

變更電漿輔助化學氣相沈積零組件驗證鍍膜製程技術 Change of plasma enhanced chemical vapor deposition components verify the coating process technology

孫嘉鴻*、吳奕達、李宗信、楊思華、吳以德、曾坤三

Jia-Hung Sun¹, Yi-Ta Wu, Tsung-Hsin Lee, William Yang, Ye-De Wu, and Andy Tseng

財團法人金屬工業研究發展中心 光電系統組

Metal Industries Research & Development Centre, 811 Kaohsiung, Taiwan, Republic of China

Email: jhsuen@mail.mirdc.org.tw

經濟部計畫編號 101-EC-17-A-02-02-0756

摘要

本研究技術目的為達成驗證本土開發零組件鍍膜，協助資源發展光電半導體設備零組件，規劃以變更電漿輔助化學氣相沈積 Shower Head，建立光電半導體用零組件驗證，希望能發展出領先技術及自主開發整合整線生產。研究工作為配合新開發自行設計擴散板 PECVD 關鍵零組件，做實際鍍膜測試，改變腔體內部流場，去尋找鍍出非(微)晶矽薄膜不同特性。電漿強化化學氣相沉積系統主要是提供薄膜沉積的重要設備，應用在太陽能電池的製作，開發低溫製程製作微晶矽薄膜、多晶矽薄膜、高鍍率高品質薄膜沉積技術作為提升轉換效率的關鍵技術。

關鍵字詞：電漿輔助化學氣相沈積、擴散板、太陽能電池

Abstract

The research aims to verify that the local development component coating, assisting resources in developing optoelectronic semiconductor device components, planning to change the plasma assisted chemical vapor siltation Shower Head, the establishment of optoelectronic Semiconductor components verify, hoping to develop leading technologies and homegrown integration line production. Research work as part of a new development designed diffuser PECVD key components, do the actual coating testing, changing the flow field inside the cavity to find out non-plated (micro-) crystalline silicon films with different characteristics. Plasma enhanced chemical vapor deposition system is providing important equipment for thin film deposition, used in solar cell production, development of low temperature process the production of Microcrystalline Silicon thin film, Department of polycrystalline silicon thin films and high rate deposition of high quality thin films technologies as a key technology for improving conversion efficiency.

Keywords: PECVD、Shower Head、Solar Cell

1. 前言

電漿強化化學氣相沉積系統主要是提供薄膜沉積的重要設備[1]，應用在太陽能電池的製作，可開發低溫製程製作微晶矽薄膜、多晶矽薄膜、高鍍率高品質薄膜沉積技術作為提升轉換效率的關鍵技術。過去台灣太陽光電產業仍以矽晶圓太陽能電池廠商為主，目前薄膜太陽能電池約有十家廠商宣稱投入，但國內內需市場小，也缺乏上、中、下游產業鏈的整合發展，因此對於發展迅速的太陽能產業來看，太陽能相關製造設備的開發是未來可以強化台灣太陽能相關產業之國際競爭力的要素之一。為避免重蹈半導體及平面顯示器產業因設備無法自主發展之覆轍，台

灣太陽能產業的未來前景發展就必須要正視設備與製程整合問題以及關鍵模組自製開發的問題，希望能發展出領先技術及自主開發整合整線生產設備。

2. 實驗架構

針對新開發出的電漿輔助化學氣相沉積機台做實際的鍍膜驗證，用以確定機台的技術指標可到達的實際應用，如圖 1 所示，此成膜設備重要規格：

基板尺寸 30*30cm；
RF 功率 13.56 MHz, 2KW;
製程溫度 ~350 °C;
製程壓力 100~900 mtorr



圖 1. 鍍膜驗證的電漿輔助氣相沉積系統

進氣部分反應氣體包括矽甲烷(SiH_4)、和氫氣(H_2)，使用球閥(ball valve)、氣動閥(air valve)控制開關的動作，質流控制器(mass flow controller)控制進氣的流量。抽氣部分使用迴轉式幫浦(rotary pump) 以及魯式幫浦(booster pump) 串聯的組合將反應室的氣體抽出，迴轉式幫浦決定了反應室可達到最低真空度，魯式幫浦可輔助迴轉式幫浦在低真空(500mtorr)以下時的抽氣速率，反應室與幫浦間包含氣動閥開關和節流閥(throttle valve)以控制沉積時的總氣壓[2]。

本項實驗主要之製程方法為：藉由調整不同的抽氣速度，改變腔體內部流場，去尋找鍍出非晶矽薄膜為最佳均勻性的參數，並探討其不同特性。

其主要之步驟為：利用 PECVD 固定成膜時間 20minutes 厚度的非晶矽薄膜，反應完成後，去除耐熱膠帶，以 a-step 量測分布在不同位置的薄膜厚度，再以此計算均勻度 $U\% = (\text{Max} - \text{Min}) / 2 * \text{Average}$ ，如圖 2 所示。

本研究技術目的為達成驗證本土開發零組件鍍膜，協助資源發展光電半導體設備零組件，規劃以變更電漿輔助化學氣相沉積 Shower Head，建立光電半導體用零組件驗證，希望能發展出領先技術及自主開發整合整線生產。研究工作為配合新開發自行設計擴散板 PECVD 關鍵零組件，做實際鍍膜測試，改變腔體內部流場，去尋找鍍出非(微)晶矽薄膜不同特性。

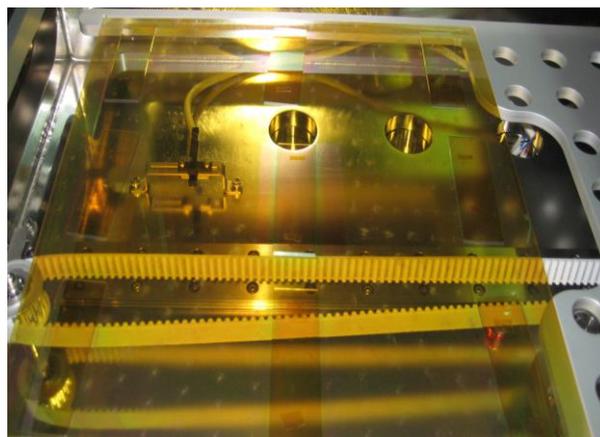


圖 2. 分布在不同位置的薄膜厚度

3. 研究方法與內容

3-1 電漿增強化學氣相沉積製程

電漿增強化學氣相沉積製程之作業詳述如下：

1. 沉積用基板: 根據做為太陽能電池或是薄膜電晶體等用途，選用矽基板、玻璃基板或鋁...等基板，清洗過之基板用氮氣槍吹乾，並放置於適當的位置，確保沉積薄膜之品質[3]。
2. 腔體抽真空: 利用機械幫浦進行真空腔體之粗抽，直到真空腔之真空度到達 5×10^{-2} torr，打開利用高真空魯氏幫浦進行細抽，直到真空腔體之真空度到達 1×10^{-4} torr。
3. 腔體清潔作業: 使用惰性氣體清潔主腔體，以保持腔體的潔淨度，當清潔的參數結束後將晶片傳送 Load lock 腔體至主腔體。
4. 電漿強化化學氣相沉積作業: 使用電漿的輔助能量，使得沈積反應的溫度得以降低。通常會在二個電極板間外加一個射頻(radio frequency, 縮寫 RF)電壓，於是在二個電極之間的氣體會解離，待溫度、氣流量及壓力穩定後，RF 開啟，電漿態的氣體有助於發生化學反應，使膜易沉積於基板上，殘餘氣體經過燃燒室與洗滌室處理抽乾淨。
5. 管線清潔作業: 使用氮氣沖洗管線殘存氣體，使潔淨度維持最佳清潔與避免汙染生成。
6. 樣品取出作業:
製程腔體基板溫度降約至 60C 關上機械幫浦到腔體的閥門，之後氮氣破真空到大氣，接著取出

樣品。

7. 變更電漿輔助化學氣相沈積 Shower Head

如圖 3 所示，變更新設計的 Shower Head，建立光電半導體用零組件驗證。

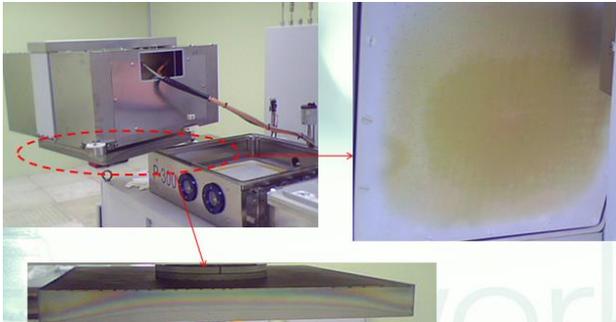


圖 3. 電漿輔助化學氣相沈積 Shower Head

3-2 試片切割及清洗

- 將玻璃基板或矽晶片以正光阻塗佈。
- 將試片切割為寬 20mm 長 25mm 大小。
- 去除光阻浸入丙酮(ACE)中加熱五分鐘，換甲醇(Methanol)加

熱五分鐘，再以去離子水(D.I. Water)沖洗五分鐘。

- 避免試片重疊放置於試片盒中。

3-3 基板清洗

- 將試片置於去離子水 (D.I. Water)中以超音波震盪去除表面微粒。
- 將試片浸於氫氟酸中 60 秒，去除表面氧化層。
- 以去離子水沖洗五分鐘。
- 取出以氮氣槍吹乾。

4. 結果與討論

4-1 氣體流量比 SiH₄ 74sccm, H₂ 26sccm:

此實驗參數設定為較高鍍率需求[4]，因 H₂ 含量較少，所以膜質成份大多為非晶矽，根據本組實驗可得到合理的結果，如圖 4 所示，包括更換新擴散板後，由於整體氣流分佈改變，膜厚分佈也隨之改變，原本為正的碗公形狀變成反的碗公形狀，整體鍍率由於總流量及工作氣壓不變，所以得到的平均鍍率是差異不大的，但此結果驗證出雖然膜厚趨勢有改變，但對均勻性(U%)來說由 10.78%變成 14.58%，實際上是更為不均勻的，因此在設計上仍有改善空間，來抓出流場之平衡點。

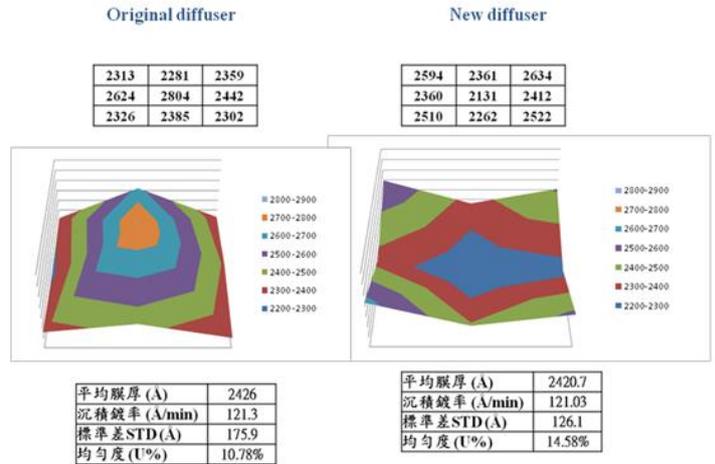


圖 4. 氣體流量比 SiH₄ 74sccm, H₂ 26sccm 新設計與原廠之擴散板膜厚分佈

4-2 氣體流量比 SiH₄ 50sccm, H₂ 50sccm

此實驗參數設定為平衡結晶與高鍍率需求，使用各半 SiH₄, H₂ 氣體流量比，所以理論上膜質成份部份已有微晶生成，但大多為非晶矽，根據本組實驗可得到合理的結果，如圖 5 所示，包括更換新擴散板後，由於整體氣流分佈改變，膜厚分佈也隨之改變，原本為正的碗公形狀變成反的碗公形狀，整體鍍率由於總流量及工作氣壓不變，所以得到的平均鍍率是差異不大的，但此結果驗證出雖然膜厚趨勢有改變，但對均勻性(U%)來說由 13.9%變成 14.08%，實際上是更為不均勻的，因此在設計上仍有改善空間，來抓出流場之平衡點。

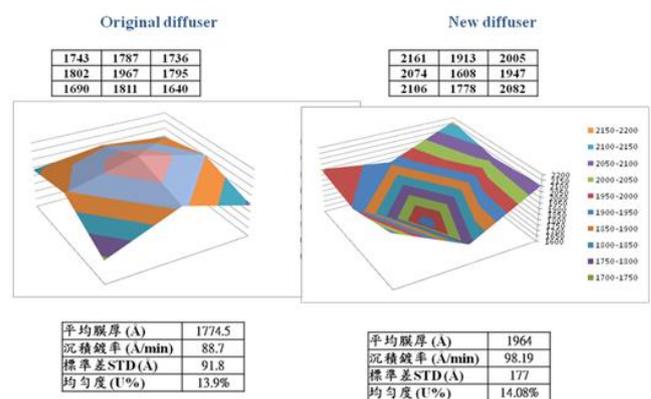


圖 5. 氣體流量比 SiH₄ 50sccm, H₂ 50sccm 新設計與原廠之擴散板膜厚分佈

4-3 氣體流量比 SiH₄ 34sccm, H₂ 66sccm

此實驗參數設定為結晶需求以確保可做出微

晶矽，但缺點為鍍率較低，使用較高 H₂ 氣體流量，所以理論上膜質已有微晶生成，根據本組實驗可得到合理的結果，如圖 6 所示，包括更換新擴散板後，由於整體氣流分佈改變，膜厚分佈也隨之改變，原本為正的確公形狀變成反的確公形狀，整體鍍率由於總流量及工作氣壓不變，所以得到的平均鍍率是差異不大的，此結果驗證出雖然膜厚趨勢有改變，均勻性(U%)來說由 12.87%變成 10.39%，實際上是對形成微晶矽之製程是有利的，有些微改善，但均勻性在設計上仍有改善空間，來抓出流場之平衡點。

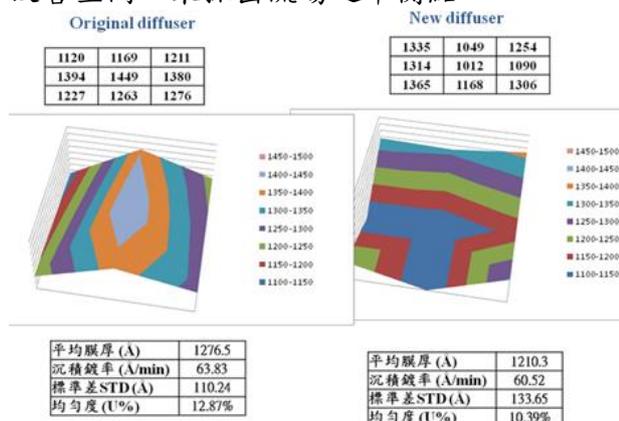


圖 6. 氣體流量比 SiH₄ 34sccm, H₂ 66sccm 新設計與原廠之擴散板膜厚分佈

5 結論

原廠擴散板均勻性為 13.9%(30cm 直徑)，更換新的氣體擴散盤均勻性為 14.07%(30cm 直徑)，膜厚均勻性趨勢有明顯變化。

新的氣體擴散盤均勻性為 8.89%(16cm 直徑)，均勻性可達 4.78%(當 6cm 直徑)，當加大為 18cm 直徑膜厚均勻性將超出 10%。

本技術透過開發新的擴散板，自行更換使

用，並實機鍍膜驗證，由結果得知機台的鍍率以及均勻性的水準，藉此可驗證變更零組件設計後對於成膜的影響。

5. 誌謝

本論文感謝經濟部科專計畫編號 102-EC-17-A -02-02-0756 之計畫，由於經濟部的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

1. C. Ye, Z. Ning, M. Shen, H. Wang, and Z. Gan, "Dielectric properties of silicon nitride films deposited by microwave electron cyclotron resonance plasma chemical vapor deposition at low temperature", Applied Physics Letters, Vol.71, pp.336-337, (1997).
2. E. V. Astrova, and V. A. Tolmachev, "Effective refractive index and composition of oxidized porous silicon films", Materials Science and Engineering B, Vol.69-70, pp.142-148, (2000).
3. Ching-Ting Lee, Yi-Fu Chen and Chun-Hung Lin "Phase-separated Si nanoclusters from Si oxide matrix grown by laser-assisted chemical vapor deposition" Nanotechnology 20 (2009)
4. S. Q. Xiao, S. Xu, D. Y. Wei, S. Y. Huang, H. P. Zhou, and Y. Xu. "From amorphous microcrystalline: Phase transition in rapid synthesis of hydrogenated silicon thin film in low frequency inductively coupled plasmas", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 108, 113520, (2010).