

Fabrications and Characteristics of Step-Edge Tunneling Magnetoresistance Arrays

連栓興、王立民

E-mail: 9419748@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

The major work of this thesis is to fabricate tunneling devices on high-angle step-edge substrates, and study the influence of temperature and shape on the characteristics of tunneling devices. This thesis includes three main parts: 1. Growth and characteristics of diamond-like carbon thin film—growth diamond-like carbon thin film by magnetron sputtering under room temperature, and annealing in high vacuum to increase the hardness. 2. Fabrication of high-angle step-edge—utilize diamond-like carbon thin film to fabricate high quality and high-angle step-edge substrates. 3. Fabrication of tunneling magnetoresistance devices—change the shape to generate the magnetic anisotropy for increasing the tunneling magnetoresistance. The results show that the etching rate of diamond-like carbon thin film was slowdown after annealing at 700 C and 105 torr pressure for 3 hours. We also fabricated the step angle higher than 50 successfully by reactive ion etching. We fabricated the tunneling devices on these high-angle step-edge substrates and changed the shape to increase the magnetic anisotropy between grain boundaries for increasing the tunneling magnetoresistance. For the sample with 1:10 shape ratio, the variation rate of magnetoresistance is above 5% and the spin polarization is above 30%.

Keywords : LSMO、TMR、DLC thin film、and Step-edge.

Table of Contents

封面內頁 簽名頁 授權書	iii	中文摘要	iii
.	iv	英文摘要	v
.	vi	目錄	vii
.	x	表目錄	xiii
第一章 序論 1.1 前言	1	1.2 研究背景	1
.	2	1.3 研究目的與方法	3
.	3	1.4 相關材料與穿隧元件技術	4
龐磁阻材料-鈣鈦礦錳氧化物的介紹	4	1.4.1 穿隧磁阻	4
.	7	1.4.2 類鑽石薄膜的介紹	6
.	7	1.4.3 穿隧接面的介紹	6
.	7	第二章 理論基礎 2.1 磁阻的介紹	11
.	11	2.1.1 穿隧磁阻	11
.	11	2.2 自旋極化率之計算	13
.	14	2.3 磁異向性	13
.	14	2.4 電阻-磁場關係圖形探討	17
.	19	2.5 穿隧障壘之計算	17
.	19	第三章 理論基礎 3.1 真空鍍膜系統與離子蝕刻系統	21
.	25	3.2 黃光微影製程	21
.	29	3.3 反應式離子蝕刻	28
.	29	3.4 薄膜分析	30
.	31	3.5 原子力顯微鏡	30
.	31	3.6 薄膜測厚儀	30
.	31	3.7 拉曼光譜的介紹	33
.	35	第四章 實驗步驟與方法 4.1 類鑽石薄膜的磊晶成長	38
.	35	4.2 高角度階梯的製作	38
.	41	4.3 鐳錳錳氧薄膜的成長與形貌圖型的製作	41
.	41	4.3.1 鐳錳錳氧薄膜的成長	41
.	41	4.3.2 形貌之製作	41
第五章 數據分析與討論 5.1 DLC薄膜的成長與退火處理之研究	46	5.1.1 室溫成長DLC薄膜之AFM表面影像與拉曼光譜	46
.	46	5.1.2 高真空熱退火處理之DLC薄膜的AFM表面影像與拉曼光譜	47
.	47	5.1.3 退火溫對蝕刻速率之影響	51
.	52	5.2 高角度階梯的製作	51
.	52	5.3 利用形貌造成磁阻改變之探討	55
.	55	5.3.1 鐳錳錳氧薄膜的結構分析	55
.	55	5.3.2 階梯式LSMO穿隧元件之電阻率與溫度變化關係	56
.	57	5.3.3 磁阻與外加磁場之變化關係	57
.	59	5.3.4 不同溫度各樣品的磁阻綜合比較	58
.	59	5.3.5 不同方式製作階梯之穿隧磁阻比較	59
.	62	5.3.6 不同形貌對穿隧磁阻之影響	62
.	62	5.3.7 溫度效應對穿隧磁阻之影響	65
.	65	5.3.8 穿隧障壘與厚度之討論	71
.	71	第六章 結論	74
.	75	參考文獻	74
.	75	75 圖目錄 圖1-1 穿隧位障波函數示意圖	8
圖1-2 不同的穿隧界面	9	圖2-1 電子狀態密度之示意圖	9
.	13	圖2-2 軸較長的橢球體	16
.	16	圖2-3 形貌構想圖	16
.	16	圖2-4 R-H關係圖之butterfly特性曲線	17
.	19	圖2-5 WKB穿隧能障示意圖	17
.	19	圖2-6 穿隧障壘Vbi與RjA之關係圖	20
.	19	圖3-1 本實驗磊晶與蝕刻製程系	

統之實體照片圖	22	圖3-2 本實驗磊晶與蝕刻製程系統之示意圖	23	圖3-3 DLC與LSMO薄膜的濺鍍腔體	23	圖3-4 離子束蝕刻系統內部架構圖	24	圖3-5 黃光製程的步驟	25	圖3-6 本實驗所使用之曝光機台	27	圖3-7 本實驗所使用之RIE系統示意圖	28	圖3-8 (a) 為本實驗所用之XRD系統 (b) 為內部裝置圖	29	圖3-9 布拉格晶格繞射示意圖	30	圖3-10 為AFM原理的簡單示意圖	31	圖3-11 -Step量測的示意圖	32	圖3-12 DLC薄膜的拉曼光譜分析圖	34	圖4-1 第一階段流程圖	36	圖4-2 量測DLC薄膜蝕刻速率的方法	37	圖4-3 利用lift off方式製作階梯	39	圖4-4 利用RIE方式製作階梯	40	圖4-5 蝕刻角度示意圖	41	圖4-6 穿隧磁阻陣列示意圖	42	圖4-7 樣品光罩圖	43	圖4-8 成長LSMO前後之示意圖	43	圖4-9 實際樣品圖	44	圖5-1 DLC薄膜之Raman光譜分析圖	47	圖5-2 利用AFM量測之DLC薄膜表面圖	47	圖5-3 不同溫度高真空熱退火後的Raman光譜圖	49	圖5-4 不同溫度高真空熱退火後的AFM量測圖	50	圖5-5 退火溫度對 $I(D)/I(G)$ 比例的關係圖	51	圖5-6 退火溫度對蝕刻速率之關係圖	52	圖5-7 利用lift-off方式製作的階梯	53	圖5-8 利用RIE方式製作的階梯	53	圖5-9 舉離示意圖	54	圖5-10 利用RIE製作階梯示意圖	54	圖5-11 LSMO薄膜的X光繞射圖	55	圖5-12 無外加磁場下, 1:10形貌各樣品電阻率與溫度的關係圖	56	圖5-13 低溫低外加磁場下L10、LF10、RIE10磁阻變化率與外加磁場關係圖	58	圖5-14 5 K LF10與RIE10磁阻變化率與外加磁場的關係圖	59	圖5-15 5 K時LF01與RIE01磁阻變化率與外加磁場的關係圖	60	圖5-16 1:10形貌下, 不同溫度與MRmax間的關係圖	61	圖5-17 1:1形貌下, 不同溫度與MRmax間的關係圖	62	圖5-18 5 K下LF10、LF03、LF01的磁阻變化率與外加磁場之關係圖	63	圖5-19 5 K時RIE01、RIE10的磁阻變化率與外加磁場之關係圖	63	圖5-20 LF01、LF03、LF10不同溫度間 MRmax的比較圖	64	圖5-21 RIE01、RIE10不同溫度間 MRmax的比較圖	65	圖5-22 各樣品於不同溫度下之最大磁阻圖	66	圖5-23 LF01、LF03、LF10之TMR與溫度關係圖	68	圖5-24 RIE01、RIE10之TMR與溫度關係圖	68	圖5-25 LF01、LF03、LF10之自旋極化率與溫度的關係圖	69	圖5-26 RIE01、RIE10之自旋極化率與溫度的關係圖	70	圖5-27 LF01、LF03、LF10穿隧障壘與溫度間的關係圖	71	圖5-28 RIE01、RIE10穿隧障壘與溫度間的關係圖	72	圖5-29 LF01、LF03、LF10穿隧厚度與溫度間的關係圖	73	圖5-30 RIE01、RIE10穿隧厚度與溫度間的關係圖	73	表目錄		表2-1 推測LSMO微米線在R-H圖各位置磁矩之變化	18	表4-1 DLC薄膜磊晶成長之條件	36	表4-2 高真空熱退火之條件	37	表4-3 RIE蝕刻條件	40	表5-1 不同溫度各樣品MRmax之比較表	58
-------------------	----	---------------------------------	----	--------------------------------	----	-----------------------------	----	------------------------	----	----------------------------	----	--------------------------------	----	--	----	---------------------------	----	------------------------------	----	-----------------------------	----	-------------------------------	----	------------------------	----	-------------------------------	----	---------------------------------	----	----------------------------	----	------------------------	----	--------------------------	----	----------------------	----	-----------------------------	----	----------------------	----	---------------------------------	----	---------------------------------	----	-------------------------------------	----	-----------------------------------	----	---	----	------------------------------	----	----------------------------------	----	-----------------------------	----	----------------------	----	------------------------------	----	------------------------------	----	---	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	---	----	--	----	---	----	--	----	---------------------------------	----	--	----	---------------------------------------	----	---	----	--	----	--	----	---	----	--	----	---	----	-----	--	---------------------------------------	----	-----------------------------	----	--------------------------	----	------------------------	----	---------------------------------	----

REFERENCES

- [1] C. Kwon, Q. X. Jia, Y. Fan, M. F. Hundley, D. W. Reagor, J. Y. Coulter, and D. E. Peterson, Appl. Phys. Lett. 72, 486(1998).
- [2] S. P. Isaac, N. D. Mathur, J. E. Evetts, and M. G. Blamire, Appl. Phys. Lett. 72, 2038(1998).
- [3] X. W. Li, A. Gupta, Gang Xiao and G. Q. Gong, Appl. Phys. Lett. 71, 1124(1997); K. Hamaya, T. Taniyama, and Y. Yamazaki, J. Appl. Phys. 89, 6320(2001).
- [4] M. Ziese, G. Heydon, R. Hohn, P. Esquinazi, and J. Dienelt, Appl. Phys. Lett. 74, 1481(1999).
- [5] Takeshi Obata, Takashi Manako, Yuichi Shimakawa, and Yoshimi Kubo, Appl. Phys. Lett. 74, 290(1999); Moon-Ho Jo, N. D. Mathur, N. K. Todd, and M. G. Blamire, Phys. Rev. B 61, 14905(2000).
- [6] J. B. Philipp, C. Hofener, S. Thienhaus, J. Klein, L. Alff, and R. Gross, Phys. Rev. B 62, R9248(2000).
- [7] M. Bowen, M. Bibes, A. Barthelemy, J.-P. Contour, A. Anane, Y. Lemaitre, and A. Fert, Appl. Phys. Lett. 82, 233(2003).
- [8] F. Guinea, Phys. Rev. B 58, 9212(1998).
- [9] Pin Lyu, D. Y. Xing, and Jinming Dongee, Phys. Rev. B 60, 4235(1999).
- [10] H. Itoh, T. Ohsawa, and J. Inoue, Phys. Rev. Lett. 84, 2501(2000).
- [11] J. -H. Park, E. Vescovo, H. -J. Kim, C. Kwon, R. Ramesh, and T. Venkatesan, Phys. Rev. Lett. 81, 1953(1998).
- [12] Jagadeesh S. Moodera, Janusz Nowak, and Rene J. M. van de Veerdonk, Phys. Rev. Lett. 80, 2941(1998).
- [13] H. Q. Yin, J. -S. Zhou, and J. B. Goodenough, Appl. Phys. Lett. 77, 714(2000).
- [14] Y. Moritomo, A. Asamitsu, and Y. Tokura, Phys. Rev. B 51, 16491(1995).
- [15] Yu Lu, X. W. Li, G. Q. Gong, Gang Xiao, A. Gupta, P. Lecoeur, J. Z. Sun, Y. Y. Wang, and V. P. Dravid, Phys. Rev. B 54, 8357(1996); X.

- W. Li, Yu Lu, G. Q. Gong, Gang Xiao, A. Gupta, P. Lecoeur, J. Z. Sun, Y. Y. Wang, and V. P. Dravid, *J. Appl. Phys.* 81, 5509(1997); F. J. Cadieu, Li Chen, Biao Li, and T. Theodoropoulos, *Appl. Phys. Lett.* 75, 3369(1999). Only the third article showed room temperature MR devices using LSMO polycrystalline films.
- [16] J. Z. Sun, W. J. Gallagher, A. C. Callegari, V. Foglietti and R. H. Koch “ Improved process for high-T_c superconducting step-edge junctions ” , *Appl. Phys. Lett.* 63, 1561(1993) [17] L.M. Wang et al. / *Thin Solid Films* 457 (2004) 359 – 364 “ Effects of step-edge conditions on the magnetoresistance of La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ tunneling junctions ” .
- [18] L.M. Wang et al. / *J. Appl. Phys.*, Vol. 95, No. 9, 1 May 2004, ” Room-temperature tunneling magnetoresistance in La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ step-edge junctions ” .
- [19] C. Zener, *Phys. Rev.* 81, 440 (1951) [20] C. Zener, *Phys. Rev.* 82, 403 (1951) [21] H. A. John and E. Teller, *Proc. R. Soc. London A*, 166.220,(1937) [22] S. Jin, T. H. Tiefel, M. Me Cormak, R. A. Fastnacht, R. Ramesh and L. H. Chen, *Science* 264. 413 (1994) [23] Young Suk Cho, “ Magnetoresistance of La_{1-x}Sr_xMnO₃ films deposited by RF magnetron co-sputtering ” , *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 226-230(2001) p.754-756 [24] K. Char, M. S. Colclough, S. M. Garrison, N. Newman, and G. Zaharchuk, “ Bi-epitaxial grain boundary junctions in YBa₂Cu₃O₇ ” , *Appl. Phys. Lett.* 59, 733 (1991) .
- [25] K. Char, M. S. Colclough, L. P. Lee, and G. Zaharchuk, “ Extension of bi-epitaxial Josephson junction process to various substrates ” , *Appl. Phys. Lett.*, 59, 2177 (1991) .
- [26] Yu. A. Boikov, A. L. Vasiliev, and T. Claeson, “ Biepitaxial Josephson junctions with high current density based on YBa₂Cu₃O₇- films on silicon sapphire ” , *J. Appl. Phys.* 77, 1654 (1995) .
- [27] Kiejun Lee and Ienair Iguchi, “ Josephson effects in YBaCuO grain boundary junctions on (100) MgO bicrystal substrates ” , *Appl. Phys. Lett.* 66, 769 (1995) .
- [28] I. V. Borisenko, P. B. Mozhaev, G. A. Ovsyannikov, K. Y. Constantinian, E. A. Stepantsov, “ Superconducting current-phase relation in high-T_c symmetrical bicrystal junction ” , *Physica C* 368, 328 (2002) .
- [29] Gensoh Matsubara, Katsumi Eikyu, Masayuki Miyazaki, Hiroshi Kimura, and Yoichi Okabe, “ Fabrication of YBCO/PBCO/SrTiO₃/PBCO/YBCO Layered Structure for Superconductor-Insulator-Superconductor Tunnel-Type Josephson Junction ” , *Jpn. J. Appl. Phys.* 32, L1324 (1993) .
- [30] Toshiyuki Matsui, Takeshi Suzuki, Akihiko Ohi, Hiroshi Kimura, and Kazuo Mukae, “ Fabrication of Tunnel Junctions with YBCO/Insulator/YBCO Layered Structure Using (013)-Oriented Films as Base Layer ” , *Jpn. J. Appl. Phys.* 32, L1218 (1993) .
- [31] L. C. Ku, H. M. Cho, J. H. Lu, S. Y. Wang, W. B. Jian, H. C. Yang, and H.E. Horng, “ Characteristics of YBa₂Cu₃O_x tep-edge Josephson junctions on MgO substrate ” , *Physica C* 229, 320 (1994) .
- [32] 楊鴻昌, 物理專文『認識超導量子干涉元件SQUID』, 物理雙月刊11卷5期。
- [33] 楊鴻昌, 超導、超導—應用篇『最敏感的感測元件SQUID及其前瞻性應用』, 物理雙月刊24卷5期。
- [34] 張慶瑞, 中華民國磁性技術協會會訊, 第十九期, 1999, p.5 [35] *Phys. Rev. Lett.* 77, 2041 (1996) [36] M. Julliere, *Phys. Lett.* 54A, 225(1975)
- [37] B. D. Cullity, “ Introduction to Magnetic Materials ” , ADDISON-WESLEY Publishing Cpmpany(1972), p. 49.
- [38] 許樹恩, 吳泰伯, X 光繞射原理與材料結構分析, 中國材料科學學會, 1993, 頁121 [39] B. D. Cullity, *Elements of X-ray Diffraction* (Addison -Wesley, Massachusetts, 1977) p.81.
- [40] H. Nakazawa, Y. Yamagata, M. Suemitsu, M. Mashita, *Thin Solid Film* 467(2004) 98.
- [41] S. Y. Yang, C. H. Chen, H. E. Horng, W. L. Lee and H.C. Yang, “ Characteristics of YBCO SQUIDs with Step-edge And Biepitaxial Grain Boundaries ” , *IEEE*. Vol. 9, 3121, 1999.
- [42] K. Hamaya, T. Taniyama, Y.Y amazaki, *J. Appl.Phys.*89 (2001) 6320.
- [43] K.Steenbeck, T.Eick, K.Kirsch, and K.O'Donnells “ magneto- resistance of La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃ single crystal films ” , *Appl. Phys. Lett.* 71(7),25 August (1997), p. 968-970 [44] S. P. Isaac, N. D. Mathur, J. E. Evetts, and M. G. Blamire Department of Materials Science, University of Cambridge, Pembroke Street, Cambridge CB2 3QZ United Kingdom, ” Magnetoresistance of artificial La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ grain boundaries as a function of misorientation angle ” , *Applied Physics Letters* Volume 72, Number 16, 20 April (1998),p.2038-2040 [45] J. B. Philipp, L. Alff, A. Marx, and R. Gross, *Phys. Rev. B* 66,224417(2002).
- [46] C. H. Shang, J. Nowak, R. Jansen, and J. S. Moodera, *Phys. Rev. B* 58, R2917(1998).