第三章 實驗結果與討論分析

本章節中，主旨在研究相變化薄膜隨厚度改變及溫度改變相關實驗：雷射靜態測試儀機台反射率強度的比較，可得知相變化材料對應不同寫入雷射特性之光學反應；透過原子力顯微儀可得知樣品表面形貌變化。導電式原子力顯微儀可分析樣品表面之電性差異，並透過歐傑電子能譜儀可得知樣品的表面形貌與元素的組成。是以欲藉光、電、熱對相變化薄膜所造成的影響來完成本實驗的討論與分析。

在探討相變化記錄點隨溫度改變之相關實驗中，使用一般市售之光碟燒錄機(SONY, Matshita co.)寫入錸德市售 DVD+RW 商業片，透過 Asylum Research company 之加熱平台使其維持高溫穩定，並使用原子力顯微儀取得表面形貌與電性等相關資訊。

3-1. 相變化記錄層薄膜之光學性質

對於本實驗之光學性質研究，使用了雷射光泵探系統(optical pump and probe system)，在初鍍態相變化薄膜(as-deposited)狀態的樣品上，透過 NA=0.6 的物鏡聚焦直接入射在 $Ge_2Sb_2Te_5$ 之相變化薄膜上並得其反射訊號大小。就相變化材料來說，不同相態對於 CCD 光學反射訊號有不同的反射率；結晶態(crystalline)相對於背景初鍍態(as-deposited)材料來說有較佳的反射率，因此在 CCD 反射影像中會

顯現偏白(或較亮)之結果；相反的非晶態(amorphous)之記錄點則會較結晶態顯示較暗的圖示。此外，探測對於寫下記錄點雷射反射功率亦能幫助判讀相變化材料之特性。結晶態有較高之反射功率與導電性，藉由反射率可知雷射作用區域所造成之光學特性變化；透過導電式電子顯微儀之實驗可知寫下的記錄點與周圍背景材料電性差異。因此藉由比較光學結果與導電性結果可驗證是否對於該組實驗數據中，結晶態記錄點之導電性較非晶態與初鍍態為高。

圖 3-1 為相變化材料之簡單定性分析結果：設計寫下兩不同性質之記錄點，雷射功率分別為 2.2mW 與 18mW，寫入時間分別為 1000ns 與 175ns，藉以分析寫下結晶態記錄點與非晶相記錄點之光學及雷射反射功率強度情形。圖 3-1(a)為寫下結晶態與低反射率相態之光學反射圖，可知低功率與長時間之寫入參數可造成相變化材料形成反射率較高之結晶態；反之高功率與短時間之寫入參數會造成相變化材料之光學反射率降低。圖 3-1(b)圖示為結晶態記錄點對雷射強度之反射率圖。藍色線段表示寫入雷射之強度曲線；紅色線段表示讀取雷射之強度曲線。圖 3-1(c)為非晶態記錄點對雷射強度反射率圖，同樣為藍色線段表示寫入雷射之強度曲線，紅色線段為讀取雷射之強度曲線。比較結晶態與非晶態之雷射訊號反射強弱可知，經由不同性質之寫入參數會造成不同之光學反射率，也為相變化材料廣泛應用於可覆寫式光

儲存碟片重要的性質。

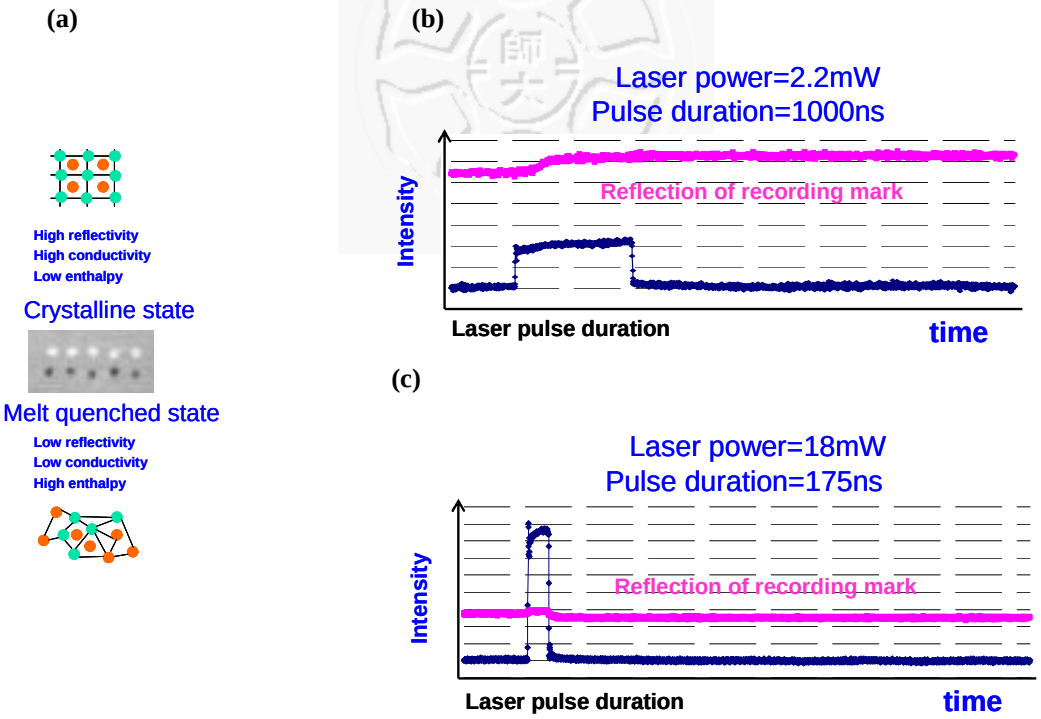


圖 3-1(a) $Ge_2Sb_2Te_5$ 相變化材料中，結晶態與非晶態之 CCD image 光學實驗結果；圖 3-2(b)對於寫下結晶態記錄點之探測雷射光反射率圖，紅色標示”Reflection”線段為記錄點表面之反射率，藍色標示 “Laser Pulse”線段為雷射開啟強度時間圖；圖 3-2(c)為寫下非晶態記錄點之反射率圖，同樣紅色標示 “Reflection”線段代表記錄點表面之反射率，藍色標示 “Laser Pulse”線段為雷射之開啟強度時間圖。此處可觀察到非晶態之記錄點反射率下降，結晶態之記錄點經過雷射照射後則是呈現上升的狀態。

3-2. 相變化材料膜厚對於雷射光束寫下記錄點之影響

3-2-1. 動機與樣品結構及寫入參數

對於先前實驗[4]研究改變記錄點寫入程度的變因中，可知記錄點之形成為相變化材料受到熱能的影響作用，產生改變相態的情形。是以

改變雷射功率與寫入時間為控制給予光束能量大小最直接的方式。本實驗欲了解藉由改變樣品之結構條件(膜層厚度)是否會影響記錄點之寫入程度，以及探討造成該效應之原因。

實驗樣品結構為 130nm 之介電質保護層濺鍍於矽基板鍍上 10~60nm 之鍺銻碲(Ge-Sb-Te)相變化材料。寫入系統為雷射光泵探系統(pump and probe system)，寫入功率為 1.4~2.2mW，寫入時間為 500~1000ns，記錄點彼此間之間隔為 2μm。

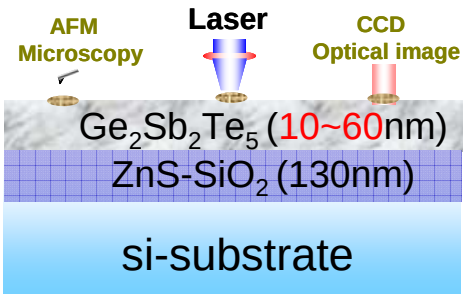


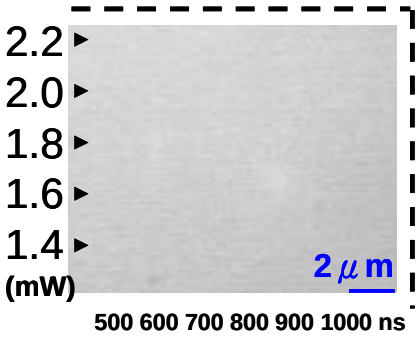
圖 3-2 雷射光寫入方向與樣品結構及量測方向示意圖。原子力顯微儀探針量測面與雷射寫入方向同為 GST 裸露面；樣品結構為在矽基板上鍍以 130nm 之介電保護層與 10~60nm 之相變化薄膜；寫入功率為 1.4~2.2mW，寫入時間為 500~1000ns。記錄點間距皆為 2μm，外圍定位框為該組參數之最大功率與最長時間之記錄點所組成。

3-2-2. 光學反射影像之實驗結果

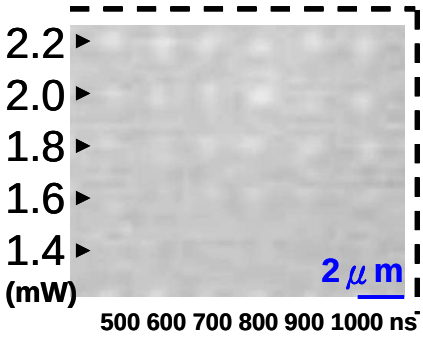
圖 3-3 為 CCD 光學反射訊號圖；藉由分析該記錄點矩陣可得知以下幾點資訊：(一)、本實驗參數寫入之記錄點，在 CCD 光學影像中顯示為偏白色的圖像點，也就是相對於背景之初鍍態膜層而言有較佳之反射率；換言之，對於初鍍態膜層來說，所寫下之記錄點是讓相變

化膜層經由雷射光束熱作用使材料獲得足夠能量讓晶格排列整齊，因而使得作用區域反射率上升。(二)、對於相變化薄膜厚度為 10nm 時，無法從光學反射影像判斷記錄點的寫入情形；應是由於該寫入參數所給予能量不足造成相態的轉變，是以導致光學反射訊號和背景差異性不大；(三)、雷射功率與時間逐漸加大時，雷射光束對於相變化薄膜有較大的熱能量轉換，因而造成寫入程度的不同；越大之雷射功率與寫入時間會形成較大直徑之記錄點。就該實驗所設計之參數而言，改變寫入功率較寫入時間較敏感；(四)、當厚度逐漸加厚時，記錄點有越佳的寫入程度；同樣的對於相同厚度之相變化薄膜來說，當雷射功率與時間逐漸加大時，也可發現有此現象。當雷射功率和寫入時間逐漸加大時，雷射光束對於相變化薄膜有更大的熱能量累積，因而造成寫入程度的不同。至於探討改變厚度所造成的影響，推測應是在奈米尺度下改變薄膜層厚度時，由於薄膜散熱特性[9]的改變，因而影響到相變化薄膜對於雷射光束熱能吸收的程度，進而導致不同的寫入程度。

(a) GST=10nm



(b) GST=20nm



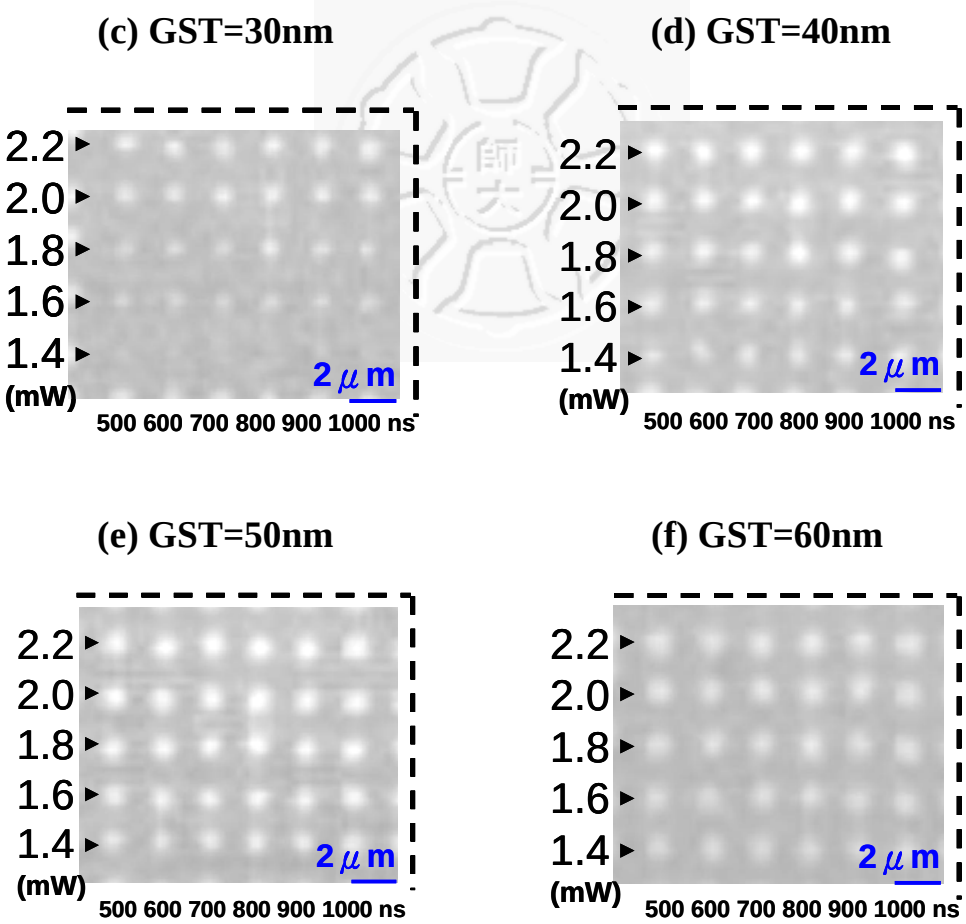


圖 3-3 CCD 光學反射訊號圖；膜層結構為矽基板上鍍以 130nm 之 ZnS-SiO_2 介電質保護層，再鍍以 10~60nm 厚之 GST 相變化薄膜，改變間距為 10nm；寫入功率為 1.4~2.2mW，寫入時間為 500~1000ns。雷射光束入射方向為正向入射相變化膜層裸露面。

3-2-3. 原子力顯微儀之實驗結果

原子力顯微儀最大不同於光學式顯微鏡的地方在於：原子力顯微儀是透過探針直接掃描過樣品表面取得物體的表面形貌，而光學式顯微鏡則是透過光為媒介去收取穿透或反射訊號。由於光波有繞射極限之限制，是以對於奈米尺度的量測會有無法辨識的情形；相對的原子力

顯微儀所使用的探針針尖直徑僅約數奈米，是以所能辨識之解析度要比光學式顯微鏡要來得佳。但光學式顯微鏡可以提供我們物體的材料特性，也是光對其反射率，因此將其結果一併整理討論之。

圖 3-4 為原子力顯微儀之掃描結果。透過此組實驗數據可得到以下幾點：(一)、經過多次實驗發現，對於相變化薄膜厚度為 10nm 之實驗參數無法掃描出物體表面形貌，推測應是凹陷深度過於輕微，導致原子力顯微儀無法判斷出此些微差距；這部分在實驗討論會有更進一步的分析結果。(二)、同較於 CCD image，原子力顯微儀之表面形貌圖也得到隨著記錄層厚度的增加，記錄點直徑亦有加大的情形，且功率加大與時間加長亦對相變化薄膜有直接之影響。(三)、比對原子力顯微儀觀測到物體表面與光學反射訊號結果，原子力顯微儀呈現記錄點直徑約 1.3μm，凹陷深度數奈米之圓形凹陷坑洞；但觀察其光學反射訊號結果，卻有更大的記錄點直徑。分析應是雷射光束為一高斯光束(Gaussian beam)之形式，對於會造成薄膜產生形變之區域為雷射光束能量高於一臨界面(threshold plane)[8]。低於此臨界面之能量並不會立即消失，仍會對形變之外之區域造成相變化之影響，直到熱擴散之能量低於相變化所需之最小能量為止。(四)、光學訊號所顯示記錄點之邊緣相當模糊，應是相變化材料對其光反射訊號在靠近邊界時，由於雷射給予能量逐漸減小，是以結晶的程度相對於背景也越來越微

弱，因此反射訊號強度也漸減弱，而不是呈現如表面形貌般有較尖銳之邊緣產生。

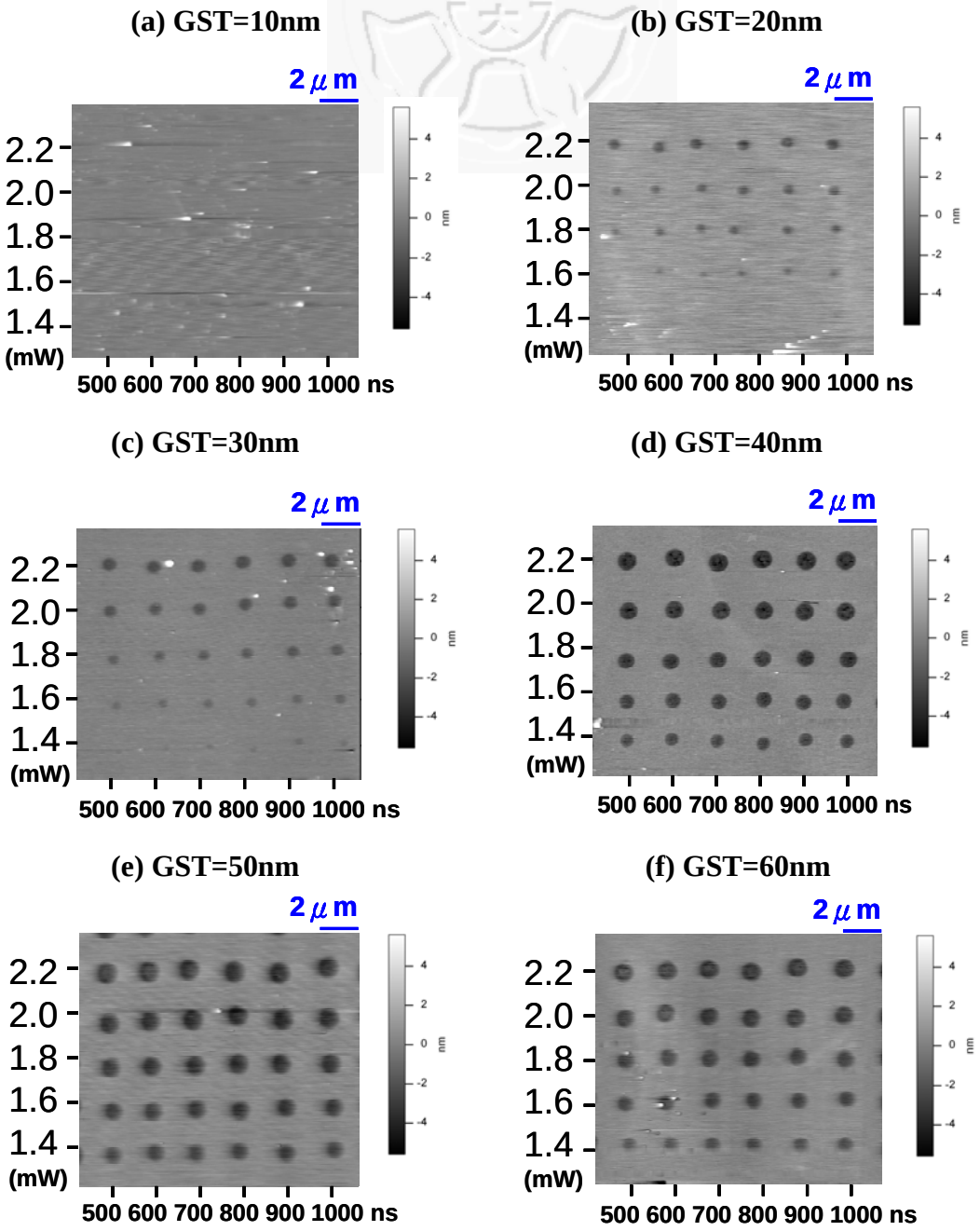


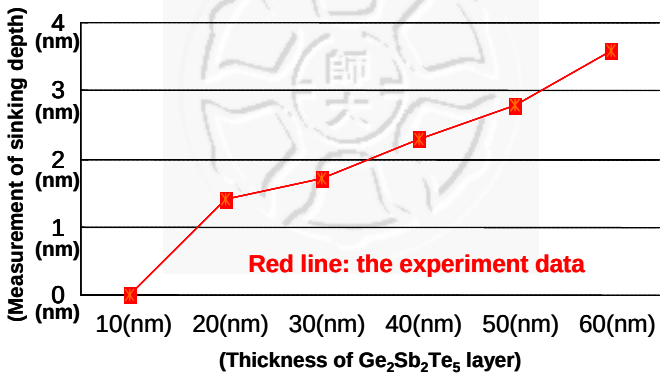
圖 3-4 原子力顯微表面形貌之實驗結果，樣品結構為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(10~60nm)，掃描範圍為 15μm*15μm；圖 3-4(a)~圖 3-4(f)分別為相變化膜厚 10nm~60nm，間隔為 10nm。

由文獻中[9]可知，相變化材料經由雷射光束照射(laser-induced crystallized)形成結晶態的機制是由於雷射聚焦光斑處之局部材料吸收光束能量因而受激並轉換成熱能，進而造成相態的轉換；而材料的物理特性如熱阻(thermal resistance)、熱導率(thermal conductivity)及散熱速率(temperature decay rate)等會因微結構(structure)、缺陷(defect)、純度(purity)以膜層厚度(thickness of layer)等影響。依實驗結果推論，膜厚增加時，單位面積雷射聚焦深度內作用之相變化材料增加，因此造成不同厚度下之相變化材料對於熱能之吸收程度不同；且膜厚增加時，材料之散熱速率趨於漸緩，因此有較足夠的時間給予相變化材料反應造成不同的寫入程度。

3-2-4. 比較記錄點寫入程度與改變相變化材料膜厚之關係

本節欲討論於改變相變化材料厚度下，相同雷射功率與寫入時間之記錄點其凹陷深度與及直徑大小對該變因的反應為何。樣品結構同前實驗，為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(10~60nm)，雷射寫入功率為 2.2mW，寫入時間為 1000ns。量測工具為原子力顯微儀(MFP-3D^{TM})內建之數值軟體(Igor pro 6)所完成。

(a) 記錄點凹陷深度與相變化膜厚之關係圖



(b) 記錄點直徑大小與相變化膜厚之關係圖

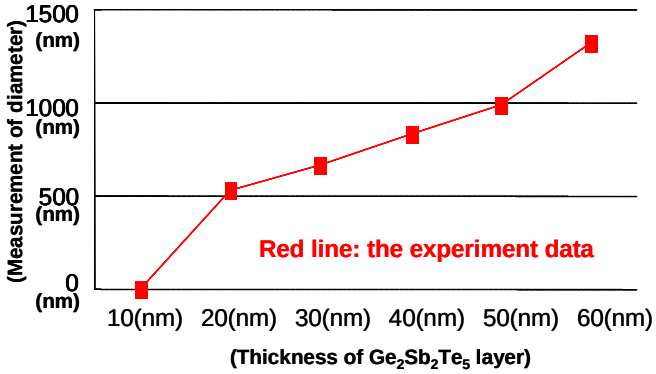


圖 3-5 記錄點凹陷深度與直徑大小之實驗量測結果；圖 3-5(a)為記錄點凹陷深度與相變化膜厚之關係圖；圖 3-5(b)為記錄點直徑大小與相變化膜厚之關係圖。藉此量測可觀察在此雷射功率與寫入時間下，其形成之記錄點凹陷深度及直徑大小會與記錄層之膜厚有類線性關係。

本實驗中得到記錄點尺寸與記錄膜厚在奈米尺度下約略為線性關係；文獻中[9]亦有探討奈米尺度下薄膜之熱阻與厚度之關係為”r=d/k”，d 為膜層厚度，k 為熱導係數($Wm^{-1}k^{-1}$)。而在奈米尺度變化下，對於相變化薄膜熱導的變異並不大；是以受到厚度因素的影響使得熱阻與薄膜厚度為類似線性的關係曲線。本實驗之研究動機為透

過材料本身的物理結構來探討是否能夠控制寫入記錄點的大小與形變，提供了設計者除了改變雷射功率與寫入時間外，另一需要特別考量的實驗參數。依實驗結果推論，太薄(小於 10nm)之記錄層厚度可能會導致寫入程度過於輕微而無法判讀；過厚則可能導致記錄點因為重疊而降低訊雜比(carrier to noise ratio, CNR)的判讀。

3-3. 探討不同性質之雷射寫入參數，其形成記錄點之光學性質與表面形貌

3-3-1. 光學反射訊號之實驗結果

本實驗欲了解鍺銻碲 $Ge_2Sb_2Te_5$ 相變化薄膜對於不同雷射功率與寫入時間之光學反射訊號與表面形貌其變化關係為何，並欲找出結晶態與非晶態之相變點參數。樣品結構為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/ $Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)；寫入系統同為靜態測試儀之設備，功率為 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間為 100~1000ns(間隔 50ns)，記錄點彼此距離為 2 μm。

圖 3-6 為記錄點對光學反射訊號之數據圖；由先前之討論可知，相變化材料對於不同的相態會有不同的光學反射性質，結晶態於非晶態有相對較高之反射訊號。實驗數據中依寫下之光學反射性質可略分為四類區域：(a)、無反應區(non-react area)；(b)、結晶態區(crystalline mark

area)；(c)、結晶環區(crystalline circle area)；(d)、中心低反射性結晶環(crystalline circle with low reflectivity in the center)。

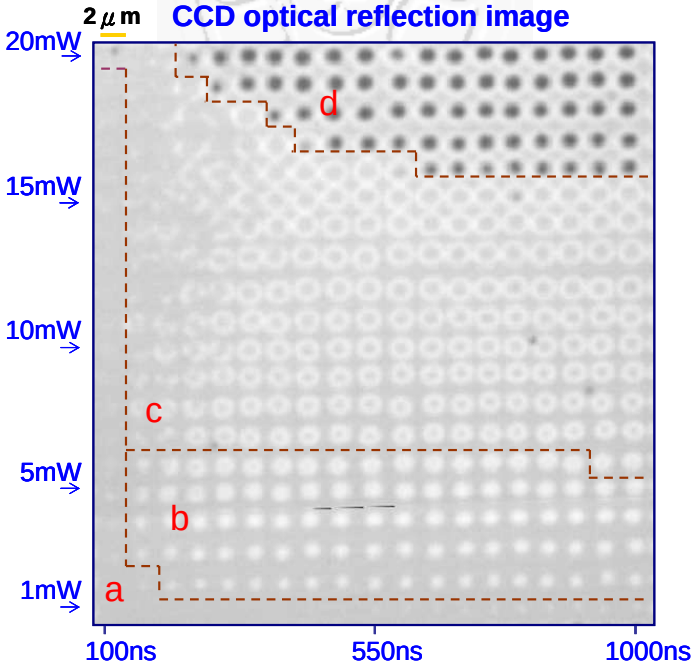


圖 3-6 雷射功率 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間 100~1000ns(間隔 50ns)之光學反射訊號圖；樣品結構為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)。

藉由分析所寫下之範圍矩陣，首先固定寫入時間為 550ns 之數據，觀察記錄點隨雷射功率增加的情形。發現其結晶點之形成趨勢可整理如下：(一)、在寫入功率 1~6mW 之區段，成長情形會由無反應區域成長至結晶態亮點標記，並隨功率增加而直徑有加大情形。推測原因應是在此參數條件下的相變化材料可形成結晶態的記錄點，但中心高溫處並不足以形成非晶態的相態；是以當寫入功率逐漸加高時，觀察到的現象是記錄點直徑因為累積熱能逐漸增加而加大。(二)、寫入功率於 7~16mW 時，可發現此時記錄點之光學反射訊號為形成一結晶

亮環，中心反射率較低處的圓面積會隨著功率增加而有加大的情形。推測原因應是在該區段的寫入參數下，相變化材料獲得足夠的能量使得中心高溫處能轉態到非晶態，使得記錄點光學反射訊號中心處為偏低的情形。(三)、寫入功率為 16~20mW 時，此時記錄點之光學反射訊號為一結晶環，但中心處呈現近乎不反射之黑色圖示區域；推測在此高寫入功率條件下，記錄點中心處會因溫度過高而導致相變化材料發生破壞現象，因此導致光學反射率呈現黑色偏低；而周圍仍可看見一結晶亮環，應是由於雷射光束聚焦之熱能會呈現高斯分佈[9]的散失模式，因此在周圍處之作用溫度並不會如中心處高，是以形成一結晶態的亮環。

接著試分析固定雷射功率 10mW，分析寫入時間為 100~1000ns 之寫入情形，這裡暫分成兩區域作討論：(一)、寫入時間為 100~150ns 時，觀察到光學反射訊號之變化由記錄點不可辨識，接著逐漸形成一模糊的結晶環，最後是形成一清楚的結晶環包圍著中心反射率偏低的區域。此外，該組參數下可觀察到一特殊現象：當寫入時間為 100~150ns 時無法觀察到光學反射訊號；但此處的低反射率形成機制應和小功率短時間之”不反應區”不同。藉由觀察固定寫入時間為 100ns 之記錄點，當寫入功率增加時，會由無反應區漸形成一結晶點，並且直徑逐漸加大；當功率超過 6mW 時，結晶點直徑則是會逐漸減

小並消失，直到達到約 19mW 大功率區時才又漸漸可觀測到有亮斑的形成。(二)、寫入時間大於 150ns 後，可觀測到此時記錄點之光學反射訊號為逐漸形成一亮環，包圍著中心反射率較低之區域。綜合上述之整理，我們可推測出先前觀測到不同型態之記錄點其形成的條件為何；(a)、結晶態點(crystalline mark)：相變化材料獲得足夠高於門檻的熱能與充裕的反應時間，此時鍺銻碲(Ge-Sb-Te)合金可重新排列，因而形成有序之結晶態結構，是以有較高之反射率。(b)、結晶環點(crystalline circle mark)：推測此區域之雷射寫入特性會造成中心處形成反射率較低之非晶區，而周圍是反射率較高之結晶區。(c)、中心低反射率之結晶環(crystalline circle with low reflectivity in the center)：該區域之特性為中心處之反射率較結晶環區域更低，接近近乎無光學反射回來。其原因可能為該區域之材料已遭受破壞，導致光波經過時被吸收(absorption)、散射(diffraction)或是穿透(penetration)。這部分實驗接著會透過原子力顯微儀的結果來加以討論其原因。

圖 3-7 為原子力顯微儀之實驗結果，樣品結構同為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)，寫入系統同為靜態測試儀，雷射功率為 1~20mW，寫入時間為 100~1000ns，記錄點彼此距離為 2μm。本實驗之動機為希望透過比較結晶態點之表面形貌與光學反射訊號，能了解結晶點形成之過程以及試著解釋一些特殊型態記錄點的形

成原因。

3-3-2. 原子力顯微儀之實驗結果

藉由分析所寫下記錄點之表面形貌，可依序整理成四區域：(a)、無反應區；(b)、”凹陷點”型標記(“hole” type mark)；(c)、”山型標記(“mountain” type mark)，中心凸起周圍凹陷之表面形貌；(d)、“甜甜圈”型標記(“donut” type mark)，中心凹陷周圍圖起之表面形貌。

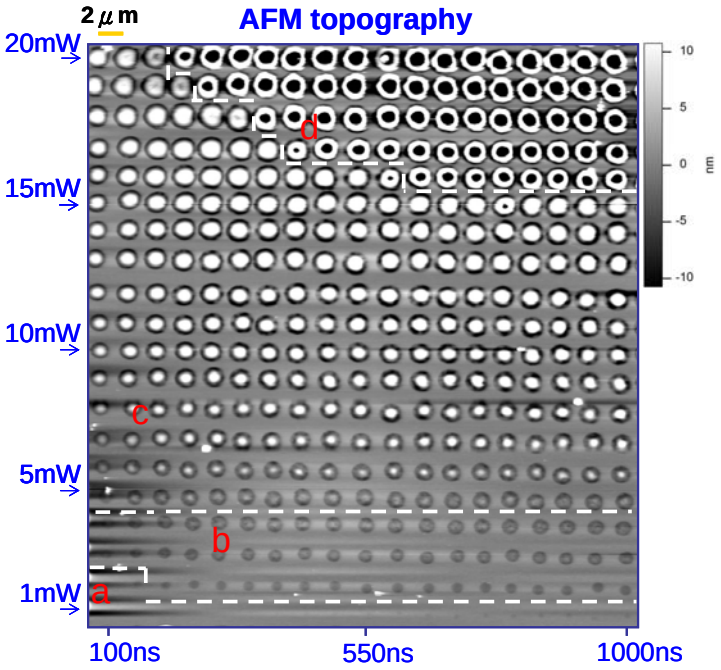


圖 3-7 雷射功率 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間 100~1000ns(間隔 50ns)之原子力顯微儀表面形貌圖；樣品結構為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)。

首先針對記錄點之形成趨勢討論，可發現隨著寫入功率與時間的增加，記錄點之表面形變會先形成數奈米之凹陷，接著中心會有逐漸隆起的現象；當到達一定寫入功率後，便會形成中心凹陷而周圍突起的

情形(如圖 3-8 整理所示)。而就光學反射訊號與表面形貌改變比較，可知當功率小於 7mW，寫入時間固定為 550ns 時，其結晶點並不會出現中心反射率下降的情形，推測此時的中心溫度並不足以讓相變化材料形成低反射率的非晶態；而功率高過 16mW 後，則是因為中心溫度過高導致表面形貌有破洞的情形發生，其凹陷深度約為 80nm。

(a) (b)

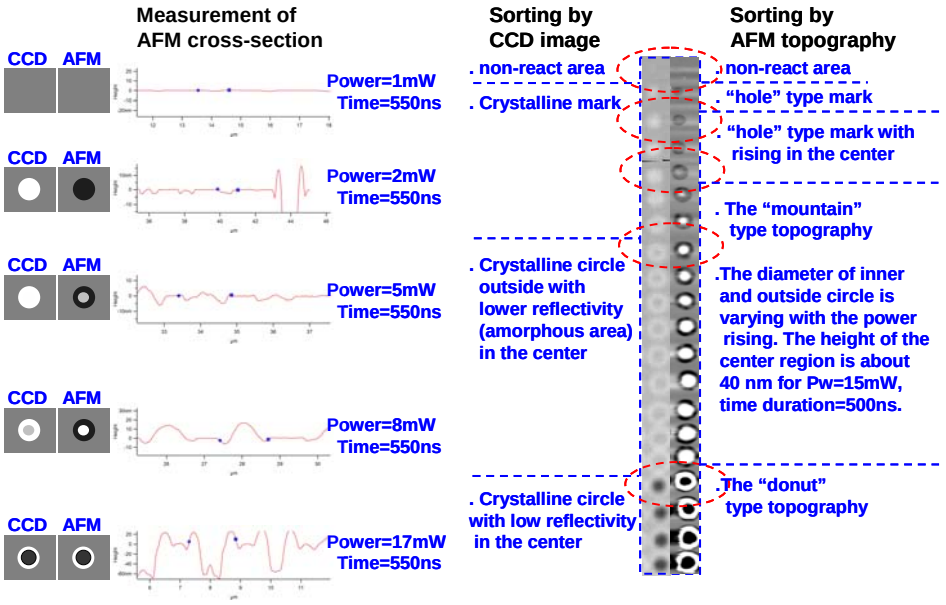


圖 3-8 不同型態之記錄點，依光學反射訊號與表面形貌之分類表；圖 3-8(a)選取參數之表面形貌曲線圖，可整理出固定寫入時間為 550ns 情況下，其記錄點隨功率變異的情形。圖 3-8(b)為光學反射訊號與表面形貌之比對討論表。

透過圖 3-9 之實驗整理比較可得知記錄點形成之過程及其對應光學反射訊號與表面形貌的改變，亦可幫助了解先前討論之某些記錄點情形；如先前討論過高功率(大於 16mW)時，會形成一結晶環但中間低反射率的結晶點，初步臆測是由於該區域的相變化材料遭受破壞而導

致散射或穿透的情形。現今比對原子力顯微儀之實驗結果，可得知實際記錄點之表面形貌會形成中心凹陷約 80nm 深度，周圍突起約 40nm 之坑洞型表面形貌。因此推測中心處之低反射率原因除了來自材料的破壞性外，形成該坑洞造成光線於內散射與穿透造成反射訊號降低亦是原因之一。

此外，先前討論到因為相變化材料轉變成非晶態區而造成光學反射訊號下降之區域(雷射功率 10mW，寫入時間 100ns)。試比對其光學反射訊號與表面形貌後發現，該區域的表面形貌可清楚的觀測出寫入之記錄點，但光學反射訊號卻是偏低模糊的狀態(如圖 3-9-a)。

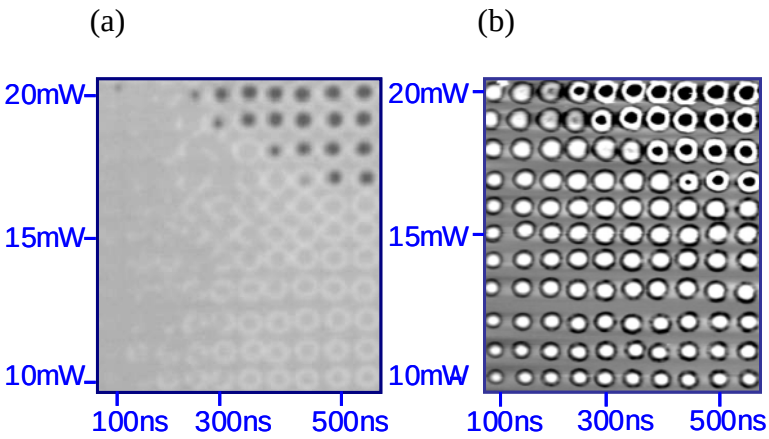


圖 3-9(a)寫入時間 100-550ns，雷射功率 10-20mW 之光學反射訊號圖；圖 3-9(b)為對應之表面形貌圖。欲比較有明顯表面形貌之記錄點其對應之光學反射訊號；該組數據圖寫入時間為 100ns 其記錄點其光學訊號模糊偏低，而到達 300ns 後則形成一結晶環的記錄點。

試討論該現象發生之原因；就相變化材料之特性而言，若欲從結晶態的相變化材料形成非晶態之條件為給予一高功率及短脈衝寫入性

質的雷射脈衝，但實際相變化材料反應情形仍要依樣品之結構與選用材料特性而定。本實驗中，固定寫入時間為 100ns 下，可觀察光學反射訊號中記錄點會先形成一結晶亮點，當功率逐漸大至 6mW 後，結晶亮點會呈現突然減弱的情況，即為圖 3-9 寫入時間為 100ns 之數據。比對記錄點之表面形貌與光學性質，可知該現象並不是受到表面形貌的影響而導致光學性質的降低，因為記錄點形變的狀態在雷射功率 6mW 前後差異是不大的，其呈現中心凸起穩定成長的趨勢。若固定寫入功率為 15mW，當寫入時間逐漸加長時，光學反射訊號會由模糊之圖示，逐漸形成一結晶環，中心處為反射率較低的結晶點。是以整理上述所示實驗現象，我們可得知記錄點之形成可分為光學反射訊號與表面形貌的改變兩類討論：(一)、光學反射訊號中，記錄點會先形成一圓形結晶點標記，並隨功率及時間增加而逐漸擴大；當到達一定功率範圍後，記錄點會逐漸形成一中心反射率為較低的結晶環。而中心反射率較低的部分經過先前實驗討論，其認為是由於中心處因為高溫影響而形成非晶態的相態，因此導致反射率的下降。而當雷射功率與寫入時間繼續升高，記錄點會形成中心為近乎無反射率的性質，而周圍仍是結晶亮環。該型態之記錄點需比對表面形貌後較易討論，形成原因除了中心處相變化材料已遭受破壞導致外，其表面形成一凹陷坑洞亦是影響反射率的原因；(二)、就原子力顯微儀之表面形貌討

論，記錄點在光學反射訊號為一結晶標記時，對應之表面形貌可分為兩類：一是小雷射功率範圍內(1~2mW)，記錄點之表面形貌為數奈米之凹陷點；二為較大功率之區域(2~6mW)，光學反射訊號仍為一結晶標記，但對應之表面形貌則是中心突起(20nm)而周圍凹陷(5nm)。當雷射功率繼續增加至造成中心區域凹陷時，此時對應之光學反射訊號為中心無反射訊號；比對結果應是中心的凹陷破洞造成了光直接穿透亦或在其內形成散射而導致反射率降低。

接著試探討各型態之記錄點其表面形貌變化原因。對於小功率(1~2mW)時記錄點呈現凹陷貌，應是由初鍍態之相態轉變為結晶態時，會因密度變緻密而導致雷射光斑聚焦處之表面形貌會呈現凹陷的改變。而隨著雷射功率逐漸加大，中心溫度亦逐漸升高，此時中心處會因高溫的作用而有聚合隆起的現象。當溫度高於相變化材料之熔點時，中心處便會因材料氣化而導致破洞的發生。至於光學反射訊號顯示破洞之周圍仍為一結晶環，這是由於雷射之加熱特性為高斯分佈的曲線特性，是以周圍仍會因擴散之餘熱導致結晶態的生成，是以形成一結晶環包圍其中。

本組實驗可獲得以下幾點資訊：(一)、鍺銻碲($Ge_2Sb_2Te_5$)相變化材料記錄點之光學性質不僅為結晶點一種，會因為雷射功率及寫入時間之影響而有不同的表現形貌。(二)、對於高功率寫入之記錄點，需考

慮表面形貌造成結構性破壞的問題，因其造成的形變範圍過大(約100nm)，是以有損壞膜層結構之虞。(三)、對於改變膜層厚度所得記錄點尺寸改變之效應，亦為製程設計之重要考量；實驗中發現若相變化膜層過薄則是會導致寫入困難，太厚則是會有寫入記錄點影響讀取的情形。

3-4. 不同溫度下相變化薄膜對雷射寫下之記錄點其表面形貌的改變

本章節中之實驗動機為透過原子力顯微儀之加熱平台(poly-heater, Asylum Research)研究對於相變化材料寫下之記錄點，其表面形貌對於溫度的變化，欲證實不同相態之結晶點，其密度改變會造成膜厚的改變。

樣品結構同為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)，寫入功率為 1~20mW，寫入時間為 50~1000ns。圖 3-12~圖 3-16 為經過原子力顯微儀加熱平台維持在 120˚C、140˚C、160˚C、180˚C 及冷卻至室溫後之表面形貌圖。藉由比對記錄點之改變欲了解相變化材料不同相態密度的改變所造成之影響。

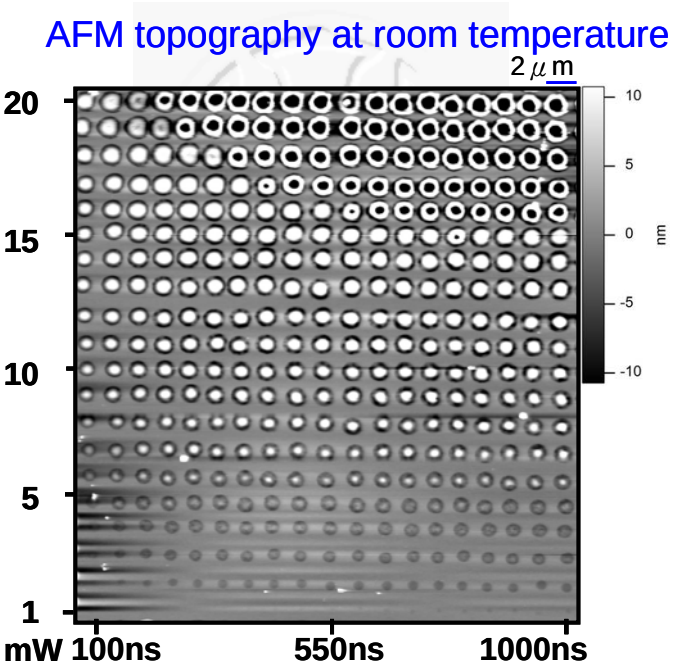


圖 3-10 範圍矩陣之原子力顯微儀表面形貌圖；樣品結構參數為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)，寫入功率為 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間為 100~1000ns(間隔 50ns)，掃描範圍為 45x45 μm。

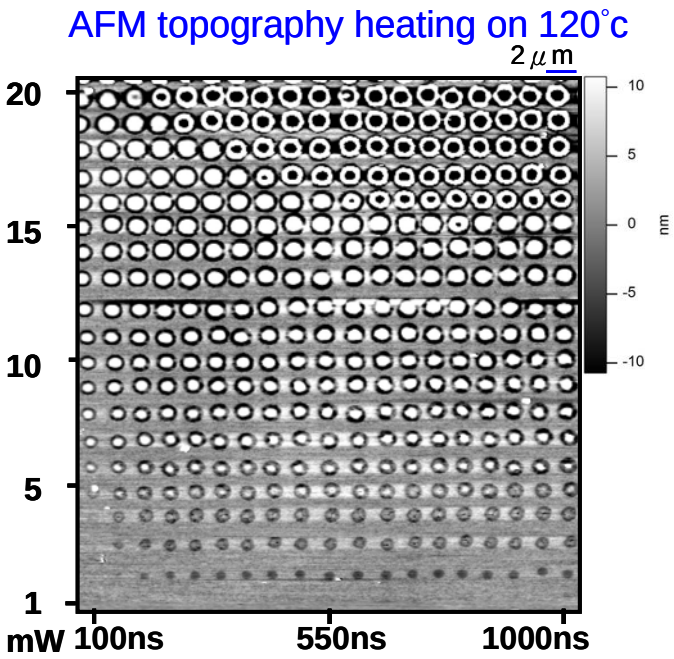


圖 3-11 範圍矩陣 120˚C 加熱中之原子力顯微儀表面形貌圖；樣品結構參數為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)，寫入功率為 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間為 100~1000ns(間隔 50ns)，掃描範圍為 45x45 μm。

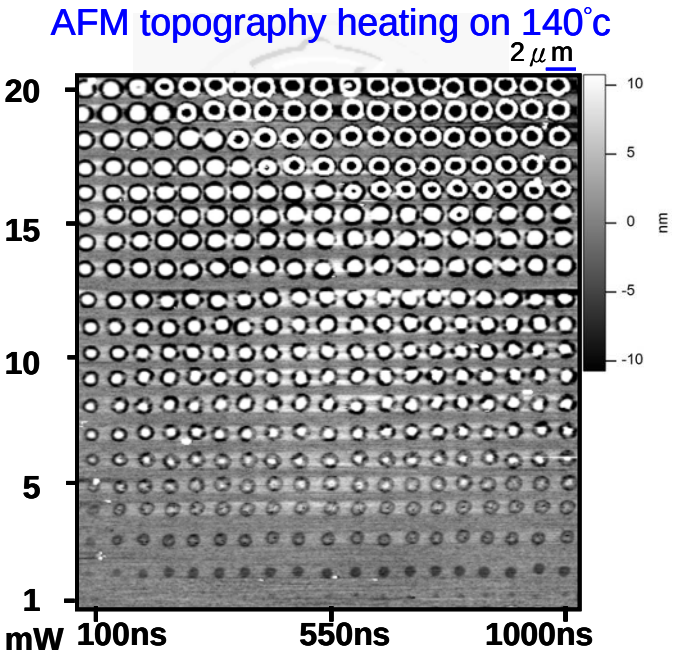


圖 3-12 範圍矩陣 140˚C 加熱中之原子力顯微儀表面形貌圖；樣品結構參數為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)，寫入功率為 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間為 100~1000ns(間隔 50ns)，掃描範圍為 45x45μm。

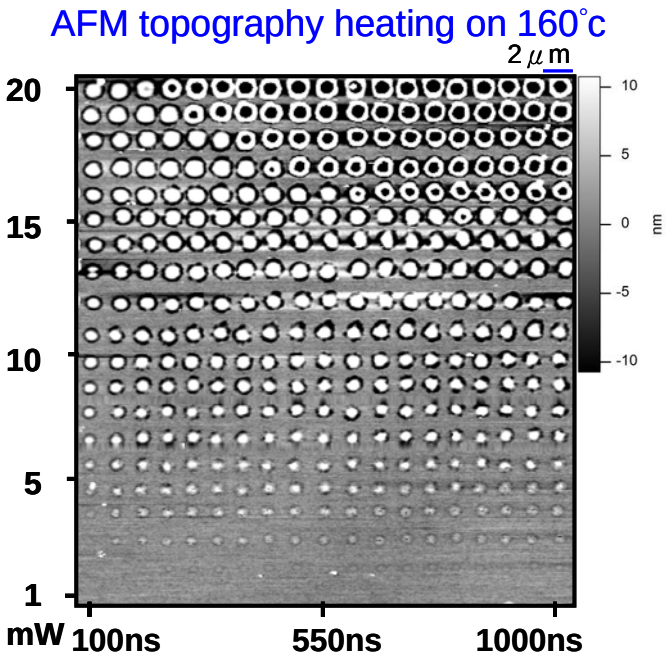


圖 3-13 範圍矩陣 160˚C 加熱中之原子力顯微儀表面形貌圖；樣品結構參數為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)，寫入功率為 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間為 100~1000ns(間隔 50ns)，掃描範圍為 45x45μm。

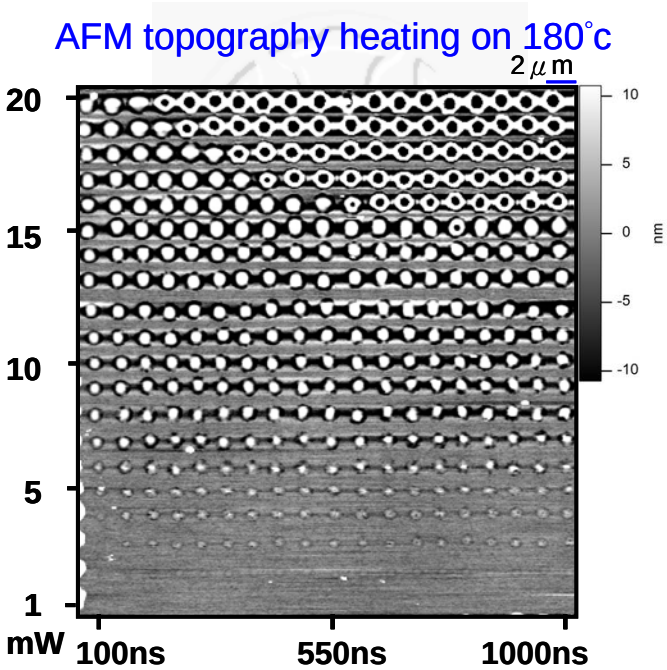


圖 3-14 範圍矩陣 180˚C 加熱中之原子力顯微儀表面形貌圖；樣品結構參數為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)，寫入功率為 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間為 100~1000ns(間隔 50ns)，掃描範圍為 45x45 μm。

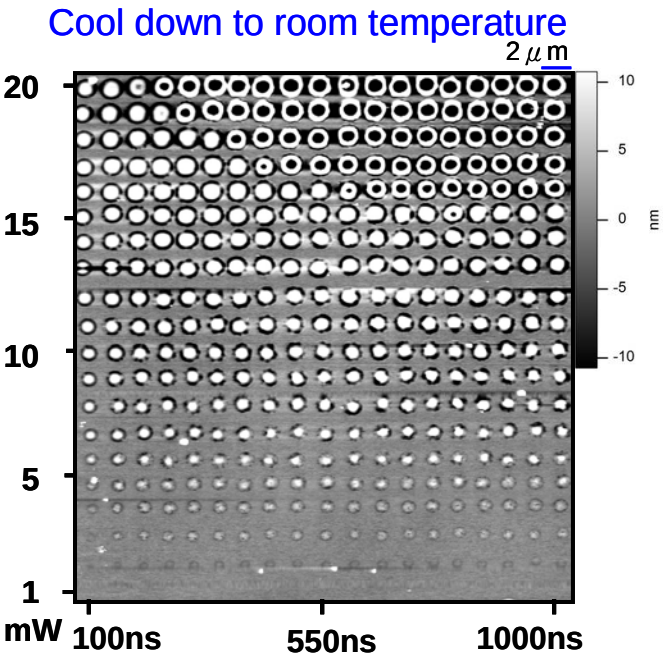


圖 3-15 範圍矩陣經過加熱至 180˚C 後冷確至室溫後其原子力顯微儀表面形貌圖;樣品結構參數為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(40nm)，寫入功率為 1~20mW(間隔 1mW)，寫入時間為 100~1000ns(間隔 50ns)，掃描範圍為 45x45 μm。

圖 3-10~圖 3-15 為一系列原子力顯微儀變溫實驗；設計將同一組樣品經過室溫至 180˚C 的加熱中(間隔 20˚C)及冷卻後掃描，欲觀察是否會因密度變異而有形變的改變。經由比對不同溫度之表面形貌圖可整理以下幾要點：(一)、對於本實驗所使用之材料鍺銻碲($Ge_2Sb_2Te_5$)，其寫下記錄點矩陣之表面形貌在室溫至 140˚C 時皆無太大之改變(量測誤差範圍內)，推測此時尚未達相變化材料之相變點，是以並未有變緻密的現象發生。(二)、當加熱溫度高於 140˚C，可觀察到低功率區域的記錄點(寫入功率 1~6mW)逐漸由原先之凹陷形貌轉變為突起樣。此現象臆是達到相變化溫度後，原先寫下之記錄點因背景相態由初鍍態(as-deposit state)轉變為結晶態而體積減縮，是以整體背景空白處(blank area)會因密度變大而體積緻密下降。為了更詳細的就此現象討論，另設計了雷射功率為 1.4~2.2mW(間隔 0.2mW)，寫入時間為 500~1000n(間隔 50ns)，樣品結構為 Si-substrate /ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(50nm)之樣品，欲觀察討論該參數條件下記錄點形變之情形。

圖 3-16 為記錄點矩陣經加熱至 180˚C 維持 20 分鐘後冷卻至室溫之原子力顯微儀表面形貌圖；圖 3-16(a) 為加熱前之表面形貌圖，參數之寫入順序皆和先前樣品相同，矩陣之功率與時間隨右上至左下依序增加(如標示矩陣所示)。數據中可觀測到加熱前之記錄點呈現約 2nm

之凹陷，直徑大小約為 1μm 左右(約略平均值)。經加熱過後，原先呈現凹陷之記錄點皆會轉變為些微突起貌；文獻討論中[11]，$Ge_2Sb_2Te_5$ 相變化材料之密度可分為初鍍非晶態(5.86 g/cm^3)、退火結晶態(6.13g/cm^3)、與理論計算結晶態(6.28g/cm^3)；寫下記錄點到加熱後之現象以以下幾點試解釋之：(一)、雷射光束寫在初鍍態相變化薄膜時，由於該區域受到熱影響，密度會由初鍍膜態(5.86g/cm^3)升高至結晶態(6.13g/cm^3)，導致晶體排列較緊密，是以體積會有縮減的現象；由於樣品為邊界侷限的情形，是以推測密度之改變比例會反應在高度的改變比例上。(二)、樣品背景經過高溫長時間退火後，背景會由初鍍態(5.86g/cm^3)轉變至結晶態(6.13g/cm^3)，是以會因密度變大而導致體積縮減。(三)、寫下記錄點處密度為結晶態(6.13g/cm^3)，經過加熱至 180˚C 後因未達到相變化材料之二次相變點(240˚C)，是以推測仍維持在先前相態密度(6.13g/cm^3)。

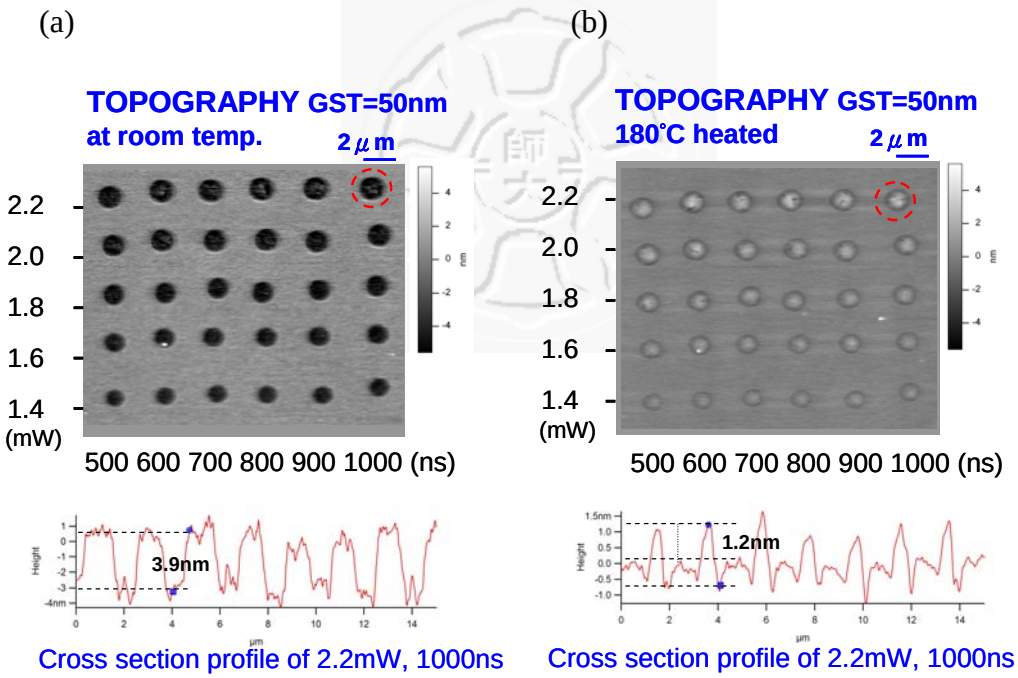


圖 3-16(a)為記錄點矩陣加熱前之表面形貌圖；圖 3-16(b)為經 180˚C 加熱後冷卻至室溫之表面形貌圖；樣品結構為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(50nm)，寫入功率及時間如標示所示。

圖 3-17 為對該實驗觀測到之現象提出之模型解釋。模型中主要由兩相態組成，分別是膜層的背景相態(初鍍態，密度為 5.86g/cm^3)、寫下記錄點處之結晶態(crystalline，密度為 6.13g/cm^3)。模型中設立了三參數：一是記錄點經過加熱會下降之高度(X nm)；一為背景初鍍態經過加熱後會下降之高度(Y nm)，一則是經過雷射光束照射後下降之高度(Z nm)。藉由實驗結果推論可知，X、Y、Z 之關係式為：Y-(X+Z)=最後記錄點處突起高度。此外亦設立了兩假設條件：(a)、由於樣品邊界處為侷限的狀態，是以將密度的改變比直接對應到高度的改變比。(b)、經過 180˚C 加熱後之密度與雷射寫下之記錄點密度相同(皆為

6.13g/cm^3)。

透過該模型分成以下幾點討論：(一)、對於寫下記錄點時，依假設密度改變比應會對應至高度改變差；文獻中密度改變比為4%(6.13-5.86/5.86)，而高度改變比為7.8%(3.9/50)。(二)、寫下之記錄點經過加熱後會下 X nm，依假設二此時 X=0，表示先前寫下之記錄點不會再因加熱而下降。(三)、背景初鍍態材料經過加熱後會下降 Y nm，試算結果為：Y=50*(6.13-5.86)/5.86=2.3nm。就假設模型中之 X、Y、Z 關係帶入 Y-(X+Z)=加熱後突起高度關係式：2.3-(0+1.5)=0.8，表示最後寫下結晶處要較周圍突起約一奈米左右，該寫入參數下(1.4mW，500ns)符合假設條件下之模型試算結果。

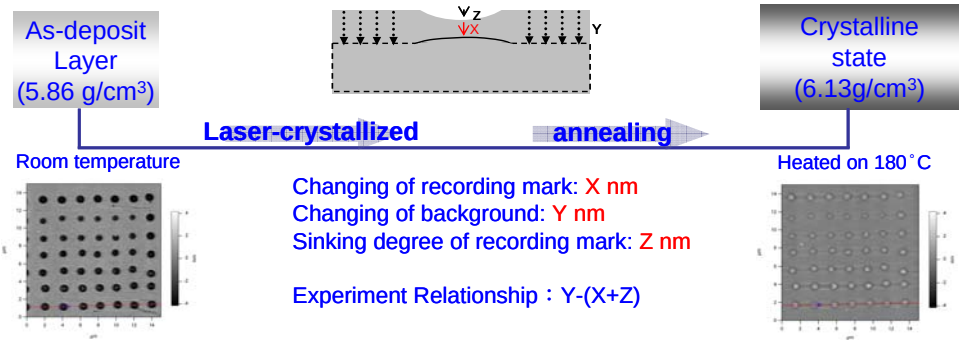


圖 3-17 對加熱後實驗結果提出一解釋模型：藉由分析不同相態之密度改變關係，來解釋加熱過後原先凹陷之記錄點會變至突起的狀態。X、Y、Z 之關係式為：Y-(X+Z)=最後記錄點處突起高度。圖示為原先寫下凹陷數奈米之記錄點，經過加熱後之凹陷情形。

但此模型亦有許多困難定量處，是否不同寫下點的參數，會造成結

晶程度的不同；且寫下之記錄點並非單純的凹陷形變。舉例實驗設計參數(雷射功率 2.2mW，寫入時間 1000ns)，形變為中心略有突起而周圍凹陷。且突起程度僅數奈米高，是否會因為原子力顯微儀量測時的邊緣誤差而導致估算困難亦是需考量的因素。此外，加熱條件下(180˚C 持續 20 分鐘)，相變化材料結晶態是否會和寫入記錄點之結晶態相同；以及是否有其他物理機制的影響，如經過雷射光束寫入後是否會造成區域性的材料結構不同，以及加熱時相變化材料是否會對缺陷有形變集中的效應等都是需再經過實驗證實的。

3-5. 導電式原子力顯微儀(C-AFM)觀察不同溫度下覆寫式商業光碟片其記錄點隨溫度變化關係

本實驗之實驗目的為透過導電式原子力顯微儀之加熱平台觀測加熱中相變化記錄點之導電性變化，及了解雷射光致記錄點之導電特性。其實驗分為兩部分：(一)、對市售之可重複讀寫式(DVD+RW)商業碟片(錸德公司)，以市售之商業碟機寫下記錄資訊，再加熱進行掃描。(二)、實驗過程中因遭遇到加熱中掃描狀態不穩定的情形，是以對 DVD+RW 之空白基板作室溫至 180˚C(間隔 20˚C)之加熱實驗，欲了解是否基板因加熱而熔化造成干擾。圖 3-18(a)~(j)為一系列加溫中掃描之結果，商業碟機寫入功率通常為 7~11mW 左右，實驗之掃描

範圍皆為 5 μm*5μm。

圖 3-18(a) 為商業片未加熱前之表面形貌，藉此可知道一般光碟片中，基版組成的部分為週期性高低起伏，週期為 0.73μm 之溝軌組成，藉此可以幫助雷射光束達成循軌及定位。圖 3-18(b)為 C-AFM 導電訊號圖，由訊號之尺度表可藉由黑白色之對比判斷出導電性之差異；寫下記錄點處為白色區域，可視為較背景材料不導電處。由於一般商用碟片皆會經過初始化之動作，是以背景會偏向結晶態；當雷射功率寫入時，由於高溫急速焠冷造成晶體來不及重複排列而形成非晶態，是以記錄區域之導電性會較背景區域來得低。

圖 3-18(c)~(j) 依序為加熱 120˚C 至 180˚C 之實驗結果，其實驗皆為達到目標溫度後，放置 20 分鐘使其熱平衡穩定後之掃描結果。由趨勢看來，對於溫度逐漸上升時，相變化記錄點之導電性逐漸和背景趨於相同之結果；文獻中所知，相變化材料之相變點溫度約在 160˚C 左右。是以當溫度逐漸接近 160˚時，會使得整體相變化材料受到熱能而導致晶體重新排列，原先非晶相之區域因而會轉變為結晶相，導致和背景電性趨於相同，因而無法判讀出差異。至於導電訊號圖中會出現電性中斷之問題，主因應是加熱時，探針易沾黏氣體揮發物而導致形成一隔絕層；亦或探針尖端受高溫影響易受損等原因。

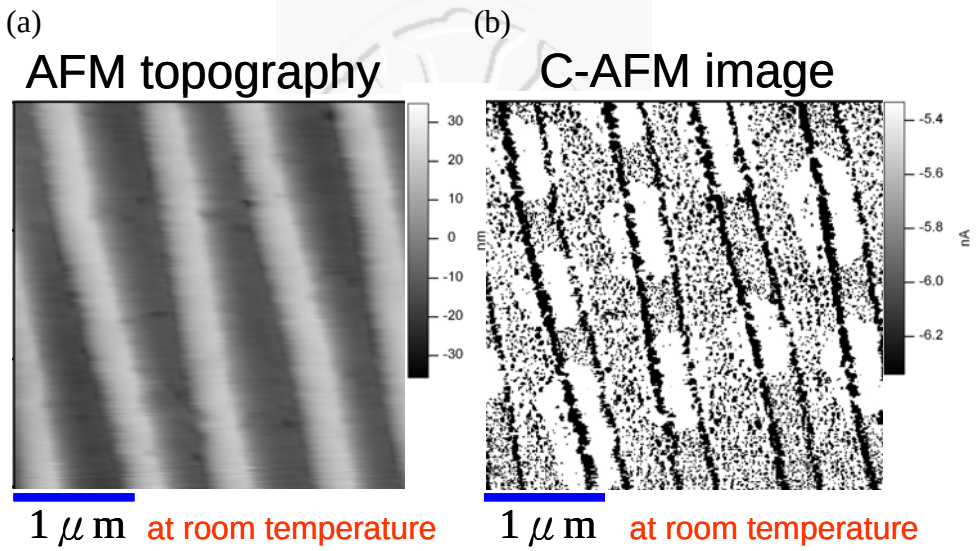


圖 3-18(a)為室溫下掃描市售商用可覆寫式光碟片之原子力顯微儀之表面形貌圖，掃描範圍為 3x3 μm；圖 3-18(b)為導電式原子力顯微儀實驗結果，白色斑點處為寫下之記錄點(非晶態)，其導電性較背景(初始化態)為低。

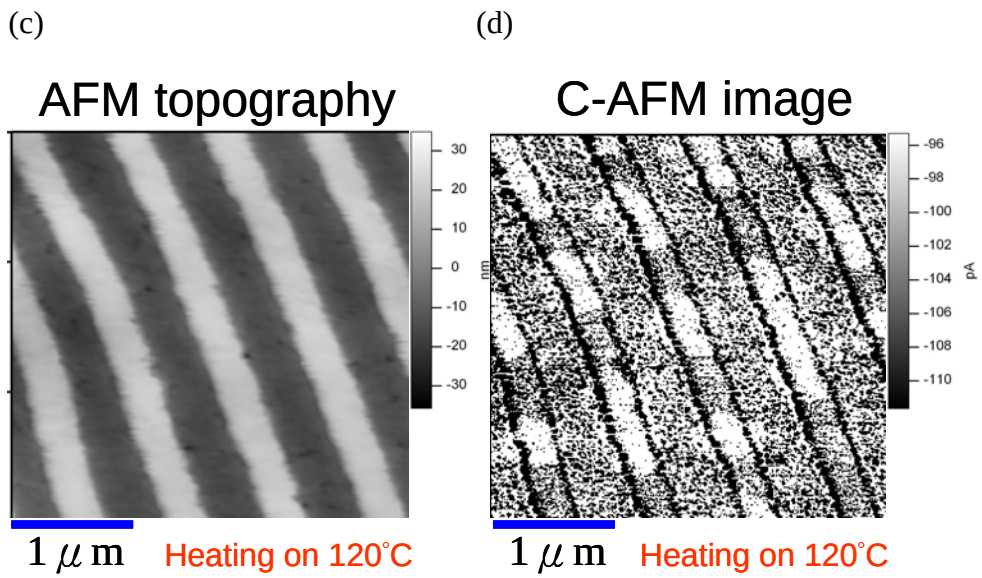


圖 3-18(c)為維持 120˚C 下掃描市售商用可覆寫式光碟片之原子力顯微儀之表面形貌圖，掃描範圍為 3x3 μm；圖 3-18(d)為導電式原子力顯微儀實驗結果，白色斑點處為寫下之記錄點(非晶態)，其導電性較背景(初始化態)為低。

(e) (f)

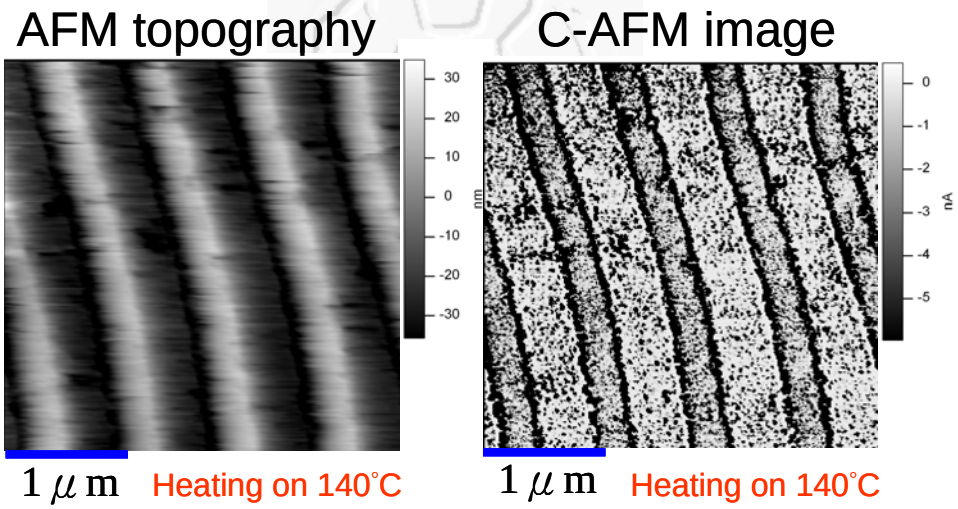


圖 3-18(e)為維持 140˚C 下掃描市售商用可覆寫式光碟片之原子力顯微儀之表面形貌圖，掃描範圍為 3x3μm；圖 3-18(f)為導電式原子力顯微儀實驗結果。該溫度加熱下，無法由導電性之差異觀測至記錄點與背景之差異。

(g) (h)

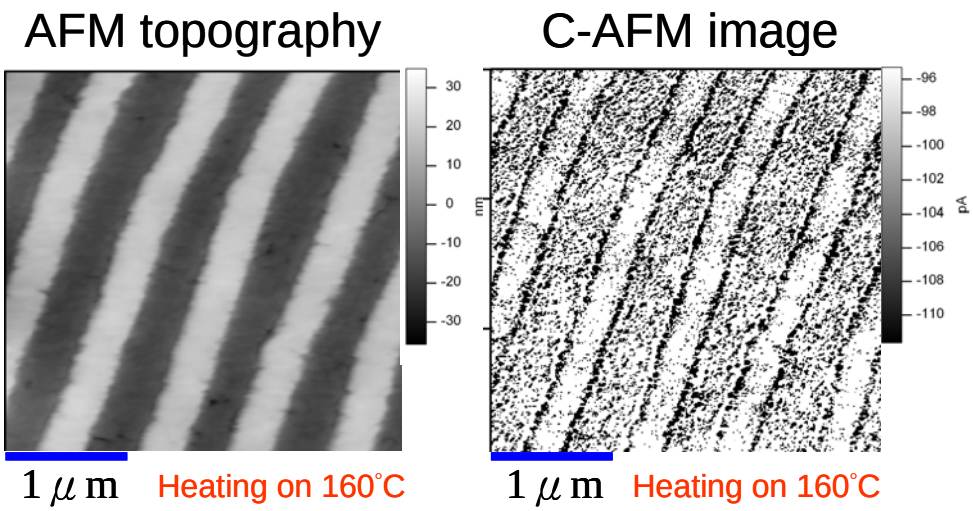


圖 3-18(g)為維持 160˚C 下掃描市售商用可覆寫式光碟片之原子力顯微儀之表面形貌圖，掃描範圍為 3x3μm；圖 3-18(h)為導電式原子力顯微儀實驗結果。

圖 3-18(j)為加熱至 180˚C 之導電訊號圖。發現在該溫度時無論掃描表面形貌亦或導電訊號圖皆相當困難，猜測可能是在此高溫時，熱輻射之能量過高，產生擾動過大導致平衡困難，因而探針易產生抖

動；亦或塑膠基板因高溫而有熔化形變之情況。

(i) (j)

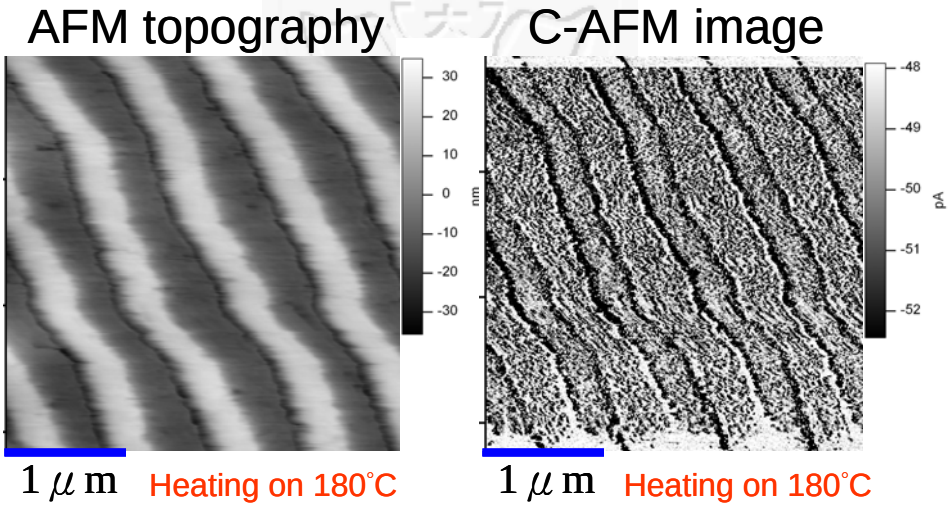


圖 3-18(i)為維持 180˚C 下掃描市售商用可覆寫式光碟片之原子力顯微儀之表面形貌圖，掃描範圍為 3x3 μm；圖 3-18(j)為導電式原子力顯微儀實驗結果。

針對 180˚C 加熱掃描中原子力顯微儀不穩定之情形做了一組相關實驗，單純加熱 DVD+RW 之塑膠基板欲驗證可能為基板不穩定之假設。設計加熱溫度同樣為 120˚C 加熱至 180˚C，間隔 20˚C，希望能得知 DVD+RW 空白塑膠基版在不同加熱溫度時之表面形貌變化情形，結果如圖 3-19(a)~(f)所示。

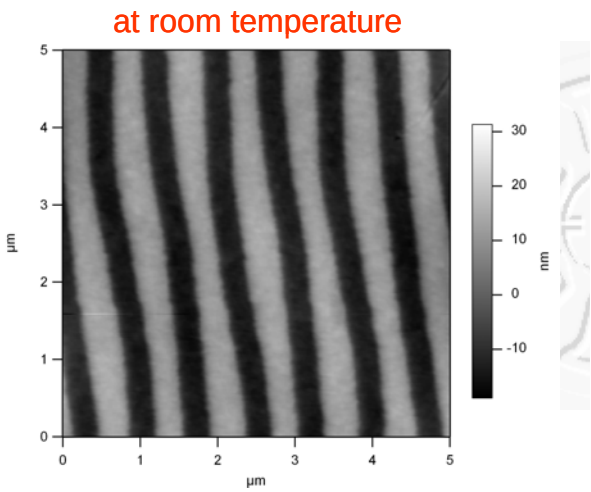


圖 3-19(a)室溫下 DVD+RW 基板之表面形貌圖。

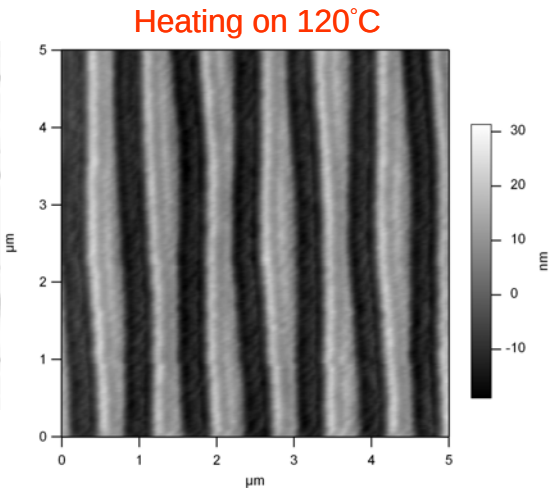


圖 3-19(b)室溫下 DVD+RW 基板之表面形貌圖。

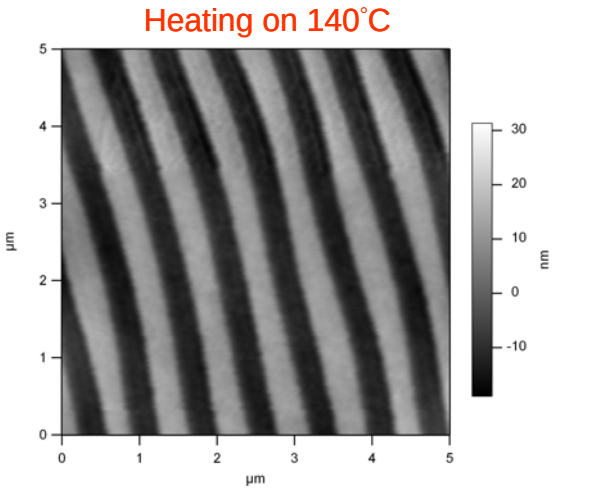


圖 3-19(c)室溫下 DVD+RW 基板之表面形貌圖。

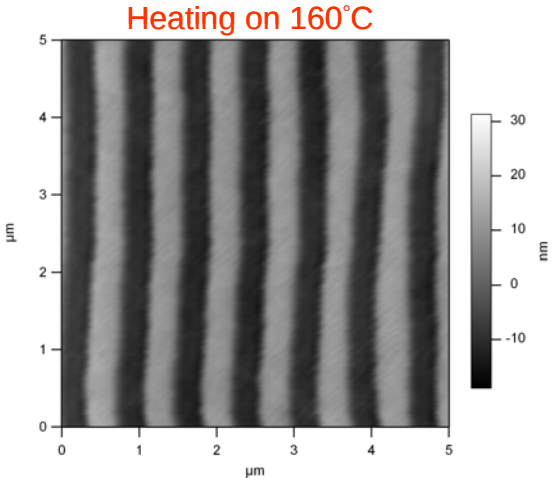


圖 3-19(d)室溫下 DVD+RW 基板之表面形貌圖。

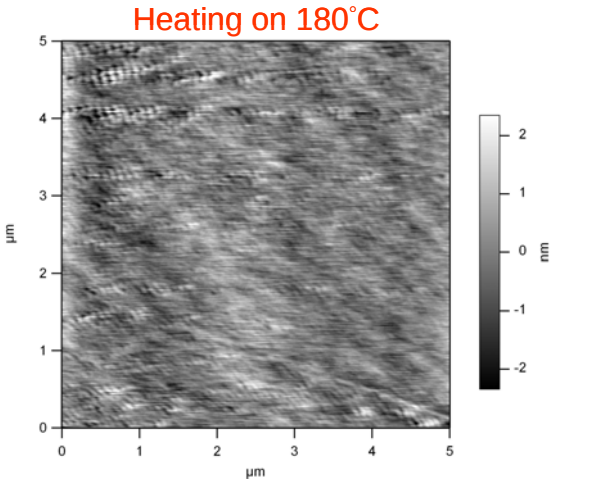


圖 3-19(e)室溫下 DVD+RW 基板之表面形貌圖。

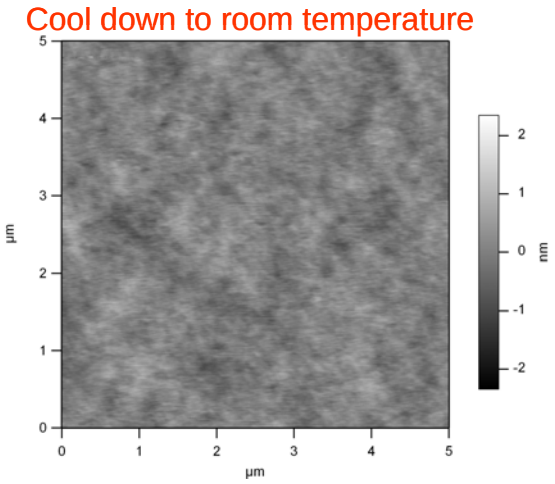


圖 3-19(f)室溫下 DVD+RW 基板之表面形貌圖。

實驗中發現當溫度升至 180˚C 時，DVD+RW 之塑膠基板已呈現融熔之情況，原先之記錄溝軌已呈現模糊之表面形貌；實驗使用之探針在加熱後確認並無損壞。當樣品溫度降至室溫後，此樣品基板之表面形貌仍呈現融熔狀，無法探測到記錄溝軌。故推測當溫度高於 180˚C 後，會因基板之形變導致掃圖穩定性下降。但就分析 180˚C 之導電訊號中仍可得到記錄點與背景之電性趨於相同相態之結果。

3-6. 探討表面不連續缺陷對於導電式原子力顯微儀之影響

以下實驗為欲解釋導電式原子力顯微儀(C-AFM)實驗中觀測到的特定現象所作討論。在導電式原子力顯微儀中，表面形貌是否影響到導電性的量測為實驗所欲探討研究的方向；是以列舉三組實驗與一組驗證實驗，希望能更了解其現象之原因。

實驗一之樣品膜層結構為 ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(20nm)/ZnS-SiO_2(20nm)，以 DVD+RW 之基板包夾之；寫入儀器為雷射動態測試儀(DDU-1000)，功率為 20mW；寫入策略為 2T10T，2T=200nm，表示寫入 200nm 之記錄點與間隔(spacing)1000nm。旋轉方式為固定線速度(CLV)，速度為 3.5m/s。

圖 3-20(a)為導電式原子力顯微儀實驗結果；圖 3-20(b)為其對應之表面形貌圖。實驗發現導電訊號可以幫助判讀某些表面形貌無法判讀

出之記錄點，因為其形成之因為在相變化材料上用雷射所產生之熱使其改變相態所致。觀察圖 3-20(a)之記錄點可發現其中心為一白色斑點低導電性處，周圍是黑色導點性較佳之圓形區域包圍；其背景部分則為灰白色之低導電處，符合初鍍態之導電特性。該型態之記錄點形成之因推測和雷射寫入之特性為高斯分佈(Gaussian distribution)有關；如原子力顯微儀觀測之結果，中心高溫處會造成表面約數奈米之凹陷，但作用直徑約數微米的範圍皆會受到熱擴散的影響而改變相變化薄膜之相態。

圖 3-20(c)為經過擦拭功率 5mW 讀取過後之導電式原子力顯微儀結果；依實驗結果可知一般情形(適當功率範圍，約 7~11mW)所寫下之記錄點，經過擦拭功率 5mW 讀取後記錄點之導電性會和背景趨於相同。但就本實驗設計之高雷射功率寫入下，可觀測到記錄點中心會因高溫導致破壞相變化材料形成一凹陷破洞，造成不可回覆性的寫入；是以即使再經過擦拭後記錄點中心仍顯示低導電性之實驗結果。圖 3-20 下方則為量測中心凹陷處之表面形貌，可發現寫下記錄點處會造成約 10nm 凹陷，並以 3D-image 呈現溝軌之形貌改變。

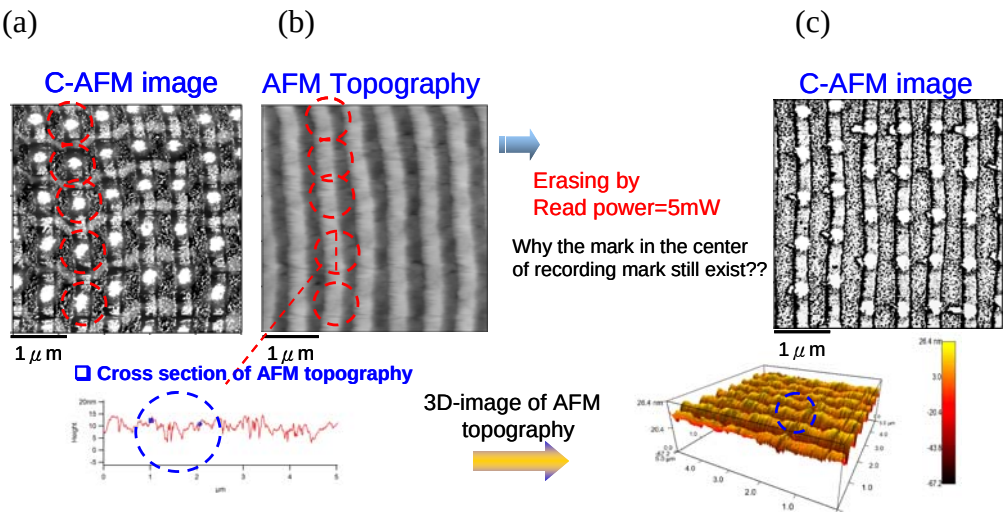


圖 3-20 結構為 ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(20nm)/ ZnS-SiO_2(20nm)以 DVD+RW 之基板包夾之；寫入功率為 20mW，寫入策略為 2T10T，2T=200nm，表示寫入 200nm 之記錄點與間隔(spacing)1000nm。旋轉方式為固定線速度(CLV)，速度為 3.5m/s。圖 3-20(c)為經過功率 5mW 擦拭後之導電式原子力顯微儀實驗結果。

第二組實驗樣品結構同第一組實驗，唯一改變的是寫入功率，由 20mW 改為 10mW。實驗目的在於了解造成記錄點中心導電性下降之原因為何，是否因表面形變造成的缺陷導致該區域電流量劇減而形成該現象。圖 3-21(a)為導電式原子力顯微儀之實驗結果，記錄點之導電特性與背景不同可清楚辨識；比對圖 3-20(b)之原子力顯微儀表面形貌，可發現不同於先前第一組實驗處，在於本實驗所寫下之記錄點並不會造成中心處有明顯凹陷的情況發生，而是僅有約數奈米(~3nm)之表面不平整(roughness)現象。而經過 5mW 功率擦拭過(圖 3-21-c)，可發現原先寫下之記錄點已完全無法辨識，導電特性和背景趨於相

同，也可視為初始化(initialized)的現象。

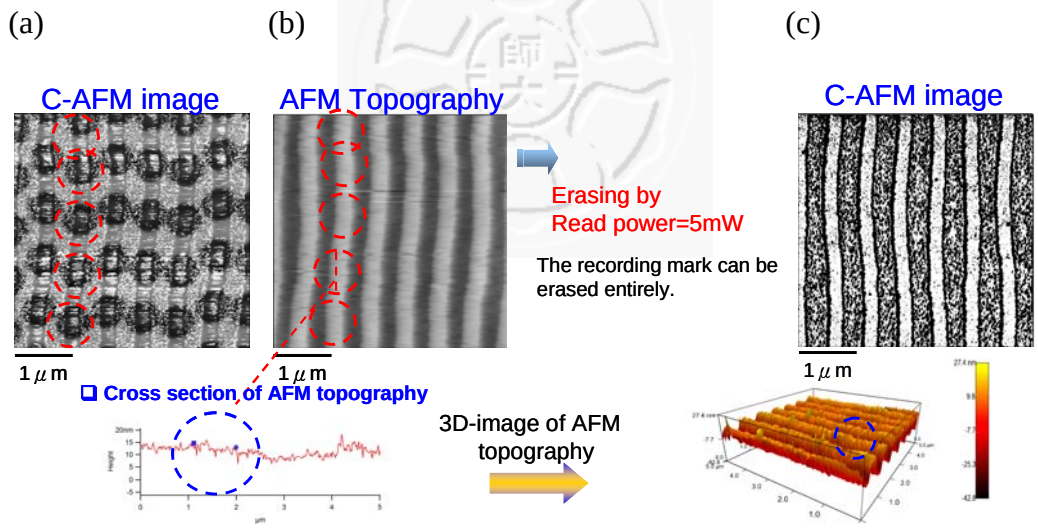


圖 3-21 樣品結構為 ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(20nm)/ ZnS-SiO_2(20nm)以 DVD+RW 之基板包夾之；寫入功率為 10mW，寫入策略為 2T10T，2T=200nm，表示寫入 200nm 之記錄點與間隔(spacing)1000nm。旋轉方式為固定線速度(CLV)，速度為 3.5m/s。圖 3-21(c)為經過功率 5mW 擦拭後之導電式原子力顯微儀實驗結果。

第三組實驗結構為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(50nm)，透過靜態測試儀寫入功率為 1.4~2.2mW，寫入時間為 500~1000ns。圖 3-22(a)~(c)依序為光學反射訊號，導電式原子力顯微儀及原子力顯微儀之實驗結果；觀察到結晶態之記錄點之導電性較背景初鍍態要低，不符合先前結晶態較非晶態導電性佳之實驗結果。但試比對表面形貌後可知，寫下之記錄點呈現數奈米的凹陷(~3nm)。是以初步假設造成該現象的原因為表面缺陷造成一不連續區域(discontinuity)，當探針掃描過該不連續區域時，因缺陷而造成通路電流的急速下降，因此

將結晶態記錄點判斷為較不導電之結果。另一假設為當雷射寫下記錄點時，由於高溫會造成表面形成氧化隔絕層，因此導致導電性的降低。

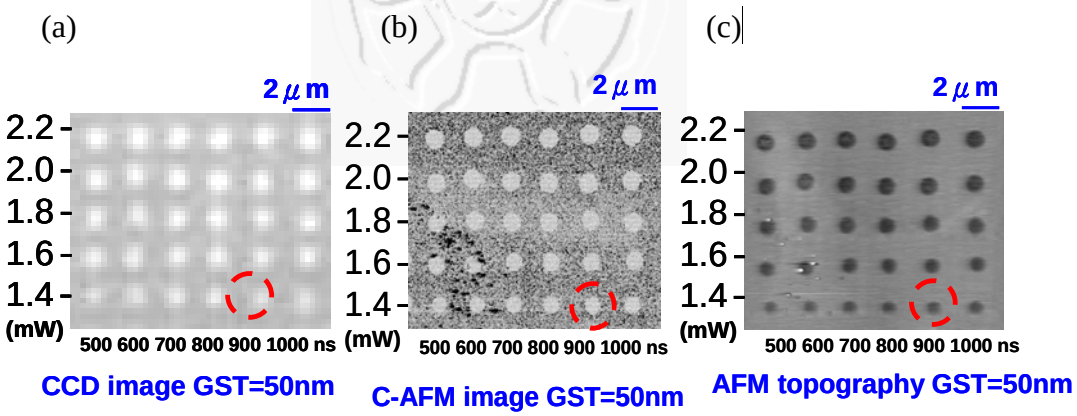


圖 3-22 樣品結構為 Si-substrate/ZnS-SiO_2(130nm)/$Ge_2Sb_2Te_5$(50nm)， 透過靜態測試儀寫入功率為 1.4~2.2mW，寫入時間為 500~1000ns。圖 3-22(a)為光學反射訊號實驗結果；圖 3-22(b)為導電式原子力顯微儀實驗結果；圖 3-22(c)為原子力顯微儀實驗結果。

針對造成導電性下降之原因是否為因雷射高溫寫入時表面氧化，實驗將透過歐傑電子能譜對結晶態之記錄點表面進行元素含量分析，了解氧的含量在寫下記錄點處與空白處之差別。歐傑電子為收集因為電子撞擊，而導致其二次電子散射之技術。由於特性為分析僅表面數奈米深度之原子成分，是以符合實驗所欲探求記錄點的表面特性；相對於掃描式電子顯微儀(SEM)聚焦深度約為 1μm 左右，對於分析僅厚 30nm 之薄膜不僅會打穿該膜層，且往往無法分析表面之組成元素。此外為了驗證歐傑電子元素能譜分析儀能分析出氧元素含量變化，另作了一組實驗於濺鍍薄膜時通以不同之氧氣進行混鍍，做為實驗之參考數據。

圖 3-23 為歐傑電子之表面形貌實驗結果；樣品基板為矽基板，依序鍍上 130nm 之 ZnS-SiO_2 介電保護層與 30nm 之 $Ge_2Sb_2Te_5$ 相變化膜層；製備之相變化薄膜通氣參數為 Ar:O_2=20:0 (sccm)。sccm 英文全名為 standard cubic centimeter per minute，是一種氣體流量單位，代表在標準狀態(溫度 273K，壓力 760 torr)下，每分鐘通過一立方公分的氣體流量。記錄點透過雷射靜態測試儀寫入功率為 1~6mW，寫入時間為 50~175ns。試就 SEM 表面形貌(圖 3-23-a)與原子力顯微儀之結果比較，同樣可發現記錄點呈現周圍凹陷，表面突起；記錄點直徑尺寸也同為 1.3μm 左右。

(a) (b)

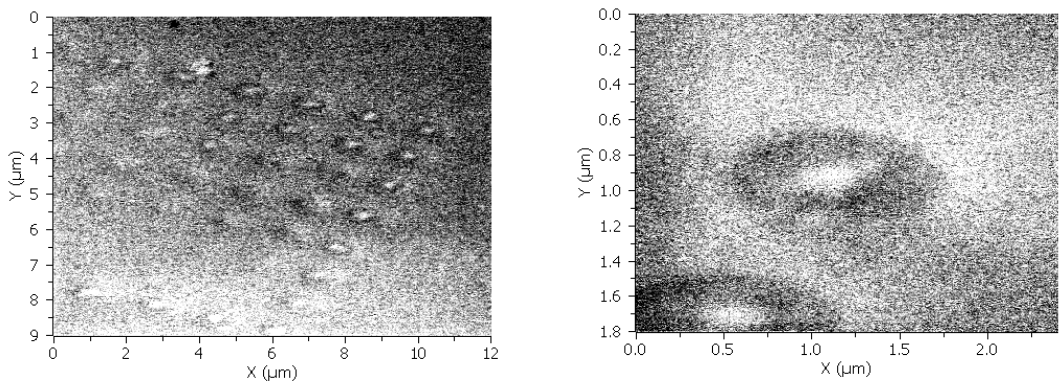


圖 3-23 以歐傑電子表面掃描結果；圖 3-23(a)掃描範圍 12μm*12μm，可見記錄點呈現中心突起周圍凹陷貌；圖 3-23(b)選取寫入功率 6mW，寫入時間 175ns 之記錄點局部放大，其表面形貌結果和原子力顯微儀符合，皆為呈現中心突起周圍凹陷；直徑大小皆為 1.3um 左右。

圖 3-24(a)為分析圖 3-23 樣品空白處(blank area)之能譜分析圖；也

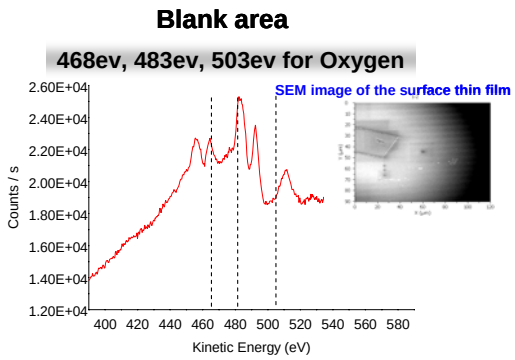
為分析相變化薄膜材料(GST)之元素能譜圖。分析能譜之背景知識為對於不同之元素，由於散射之殼層電子有不同之對應能階；且同一種元素也會有多段之對應能階譜線。就分析元素而言，氧氣之能譜波段為 468eV、483eV 與 503eV；元素 Ge 之能譜波段為 510eV 與 1147eV；Sb 之能譜波段為 454eV 與 462eV；Te 之能譜波段為 483eV 與 491eV。由於氧氣之能譜波段有部分波段會和元素 Sb 與 Te 重疊，是以主要以分析 503eV 之波段作為判斷有曲線波段推論。

圖 3-24(b)為分析圖 3-23(b)寫下記錄點處之能譜分析。就結果可知，對於薄膜無寫點空白處與寫下記錄點處並無法觀測到元素組成相對含量有變異；於先前討論中，結晶態之記錄點其導電性會較初鍍態(as-deposite)來得差，推測其因為：(一)、當雷射高溫寫入時，會造成表面之氧化效應，是以探針掃描過該表面氧化物時，造成導電性較低之結果。(二)、對於雷射寫下之區域，由於高溫會造成一形變缺陷區(defect)而導致電性不連續；當掃描過該缺陷時，會因為通路電流突然降低因導致系統判斷為較不導電區域。總而言之，由於導電式原子力顯微儀偵測的機制為對於探針施以一偏壓，藉以比較通路電流量之差異性繪製出導電訊圖。是以當目標區域出現一缺陷時，可能造成電流量下降的原因為該缺陷區域之不連續性，而非真正材料特性導電性不佳而導致電流量下降；是以在該缺陷區域時便不能單純以材料之特性

去分析所得結果。

此外為了確認歐傑電子能譜確實能夠分析出氧含量之變化，製作通以不同氬氧比之相變化薄膜，藉此分析測得實驗樣品之歐結能譜圖。結果如圖 3-25 所示：

(a)



(b)

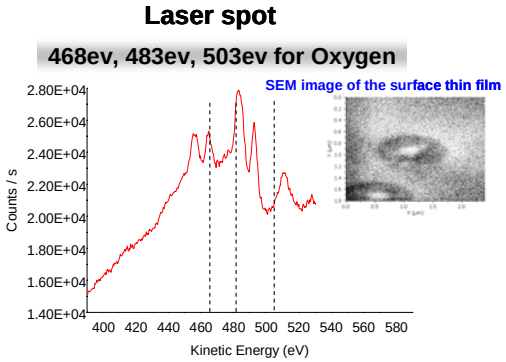


圖 3-24 歐傑能譜之分析比較圖，其氣體混鍍比為 Ar:O_2=20:0 (s.c.cm)；圖 3-24(a)為對於記錄膜層空白處(blank area)之歐傑能譜分析；圖 3-24(b)為對於寫下記錄點處之能譜分析，顯示氧氣所對應之波段。在空白處與寫下記錄點處比較，發現並無明顯之起伏；是以初步判斷並非形成大量氧化物而導致結晶態記錄點之導電性較周圍之初鍍態背景低。

圖 3-25(a)為濺鍍製作薄膜時混通以 Ar：O_2=20:10 (sccm) 之歐傑能譜實驗結果：比對 圖 3-24(a) 能譜圖，發現在 510eV 之波段出現局部上揚的情形；對於比較兩圖 468eV 與 483eV 之波段發現有些微位移(shift)之情形發生，應是由於該二次實驗並非同一次完成，是以對於樣品而言會有些微之參數變異，如鍍率、壓力溫度影響等。

比較圖 3-25(a)與圖 3-25(b)之能譜圖，清楚的發現在僅改變鍍膜通氧比時，對於 490eV 與 510eV 處會造成明顯波段的突起；在增加氧

氣通率的情況下，會讓該區段偵測到改變元素之相對含量。是以透過此驗證實驗可得知，對於僅改變氧氣通率之條件下，歐傑能譜之改變區段。至於實驗結果與文獻中氧氣的波段有些微差異之因，應是對於不同之歐傑機台，會有其所屬之對應參數，如歐傑電子腔之入散角度、周圍腔體之材質、所採用的能量分析器等，皆會造成實驗結果些微之差異。是以分析時儘以比對光譜圖之變化量來分析元素變化，而不是取元素對應能譜之絕對值來討論。

(a) (b)

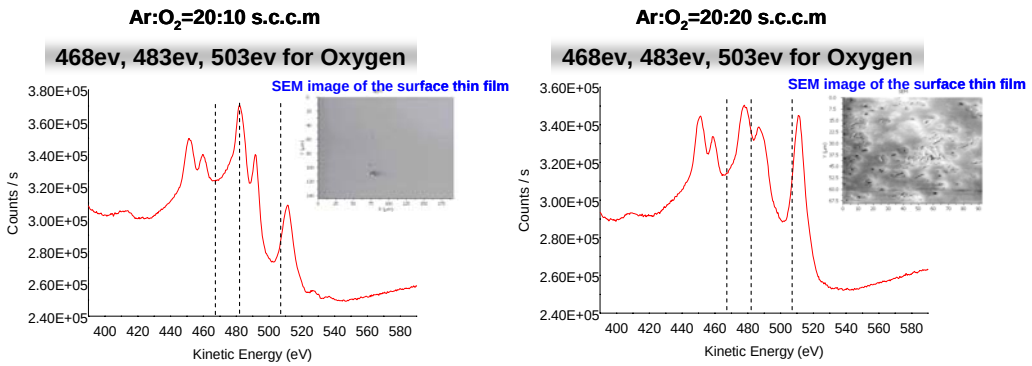


圖 3-25 歐傑能譜之分析比較；圖 3-25(a)為濺鍍薄膜時通以 $Ar:O_2$=20:10(sccm)之能譜分析結果；圖 3-25(b)濺鍍薄膜時通以 $Ar:O_2$=20:20 (sccm)之能譜分析結果；在氧氣對應之波段可觀測明顯的起伏現象。

討論之氧化議題透過上述兩點實驗結果：(一)、導電訊號之斷面和表面形貌之斷面吻合；(二)、歐傑能譜無法偵測到記錄點處有明顯氧元素之增加。推論造成結晶態記錄點之電性要較背景初鍍態差之原因為雷射寫下記錄點時造成一區域缺陷，是以電流量在該區域突然劇減而

導致。