不同 He-Ne 雷射檢測光點尺寸對於矽膜融化時間之研究與分析

郭啟全葉文昌鄭正元國立台灣科技大學 機械系國立台灣科技大學 電子系國立台灣科技大學 機械系明志科技大學 機械系yeh@et.ntust.edu.twjeng @mail.ntust.mit.edu.twjacksonk@mail.mit.edu.tw

摘要

本研究運用不同尺寸之pinhole裝置於He-Ne檢測光源前面來研究光點大小與矽膜融化時間關係。研究結果發現, ψ0.3 mm為pinhole最佳孔徑尺寸;對於矽膜厚度90 nm之試片,於不同pinhole孔徑尺寸條件下所檢測出矽膜產生剝落能量值均為(Eab>550 mJ/cm²),而且最長之矽膜融化時間均約350 ns。此外,可藉由矽膜融化時間與準分子雷射能量密度關係圖之曲線斜率的變化,進而判斷出矽膜融 化深度與再結晶機制之差異性。

關鍵字:線上光學檢測系統、準分子雷射退火、爆炸結晶、矽膜再結晶特性

1. 前言

優良的低溫多晶矽薄膜電晶體(low temperature polycrystalline silicon thin film transistors, LTPS TFTs),在高解析度液晶顯示器(High Definition Liquid Crystal Display, HD LCD)及有機發光 顯示器(Organic light-emitting diode,OLED)領域上具有相當的應用。在玻璃基板上製作高品質的 低溫多晶矽薄膜(p-Si),由於受到玻璃基板融點限制,通常均使用低溫製程之準分子雷射退火技 術[1]來製作低溫多晶矽薄膜。由於準分子雷射退火後多晶矽之晶粒尺寸大小與晶粒邊界將影響 低溫多晶矽薄膜電晶體之電性特性[2],因為多晶矽之晶粒尺寸愈大,晶粒邊界相對地就減少, 所以載子於低溫多晶矽薄膜電晶體內之移動率速度就快,因此性能就優越。

多晶矽膜之晶粒尺寸大小與矽膜受到準分子雷射照射之融化時間(melt duration)息息相關。 因此如何於準分子雷射退火矽膜期間(25ns),精準的量測矽膜融化時間,即變成一個製作性能 優良低溫多晶矽薄膜電晶體之重要研究議題,然而 He-Ne 檢測光源之光點大小與矽膜融化時間 關係至今仍無文獻著墨,因此本研究運用不同 pinhole 尺寸裝置於光學檢測系統[3-22]之 He-Ne 雷射檢測光源前面,來研究光點大小與矽膜融化時間與矽膜相變化之準分子雷射能量的關係。

2. 實驗程序

本研究之試片結構,如圖1所示,試片採用日本電氣硝子(NEG, Nippon Electronic Glass) NEG OA10 無鹼玻璃為基板,厚度為0.7mm,並運用電漿輔助化學氣相沉積(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD),首先沉積300nm厚之SiO2膜,接著再沉積90nm厚之非 晶矽膜(a-Si)膜。由於運用PECVD製作之矽膜內含約8~10%氫含量,如未去氫(dehydrogenation) 即進行準分子雷射退火,則非晶矽膜瞬間吸收龐大準分子雷射能量,於準分子雷射退火的區域 將有氫爆現象發生,並且使得所製作之多晶矽膜具有嚴重之表面出粗糙度,因此本研究運用高 溫氧化爐以550℃通氫氣持續2小時,進行矽膜去氫過程,使矽膜之氫含量從8~10%減低至約 1~3%,並於準分子雷射退火非晶矽膜前運用稀釋之氫氟酸(HF)去除氧化膜。如圖2所示為矽膜 融化時間之光學檢測示意圖,本研究運用德國LAMBDA PHYSIK 公司所發展的 COMPex 102 工業用 XeF (波長351nm、脈衝持續時間25ns、脈衝重複率1Hz)準分子雷射進行非晶矽膜之再 結晶,於準分子雷射光路中運用4mm×15mm之遮罩(slit)來增加準分子雷射光束之能量均勻度, 而避免使用之昂貴之光束均勻器(beam homogenizer),並於每次使用準分子雷射退火非晶矽膜之 前運用功率計(Power meter)來校正 XeF 之準分子雷射之輸出能量。如圖3所示為計算準分子雷 射能量之示意圖,本研究藉由精密移動平台調整平凸透鏡(透鏡焦距 f=100mm, UV-fused silica) 與試片距離,得到所需之準分子雷射退火能量密度 E_L,如(1)式所示,其中d為平凸透鏡至試片 距離、E₀為剛輸出尚未經過遮罩之 XeF 準分子雷射能量密度:

 $\mathbf{E}_{\mathrm{L}} = \left(\frac{f}{\left(d-f\right)}\right) E_{0} - \dots + (1)$

當準分子雷射經由閘門開啟輸出後至分光鏡(beam splitter),10%準分子雷射光穿透分光鏡並提 供光偵測器(photodiode, PD)之觸發作用,使得示波器紀錄矽膜於光學檢測相變化之量測時間起 始點,90%準分子雷射光經過平凸透鏡聚焦於非晶矽薄膜表面處,調整不同之準分子雷射能量 密度進行矽膜退火同時,運用 He-Ne 雷射(10mW)為檢測光源,He-Ne 雷射與試片夾角為45°, 搭配反射以及穿透之光偵測器以及數位示波器(頻寬為500MHz,取樣率為2GS/sec)進行矽膜融 化時間檢測。為了分析 He-Ne 檢測光源之光點大小與矽膜融化時間關係,本研究運用不同尺寸 之 pinhole 裝置於 He-Ne 檢測光源前面來研究光點大小與矽膜融化時間關係,如圖4所示為 不同孔徑之 pinhole(ψ0.3mm、ψ0.4mm、ψ0.5mm 以及 0.3mm×0.6mm),如圖5所示為He-Ne 雷 射檢測光點與準分子雷射退火區域之關係圖,由圖可以觀察出,He-Ne 雷射之檢測光點可以完 全落於矽膜全部融化區域內(complete melting region),因此本光學檢測系統可以精確量測到矽膜 融化時間與再結晶特性。

Excimer laser				
TTT	TT	L	L	L
a-Si				
SiO ₂				
	Glass			

圖1本研究之試片結構



圖 2 矽膜融化時間之光學檢測示意圖



圖 3 計算準分子 雷射能量之示意圖





圖 5 He-Ne 雷射檢測光點與準分子雷射退火區域之關係圖

3. 結果與討論

經過準分子雷射再結晶後之多晶矽膜,由目視可以觀察出其顏色為淡褐色(yellowish brown) 比非晶矽膜之黑褐色(dark brown)顏色較透明,此結果與運用光學檢技術於準分子雷射退火矽膜 再結晶特性之反射率與穿透率變化波形結果吻合,因為當矽膜經過準分子雷射再結晶變成多晶 矽膜後其反射率會低於非晶矽膜,主要原因在於多晶矽膜之矽原子排列較非晶矽膜規則,因此 多晶矽薄膜比非晶矽薄膜具有較高之穿透率,如圖6所示為非晶矽膜與多晶矽膜之反射率與穿透 率變化,其中FSR代表frontside surface reflectivity、BSR代表backside surface reflectivity、FST代 表frontside surface transmissivity。



圖 6 非晶矽膜與多晶矽膜之反射率與穿透率變化

如圖 7 所示為不同孔徑之 pinhole 於不同準分子雷射能量密度照射矽膜下所量測之矽膜融 化時間。由圖可以觀察出,對於具有 90 nm 厚之 a-Si 膜試片,所檢測出矽膜融化時間,整體評 估之下 pinhole ϕ 0.5 mm>pinhole ϕ 0.4 mm>pinhole ϕ 0.3 mm, 但是對於 pinhole 0.3 mm×0.6 mm 其矽膜融化時間於準分子雷射能量密度 $100 \text{mJ/cm}^2 \sim 300 \text{ mJ/cm}^2$ 大於 pinhole $\phi 0.5 \text{ mm}$,於準分 子雷射能量密度 350 mJ/cm²~500 mJ/cm²小於 pinhole ϕ 0.5mm。此外,對於不同孔徑之 pinhole 所檢測出矽膜產生剝落能量(Eab)均為>550 mJ/cm²,而且最長之矽膜融化時間均約 350 ns。如圖 8所示為矽膜產生剝落之融化時間。由圖可以觀察出,當矽膜受到高於 Eab 能量之準分子雷射照 射後(例如:E> 600 mJ/cm²),非晶矽膜會經過加熱,產生融化(液相持續時間約 10ns)後,立即產 生蒸發(evaporation)並從玻璃基板剝落(ablation)。根據以上結果推論,運用不同尺寸之 pinhole 對於檢測最長之矽膜融化時間、判斷矽膜再結晶特性以及判斷矽膜產生剝落能量不具影響性, 因為本研究所採用之 He-Ne 雷射檢測光點均可以完全落於矽膜全部融化區域內;此外 He-Ne 雷 射之輸出光強大小(最大值為10mW)將會影響光偵測器所偵測到之He-Ne 雷射光訊號強度,一 但 He-Ne 雷射之輸出光強變弱,示波器所擷取之 FSR、FST 與 BSR 波形 Gain 就變小,此結果 對於分析矽膜融化時間與判斷矽膜再結晶特性將影響其準確性,在最大 10mW 之 He-Ne 雷射輸 出光強條件下,當 pinhole 孔徑尺寸越小時,光偵測器所偵測到之 He-Ne 雷射光強就越小,因 此 pinhole Ø 小於 0.3mm 不適合用於本光學檢測系統中,基於以上分析以及在檢測矽膜融化時 間與判斷矽膜再結晶特性之準確性條件下,本研究建議以 ϕ 0.3mm 為最佳 pinhole 孔徑尺寸。



Time (ns)

圖 8 矽膜產生剝落之融化時間

如圖9所示為運用 pinhole ϕ 0.3 mm 針對矽膜厚度 90 nm 試片所檢測出矽膜融化時間與準 分子雷射能量關係。由圖可以明顯觀察出,當準分子雷射能量密度大於 350 mJ/cm²時,其矽膜 液相持續時間急遽增大,而且矽膜融化時間曲線之斜率約提升 2 倍大。產生融化時間急遽增加 主要原因在於當準分子雷射能量超過矽膜近乎全融時(Excimer laser fluence of super lateral growth, E_{SLG}),由於矽膜於此階段能量區域內之矽膜融化深度已達到整個矽膜厚度而且其矽膜再 結晶機制已與矽膜部分融化區域(partial melting regime)之再結晶機制有所差異[23,24]。因此,經 由矽膜融化時間與準分子雷射能量密度關係圖之融化時間以及曲線斜率之變化,進而可以推論 出矽膜融化深度與其再結晶特性。



圖9 矽膜融化時間與準分子雷射能量關係

4. 結論

本研究運用不同孔徑尺寸之 pinhole 裝置於 He-Ne 檢測光源前面來研究光點大小與矽膜再結 晶特性與融化時間關係。研究結果發現,對於矽膜厚度 90 nm 之試片,於不同孔徑尺寸之 pinhole 條件下所檢測出矽膜產生剝落能量與最長之矽膜融化時間均一致,但是基於檢測矽膜融化時間 與判斷矽膜再結晶特性之準確性條件下,本研究建議以 ϕ 0.3 nm 為最佳 pinhole 孔徑尺寸。此 外,可藉由矽膜融化時間與準分子雷射能量密度關係圖之曲線斜率的變化,進而推論出矽膜融 化深度與其再結晶特性。

五.誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會計畫 NSC 93-2218-E-011-002、NSC 93-2218-E-011-003 之 經費補助,特此感謝。

參考文獻

- G. Ivlev, E. Gatskevich, V. Chab, J. Stuchlik, V. Vorlicek, and J. Kocka, Appl. Phys. Lett. 75 (1999) 498.
- [2] Levinson J, Shepherd F R, Scanlon P J, Westwood W D, Este G and Rider M J. Appl. Phys. 53 (1982)1193.
- [3] Chil-Chyuan Kuo, Wen-Chang Yeh, Chia-Bin Chen, Jeng-Ywan Jeng," Nanosecond Time Resolution In-situ Optical Reflection and Transmission Measurements during XeF Excimer Laser Interaction with Amorphous Silicon Thin Films ", Material Science Forum Vols. 505,337 (2006).
- [4] Chil-Chyuan Kuo, Wen-Chang Yeh, Chia-Bin Chen, Jeng-Ywan Jeng," Evidence of explosive crystallization during excimer laser crystallization by time-resolved optical diagnostic measurement using He-Ne probe laser ", The twelfth international workshop on Active-Matrix Liquid-Crystal Display(AMLCD 2005), July 6-8,2005 Kanazawa Bunka Hall, Kanazawa, Japan,

July 6 to 8, (2005).

- [5] Chil-Chyuan Kuo, Wen-chang Yeh, Chia-Bin Chen, Jeng-Ywan Jeng, "Characteristic Analysis of Low Temperature Polycrystalline Silicon Thin Films Prepared by XeF Excimer Laser Annealing", Mingchi University of Technology Journal, Volume 37, Number2, pp. 17-23, January 2006.
- [6] Chil-Chyuan Kuo, Wen-chang Yeh, Chia-Bin Chen, Jeng-Ywan Jeng, "Observation of Crystallization Phenomena during Excimer Laser Annealing using in situ Optical Reflectivity and Transmissivity Measurement", Mingchi University of Technology Journal (Accepted).
- [7] Chil-Chyuan Kuo, Wen-chang Yeh, Chia-Bin Chen, Jeng-Ywan Jeng," Nanosecond Time Resolution In-situ Optical Reflection and Transmission Measurements during XeF Excimer Laser Interaction with Amorphous Silicon Thin Films ",Progress on Advanced Manufacture for Micro/Nano Technology 2005 pp.337~342 , 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Manufacture , November 28-Decmber 02 ,Taipei, R.O.C. (2005).
- [8] Chil-Chyuan Kuo, Wen-chang Yeh, Chia-Bin Chen, Jeng-Ywan Jeng.," Monitoring the explosive crystallization phenomenon of silicon thin films during short pulse duration XeF excimer laser annealing using real-time optical diagnostic measurements," Solid thin films. (Under revision)
- [9] Chil-Chyuan Kuo, Wen-chang Yeh, Ji-Feng Lee ,Jeng-Ywan Jeng , "Temperature Dependence of Melt Duration of Silicon Thin Films during XeF Excimer Laser Crystallization", Mingchi University of Technology Journal, Volume 37, Number2, pp.17-23, July 2007. (Submitted)
- [10] Chil-Chyuan Kuo, Wen-chang Yeh, Jeng-Ywan Jeng, "Characterization of Polycrystalline Si films Produced by both Front Excimer Laser Annealing and Back Excimer Laser Annealing", Mingchi University of Technology Journal, Volume 37,Number2, pp.17-23, January 2007. (Submitted)
- [11] 郭啟全、葉文昌、陳佳斌、鄭正元,"運用He-Ne雷射檢測低溫多晶矽膜之再結晶特性之研究",中國機械工程學會第二十二屆全國學術研討會,國立中央大學,中華民國九十四年 十一月二十五~二十六日(2005)。
- [12] 郭啟全、鄭正元,"簡介準分子雷射製作大晶粒低溫多晶矽薄膜技術",MM機械技術雜誌, 中華民國九十三年四月,pp.130~pp.143。
- [13] 郭啟全、鄭正元,"低溫多晶矽製程之準分子雷射硬體與檢測技術介紹",MM機械技術雜誌,中華民國九十三年十月,pp.136~pp.148。
- [14] 郭啟全、鄭正元、葉文昌、陳佳斌,"即時線上光學檢測技術於低溫多晶矽膜之再結晶特 性研究",2005台灣光電科技研討會,國立成功大學,中華民國九十四年十二月十六~十七 日(2005)。
- [15] 郭啟全、葉文昌、陳佳斌、鄭正元,"矽膜相變化線上光學檢測技術",2005精密機械與製造技術研討會,永達技術學院,中華民國九十四年五月二十~二十二日(2005)。
- [16] 郭啟全、鄭正元,"非晶矽膜再結晶特性之線上光學檢測技術與表面形貌研究與分析",電子月刊,中華民國九十四年六月,pp.216~pp.22。
- [17] 郭啟全、陳佳斌、鄭正元、林岳進,"準分子雷射退火線上矽膜品質檢測技術與結晶模擬

器製作",第四屆台塑集團應用工程技術研討會,中華民國九十四年五月二十七日(2005)。

- [18] 郭啟全、葉文昌、陳佳斌、鄭正元,"不同吸收係數之矽膜結晶機制即時線上光學診斷技術",第四屆台塑集團應用工程技術研討會,中華民國九十四年五月二十七日(2005)。
- [19] 郭啟全、鄭正元、葉文昌、陳佳斌,"XeF準分子雷射退火自動操控系統研究",2005年中華民國自動控制研討會,南台科技大學,中華民國九十四年十一月十八~十九日(2005)。
- [20] 郭啟全、鄭正元,"非晶矽膜再結晶特性之線上光學檢測技術與表面形貌研究與分析",電子月刊,中華民國九十四年六月,pp.216~pp.223。
- [21] 郭啟全、鄭正元、葉文昌、陳佳斌,"非晶矽薄膜準分子雷射退火產生爆炸結晶現象之研究與分析",2005年中國材料科學學會年會,淡江大學,中華民國九十四年十一月二十五日(2005)。
- [22] 莊淳鈞、葉文昌、郭啟全、鄭正元,"即時矽膜穿透率反射率量測準分子雷射退火矽膜之 矽膜固化時間",2005台灣光電科技研討會,國立成功大學,中華民國九十四年十二月十 六~十七日(2005)。
- [23] J.I. Im, H.J. Kim, M.O. Thompson, Appl. Phys. Lett. 63(1993)1969.
- [24] E. Fogarassy, S. de Unamuno, B. Prevot, T. Harrer, S. Maresch," Experimental and numerical analysis of surface melt dynamics in 200 ns-excimer laser crystallization of a-Si films on glass," Thin Solid Films 383(2001)48.