氬離子束蝕刻後V-I量測圖	80	圖 4.25 製程前R-T圖
81	圖 4.26 製程後R-T圖	82	圖4.27 (a)(b)(c) 不同溫度的V-I圖
83	表目錄 表2.1 Au、Bu, 以及BP, (AP = 0) 表4.1、鈇銀銅氧薄膜成長參數	44	表3.1 鈇銀銅氧薄膜成長參數
49	表4.1 蝕刻結果	81	

## REFERENCES

- 參考文獻 [1] P.Monthoux, A. Balatsky, and D. Pines, Phys. Rev. B 46, 14803 (1992).  
[2] G. A. Prinz, Phys. Today 48, 58 (1995); Science 282, 1660 (1998).  
[3] Parkin S. S. P. et al., Science 281, 797(1998) [4] D. Koelle, R. Kleiner, F. Ludwig, E. Dantsker, J. Clarke, Rev. Mod. Phys. 71, 631 (1999)  
) [5] H. C. Yang et al., Journal of Physics and Chemistry of Solids 62, 1837(2001).  
[6] P.Monthoux, A. Balatsky, and D. Pines, Phys. Rev. B 46, 14803 (1992).  
[7] D. S. Rokhsar, Phys. Rev. Lett. 70, 493 (1993) [8] I. Iguchi<sup>1</sup>, W. Wang<sup>1</sup>, M. Yamazaki<sup>1</sup>, Y. Tanaka<sup>2</sup>, and S. Kashiwaya<sup>3</sup>, Phys. Rev. B 62, R6131 – R6134(2000) [9] B. D. Josephson, "Possible New Effects in Superconductive Tunnelling", Phys. Lett., 1, 251 (1962).  
[10] M.N.Baibich, J.M.Broto, A.Fert, F.Nguyen van Dau, F.Petroff, P.Etienne, G.Creuzet, A.Friederich and J.Chazelas, Phys. Rev. Lett. 61, 2472 (1988) [11] R.Von.Helmut, J.Wecker, B.Holzapfel, L.Schultz and K.Samwer, Phys. Rev.Lett. 71, 2331 (1993) [12] S.Jin, T.H.Tiefel, M.McCormack, R.A.Fastnacht, R.Ramesh and L.H.Chen, Science, 264, 413 (1994) [13] S.Jin, T.H.Tiefel, M.McCormack, H.M.O' Bryan, L.H.Chen and R.Ramesh, Appl. Phys. Lett. 67, 557 (1995) [14] M.Julliers, Phys. Lett. 54A, 225 (1975).  
[15] 張慶瑞, "常磁電阻與異向磁電阻", 中華民國磁性技術協會會訊第十九期, p.5 (1999) [16] S.Jin, T.H.Tiefel, M.McCormack, R.A.Fastnacht, R.Ramesh and L.H.Chen, Science, 264, 413 (1994) [17] M.Julliers, Phys. Lett. 54A, 225 (1975) [18] G.H.Jonker and

- J.H.Van Santen , Physica. 16 , 337 (1950) [19] C.Zener , Phys. Rev. 82 , 403 (1951) ) .
- [20]. N.F.Mott , Adv. Phys. 21 , 785 (1972) [21]. R.M.Kusters , J.Singleton , D.A.Keen , R.McGreevy and W.Hayes , Physica. B.45 , 9819 (1992) [22]. M.R.Oliver , J.O.Dimmock , A.L.Mc Whorter and T.B.Reed , Phys. Rev. B. 5 , 1078 (1972) [23] R.M.Kuster , J.Singleton , D.A.Keen , R.McGreevy and W.Hayes , Phys.B , 155 , 362 (1989) [24]. R.Von.Helmut , J.Wecker , B.Holzapfel , L.Schultz and K.Samwer , Phys. Rev.Lett. 71 , 2331 (1993) [25]. K.Chanara , T.Ohno , M.Kasai and Y.Kozono , Appl. Phys. Lett. 63 , 1990 (1993) [26] G.. T. Strijkers , Y. Ji , F. Yang , C. L. Chien , and J. M. Byers , Phys. Rev. B 63, 104510 ( 2001 ) .
- [27] A. f. Andreev , Sov. Phys. JETP 19, 1228(1964).
- [28] L. M. Wang, et al., Physical C 341-348, 2729(2002).
- [29] B. D. Josephson, “ Coupled Superconductors ” , Rev. Mod. Phys. 36, 216 ( 1964 ) .
- [30]B. D. Josephson, “ Supercurrents Through Barriers ” , Adv. Phys. 14, 419 ( 1965 ) .
- [31] 張勁燕, ” 半導體製程設備 ” .五南文化事業.
- [32] Z. Y. Chen\*, Amlan Biswas, Igor ?uti?, T. Wu, S. B. Ogale, R. L. Greene, and T. Venkatesan , Phys. Rev. B 63, 212508 (2001) [33] H. C. Yang et al., Journal of Physics and Chemistry of Solids 62, 1837(2001) [34] 邱燦賓、施敏 , 科學發展月刊28, 6,430 [35] Satoshi Kashiwaya , Yukio Tanaka , Masao Koyanagi and Koji Kajimura , Phys. Rev. B 53, 2667 – 2676 (1996) [36] J. Schneider, H. Kohlstedt, and R. wordenweber , Appl. Phys. Lett. 63 , 17 (1993)