

利用雷射輔助電漿增強式化學氣相沈積方式成長奈米結晶矽鍺薄膜

李清庭*¹、鄭鈞鴻¹、李欣縈²

¹國立成功大學微電子工程研究所

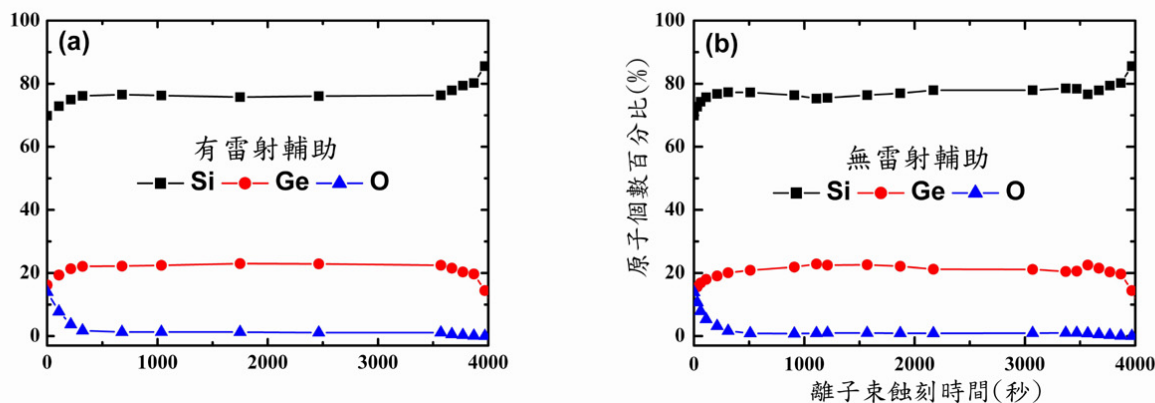
²國立成功大學光電工程學系

Email: ctlee@ee.ncku.edu.tw

Applied Physics Letters, Vol. 91, 091920 (2007)

近年來許多文獻均致力於探討矽-鍺半導體之研究，這是由於其本身具有許多優點，例如在改變鍺含量下可調變其能隙大小，並可和現今以矽為基礎之積體電路產業有相當大的可容性，因此矽-鍺半導體已被廣泛的應用於許多光電元件上。而現今已有許多成長矽-鍺半導體薄膜之技術，例如超高真空化學氣相沈積、高頻化學氣相沈積、磁控濺鍍及分子束磊晶等方式，而本研究將採用雷射輔助電漿增強式化學氣相沈積方式於矽基板上成長具奈米結晶態之矽鍺薄膜，採用此技術相較於其方法之優點在於可於室溫下成功成長具結晶型態之矽-鍺薄膜並且不需額外之高溫熱處理。

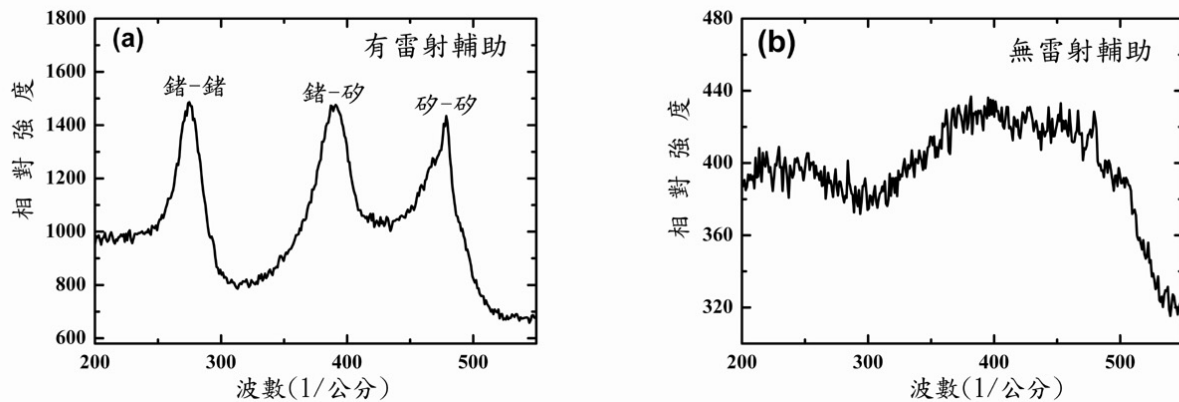
在雷射輔助電漿增強式化學氣相沈積系統中，將使用波長為10.6微米之二氧化碳雷射經由硒化鋅窗口導入傳統的電漿增強式化學氣相沈積系統，為了避免其對P型矽基板直接加熱，二氧化碳雷射之入射角度將控制在88度角方向，而在成長過程中將分別採用以氫氣稀釋的矽烷(SiH₄ (4%))及純鍺烷(GeH₄(100%))做為沈積矽-鍺薄膜之反應氣體，其流量分別為150 sccm及8 sccm。此外，電漿增強式化學氣相沈積系統之腔體工作壓力為0.5托(torr)，射頻功率固定在100瓦及設定二氧化碳雷射的功率在2.02瓦/平方公分。而本研究最主要之特點在於兩種反應性氣體在二氧化碳雷射波長10.6微米時都具有高的吸收效率，因此在雷射輔助下能同時並有效促進其分別解離成矽原子與鍺原子，有別於傳統電漿增強式化學氣相沈積法只藉由電漿分解反應氣體，所以採用此技術成長矽-鍺薄膜能結合雷射解離與電漿解離兩種方式進而產生更多矽鍺原子鍵結沈積。本研究將針對有無雷射輔助情形下成長矽-鍺薄膜做一系列之分析探討。



圖一、矽-鍺薄膜之歐傑電子縱深圖譜分析(a)有雷射輔助(b)無雷射輔助

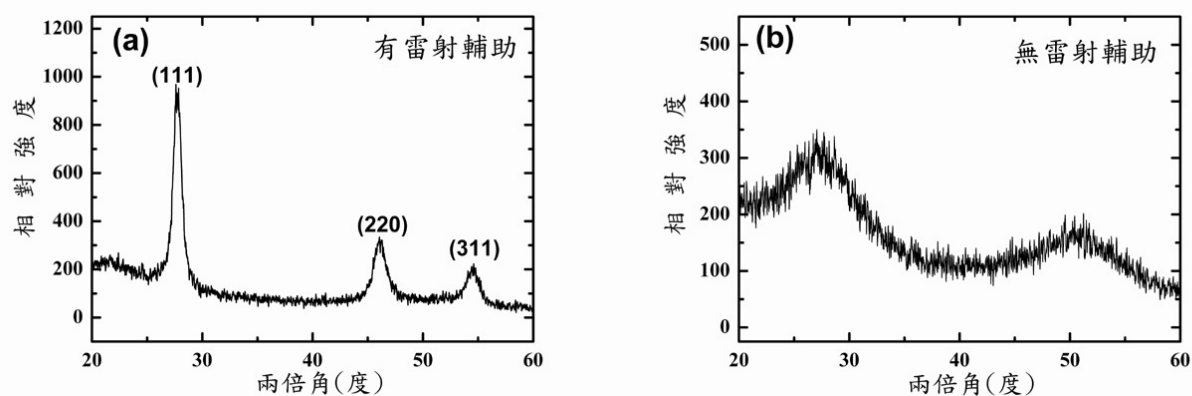
本研究先分別成長厚度為900奈米之矽-鍺薄膜並採用歐傑電子能譜分析儀分析有無雷射輔助下成長矽-鍺薄膜之成份比例，由圖一(a)及圖一(b)之歐傑縱深圖譜分析中可以看出不管有無雷射輔助情形下其薄膜之均勻性相當一致，而有雷射輔助與無雷射輔助之成份比例相當接近分別為Si_{0.78}Ge_{0.22}及Si_{0.79}Ge_{0.21}，此

現象主要是由於使用二氧化碳雷射解離反應氣體效率與電漿解離之效率類似，進而產生同比例之矽-鍺薄膜。



圖二、矽-鍺薄膜之拉曼圖譜分析(a)有雷射輔助(b)無雷射輔助

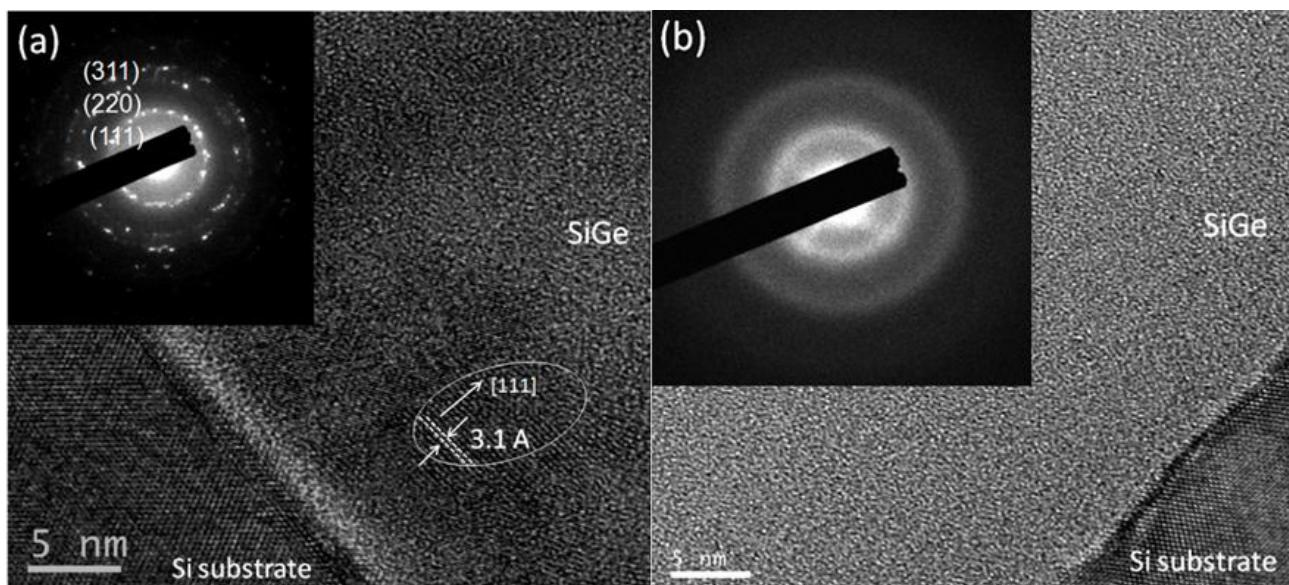
對於矽-鍺薄膜之鍵結型態將採用拉曼光譜儀分析，使用波長為532奈米之Nd: YAG雷射作為入射光源，圖二(a)及圖二(b)分別為有雷射輔助與無雷射輔助之拉曼分析結果，由圖二(a)中可以明顯看出在有雷射輔助下有三種鍵結型態分別位於 290 cm^{-1} 、 390 cm^{-1} 及 480 cm^{-1} ，分別代表為鍺-鍺、鍺-矽及矽-矽三種鍵結結構，相較於有雷射輔助成長情形下，無雷射輔助之矽-鍺薄膜於圖二(b)呈現出無明顯之鍵結型態，因此藉由拉曼分析結果可以明顯比較出在相同矽-鍺成份比例下，有雷射輔助成長之矽-鍺薄膜具有較佳之結晶性質。由拉曼圖譜中可以看出在雷射輔助下成長之矽-矽鍵結位於 480 cm^{-1} ，相較於單晶矽之矽-矽拉曼訊號位於 520 cm^{-1} 有偏移之情形產生，這是由於薄膜內存在鍺原子影響所致，相同的情形也可以由矽原子影響鍺-鍺鍵結看出，在雷射輔助下成長之鍺-鍺鍵結位於 290 cm^{-1} 相較於單晶鍺之鍺-鍺拉曼訊號位於 300 cm^{-1} 會有偏移之現象產生。而文獻上亦指出有雷射輔助成長之拉曼圖譜為具有微晶型態之矽-鍺薄膜，因此藉由雷射輔助可以獲得結晶型態之矽-鍺薄膜並由以下分析得到驗證。



圖三、矽-鍺薄膜之X光繞射儀圖譜分析(a)有雷射輔助(b)無雷射輔助

本研究利用低掠角X光薄膜繞射儀分析有無雷射輔助矽-鍺薄膜之結晶性質，圖三(a)及圖三(b)分別為有雷射與無雷射輔助之繞射圖譜，由圖三(b)可明顯看出在無雷射輔助下成長矽-鍺薄膜將呈現出非晶質態結構，而相較於無雷射輔助狀況下，圖三(a)可以明顯看出在雷射輔助情形下共有三個波峰產生，其為鑽石立方結構之(111)、(220)及(311)繞射面，文獻上指出當薄膜兩倍繞射角位於28度時之(111)面出現為具有多晶型態之矽-鍺薄膜。此外，由X光薄膜繞射原理可知繞射圖譜產生之波峰其半高寬越窄代表其結晶性較佳，

因此在有雷射輔助下成長矽-鍺薄膜將具有相當好的結晶性質。



圖四、矽-鍺薄膜之穿透式電子顯微鏡圖譜分析(a)有雷射輔助(b)無雷射輔助

為了能更深入了解薄膜之結晶型態，故利用高解析穿透式電子顯微鏡觀察有無雷射輔助成長之矽鍺薄膜，圖四(a)及(b)中可以看出矽基板與矽-鍺薄膜間有一明顯分界產生，這是由於矽基板表面產生之原生化層所致，而從圖四(a)擇區繞射圖譜中可以看出有明顯三個環狀繞射圈產生，此現象代表有雷射輔助成長之矽-鍺薄膜具有多晶型態，藉由計算可以得知其分別為(111)、(220)及(311)繞射面，而從圖四(b)之擇區繞射圖譜則無此現象產生並呈現一個非晶質型態之繞射圖譜，此現象與低掠角X光薄膜繞射儀分析結果一致。

因此由本研究可以得知利用雷射輔助電漿增強式化學氣相沈積系統，可以在低溫且不需經由後續熱處理即可成功成長出具有結晶型態之矽-鍺薄膜，而傳統式電漿增強式化學氣相沈積系統其所成長之矽-鍺薄膜則呈現一個非晶質態之結構。由歐傑電子能譜分析結果得到有無雷射輔助其成分比例分別為 $\text{Si}_{0.78}\text{Ge}_{0.22}$ 及 $\text{Si}_{0.79}\text{Ge}_{0.21}$ ，這是由於二氧化碳雷射解離反應氣體效率與電漿解離之效率類似，因此產生相同比例之矽-鍺薄膜。而從低掠角X光薄膜繞射儀與穿透式電子顯微鏡分析結果看出，在雷射輔助成長下之矽-鍺薄膜具有鑽石立方之結晶型態，其繞射面分別為(111)、(220)及(311)。綜合以上成果，將可提供於學術界及業界作為成長高品質結晶形態矽-鍺薄膜之參考依據。