

## 在真空下共晶鍵合之形成對晶圓鍵合之微結構影響

趙偉勝<sup>1</sup> 童鈞彥<sup>1</sup> 楊茹媛<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>美環太陽能股份有限公司

高雄市路竹區路科二路 61 號 2 樓

<sup>2</sup>國立屏東科技大學材料工程所

屏東縣內埔鄉學府路 1 號

(NSC101-2628-E-020-002-MY3)

(102CE04)

### 摘要

本研究利用真空鍵合法於鍵合溫度580 °C、持溫時間為1小時下進行矽晶圓鍵合，並探討不同金屬膜層之組合對鍵合微結構特性之影響。欲判斷矽晶圓對接合界面的形貌和接合情況，本研究係採用掃描式電子顯微鏡（SEM, Scanning Electron Microscope）觀察矽晶圓對橫截面的接合界面形貌。由接合界面層的寬度與形貌，作為接合情況良好與否的佐證。實驗最佳結果顯示：濺鍍條件1B之矽晶圓，由於Al/Si在真空下於580 °C的高溫下已可形成共晶，故無鍵合上之缺陷。

**關鍵詞：**真空鍵合法、矽晶圓鍵合、掃描式電子顯微鏡。

## Effects of formation of eutectic bonding prepared under vacuum atmosphere on microstructure of wafer bonding

WEI-SHENG CHAO<sup>1</sup>, CHUN-YEN TUNG<sup>1</sup>, AND RU-YUAN YANG<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> *MH Solar Company Limited*

*Rm N201, 2F., No.61, Luke 2nd Rd., Luzhu Dist., Kaohsiung City 821, Taiwan*

<sup>2</sup> *Institute of Materials Engineering, Pingtung University of Science and Technology*

*No.1, Shuehfu Rd., Neipu, Pingtung, 91201 Taiwan*

(NSC101-2628-E-020-002-MY3)

(102CE04)

### ABSTRACT

In this study, silicon wafer bonding by vacuum bonding method at 580 °C for an hour, and the effects of combinations of different metal films to the micro-structural properties of bonding have been investigated. To determine the morphology between silicon wafers and their interface, scanning electron microscope (scanning electron microscope, SEM) was used. As a result of the width and morphology of the bonding interface layer, the bonding condition was good or not could be easily determined. Experimental results showed that there was no defect when case 1B used due to an observation of eutectic of Al/Si heated at 580 °C under vacuum atmosphere.

**Key Words:** vacuum bonding method, silicon wafer bonding

## 一、前言

現今，高聚光太陽光發電模組 (High Concentration Photovoltaic, HCPV)系統由於效率較高，使用材料較少，所以各國都盡全力在發展，未來新一代的高聚光太陽光發電產品的研發方向將朝向(1)高聚光比(1000倍)；(2)降低生產成本，以提高聚光型太陽能系統的競爭力。其中，可發現聚光型太陽能電池高達43.7%的轉換效率，在太陽能領域居於相對領先地位，但相對目前主流的矽晶太陽能，由於其電池製造成本以及系統建置成本居高不下，以系統建置成本來說，即比矽晶太陽能電池高出2-3成之譜。因此，如何降低聚光型太陽能電池之生產成本成為關鍵性的因素之一 [1-5]。

悉知，典型聚光型III-V族太陽能模組成本結構中，三層接面的電池佔成本大約34%、太陽追蹤器佔成本大約28%、光學系統佔成本大約7%、其他佔成本大約31%。可以發現，整個成本結構中，主要以三層接面的電池佔成本34%為大宗。未來，若使用低成本的矽基電池結構來降低生產成本，以提高聚光型太陽能系統的競爭力 [6, 7]。

使用矽基多接面(vertical multi-junction, VMJ) 太陽能電池製作發電模組設計，相較於矽薄膜與單多晶太陽能電池而言，擁有高轉換效率、高電壓(>30V)與高電流密度特色，非常適合用在獨立運轉型太陽能發電系統上。因此，本研究將以真空鍵合法接合各別矽晶圓並探討在矽晶圓上濺鍍Al及Ti-W/Al對矽晶圓鍵合之影響。

## 二、實驗方法

傳統接合的VMJ太陽能電池常因接合強度的不足或接合完畢後金屬與矽材料產生之應力導致電池破裂。該VMJ太陽能電池之關鍵技術之一係金屬化接合製程。因此，本論文為了提高生產良率及接合強度，於金屬化製程中將使用各種不同的金屬合金以濺鍍的方式沉積於晶圓上，以達成高良率及高強度之VMJ太陽能電池之目標。依圖一所示，本研究係以真空濺鍍(Sputter)機台於矽晶圓上分別濺鍍不同之金屬鍍膜 (如圖一之1A、1B、1C及1D之製程條件)。接著，利用真空晶圓鍵合機於1 mTorr、580 °C之條件下進行晶圓鍵合。1小時後，再利用線切割機切開矽晶圓剖面，以硝酸/氫氟酸進行表面微蝕刻。最後，再以掃描式電子顯微鏡 (型號：S-3000)觀察鍵合處之微結構。

| 1A          |            | 1B         |             | 1C          |             | 1D         |             |
|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| (1000Å) Al  | Silicon    | (1000Å) Al | Silicon     | (1000Å) Al  | (500Å) Ti-W | (1000Å) Al | (500Å) Ti-W |
| (500Å) Ti-W | (1000Å) Al | (1000Å) Al | (500Å) Ti-W | (500Å) Ti-W | Silicon     | (1000Å) Al | Silicon     |
| (1000Å) Al  | (1000Å) Al | (1000Å) Al | (1000Å) Al  | (1000Å) Al  | (500Å) Ti-W | (1000Å) Al | (500Å) Ti-W |
| (1000Å) Al  | Silicon    | (1000Å) Al | Silicon     | (1000Å) Al  | (500Å) Ti-W | (1000Å) Al | (500Å) Ti-W |
| (500Å) Ti-W | (1000Å) Al | (1000Å) Al | (1000Å) Al  | (500Å) Ti-W | Silicon     | (1000Å) Al | Silicon     |
| (1000Å) Al  | (1000Å) Al | (1000Å) Al | (1000Å) Al  | (500Å) Ti-W | (500Å) Ti-W | (1000Å) Al | (1000Å) Al  |
|             |            |            |             | (1000Å) Al  |             |            |             |

圖 1. 不同製程條件下之晶圓鍵合之濺鍍金屬膜層及厚度示意圖

## 三、結果與討論

### 3.1 鍵合處微結構特性分析

由圖二、三、四、五所示，濺鍍條件1A、1C及1D於鍵合處皆有明顯之孔隙，而濺鍍條件1B則無空隙，其主要原因為濺鍍條件1A、1C及1D之矽晶圓表面分別有一面或兩面，於Al金屬膜層底下有Ti-W金屬膜層。由於Ti/Si及W/Si於580 °C的高溫下，仍然無法形成共晶，因而造成鍵合上的缺陷。而濺鍍條件1B之矽晶圓兩面皆只有Al金屬膜層，由於Al/Si在真空下於580 °C的高溫下已可形成共晶，故無鍵合上之缺陷。

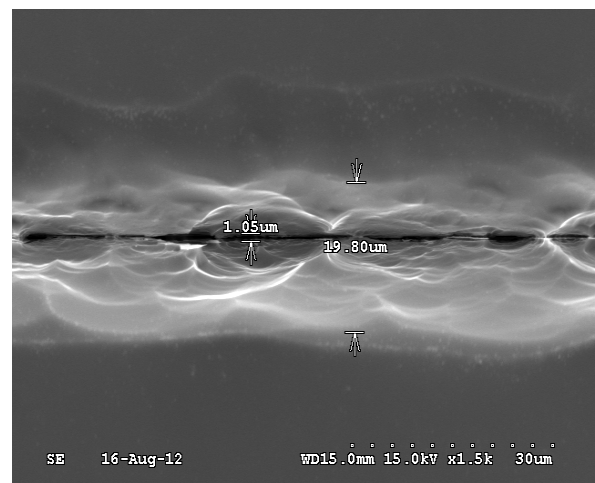


圖 2. 濺鍍條件 1A 之鍵合處 SEM 分析圖

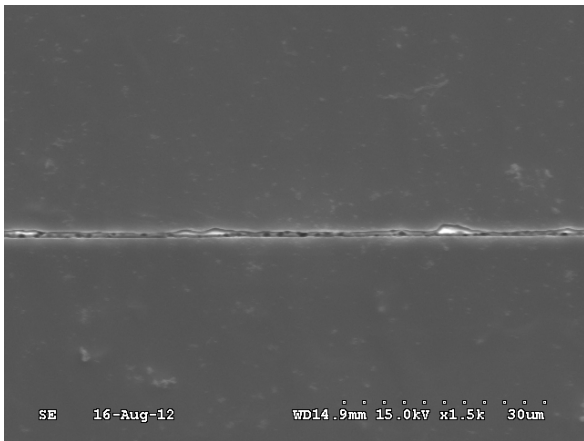


圖 3. 濺鍍條件 1B 之鍵合處 SEM 分析圖

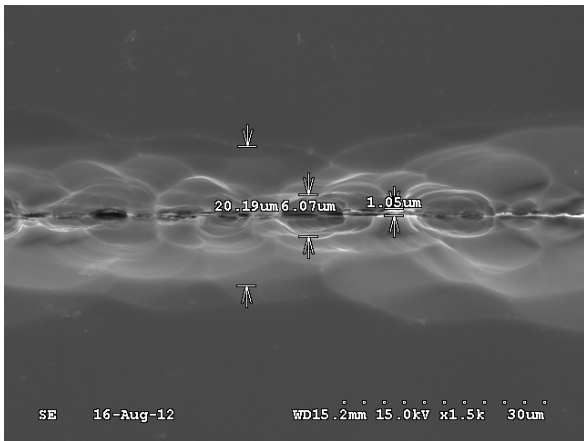


圖 4. 濺鍍條件 1C 之鍵合處 SEM 分析圖

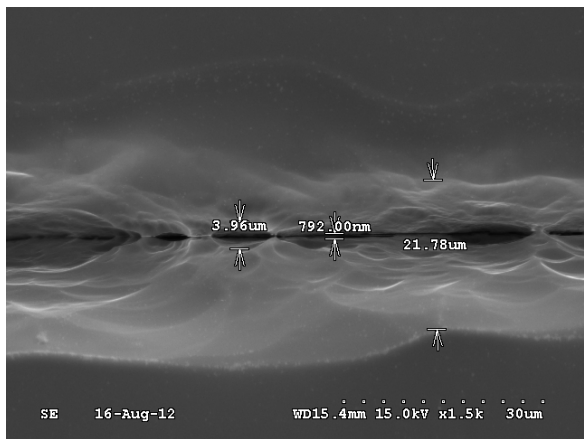


圖 5. 濺鍍條件 1D 之鍵合處 SEM 分析圖

#### 四、結論

本研究利用真空鍵合法於鍵合溫度580 °C、持溫時間為1小時下進行矽晶圓鍵合，並探討不同金屬膜層之組合對鍵合微結構特性之影響，歸納以下討論：

1. 由於Ti/Si及W/Si於580 °C的高溫下，仍然無法形成共晶，因而造成鍵合上的缺陷。
2. 濺鍍條件1B之矽晶圓兩面皆只有Al金屬膜層，由於Al/Si在真空下於580 °C的高溫下已可形成共晶，故無鍵合上之缺陷。
3. 晶圓鍵合金屬材料需於鍵合溫度時，與矽晶圓形成共晶，以達較佳之鍵合狀態。

另一方面，由於矽晶圓接合技術中或多或少將經歷高溫退火這道程序，但不同材料具有不同的熱膨脹係數，昇高溫度材料間產生不同程度的變化，期間將蓄積相當大的熱應力。數種避免熱應力的方式，包括低溫長時間退火、電漿活化表面法或使用間接晶圓接合法，皆可有效避免熱應力帶來的影響。熱處理的溫度與時間是接合過程中相當重要的兩項變數，經過熱處理之後的試片強度將大為增加，較高的溫度相較之下更能使表面鍵結完全因此也具有較高的接合強度。但熱膨脹係數差異不允許材料在過高溫度下熱處理，高溫熱處理使表面原子強力鍵結與熱應力帶來的影響具有一個平衡點，這也是未來工作中的一項重點研究指標 [3, 4]。

#### 參考文獻

1. Alexe, M., and U. Gösele (2004) *Wafer Bonding Application and Technology*, Springer, Berlin.
2. Gösele, U., Y. Bluhm, G. Kästner, P. Kopperschmidt, G. Kräuter, R. Scholz, A. Schumacher, St. Senz, Q.-Y. Tong, Y.-L. Chao, and T. H. Lee (1999) Fundamental issues in wafer bonding. *J. Vac. Sci. Technol. A* **17**, 1145.
3. Jerez-Hanckes, C. F., D. Qiao and S. S. Lau (2002) A study of Si wafer bonding via methanol capillarity, *Materials Chemistry and Physics* **77**, 751–754.
4. Yu, W. B., J. Wei, C. M. Tan and G. Y. Huang (2005) Mathematical model of low-temperature wafer bonding under medium vacuum and its application, *IEEE Transactions on Advanced Packaging* **28**, 650-658.
5. Huntington, H. B. (1979) In *Diffusion in Solids: Recent Developments*, 303–352, New York.
6. P. H. Chen, C. L. Lin and C. Y. Liu (2007) Amorphous Si/Au wafer bonding”, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 132120.
7. Reed-Hill, E. Robert., and Reza Abbaschian (1992) *Physical Metallurgy Principles*, 3th ed, PWS-Kent Pub, Boston.