

七. 結論

綜合本文研究所得的結果，可得到以下結論：(可見表 6.20 及 6.21)

7.1 IMC 實驗

1. 鐸點經等溫時效作用後，在 63Sn-37Pb 界面會先形成 Ni_3Sn_4 層，經 480 小時後又會在其上方形成 $(\text{Au},\text{Ni})\text{Sn}_4$ 層；而在 Sn-3.5Ag 和 Sn-4Ag-0.5Cu 界面則分別只形成一層 Ni_3Sn_4 和 Cu-Ni-Au-Sn。
2. $\text{Ni}_3\text{Sn}_4(\text{SA})$ 和 Cu-Ni-Au-Sn 的擴散係數對於溫度變化並不敏感，然而 $(\text{Au},\text{Ni})\text{Sn}_4$ 的擴散係數卻對溫度變化十分敏感。
3. $(\text{Au},\text{Ni})\text{Sn}_4$ 、 $\text{Ni}_3\text{Sn}_4(\text{SA})$ 和 Cu-Ni-Au-Sn 於鐸點界面生成時所需克服的致動能分別為 134.8KJ/mol、54.65KJ/mol 和 33.96KJ/mol。
4. 經等溫時效作用後，界面 IMC 層的厚度以 $(\text{Au},\text{Ni})\text{Sn}_4$ 最厚，Cu-Ni-Au-Sn 次之，而 $\text{Ni}_3\text{Sn}_4(\text{SA})$ 最薄。但 $\text{Ni}_3\text{Sn}_4(\text{SA})$ 對 Ni 層的消耗卻大於 Cu-Ni-Au-Sn。
5. 63Sn-37Pb 鐸點強度會隨溫度及時效時間的增加而降低；Sn-3.5Ag 鐸點的強度變化經等溫時效作用 1000 小時後並無特別規律；而 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點強度受時效作用的影響並不明顯，但卻對溫度相當敏感，高溫條件下會有較大的剪力強度，但仍小於原始強度。
6. 三種鐸點中以 Sn-4Ag-0.5Cu 的剪力強度最大，Sn-3.5Ag 次之，而 63Sn-37Pb 最差。但若就鐸點的原始強度(0 小時)而言，Sn-4Ag-0.5Cu 仍是最大，可是 63Sn-37Pb 鐸點的強度卻高於 Sn-3.5Ag 鐸點，因此可知無鉛鐸點抗高溫及抗時效的能力優於 63Sn-37Pb 鐸點，其中又以 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點更佳。
7. Sn-3.5Ag 與 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點的破壞模式均為鐸料延性破壞，並無破壞模式的轉換，然而 63Sn-37Pb 鐸點則會隨溫度及時效時間的增加而由最初的鐸料延性破壞轉換成界面 IMC 脆性破壞。

7.2 無鉛鉚點靜態及潛變實驗

1. 當溫度升高時，無鉛鉚點的強度會降低，但可承受較大的變形(延展性增加)，且 Sn-4Ag-0.5Cu 受溫度的影響略小於 Sn-3.5Ag，在室溫下二者的強度約略相同，但隨著溫度升高後，Sn-4Ag-0.5Cu 的強度將大於 Sn-3.5Ag，因此可知 Sn-4Ag-0.5Cu 的抗高溫能力優於 Sn-3.5Ag。
2. 大致上可將 Sn-3.5Ag 與 Sn-4Ag-0.5Cu 鉚點的(工程)應力-應變曲線近似為線彈性-完全塑性行為。無鉛鉚點異常大的塑性變形推測與材料的超塑性行為有關。
3. 溫度及應力等級的增加將造成 Sn-3.5Ag 及 Sn-4Ag-0.5Cu 鉚點的穩態潛變率增大，而導致鉚點提前發生破壞。
4. 由 Arrhenius Power law 可得到 Sn-3.5Ag 及 Sn-4Ag-0.5Cu 鉚點在 25°C~150°C 的應力指數分別介於 4.31~11.7 和 4.19~12.3，因此可知應力指數深受溫度的影響，當溫度升高後應力指數將逐漸變小。而 Sn-3.5Ag 及 Sn-4Ag-0.5Cu 鉚點的致動能則分別介於 44.01~74.83KJ/mol 和 71.69~80.03KJ/mol，因此可知應力等級對 Sn-3.5Ag 鉚點致動能的影響大於 Sn-4Ag-0.5Cu 鉚點。
5. Sn-3.5Ag 與 Sn-4Ag-0.5Cu 鉚點在不同溫度/應力等級下的潛變行為均可用 Dorn 方程式及雙曲線正弦函數以單一主潛變曲線描述。
6. Sn-3.5Ag 的穩態潛變率大於 Sn-4Ag-0.5Cu，且 Sn-4Ag-0.5Cu 鉚料內的 Cu-Sn(Cu₆Sn₅)亦是差排移動時的阻礙，所以 Sn-4Ag-0.5Cu 的致動能大於 Sn-3.5Ag，因此 Sn-4Ag-0.5Cu 的潛變阻抗大於 Sn-3.5Ag。
7. 推論 Sn-3.5Ag 及 Sn-4Ag-0.5Cu 鉚點的潛變機制為管道擴散所主導，潛變變形的發生則與差排的滑移及爬升有關。