

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

磁性薄膜和超晶格毫微米磁區結構之製作研究

Micro-Domain Fabrication of Magnetic Thin Films and Superlattices

計畫編號：NSC 88-2112-M-018-010

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：吳仲卿 國立彰化師範大學物理系

一、中文摘要

在第二年中我們仍持續第一年之工作進度以 Lift-off 的方式製作及探討毫為米人工磁釘孔陣列(artificial pinning center arrays for nanometer scale magnetic domains)，在鈷白金(Co/Pt)多層膜及合金系統中對磁區釘孔的研究中已有顯著成果。我們知道 Co/Pt 多層膜在特殊的各層膜膜厚組成的多層膜系統下有良好之垂直異向性(perpendicular anisotropy) 磁矩的特性(此部份請見黃榮俊教授及吳德和教授子計畫的期末報告)。因此配合新近發展之GaN 藍光雷射對其具有之顯著柯爾效應(Kerr effect) 在資訊儲存密度的提昇有其特殊優越點。

關鍵詞：人工磁釘孔、磁區、Co/Pt 多層膜、垂直異向性、藍光雷射

Abstract

In the second year of this three-year project, we have made much progress from the investigation of the artificial pinning sites for perpendicular anisotropy magnetic materials, such as Co/Pt multilayer and alloy. The main techniques consist of lift-off and overgrow processes in conjunction with electron beam lithography and molecular beam epitaxy, respectively. In principle, a standard electron lithography was used to fabricated artificial pinning sites with various shapes and deep/wide ratio. An active magneto-optical media of Co/Pt multilayers and alloys was deposited onto the preformatted pinning sites by molecular beam

epitaxy. With proper thickness combination and layer number of Co and Pt the multilayer showed rather good perpendicular anisotropy. Magnetic domains were pinned inside the artificial pinning array and resembled to the geometric shape of the array. In conjunction with the most recent developed GaN blue laser, which has greater Kerr effect, one would expect this research of magnetic domain pinning would make a contribution in increasing data storage density.

Keywords: electron beam lithography , lift-off, overgrowth, artificial pinning sites , Co/Pt multilayers , magneto-optical , perpendicular anisotropy ,

二、緣由與目的

當科技逐步演進，資訊儲存密度不斷的提高之同時，人們開始逐一由巨觀進而微觀探討磁性物質，我們必需了解到尺度(Scale)的問題。基本上“磁”的定義可被區分為從牽涉 10^{23} - 10^{26} 個原子之磁塊(bulk magnets)；小到牽涉 10^{12} - 10^{18} 個原子之磁區(Domain)；到更小只涉及 10^2 - 10^3 個原子之磁區壁(Domain Wall)。有時候小至十幾個原子尺寸的區域也扮演著重要的角色。換言之，從單一磁偶矩(magnetic moment：來自電子繞原子核及電子之自轉)進而排列整齊形成磁區，這當中自然牽涉到不同原子間電子交互作用的問題，而當磁區形成後牽涉到的是不同磁區之間的邊界—磁區壁(Domain Wall)，因此磁區壁的作用與運動

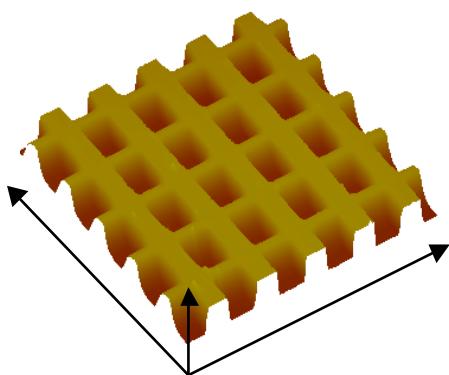
造成更大/小磁區的形成或破壞，從而展現在巨觀量的是磁場的分佈，磁力的作用，充磁/去磁形成的磁滯曲線，與外加磁場造成電阻之變化成磁阻。形成所謂由巨觀量測探究微觀行為；反之由微觀現象推論巨觀表現之研究。

本子計畫的主要工作就是探討微觀磁區的問題，企圖串起微觀與巨觀量之間的關係之研究，因此我們將針對毫微米磁區之製作及後續相關現象研究之文獻來探討；從而理出本子計畫之研究步驟與工作目標。既對於微小磁區之製作及探討。

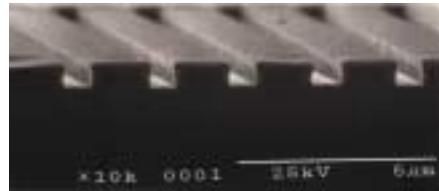
三、結果與討論

直至目前本子計畫配合其它子計畫的進度相當順利，而且已經有幾篇文章(詳見附件發表清單)。我們已經持續的完成了下述的工作進度：

(1) Lift-off 的製程：製作了各種不同形狀及大小的 Nanometer gold structures 當作人工釘扎陣列 (artificial pinning center arrays)，同時我們也進行電阻劑罩(Developed PMMA Masks)的方式遂行人工釘扎的研究(請見發表之論文)，此部份可見圖一及二的說明。

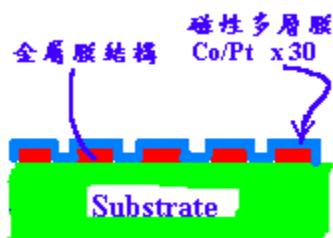


圖一：經過 Lift off 之金屬網狀之原子力顯微鏡影像，再經 MBE 成長磁性膜後金屬線所揭限區域既為磁人工釘扎。我們也嘗試了各種不同形狀及大小尺寸。



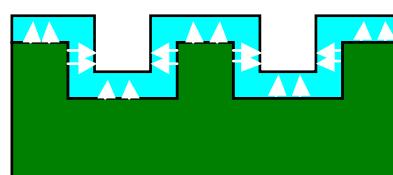
圖二：經過顯影之切面圖可以看出很好之 undercutting 形狀，經 MBE 成長磁性膜後顯影洗掉所揭限區域既為磁人工釘扎。

(2) Overgrowth 的薄膜成長方式：將(1)中所製作之晶片送總計畫黃榮俊教授實驗室成長 Co/Pt 等多層膜於具人工釘扎之晶片上；既多層膜覆蓋於人工釘扎陣列上，膜結構見圖三說明。



圖三：以 MBE 成長磁性膜覆蓋於 Lift off 之金屬揭限陣列示意圖。

因此，以任何一個凹洞而言其磁矩分部可以用圖四來作說明；



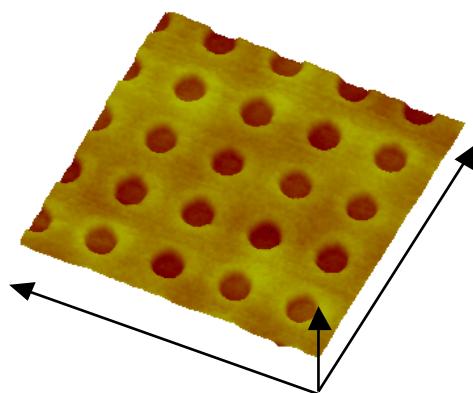
圖四：坑洞內及週圍磁矩分部示意圖，在邊際綫角上磁矩向坑洞內彎的結果，相信是造成釘扎揭限的原因。

(3) 磁力顯微鏡掃描(MFM Scanning)：我們將黃榮俊教授所成長(Overgrowth)的成品送子計畫吳德和教授用磁力顯微鏡觀察磁區的形成及侷限效應(Confinement)。所使用的磁力顯微鏡是 Digital Instruments 公司所製造之 NanoScopeIII。就磁區的觀察及研究 我

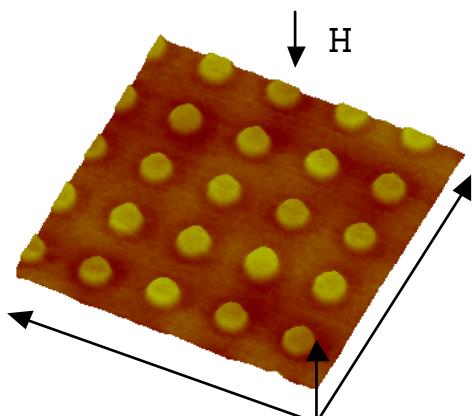
們依序做了下述的工作：

- (a) 自然狀態下(as deposited)的掃描；既多層膜 Overgrowth 後不外加任何磁場，直接由 MFM 掃描。
- (b) 磁化後看磁區的成長及掲限效應此部驟為將晶片置於偏極光顯微鏡下，於外加磁場下同時觀察磁區的形成與當磁區發展至釘孔陣列(Pinning site arrays)中間時便將外磁場關掉，如此正反極性以了解釘孔陣列區對磁矯頑力之大小之影響。
- (c) 飽和磁化後的觀察；既外加磁場到飽和區後關掉磁場(通常外加到26K Oe)，然後用 MFM 觀察，同時也反極性作同樣的工作。
- (d) 消磁後的觀察；消磁有不同的方式。在此我們使用垂直九十度於易磁軸方向(easy axis)外加高磁場(26K Oe)。當外加磁場關掉後 Co/Pt 垂直異向性的多層膜將呈上下胡亂分部的形況，因此吾人期望的磁區分部將是紊亂的現象。

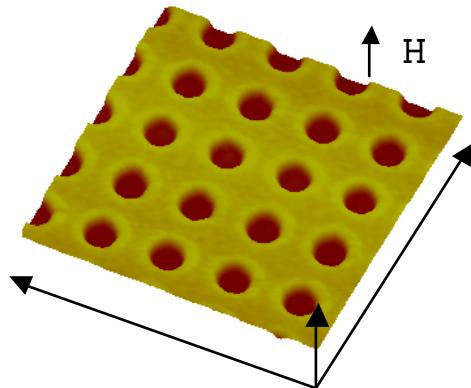
基本上我們可以以下述影像說明



(1) 圓形凹動陣列之原子力影像圖



(2) 上圖相對之飽和磁力影像圖



(3) 續上但飽和化相反之磁力影像圖

四、計畫成果自評

在計劃執行第二年當中，我們已有相當的成果(見發表論文清單)。後續成果更將持續出現。我們一致相信本子計劃及本整合形計劃有相當多的收穫。

五、發表清單

(A) 期刊論文 (Journal Papers)

1. J. C. Wu, H. W. Huang, Chih-Huang Lai, and Te-ho Wu,
Monodomain configurations due to bias effect in NiO/NiFe microstructures
J. Appl. Phys., submitted
2. J. C. Wu, H. W. Huang, and C. S. Wu
Empirical correlation between electrical current and the induced magnetic field on conducting strip
J. Appl. Phys., submitted
3. J. C. Wu, Y. W. Huang, Te-ho Wu, J. C. A. Huang, and M. M. Chen
Magnetization reversal in patterned Co/Pt multilayers

- J. Physics D: Appl. Phys.**, submitted
4. **J.C. Wu**, H.W. Huang, Y.W. Huang, Te-ho Wu
Magnetization reversal in patterned submicron single domain permalloy elements
Jap. J. Appl. Phys., **38**, ? (1999) in press
5. Te-ho Wu, **J. C. Wu** and C. S. Wu, Bing-Mau Chen and Han-Ping D. Shieh
Geometric shape dependence of coercivity for patterned magnetic thin film
J. Magn. Magn. Mater., accepted
6. Te-ho Wu, L.X. Ye, **J.C. Wu**, Y.W. Huang, J.C.A. Huang, Bing-Mau Chen and Han-Ping D. Shieh
Relaxation of pinned domains in patterned magnetic thin films
J. Magn. Magn. Mater., accepted
7. J.C.A. Huang, L.C. Wu, M.M. Chen, Te-ho Wu, **J.C. Wu**, Y. W. Huang, C. H. Lee, and C. M. Fu
Perpendicular magnetic anisotropy and domain structure of unpatterned and patterned Co/Pt multilayers
J. Magn. Magn. Mater., accepted
8. **J.C. Wu**, Y.W. Huang, H.W. Huang, and Te-ho Wu
In-situ Investigation of Patterned Magnetic Domain Structures Using Magnetic Force Microscope
IEEE Trans. Magn., **35**, ?(1999) in press.
9. Te-ho Wu, **J.C. Wu**, B.M. Chen and H.P.D. Shieh
Magnetic domain pinning in patterned perpendicular magnetic anisotropy materials
- J. Magn. Magn. Mater.**, **202**, 62(1999)
10. **J.C. Wu**, C.S. Wu, and Te-ho Wu
Hysteresis Loop of Planar Hall Effect in CoCr Films
J. Appl. Phys. **85**, 5795(1999)
11. Te-ho Wu, **J.C. Wu**, Y.W. Huang, B.M. Chen and H.P.D. Shieh
Magnetic Domain Pinning in Patterned Magneto-Optical Material
J. Appl. Phys. **85**, 5980(1999)
12. **J.C. Wu**, Y.W. Huang, Te-ho Wu, Bing-Mau Chen, and Han-Ping D. Shieh, Magnetic Domain Pinning in Lithographically Patterned Amorphous Magnetic Layer,
Jap. J. Appl. Phys. **38**, 1832(1999)
13. Te-ho Wu, Z. Y. Qiu, W. B. Lai, J.C. Huang, and **J.C. Wu**
Crystalline Anisotropy Effects on Magnetic Domain and Coercivity in Epitaxial Co/Pt Multilayers,
Jap. J. Appl. Phys. **38**, 1687(1999)
14. Te-ho Wu, **J.C. Wu**, B.M. Chen and H.P.D. Shieh
Pinning Magnetic Domain via Patterning Artificial Lattice Under Amorphous Magnetic Layer
J. Magn. Magn. Mater., **193**, 155 (1999)
15. Te-ho Wu, **J.C. Wu**, B.M. Chen and H.P.D. Shieh
The Creation of Nanometer Magnetic Domain Structure via Artificially Pinning Hole of Magneto-optical Recording Material
IEEE Trans. Magn., **34**, 1994(1998)
16. Te-ho Wu, **J.C. Wu**, B.M. Chen and H.P.D. Shieh
Magnetic Domain Pinning Patterned

DyFeCo for the Application of
Magneto-optical Recording,
J. Magn. Soc. Jpn., 22S2,145(1998)

Magneto-Optical Recording Media,
presented at annual meeting of Chinese
Physical Society, 1998

(B) 專書論文及技術報告

1. 黃贏文, 吳仲卿, 吳德和
毫微米鑄型磁區之製備與分析
物理雙月刊二十一卷三期(八十八年
八月)**p.467**
2. 黃贏文, 黃虹雯, 吳憲昌, 吳仲卿
毫微米鑄型磁區之製作與特性分析
磁性技術協會會訊第二十期(八十八
年四月)**p.32**
3. 吳德和, 吳仲卿, 陳炳茂, 謝漢萍
毫微米磁光薄膜磁區製作及研究
物理雙月刊十九卷四期(八十六年八
月)**p. 350**

(C) 年會及研討會

1. Y. W. Huang, J. C. Wu, Te-ho Wu, B. M. Chen, and Han-Ping D. Shieh, Magnetic domain pinning in patterned magnetic material, presented at annual meeting of Chinese Physical Society, 1999
2. C. S. Wu, J. C. Wu, and Te-ho Wu, Planar hall effect in micrometer CoCr films, presented at annual meeting of Chinese Physical Society, 1999
3. Te-ho Wu, **J.C. Wu**, B.M. Chen, and H.P.D. Shieh, Magnetic Domain Pinning Via Patterning Substrate for the Application of Magneto-Optical Recording, presented at 13rd conference on magnetism and magnetic technologies, Hsinchu, Taiwan, 1998
4. L.X. Ye, L.L.Chen, J.Q. Lu, H.C. Chang, **J.C. Wu**, and Te-ho Wu, Magnetic Domain Pinning in Patterned

5. H.W. Huang, G.M. Liaw, Y.W. Huang, C.S. Wu, and **J.C. Wu**, Fabrication of Submicron Gold Tin Bolometers, presented at annual meeting of Chinese Physical Society, 1998