

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

CoTbAg 薄膜之研製及其應用於單層近場光學寫入磁通量讀
取之記錄媒體的可行性探討

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2216-E-002-023-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學材料科學與工程學系暨研究所

計畫主持人：郭博成

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 8 月 17 日

CoTbAg 薄膜之研製及其應用於單層近場光學寫入磁通量讀取之記錄媒體的可行性探討

計畫編號：NSC 93-2216-E-002 -023

執行期限：93/8/1 - 94/7/31

主持人：郭博成 台灣大學材料研究所 教授

計畫參與人員：陳勝吉 孫安正 馮世憲 沈智隆 台灣大學材料研究所

一. 中文摘要

此研究係研製單層 CoTbAg 薄膜以應用於近場光學寫入與磁通量讀取的記錄媒體。採用直流磁控濺鍍，在玻璃基板及表面自然氧化之 Si 基板上鍍製 $\text{Co}_{68.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 合金薄膜，其中 $x=0\sim 25$ at.%；並以射頻磁控濺鍍在薄膜上下各濺鍍一層 SiN_x 保護層，避免其氧化。探討非磁性元素 Ag 之含量對 $\text{Co}_{68.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 薄膜之微結構及磁性質的影響。X-ray 繞射及 TEM 電子繞射結果顯示所有的薄膜均為非晶質。其中 $\text{Co}_{67.23}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_{2.25}$ 薄膜在室溫的 M_s 值約為 310 emu/cm^3 ， $H_{c\perp}$ 值為 3100 Oe，當溫度由室溫上升至 200 °C 時，其 M_s 及 $H_{c\perp}$ 值急速下降。此薄膜之補償溫度 T_{comp} 約為 225 °C，具有應用於近場光學寫入與磁通量讀取的記錄媒體之潛力。

關鍵詞：磁控濺鍍、CoTbAg 薄膜、非晶質薄膜、磁性質

Abstract

This work fabricates a single-layer CoTbAg film for near-field optical write and magnetic flux detection recording medium application. $\text{Co}_{68.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ films with $x=0\sim 25$ at.% are deposited on glass and naturally oxidized silicon wafer substrate by dc magnetron sputtering. The magnetic film is sandwiched between SiN_x protective layers to prevent oxidization. The effects of

non-magnetic element Ag content on the magnetic properties and microstructure of the film are investigated. X-ray diffraction and transmission electron microscope diffraction patterns revealed that all the films are amorphous. The saturation magnetization of the $\text{Co}_{67.23}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_{2.25}$ film is about 310 emu/cm^3 ; perpendicular remanence is about 255 emu/cm^3 , and the perpendicular coercivity is about 3100 Oe at room temperature. The saturation magnetization and perpendicular coercivity decrease rapidly as temperature increases from room temperature to 200 °C. The compensation temperature T_{comp} of this film is about 225 °C. This film is a promising candidate for near-field optical write and magnetic flux detection recording media applications.

Keyword: magnetron sputtering, CoTbAg film, amorphous thin films, magnetic properties

二、計畫緣由與目的

最近有一種結合熱磁寫入和磁通量讀取的新型記錄方式被提出來，以提升磁碟片的記錄密度，稱為“混合記錄”(hybrid recording) [1-3]。這種方法是以類似磁光記錄的熱磁記錄方式，將資料儲存在非晶質薄膜的垂直 domains，然後用很敏感的 GMR 或 TMR 磁頭來讀取其 flux。在“混合記錄”，如果要進一步提升磁碟片的記錄密度，必須將 recording domain 的尺寸縮小，而“近場光學”的方法則可用來縮小雷射光點，因此，若將“近場光學”

和“混合記錄”結合起來成為“近場光學寫入與磁通量讀取”，將可進一步大幅提升磁碟片的記錄密度。本研究將尋找一種可應用於這種“近場光學寫入與磁通量讀取”的單層記錄薄膜，以取代目前應用於“混合記錄”的雙層薄膜。因為雙層薄膜經過不斷的熱磁寫入後，須考慮到二層薄膜之間的 interdiffusion 及熱穩定性，而單層薄膜則無這方面的問題。

三、實驗方法

本實驗採用直流磁控濺鍍方式，在純 Co 靶上貼上 5 x 5 mm 大小的高純度 Tb 片及 Ag 片形成複合靶，於常溫下鍍製 $\text{Co}_{68.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 薄膜 ($x = 0 \sim 25 \text{ at.}\%$) 在玻璃基板及表面自然氧化的(100)指向矽晶圓基板上，其膜厚為 75 nm。實驗中背景真空控制在 5×10^{-7} Torr 以下的高真空，濺鍍氣體為高純度氬氣(99.999%)，濺鍍時氬氣流量為 80 cc/min，其分壓固定在 8×10^{-3} Torr。另外，為避免 CoTbAg 薄膜氧化，採用 Si_3N_4 靶，以射頻磁控濺鍍方式在 CoTbAg 薄膜上下各鍍製 30 nm 厚度的 SiN_x 保護層。

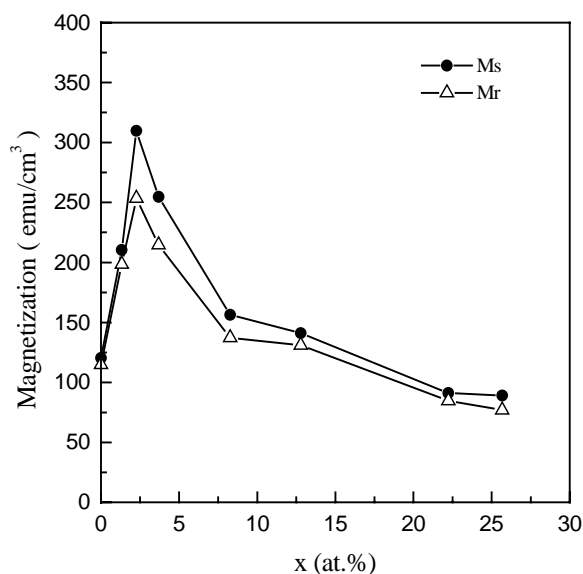
薄膜厚度是以原子力顯微鏡(AFM)及 α -step 測量，薄膜的組成是以能量散佈光譜儀(SEM/EDX)和感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)來分析，磁性質則以試片振動測磁儀(VSM)量測，外加磁場是垂直膜面的方向，其最大外加磁場為 13 kOe。

四、結果與討論

1. Ag 含量對垂直膜面磁性質的影響

圖一為 $\text{Co}_{68.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 薄膜 ($x = 0 \sim 25 \text{ at.}\%$) 之飽和磁化量 M_s 及殘留磁化量 M_r 和 Ag 含量的關係。由圖可看出，純的 $\text{Co}_{69.48}\text{Tb}_{30.52}$ 薄膜之 M_s 及 M_r 分別為 120 emu/cm^3 及 115 emu/cm^3 。在 Ag 含量小於 2.25 at.% 時， M_s 及 M_r 是隨著 Ag 含量的增

加而增加，當 Ag 含量為 2.25 at.% 時， M_s 及 M_r 值分別增加至 310 emu/cm^3 及 255 emu/cm^3 。當 Ag 含量大於 2.25 at.% 時， M_s 及 M_r 則隨 Ag 含量的增加而下降。當 Ag 含量增加至 25 at.% 時，薄膜之 M_s 及 M_r 值則分別下降至 90 emu/cm^3 及 75 emu/cm^3 ，如圖一所示。

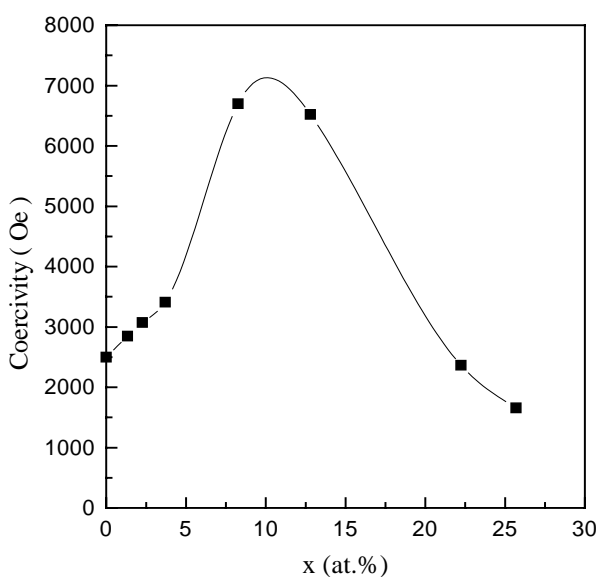


圖一、 $\text{Co}_{68.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 薄膜之 M_s 及 M_r 和 Ag 含量的關係。

過去有關 Co/Pd[7,8]與 Fe/Ag[9]等磁性/非磁性多層膜的研究結果顯示，這些多層薄膜之 M_s 值的增加主要是因為薄膜中，磁性原子與非磁性原子產生 ferromagnetic 極化效應，導致薄膜之淨磁矩上升。推論本實驗中加入少量 Ag 之 CoTbAg 薄膜，其 M_s 值會高於純 CoTb 薄膜是因為 CoTb 原子和相鄰的 Ag 原子產生了 ferromagnetic 極化效應，而其極化方向為 CoTb 淨磁矩的方向，因此導致薄膜之淨磁矩變大。故當薄膜之 Ag 含量小於 2.25 at.% 時， M_s 值會隨著 Ag 含量的增加而迅速上升，如圖一所示。另一方面，此極化效應對薄膜 M_s 值的影響並非隨 Ag 含量的增加成直線的上升，當 Ag 含量較多時 ($x > 2.25 \text{ at.}\%$)，薄膜的

M_s 值則隨 Ag 含量的增加而急速下降。這是因為距離 CoTb 較遠的 Ag 原子產生了 antiferromagnetic polarization[10,11]效應的關係。

圖二為 $Co_{68.48-x}Tb_{30.52}Ag_x$ 薄膜 ($x = 0 \sim 25$ at.%) 之 $H_{c\perp}$ 和 Ag 含量的關係。由圖可看出, $H_{c\perp}$ 和 Ag 含量的關係與 M_s 及 $M_{r\perp}$ 和 Ag 含量的關係相似。純的 $Co_{69.48}Tb_{30.52}$ 薄膜之 $H_{c\perp}$ 為 2500 Oe, 當 Ag 含量小於 10 at.% 時, $H_{c\perp}$ 是隨著 Ag 含量的增加而增加, 當 Ag 含量為 10 at.% 時, $H_{c\perp}$ 增加到 7200 Oe。當 Ag 含量繼續增加時, $H_{c\perp}$ 則隨 Ag 含量的增加而下降。在 Ag 含量為 25 at.% 時, $H_{c\perp}$ 則下降到約 1500 Oe。

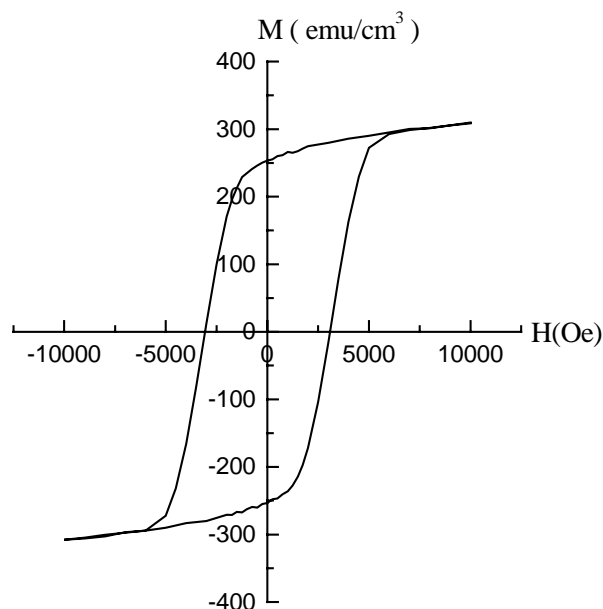


圖二、 $Co_{68.48-x}Tb_{30.52}Ag_x$ 薄膜之 $H_{c\perp}$ 和 Ag 含量的關係。

H_c 值的增加是因為磁性材料中 domain wall 會被 inclusions 吸附, 以降低系統的能量, 使得 domain wall 的移動受到阻止, 所以薄膜的 H_c 值會增加[12,13]。我們推論 CoTbAg 薄膜中, Ag 原子會形成 cluster, 它對 domain wall 有 pinning 的效果, 使得 domain wall 不易移動。隨著 Ag 含量的增加, 此一 pinning 效應

更為明顯, 薄膜的 $H_{c\perp}$ 值亦隨之增加。而由圖二可看出, $H_{c\perp}$ 值並非無限制的上升, 當 Ag 含量大於 10 at.% 時, $H_{c\perp}$ 值將隨 Ag 含量的增加而下降。這是因為 inclusion 厚度與 domain wall 厚度之間大小的關係會影響到 domain wall pinning 的緣故, 在 inclusion 厚度約等於 domain wall 厚度時, pinning 效果達到最大[13]。因此, 在 Ag 含量大於 10 at.% 時, Ag 原子形成的 cluster 厚度可能已經超過 domain wall 厚度, 故 $H_{c\perp}$ 值將隨 Ag 含量的增加而下降, 如圖二所示。

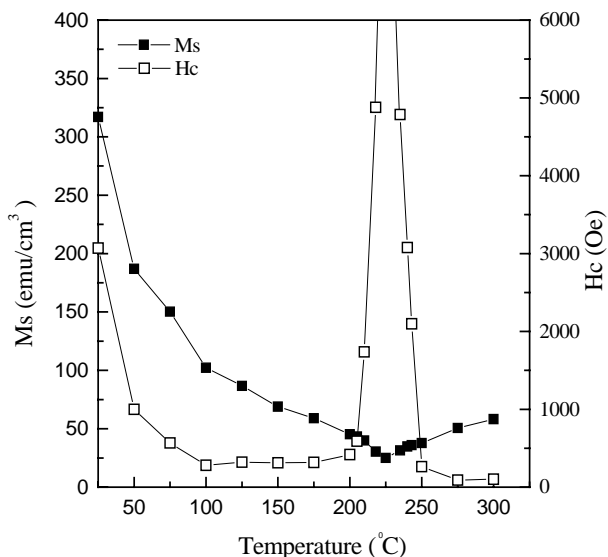
圖三為室溫下 $Co_{67.23}Tb_{30.52}Ag_{2.25}$ 薄膜之垂直膜面磁滯曲線。由圖可看出 $Co_{67.23}Tb_{30.52}Ag_{2.25}$ 薄膜之室溫磁性質為: $M_s=310 \text{ emu/cm}^3$ 、 $H_{c\perp}=3100 \text{ Oe}$ 、 $M_{r\perp}=255 \text{ emu/cm}^3$ 、 $S_{\perp}=0.82$ 。由於此單層合金薄膜之室溫磁性質符合混合記錄媒體之要求, 因此以下將進一步分析此薄膜的熱磁性質。



圖三、室溫下 $Co_{67.23}Tb_{30.52}Ag_{2.25}$ 薄膜之垂直膜面磁滯曲線。

圖四為 $Co_{67.23}Tb_{30.52}Ag_{2.25}$ 薄膜之 M_s 及

$H_{c\perp}$ 和溫度的關係。從圖中可看出，室溫時薄膜的 M_s 為 310 emu/cm^3 ，其 M_s 值則隨著溫度的增加而急速下降，當溫度升高至 225°C 左右時， M_s 值已下降至 25 emu/cm^3 ；而當溫度大於 225°C 後， M_s 值又隨著溫度的增加而



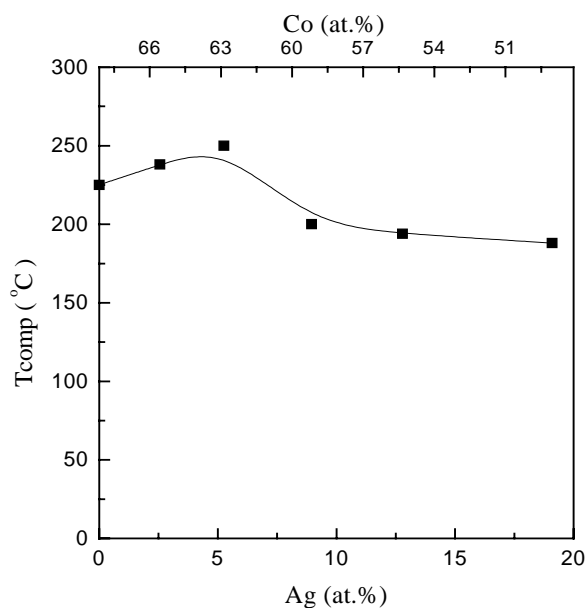
圖四、 $\text{Co}_{67.23}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_{2.25}$ 薄膜之 M_s 及 $H_{c\perp}$ 和溫度的關係。

緩慢上升，因此，此薄膜的補償溫度約為 225°C 。此薄膜的 $H_{c\perp}$ 值則由室溫的 3100 Oe ，隨著溫度的增加急速下降至 100°C 的 260 Oe ，然後隨著溫度的增加又緩慢上升，在接近補償溫度 (225°C) 時， $H_{c\perp}$ 值則急速上升，趨近於無限大。當溫度大於 225°C 後， $H_{c\perp}$ 值又急速下降，在溫度 300°C 時，薄膜的 $H_{c\perp}$ 值已下降至 100 Oe ，如圖四所示。混合記錄媒體在寫入的過程中，是使用雷射光將記錄媒體照射點升溫至接近其 T_c 溫度附近，以降低其 H_c 值。再利用具有高 M_s 值之寫入磁頭的磁場，來改變照射點的磁矩方向，完成資料的寫入動作。當溫度降回室溫時，薄膜之 M_s 值及 $H_{c\perp}$ 值又急速上升，此時可利用 GMR 磁頭讀取記錄位元的磁矩方向，完成資料讀取的動作。由圖三的

$\text{Co}_{67.22}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_{2.25}$ 合金薄膜在室溫之磁性質看來，它在室溫下具有高的 M_s 值可供 GMR 磁頭讀取訊號，也且有高的 $H_{c\perp}$ 值可穩定記錄位元；配合圖四的熱磁分析結果，顯示此薄膜具有應用於混合記錄媒體的潛力。

2. Ag 含量與 CoTbAg 薄膜之補償溫度的關係

RE-TM 合金薄膜的居里溫度 (T_c) 及補償溫度 (T_{comp}) 會隨薄膜的組成改變 [14]。圖五為 $\text{Co}_{69.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 薄膜之補償溫度 (T_{comp}) 和 Ag 含量的關係。由圖可看出， T_{comp} 是隨著 Ag 含量之增加，先上升後下降。其 T_{comp} 由純 $\text{Co}_{69.48}\text{Tb}_{30.52}$ 薄膜的 225°C ，緩慢上升至 Ag 含量為 $5.26 \text{ at.}\%$ 時的 250°C 。當 Ag 含量大於 $5.26 \text{ at.}\%$ 後， T_{comp} 則隨 Ag 含量的增加而逐漸下降，當 Ag 含量為 $19.09 \text{ at.}\%$ 時，薄膜的 T_{comp} 已降至 188°C 。這是由於 $\text{Co}_{69.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 薄膜中 Ag 含量的增加，將使 Co 含量變少，導致薄膜中 Co 和 Tb 原子比例產生改變，以致薄膜 T_{comp} 的改變。



圖五、 $\text{Co}_{69.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 薄膜之 T_{comp} 和 Ag 含量的關係。

五、結論

以上我們探討了 Ag 含量對 $\text{Co}_{69.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 薄膜垂直膜面磁性質的影響以及單層 CoTbAg 合金薄膜應用於混合記錄媒體的可行性。由實驗結果得知，CoTb 合金薄膜中加入微量 Ag，可提高其 M_s 及 $M_{r\perp}$ 值，且 S_{\perp} 均大於 0.8。Ag 含量為 10 at.% 時，薄膜之 $H_{c\perp}$ 達到最大值(7200Oe)。其中，單層的 $\text{Co}_{67.23}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_{2.25}$ 薄膜在室溫下具有高的 M_s 值(310 emu/cm³)及高的 $H_{c\perp}$ 值(3100 Oe)，又由熱磁性質的分析結果顯示，其 $H_{c\perp}$ 值是隨著溫度的增加而急速下降，該薄膜的補償溫度約為 225 °C，顯示此單層合金薄膜具有應用於混合記錄媒體之潛力。此外， $\text{Co}_{69.48-x}\text{Tb}_{30.52}\text{Ag}_x$ 合金薄膜之 T_{comp} 是隨著 Ag 含量的增加，先上升後下降。

六、參考文獻

[1] H. Saga, H. Nemoto, H. Sakeda, and M. Takahashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 38, 1839 (1999).
[2] J. J. M. Ruigrok, R. Coehoorn, S. R. Cumpson, and H. W. Kesteren, *J. Appl. Phys.*, 87, 5398 (2000).
[3] H. Sakeda, H. Saga, H. Nemoto, Y. Itou, C. Haginoya, and T. Matsumoto, *IEEE. Trans. Magn.* 37, 1234 (2001).
[4] H. Nemoto, H. Saga, H. Sakeda, and M. Takahashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 38, 1841 (1999).
[5] C. C. Lin, C. H. Lai, B. M. Chen, and H. P. D. Shieh, *IEEE. Trans. Magn.* 37, 1399 (2001).
[6] P. C. Kuo and C. M. Kuo, *J. Appl. Phys.*, 84, 3317 (1998).
[7] W. R. Bennett, C. D. England, D. C. Person, and C. M. Falco, *J. Appl. Phys.*, 69, 4384 (1991).

[8] F. J. A. den Broeder, H. C. Donkersloot, H. J. G. Draaisma, and W. J. M. de Jonge, *J. Appl. Phys.*, 61, 4317 (1987).
[9] Y. B. Xu, M. Lu, Q. Y. Jin, C. Hu, Y. Z. Miao, Y. Zhai, Q. S. Bie, H. R. Zhai, G. L. Dunifer, R. Naik, and M. Ahmad, *J. Appl. Phys.*, 75, 6190 (1994).
[10] K. Miura, H. Kimura, S. Imanaga, and Y. Hayafuji, *J. Appl. Phys.*, 72, 4826 (1992).
[11] D. G. Stinson and S.-C. Shin, *J. Appl. Phys.*, 67, 4459 (1990).
[12] M. Mansuripur, *The Physical Principles of Magneto-optical Recording*, (Cambridge University Press, 1995), p.606.
[13] B. D. Cullity, *Introduction to Magnetic Materials*, (Addison-Wesley, London, 1972), p. 317.
[14] P. Hansen, S. Klahn, C. Clausen, G. Much, and K. Witter, *J. Appl. Phys.*, 69, 3194(1999).