

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

超高真空化學氣相沉積低溫新穎複晶矽薄膜電晶體之
製作與可靠度分析 - 子計畫二:退火製程對超高真
空化學氣相沈積法成長之複晶矽薄膜結構的影響與退
火複晶矽薄膜電晶體的製作(3/3)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2218 - E - 009 - 082

執行期間： 89年08月01日至90年07月31日

計畫主持人：馮明憲

執行單位：交通大學材料所

中 華 民 國 90 年 10 月 31 日

Characterization of excimer-laser-annealed polycrystalline silicon thin film transistor grown by ultrahigh-vacuum chemical vapor deposition

準分子雷射退火輔助超高真空化學氣相沉積矽薄膜電晶體特性

研究

陳盈佳(Ying-Chia Chen) 趙志偉(Chi-Wei Chao) 馮明憲(Ming-Shiann Feng)
胡國仁 (Gau-Ren Hu)許堯綸(Yao-Ren Xiu)
國立交通大學材料科學與工程研究所

(NSC-89-2218-E-009-082)

執行期限：89年09月1日至90年7月31日

主持人：馮明憲 交通大學材料所

計畫參與人員：陳盈佳 趙志偉 胡國仁 許堯綸

交通大學材料所

利用超高真空化學氣相沉積系統(Ultra High Vacuum Chemical Vapor deposition, UHVCVD)所沉積出的複晶矽薄膜再經由準分子雷射退火,經過退火處理之複晶矽薄膜應用於薄膜電晶體,由結果得知當雷射能量在 157.7 mJ/cm^2 以下時退火後的複晶矽晶粒會隨著雷射能量增加而晶粒尺寸變小。而當雷射能量在一臨界值(134.5 mJ/cm^2 附近)時,退火後的複晶矽晶粒最小。當雷射能量逐漸增加並且超過臨界能量,退火後的複晶矽晶粒開始有晶粒成長的現象。當雷射能量到達 184 mJ/cm^2 時能夠獲得最大的複晶矽晶粒但是表面的粗糙度也高於未退火前複晶矽薄膜。表面粗糙度增加的原因來自於特定融化成長程序而不是快速的氫氣釋放或雷射退火所造成的毛隙波(capillary wave mechanism)。利用雷射退火後的 UHVCVD 複晶薄膜來當作薄膜電晶體的主動層,所製作出的複晶矽薄膜電晶體其電子遷移率高達 $138 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、其次臨界斜率為 0.8 V/dec 、臨界電壓為 3.5 V 及開/關電流比約 10^6 。

關鍵詞：準分子雷射、非晶矽、退火、結晶化、複晶矽、超高真空化學氣相沉積。

一、前言

複晶矽薄膜電晶體(poly-Si TFTs)由於具有高移動率、自我對準(Self-alignment)、以及與 CMOS 製程相容等優點,因此可以將元件體積縮小、儲存電容減少、畫素(Pixel)精細度與開口率提高、並可將驅動電路直接製作在顯示器基板上,是 TFT LCD 產業發展的關鍵技術[1, 2]。許多製備複晶矽薄膜的方式已被提出[3-5],然而複晶矽薄膜電晶體特性受複晶矽的品質強烈影響,如何製備出高品質的複晶矽薄膜是薄膜電晶體發展的重要工作之一。

準分子雷射退火技術的熱預算(thermal budget)較低,退火所需時間短並且所製作出的複晶矽薄膜品質佳[6]。有以上的優點使得準分子雷射退火在低溫複晶矽製作技術中目前最具優勢。

複晶矽薄膜的品質(包括晶粒構造及表面平坦度)會決定複晶矽薄膜電晶體電性。根據 Asai 在文獻中[7]指出雷射退火處理後表面粗糙度會增加是由於複晶矽與非晶矽薄膜之間潛熱及熱傳導的差別。McCulloch 及 Brotherton [8]曾指出在雷射退火過程矽薄膜快速地将氫氣釋放及光學干涉缺陷也會造成雷射退火處理後

表面粗糙度的增加。除此之外，Fork[9]等人也提出毛隙波現象來解釋表面粗糙度的增加。

本文中，我們以準分子雷射將 UHVCVD 製備的複晶矽做退火處理，探討雷射退火對矽薄膜結構特性與粗糙度的影響，並且做成複晶矽薄膜電晶體測量其電性。

二、實驗步驟

本實驗使用 P-type、(100)面之矽晶片，首先以標準程序對晶片進行清洗，以濕式氧化法在洗淨的矽晶片上成長二氧化矽 500 nm 模擬非晶質玻璃基板，之後以 UHV-CVD 系統使用 SiH_4 為前驅物氣體在 550 °C 下沉積厚度 100 nm 的複晶矽薄膜，作為本實驗的原始材料；各組試樣於準分子雷射退火系統中，經抽真空後通入氮氣，在 800 mTorr 壓力下以不同雷射能量密度進行結晶化，本實驗使用的雷射為波長 248 nm 的 KrF 準分子雷射，工作點雷射束大小為 $1.8 \times 23.1 \text{ mm}^2$ ，95% 重疊，掃描頻率 20Hz。

經退火後獲得的複晶矽薄膜，以 X 光繞射儀用來分析結晶結構以及利用 AFM 來分析表面粗糙度，由於複晶矽的(111)面有最強的繞射強度，因此本實驗固定試樣膜厚，以(111)面的繞射峰強度作為結晶性的參考，探討不同退火參數對薄膜結晶結構的影響；此外也在相同的氧化層基材上利用 LPCVD (low temperature chemical vapor deposition) 沉積非晶矽薄膜來作為比較。

利用雷射退火後的 UHVCVD 複晶薄膜來當作薄膜電晶體的主動層，經由黃光微影製程定義出主動層後，利用 PECVD 長出約 100nm 的氧化矽當作介電層之後利用 LPCVD 長出約 300nm 的非晶矽當作閘極。閘極、源極以及汲極區域皆用離子佈值將濃度 5×10^{15} 的磷植入。之後以 600 °C 24 小時的爐管退火來活化植入的磷。

三、結果與討論

圖 1 所顯示 LPCVD 非晶矽薄膜及 UHVCVD 複晶矽薄膜的反射率(包含雷射退火前與雷射退火後)。由圖中可以看出 UHVCVD 的複晶矽薄膜多出兩根峰值訊號，其峰值位置分別在 $\sim 370\text{nm}$ 及 $\sim 260\text{nm}$ 處。這兩個峰值代表著結晶矽的非直接過渡(indirect transition)及直接過渡(direct transition)

兩根峰值。這兩根峰值的出現可以用來區別複晶矽與非晶矽薄膜。不同能量密度雷射退火後的 UHVCVD 複晶矽薄膜，其結晶結構以及粗糙度變化情形如圖 2 所示，複晶矽薄膜經不同能量密度雷射退火後，Si (111)峰值強度也隨之改變。發現 Si (111)峰值強度變化趨勢與粗糙度變化趨勢相同。但這變化趨勢卻與非晶矽晶不同雷射能量退火的變化趨勢不同。由早先的研究可得知[10-13] 非晶矽薄膜晶雷射退火所產生結晶化的複晶矽晶粒尺寸會隨著雷射能量增加而只有些許增加直到雷射能量到達一晶粒成長的臨界能量(E_{th})後複晶粒的尺寸迅速變大。當複晶矽尺寸隨著雷射能量增加而增加達到一個最大尺寸值後，當能量繼續增加則因為均勻成核的機制主導整個結晶過程使得晶粒尺寸變小且均勻分布。但在本實驗中臨界能量 E_{th} 卻是晶粒尺寸最小的地方如圖二所示。這是因為在這臨界能量的雷射退火下只有部分晶粒融化而未融化部分的晶粒則當作成核點使得晶粒尺寸細化。

圖 3 為複晶矽分別在退火前及經能量密度 $186\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的退火的 AFM 3D 圖，退火前的複晶矽薄膜表面呈現均勻的顆粒狀分布這顆粒經 TEM 分析直徑大約 80nm，然而經過退火後期表面出現較大的凹洞大約 200nm。我們可以推論這種大凹洞的產生是來自於當雷射照射到複晶矽薄膜產生融化的效應，而之後融化的複晶矽會從晶粒中央開始固化最後邊緣才開始固化。因為相對於非晶矽融化所需要的雷射能量複晶矽融化所需要的雷射能量較高。而且液態矽的密度高於固態矽以及未雷射退火前的矽薄膜，所以最先固化的區域會形成凹洞區而最後固化因為互相推擠而造成突出的顆粒。當雷射能量增加複晶矽表面凹洞面積也持續增加。圖四所示的是 UHVCVD 複晶矽薄膜經由雷射照射過後可以看出每個複晶矽顆粒的分布情形；並且與圖三(b)比對發覺一個凹洞並非為一顆晶粒而是同時包含數個晶粒。這與非晶矽薄膜雷射退火後的情形有所不同。[14]

SLG (super-lateral-growth)現象並未在經過雷射退火處理的 UHV-CVD 複晶矽薄膜中發現。在本研究中以最大晶粒組成的複晶矽薄膜其表面狀態與非晶矽薄膜雷射退火後的情形有所不同。因為最大晶粒組成的複晶矽薄膜是以最大晶粒周圍佈滿細小的晶粒，而

且退火後的複晶矽晶粒都小於未退火前的複晶矽晶粒。除此之外 UHV-CVD 複晶矽薄膜退火後的表面狀態與 LPCVD 非晶矽薄膜退火後的表面狀態不同。在 LPCVD 非晶矽薄膜退火後的表面狀態主要是受快速氫原子釋放以及毛隙波機制所影響。而在 UHV-CVD 複晶矽薄膜退火後的表面狀態主要是受之前所提的 b 融化過程所影響。此融化過程即是會在晶界範圍內的非晶矽組織先融化之後融化區域會逐漸向內延伸。而凹洞的產生是因為當充足融化狀態下先固化的區域。

圖五所示是複晶矽薄膜電晶體的 I_d-V_g 特性圖，圖上共有四種不同的複晶矽薄膜作為電晶體的主動層分別為 UHV-CVD 複晶矽薄膜經 $184\text{mJ}/\text{cm}^2$ 雷射退火 UHV-CVD 複晶矽薄膜 LPCVD 非晶矽薄膜經 600 24 小時爐管退火(SPC 法)以及 LPCVD 非晶矽薄膜經 $195\text{mJ}/\text{cm}^2$ 雷射退火。其中 UHV-CVD 複晶矽薄膜經 $184\text{mJ}/\text{cm}^2$ 雷射退火所製作出電晶體特性如下電子遷移率高達 $138\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、其次臨界斜率為 $0.8\text{V}/\text{dec}$ 、臨界電壓為 3.5V 及開/關電流比約 10^6 。電性已經能夠符合一般的要求。

四、結 論

本文對 UHV-CVD 複晶矽薄膜進行準分子雷射退火結晶化，探討雷射退火製程對薄膜結構特性及表面狀態的影響，發現雷射退火對於複晶矽薄膜所造成的結晶化效果與對於非晶矽薄膜所造成的結晶化效果不同，針對此一現象提出了一個複晶矽融化機制。並且由結構特性分析找出最佳的雷射退火參數，利用此參數製作出一複晶矽薄膜電晶體，並且量測其電性，已經能夠符合一般的要求。

五、誌謝

本計劃感謝國科會計劃(NSC-89-2218-E-009-082)經費支持，國家毫微米實驗室及交大半導體中心設備提供。

六、參考資料

1. Tadashi Serikawa, Seiiti Shirai, Akio Okamoto, and Shiro Suyama, IEEE Trans. Electron Devices **36**, 1929 (1989).
2. Jun-Ichi Ohwada, Masaru Takabatake, Yoshimasa A.

3. Ono, Akio Mimura, Kikuo Ono, and Nobutake Konisji, IEEE Trans. Electron Devices **36**, 1923 (1989).
4. Sheau Chen, and I.C. Hsieh, Solid State Technology, p. 113-120, Jan. 1996.
5. S. D. Brotherton, N. D. Young, M. J. Edwards, A. Gill, M. J. Trainor, J. R. Ayres, and I. R. Clarence, "Low Temperature Furnace Process Poly-Si TFT AMLCDs", Conference Record of The 1994 International Display Research Conference and International Workshops on Active-matrix LCDs & Display Materials, p.130-137, Oct.1994.
6. A. Mimura, Y. Mikami, K. Kuwabara, Y. Mori, Y. Nagae, and E. Kaneko, Conference Record of the 1994 International Display Research Conference and International Workshops on Active-matrix LCDs & Display Materials, p.126-129, Oct.1994.
7. Kenji Sera, Hiroshi Tanabe, Hiroshi Okumura, Katsuhisa Yuda, and Fujio Okumura, AM-LCD '96, p.85-88, 1996.
8. I. Asai, N. Kato, M. Fuse, and T. Hamano, Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, 474, 1993.
9. D.J. McCulloch and S. D. Brotherton, Appl. Phys. Lett., 2060, 1995.
10. D. K. Fork, G. B. Anderson, J. B. Boyce, R. I. Johnson, and P. Mei, Appl. Phys. Lett., 2138,1996.
11. P. Baeri and E. Rimini, Mater. Chem. Phys., 169,1996.
12. G. K. Giust and T. W. Sigmon, Appl. Phys. Lett. **70**, p. 767, 1997.
13. M. Stehle, J. Nom-Cryst. Solids ,218, 1997.
14. J. S. Im and H. J. Kim, Appl. Phys. Lett., 767, 1997.
15. A. Marmorsston, A. T. Voutsas, and R. Solanki, J. Appl. Phys., 4303, 1997.

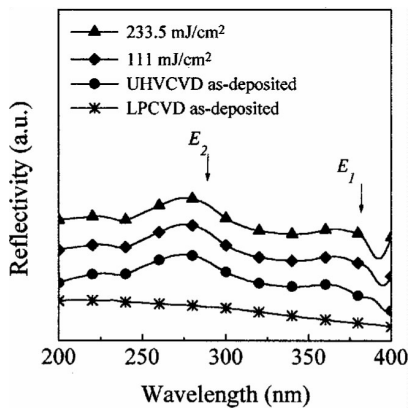
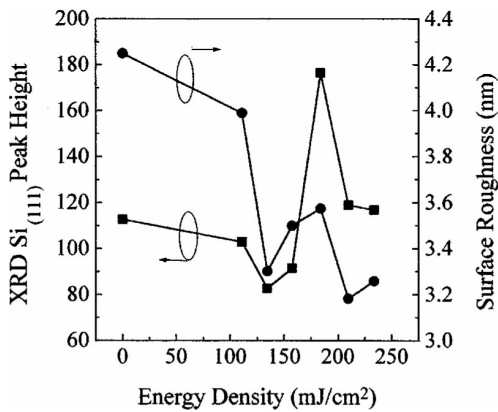
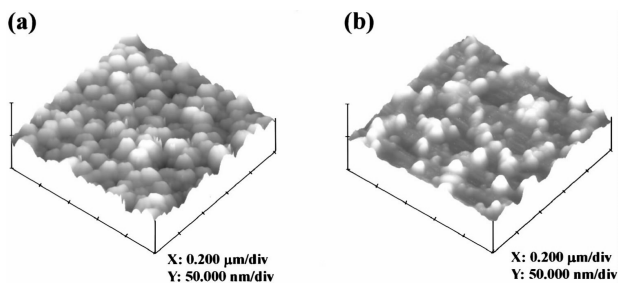


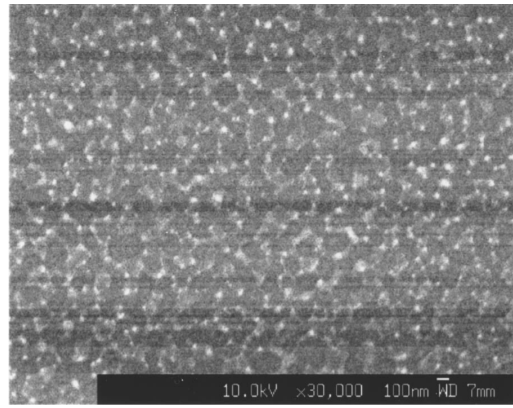
圖 1 所顯示 LPCVD 非晶矽薄膜及 UHV-CVD 複晶矽薄膜的反射率(包含雷射退火前與雷射退火後)



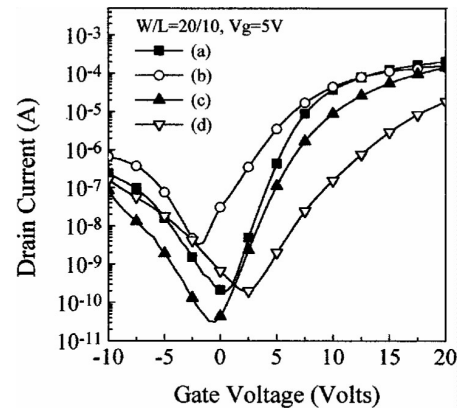
圖二 XRD Si(111)峰值強度與表面粗糙度隨雷射能量變化情形



圖三(a)所示 UHV-CVD 複晶矽薄膜未退火前 AFM 圖
(b)所示 UHV-CVD 複晶矽薄膜經雷射退火 (184mJ/cm²)後 AFM 圖



圖四 UHV-CVD 複晶矽薄膜經由雷射照射過後 SEM 俯視圖



圖五 四種薄膜所製做出薄膜電晶體的 I_d - V_g 圖

計畫成果自評:

1. 已經完成計畫所設定的目標-退火製程對超高真空化學氣相沈積法成長之複晶矽薄膜結構的影響與退火複晶矽薄膜電晶體的製作,發現退火製程對於複晶矽效果不同於退火製程對於非晶矽的效果。並且提出融化機制。
2. 利用 XRD 結晶構造與 AFM 表面粗糙度分析找出最佳雷射退火製程並應用於複晶矽薄膜電晶體製作,其電性已能夠達到一般標準的要求。