



在三維積體電路封裝上 使用奈米雙晶銅製作 幾近無孔洞的 Cu₃Sn微凸塊

Nearly Void Free Cu₃Sn Microbumps

with Nanotwinned Cu Metallization for 3D IC Integration

陳智

國立交通大學
材料科學與工程學系
教授

杜經寧

美國加州大學
洛杉磯分校
材料科學與工程學系
教授

邱韋嵐

國立交通大學
材料科學與工程學系
博士生

蕭翔耀 劉健民

林漢文

國立交通大學
材料科學與工程學系
博士

關鍵詞(Keywords)

- 奈米雙晶銅 Nanotwinned Cu
- 微凸塊 Microbump
- 全介金屬接合 Full Intermetallic Compounds Joint

摘要(Abstract)

在 3DIC 中晶片與晶片之間以銅錫材料的微凸塊作接點，為先進封裝的重要議題，我們在高密度(111)優選方向的奈米雙晶銅上電鍍純錫並且迴焊形成 Cu₃Sn 介金屬化合物當接點，在奈米雙晶銅墊上分別電鍍出 0.44 微米、1 微米、10 微米的純錫與一般銅膜上電鍍 60 微米的純錫，然後覆

晶迴焊分別在 260 °C 與 340 °C 下持續不同的時間觀察其界面反應與形成 Cu₃Sn 接合的孔洞生成。實驗結果在奈米雙晶銅上 Cu₃Sn 層裡幾乎沒有 Kirkendall 孔洞產生，因為奈米雙晶銅具有吸收空位與降低雜質存在於晶粒中。此 Cu₃Sn 接合能夠成為 3DIC 封裝中值得發展的技術。

In microbumps of 3D IC integration, Cu and Sn have been used for interconnect materials. In this paper, we use densely-packed nanotwinned Cu for metallization, and electroplated Sn to reflow to form Cu₃Sn joints. First we electroplated Sn of 0.44 μm, 1.0 μm, and 10 μm on the nanotwinned Cu. We also electroplated Sn of 60 μm. Then we reflow the joints at 260 °C and 340 °C to form Cu₃Sn joints. The results show that there are almost no Kirkendall voids in the nanotwinned Cu and in the Cu₃Sn



layers. This may be attributed to that the nanotwinned Cu may be able to absorb vacancies and the nanotwinned Cu may have low impurities. This Cu_3Sn may be a potential joints for application in 3D IC vertical joints.

1. 前言

微積體電路簡稱 3DIC 是指堆疊不同的晶片並將多顆晶片進行三維空間垂直整合，晶片與晶片之間以銅錫材料的微凸塊作接點，因為錫潤濕在銅效果上比鎳好[1, 2]。對於銅錫系統的冶金反應持續被研究，在冶金反應上會形成 Cu_6Sn_5 與 Cu_3Sn 兩種介金屬化合物(IMCs) [3-6]，由於電子元件需要更多的 I/O 元件，在同一面積下需要製造更多元件，隨著晶片內的開關元件密度越高，覆晶接點直徑也需要繼續縮減。在直徑 100 微米的微凸塊中，鎳錫的體積遠大於銅金屬墊的體積。然而鎳錫的直徑從 100 微米縮小到 20 微米，鎳錫的體積也就縮減到原來的 1/125 倍。在此條件下，微凸塊中金屬墊層的體積變成大於鎳錫的體積，並且鎳錫會很容易完全轉變成介金屬化合物，因此介金屬化合物的性質將會是穩定性的關鍵。研究指出在微凸塊越來越小與焊料越來越少下，銅-錫介金屬化合物在電子封裝已經變得相當重要[7-11]，文獻指出 Cu_6Sn_5 與 Cu_3Sn 有相當好的機械性質，在熔點溫度，楊式係數與硬度的性質表現都比錫來的好[12-16]。其中 Cu_3Sn 的脆性係數的數值為 $5.72 \text{ MPa/m}^{1/2}$ 是 Cu_6Sn_5 的數值為 $2.80 \text{ MPa/m}^{1/2}$ 的兩倍，表示 Cu_3Sn 比 Cu_6Sn_5 更有能力

防止脆斷變形。在熔點上， Cu_3Sn 的熔點為 675°C 比 Cu_6Sn_5 的 415°C 與錫的 232°C 都還高，足以抗高熱防止固態熔融。在電阻上， Cu_3Sn 的電阻為 $8.8 \mu\Omega\text{cm}$ 比 Cu_6Sn_5 的 $17.6 \mu\Omega\text{cm}$ 與錫的 $12 \mu\Omega\text{cm}$ 還低，表示 Cu_3Sn 完全接合能減少耗能。在楊式係數上， Cu_3Sn 值為 108.3 GPa 比 Cu_6Sn_5 值 85.56 GPa 與錫值 50 GPa 都還高，表示 Cu_3Sn 具有高強度，可以更有效抵抗電遷移的破壞，以及具有較佳的機械性質[14]。從機械性質比較， Cu_3Sn 比 Cu_6Sn_5 與錫更適合當微凸塊的接點材料。

根據介金屬的良好性質，有實驗嘗試利用 25 微米錫箔與兩片 10 微米銅箔形成三明治結構迴焊反應形成中間層為 Cu_3Sn 層，並且把 Cu_3Sn 層的厚度控制在 10 微米以下且沒有孔洞產生[17]，使用一般的電鍍銅與錫反應在低於 1 微米的鎳錫層迴焊一段時間也可以產生 Cu_3Sn 層，但在 Cu_3Sn 層中發現有微米大小的孔洞產生[18]。但是形成 Cu_3Sn 微凸塊的溫度太高或時間太久，且用銅與錫箔製作不適用於電子封裝，電子封裝中是使用電鍍銅當作金屬墊層與導線，一般電鍍銅與錫冶金反應形成 Cu_3Sn 會有 Kirkendall 孔洞產生，進而影響微電子封裝的穩定性[19-22]。因此，H. Y. Hsiao 等人[23]研究使用高密度優選方向[111]奈米雙晶銅柱狀晶當金屬墊層，其中厚度為 20 微米，奈米雙晶銅墊層與 Sn3.5Ag 先在 260°C 迴焊形成接點，然後在 150°C 下退火熱儲存形成 Cu_6Sn_5 與 Cu_3Sn 的介金屬接點，在冶金反應中沒有發現孔洞產生。在此實驗，我們會使用奈米雙晶銅當作金屬墊層，製作鎳錫為純錫的微凸塊，選擇溫度 260°C 與 340°C 當做迴焊溫度，並且改變鎳錫高度迴焊製成 Cu_3Sn 接點，觀測形成 Cu_3Sn 接合的

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】389期・104年9月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌信箱：jmi@itri.org.tw