

# 電子束蒸鍍不同奈米鋁膜厚度對非晶矽誘發成多晶矽之微結構與載子移動率之影響

管鴻<sup>1</sup>, 楊茹媛<sup>2</sup>, \*徐政傑<sup>1</sup>, 曾坤三<sup>3</sup>, 翁敏航<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 南台科技大學光電工程系

<sup>2</sup> 屏東科技大學材料工程系

<sup>3</sup> 金屬工業研究發展中心

國科會計畫編號: NSC 97-2221-E-218-009

## 摘要

本研究以鋁誘發 (Aluminum Induced Crystallization, AIC) 多晶矽之方法, 探討以不同電子束蒸鍍鋁薄膜厚度對AIC的影響。本實驗以 80nm 的非晶矽薄膜, 配合以電子束蒸鍍系統沉積不同厚度的蒸鍍鋁(20、40、80、160nm)薄膜。在退火溫度 350°C 及持溫時間 15min 進行退火處理, 並於退火處理後以得到多晶矽薄膜。藉由X光繞射儀(XRD)、場發射掃描式電子顯微鏡(FE-SEM)與霍爾(Hall)量測觀察蝕刻鋁金屬前後, 所誘發之多晶矽之顯微結構(結晶性與表面形貌)與載子移動率之分析。於蒸鍍鋁 20nm 薄膜厚度條件下, 皆可有誘發多晶矽薄膜。其中, 蒸鍍鋁厚度為 80nm 條件下, 其具有最佳的結晶性, 且隨著鋁薄膜厚度的增加, 結晶有漸漸減弱的趨勢。所得到之載子移動率皆分佈在 1-3cm<sup>2</sup>/s-v 之間, 與電子束蒸鍍奈米鋁厚度無明顯關係, 猜測原因可能是重摻雜鋁變成雜質而造成雜質散射有關。

關鍵字: 鋁誘發、非晶矽、多晶矽

## 1. 前言

近年來, 由於環境污染所造成的全球暖化問題以及可用能源的逐漸消耗殆盡。其中, 太陽能電池被列為目前最受矚目的研究重點之一。然而, 非晶矽薄膜雖具有光吸收係數高的優良特性, 卻具有嚴重的光衰退效應[1]。各國研究單位致力於發展多晶矽薄膜技術以取代現有非晶矽薄膜。其原因為多晶矽薄膜晶粒具有較低缺陷密度, 及較高的薄膜載子移動率約為 10~300 cm<sup>2</sup>/V-s[2], 相較於載子移動率小於 1cm<sup>2</sup>/V-s 之非晶矽薄膜, 其可大幅提昇整體薄膜光電特性, 並擴大其應用領域。

在過去研究中, 誘發多晶矽的製程方式有: 固相結晶法 (Solid-State Crystallization, SPC) [3]、準分子雷射退火 (Excimer Laser Annealing, ELA) [4] 以及金屬誘發 (Metal Induced Crystallization, MIC) 的方式。其中使用固相結晶法, 製程高於 600°C, 並須長時間的退火處理[3]。雖然使用準分子雷射再結晶, 可於較低的退火時間, 但其均勻性不佳[4]。

金屬誘發結晶法最初由 Wagner 和 Ellis [5], 於 1964 年發現部份的特定金屬, 可以幫助非晶矽薄膜再結晶。原因在於金屬層結晶形成前即先被包覆, 且金屬層具有降低結晶活性能之用, 因此可降低非晶矽薄膜結晶溫度。1994 年 Haque 等人[6]發現鋁金屬與非晶矽接觸時, 當退火溫度於 150°C, 非晶矽膜與鋁膜內部即開始產生結晶反應, 其鋁矽表面粗糙度, 就會有所變化。當退火溫度於 170°C 時, 薄膜表面則會產生較小結晶與凹陷。若退火溫度提高至 180°C 開始有部份結晶的產生。

1998 年由 O. Nast 等人[7]提出鋁誘發多晶矽之製作方式, 隨後受到熱烈的研究, 主要是因為鋁誘發多晶矽之製程溫度可低於玻璃像變點之溫度。2008 年 I. Gordon 等人[8]於文獻中發表使用鋁誘發之多晶矽做為晶種層所製作的薄膜太陽能電池, 量測效率達到 8%。

由於 AIC 的結果受到許多變因的影響, 包含鋁的來源, 矽的來源, 鋁矽厚度比與退火條件等因素之影響。因此本研究以退火溫度 350°C, 並以電子束蒸鍍鋁作為本研究之鋁的來源, 探討不同奈米鋁厚度下對鋁誘發多晶矽之特性, 且以 XRD、FE-SEM 與 Hall 進行多晶矽之顯微結構(結晶性與表面形貌)與載子移動率研究。

## 2. 實驗方法

本實驗以玻璃作為基材(Corning Eagle 2000), 首先利用鑽石刀, 將玻璃切割為面積 1cm x 1cm 的小面積試片 (Sample)。接著將試片依序浸泡於異丙醇 (2-Propanol)、去離子水 (De-ionized water)、丙酮 (Acetone)、去離子水 (De-ionized water), 皆以石英震盪器震洗表面各 10 分鐘, 最後利用氮氣槍將表面吹乾, 即完成清階段的步驟。接著使用 PECVD 沉積非晶矽 (a-Si:H) 薄膜, 厚度固定為 80nm。於 300°C 下沉積 a-Si:H 薄膜, 腔體內部功率為 100W、腔體壓力為 1Torr、基板溫度 300°C、製程氣體流量為高純度的矽烷 (SiH<sub>4</sub>-25sccm) 與氮氣 (N<sub>2</sub>-600sccm), 沉積速率為 650Å/min。再以電子束蒸鍍 (E-beam evaporator) 系統沉積不同厚度 (20、40、80、160nm) 的鋁薄膜, 其製程功率為 35W、製程壓力為 3x10<sup>-6</sup>torr, 沉積速率為 2

Å/sec。將完成堆疊的試片送至水平爐管進行退火製程，其退火溫度為350°C，升溫與降溫時間各為15分鐘，而持溫時間為15分鐘，退火過程中全程通入5 slm的N<sub>2</sub>，最後將完成的試片以鋁蝕刻液進行蝕刻，其蝕刻液的組成為磷酸(80%) + 硝酸(5%) + 醋酸(5%) + 純水(10%)，升高溫度為50°C，進行蝕刻3秒鐘。將蝕刻前後的試片以FE-SEM與XRD進行分析。

### 3. 結果與討論

圖一所示為退火溫度 350°C 與持溫時間 15 min 條件下，各蒸鍍鋁矽比在蝕刻前之 XRD 分析圖。由矽元素圖譜得知 2θ 約等於 28°、47°、56° 位置時，矽結晶之結晶面於 Si(111)、Si(220)、Si(311) 會有明顯結晶之繞射波峰。再經由鋁元素比對後，由鋁元素圖譜得知 2θ 約於 38°、44°、65°、78° 位置時，鋁結晶之結晶面於 Al(111)、Al(200)、Al(220)、Al(311) 有明顯的結晶之繞射波峰。可發現在電子束蒸鍍奈米鋁厚度為 20nm 時，已經有產生結晶現象，並且無發現鋁元素的結晶現象。反觀，電子束蒸鍍奈米鋁厚度為 160nm 時，有明顯鋁元素結晶面出現。

圖二所示為退火溫度 350°C 與持溫時間 15 min 條件下，各蒸鍍鋁矽比在蝕刻後之 XRD 分析圖。可發現在電子束蒸鍍奈米鋁厚度為 80nm 之後，其結晶強度趨於平穩。並可發現在電子束蒸鍍奈米鋁厚度為 20nm, 40nm, 80nm 與 160nm 時，經由蝕刻後還尚有鋁元素的結晶面出現，研判為鋁矽化合物產生較強的鍵結，所導致無法蝕刻完全。

圖三與圖四所示為在進行退火後之試片，係針對不同電子束蒸鍍鋁矽比蝕刻前後之 FE-SEM 表面圖。發現蒸鍍鋁為 20nm，經由誘發過程中，鋁原子與矽原子的相互反應擴散，於退火後薄膜表面的鋁膜在未蝕刻時，鋁膜幾乎所剩無幾。可見蒸鍍鋁薄膜提供了較多的鋁原子與矽原子反應誘發，研判為蒸鍍鋁薄膜時，沉積速率較慢，使得薄膜的緻密性較佳所致。圖四所示，隨著蒸鍍鋁薄膜厚度的增加，在相同條件下，表面的結晶顆粒，也隨之增加。

圖五所示為不同製程鋁膜對不同鋁薄膜厚度之 XRD Intensity 關係圖。由圖中可發現蒸鍍鋁呈現線性上升，至鋁薄膜於 80nm 時，有最佳的峰強度。反觀蒸鍍鋁薄膜厚度大於 40nm 之後，顯示趨於平穩。

其晶粒大小計算可由 Scherrer 方程式求得，如下式計算所示：

$$D = \frac{K\lambda}{\Delta(2\theta)\cos\theta}$$

其中，D：晶粒大小(nm)；K：常數；λ：X 光波長(Cu=1.54056 Å)；θ：繞射角；Δ(2θ)：半高峰寬(Full Width Half Magnitude, FWHM)。其半高峰寬值如圖六所示。經計算過後各個結晶面之距離約介於 15~27 nm 之間，如圖七所示。此外，亦可藉由 X 光繞射分析圖譜所得繞射峰值寬度，亦可用來判斷薄膜結晶度

的好壞。當繞射峰值寬度越窄或峰值強度越高，皆代表著薄膜結晶成核點較少，造成晶粒結晶尺寸及結晶性較佳。相對的，若繞射峰值寬度越寬或峰值強度越低，意謂著薄膜結晶成核點較多及結晶晶粒尺寸較小。

由 Hall 量測觀察蝕刻鋁金屬後，所誘發之多晶矽之載子移動率皆分佈在 1-3cm<sup>2</sup>/s-v 之間，與電子束蒸鍍奈米鋁厚度無明顯關係，此現象與過去得到之載子移動率皆分佈在 10-30cm<sup>2</sup>/s-v 有段落差，猜測原因可能是表面鋁矽化合物的重摻雜鋁之緣故，而重摻雜鋁在退火溫度 350°C 與退火時間 15min 下未能得到完全活化，使得重摻雜鋁變成雜質而造成雜質散射有關。此現象需要進一步確認與研究。

### 4. 結論

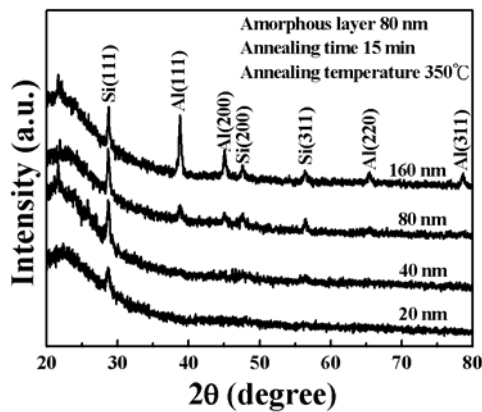
本實驗研究結果，可得知當鋁薄膜厚度分別為 (20、40、80、160nm) 與 a-Si:H 厚度 (80nm)，於退火時間 15min 及退火溫度 350°C 條件下，於蒸鍍鋁 20nm 薄膜厚度條件下，皆可有誘發多晶薄膜。其中，蒸鍍鋁厚度為 80nm 條件下，其具有最佳的結晶性，且隨著鋁薄膜厚度的增加，結晶有漸漸減弱的趨勢。所誘發之多晶矽之載子移動率皆分佈在 1-3cm<sup>2</sup>/s-v 之間。

### 5. 誌謝

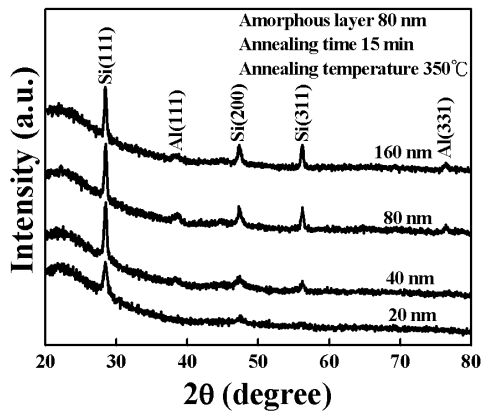
本研究感謝國科會計畫 (NSC 97-2221-E-020-029-與 NSC 97-2221-E-218-009) 經費之協助，同時感謝國家奈米研究實驗室南部分中心設備之支持 (No. P-96-3B-013 與 NDL97-C05M3C-037)。

### 6. 參考文獻

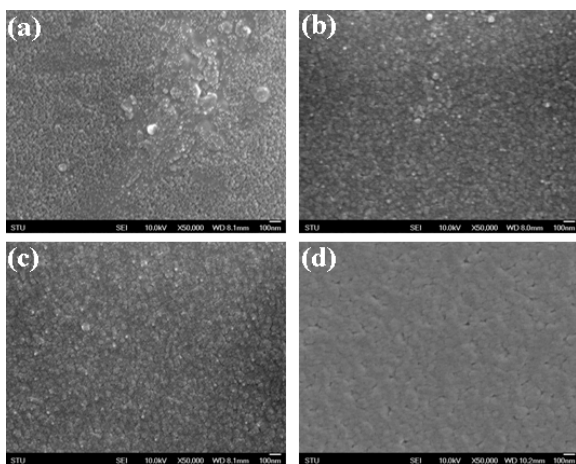
1. 戴寶通等著，台灣電子材料與元件協會(2008)。
2. Z. Shengdong, Z. Chunxiang, J. K. O. Sin, J. N. Li and P. K. T. Mok, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 47, 2000, pp. 569-575.
3. S. I. Jun, P. D. Rack, T. E. Mcknight, A. V. Melechko and M. L. Simpson, Appl. Phys. Lett. Vol. 89, 2006, pp. 22104.
4. J. S. Im, H. J. Kim and M. O. Thompson, Appl. Phys. Lett., Vol. 63, 1993, pp. 1969-197.
5. R. S. Wanger and W. C. Ellis, Appl. Phys. Lett., Vol. 4, 1964, pp. 89-90.
6. M. S. Haque, H. A. Naseem and W. D. Brown, J. Appl. Phys., Vol. 75, 1994, pp. 3928-3935.
7. O. Nast, T. Puzzer, L. M. Koschier, A. B. Sproul and S. R. Wenham, Appl. Phys. Lett. Vol. 73, 1998, pp. 3214.
8. I. Gordon, L. Carnel, D. Van Gestel, G. Beaucarne and J. Poortmans, Thin Solid Films, Vol. 516, 2008, pp.6984-6988.



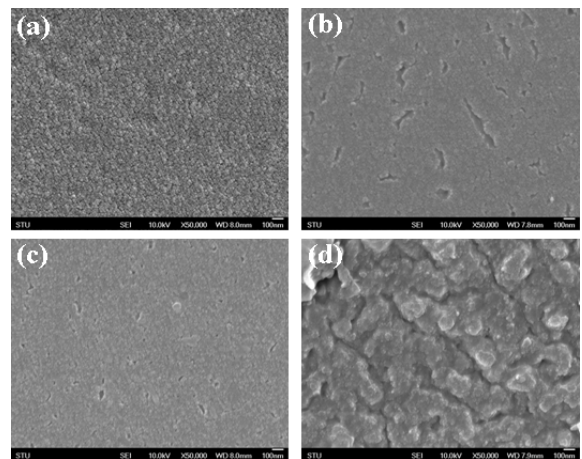
圖一. 為退火溫度 350°C 與持溫時間 15 min 條件下，電子束蒸鍍奈米鋁厚度為(a)20nm, (b)40nm, (c)80nm 與 (d)160nm 在蝕刻前之 XRD 分析圖。



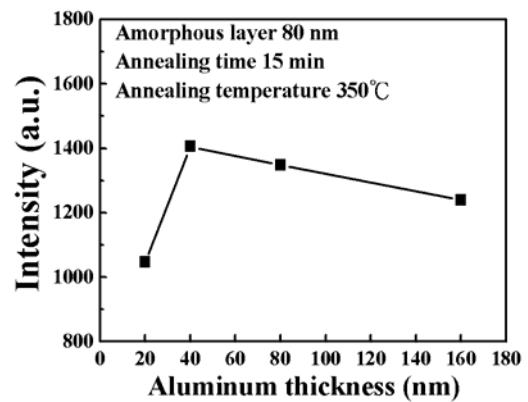
圖二. 為退火溫度 350°C 與持溫時間 15 min 條件下，電子束蒸鍍奈米鋁厚度為(a)20nm, (b)40nm, (c)80nm 與 (d)160nm 在蝕刻後之 XRD 分析圖。



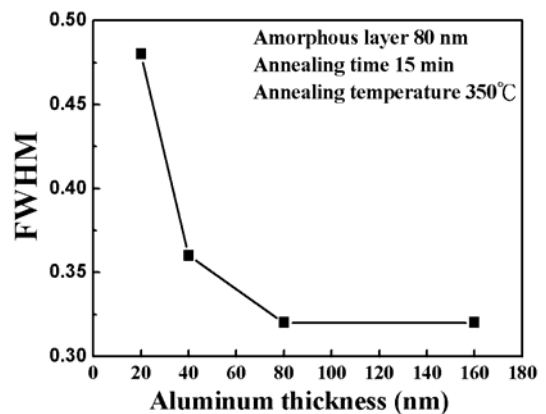
圖三. 退火溫度 350°C 與持溫時間 15 分鐘條件下，電子束蒸鍍奈米鋁厚度為(a)20nm, (b)40nm, (c)80nm 與 (d)160nm 之 FE-SEM 鋁蝕刻前之表面俯視圖。



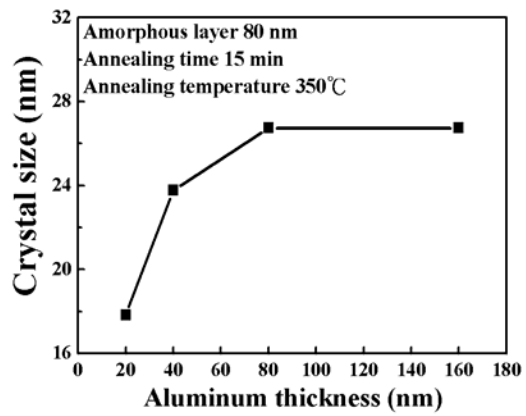
圖四. 退火溫度 350°C 與持溫時間 15 分鐘條件下，電子束蒸鍍奈米鋁厚度為(a)20nm, (b)40nm, (c)80nm 與 (d)160nm 之 FE-SEM 鋁蝕刻後之表面俯視圖。



圖五. 不同製程鋁膜對不同鋁薄膜厚度 XRD 之 Intensity 關係圖。



圖六. 不同製程鋁膜對不同鋁薄膜厚度 XRD 之 FWHM 關係圖。



圖七. 不同製程鋁膜對不同鋁薄膜厚度 XRD 之 crystal size 關係圖。