

MgO/CoFeB/Nb/CoFeB/MgO 磁性結構之耦合作用之研究

張浩庭¹ 陳恭² 李得勝^{1*}

¹大葉大學電機工程系 彰化縣大村鄉學府路168號

²中正大學物理所 嘉義縣民雄鄉三興村7鄰大學路一段168號

摘要

本實驗是在超薄CoFeB(1.2 nm)雙層結構中改變Nb的厚度(1 nm ~ 2 nm)，並研究其交換耦合作用，這結構顯示垂直異向性是在退火後由於MgO層的穩定效果(stabilization effect)。基於同調旋轉進行模擬磁滯曲線的比較。從磁異向性常數(K)和交換耦合強度(J)的變化被包括以分析實驗結果和磁性反轉的主要特徵，顯示出了spin-flip 轉變，對應於具有J與K的反平行耦合條件。我們也利用一個簡單的模型去討論並解釋磁滯曲線的特性。

關鍵詞：垂直異向性 磁異向性常數 交換耦合強度

The Study of Coupling Strength in MgO/CoFeB/Nb/CoFeB/MgO with Magnetic Structure

HAO-TING CHANG¹, G. CHERN² AND D.S. LEE^{1*}

¹Electrical Engineering Department, Da-Yeh University, Chunghua, Taiwan.

²Taiwan SPIN Research Center and Department of Physics, National Chung Cheng University, Chia-Yi, Taiwan, ROC, 62102

ABSTRACT

We have studied the exchange coupling between two ultrathin CoFeB (1.2 nm) layers separated by a Nb spacer with a thickness varying from 1 nm to 2 nm. These structures show well defined perpendicular anisotropy due to the MgO stabilization effect after post annealing. A simulation, based on coherent rotation, is carried out for a comparison with the magnetic hysteresis curves. The variation of both anisotropy constant (K) and exchange coupling strength(J) are included to analyze the experimental results and the main characteristic of the magnetic reversal shows a spin-flip transition, which corresponded to the antiparallel coupled condition with comparable J and K. A simple model was introduced to account the characteristics of the magnetic curves will be also discussed.

Keywords: perpendicular anisotropy, anisotropy constant (K), exchange coupling strength(J)

一、前言

近年來，隨著工業及多媒體的快速成長之下，資訊儲存、讀取紀錄等相關產品的需求也日益增進，磁性薄膜由於應用性高，一直受到各界的關注及探討，其最大的原因是磁性薄膜表現出許多與塊材不同之特性，而自多層膜的各種研究以來，垂直異向性(Perpendicular Magnetic Anisotropy)可說是一項重大發現，由於垂直異向性物質之單位面積的位元密度是水平異向性物質的十倍以上，所以便成為高密度磁光紀錄材料很好的選擇。

二、實驗方法

本實驗所使用的樣品，是利用直流/射頻磁控濺鍍系統(DC/RF Magnetron Sputtering System)，將Ta(1 nm)/MgO(1 nm)/Co₂₀Fe₆₀B₂₀(1.2 nm)/Nb(X)/Co₂₀Fe₆₀B₂₀(1.2 nm)/MgO(1 nm)/Ta(10 nm)全結構成長於矽基板(1 x 1cm²)上，Nb厚度為1~2 nm，腔體內的壓力則低於4 × 10⁻⁷ Torr，然後在各個溫度下進行退火，並使用震動樣品磁性分析儀(VSM)來量測出磁滯曲線。

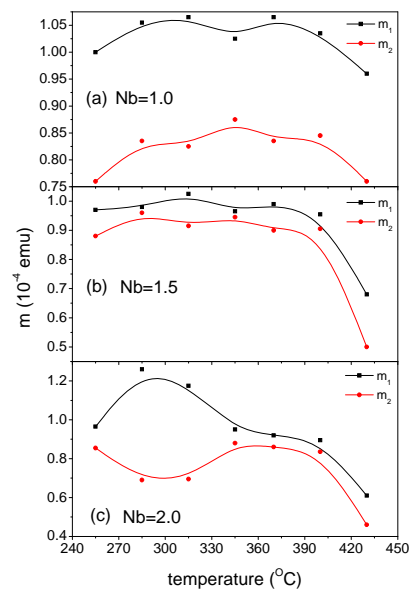
三、結果與討論

由於此系列結構是由兩層 CoFeB 所組成，所以我們便進一步分析上下兩層磁化量隨退火溫度的變化，利用飽和磁化量 $m_s = m_1 + m_2$ ，殘餘磁化量 $m_r = m_1 - m_2$ 來計算出兩層磁化量的變化，圖一來看，可以看出 Nb = 1.0、1.5 nm 時所擁有的 m_1 及 m_2 變化的趨勢有一致的結果，顯示這兩個結構上下 CoFeB 層所產生磁死層的速度十分相近。而 Nb = 2.0 nm 時，在 255 °C~345 °C 之間， m_1 隨著溫度上升， m_2 卻隨之下降，所以結果顯示 Nb 為 2.0 nm 時，在退火溫度為 255 °C~345 °C 之間，顯示其磁滯曲線不同於 Nb = 1.0 及 1.5 nm。而退火溫度與飽和磁化量及殘餘磁化量之關係如圖二。

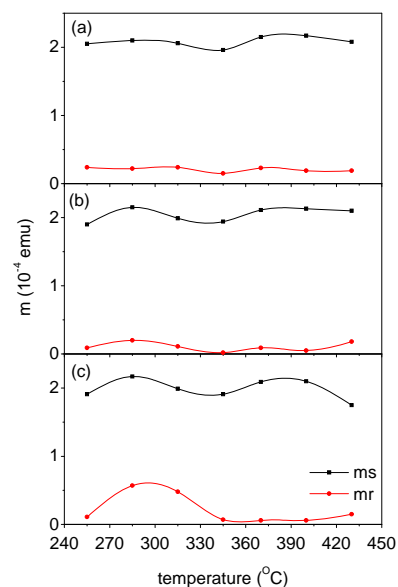
四、結論

我們成長了 Ta(1 nm)/MgO(1 nm)/Co₂₀Fe₆₀B₂₀(1.2 nm)/Nb(X)/Co₂₀Fe₆₀B₂₀(1.2 nm)/MgO(1 nm)/Ta(10 nm) 全結構，並改變其 Nb 的厚度進行比較，發現 Nb 厚度等於 1 nm 時，255 °C ~ 400 °C 都有很明顯的垂直異向性，430 °C 時的磁化易軸則開始趨近於水平，Nb 厚度為 1.5 nm 及 2 nm 時，在 255 °C ~ 370 °C 之間雖然雖然可看出垂直異向性，但其矯頑場 H_c 卻十分微弱，隨著 Nb 厚度的增加，垂直異向性也跟著減弱。

Nb = 1.0、1.5 nm 時擁有的 m_1 及 m_2 變化的趨勢有一致的結果，顯示這兩個結構上下 CoFeB 層產生磁死層的速度十分相近，Nb = 2.0 nm 時，在退火溫度為 255 °C~345 °C 之間， m_1 隨著溫度上升， m_2 卻隨之下降，顯示在這段退火溫度其磁滯曲線不同於 Nb = 1.0 nm 及 1.5 nm，而比較這三個圖後發現，都是在 400 °C 時開始下降，可得知此系列結構的最大退火溫度約為 400 °C。知此系列結構的最大退火溫度約為 400 °C。將我們的實驗數據與參考文獻[2-4]進行比較後，發現耦合能、異向能及退火溫度等數值，以 Nb 為間隔層的人工反鐵磁結構都低於以 Ru 為間隔層的人工反鐵磁結構。



圖一. 退火溫度與單一層磁



圖二

參考文獻

1. 蘇書玄，李彥龍，蔡志申(民93)，表面磁光科爾效應系統與Co/Ir(111)之磁性研究，東海科學，6，頁1-15。
2. 鄭琮譯(民101)，MgO/CoFeB/Nb(or Ru)/CoFeB/MgO結構之交換耦合及垂直異向性探討，中正大學物理研究所碩士論文。
3. Cheng, Chih-Wei Tsung-I Cheng, C.H. Shiu, Chih-Li Weng, Yan-Chr Tsai, and G. Chern (2012) Synthetic Antiferromagnetic MgO/CoFeB/Ta(x)/CoFeB/MgO Structures with Perpendicular Magnetic Anisotropy, *IEEE Transactions on Magnetism* **49**, 4433 - 4436。
4. 陳建璋(民102)，MgO/CoFeB/Ru/CoFeB/MgO從水平式到垂直式之介面交換耦合，中正大學物理研究所碩士論文。