

晶圓局部接合技術應用於 微機電系統之研究

本文提供低溫、局部的晶片接合技術，用以解決表面微細加工的 3-D 微結構之接合瓶頸。其中接合晶片之介質層是選由低玻璃轉換溫度的光阻性高分子材料，它不僅可控制介質層的厚度，亦可經由 UV 光選擇欲接著之位置與形狀。這些旋塗於晶片表面的接合介質層材料，可依所需定義出適當的線寬，經實驗得其接合溫度約為 100 °C，在不需任何工作電壓且接合壓力為 5 N 及 10^{-4} mbar 的真空環境下進行晶圓接合。由實驗結果顯示，其不僅可避免介質層內產生氣泡，更將非接合線寬維持在 5 μm 以下；接合強度以 SU-8 作為介質層時，可達 206 kg/cm^2 最為出色。故此晶片接合技術將憑藉可選擇局部接合位置、低結合溫度與高接合強度等優點，應用於表面微細元件與積體電路整合之設計。

沈聖智、潘正堂、周懷樸、周敏傑

一、緣由

近年來，表面與基體微細加工已廣泛的應用於微細元件的製造上，使微機電系統元件 (MEMS)、感測器 (sensor) 與超大型積體電路 (VLSI) 的設計得

沈聖智先生為國立清華大學工程與系統科學系博士班學生。

周懷樸先生為美國普渡大學工程博士，現任國立清華大學工程與系統科學系教授。

潘正堂先生為國立清華大學動力機械研究所博士，現任工業技術研究院機械工業研究所微機電部研究員。

周敏傑先生為國立清華大學材料科學工程研究所博士候選人，現任工業技術研究院機械工業研究所微機電部經理。

由平面拓展為立體結構⁽¹⁻²⁾。因此矽晶片的接合技術已成為製作微細系統元件的主要關鍵技術，尤其在整合元件的應用上更為重要。

一般矽晶片的接合技術概分為熔融 (fusion) 接合、直接 (direct) 接合、陽極 (anodic) 接合及共晶 (eutectic) 接合等技術。其中熔融接合技術，容易因高溫環境 (700 - 1100 °C) 使得前段元件製程如沈積、摻雜及蒸鍍等材料產生熱應力，導致接合介面翹曲或造成接合晶片破裂，影響元件系統的功能，降低其生產良率⁽³⁾。陽極接合技術，因使用高電壓 (300 - 1000 V) 引發高電場，影響電子元件的工作性能，尤其對積體電路與微細結構的接合影響甚巨⁽⁴⁾。直接接合技術，其接合機制主要是利用親水性矽晶片表面的氫 - 氧鍵產生的接合力量，因此矽晶

片表面的潔淨度與其相對粗糙度，將是決定接合強度的關鍵因素，因晶片接合步驟屬於後段製程，故當晶片經多次製程處理後，其表面的相對粗糙度加大，是造成接合良率過低的主因⁽⁵⁾。共晶接合技術是將晶片間的金屬薄膜熔融後接合而成，但其方法易造成晶片表面的污染，進而影響微細元件之性能及可靠度⁽⁶⁾。採用有機物質作為黏著材料的論文雖有 Besten⁽⁷⁾ 與 Spierings⁽⁸⁾ 等論文提及，但僅討論氣泡的解決方法及其接合強度的評估，因受限於光阻性高分子材料種類過少之緣故而無深入之探討⁽⁸⁾。上述所提的接合技術均缺乏選擇性，無法使晶片作局部性的接著，故對經表面微細加工而成的微細元件作晶片結合時有製程上的困難，使晶片接合技術被限制於應用在少數的製程上。

本論文採用光阻性高分子材料，提供可定義局部介質層的概念，不但可選擇晶片的接著位置，而且低接合溫度可減少內應力問題，與傳統的晶片結合技術比較亦有出色的接合強度。故此技術可隨元件面積及高度建構介質接著層，使製作於晶片表面的微細結構元件可藉此新技術得到更寬廣的應用。同時本文也一併提出接合後晶片介質層的快速觀察法、接合強度的測試與介質層材料的應力與應變評估，供後續研究參考。

二、接合製程與實驗方法

晶片接合技術屬後段製程，因此晶片接合製程均需有溫度及相關參數的考量。所以介質材料的選用，除須具備有可定義圖形的特性、低玻璃轉換溫度 (T_g) 及黏稠係數高等考量因素外，在接合冷卻後仍需有較佳的緻密性及低內應力，因此本研究由各類光阻中挑選較適合接著的材料為 SU-8、JSR、AZ-4620 與 SP-341 等作為矽晶片接合的介質層，這些介質材料的特性穩定且常見。

利用接合介質材料作為矽晶片接合技術通常必須有兩個重要步驟。首先將介質材料塗佈於矽晶片表面，利用 UV 光定義局部接著位置。其次，將兩矽晶片互相對準定位，送至真空腔內加溫、加壓完成接合動作。如圖 1 所示晶片接合試驗的製程圖，首先是採用 4 吋 (100) 的矽晶片，其厚度為 $525 \pm$

$20 \mu\text{m}$ ，為避免矽晶片表面的微塵粒子影響晶片接合品質，故在使用光阻塗佈機接合之前，晶片需經微量氮氣吹拂，再將選用的接合介質材料旋塗於矽晶片表面，介質層的厚度可由旋轉速度控制如圖 1(a) 所示。為減少晶片接合時介質層中產生氣泡影響兩矽晶片接合品質，可將已旋塗光阻材料的矽晶片放入烤箱中烘烤，並加以微量的氮氣，使光阻材料所含的水氣得以完全蒸發。再由曝光、顯影定義矽晶片接著部位如圖 1(b) 所示。然後將兩矽晶片經光罩對準機將其接合位置對準、定位後，送入晶片接合機台的真空腔中，抽真空至 10^{-4} mbar 的真空環境中，拉開隔離片使兩晶片在 5 N 的正向壓力下執行接合製程如圖 1(c) 所示。再依據介質材料特色給予適當接合溫度與接合時間，矽晶片接合製程所使用的接合機台為 Electric EV503，示於圖 2。

為了方便觀看接合後矽晶片之介質層是否仍存有氣泡，其方法概分有 (1) 將矽晶片結合後再加以

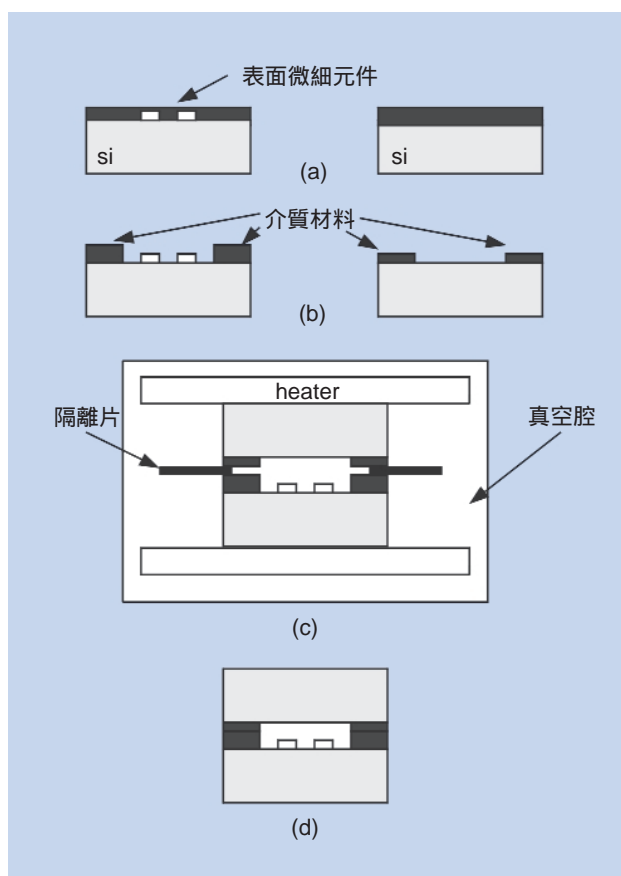


圖 1. 矽晶片接合的製程圖。

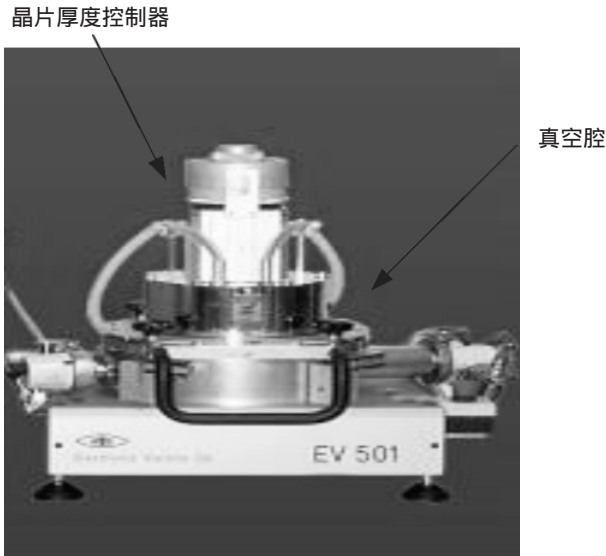


圖 2. 晶片接合設備圖。

剝離，即可觀察介質層是否存在有氣泡的現象；(2) 將接合完成的晶片，選擇其中之晶片表面加以蝕刻成矽薄膜，以利於觀看介質層中的現象；(3) 利用紅外線光與紅外線攝影機觀看⁽⁹⁻¹⁰⁾。前兩者為破壞性量測法，需破壞元件結構才能得知量測結果。後者為非破壞性量測，所需的紅外線量測設備便利性不足。有鑑於此，為方便取得矽晶片接合後介質層的情況，本文直接採用薄玻璃片與矽晶片接合，可由顯微鏡觀察介質層是否有氣泡存在，或晶片間是否有氣隙存在。

在矽晶片接合強度測試，是將接合後的矽晶片經晶圓切割機切割成面積為 1 cm × 1 cm 的晶粒，再將晶粒試片黏著於拉伸機的夾具上，並給予垂直於晶粒的正向拉應力，以評估各種介質材料的接合強度及其拉應力與應變的變化關係，並觀察不同接合參數與各種介質材料的接合情況。

三、結果與討論

本文使用多種光阻性高分子材料作不同製程參數的晶片接合研究，其接合強度是經由拉伸試驗來驗證。其優點為能主動局部定義介質層位置於矽晶片表面、重建平坦的接合介面以消除兩接著介質層的氣隙，增強接合強度、減低接合溫度以減少晶片

接合後的內應力問題，光阻性高分子材料不含任何金屬物質，不致污染晶片表面及晶片深層內結構而影響微細元件的功能。

圖 3 所示為介質材料的接合溫度與平均接合強度之曲線圖。當接合溫度在 80 - 100 °C 時，介質材料達到表面活化溫度，使兩晶片表面的介質材料能緊密接合。如 SU-8 接合介質層，當接合溫度至 90 °C 時，其平均接合強度可為 206 kg/cm²；致於 JSR 光阻性材料，當接合溫度到達 95 °C 時，其晶片接合強度為 126 kg/cm²；AZ-4620 的光阻性材料，當接合溫度到達 80 °C 時，其晶片接合強度是 46 kg/cm²；對於 SP-341 高分子材料，當接合溫度到 100 °C 時，其晶片接合的平均強度為 103 kg/cm²。由實驗數據得知，屬於厚膜光阻材料的 SU-8 與 JSR 具有較大的接合強度，再利用其可建構高深寬比的特性，配合表面微細元件之面積及高度，製作適合此類元件的接著介質層，故此厚膜光阻材料可應用於表面具微細結構的晶片接合之介質層。此外，圖 4 為接合後的晶粒經拉伸測試後的斷裂表面圖，可由圖中的接著區域觀察得其表面形態為延展性斷裂狀，且無任何由氣隙形成的破裂處，故其斷裂表面可判別是由拉伸機所提供的正向應力造成。至於非接著區域則是利用 UV 光顯影技術定義出的一處空腔，可為表面微細元件的製程區。

圖 5 是接合溫度與各種不同的光阻性高分子材料，加以適當的接合正向壓力與接合強度之曲線圖，其中 SP-341 在接合正向壓力大於 5 N 後，接

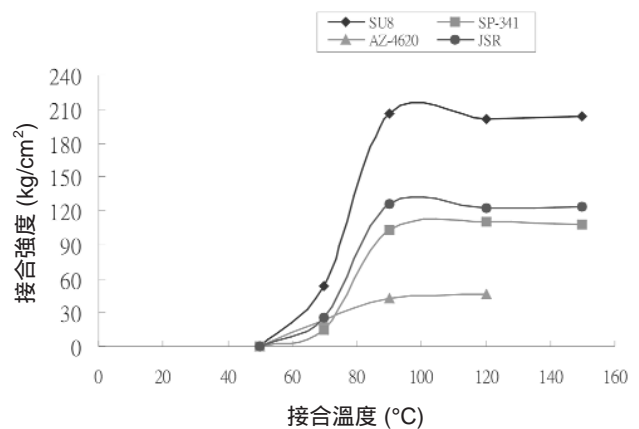


圖 3. 接合強度與接合溫度之關係圖。

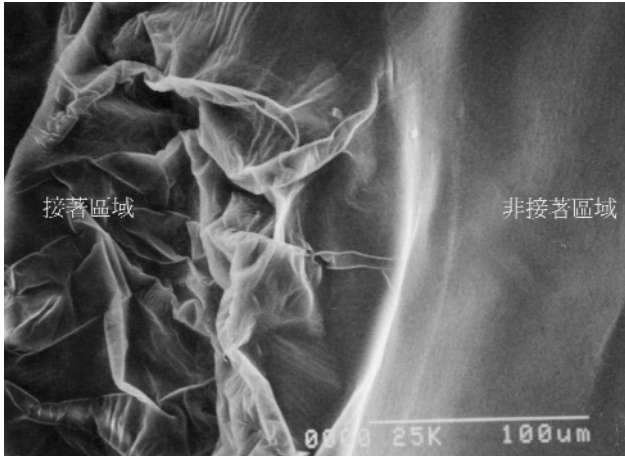


圖 4. 晶片接合介質層的斷裂表面圖。

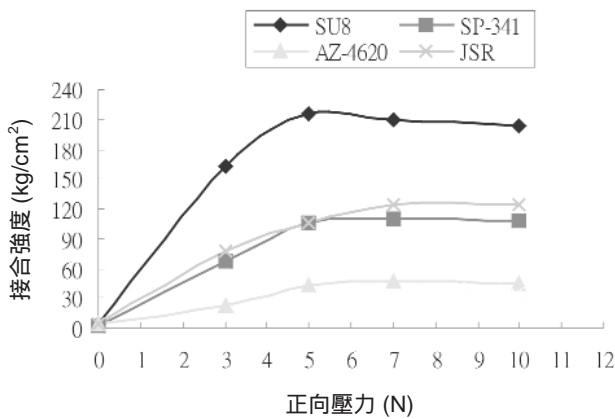


圖 5. 接合強度與正向壓力之關係圖。

合強度即呈現緩慢增加，而 SU-8 與 JSR 則在大於 7 N 後，接合強度亦出現平緩的趨勢。因此晶片接合時所設定的接合正向壓力與介質層的厚度及晶片表面的平坦性有關，若接合壓力過小，容易因晶片表面相對平坦度的差異造成介質層產生氣隙，將導致兩晶片無法完成接合，影響晶片接合強度；若接合壓力過大，矽晶片容易因表面的微小塵粒導致晶片破裂或壓迫到空腔體積，影響空腔內正常作動的微細結構元件。故設定適當的正向壓力對晶片接合而言是重要的製程參數。

本研究特別在拉伸實驗得知，利用光阻性高分子材料作為介質層的接合技術其所承受的接合強度約在 80 - 210 kg/cm²，其介質層的應變值以高分子材料的 SP-341 最為顯著，約為 1.5，而介質層材料

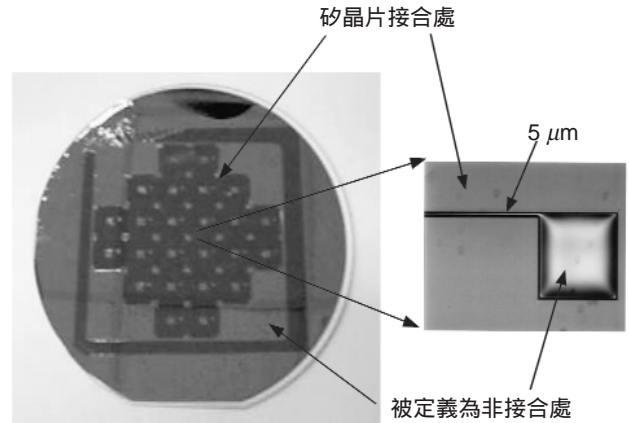


圖 6. 矽晶片的接合完成圖。

中接合強度能力較好的 SU-8 其應變值約為 0.5。至於 AZ-4620、JSR 等材料的應變值均為 0.4 - 0.6 之間。故由上述資料得知 SU-8 在接合後其介質層將變得較硬，而 SP-341 的介質層材料仍保有彈性。因此介質層的選用，可由表面微結構的需求及以數據為準則設計。

使用 SU-8 當做介質層材料所接合而成的照片如圖 6 所示。為了方便觀察矽晶片接合後其介質層是否有氣泡或其他缺陷存在，故將上方的矽晶片更改成透明薄玻璃，其厚度約為 1 mm。在照片中顏色較深的圖案為接著層，其餘部分為非接合處。由薄玻璃層可觀察其介質層無任何氣泡及缺陷存在，再由顯微鏡放大 200 倍觀察，光線較亮的區域為封閉的空腔，最細的線寬可達 5 μm 以下，圖案以外的部份為接著介質層，在圖中可更清楚看到晶片接著部分無任何氣泡存在。圖 7 所示是以 SEM 觀察晶片接合元件的截面圖，圖中的空腔是被定義出的非接合的部分，可作為微細元件的製程區域。故利用可定義局部接著介質層的晶片接合技術，可使晶片表面的微細元件、微感測器與積體電路作整合封裝工作，完成 3-D 微結構的微機電系統。

四、結論

本文所提供的可定義局部接著層且低溫的晶片接合技術，用以解決晶片接合技術在表面微細加工的微結構元件之結合瓶頸。其中晶片之介質層是選

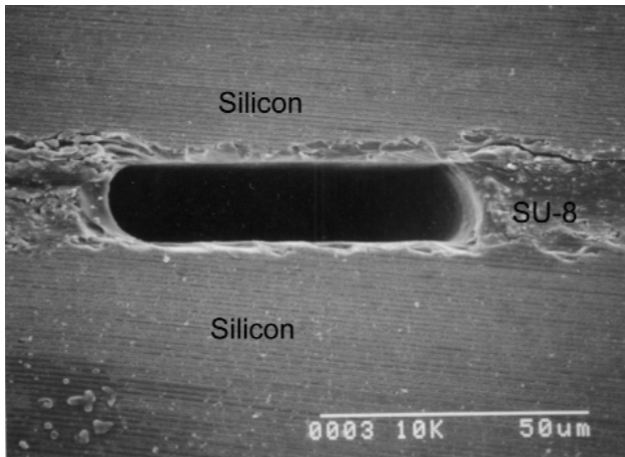


圖 7. 矽晶片接合之截面圖。

由低玻璃轉換溫度的光阻性高分子材料，它不但可控制介質層的厚度，亦可經由 UV 光選擇欲接著之位置與形狀。經實驗得知其接合溫度約為 100 °C，且在接合壓力為 5 N 及 10^{-4} mbar 的真空環境下進行晶圓接合。實驗結果顯示，因不需任何工作電壓，可避免元件遭受電場及磁場的破壞；接合溫度低，適用於封裝微細流體結構與低溫後段製程；在真空環境中進行接合工作，可避免介質層內產生氣泡，且非接合線寬可維持在 5 μm 左右；接合強

度以 SU-8 作為介質層時可達 206 kg/cm² 最為出色。故本矽晶片結合技術將憑藉可選擇局部接合位置、結合溫度低與接合強度高等優點，應用於表面微細元件與積體電路整合之設計。

參考文獻

1. Martin A. Schmidt, *Proceedings of the IEEE*, **86** (8), 1575 (1998).
2. Philip W. Barth, *Sensors and Actuators*, **A21**, 919 (1990).
3. A. Berthold, B. Jakoby, and M. J. Vellekoop, *Sensor and Actuators*, **A68**, 410 (1998).
4. H. J. Quenzer, C. Dell, and B. Wagner, *IEEE*, 272 (1996).
5. G. Krauter, A. Schumacher, and U. Gosele, *Sensor and Actuators*, **A70**, 271 (1998).
6. R. F. Wolffenbuttel, *Sensor and Actuators*, **A62**, 680 (1997).
7. C. Besten, R. E. G Hal, J. Munoz, and P. Bergveld, *Micro Electro Mechanical System '92 Travemunde* (Germany), 104, February (1992).
8. P. Arquint, P. D. Wal, B. H. Schoot, and N. F. Rooij, *The 8th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Eurosensors IX*, 263 June (1995).
9. F. Niklaus, P. Enoksson, E. Kalvesten, and G. Stemme, *Proc. MEMS*, 106 (2000).
10. P. Krause, M. Sporys, E. Obermeier, K. Lange, and S. Grigull, *The 8th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators, and Eurosensors IX*, 228, June (1995).