製作高品質多品砂薄膜電品體之先進雷射結晶技術發展與應用

Advanced laser crystallization technology for high-quality polycrystalline silicon thin-film transistors application

郭啟全

明志科技大學 機械工程暨 機電工程研究所 助理教授

關鍵詞

- ·多晶砂薄膜 polycrystalline silicon
- 薄膜電晶體 thin-film transistors
- 先進雷射結晶技術

Advanced laser crystallization technology

前言

隨著顯示器技術的不斷發展,輕、薄、短、小 且具備高畫質、高解析度以及低製作成本之顯示器 技術已成為現階段發展的主流。在各項顯示器技術 中,薄膜電晶體液晶顯示器(Thin-Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD)歷經多年的研發及 製造經驗,近年來已成為顯示器中的主力產品。在 非晶矽(amorphous silicon, a-Si)薄膜電晶體液晶顯示 器技術的日趨成熟下,平面顯示器業者為了保持競 爭優勢,已經逐漸著墨於次世代(next generation)顯示 器技術的研發,而在各項進行的研發技術當中,低 溫多晶矽薄膜電晶體(Low Temperature Polycrystalline Silicon Thin Film Transistor, LTPS TFT)的製程開發便

是其中一項令人矚目的焦點。由於多晶矽薄膜電晶 體相較於非晶矽薄膜電晶體具有較高的電子遷移 率(electron mobility) [1],可以解決系統整合性(System On Panel, SOP)、高可靠度、高解析度等諸多優點, 使得它在主動式有機發光二極體(Active Matrix Organic Light Emitting Diode, AMOLED) [2]顯示器中 的應用十分廣泛,因為低溫多晶矽薄膜電晶體的高 電流特性正好符合有機發光二極體嚴苛要求,低操 作電壓與高密度的驅動架構,使得主動式有機發光 二極體的壽命較長。若搭配可以製作出智慧型面板 之撓曲塑膠基板(flexible plastic substrate)技術[3],未 來將更具備競爭優勢。所以低溫多晶砂技術於次世 代顯示器研發當中,具有舉足輕重的地位,目前著 墨於低溫多晶矽面板主要生產大廠有國內統寶光 電(Toppoly Optoelectronics Corporation)、東芝、三洋、 夏普、日立、富士通、三菱電機與精工愛普生(Seiko Epson)等多家國際廠商。

於各項低溫多晶矽薄膜電晶體的關鍵製程 中,非晶矽膜再結晶化步驟,可稱為其中最關鍵的 技術(core technology),因為薄膜電晶體的載子移動 率與漏電流的高低乃至於均匀性的好壞與此步驟 息息相關。製作多晶矽膜的技術涵蓋:準分子雷射結晶法、連續雷射結晶法、飛秒雷射結晶法、金屬 誘發結晶法、連續雷射結晶法、直接沉積多晶矽以 及固相結晶法...等等。其中又以先進雷射結晶技術 (advanced laser crystallization technology)所製作出低溫 多晶矽薄膜電晶體具有最佳的性質。因此,本文針 對先進雷射結晶技術(飛秒雷射、連續雷射與準分子 雷射)製作多晶矽膜的發展與應用進行深入淺出的 介紹。

飛秒雷射製作多晶矽膜技術

運用脈衝雷射(pulsed laser)於各式各樣基板製作 多晶矽膜,並運用於主動式有機發光二極體顯示器 以及高效率太陽能電池(high efficiency solar cells)之 應用是具備潛力[4-9]。典型的奈秒(nanosecond)或微 秒(microsecond)脈衝雷射運用於多晶矽膜製作,已有 諸多研究團體於過去十年進行廣泛以及深入的研 究[10-13]。然而,超短脈衝雷射(ultra shot pulse laser) 照射薄膜交互之非線性光能量吸收(nonlinear light energy absorption)以及非平衡之熱力學(nonequilibrium thermodynamics) [14-16]等獨特性質,可以使超短脈衝 雷射與薄膜反應提供精確(precise)以及低門檻值(low threshold)剝落(ablation)能量密度[17-19]。

Nayak 與 Gupta[4]運用超短脈衝之飛秒雷射 (femtosecond laser)於非晶矽膜上製作尖端物 (spikes),這一些尖端物可以在可見光以及遠紅外光 譜間,有效率捕捉光線(strong light trapping),進而應 用於高效率薄膜太陽能電池(high efficiency thin film solar cells)、大面積遠紅外線偵測器(large area infrared detectors)以及薄膜先進光電子設備(novel optoelectronic devices)上。圖一為沈積於玻璃基板上 之非晶矽膜)未經以及經過超短脈衝飛秒雷射照射 後之電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM) 照片。由圖可以明顯觀察出,非晶矽膜經過超短脈 衝飛秒雷射照射後,表面結構(microstructure)明顯產 生變化,並且呈現諸多尖端物。此外,試片表面顏 色,由原本的亮紅灰色(shiny reddish gray)轉變成暗黑 色(dark),此一結果與 Her 等人[20]於運用雷射照射 單晶之矽晶圓(crystalline bulk silicon wafer)之結果相 似。圖二為沈積於玻璃基板上之非晶矽膜未經以及 經過超短脈衝飛秒雷射照射後之原子力顯微鏡 (Atomic Force Microscope, AFM)照片。由圖可以明顯 觀察出,尖端物高度約為 300 nm,尖端物間距(pitch) 約為1 μm。於實驗中發現,尖端物的高度將隨著超 短脈衝飛秒雷射之能量密度的增加而增高。當非晶 矽膜經過飛秒雷射能量密度 0.3 J/cm²照射後,尖端



圖一 沈積於玻璃基板上之非晶矽膜(a)未經以及(b)經 過超短脈衝飛秒雷射照射後之電子顯微鏡照片[4]





圖二 沈積於玻璃基板上之非晶矽膜:(a)未經以及(b)經 過超短脈衝飛秒雷射照射後之原子力顯微鏡照片 [4]

射能量密度 0.5 J/cm²照射後,尖端物的平均高度約 為 350 nm;當非晶矽膜經過飛秒雷射能量密度 0.5 J/cm²照射後,試片表面將變得非常粗糙,並且造成 部份矽膜產生剝落(ablation)。圖三 b 為經過超短脈 衝飛秒雷射照射後之 X 光電子繞射圖案,其中插圖 (inset)為圖二 b 之波峰放大圖。由圖中可以發現,於 角度 2O 30°與 56°處,明顯有波峰產生,這一些波 峰於圖三 a 未經過超短脈衝飛秒雷射照射後之 X 光 電子繞射圖形是無法發現,此研究所使用之 X 光波 長為 0.154 nm,波峰中心位置位於(111)與(311),其 中波峰中心位置(111)具有最小表面能量(least surface energy) [21-22]。所製作出多晶矽膜之平均晶粒尺 寸,可運用 Scherrer [23]公式來計算,經過計算後, 多晶矽之平均晶粒尺寸約為 85 nm。此外,於運用 奈秒脈衝雷射所製作出多晶矽膜,波峰中心位置位

更完整的內容 請參考【機械工業雜誌】322期・99年1月號 每期220元・一年12期2200元 劃撥帳號:07188562工業技術研究院機械所 訂書專線:03-591-9342 傳真訂購:03-582-2011