

## 第四章

### 結果與討論

#### 4.1. 雷射迴錫條件對錫點外觀與內部形貌的影響

##### 4.1.1. 脈衝寬度

本節比較 200 V-7 msec-2.0 J 與 200 V-10 msec-2.4 J 之實驗結果；200 V-7 msec-2.0 J 為本實驗雷射迴錫使錫錫在銅墊上潤濕之最低能量條件。當兩個雷射束點過於集中，錫球表面會形成一個V型之凹陷，如圖 4-1 (a) 所示，此與Hong 等人研究結果相同[27]。在兩束雷射光能量重疊處，能量密度高達  $10^4$  W/cm<sup>2</sup>時 [31]，由於能量過於集中且錫球瞬間冷卻，雷射能量傳導不及，導致錫錫凝固時表面形成陡峭的V型凹陷；故須精確地調整兩入射雷射光的相對位置使能量分佈更為均勻，使融熔錫錫能更完整地潤溼銅錫墊表面，且錫錫凝固時會有完美之外觀，如圖 4-1 (b) 與 (c) 所示。

當脈衝寬度增長至 10 msec，因入射能量增大且加熱時間較長，後續的破斷面觀察發現錫錫與銅墊均可以達到完全潤濕，但錫球底部的尺寸從 400  $\mu$ m 變大至 550  $\mu$ m，故可知脈衝寬度過長時，較長的加熱時間會導致鄰近的防錫漆被燒焦。故在相同功率的兩個迴錫條件，脈衝時間為 7 msec 時，雖迴錫時不至於將防錫漆燒焦，但此條件下的大多形成圖 4-1 (a) 所示的凹陷式外觀，且其潤濕情形取決於兩入射雷射光束的相對位置。脈衝時間為 10 msec 的迴錫點雖因吸收的能量較高可增進表面潤濕，但卻會破壞錫球底部的防錫漆。

##### 4.1.2. 雷射功率

此一部分的實驗係固定脈衝寬度，以不同雷射功率條件進行迴錫。實驗條件為 200 V-10 msec-2.4 J、205 V-10 msec-2.7 J、210 V-10 msec-3.1 J、215 V-10 msec-3.5 J 與 220 V-10 msec-3.9 J，結果如圖 4-2 所示。

當脈衝寬度固定時，雷射功率隨電壓增加而變大，錫球吸收的能量更高，防錫漆燒焦的程度加劇。錫點外觀上觀察發現，由於防錫漆被燒焦導致錫墊開口變大，凝固的錫錫高度降低，形狀如一丘陵，在各迴錫條件下錫點的高度與寬度如

表 4-1 所列。此外，當雷射能量升高至 3.5 J 時，銲點表面不再有 V 型凹陷（見圖 4-2 (c)），根據 Wang 等人研究[5]，其可能因銲錫表面溫度過高使熔融銲錫的流動增加，凹陷可獲得填補而使銲點外觀呈完整的弧形。

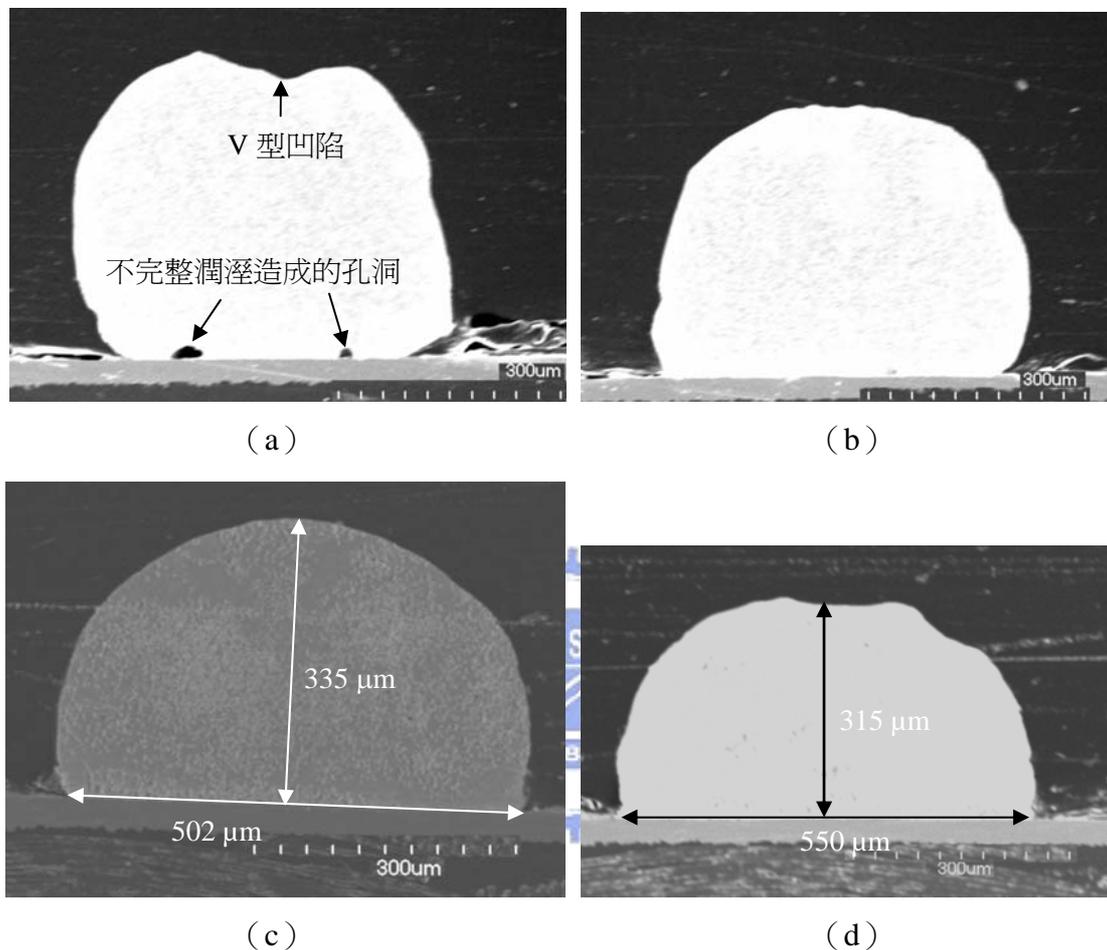


圖 4-1. 不同迴銲時間的銲點外觀：(a) 至 (c) 所示為 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴銲外觀型態，(a) 兩雷射光束過於集中導致 V 型凹陷；(b) 兩雷射光束未調整至最佳位置；(c) 兩雷射光束調整至最佳位置；(d) 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴銲外觀型態。

銲點截面的觀察亦發現當脈衝能量為 3.1 J 時，電路板開始出現爆板 (Delamination) 的徵兆；當能量增至 3.5 J 時，銅墊與電路板的剝離已可明顯地被觀察到，在後續的微觀結構觀察亦發現銅墊受熱程度增加時，銅的擴散速率增加亦會導致銲點中央的 IMC 遽增。

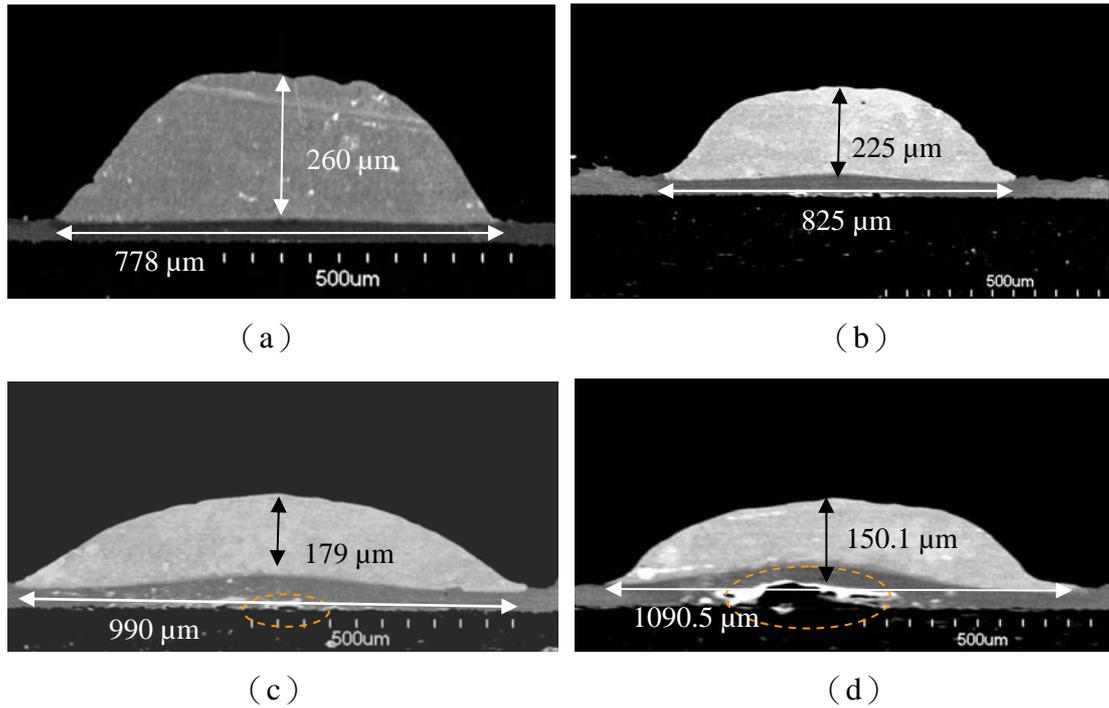


圖 4-2. 不同的迴錫功率的錫點外觀：(a) 205 V-10 msec-2.7 J，一次迴錫；(b) 210 V-10 msec-3.1 J，一次迴錫；(c) 215 V-10 msec-3.5 J，一次迴錫；(d) 220 V-10 msec-3.9 J，一次迴錫。虛線圈起處為電路板與銅墊剝離處。

表 4-1. 不同的迴錫功率的錫點高度與寬度。

迴錫條件	寬度 (μm)	高度 (μm)
200 V-7 msec-2.0 J	502	335
200 V-10 msec-2.4 J	550	315
205 V-10 msec-2.8 J	778	260
210 V-10 msec-3.2 J	825	225
215 V-10 msec-3.5 J	990	179
220 V-10 msec-3.9 J	1090.5	150.1
200 V-7 msec-4.0 J	589	317

#### 4.1.3. 迴錫次數

一次脈衝迴錫時，高能量密度及加熱時間過短會造成熱能向內部傳導不及，僅瞬間地將錫球表面加熱，材料熱膨脹係數的差異將導致錫點剝離，故本實驗亦對低能量多次迴錫之結果進行分析。

以 200 V-7 ms-ec-2.0 J 的條件進行二次迴錫時，錫點共受到 4.0 J 的能量照射，其外觀如圖 4-3 所示。相較於 3.9 J 一次迴錫，200 V-7 msec-2.0 J，兩次迴錫的錫點底部防錫漆燒焦的程度較低，且電路板與銅墊並未剝離，故兩次迴錫能有

效地降低溫度的差異；但低能量二次迴鐸的鐸點在外觀上仍如一次迴鐸的結果呈現不規則凹陷的形貌，故若要以低能量多次迴鐸得到更完整的外觀，則仍須再調整兩雷射光束的最佳相對位置。

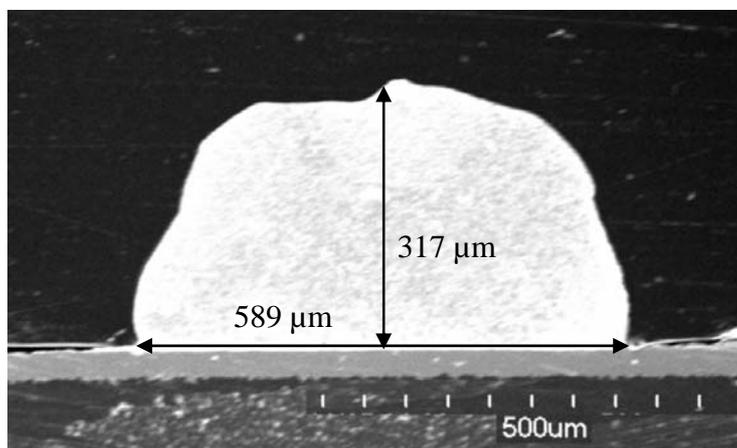


圖 4-3. 200 V-7 msec-2.0 J，二次迴鐸的鐸點。

## 4.2. 界面介金屬化合物 (IMC) 形貌之觀察

### 4.2.1. 傳統迴鐸

將錫球沾附助鐸劑黏著於銅墊上置於爐子內，經 260°C，10 分鐘之持溫熱處理後，界面處觀察到貝殼狀厚度約為 8 μm 的  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  相，如圖 4-4 所示。

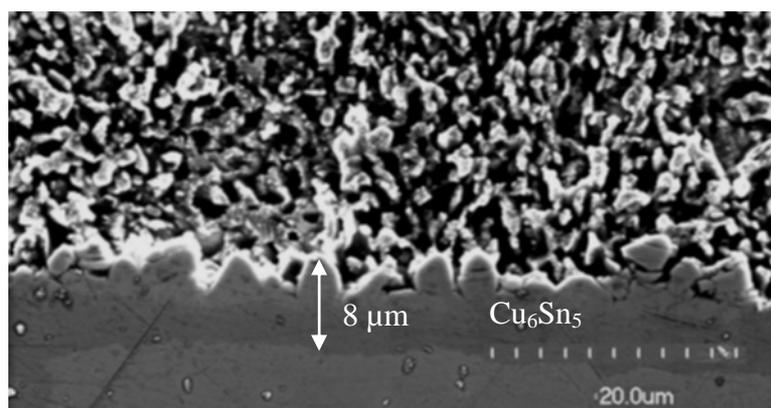


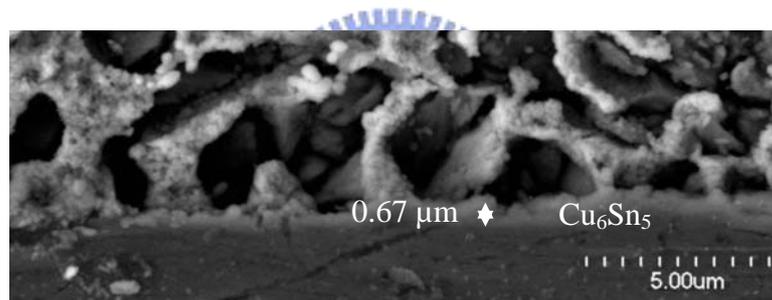
圖 4-4. 錫球置於銅墊上經 260°C，10 分鐘後所得的界面結構。

### 4.2.2. 一次迴鐸之界面形貌

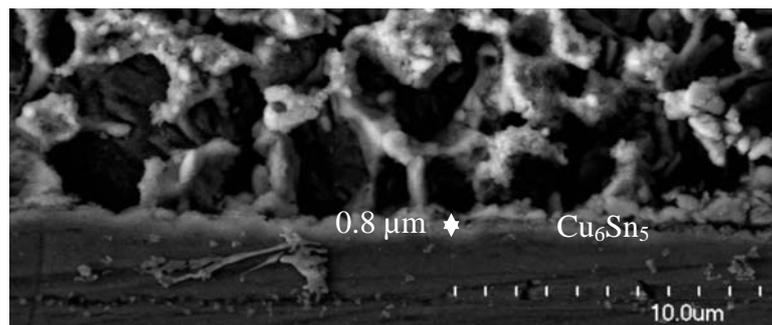
圖 4-5 (a) 為 200 V-7 msec-2.0 J 的界面形貌，其 IMC 層並不明顯，厚度僅約

0.67  $\mu\text{m}$ 且為不均勻分佈。當脈衝寬度增大為 10 msec時，IMC層厚度漸增，約 0.8  $\mu\text{m}$ 左右，如圖 4.5 (b) 所示。表 4-2 所示的EDX成分分析顯示在IMC層附近錫銅比約 1 : 2，因EDX之點分析最小解析度為 1  $\mu\text{m}$ ，故成分比部分來自於錫球或銅墊的貢獻，而從背散式電子影像並未發現層內有兩相共存的現象，故推斷其應為  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 相。多餘的銅可能來自於銅墊或時銅原子因快速冷卻來不及擴散所餘留者。

205 V-10 msec-2.8 J之迴錫條件可形成厚度約 1  $\mu\text{m}$  的IMC層，且錫球底部之IMC呈棒狀，沿垂直基板的方向（即散熱方向）生長，如圖 4-6 (a) 所示；此外，錫球內部也可觀察到IMC的存在。EDX成分分析顯示錫銅比約 1 : 2，搭配背散式電子影像觀察可發現有兩相存在於IMC層內，故推測其應為  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相與  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 相共存之結構。再者，由圖 4-6 (b) 亦可見到界面附近的鉛相粗化，呈約 2 至 3  $\mu\text{m}$ 的島狀，此顯示界面附近的錫大量地被消耗；離界面越遠，粗化現象趨緩。



(a)

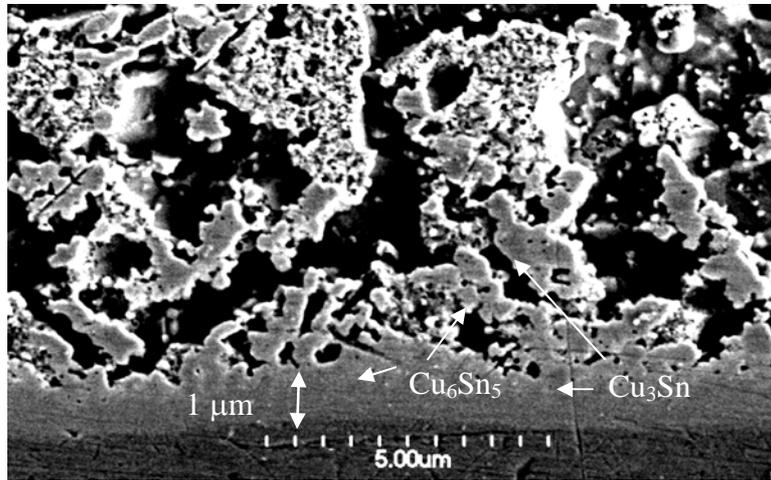


(b)

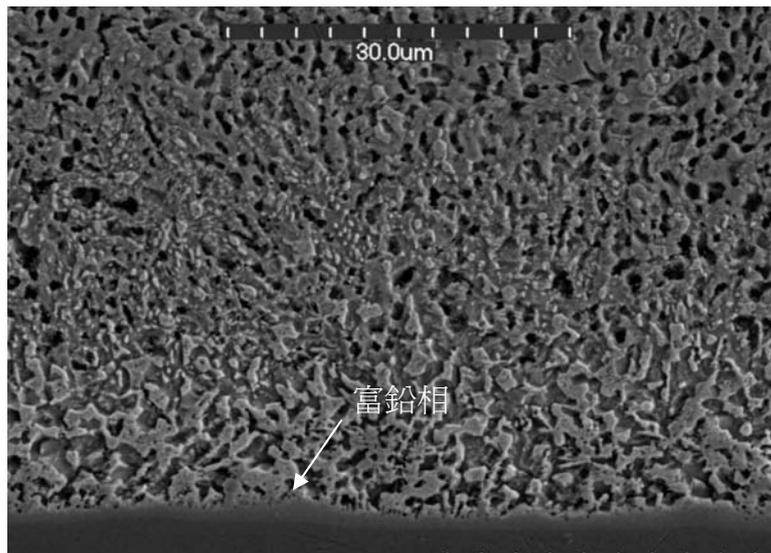
圖 4-5. 不同的脈衝寬度之銲點界面形貌：(a) 200 V-7 msec-2.0 J，一次脈衝的銲點界面形貌；(b) 200 V-10 msec-2.4 J，一次脈衝的銲點界面形貌。

表 4-2. 圖 4.5 之界面 IMC 成分 EDX 分析結果。

迴鐸條件	銅 (at. %)	錫 (at. %)	鉛 (at. %)
200 V-7 msec-2.0 J	47.86	21.96	30.18
200 V-10 msec-2.4 J	43.6	22.73	33.68



(a)

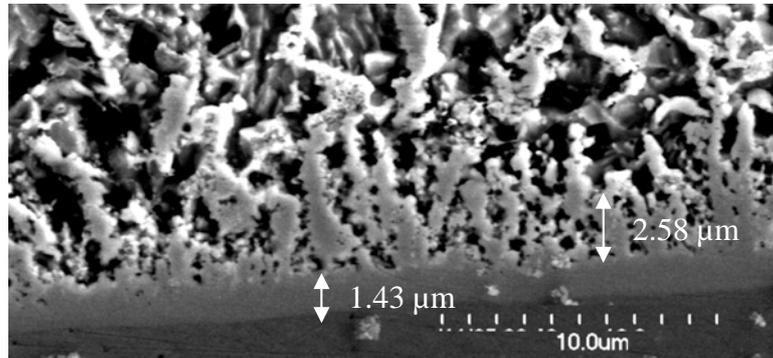


(b)

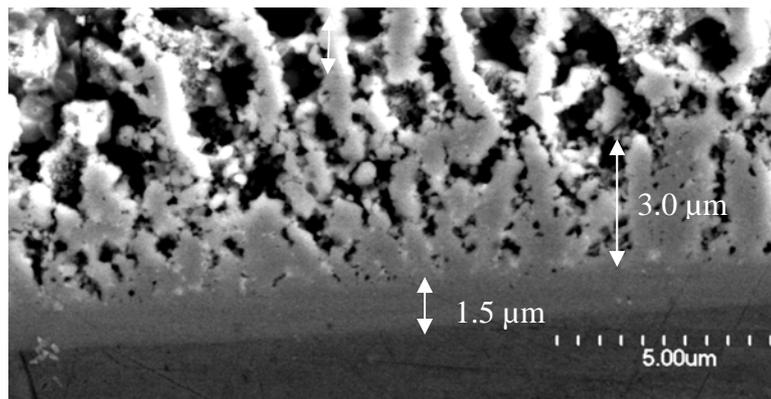
圖 4-6. 205 V-10 msec-2.8 J 鐸點之界面形貌：(a) 鐸點底部與內部均可見到  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  相與  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  相之生成；(b) 界面處鉛相之粗化現象。

圖 4-7 (a) 為脈衝能量增強至 210 V-10 msec-3.2 J 之界面形貌，其可見到 IMC 層增厚至  $1.43 \mu\text{m}$ ，IMC 亦呈樹枝狀沿冷卻方向生成，由於雷射快速冷卻的特徵使得樹枝狀間可觀察到鉛相的析出，且部分樹枝狀 IMC ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$  相 +  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  相) 已脫離層狀 IMC ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$  相 +  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  相)。此現象在 220 V-10 msec-3.9 J 迴鐸所形成之鐸點中可更明顯地觀察到 (見圖 4-7 (b))。觀察其介金屬層的變化可發現到

其層狀介金屬層厚度隨入射功率加大僅些許增厚，但樹枝狀介金屬相的高度則有明顯地改變。由於加熱時間固定及加熱功率加大會導致鐸點表面與內部的溫度差異變大，促使底部銅元素往錫鉛內部之擴散速率增加，推測此為樹枝狀介金屬增高的主要原因。



(a)



(b)

圖 4-7. (a) 210 V-10 msec-3.2 J與 (b) 220 V-10 msec-3.9 J之鐸點之界面形貌。

脈衝雷射迴鐸除了 IMC 微結構形態異於傳統迴鐸之外，當高能量瞬間加熱錫球時，錫球內部因各區域受熱的程度不一，很容易在界面附近觀察到孔洞（見圖 4-8），推測其可能為：（1）冷卻速率差異過大引發之類似鑄孔（Casting Void）缺陷；（2）高能量雷射產生的金屬蒸氣被侷限（Trapped）在鐸錫內部不及排出，凝固時因而產生空孔。

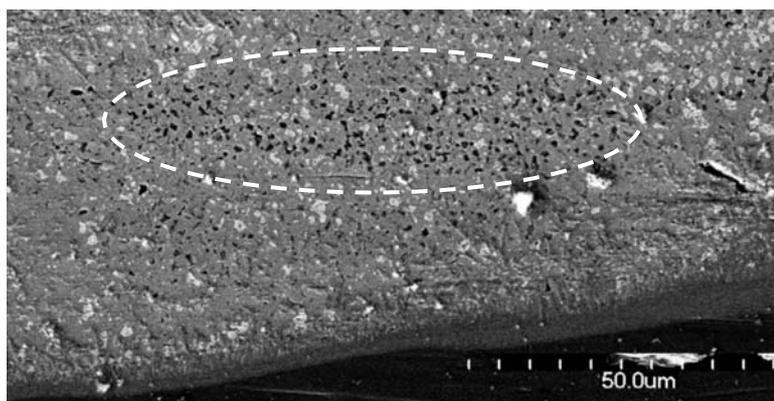


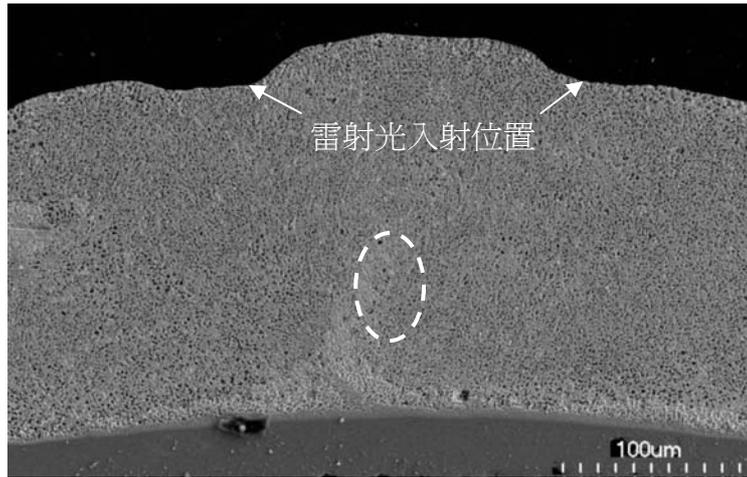
圖 4-8. 220 V-10 msec-3.9 J之銲點微觀結構（未經蝕刻），虛線圈起處為孔洞。

此外，冷卻時錫鉛相之形貌並非全然為層狀共晶結構（Lamellar Eutectic Structure），其可能因急遽升溫後快速冷卻，銲錫內部元素擴散不及，導致低溫相會先行凝固，因此富鉛相及富錫相呈區塊聚集。圖 4-9 (a) 為 215 V-10 msec-3.5 J，一次迴銲之銲點微觀結構，錫球上方的兩個凹陷處為雷射光入射位置，而兩束雷射光聚焦的地方可發現到富鉛相集聚且富鉛相與富錫相分為兩區，而非傳統迴銲之層狀交疊生成，故脈衝雷射迴銲無法形成均勻之層狀共晶結構。若把脈衝能量增高至 220 V-10 msec-3.9 J， $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 相會生成於錫球內部靠近界面之處，由於錫原子被耗盡，故可見到富鉛相集聚在IMC旁（見圖 4-10 (b)）。由於銲錫中間如同熔接時銲道，故推測可能因雷射光能量密度過大，熔池深至銅墊後，迅速之加熱使銅之快速擴散至銲錫中，因此銲錫內所含之過飽和濃度的銅經快速冷卻後，以 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 相或銅元素直接析出。

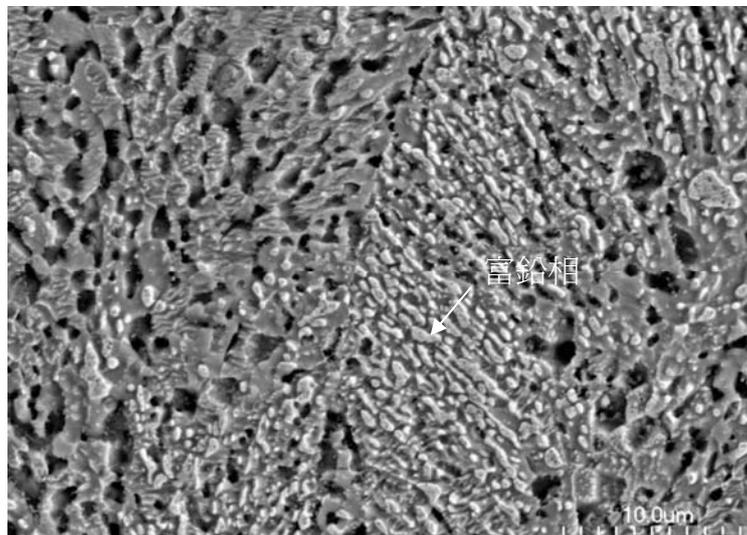
#### 4.2.3. 二次迴銲之微觀結構

以 200 V-7 msec-2.0 J 進行兩次迴銲後，所得的銲點內部之IMC層以 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 為主，如圖 4-11 所示其分佈較一次迴銲為均勻，厚度約 1.05  $\mu\text{m}$ ；然在錫球內部亦可觀察到裂縫，其會影響錫球之推力強度。

圖 4-12 為經 200 V-10 msec-4.8 J，兩次迴銲之銲點的斷面形貌，對圖中圈起處較白的棒狀結構進行EDX分析發現其為 $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相（見圖 4-12 (b) 之EDX圖譜）；故增加脈衝時間能促進 $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相之生成。

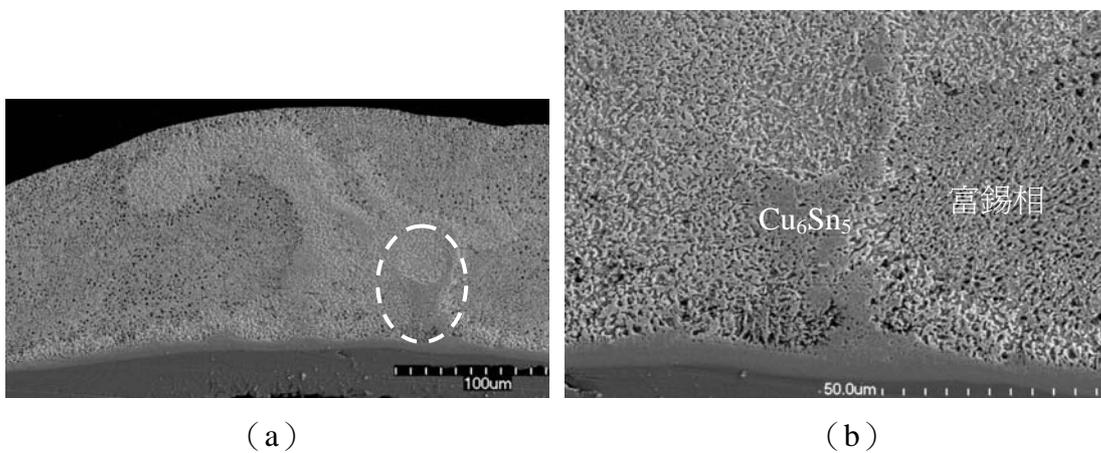


(a)



(b)

圖 4-9. (a) 215 V-10 msec-3.5 J之鐳點微觀結構；(b) 為(a)圖圈起處之放大。



(a)

(b)

圖 4-10. (a) 220 V-10 msec-3.9 J之鐳點微觀結構；(b) 為(a)圖圈起處之放大。

我們亦嘗試以三或四次迴鐸的方式將能量輸入錫球內部，鐸點因受高能量的入射其所生成的IMC型態與傳統迴鐸IMC相截然不同。以SEM及EDX分析三次迴鐸之鐸點斷面可發現更為明顯的棒狀 $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 相摻雜於 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 相之間（見圖 4-13 及表 4-3 之EDX成分分析結果）。

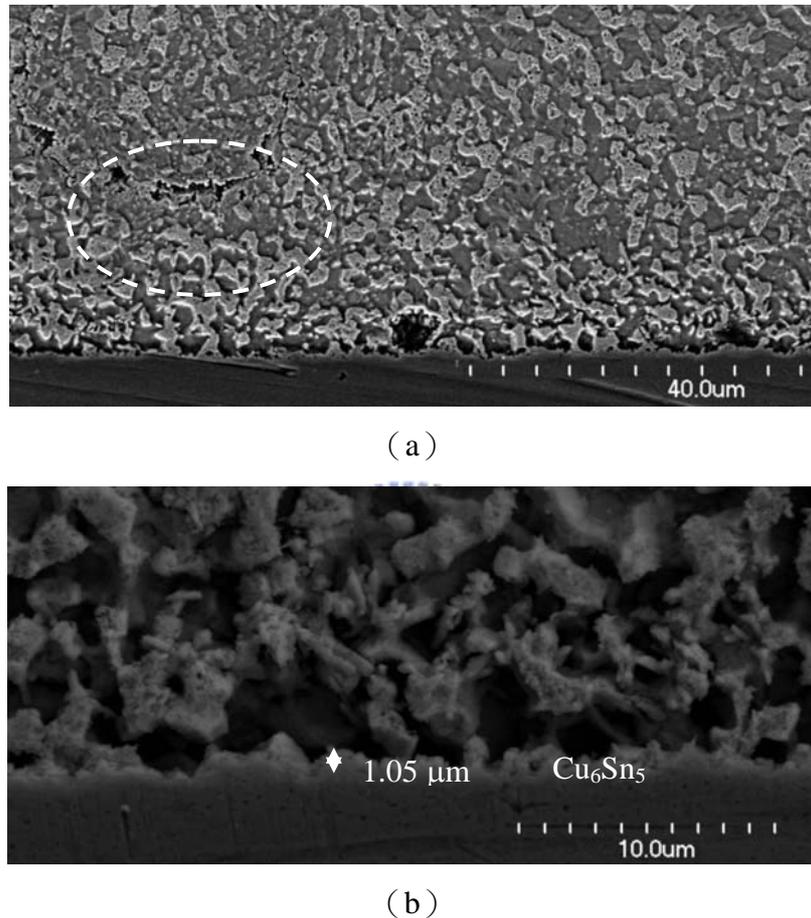


圖 4-11. (a) 200 V-7 msec-2.0 J，兩次脈衝鐸點微觀結構，圈起處為裂縫。(b) 為 (a) 圖界面處之放大。

### 4.3. 推力試驗

由於諸多雷射迴鐸條件中以 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸、200 V-10 msec-2.4 J，一次迴鐸及 200 V-7 msec-2.0 J，二次迴鐸可形成形貌較佳之錫球，故僅以這三個條件完成迴鐸的鐸點進行推力測試。

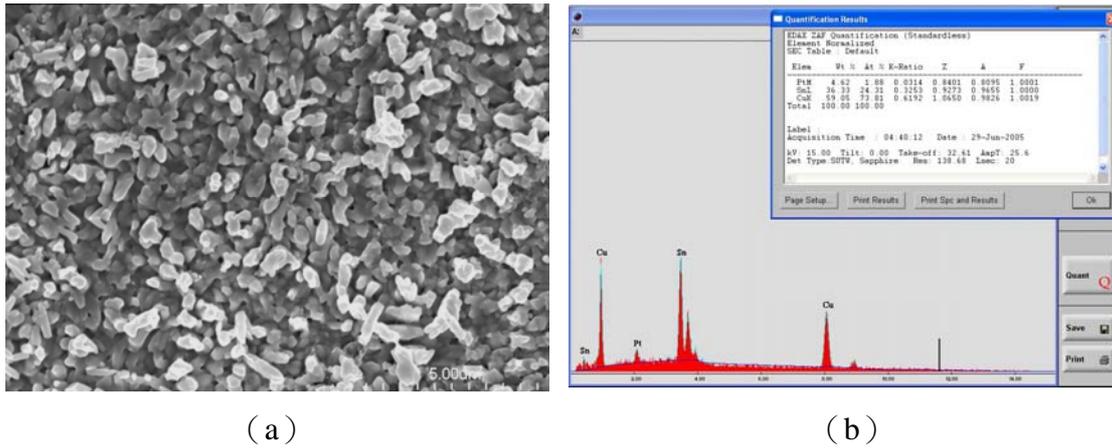


圖 4-12. (a) 200 V-10 msec-4.8 J，二次迴錫之錫點斷面形貌及 (b) 圈起處之 EDX 成分分析。(a) 圈起處棒狀結構之 EDX 成分分析結果顯示其為  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  相。

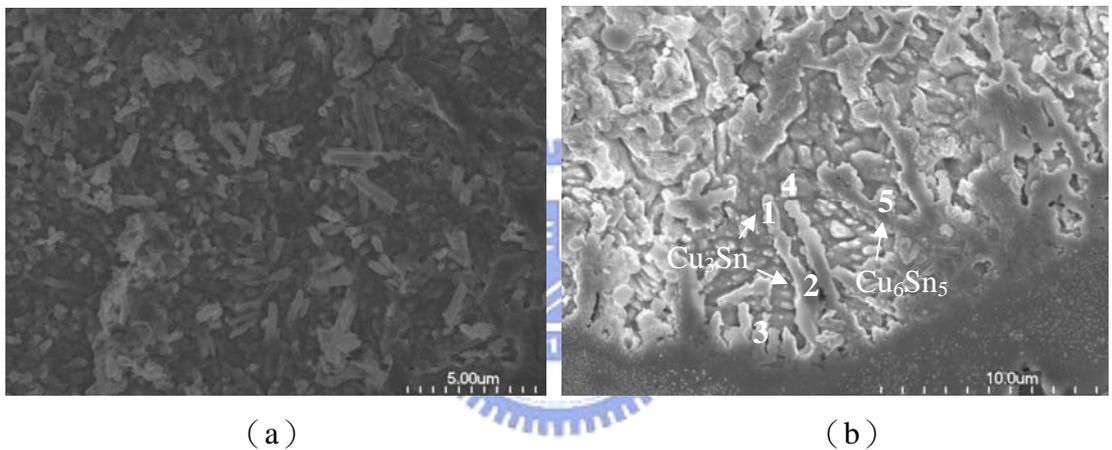


圖 4-13. (a) 200 V-10 msec-7.2 J，三次迴錫錫點之破斷表面形貌及 (b) 橫截面形貌。

表 4-3. 200 V-10 msec-7.2 J，三次迴錫截面觀察的 EDX 成分分析。

成分比	點 1	點 2	點 3	點 4	點 5
銅 (at.%)	64	34	38.5	37	42
錫 (at.%)	22	12	23.7	21	30

### 4.3.1. 推力試驗結果

錫點之推力強度性質係計算有效錫點的平均推力及破裂模式的種類判定之。每一迴錫條件至少測試 100 個錫點以求得其推力強度，但 200 V-7 msec-2.0 J，兩次迴錫之錫點因加熱能量較高，導致錫球高度較低且錫球表面不平整、且高度不一致而造成實驗值誤差較大，故只取得 58 個有效錫點之推力測試結果進行評

比。原始推力數值列表於附錄，三種迴錫條件的推力試驗結果分別整理於表 4-4 (a)、4-4 (b) 及 4-4 (c)，以及圖 4-14 (a)、4-14 (b) 及 4-14 (c)，。

在推力測試中，我們發現到其破斷方式概分為兩種破裂模式，一為 JEDEC 模式一，錫錫/銅界面潤濕佳，破裂面位於錫點內部且呈韌性破斷 (Ductile Fracture)，另一種為 JEDEC 模式三，特徵為錫錫/銅界面潤濕差導致接合面積變小，對應的推力亦低；當潤濕面積低於錫墊面積的 40% 時，錫點推力強度即低於 4 Nt，故錫錫在銅錫墊上潤濕之優劣是影響接合成敗的主因。本實驗將呈現破裂模式一的錫點稱為有效錫點，呈現破裂模式三的錫點則稱為不良錫點。

我們將推力測試結果歸納如下：

- (1) 在三種迴錫條件中以 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴錫之不良錫點率最高，超過 40%。我們將此現象歸納於兩個原因：傳統迴錫過程中使用的助錫劑有助於錫球之固定，且錫球受熱熔融時，其表面張力不會使錫錫殘留在防錫漆上，因此可容許錫球位置與銅墊有些許偏差。然而，本實驗之雷射迴錫的脈衝時間極短且無助錫劑，高能量之雷射亦易使防錫漆燒焦，故值球位置須極精準，否則極易導致迴錫失敗；同時入射能量較低或能量分佈不均勻時，也易導致潤濕不佳甚至致不良錫點的產生。因此 200 V-7 msec-2.0 J，兩次迴錫之錫點與 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴錫之錫點因入射能量較高錫料流動性變大可彌補值球位置的誤差，產生有效錫點的比例大幅降低，然而若值球位置偏差太大仍是無法補救；
- (2) 在不良錫點的推力分佈圖上 (圖 4-14 (a))，200 V-7 msec-2.0 J，一次迴錫之不良錫點的最大推力高達 8 Nt，SEM 的破斷面觀察發現多數面積為潤濕性佳之韌斷區域，但因部份區域未與錫錫潤濕產生合金或潤濕性不佳形成凹孔，影響整體的破斷面型態及推力強度。綜合言之，各雷射錫點中不良錫點的破斷面多由潤濕性差或無潤濕區構成，因此各迴錫條件下的推力強度多數落在 5 至 6 Nt；
- (3) 比較各迴錫條件下破裂模式一之推力強度，以 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴錫之錫點最高，其次為 200 V-7 msec-2.0 J，兩次迴錫之錫點，最差為 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴錫之錫點。破裂模式一之強度部分則因雷射之高熱造成防錫漆燒焦之效應使錫墊面積變大，故需再考慮每個條件下錫點底部之實際面積。經量測後計算該條件下的破裂模式一之平均斷裂面面

積，且將該條件下的破裂模式一之平均破裂強度除以該條件下破裂模式一之平均面積，所得到之破裂模式一之破裂強度歸納於表 4-5，其顯示 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸鐸點之強度最低，而 200 V-7 msec-2.0 J，兩次迴鐸與 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴鐸之破裂剪力強度則相近，相較於工業界標準，760  $\mu\text{m}$ 的錫球需達到 1 kgf以上的推力強度，經換算為 5.40 Nt/mm<sup>2</sup>，因此脈衝雷射鐸點強度高達標準的 1.8 倍。

表 4-4 (a) . 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸之鐸點推力測試結果。

實際測試鐸點數目 = 153 個		
	有效鐸點 (破裂模式一)	不良鐸點 (破裂模式三)
平均剪力 (Nt)	8.13	4.94
數目	88	65
標準差 (Nt)	0.93	1.68

表 4-4 (b) . 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴鐸之鐸點推力測試結果。

實際測試鐸點數目 = 105 個		
	有效鐸點 (破裂模式一)	不良鐸點 (破裂模式三)
平均剪力 (Nt)	9.41	5.32
數目	97	8
標準差 (Nt)	0.82	1.42

表 4-4 (c) . 200 V-7 msec-2.0 J，兩次迴鐸之鐸點推力測試結果。

實際測試鐸點數目 = 61 個		
	有效鐸點 (破裂模式一)	不良鐸點 (破裂模式三)
平均剪力 (Nt)	8.50	6.23
數目	58	3
標準差 (Nt)	1.18	0.78

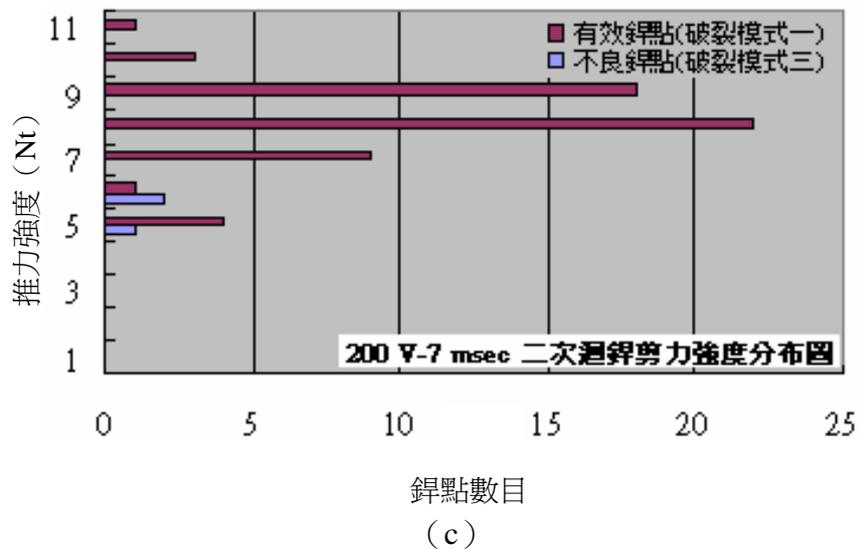
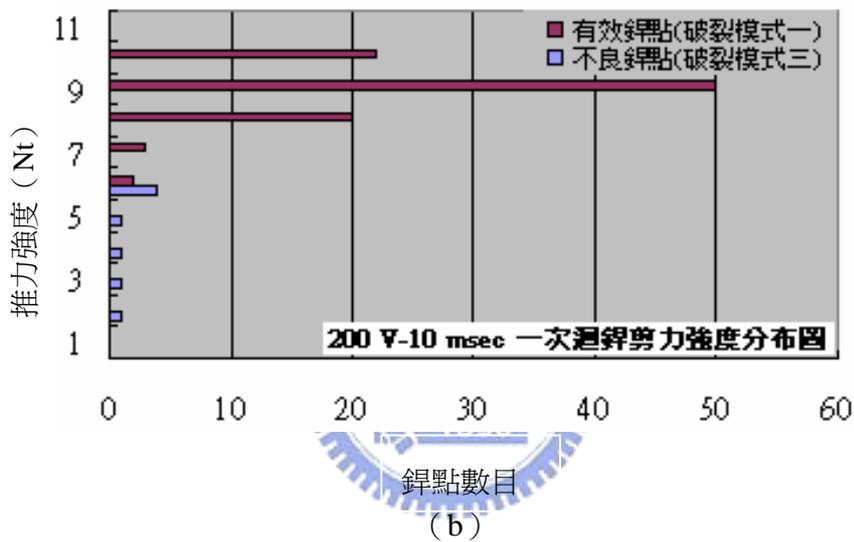
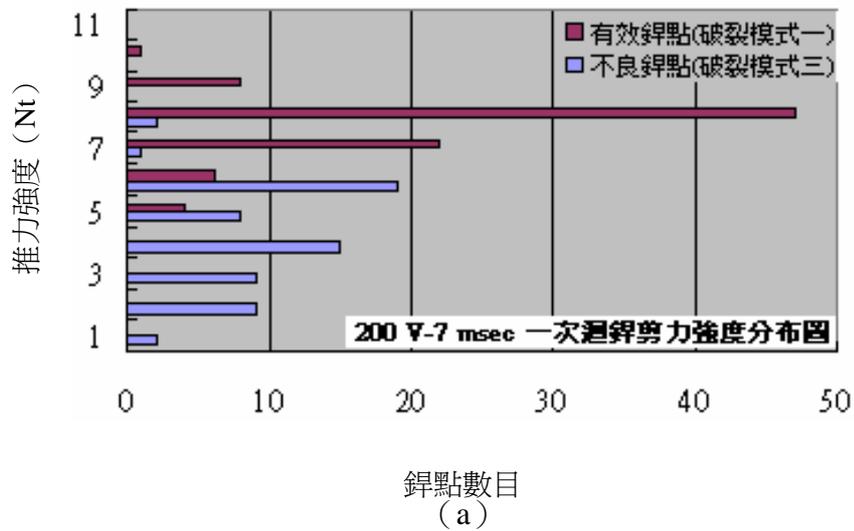


圖 4-14. (a) 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴銲，(b) 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴銲及 (c) 200 V-7 msec-2.0 J，兩次迴銲之銲點推力強度分佈圖。

表 4-5. 破裂模式一之推力強度分析結果。

	破裂模式一之平均 破裂強度 (Nt)	平均直徑 ( $\mu\text{m}$ )	剪力 ( $\text{Nt}/\text{mm}^2$ )
200 V-7 msec-2.0 J， 一次迴鐸	8.13	530.2	9.21
200 V-10 msec-2.4 J， 一次迴鐸	9.68	566.5	9.60
200 V-7 msec-2.0 J， 兩次迴鐸	8.50	527.7	9.72

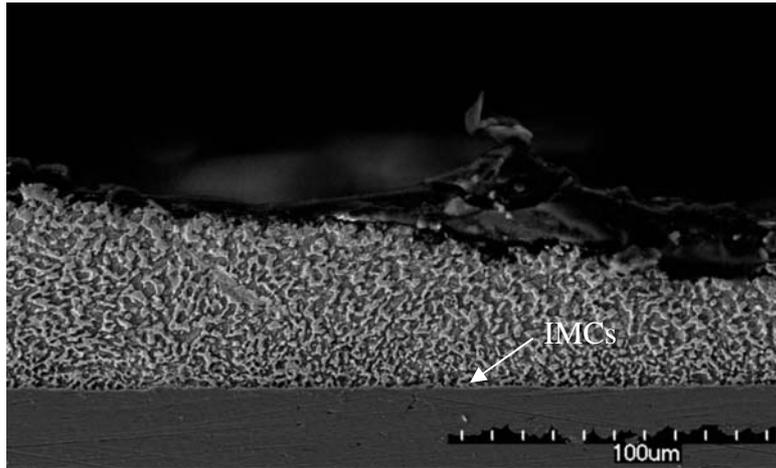
SEM 的鐸點破斷截面觀察顯示，無論迴鐸條件為何，所有以破裂模式一破斷之鐸點界面皆有一層薄且厚度均勻的 IMC 層（見圖 4-15），此印證 IMC 的生成是鐸錫在銅墊上形成穩定接合的必要條件，也證實雷射鐸點 IMC 厚度雖薄但接合強度已超過鐸料內部鍵結能力；對 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸之鐸點而言，其因為雷射能量最低及迴鐸時間短致鐸料流動性差，導致內部溫度分佈不均勻，致鐸點內部經快速冷卻後成分分佈不均；抑或部份融熔鐸錫未能及時潤溼銅墊，合金反應未能發生即凝固產生之鑄孔缺陷，如圖 4-16，皆有可能造成此條件下鐸點推力強度不足的主因。



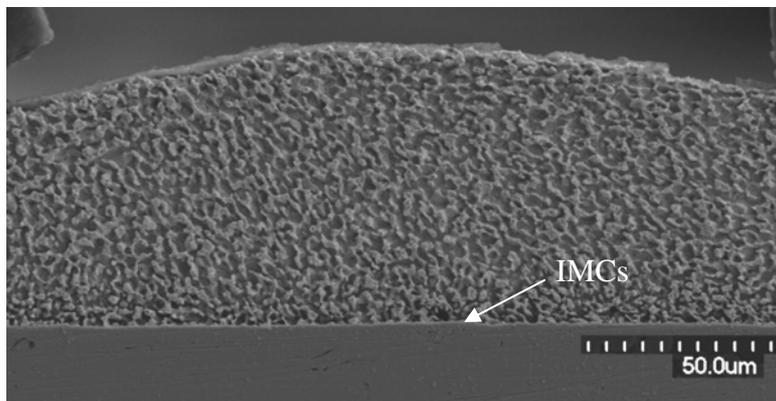
### 4.3.2. 推力試驗破斷面觀察

#### 4.3.2.1. 有效鐸點一之破斷面觀察

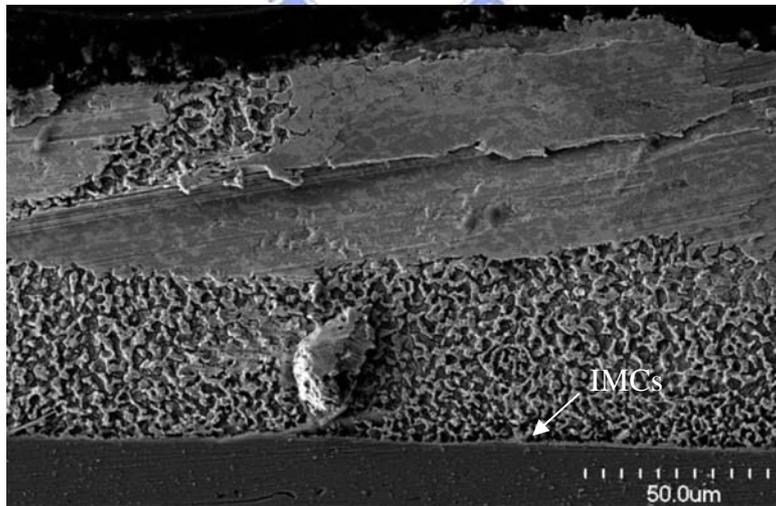
以 SEM 對推力測試後之鐸點破斷表面觀察發現，三種雷射迴鐸條件下的有效鐸點之斷裂表面有相同的形貌，表面呈韌性破斷，如圖 4-16 (a)、(b)、(c) 與 (d) 所示。較特別的是，在 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸與兩次迴鐸之鐸點破斷面中常可觀察到一空孔，如圖 4-16 (e) 與 (f)，吾人推論在 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸時之雷射能量較低，空孔應是部份融熔鐸錫未能及時潤溼銅墊，合金反應未能發生即凝固產生之鑄孔缺陷。而 200 V-7 msec-2.0 J，二次迴鐸之過程因第一次迴鐸並未產生全面之合金反應，縱使經二次迴鐸仍未產生完整接合，因此有殘餘之空孔。



(a)



(b)



(c)

圖 4-15. (a) 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸；(b) 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴鐸與 (c) 200 V-7 msec-2.0 J，二次迴鐸有效鐸點發生韌性斷裂之鐸點橫截面形貌。

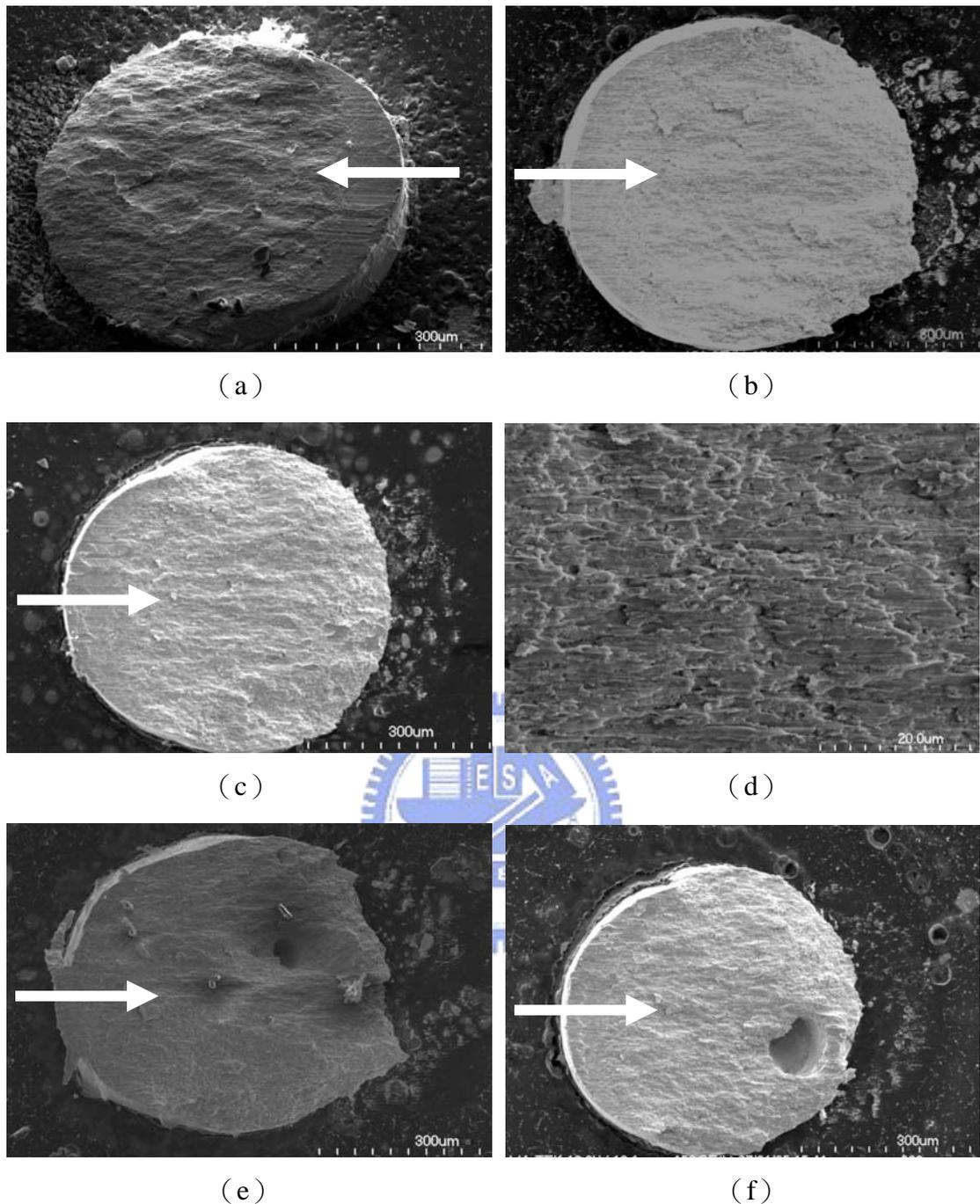


圖 4-16. 各雷射迴錫條件下有效錫點之斷裂表面：(a)、(e) 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴錫，(b) 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴錫，(c)、(f) 200 V-7 msec-2.0 J，二次迴錫，(d) 高倍率下破裂模式一之韌斷斷裂表面。箭頭表示推刀方向。

#### 4.3.2.2. 不良錫點之破斷面觀察

以 SEM 觀察三種雷射迴錫條件下的錫點斷裂之表面型態後，可將不良錫點之斷裂表面歸納為下述五種型態，如圖 4-17 所示。

第一種型態 (TYPE 1) 係裸銅區，即錫錫未與錫墊潤濕，故無合金反應，

經 EDX 分析得知該區 98% 為銅，僅含少部份的錫鉛成分（見圖 4-17 (a) 虛線圈起部份）。

第二種型態 (TYPE 2) 係許多渦狀之凹孔（見圖 4-17 (b)），其係模式三之斷裂表面最常觀察到的型態，經 EDX 分析得知該區中央部份（圖 4-17 (c) 虛線圈起部份）成分 98% 為銅，錫鉛僅佔少量，此顯示斷裂模式可能以潤溼不完全的銅/錫界面為起點，除前述因錫點內部能量不足，以致完整之潤溼未能及時產生所致之外，雷射迴錫快速加熱產生的金屬蒸氣可能被侷限在錫與銅墊界面，一時難以排除，融熔錫無法與銅墊發生合金反應即凝固，孔洞因而產生。EDX 分析顯示孔洞內壁由富鉛相及富錫相組成，兩相之界面亦可能因快速冷卻有裂痕存在，其亦是斷裂之起源。由斷裂表面的觀察顯示其肇因於錫與銅墊間潤溼不足，錫與銅墊合金反應區域小加上孔洞內壁富鉛相與富錫相相界面有裂痕存在，劇烈地降低推力強度，然而其破斷區域仍呈韌性特徵。

第三種型態 (TYPE 3，見圖 4-17 (d)) 係錫鉛內部氣體集聚，錫冷卻後該處形成孔洞，因接合面積減少致接面強度較弱，因此破斷面穿過孔洞致裸露，孔洞內壁皆為錫鉛相。

第四種型態 (TYPE 4，見圖 4-17 (e)) 係大面積的韌斷區域，此區域錫與銅墊的潤溼性佳，且明顯可見破斷面的錫鉛金屬被延性拉伸。

第五種型態 (TYPE 5，見圖 4-17 (f)) 係脆斷 (Brittle Fracture)，破斷面呈光滑表面且破斷區位於錫鉛錫料內部，其成因可能為加熱過度集中且表面區域冷卻迅速導致該區域形成金屬玻璃狀態；此型態僅於 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴錫的錫點內部觀察到。

我們可以發現每個不良錫點的破斷面形貌幾乎為上述兩種以上的型態混合組成。三種迴錫條件的不良錫點之典型破斷面幾乎由裸銅區、渦狀之凹洞及韌斷區域混搭而成，然而由於迴錫條件的不同，其破斷面形貌的分佈與成因亦有些許差異（見圖 4-18）。200 V-10 msec-2.4 J，一次迴錫之不良錫點（見圖 (a)）明顯發現其錫分佈偏向一邊，因此該條件下的不良錫點成因應與值球位置偏差大有密切的關係。對於 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴錫之不良錫點（見圖 (b)）較為均勻屏除值球的誤差，裸銅區域偏多分佈在錫墊四周與中間小區塊，成因可能為雷射能量最低及迴錫時間短致錫料流動性差，致使部份融熔錫未能及時潤溼銅墊，合金反應未能發生；200 V-7 msec-2.0 J，二次迴錫之不良錫點（見圖 (c)）裸

銅面積明顯地減少且中間區域的裸銅區可見到些許錫鉛相的覆蓋。200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸之鐸點發生脆性斷裂之表面形貌，鐸點中央部份可明顯觀察到未潤溼區域，在發生脆性斷裂之200 V-7 msec-2.0 J，兩次迴鐸之鐸點中央我們亦觀察到類似的形貌；因在雷射脈衝較短的迴鐸中均有相似之結果，故脈衝寬度的大小對雷射迴鐸鐸點的破壞模式有重要影響。而在 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸的剪力分佈圖內可發現到不良鐸點最大推力強度高達 8 Nt，其破斷面由多數的潤濕性佳之韌斷區域、內部的鑄孔缺陷與潤濕性差的渦狀凹孔組成（見圖（d））。200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸的破斷面尚能看到脆斷面型態（見圖（f）），而孔洞型態（見圖（e））則在 200 V-7 msec-2.0 J，二次迴鐸的破斷面較易見到。



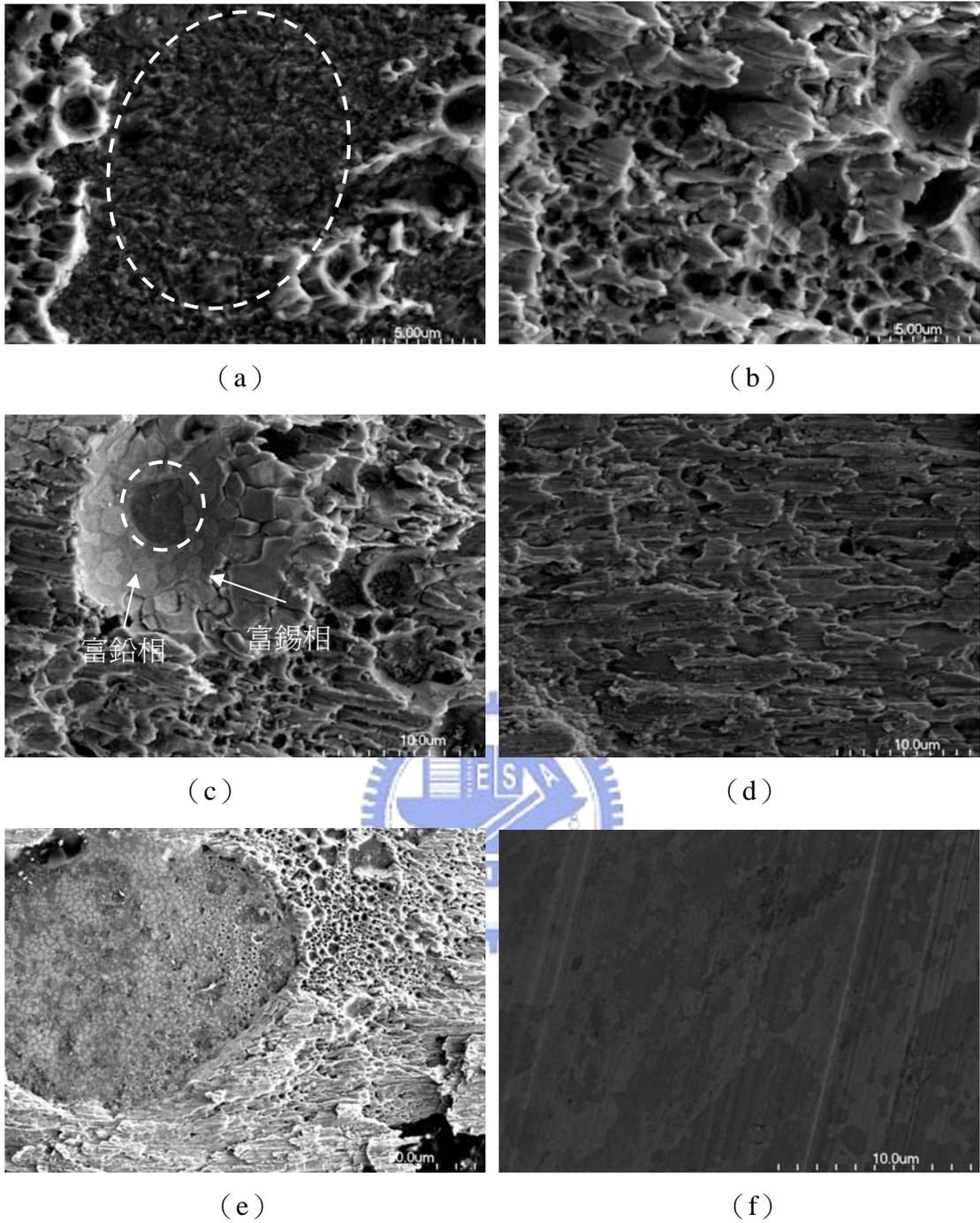


圖 4-17. 不良銲點的斷裂之五種表面型態：(a) 裸銅區 (TYPE 1)，(b) 窩狀之凹孔 (TYPE 2)(c) 圖 (b) 圈起處之放大，(d) 韌濕性佳的韌斷區域 (TYPE 3)，(e) 孔洞區域 (TYPE 4)，(f) 脆斷區域 (TYPE 5)。

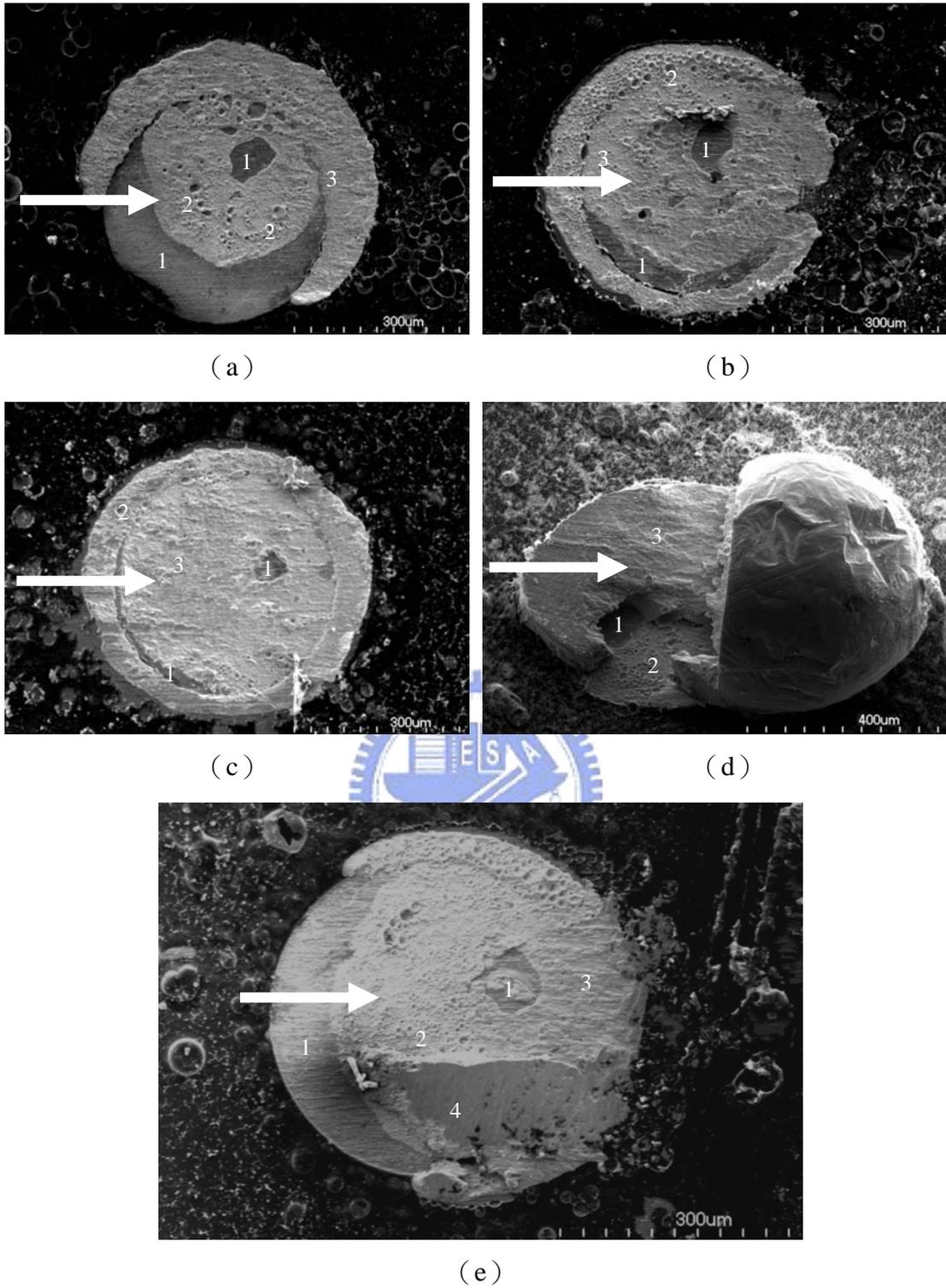


圖 4-18. 各雷射迴鐸條件下不良鐸點常見的破斷面：(a) 200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸，(b) 200 V-10 msec-2.4 J，一次迴鐸，(c) 200 V-7 msec-2.0 J，二次迴鐸之斷裂表面形貌；標號處代為上述不良鐸點的破斷型態種類，箭頭表示推刀方向。(d)、(e) 為200 V-7 msec-2.0 J，一次迴鐸條件下較為特殊的破斷面形貌。