

## 第四章 結果與討論

### 4.1 PET 粒子微波乾燥結果

Table(4.1)為不同粒子處理量影響加熱乾燥時間。

經微波乾燥系統性能測試，發現以下現象，並進行相關改善。

#### 4.1.1 微波洩漏之解決辦法

洩漏在腔門及視窗處原高於安全值  $5 \text{ mW/cm}^2$ ，經處理後

已降為安全值內。微波系統性能改進測試：

##### (1) • 微波洩漏測試

問題：微波洩漏。

原因：加工不良、洩漏網選擇不對。

改進依據：改進前後微波洩漏差異。

改進方法：防洩網條、篩網重新設計。

Fig. (3.5)，量測儀及安全值為  $5 \text{ mW/cm}^2$ ，超過就會有警示聲。

出現值高於安全值，為進、出料口防洩網設計不當，使用單層過

小防洩層 Fig. (4.1)，需改善之洩漏位置，如 Table(4.2)。微波

洩漏之改進方法-金屬網目要夠小，即網目尺寸要遠小於波長  $\lambda$

( $D \ll \lambda$ )，以  $2.45 \text{ GHz}$  的電磁波為例，空氣介質的波長約為  $12 \text{ cm}$ ，

可採用  $0.4 \text{ cm}$  以下網目的鋁金屬網，集膚深度為

$6 \times 10^{-3}$  cm，因此若採用厚度高於 0.06 cm 並加以有效接地，穿透該網目的電磁波強度將衰減  $1/e^{10}$ ，約衰減  $2 \times 10^4$  倍，場強值變的微不足道。修正後設計為兩層結構，外層為隔離防洩網及內層發泡矽膠條，如 Fig. (4.2)。另磁控管平貼鋁箔，避電磁波由看不見的細小縫洩漏 Fig. (4.3)，視窗則以二層篩網防護，可達洩漏安全值以內，如 Table(4.3)。為了增加操作的安全性及加熱的均勻性，腔體常塗有可吸收微波的特殊材質，當作假負載使用，避免微波反射的危險及改善腔體的熱傳導，另視窗設計為加裝 1/4 波長細密的金屬網，門有微波防洩網設計，減少微波的穿透及外洩並使洩漏值達到小於  $5 \text{ mW/cm}^2$  的國家標準(CNS12518C4462)。

#### 4.1.2 腔體內部火花之解決辦法

問題：腔體內部火花。

原因：腔內結構表面處理不當。

改進依據：a. 由視窗看腔內是否有火花。

b. 粒子乾燥後是否變焦黑。

改進方法：a. 腔體內部表面處理。

b. 轉動葉片表面處理。

c. 馬達入口處絕緣設計。

由視窗發現火花產生，位置在出料及進料口處 Fig. (4.4)、馬達入口

處防護片焦黑 Fig. (4.5)。處理方式為進、出料口封起及加裝馬達軸心 Teflon 絕緣片。另微波與轉動葉片產生反應，造成火花現象，如 Fig. (4.6)。轉動葉片改由熔射 Teflon 鍍層 Fig. (4.7)及鋁硬陽 Fig. (4.8)二方式測試。微波加熱腔體時，視窗發現火花現象及乾燥後部份粒子焦黑情況經腔體表面處理後已不再出現。

### 火花產生的原因

空氣中電極間的電位差達到火花電壓，則產生火花放電，因為電極形狀呈針端、細式銳角時，於其尖端很容易產生很強的電場，間隙內的一部份容易產生電離作用，因此兩極間尚未發生火花放電以前，針狀電極附近的部份空氣先絕緣破壞發生自續放電，此種放電叫電暈放電或局部破壞放電。發生電暈放電時的電壓叫做電暈開始電壓。若再將電壓升高時，電暈將進展以致於發生火花放電。此時為維持安定的電暈存在，必須存在下列條件<sup>[粘-97-2-5]</sup>：

- 電場分佈有顯著的不均勻

$$VS=F(Pd) \quad (4-1)$$

Paschen' s Law

(範圍 $P= 10^{-2} \sim 2400$  Torr， $D= 5 \times 10^{-4} \sim 20$  cm，氣體溫度 $T=-15 \sim 860$  °C)

VS：火花電壓 P：氣體壓力

d：電極間的距離

微波在腔內產生電場，而旋轉葉片為不銹鋼，故在腔內形成一電極。而為改善此一問題，旋轉葉片先以不銹鋼熔射，但測試效果不理想後，再改以硬陽處理。硬陽有別於一般陽極處理。如陽極處理目的是防氧化，一般陽極膜厚 10 um 到 20 um 都可染色，而鋁硬陽處理目的是要表層有硬度抗摩擦，在鋁合金表面生成一層氧化膜，表面硬度約有 350~450 微克式硬度。

### 固體絕緣物 <sup>[廖-97-3]</sup>：

若存在著氣體的孔隙，再加上交流電壓時將會持續發生部份放電，因而產生固體的部份放電劣化。產生過程的主要原因：

#### (1). 電粒子的直接撞擊

部份放電中存在著許多帶電之粒子，在這當中，要將高分子的分子鏈加以切斷則必須具有充份的能量，而具有此種大能量的帶電粒子撞擊固體表面時，固體表面的分子鏈被切斷，使得劣化得以進行。

#### (2). 局部溫度上升

各部份放電脈衝均為電漿狀態，因此溫度上推測平均為 170°C，最大則可達 1000 °C。由於此種局部的溫度上升，可預見將促進熱融解、熱分解以及化學反應。

#### (3). 化學反應

由於部份放電，將由空氣中產生 $O_3$ 、 $NO$ 、 $NO_2$ 等，這些氣體將使固體表面氧化分解，進行劣化。在內部孔隙的部份放電劣化，首先是在固體表面進行劣化，其後則放電只集中在數處而發生穿孔(pit)。穿孔的前端向樹狀劣化發展，終至全部破壞。

#### 4.1.3 人因設計之考慮結果

問題：原設計之出料口，因在乾燥過程中會產生火花而不適用。

原因：火花現象之處理。

改進依據：除解決火花問題外，人員操作方便與否為另一考量。

改進方法：變更轉動葉片設計及原出料槽位置，原為側邊入料及下方出料，因微波會對開口縫作用產生火花，故變更設計，封起料口。改由上方進料、前面出料，此方式也有利未來自動倒料之設計。如 Fig. (4.9)。

而所謂人因工程，係探討人們在工作與日常生活中，所使用的物品以及所處的環境，在其設計時所應考量的人類或人員特徵、限制、預期與行為。若依據字面解釋為：探討工程設計時所應考慮的人性因素(人之物質、生理、心理、社會、文化等因素)的一門學問。簡言之，因應人類使用而設計(designing for human use)。

#### 4.1.4 微波乾燥參數與含水率的關係

a. 微波乾燥後含水率由原 3500~4000 ppm 可降至 50 ppm 以下。

如(Table 4.4)所示。

另以其它輔助加熱測試結果及試驗時注意事項，如外加輔助加熱方法，在腔側輔助粒子加熱用熱槍如 Fig. (4.10)，而由文獻知其效果如 Table(4.5)。另在乾燥條件之調整上，腔體內溫度不可過高，否則會產生粒子熔化現象，如 Fig. (4.11)即是粒子沾黏在一起情形。

b. 在 200 ppm 乾燥要求下，PET 微波乾燥比真空熱風乾燥縮短

六倍時間，比除濕乾燥縮短八倍時間，如(Table 4.6)所示。

c. 在 50 ppm 乾燥要求下，微波乾燥比真空熱風乾燥及除濕乾燥縮

短時間，如(Table 4.6)所示。

傳統乾燥機乾燥 PET 粒是利用除濕後的高溫空氣，在料斗內循環。乾燥的空氣，其露點溫度必須在 $-29^{\circ}\text{C}$ 和 $-40^{\circ}\text{C}$ 之間。乾燥機的溫度設定在 $177^{\circ}\text{C}$ 和 $182^{\circ}\text{C}$ 之間，乾燥大約四小時。

微波加熱與傳統加熱的最大差異在熱源的供應不同，傳統加熱為間接加熱，主要靠熱媒的熱傳導，而微波加熱其內部溫度與外部溫度一致，而不易有表面燒焦的情形發生。另一解釋為微波加熱後，水分由蒸氣壓力由「內向外」推出。微波加熱物質內部並且產生蒸氣壓力，由於內部蒸氣壓力比外面還高，因此可以有效將水分由「內向外」推出蒸發。傳統加熱則作用相反，蒸氣壓力是

在表面溫度較高處較高，因此水分即被抽乾，但內部剩餘的水分則需要靠時間慢慢的向外移出來。對粒子加熱時，一旦含水率低於 20%則是使用微波加熱較有效，如以加熱風效果，乾燥後段效果不明顯。

d. 耗電量微波乾燥比真空熱風乾燥少 2.5 倍，如(Table 4.7)所示。

#### 4.1.5 PET 粒子乾燥前後 SEM 形貌之變化

(Fig. 4.12)為 PET 粒子處理前 SEM 不同倍數照片(所指倍率為原始拍照倍率)。

(Fig. 4.13)為 PET 粒子處理後 SEM 不同倍數照片(所指倍率為原始拍照倍率)。

由圖可知，表面差異很小，基本上要放大倍率時才可以發現差異。

微波乾燥後粒子樣品表面有極微小的孔隙，並不影響其結構。

應是脫水後所造成的，這也符合水分含量降低的結果。

## 4.2 PET 基板電漿清洗結果

由實驗得知以下在機台結構及製程方面相關試驗結果

### 4.2.1 微波負載與共振腔之調整結果

網路分析儀如 Fig. (3.7)，由分析儀可量測出腔體在靜態時，移動共振腔位置及腔體內不同負載，會有不同 dB 變化。經適度調整共振

腔板，調整前、後系統 dB 值如 Fig. (4.14)。以氣冷式負載 Fig. (4.15) 及水冷式負載 Fig. (4.16) 可知，不同負載之 dB 變化不同，以此做為量測前校正之用。方向耦合器(directional coupler)如 Fig. (4.17)，其耦合度如下式。

$$\text{耦合度 } C = 10 \log_{10} P_i / P_f \text{ (dB)} \quad (4-2)$$

$P_i =$  前進功率  $P_f =$  反射功率

20 (dB)  $\Rightarrow P_i = 100$   $P_f = 1$ ，10 (dB)  $\Rightarrow P_i = 10$   $P_f = 1$

5 (dB)  $\Rightarrow P_i = 5$   $P_f = 1$ ，0 (dB)  $\Rightarrow P_i = 1$   $P_f = 1$

共振腔匹配調整結果如下，由此量測可使設備系統調整至最佳狀態。

Table (4.8) 量測共振腔板離石英不同位置，腔體內部 dB 值。

Table (4.9) 量測腔內不同負載時，不同 dB 值之變化。

#### 4.2.2 電漿處理前後對水接觸角量測結果

Table 4.10 PET 基板在特定電漿參數，不同時間清洗後水滴角度效果可由未清洗前的 90 度降至清洗後 10 度以下。

Fig. 4.18 PET 基板不同時間清洗後水滴量測圖。

#### 4.2.3 電漿處理前後對達因強度量測結果

達因試劑量測，PET 基板表面皆可由此法初步量化處理前、後表面能量。未經  $O_2$  Plasma 處理：表面接著能量約為 28 mN/m 以下經  $O_2$  Plasma 處理：表面接著能量拉高到 56 mN/m 以上，如 Fig. 4.24。

Table 4.1 PET 粒子不同處理量與加熱溫度、時間之關係表

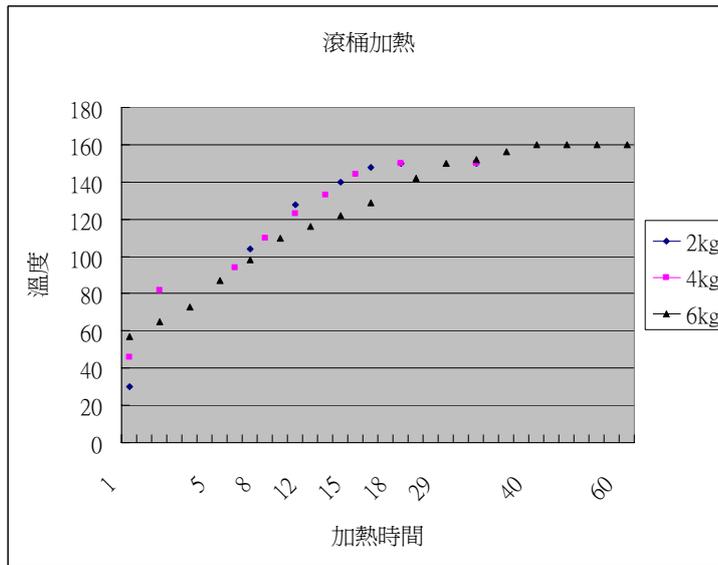


Table 4.2 微波乾燥機未修正前微波洩漏值

未修正前微波洩漏量測 (Unit : mW/cm <sup>2</sup> )			
量測位置	1	2	3
視窗	&	&	&
腔門	9.1	8.2	8.5
上磁控管處	&	&	&
進料口	9.2	8.3	9.1
下料口	8.3	&	8.1

Table 4.3 微波乾燥機修正後微波洩漏值

修正後微波洩漏量測 (Unit : mW/cm <sup>2</sup> )			
量測位置	1	2	3
視窗	0.2	0.6	0
腔門	0.4	0.7	1.1
上磁控管處	0	0	0
進料口	0	0	0
下料口	0	0	0

Table 4.4 處理前後 PET 粒子含水率比較表

試片編號	未乾燥前含水率(ppm)	乾燥後含水率(ppm)
S1	3726	642
S2	3726	687
S3	3726	370
T1	3700	124
T2	3700	79
T3	3700	98

Table 4.5 微波乾燥機熱風輔助裝置

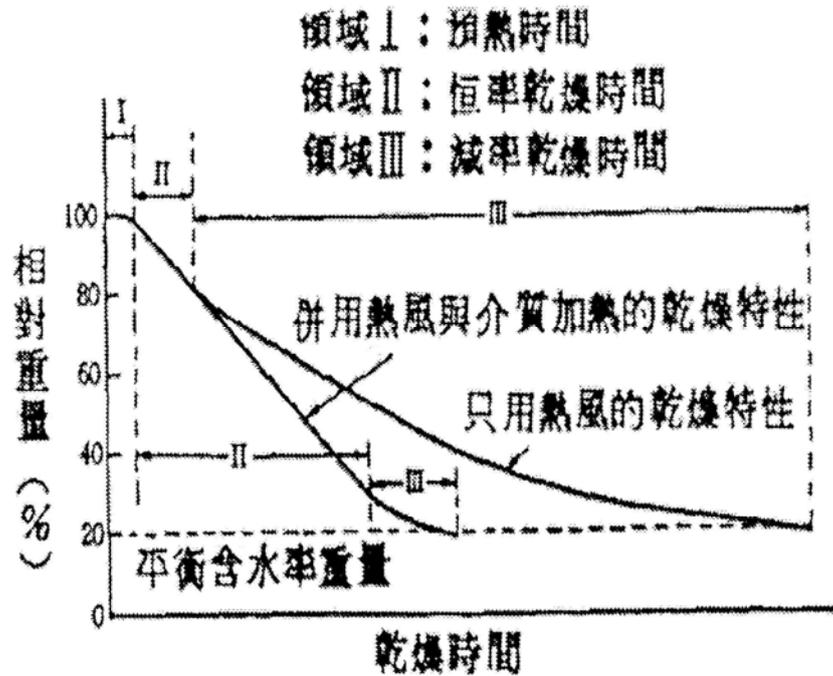


Table 4.6 達 200 ppm 及 50ppm 含水率，不同加熱設備之時間比較

不同加熱設備乾燥 PET 粒子，達到不同含水率之時間比較		
	200ppm	50ppm
真空熱乾燥(hr) <sup>1</sup>	3	8
除濕乾燥(hr) <sup>2</sup>	4	N/A
微波乾燥(hr)	0.5	1.5

1. 2. [劉-05-p65]

Table 4.7 PET 粒子不同加熱設備乾燥耗電量之比較

乾燥到含水率 200ppm 標準之不同乾燥方法耗電量比較			
	真空熱風乾燥 <sup>1</sup>	除濕乾燥 <sup>2</sup>	微波乾燥
電熱功率(KW)	2	10.2	4.8
乾燥時間(hr)	3	4	0.5
耗電量(kW-HR)	6	40.8	2.4

1. 2. [劉-05-p65]

Table 4.8 距石英板不同位置，網路分析儀量出 dB 值

以 450mm*450mm 腔體大小， 量測共振腔板離石英不同位置 dB 值		
測試編號 <sup>2</sup>	共振腔板離石英(mm)	dB 值
U1	15	5.12
U2	35	8.32
U3	55	12.74
U4	75	16.87
U5	95	13.21
U6	115	9.65

<sup>2</sup>Other conditions :

內負載數 6 個，

負載為 L:195 mm W:55 mm H:130 mm T:3 mm 空心鋁盒，

負載離石英板 100 mm，石英大小圓徑 300 mm

Table 4.9 腔內負載體積改變，網路分析儀量出 dB 值

以 450mm*450mm 腔體大小， 量測腔內不同負載不同 dB 值		
測試編號 <sup>3</sup>	內負載數	dB 值
V1	1	5.24
V2	3	4.43
V3	6	6.12
V4	9	6.27
V5	11	6.31
V6	13	8.67

<sup>3</sup>Other conditions :

負載離石英 100 mm，石英大小圓徑 300 mm，

共振腔板離石英 75 mm，

負載為 L:195mm W:55mm H:130mm T:3mm 空心鋁盒

Table 4.10 PET 基板在特定電漿參數下，不同時間清洗後水滴效果及達因試劑量測

PET 基板在特定電漿參數下， 不同時間清洗水滴角度及達因試劑量測			
測試編號 <sup>4</sup>	TIME (SEC.)	水滴角(度)	達因(mN/m)
W1	15	45.1	38
W2	30	40.3	41
W3	60	30.7	41
W4	90	20.1	44
W5	120	15.8	44
W6	150	10.2	56

<sup>4</sup>Other conditions :

壓力 200 mtorr，氣體種類 O<sub>2</sub>，流量 400 sccm，

POWER 800W



(a)



(b)

Fig. 4.1 進、出料口防洩網設計不當(a)進料口原設計(b)單層細

小防洩網



(a)



(b)

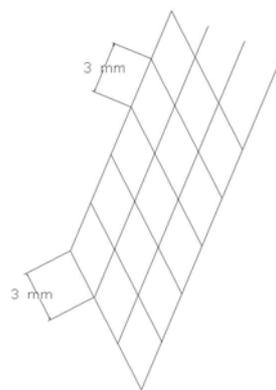


Fig. 4.2 進、出料口防洩網修正後設計(a) 多層防洩網(內發泡

矽膠圓徑 6 mm) (b) 視窗防洩網及尺寸(3 mm)

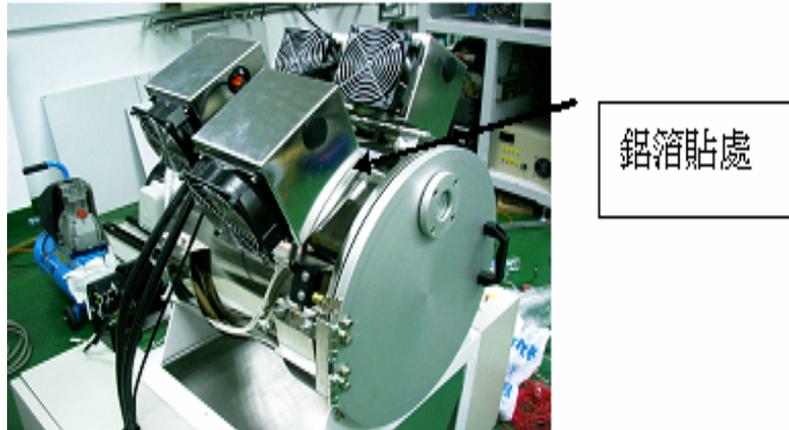
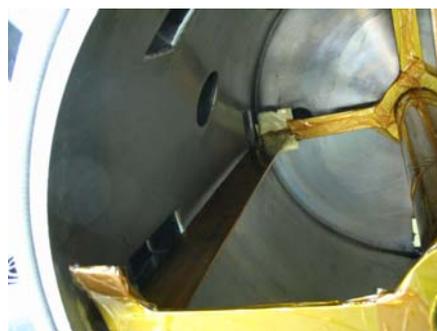
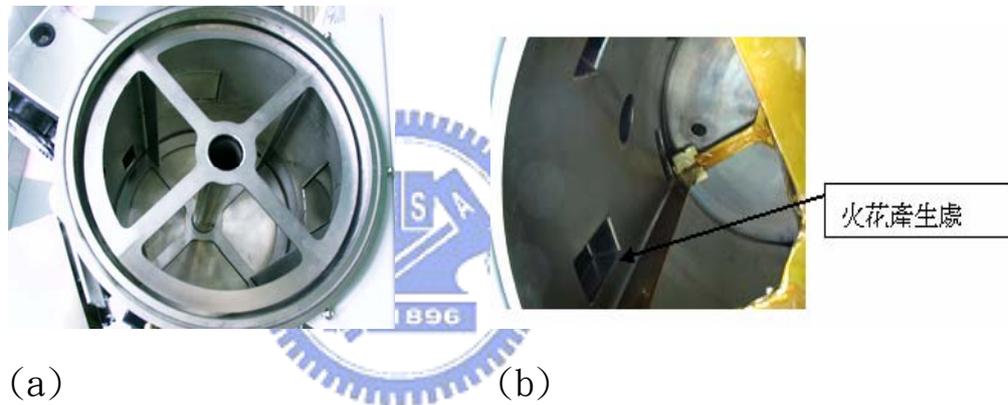


Fig. 4.3 磁控管平貼鋁箔



(c)

Fig. 4.4 微波入口處火花產生(a) 初期設計轉動葉片結構

(b) 轉動葉片與微波入口處 (c) 轉動葉片經過微波入口處，產生放電現象

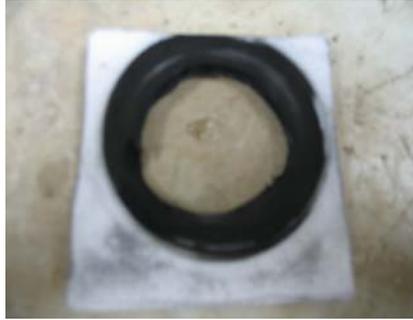


Fig. 4.5 馬達入口處保護用 Teflon 墊塊燒焦

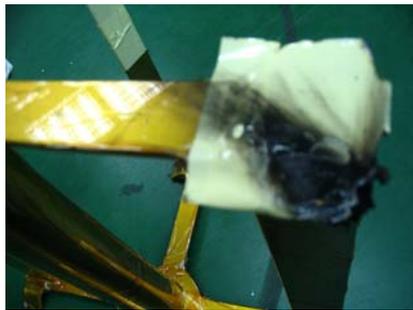


Fig. 4.6 轉動葉片燒焦現象



Fig. 4.7 不銹鋼表面熔射 Teflon 轉動葉片之設計



Fig. 4.8 乾燥用腔體及內處理 PET 粒子  
及鋁硬陽處理轉動葉片

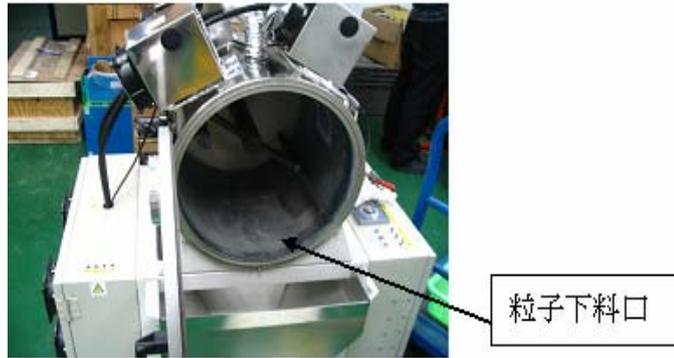


Fig. 4.9 乾燥系統人因設計，  
由腔體下方卸料現改由腔門卸料

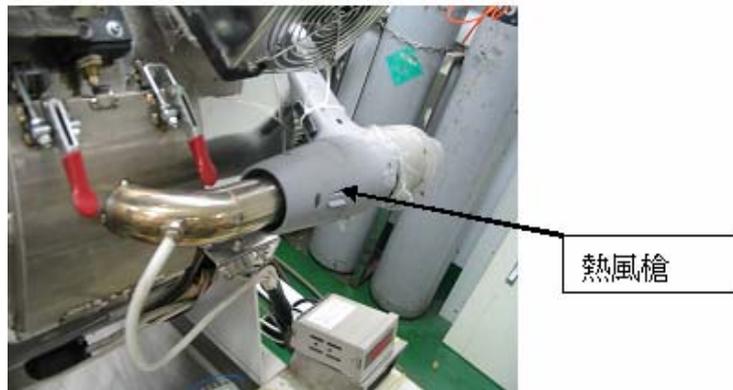
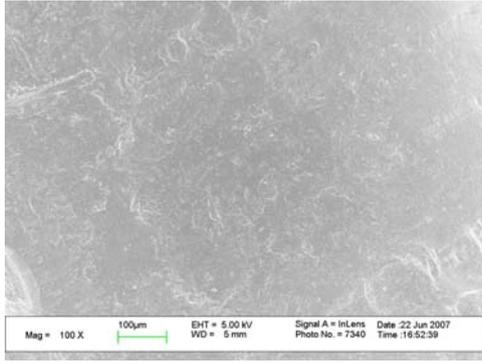


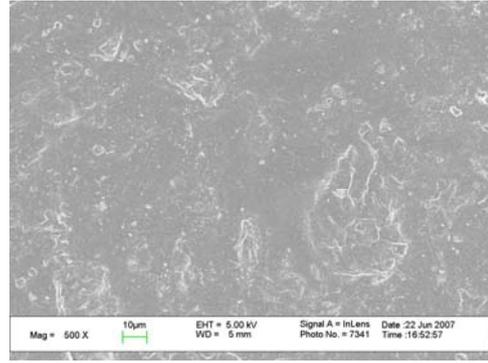
Fig. 4.10 腔側輔助粒子加熱用熱槍



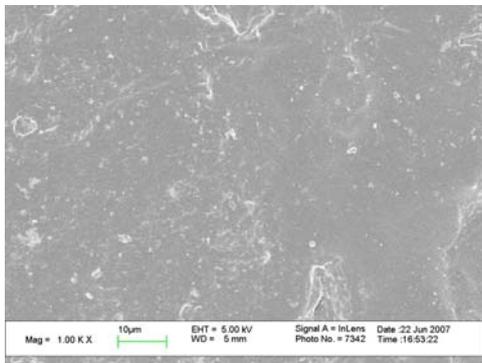
Fig. 4.11 PET 粒子處理溫度過高，粒子熔化現象



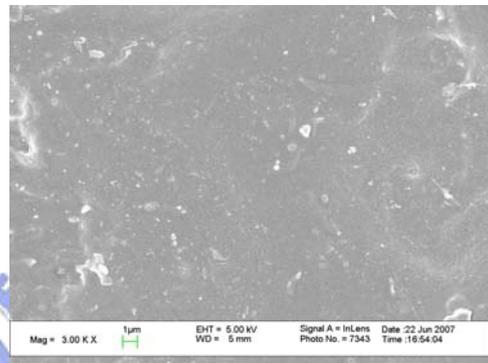
(a) 100X



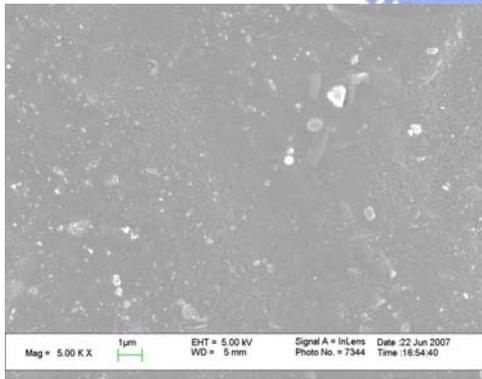
(b) 500X



(c) 1KX

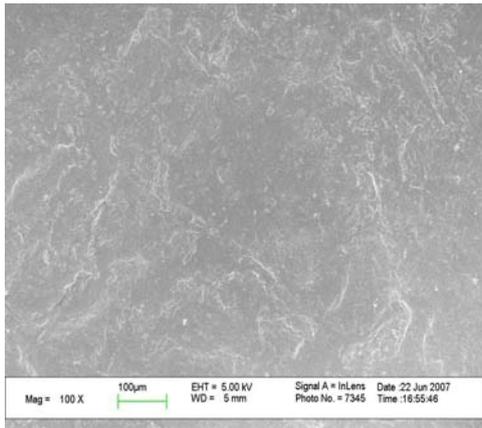


(d) 3KX

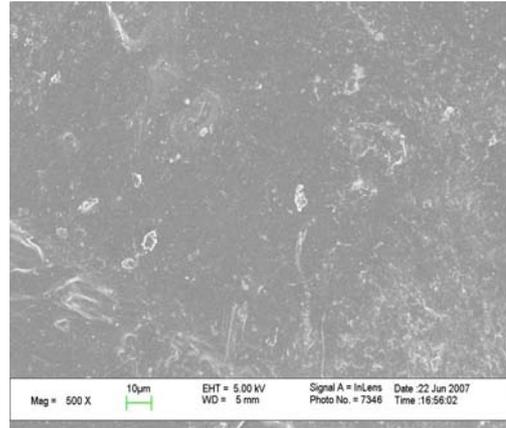


(e) 5KX

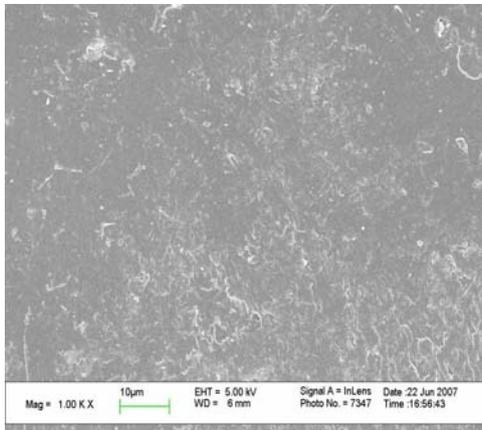
Fig. 4.12 PET 粒子處理前 SEM 不同倍數照片(所指倍率為原始拍照倍率) (a)100X (b)500X (c)1KX (d)3KX (e)5KX



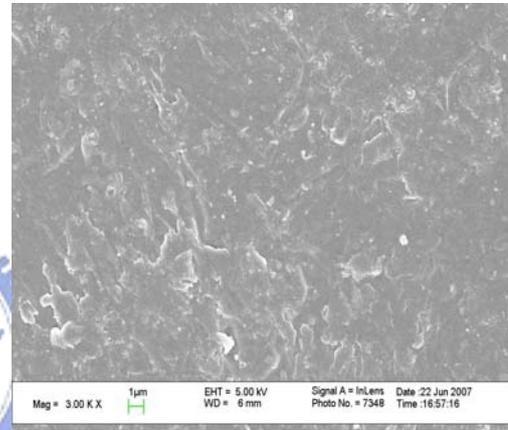
(a) 100X



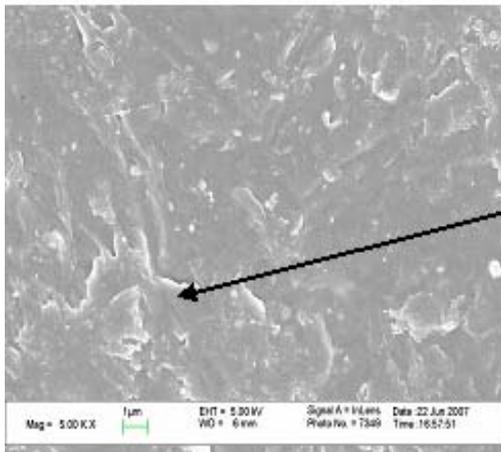
(b) 500X



(c) 1KX



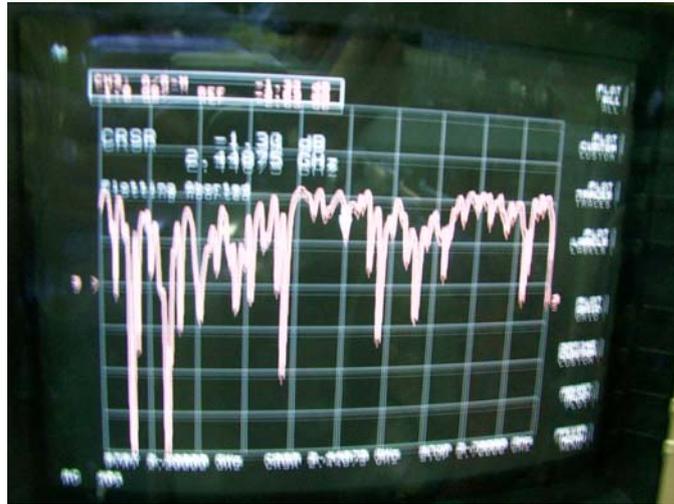
(d) 3KX



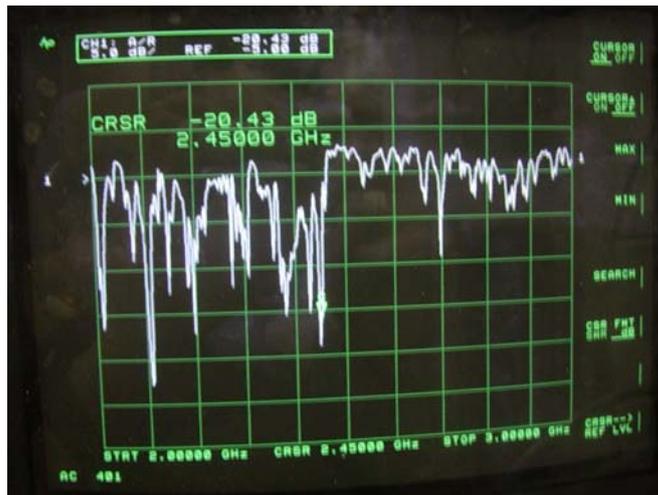
裂痕

(e) 5KX

Fig. 4. 13 PET 粒子處理後 SEM 不同倍數照片(所指倍率為原始拍照倍率) (a)100X (b)500X (c)1KX (d)3KX (e)5KX



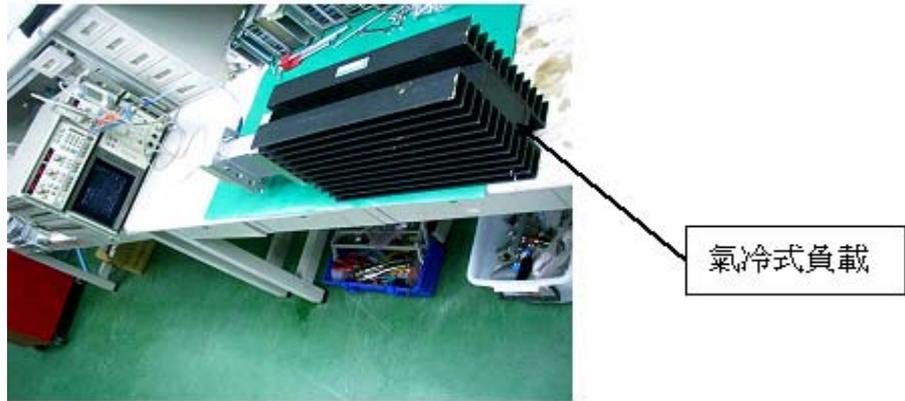
(a)



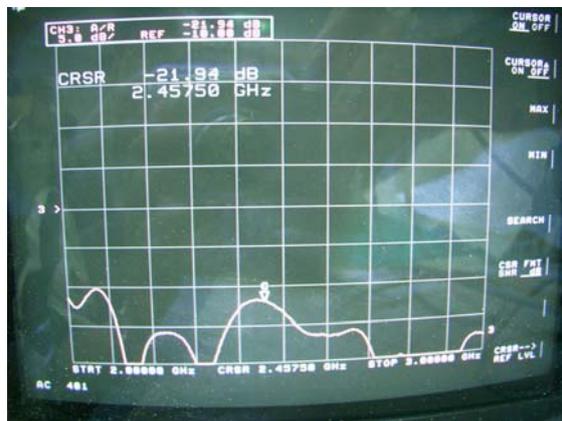
(b)

Fig. 4.14 (a) 調整前系統 dB 值為 1.38

(b) 調整後系統 dB 值可達 20.43

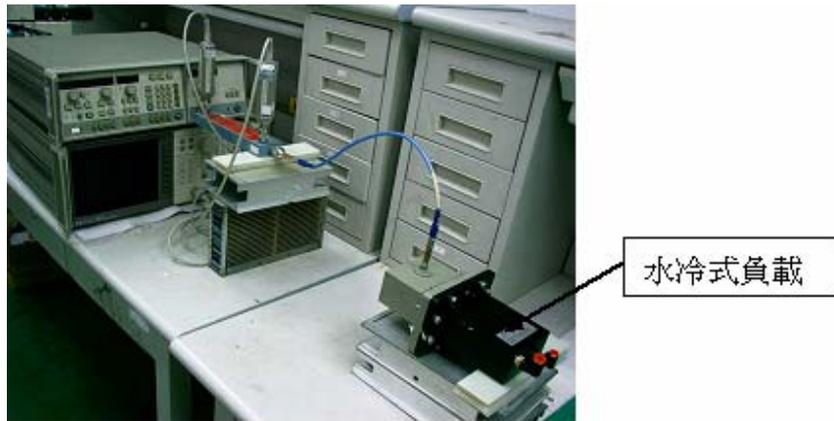


(a)

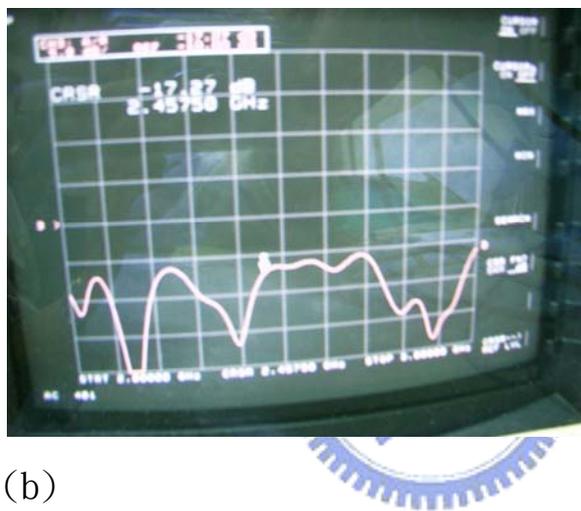


(b)

Fig. 4.15 (a)氣冷式負載量測(b)量測出 dB 值



(a)



(b)

Fig. 4.16 (a)水冷式負載量測系統(b)量測出 dB 值



Fig. 4.17 方向耦合器

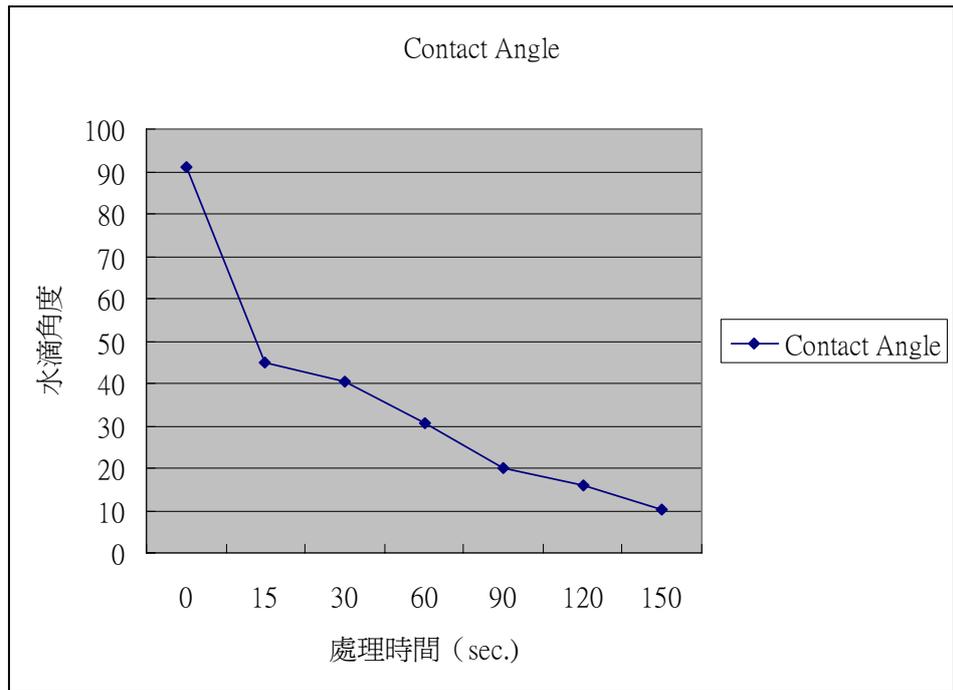


Fig. 4.18 PET 基板不同時間清洗後水滴量測

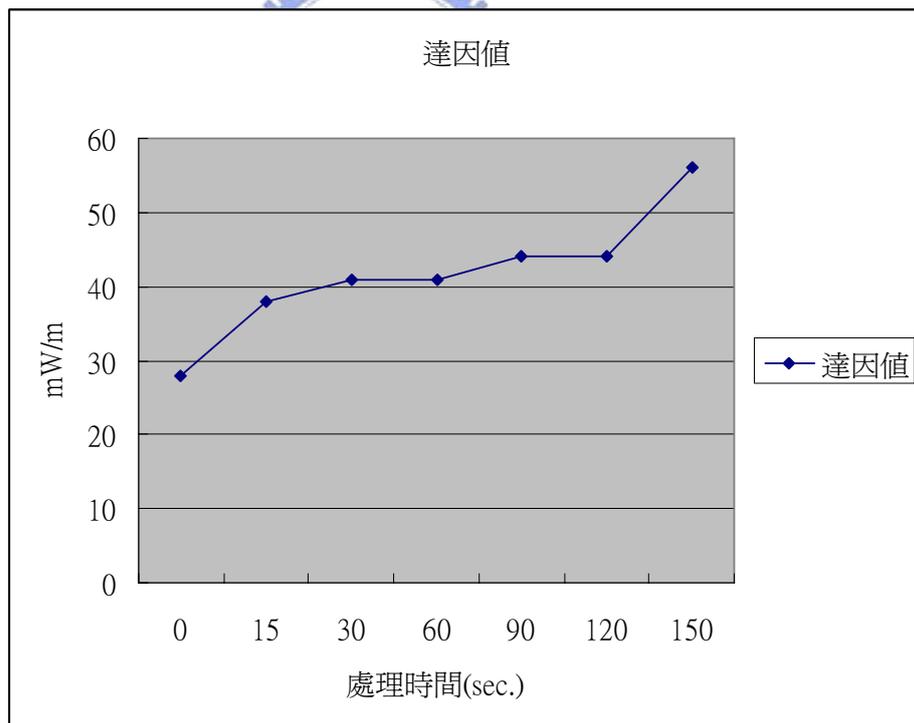


Fig. 4.19 PET 基板不同時間清洗後達因量測

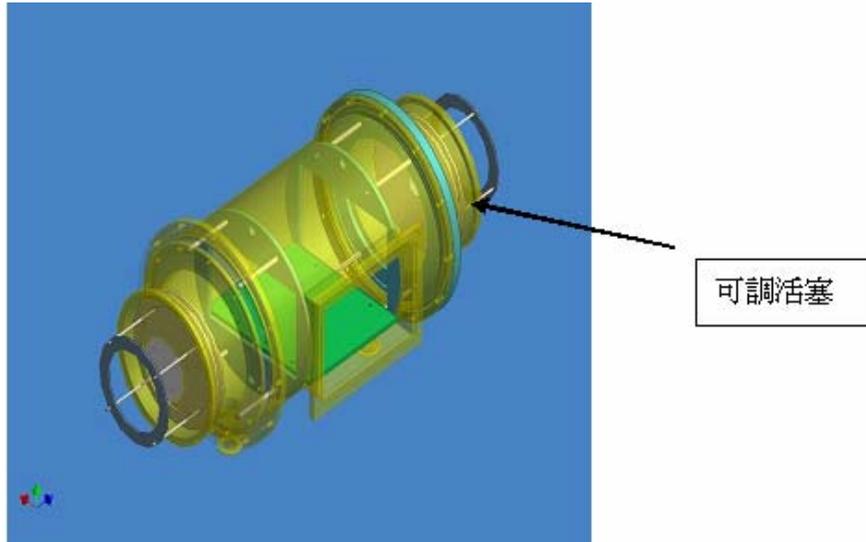


Fig. 4.20 共振腔內可調整活塞式之圓形鼓狀板



Fig. 4.21 PET 基板電漿清洗腔內結構照



Fig. 4.22 PET 基板電漿清洗微波源結構

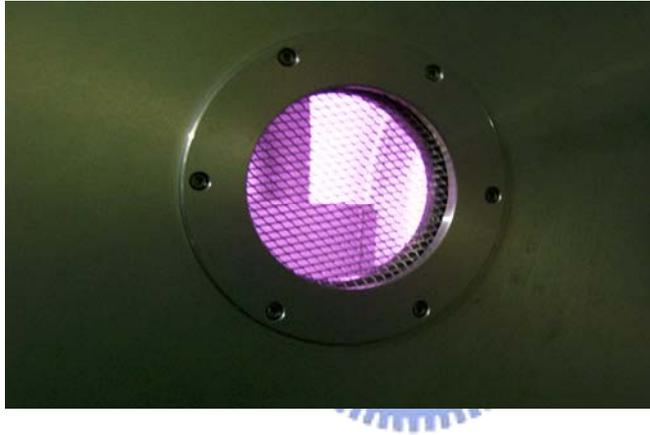
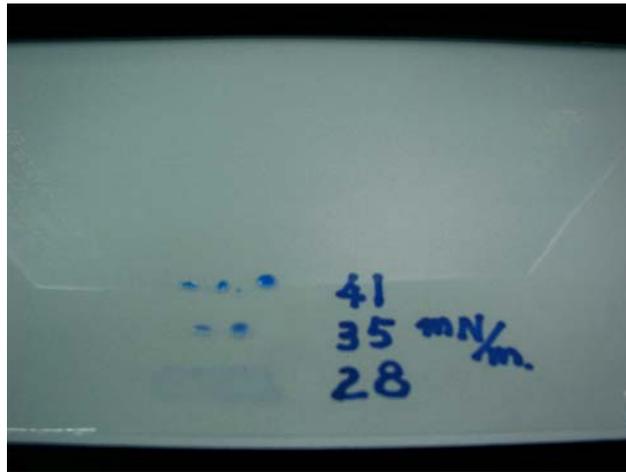
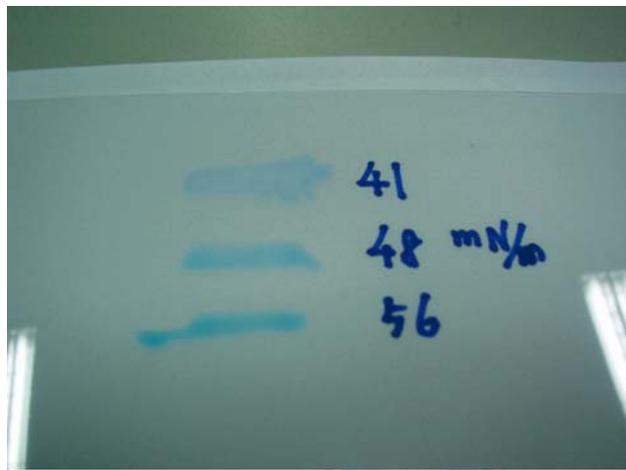


Fig. 4.23 PET 基板電漿清洗時，腔體內部電漿產生之輝光現象



(a)



(b)

Fig. 4.24 (a)清洗前達因測試(僅達 28 mN/m)

(b)清洗後達因測試(可達 56 mN/m)