

## 銀元素對光碟 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 鍍膜物理特性影響之研究

劉宗平 鄭國柔

元智大學電機工程研究所

### 摘要

本研究在DVD-RAM光碟用 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 記錄層合金中分別添加 1、3、5wt%銀元素，探討銀元素添加對DVD-RAM用相變化記錄層物理特性之影響。本研究首先以磁控濺鍍方式，將DVD (digital versatile disc) 光記錄層靶材 1 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ )、靶材 2 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+1\%\text{Ag}$ )、靶材 3 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+3\%\text{Ag}$ )及靶材 4 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+5\%\text{Ag}$ )鍍於基板上，然後使用DSC (differential scanning calorimetry)在不同的升溫速率下進行記錄層熱性質之量測並利用Kissinger方程式計算得出所有紀錄材料的活化能。接著以此活化能為基礎，外插求取加熱時之相對結晶溫度，藉此評估光記錄介質之適用性。經配合X-ray繞射儀之繞射分析所有紀錄材料之結晶相，可知其實際寫擦測試過程為：非晶態轉變亞穩態之FCC (face center cubic)晶態，再由FCC晶態轉換成HCP (hexagonal closed packing)晶態。由四個不同升溫速率所得的DSC數據，可用外插法得知推延至高速升溫速率  $10^{11}$  °C/min下的情況。摻雜 1%銀之記錄層之非晶態熱穩定性最好，摻雜 3%銀之記錄層之非晶態與結晶態轉換之靈敏度較高。

關鍵詞：DVD-RAM 光碟，記錄層，活化能，結晶溫度

## Effect of Silver Additions on Physical properties of $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ for DVD-RAM Optical Disc

Chung-Ping Liu and Gwo-Rou Jeng

*Department of Electrical Engineering, Yuan Ze University*

### ABSTRACT

A small amount of Ag atoms (1, 3, 5 wt. % of Ag, respectively) added to  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  alloys as the recording layer of DVD-RAM discs were widely investigated. The research is to add Ag atoms to influence the physical properties of phase-change recording layer in DVD-RAM discs. The samples of DVD (digital versatile disc) recording layer were deposited on polycarbonate substrate by RF sputtering process with four different targets. The activation energy can be obtained from DSC (differential scanning calorimetry) measurements combined with the Kissinger equation. At different rates of increasing temperature, we use DSC technique to measure the crystallization temperature and the activation energy corresponding to crystalline phase, and take this activation energy as a basis to obtain the relative crystallization temperature in heating by extrapolation, then, by means of dynamic tester which to simulate the practical condition in dynamic writing and erasing and assess adaptability of the optical recording media. Through the analysis of the variations of crystalline phase by X-ray diffracter, we can see that the actual testing process in writing and erasing are as follows: the amorphous state has been transformed into the meta-stable state that we call the FCC (face center cubic) crystalline state, then, transformed again from FCC crystalline state to HCP (hexagonal closed packing) crystalline state. Recourse to the DSC data obtained from four diverse rates of increasing temperature, together with extrapolations, we can get the condition when the rate of increasing temperature being promoted at a high speed to  $10^{11}$  °C/min. The amorphous state of that mixed with 1% of Ag in recording layer has the best thermal stability. Among the four targets, the one mixed with 3% of Ag has the best sensitivity of amorphous-to-crystalline transition.

Keywords: DVD-RAM optic disc, recording layer, activation energy, crystallization temperature

## 一、前言

DVD-RAM 相變型光碟為一具動態存取功能之可寫錄亦可擦拭型的光碟，其原理為利用雷射光熱致效應，使膜材可在非晶態與晶態間產生相變化，由於兩相間的反射率顯著不同，可藉此達到寫(1)與擦(0)之目的[1]。目前研究相變化 DVD-RAM 光碟片的結構，一般採用七層快速冷卻結構，薄膜排序如圖 1 所示。雷射光經由透明 PC 基板入射，經過底部介電層聚焦在記錄層上，再經過頂部介電層而達到金屬反射層，入射光經金屬膜反射後，由光偵測器判讀記錄資料。

$\text{GeSbTe}$  系列原本是由  $\text{Ge-Te}$  發展出來的，添加  $\text{Sb}$  則可置換  $\text{Ge}$  原子，使薄膜內應力鬆弛，使結晶相形成更對稱之 FCC 結構[2]。1998 年 K. Hirota 等人[3]發現添加  $\text{Pd}$  於  $\text{GeSbTe}$  薄膜中，可提高結晶化速率，及提高結晶溫度，改善非晶態之熱穩定性。1989 年 T. Ohta 等人[4]發現提高  $\text{Sb}$  成份來增強其非晶相熱穩定性。1993 年 J. Tominaga 等人[5]發現添加  $\text{V}$ (釩)、 $\text{Ti}$ (鈦)於  $\text{InAgSbTe}$  薄膜中，可提高結晶溫度，降低結晶速率，穩定非晶態。1991 年 N. Yamada 等人[6]發現  $\text{GeSbTe}$  系列薄膜在結晶時不會產生相偏析，且對稱性很高的 FCC 結構，其均向性與非晶態很相似。2002 年 K. Yusu 等人[7]發現添加  $\text{Bi}$  於  $\text{GeTe-rich}$  薄膜，可增加光學對比(高 CNR)、晶化速度及提高擦拭率。由於  $\text{GeSbTe}$  系列合金，其晶態與非晶態間的反射率有明顯的差異，且晶態/非晶態之相變化速率快，因而廣泛地用於相變型光碟中作為記錄層材料之用。目前在許多研究中，大多強調探討記錄材料之基本特性的重要性。因它不僅影響了動態測試上的寫與擦之速度，以及材料的穩定性，甚至尚與碟片的擦拭率和老化等問題亦息息相關[8]。因為  $\text{GeSbTe}$  系列合金之反射率太低，無法和  $\text{CD-ROM}$  及  $\text{DVD-ROM}$  碟片相容。 $\text{Ag}$  為具高反射率之金屬，本研究嘗試添加銀元素於  $\text{GeSbTe}$  薄膜，來提升  $\text{GeSbTe}$  薄膜的反射率，使其應用於  $\text{DVD-RAM}$  碟片時能相容於  $\text{CD-ROM}$  及  $\text{DVD-ROM}$  碟片。記錄層本身的晶化特性在寫擦過程中扮演關鍵的角色，晶態與非晶態間反射率的差異會影響記錄的 Modulation，熔點與晶化溫度與速度會影響寫擦之功率與記錄點的形狀、長度，故針對不同記錄密度與速度尋找適當晶化特性的記錄層材料是重要的研究方向。因此，本文研究之方法，是先以 DSC 技術探討材料熱特性，再以 X 光繞射儀(XRD)分析材料結構之相變化過程。

## 二、實驗步驟

以磁控濺鍍的方式(RF sputtering)製作實驗樣品。

將直徑約 3 吋的  $\text{GeSbTe}$  系列合金靶材 1 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ )、2 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+1\%\text{Ag}$ )、3 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+3\%\text{Ag}$ )、4 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+5\%\text{Ag}$ )於背景壓力  $10^{-7}$  torr 和工作壓力  $3 \times 10^{-3}$  torr 的條件下，濺鍍於空白的 polycarbonate (PC) 基板上；然後，將所獲得之薄膜刮下成粉末狀，每次取樣 3 mg，進行 DSC 量測。第二部份使用玻璃基板，以前述相同之濺鍍條件進行薄膜濺鍍，控制薄膜厚度約為  $1800 \text{ \AA}$ ，將濺鍍完成含記錄層薄膜之玻璃基板放入於氮氣保護之高溫爐內，做  $120^\circ\text{C}$ 、 $180^\circ\text{C}$  及  $240^\circ\text{C}$  不同程度之退火處理，最後以 X 光繞射儀分析相變化之過程。

PC
反射層
熱補償層
下介電層
界面層
記錄層 $\text{GeSbTe}$
界面層
下介電層
PC

圖 1. DVD-RAM 光碟膜層結構。

## 三、實驗結果與討論

### 3.1 結晶溫度量測

本研究使用不同銀含量之靶材 1( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ )、2 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+1\%\text{Ag}$ )、3 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+3\%\text{Ag}$ )、4 ( $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5+5\%\text{Ag}$ )來鍍製記錄層薄膜。為確定實際濺鍍出來的薄膜試件組成，本研究用 ICP (induced-coupled plasma) 技術來作進一步的驗證量測，記錄層合金如表 1 所示，濺鍍後薄膜成分分量測結果如表 2 所示。DVD-RAM 光碟膜層結構如圖 1 所示。相變型碟片是利用硫系合金於晶相與非晶相之間轉換，進而改變其折射係數形成反射率差以做為資料的儲存。因此記錄合金的晶化行為是決定碟片特性(特別是電訊號特性)最重要的部份，結晶溫度決定碟片是否可以長時間保存、結晶活化能控制擦拭功率、熔點決定寫入功率。

本研究首先使用 DSC 在不同的升溫速率下進行記錄層熱性質之量測，我們分別以  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $30^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $40^\circ\text{C}/\text{min}$  不同的升溫速率加熱樣品，得到其結晶溫度，圖 2~5 分別為靶材 1、2、3、4 之 DSC 曲線之量測結果，除了靶材 4 外，其餘靶材於第一尖端分佈於  $145^\circ\text{C}$  到  $165^\circ\text{C}$  之間，且至少有一個放熱峰，也就是結晶峰。計算靶材 1、2、3、4 之結晶溫度如表一所示。此時材料由非晶

態轉為晶態，結晶峰下與基線間的面積為結晶熱，結晶的溫度範圍亦因升溫速率變大而變大。在結晶峰的尖端所對應下來的溫度即為其結晶反應最快的時候。由圖 2~5 我們可以很明顯的看出，GeSbTe 系列合金結晶溫度隨著升溫速率增加而增加，這種現象並非只出現此一材料，上述的各種樣品皆有此現象；因此我們可以很明顯的預測結晶相變並非單純的一階相變，結晶過程可能是二階或者更高的相變。而且由圖 2~5 中，可看出靶材 1 及靶材 3 之 DSC 圖形，只有一個結晶峰，而靶材 2 有兩個結晶峰，靶材 4 則有數個結晶峰 overlap 在一起，造成結晶峰形狀非常寬，比較靶材 2 與靶材 1 之差別，除了第一結晶峰溫度下降 4~5 °C，明顯在 200°C 時，靶材 2 多了一個結晶峰，可能為兩相的材料。但比較靶材 3，則無第二相的產生，只有一個結晶峰，且溫度比靶材 1 下降 4~5 °C，顯示此材料之結晶溫度較低。靶材 4 則無明顯單一結晶峰，而為數個結晶峰疊加而成。溫度無法分辨，以升溫速度 10 °C/min 之樣品而言，大約在 170 °C。圖 2~5 及表 3 結果顯示在相同升溫速率，不同樣品之結晶溫度由高至低的排列分別為靶材 2、靶材 4、靶材 1、靶材 3。

本研究顯示銀元素之適量添加會明顯影響材料之熱特性，由於銀元素之高熔點特性，適量之添加會使得材料之結晶溫度提高，目前研究證實靶材 2 之結晶溫度較高，因此鍍膜之熱穩定性較佳，預期資料之保存壽命較佳。但也可能降低材料之結晶速率，需於將來作進一步深入之研究，但目前測試結果不論有無添加銀元素其結晶溫度都尚在可接受範圍內(150~200 °C)，目前研究顯示靶材 3 有較低之結晶溫度，因此預估其寫錄及擦拭時非晶態與結晶態之轉換較容易。

表 1. 記錄層樣品合金成分(wt%)

樣品	Ge	Sb	Te	Ag
#1	13.5	24.80	61.70	0
#2	13.5	24.10	61.32	1.08
#3	13.05	22.60	61.45	2.90
#4	12.95	22.10	59.95	5.00

表 2. 記錄層薄膜成分(wt%)

編號	Ge	Sb	Te	Ag
#1	13.7	24.90	61.40	0
#2	13.6	24.35	61.05	1.0
#3	13.25	22.75	61.20	2.8
#4	13.10	22.30	59.80	4.8

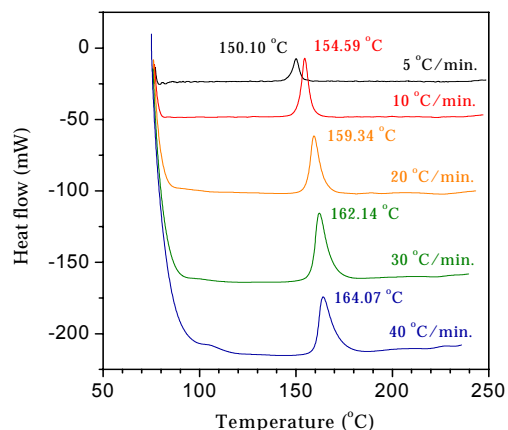


圖 2. 靶材 1 鍍膜之結晶溫度圖。

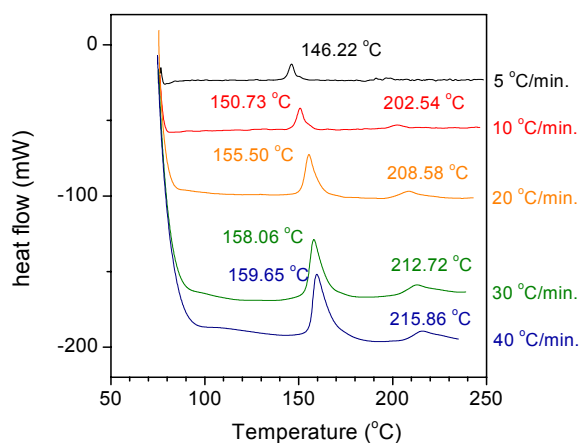


圖 3. 靶材 2 鍍膜之結晶溫度圖。

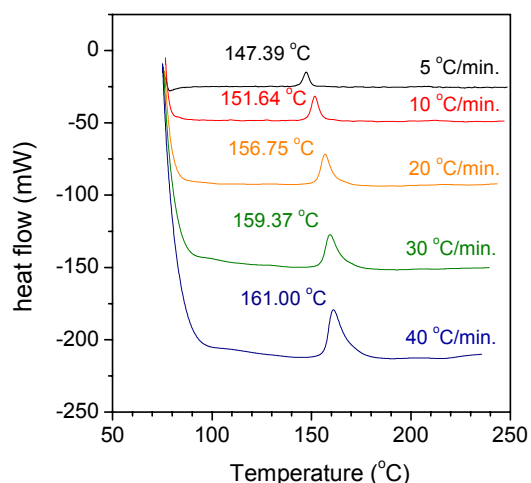


圖 4. 靶材 3 鍍膜之結晶溫度圖。

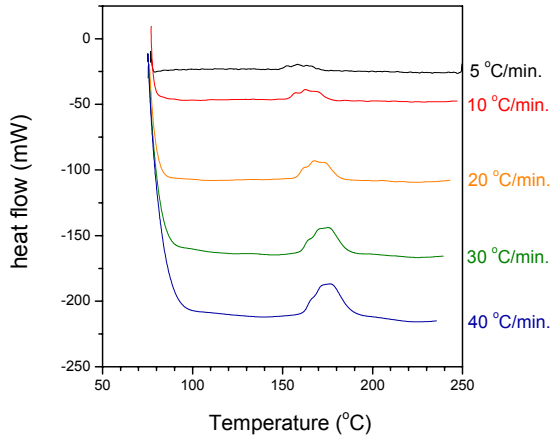


圖 5. 靶材 4 鍍膜之結晶溫度圖。

表 3. 樣品結晶溫度

樣品編號	結晶溫度(°C) 昇溫速率 10°C/Min.	備註
#1	154.59	單一放熱峰
#2	150.70、202.54	兩個放熱峰
#3	151.64	單一放熱峰
#4	150~190	數個放熱峰

### 3.2 結晶活化能分析

結晶是一種快速而微觀的過程，因此在儀器的極限上，我們並無法直接的量測到相變的結晶時間和活化能、結晶分量等一些物理量，因此在許多年以前就有很多人提出利用非等溫熱分析來學習結晶的機制。在 1939~1940 年時，W. A. Johnson, R. F. Mehl, M. Avrami [9] 提出一套在等溫過程下包含成核和晶體成長的理論，理論最初的基本形式是

$$\chi = 1 - \exp \left[ -g \int_0^t I_v \left( \int_{t'}^t u d\tau \right)^m dt' \right] \quad (1)$$

其中

$\chi$ ：體積結晶分量

$g$ ：和成長晶體形狀相關的幾何因子

$I_v$ ：每單位體積的成核頻率

$u$ ：每單位體積的結晶成長頻率

$m$  是一個和晶體成長機制及維度有關的整數或半整數，對於界面控制成長(interface-controlled growth)， $u$  和時間無關， $m$  值相對於一維、二維、三維成長分別為 1、2、3，但對於擴散控制成長(diffusion-controlled

growth)  $u$  是隨著  $t^{1/2}$  遞減， $m$  值分別為 1/2、1、3/2。當成核和結晶速率和時間無關時，在等溫結晶過程中，Takhor [9] 計算到的、結晶速度最快時須滿足：

$$d \ln(\alpha/T_p^2)/d(1/T_p) = -E/R \quad (2)$$

上述積分後，可得到

$$\ln(\alpha/T_p^2) = -E/RT_p + \text{積分常數} \quad (3)$$

上式即所謂的 Kissinger 方程式其中  $\alpha$  為昇溫速率。

量測結果之圖形以 Kissinger's plot 表示， $\ln(\alpha/T_p^2)$  為縱軸， $1/T_p$  為橫軸，會得到一條斜率為  $-E_c/R$  的直線，以此斜率再乘上一個氣體常數  $R$ ，即可得其活化能  $E_c$ 。

$\text{GeSbTe}$  系列記錄層材料中晶相與非晶相間變態活化能可以藉著 Johnson-Mehl-Avrami 方程式[9]來說明。假設結晶速率在相位轉變的過程中達到極值時，根據 Kissinger' method [10, 11] 之結論，可得此變態活化能與升溫速率及變態溫度之關係可以下式表示：

$$\ln(\alpha/T_p^2) = C - (E/RT_p) \quad (4)$$

此處  $\alpha$  代表升溫速率， $T_p$  代表結晶速率最快之對應結晶溫度，單位為絕對溫度， $E$  代表活化能， $C$  及  $R$  為常數；其中  $R$  為氣體常數，其值為 8.314 J/mol·K。以 Kissinger's plot [10, 11] 的方法量測所對應之活化能(activation energy)，由 DSC 曲線中的放熱峰可得到  $\ln(\alpha/T_p^2)$  對  $1/T_p$  之關係圖，如圖 6~9 所示，此處  $\alpha$  代表升溫速率， $T_p$  代表結晶速率最快之溫度。圖中橫座標的尺度放大了 1000 倍。靶材 1 之一個結晶峰以線性回歸法求得之直線關係式為：

$$\ln(\alpha/T_p^2) = -26.58(1/T_p \times 1000) + 52.32 \quad (5)$$

靶材 2 兩個結晶峰以線性回歸法求得之直線關係式分別為

$$\ln(\alpha/T_p^2) = -26.91(1/T_p \times 1000) + 53.69 \quad (6)$$

$$\ln(\alpha/T_p^2) = -23.94(1/T_p \times 1000) + 40.30 \quad (7)$$

靶材 3 一個結晶峰以線性回歸法求得之直線關係式為

$$\ln(\alpha/T_p^2) = -26.49(1/T_p \times 1000) + 52.63 \quad (8)$$

再以直線斜率乘以氣體常數  $R$ ，即可得到所需要之活化能。圖 6~9 為靶材 1、2、3 之 Kissinger's plot，其中圖 7 和 8 分別為靶材編號 2 兩個結晶峰之活化能圖形。靶材 1 有一個結晶峰，其活化能為 2.29 eV，靶材 2 有兩個結晶峰，其活化能為分別為 2.32 eV 及 2.07 eV，靶材 3 有一個結晶峰，其活化能為 2.29 eV，靶材 4 有數個結晶峰，無法測出活化能。四塊靶材活化能分別列於表 4，由表 4 我們可以看到活化能由高至低的排列分別為靶材 2、靶材 1 及靶材 3，靶材編號 1 及

3 之活化能量測結果相同。

通常薄膜結晶活化能不能太高也不能太低，活化能太低不利於寫錄資料之長期保存，活化能太高不利於資料寫錄及擦拭，因此活化能值需適當控制，目前研究結果顯示靶材 1、2、3 將來在寫錄資料保存上應有相似的結果，然靶材 2 結晶所需活化能較高，將來實際寫錄及擦拭時可能所需功率會較高，實際影響程度有賴將來動態寫錄時進行精確驗證。

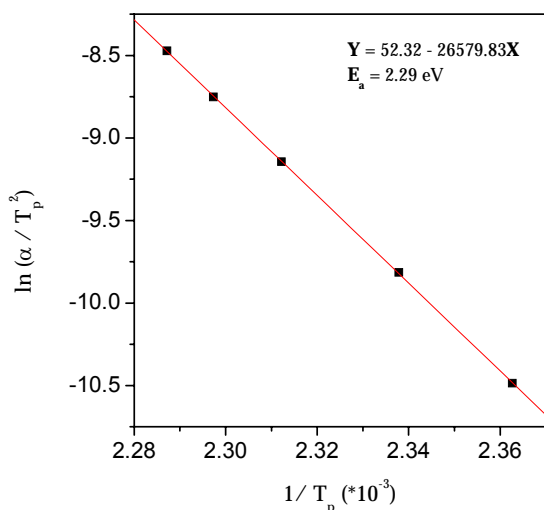


圖 6. 靶材 1 鍍膜之活化能圖。

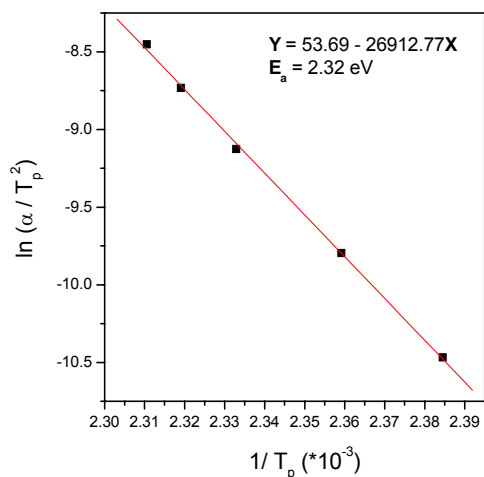


圖 7. 靶材 2 鍍膜之第一放熱峰之活化能圖。

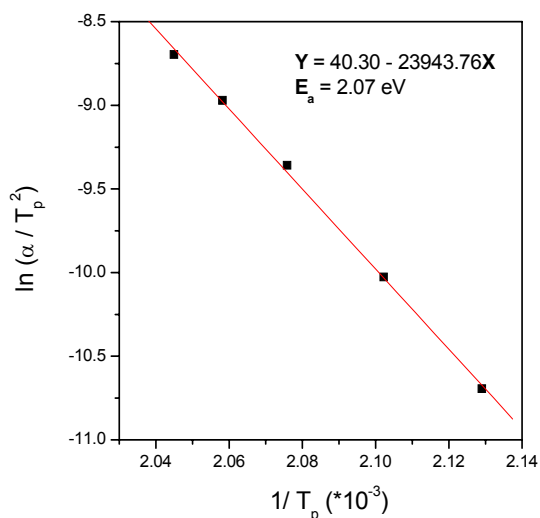


圖 8. 靶材 2 鍍膜之第二放熱峰之活化能圖。

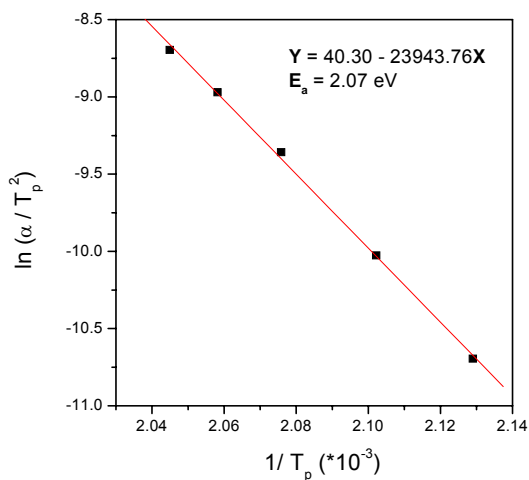


圖 9. 靶材 3 鍍膜之活化能圖。

表 4. 各材料之活化能

樣品	活化能(eV)	備註
#1	2.29	單一放熱峰
#2	2.32、2.07	兩個放熱峰
#3	2.29	單一放熱峰
#4	無法得出	數個放熱峰

### 3.3 薄膜 XRD 分析

以上述DSC量測之結果為基礎，外插推延至實際動態寫擦時在高速升溫速率  $10^{11}$  °C/min的情況下，與相對應之結晶溫度間的關係，如圖 10~12 所示，估計其升溫速率約為  $10^{10}$  °C/min，與T. Ohta等人於1989年在SPIE期刊中發表的文獻[4]中以GeSbTe進行熱模擬

結果相近。由圖 11 之結果可知，靶材 2 在  $10^{11} \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  的高速升溫速率下相對結晶溫度已達熔點。為了探討其結晶結構之變化，將所鍍之薄膜進行不同溫度之退火熱處理，並結合 XRD 技術進行分析，結果如圖 13~16 所示。圖中的(a)為未加溫(as-deposited)，(b)、(c)和(d)分別表示在  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $180 \text{ }^\circ\text{C}$  和  $240 \text{ }^\circ\text{C}$  經 30 分鐘作退火熱處理之結果，各退火過程中之升溫速率為  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 。由圖 13~16 (a)顯示四種材料都沒有任何晶相出現，表示剛鍍出來的記錄層薄膜為一非晶態(amorphous)結構。在圖 13~16 (b)分別出現了  $\text{GeTe}$ 、 $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  的結晶相，圖 13~16 (c)分別出現了  $\text{GeTe}$ 、 $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 、 $\text{Sb}$  的結晶相，但到了  $240 \text{ }^\circ\text{C}$  時， $\text{GeTe}$ 、 $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  之結晶相減弱， $\text{Sb}$ 、 $\text{AgSbTe}_2$  的結晶相漸漸轉強。由以上觀察可知，這  $\text{GeSbTe}$  系列合金之晶相轉變過程為非晶相先轉變為 FCC 結晶相，然後由 FCC 結晶相轉換成 HCP 結晶相。經由 XRD 分析也發現銀元素的添加會使得此記錄材料出現  $\text{AgSbTe}_2$  的結晶相，因此影響材料之結晶溫度，添加 1% 銀元素之靶材 2 即明顯發現兩個結晶放熱峰，結晶溫度量測與 XRD 分析結果相當一致。

而由本實驗相轉變過程之驗證，配合 DSC 之活化能與結晶化溫度之量測，依目前 DVD-RAM 商品規格可得知本材料在非晶態之熱穩定性是符合要求的。由以上研究可知，本文的另一重要貢獻為提出一個新的嘗試方法，用以分析記錄材料在  $10^{11} \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  下的升溫速率特性結果如(圖 11)所示，與 T. Ohta 於 1989 年[4]之推論一致。

#### 四、結論

1. 在此研究中，由 DSC 的量測結果知道，靶材 1 具有一個結晶峰，其所對應之活化能為  $2.29 \text{ eV}$ ；靶材 2 具有二個結晶峰，其所對應之活化能分別為  $2.32 \text{ eV}$  及  $2.07 \text{ eV}$ ；靶材 3 具有一個結晶峰，其所對應之活化能為  $2.29 \text{ eV}$ ；靶材 4 具有數個結晶峰，無法測得其活化能。
2. 此四塊靶材的結晶溫度隨著升溫速率的增加而變大。在一般的升溫速率  $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  下，靶材 1 之晶化溫度為  $154.59 \text{ }^\circ\text{C}$ ，靶材 2 之晶化溫度為  $150.73 \text{ }^\circ\text{C}$  及  $202.54 \text{ }^\circ\text{C}$ ，靶材 3 之晶化溫度為  $151.64 \text{ }^\circ\text{C}$ ，靶材 4 之晶化溫度為  $150\sim 190 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
3. 經配合 X-ray 繞射儀之繞射分析結晶相，可知其實際寫擦測試過程為：非晶態轉變亞穩態之 FCC 晶態，再由 FCC 晶態轉換成 HCP 晶態。
4. 由四個不同升溫速率所得的 DSC 數據，可用外插法得知推延至高速升溫速率  $10^{11} \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  下的情況。摻雜 1% 銀之記錄層材料的非晶態熱穩定性最好。

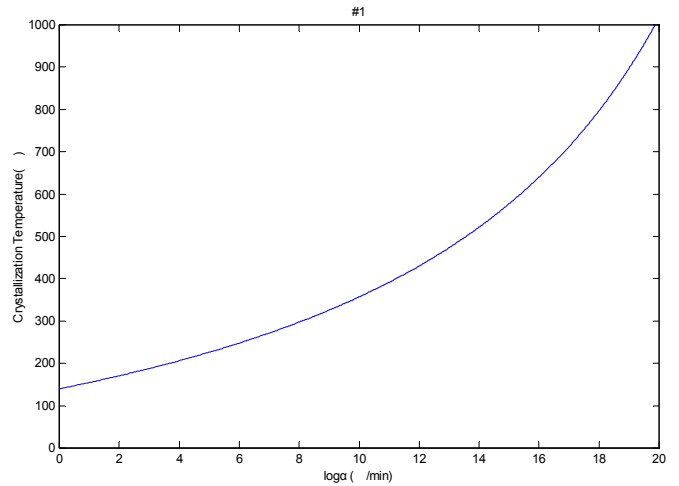


圖 10. 靶材 1 鍍膜高速升溫下之相對結晶溫度關係圖。

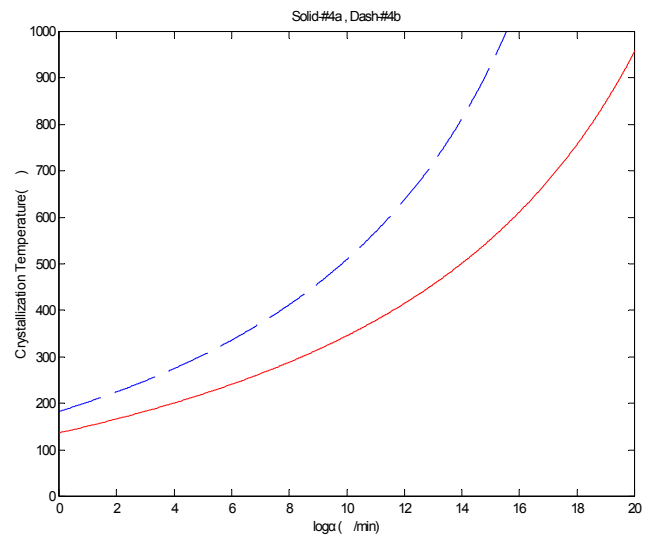


圖 11. 靶材 2 鍍膜高速升溫下之相對結晶溫度關係圖。

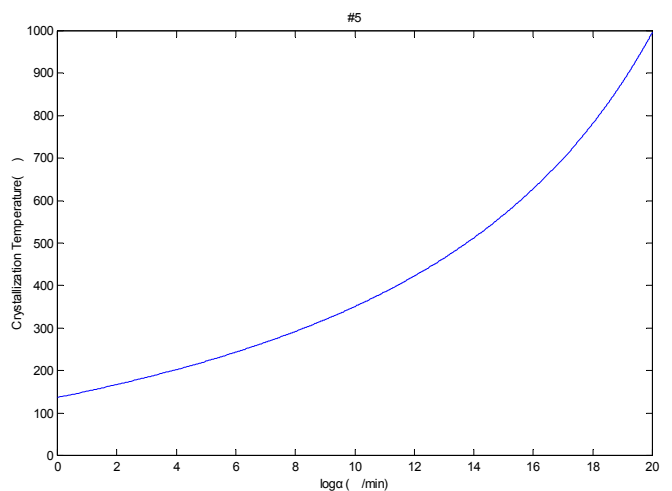


圖 12. 靶材 3 鍍膜高速升溫下之相對結晶溫度關係圖。

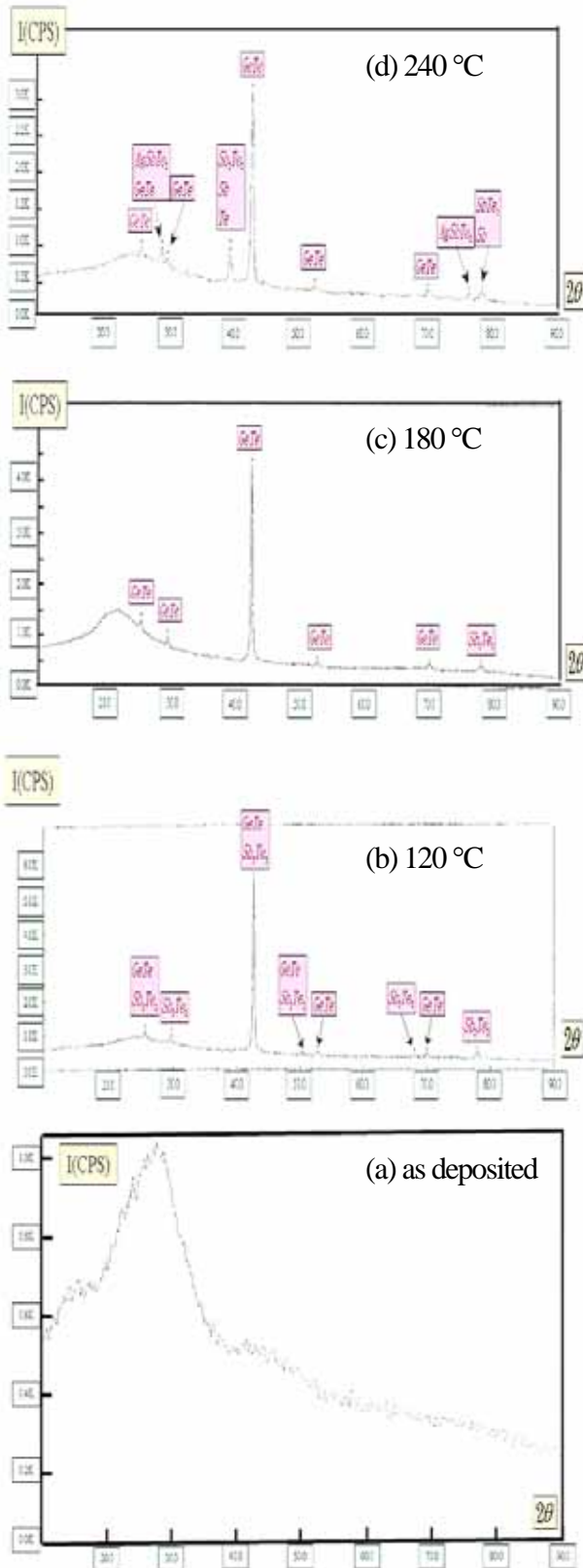


圖 13. 靶材 1 鍍膜之不同程度退火處理之 X 射線繞射圖。

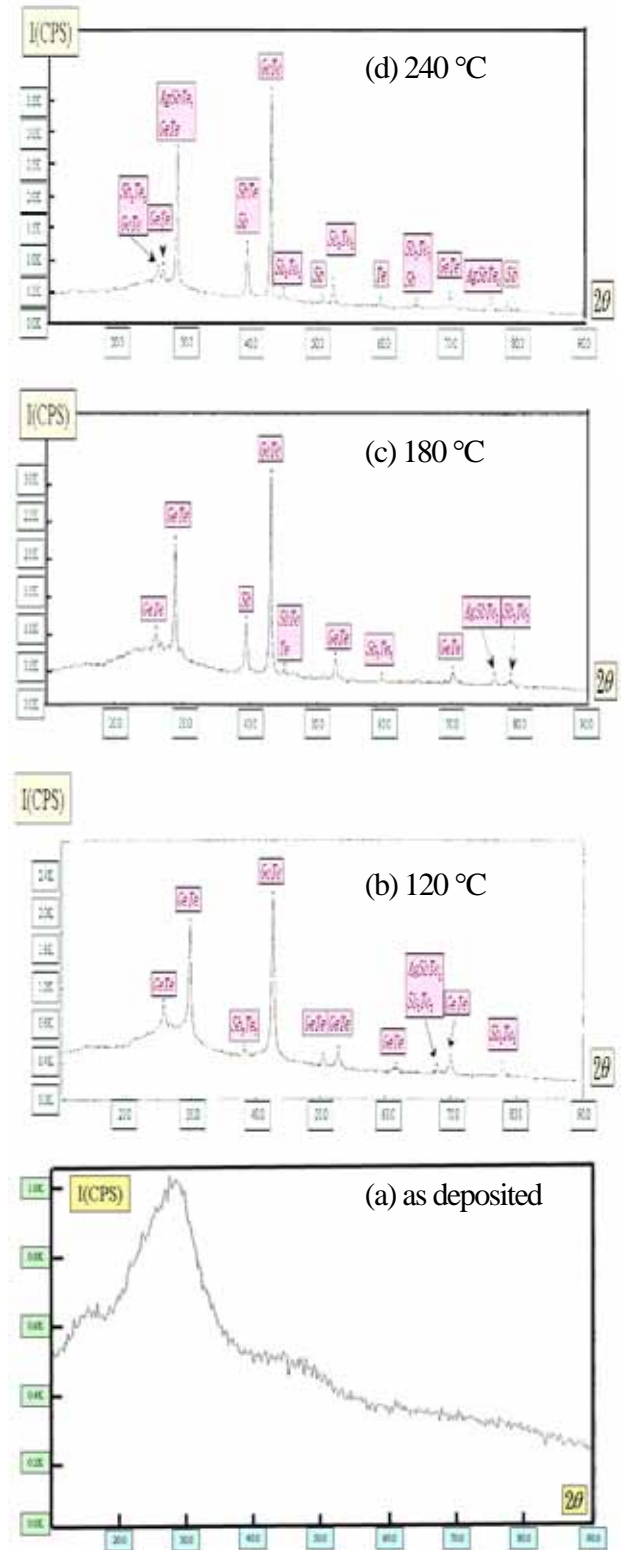


圖 14. 靶材 2 鍍膜之不同程度退火處理之 X 射線繞射圖。

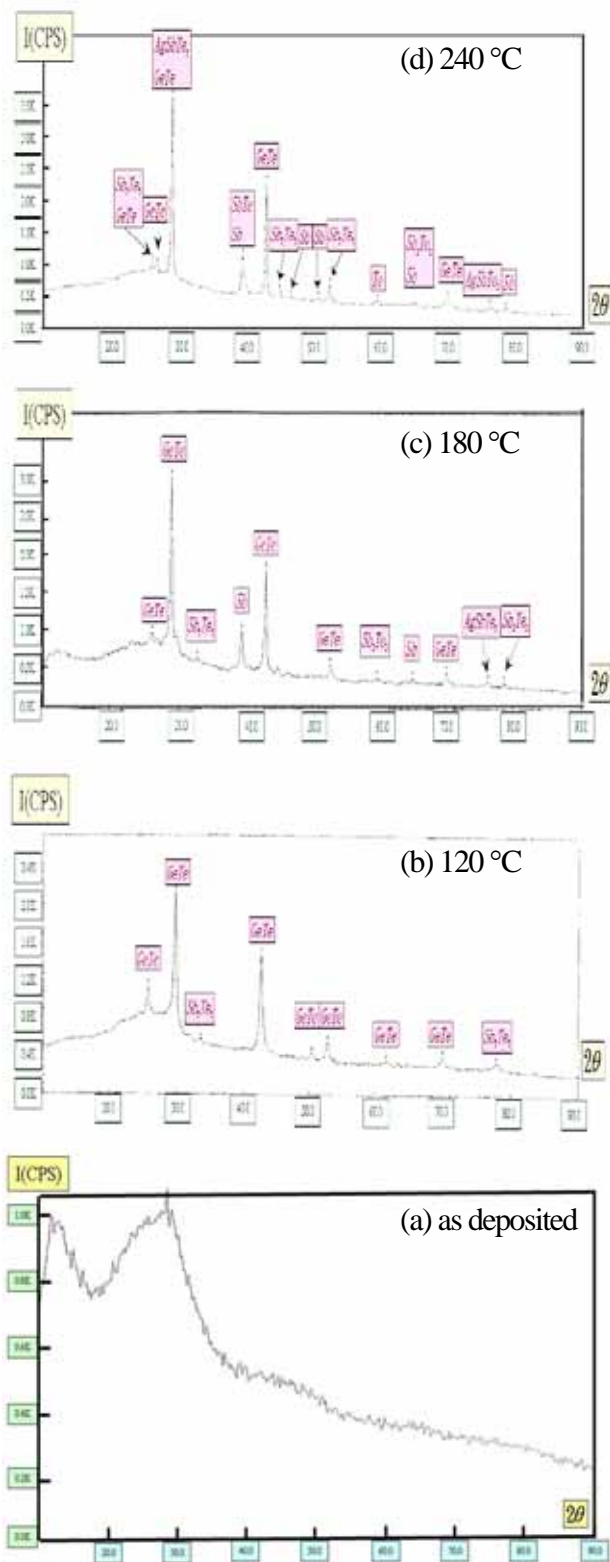


圖 15. 靶材 3 鍍膜之不同程度退火處理之 X 射線繞射圖。

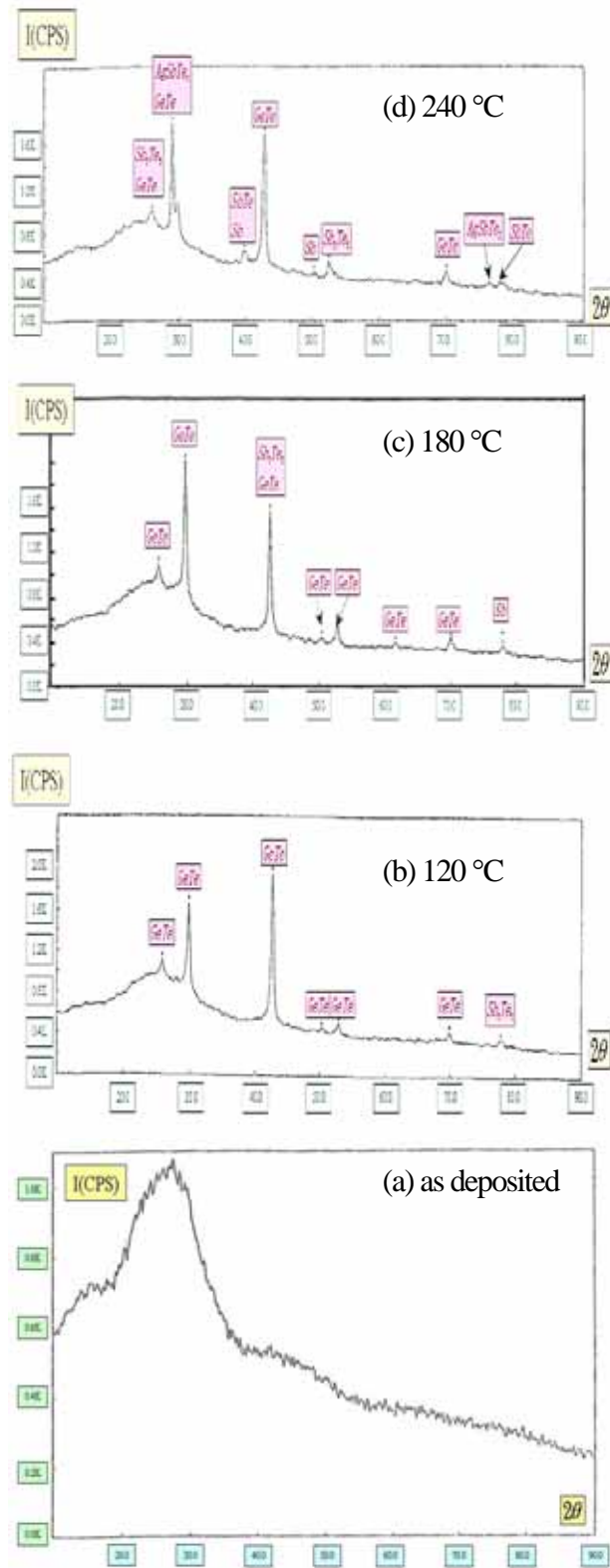


圖 16. 靶材 4 鍍膜之不同程度退火處理之 X 射線繞射圖。



5. 由此四種記錄材料之活化能大小及結晶化溫度之量測得知，本材料在非晶態之熱穩定性是符合目前 DVD-RAM 商品規格之要求。
6. 目前研究顯示靶材 3 有較低且單一之結晶溫度，因此預估其寫錄及擦拭時非晶態與結晶態之轉換較容易。

### 誌謝

本研究得以順利完成，非常感謝工研院光電所提供樣品製作的環境，以及國科會在計畫編號為 NSC94-2515-S-155-002 之項下所提供的部份財力支援。

### 參考文獻

- [1] Strand, D., Gonzalez-Hernandez, J., Chao, B. S., Ovshinsky, S. R., Gasiorowski P., and Pawlik, D. A., "The relationship between crystal structure and performance as optical recording media in Te-Ge-Sb thin films," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, Vol. 230, pp. 251-256, 1992.
- [2] Ovshinsky, S. R., "Optically induced phase changes in amorphous materials," *J. Non-Cryst. Solids*, Vol. 141, pp. 200-203, 1992.
- [3] Hirota, R. and Ohbayashi, G., "PdGeSbTe alloy for phase change optical recording," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 37, No. 4A, pp. 1847-1851, 1998.
- [4] Ohta, T., Uchida, M., Yoshioka, K., Inoue, K., Akiyama, T., Furukawa, S., Kotera, K., and Nakamura, S., "Million cycle over-writable phase change optical disk media," *Proc. SPIE Optical Data Storage Topical Meeting*, Vol. 1078, pp. 27-34, 1989.
- [5] Tominaga, J., Handa, T., Haratani, S., and Takayama, S., "V and Ti doping effect on In-Ag-Te-Sb optical phase change rewritable disc," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 32, No. 5A, pp. 1980-1982, 1993.
- [6] Yamada, N., Ohno, E., Nishiuchi, K., Akahira, N., and Takao, M., "Rapid-phase transitions of GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> pseudobinary amorphous thin films for an optical disk memory," *J. Appl. Phys.*, Vol. 69, No. 5, pp. 2849-2856, 1991.
- [7] Yusu, K., Ashida, S., Nakamura, N., Oomachi, N., Morishita, N., Ogawa, A., and Ichihara, K., "Advanced phase change medium of over 30GB capacity for blue laser and high-NA objective lens," *International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage Topical Meeting*, pp. 413-415, 2002.
- [8] Rubin, K. A., "Material requirements for reversible phase change optical recording," *Mat. Res. Soc. Proc.*, Vol. 230, pp. 239-250, 1992.
- [9] Ohshima, N., "Crystallization of

- Germanium-Antimony-Tellurium amorphous thin film sandwiched between various dielectric protective films," *J. Appl. Phys.*, Vol. 79, No. 11, pp. 8357-8363, 1996.
- [10] Liu, C. P., Huang, D. R., Liao, E. V., Chang, Y. Y., and Chiang, D. Y., "Crystallization study of phase-change optical recording film," *Technical report of IEICE*, Vol. MR 97-49, pp. 61-65, 1997.
  - [11] Abdel-Rahim, M. A., Abdel-Latif, A. Y., El-Korashy, A., and Mohamed, G. A., "Crystallization study of Bi<sub>3</sub>Ge<sub>20</sub>Se<sub>75</sub> Glass," *Journal of Materials Science*, Vol. 30, No. 22, pp. 5737-5742, 1995.