

電弧放電應用於陽極接合速度與品質之研究

¹楊啟榮、¹吳俊緯、²張龍吟、¹古耀方、²柳文吾

¹ 國立台灣師範大學機電科技學系

² 國立台灣師範大學工業教育學系

摘要

陽極接合技術常被應用於微機電元件的組裝，是目前微機電製程中相當倚重的一種接合技術，由於陽極接合是利用高溫提供能量，將玻璃中金屬離子(Na^+)解離，但高溫會產生熱應力的問題，也會影響晶片上的各種微小結構。所以如何找出可降低溫度或加快接合的時間，使熱的影響降至最小，是研究所追求的目標。以加快接合時間來說，電極的幾何形狀可造成不同的接合效果，原因是當通入直流電壓時，首先發生接合現象是在上電極與玻璃接觸的下方。過去曾有人使用針狀式螺旋電極排列的方式配置，雖可有效的改善接合所需的時間，但降低接合所需的時間有限，無法真正達到真正的快速接合。因此本研究提出一種新式的電弧放電接合方式，並搭配特殊電極幾何形狀的排列方式，來改善陽極接合的速度及氣泡問題。實驗結果證實，利用輻射狀線電極在定電壓 900 V、溫度 400 °C 及放電間隙 120 μm 條件下，進行 4 吋晶片接合時，接合時間約為 17 秒，且接合良率可至 99.95 % 左右。

關鍵字：陽極接合技術、特殊電極陣列、電弧放電、放電間隙。

一、前言

1969年由Wallis及Powerantz首先發現，在矽基板與玻璃間加一靜電場，可以使其在低於融合接合(Fusion bonding)之溫度下，產生很強鍵結的接合效果【1】。陽極接合技術(Anodic bonding technology)亦稱之為電場輔助接合技術(Field-assisted bonding technology)，主要是利用高溫提供玻璃能量，使玻璃內部中的氧化鈉(Na_2O)物質活化解離成氧離子與鈉離子，其活化的金屬離子具有導電的特質。當溫度活化玻璃內部的金屬離子後，此時於玻璃與矽基板兩端通入適當電壓值，玻璃內部被解離後帶正電的鈉離子(Na^+)受到電場作用，被負電吸引而漂移至玻璃表面與空氣中的水氣反應，逐漸形成一層白色粉末狀的氫氧化鈉物質。玻璃中被解離後帶負電的氧離子(O^-)，則移動至玻璃與矽基板的接合面上，使兩材料受靜電場相互吸引作用後，逐漸形成矽與氧的鍵結反應，使其產生 SiO_2 的接合效果【2】，其最初的接合反應是從陰

極電極與玻璃接觸的區域開始發生，再藉由緩慢的擴散至整個接合面。

德國兩件專利DE4423164和DE4426288【3-4】，是為了改善接合時間與表面氣泡問題而發明。其電極排列方式是利用由內而外的輻射形狀，藉由大面積與小面積的接合時間差，來達到表面氣泡驅趕與縮短所需的接合時間。但有文獻指出此設計仍面臨一些問題，即陽極接合過程中，空氣會參與某種程度的反應【5】。換句話說，即表示晶片最外圍與空氣接觸面上，會因空氣參與反應後，使得晶片邊緣的接合速度要比晶片內的接合速度快，因此輻射狀電極在扇形開口處的接合區域會先密合，造成內部氣泡無法有效的被排出。因輻射狀電極有扇形開口處的接合區域會先密合的問題，所以有學者針對此問題提出螺旋狀電極的排列方式【6】，雖可有效的改善接合所需的時間，但降低接合所需的時間有限，且電極設計的方式極為複雜，無法輕易的因試片所需作電極的變化。

二、實驗方法

圖1為本研究實驗設備架構示意圖，以4吋P型<100>矽晶片及4吋Pyrex 7740玻璃作為實驗基材，選擇定電壓作為陽極接合電壓源輸出，並搭配各種不同電極，針對電極接觸與電極懸空放電兩種接合方法，做完整的探討與比較。定電壓供電之電壓源為直流電源供應器，並搭配功率放大器作為陽極接合供電電壓輸出，圖2為本實驗流程圖，實驗過程如下所述：

2.1 傳統接觸接合

圖3為各式不同陣列與形狀的電極完成圖，利用單點電極($R=1\text{ mm}$)、阿基米德渦線狀線電極、輻射狀線電極、阿基米德渦線狀點電極及輻射狀點電極。並固定溫度400 °C及電壓900 V，利用不同電極進行陽極接合實驗，當試片最外圍區域完全密合後，記錄試片接合時間(Bonding time)與接合率(Bonding ratio)

2.2 新式電弧放電接合

因電極放電接合過程中，電弧會產生在電極與試片最小間隙處，故電極平整度對電弧放電接合有極大的影響。點狀排列之特殊電極，電極針平整度無法輕易達到電弧放電要求，很容易造成氣泡驅趕機制被破

壞，故選用線狀電極作為電弧放電接合。實驗中固定溫度 400 °C、電壓 900 V 及放電間隙 120 μm，選用阿基米德渦線狀線電極及輻射狀線電極，由步進馬達帶動並進行電弧放電接合實驗。在試片最外圍區域完全密合後，記錄試片接合時間與接合率。

2.3 傳統接觸與新式電弧放電接合之電流探討

陽極接合的離子鍵結總數取決於當下之接合電流大小，當同單位時間內離子鍵結數量越多時，代表當下有較大接合電流，接合擴散速度亦越快。本研究提出的新式接合方法，將與傳統的陽極接合方式，針對兩者的接合電流作一深入探討，並記錄試片 0-17 秒鐘之間的接合電流(Bonding current)。

2.4 探討傳統接觸與新式放電接合之試片表面完整性

本章節主要為探討傳統接觸與電弧放電接合，對試片表面完整性之影響程度。將上述接合完成後的試片，利用晶片切割機切割成 2.3x2.3 mm² 的試片，最後由掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscopy)觀察試片表面輪廓。

三、結果與討論

3.1 傳統接觸接合

圖 4 (a)為單點電極接合後的影像處理圖，由實驗發現，最早發生接合是在電極與試片接觸處。當電極接觸點向外擴散至試片最外圍時，可將界面氣泡由內向外趕出，有助於解決界面氣泡問題，但接合速度相當緩慢，實驗結果如表 1 之 Case 1 所示。圖 4 (b)至圖 6 (e)為利用特殊幾何形狀排列電極，接合後的影像處理圖。阿基米德渦線狀線電極因氣泡驅趕路徑較長，故只要電極形狀及平整度稍有不佳，便會造成大量氣泡殘留於接合界面，實驗結果如表 1 之 Case 2 所示。輻射狀線電極氣泡驅趕路徑，比阿基米德渦線狀線電極來的短，因電極幾何形狀所致，試片最外圍會與大氣先反應【5】，使外部邊緣處密合速度快於內部，造成氣泡殘留在試片界面上，實驗結果如表 1 之 Case 3 所示。由實驗過程發現，點狀電極接合擴散速度優於線狀電極，故接合所需時間較線狀電極短，實驗結果如表 1 之 Case 4-5 所示。

3.2 新式電弧放電接合

圖 4 (f)為輻射狀線電極接合後的影像處理圖，經由實驗發現，2 mm 線寬之輻射狀線電極，放電間隙在 120 μm 且電極轉速約在 0.5 rpm 時，有最佳的接合效果及最快的接合時間。因電弧放電為利用電極移動作為接合，意即八等分之輻射狀線電極必須繞試片 1/8 圈，才能使試片外緣處完全密合。此時完成試片接合所需時間為 17 秒鐘，且界面接合良率可至 99.95%，如表 2 之 Case 1 所示為輻射狀線電極實驗結果。圖 4 (g)

為阿基米德渦線狀線電極接合後的影像處理圖，因阿基米德渦線狀線電極形狀限制，電極必須繞試片一圈，才能使試片外緣處完全密合，此時完成試片接合所需時間為 2 分鐘 16 秒鐘。其次因電極氣泡驅趕路徑過長，氣泡很容易殘留於試片界面上。鑑於上述，阿基米德渦線狀線電極並不適用於電弧放電接合，如表 2 之 Case 2 所示為輻射狀線電極實驗結果。

3.3 傳統接觸與新式電弧放電接合之電流

圖 5 及圖 6 為利用示波器擷取電極接觸，及懸空放電接合實驗之電壓及電流圖形。將上述圖形整理，如圖 7 所示為試片在 0-17 秒鐘的實驗結果，由圖可輕易發現，傳統擴散接合方式之接合電流，因接合時間增加而有逐漸下降的趨勢，此趨勢不會因電極的形狀及形式而有所改變，而懸空放電接合的方式，先以輻射狀電極來看，因溫度、電壓、放電間隙及電極轉速皆被固定，且電極形狀為對稱分佈排列，使其接合電阻固定，造成接合電流成一定值呈現，而阿基米德渦線狀線電極，雖溫度、電壓、放電間隙及電極轉速皆被固定，但電極形狀為非對稱分佈排列，使其接合電阻會因時間增加而逐漸變大，造成接合電流因時間增加而逐漸下降。

3.4 傳統接觸與新式放電接合之試片表面完整性

圖 8 (a)為傳統接合方式，在單點電極與試片接觸接合後的玻璃表面 SEM 圖，因單點電極接合時間極為漫長(約 2 小時)，接合能量的傳遞集中落在單點電極與玻璃之接觸點，使其玻璃表面受損情況極為嚴重。圖 8 (b)為傳統接合方式，在輻射狀點電極與試片接觸接合後的玻璃表面 SEM 圖，因輻射狀點電極可縮短接合所需時間(約 4 分鐘)，故玻璃表面完整性較單點電極佳。圖 8 (c)為傳統接合方式，在輻射狀線電極與試片接觸接合後的玻璃表面 SEM 圖，因輻射狀線電極與試片接觸接合後的玻璃表面，會因與電極接觸而造成一定的影響，而受損程度依線電極平坦度而定。圖 8 (d)為電極懸空放電接合方式，在輻射狀線電極產生電弧放電後，與試片表面接合的 SEM 圖。因電弧放電接合在電極通過後，即完成接合的動作，試片表面能量傳遞的時間極為短暫，且電弧在同一區域不重疊作用，玻璃表面雖有受電弧影響，但受損情況皆低於與電極接觸之區域。

四、結論

1. 採用傳統接合方式，由實驗中可發現，在同形狀下之電極點狀陣列接合速度優於線狀陣列方式。主要原因為點狀陣列電極，在試片最外圍區域的密合能力，比線狀電極迅速所致。

- 阿基米德渦線狀與輻射狀電極，採用傳統接合方式其接合速度與品質差異不大。但若應用在新式電弧放電接合，因電極形狀所致，輻射狀電極比阿基米德渦線狀電極來的佳。
- 電極懸空放電接合，利用輻射狀線電極，在定電壓 900 V、溫度 400 °C 及放電間隙 120 μm 條件下，進行 4 吋晶片接合時，接合時間約為 17 秒，且接合良率可至 99.95 %。而在電弧放電接合機制下，固定供給電壓且電極若配合適當轉速及放電間隙，可作定電流供電接合。
- 懸空放電接合過程中，當電極產生的電弧作用在試片表面上時，雖對表面完整性有影響，但表面受損程度低於傳統接觸式接合方式。

五、致謝

本研究承蒙台師大薄膜暨接合實驗室 SEM 拍攝，作者在此一併表達感謝之意。

六、參考文獻

- G. Wallis and D. I. Pomerantz, J. Appl. Phys., 40, 3946 (1969).
- Y. Kana . K. Mazunori, C. Muradnm, and J. Sugaya, Sensors and Actuators, A21-23, 939 (1990).
- T. Michael, "Anordnung von elektroden zum anodischen bonden", DE 4423164A1 (1996).
- H. Michael "Electrode zum anodischen bonden", DE 4426299A1 (1996).
- A. Cozma and B. Puers, "Characterization of the electrostatic bonding of silicon and Pyrex glass", J. Micromech. and Microeng., pp.98-102 (1995).
- J. T. Huang, H. A. Yang, "Improvement of bonding time and quality of anodic bonding using the spiral arrangement of multiple point electrodes", Sensors and Actuators, pp.1-5 (2002)

表 1 電極接觸接合之實驗結果

Case No.	Bonding time	Bonding ratio
Case 1	125 min	99.83 %
Case 2	8 min 30 sec	99.56 %
Case 3	7 min 55 sec	99.60 %
Case 4	4 min 10 sec	99.72 %
Case 5	3 min 42 sec	99.68 %

表 2 電極放電接合之實驗結果

Case No.	Bonding time	Bonding ratio
Case 1	17 sec	99.95 %
Case 2	2 min 16 sec	99.78 %

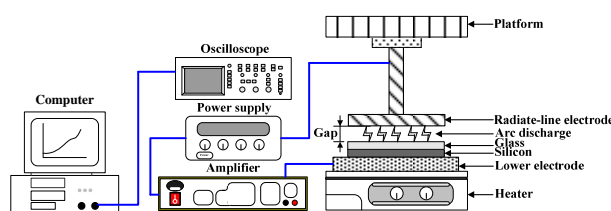


圖 1 實驗設備架構示意圖

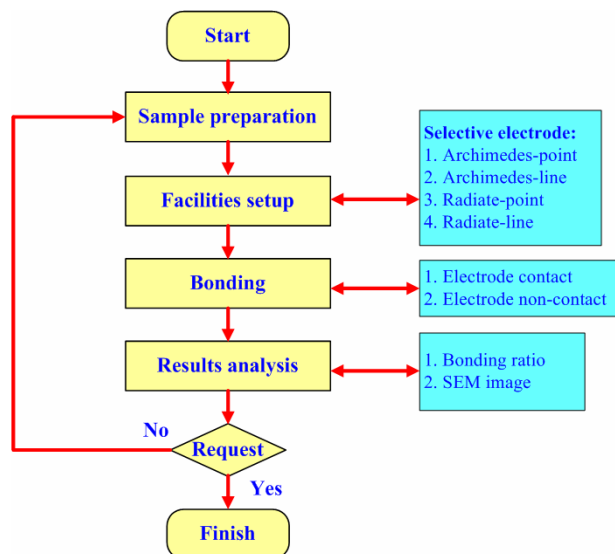


圖 2 實驗流程圖

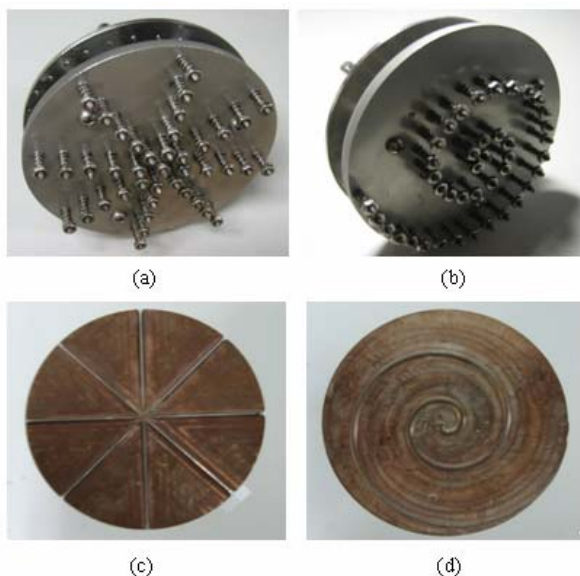


圖 3 各式不同陣列與形狀之電極完成圖

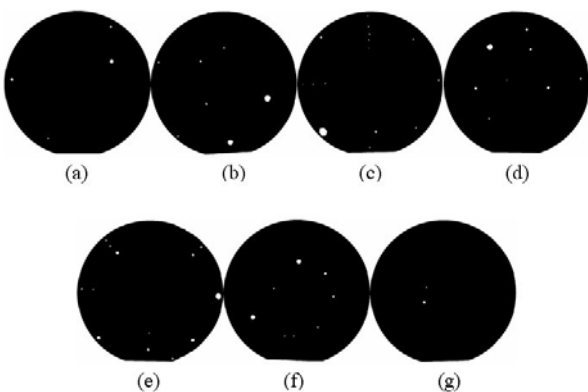


圖 4 四吋晶片接合後之影像處理圖

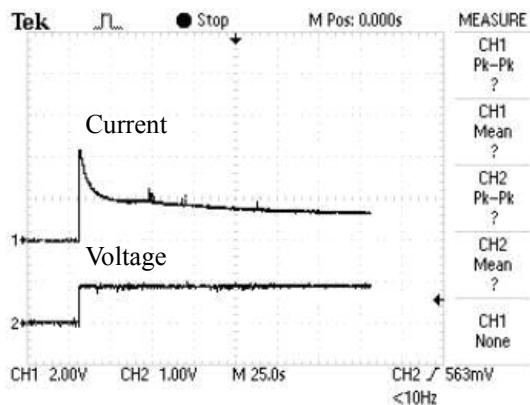


圖 5 傳統接觸接合之電壓及電流圖

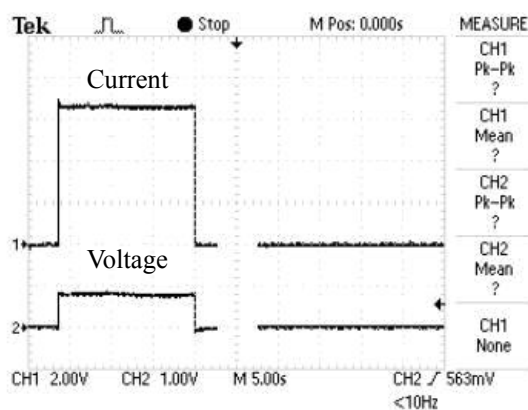


圖 6 新式電弧放電接合之電壓及電流圖

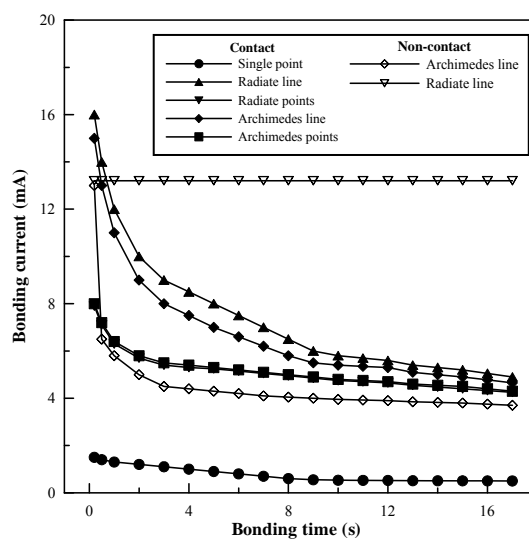


圖 7 不同接合方式的電流曲線圖

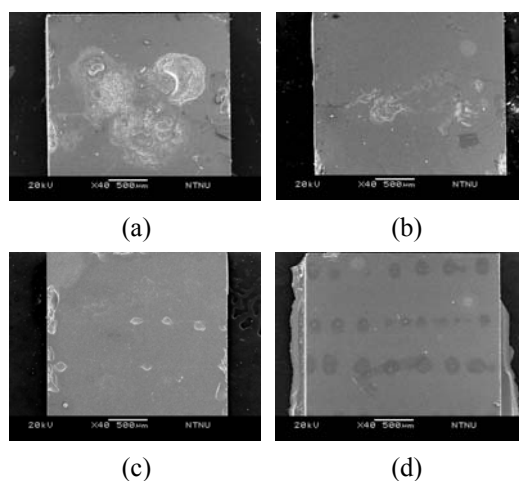


圖 8 試片接合後表面 SEM 圖

Research on speed and quality of anodic bonding by applying arc discharge

¹C. R. Yang, ¹J. W. Wu, ²L. Y. Chang,
¹Y. F. Gu, ²W. W. Liu

¹Department of Mechatronic Technology,
National Taiwan Normal University.

²Department of Industrial Education,
National Taiwan Normal University.

ABSTRACT

Anode bonding technology commonly used in the micro-electromechanical components assembly, which is the micro-electromechanical system - which is heavily dependent on a bonding technology, the anode is to use interface for high-temperature energy, glass metal ions (Na^+) dissociation, but the high temperature thermal stress will have problems, but will also affect the chip on the tiny structure. How to identify lower temperature or expediting the integration of the time, so the impact of heat to a minimum, the Institute is the pursuit of the goal. By expediting the integration time, the electrode geometry can cause different interface effects, the reason is that when leads to the DC voltage, the first occurrence of the phenomenon of the interface on the glass electrode contact with the bottom. The past has been the use of needle-electrode with a helical configuration, though to be effective in improving the interface of the time, but lowering the time required for the interface limited to truly achieve real fast interface. So this study presents a new interface of the arc-discharge method, paired with a special electrode geometry of the arrangement, the anode to improve the speed of the interface and bubbles. The experimental results confirmed that the use of radial line in determining electrode voltage 900 V, 400 °C temperature and discharge gap 120 μm conditions, for a four-inch chip interface, the interface of time is about 17 seconds, and can interface to yield around 99.95 %.

Keywords: anodic bonding technology, arrangement of special electrode, arc discharge, discharge gap.