

目錄

摘要.....	I
目錄.....	II
表目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
符號表.....	XI
一. 導論.....	1
1.1 電子構裝.....	1
1.2 印刷電路板組裝---BGA 構裝技術.....	3
1.3 綠色環保構裝技術---無鉛錒料.....	6
二. 研究動機.....	9
三. 文獻回顧.....	11
3.1 電解電鍍 Ni/Au 與無電鍍 Ni/Au.....	11
3.2 IMC 對錒料之影響.....	14
3.2.1 Sn-Pb 錒料.....	14
3.2.2 無鉛錒料.....	16
3.3 IMC 對 UBM 之影響.....	21
3.4 IMC 與尺寸效應.....	24
3.5 錒料的機械性質.....	25
3.6 錒料的潛變特性.....	30
3.7 錒料塊材與錒點之差異.....	34
四. 理論基礎.....	36
4.1 擴散理論及 IMC 成長.....	36
4.2 潛變.....	39
4.3 擴散與潛變.....	43

五. 研究方法.....	47
5.1 實驗設備.....	47
5.2 試片組成.....	51
5.3 IMC 實驗方法.....	52
5.3.1 IMC 試片製作.....	52
5.3.2 IMC 成長實驗及剪力推球測試.....	53
5.4 靜態與潛變實驗方法.....	54
5.4.1 潛變試片製作.....	54
5.4.2 潛變實驗.....	54
5.5 金相觀察.....	55
六. 初步成果.....	58
6.1 IMC 實驗.....	58
6.1.1 IMC 成長機制.....	59
6.1.2 鐸點剪力強度與破壞機制.....	69
6.1.3 三種鐸點強度的比較及負載-位移曲線分析.....	77
6.2 無鉛鐸點靜態與潛變實驗.....	79
6.2.1 靜態實驗.....	80
6.2.2 潛變實驗.....	88
6.2.3 Sn-3.5Ag 與 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點潛變機制.....	97
6.2.3 鐸料塊材與鐸點的差異.....	100
七. 結論.....	102
7.1 IMC 實驗.....	102
7.2 靜態與潛變實驗.....	103
八. 參考文獻.....	104

表目錄

表 1.1 日本無鉛鐸料時程表.....	110
表 1.2 歐洲無鉛環境時程表.....	110
表 1.3 鉛在各產品中的消耗量.....	111
表 1.4 主要的無鉛鐸料組成.....	111
表 1.5 具潛力的無鉛鐸料.....	112
表 2.1 重要的鐸料性質.....	112
表 3.1 63Sn-37Pb 與 Sn-3.5Ag 性質比較.....	112
表 3.2 迴焊用合金的比例分佈.....	113
表 3.3 常用的 Sn-Ag-Cu 鐸料組成.....	113
表 3.4 Sn-Ag-Cu 的專利問題.....	114
表 3.5 Sn-Ag-Cu 合金製造時允許的公差範圍.....	114
表 5.1 PCB 基材的主要特性.....	114
表 6.1 63Sn-37Pb (Au-Ni-Sn)的厚度成長.....	115
表 6.2 63Sn-37Pb (Ni-Sn)的厚度成長.....	115
表 6.3 63Sn-37Pb (Au-Ni-Sn)+(Ni-Sn)的總厚度.....	115
表 6.4 Sn-3.5Ag (Ni-Sn)的厚度成長.....	116
表 6.5 Sn-4Ag-0.5Cu (Cu-Ni-Au-Sn)的厚度成長.....	116
表 6.6 擴散係數(D)與溫度的關係.....	117
表 6.7 IMC 之致動能與擴散常數.....	117
表 6.8 鐸點原始剪力強度(0 小時).....	117
表 6.9 鐸點經時效作用 120 小時後之剪力強度.....	118
表 6.10 鐸點經時效作用 480 小時後之剪力強度.....	118
表 6.11 鐸點經時效作用 1000 小時後之剪力強度.....	118
表 6.12 63Sn-37Pb 鐸點經等溫時效作用後的破壞面(EDX 分析).....	119

表 6.13 各鉛料之剪力模數.....	119
表 6.14 Sn-3.5Ag 鉛點的穩態潛變率平均值.....	120
表 6.15 Sn-4Ag-0.5Cu 鉛點的穩態潛變率平均值.....	120
表 6.16 Sn-3.5Ag 在三種不同潛變模型下之材料參數表.....	121
表 6.17 Sn-3.5Ag 應力指數及致動能之比較.....	121
表 6.18 Sn-4Ag-0.5Cu 在三種不同潛變模型下之材料參數.....	122
表 6.19 Sn-Ag-Cu 應力指數及致動能之比較.....	122
表 6.20 鉛點 IMC 實驗結果之比較.....	123
表 6.21 鉛點潛變實驗結果之比較.....	123



圖目錄

圖 1.1 電子構裝各階層示意圖.....	124
圖 1.2 半導體晶片的向外連接.....	124
圖 1.3 UBM 的組成結構.....	125
圖 1.4 TSMC 之鐳料凸塊製作流程圖.....	125
圖 1.5 IC 組裝流程圖.....	126
圖 1.6 PTH 構裝元件截面圖.....	127
圖 1.7 引腳式表面黏著技術截面圖.....	127
圖 1.8 PBGA 構裝元件截面圖.....	127
圖 1.9 FC-BGA 構裝元件透視圖.....	128
圖 1.10 FC-BGA 組裝流程圖.....	128
圖 2.1 CTE 不匹配造成的熱應力示意圖.....	128
圖 4.1 發生擴散需克服之能障(致動能)示意圖.....	129
圖 4.2 典型的潛變曲線.....	129
圖 4.3 空缺擴散.....	130
圖 4.4 間隙擴散.....	130
圖 4.5(a)晶界擴散(b)差排核擴散.....	130
圖 4.6 材料的變形機制圖.....	131
圖 4.7 擴散潛變.....	131
圖 4.8 差排潛變.....	131
圖 4.9 差排滑移及爬升機制.....	132
圖 4.10 微細晶粒的金屬及合金在高溫下之潛變變形機制.....	132
圖 4.11 63Sn-37Pb 的變形機制圖.....	132
圖 5.1 實驗流程圖.....	133
圖 5.2 Instron 8848 微拉伸試驗機.....	134

圖 5.3 氣動式夾具	134
圖 5.4 微拉伸試驗機外掛溫/溼度控制箱	134
圖 5.5 研磨/拋光機	135
圖 5.6 高溫烤箱	135
圖 5.7 超音波清洗機	135
圖 5.8 Cu/Ni/Au 表面處理	135
圖 5.9 錫球的迴焊曲線	136
圖 5.10 剪力推球試片製作流程圖	136
圖 5.11 剪力推球試片示意圖	136
圖 5.12 JEDEC STANDARD-BGA Ball Shear	137
圖 5.13 潛變試片示意圖	137
圖 5.14 潛變試片黏著至夾具之流程圖	138
圖 5.15 潛變實驗的夾具圖	138
圖 5.16 鑲埋的流程圖	139
圖 6.1 迴焊後的 63Sn-37Pb 鐸點外觀圖	140
圖 6.2 63Sn-37Pb 經 125°C 時效作用之 IMC 厚度成長	140
圖 6.3 63Sn-37Pb 經 150°C 時效作用之 IMC 厚度成長	141
圖 6.4 63Sn-37Pb 經 175°C 時效作用之 IMC 厚度成長	141
圖 6.5 63Sn-37Pb 鐸點界面 IMC 的成份分析	142
圖 6.6 63Sn-37Pb 鐸點界面 IMC 的成份分析	142
圖 6.7 63Sn-37Pb 鐸點界面 IMC 層厚度與時效時間的關係	142
圖 6.8 迴焊後的 Sn-3.5Ag 鐸點外觀圖	143
圖 6.9 Sn-3.5Ag 經 125°C 時效作用之 IMC 厚度成長	143
圖 6.10 Sn-3.5Ag 經 150°C 時效作用之 IMC 厚度成長	144
圖 6.11 Sn-3.5Ag 經 175°C 時效作用之 IMC 厚度成長	144

圖 6.12 Sn-3.5Ag 鐸點界面 IMC 的成份分析.....	145
圖 6.13 Sn-3.5Ag 鐸點界面 IMC 層厚度與時效時間的關係.....	145
圖 6.14 迴焊後的 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點外觀圖.....	146
圖 6.15 Sn-4Ag-0.5Cu 經 125°C 時效作用之 IMC 厚度成長.....	146
圖 6.16 Sn-4Ag-0.5Cu 經 150°C 時效作用之 IMC 厚度成長.....	147
圖 6.17 Sn-4Ag-0.5Cu 經 175°C 時效作用之 IMC 厚度成長.....	147
圖 6.18 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點界面 IMC 的成份分析.....	148
圖 6.19 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點界面 IMC 層厚度與時效時間的關係.....	148
圖 6.20 擴散係數與溫度的關係.....	149
圖 6.21 鐸點界面 IMC 之致動能.....	149
圖 6.22 三種鐸點之界面 IMC 層在 150°C 之厚度成長比較圖.....	150
圖 6.23 三種鐸點之界面 IMC 層在 175°C 之厚度成長比較圖.....	150
圖 6.24 63Sn-37Pb 鐸點剪力推球強度與時效時間的關係.....	151
圖 6.25 Sn-3.5Ag 鐸點剪力推球強度與時效時間的關係.....	151
圖 6.26 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點剪力推球強度與時效時間的關係.....	151
圖 6.27 63Sn-37Pb 在 0 小時時效作用(as-reflow)之破壞表面.....	152
圖 6.28 63Sn-37Pb 在 125°C 時效作用下之破壞表面.....	152
圖 6.29 63Sn-37Pb 在 150°C 時效作用下之破壞表面.....	152
圖 6.30 63Sn-37Pb 在 175°C 時效作用下之破壞表面.....	152
圖 6.31 63Sn-37Pb 在 175°C/1000 小時之破壞面 EDX 分析.....	153
圖 6.32 63Sn-37Pb 鐸點經等溫時效作用後的破壞機制.....	153
圖 6.33 Sn-3.5Ag 在 0 小時時效作用之破壞表面.....	154
圖 6.34 Sn-3.5Ag 在 125°C 時效作用下之破壞表面.....	154
圖 6.35 Sn-3.5Ag 在 150°C 時效作用下之破壞表面.....	154
圖 6.36 Sn-3.5Ag 在 175°C 時效作用下之破壞表面.....	154

圖 6.37 Sn-4Ag-0.5Cu 在 0 小時時效作用之破壞表面.....	155
圖 6.38 Sn-4Ag-0.5Cu 在 125°C 時效作用下之破壞表面.....	155
圖 6.39 Sn-4Ag-0.5Cu 在 150°C 時效作用下之破壞表面.....	155
圖 6.40 Sn-4Ag-0.5Cu 在 175°C 時效作用下之破壞表面.....	155
圖 6.41 Sn-3.5Ag 銲點在 175°C/1000 小時之破壞面 EDX 分析.....	156
圖 6.42 Sn-4Ag-0.5Cu 銲點在 175°C/1000 小時之破壞面 EDX 分析..	156
圖 6.43 三種銲點在 125°C 之剪力推球強度比較圖.....	157
圖 6.44 三種銲點在 150°C 之剪力推球強度比較圖.....	157
圖 6.45 三種銲點在 175°C 之剪力推球強度比較圖.....	157
圖 6.46 63Sn-37Pb 銲點在 125°C 之剪力推球負載-位移曲線.....	158
圖 6.47 63Sn-37Pb 銲點在 150°C 之剪力推球負載-位移曲線.....	158
圖 6.48 63Sn-37Pb 銲點在 175°C 之剪力推球負載-位移曲線.....	158
圖 6.49 63Sn-37Pb 銲點在 120 小時之剪力推球負載-位移曲線.....	159
圖 6.50 63Sn-37Pb 銲點在 480 小時之剪力推球負載-位移曲線.....	159
圖 6.51 63Sn-37Pb 銲點在 1000 小時之剪力推球負載-位移曲線.....	159
圖 6.52 Sn-4Ag-0.5Cu 銲點迴焊後之試片.....	160
圖 6.53 Sn-3.5Ag 銲點(2x2 陣列)之負載-位移曲線.....	160
圖 6.54 Sn-3.5Ag 銲點之應力-應變曲線(shear).....	160
圖 6.55 Sn-4Ag-0.5Cu 銲點(2x2 陣列)之負載-位移曲線(shear).....	161
圖 6.56 Sn-4Ag-0.5Cu 銲點之應力-應變曲線(shear).....	161
圖 6.57 剪應變近似值(γ)與實際值($\tan^{-1}\gamma$)之比較.....	162
圖 6.58 剪應變近似值(γ)與實際值($\tan^{-1}\gamma$)之誤差.....	162
圖 6.59 拉伸試驗過程中,應力-應變曲線與試片變形之關係.....	163
圖 6.60 一般金屬材料(鋼材)的應力-應變圖.....	163
圖 6.61 材料真應力-真應變曲線的型態.....	164

圖 6.62 $\sigma = K \varepsilon^n$ 的曲線圖.....	164
圖 6.63 Sn-3.5Ag 與 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點剪力強度線性嵌合曲線.....	165
圖 6.64 Sn-3.5Ag 與 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點剪應力線性嵌合曲線.....	165
圖 6.65 Sn-3.5Ag 鐸點潛變曲線(相同溫度/不同應力等級).....	166
圖 6.66 Sn-3.5Ag 鐸點潛變曲線(相同應力等級/不同溫度).....	167
圖 6.67 Sn-3.5Ag 鐸點穩態潛變率與應力之間的關係圖.....	168
圖 6.68 Sn-3.5Ag 鐸點穩態應變率與溫度倒數之間的關係圖.....	168
圖 6.69 Sn-3.5Ag 鐸點之主潛變曲線(Dorn 方程式).....	169
圖 6.70 Sn-3.5Ag 鐸點之主潛變曲線(sinh 模型).....	169
圖 6.71 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點潛變曲線(相同溫度/不同應力等級).....	170
圖 6.72 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點潛變曲線(相同應力等級/不同溫度).....	171
圖 6.73 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點穩態潛變率與應力之間的關係圖.....	172
圖 6.74 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點穩態潛變率與溫度倒數之間的關係圖...	172
圖 6.75 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點之主潛變曲線(Dorn 方程式).....	173
圖 6.76 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點之主潛變曲線(sinh 模型).....	173

符號表

D：擴散係數(diffusion coefficient [$\mu \text{ m}^2 \text{ hr}^{-1}$])

D_0 ：擴散常數(diffusion constant [$\mu \text{ m}^2 \text{ hr}^{-1}$])

Q：致動能(activation energy [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$])

R：氣體常數(gas constant = $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T：絕對溫度(K)

$\dot{\epsilon}$ ：穩態潛變率(steady-state strain rate)

n：應力指數(stress exponent)

σ ：應力

ϵ ：應變

E：楊氏模數

G：剪力模數

γ ：剪應變

τ ：剪應力

