

## 第二章 文獻回顧及原理簡介

### 2.1 微波基本原理

微波加熱係利用磁控管產生電磁波通過介質產生離子極化及偶極摩擦作用，因為消耗位能，產生熱能而有整體加熱現象，因此有加熱迅速等優點<sup>[陳-99-31]</sup>。簡而言之，電磁波通過介質會損失部分能量，瞬間使介質的能量提升，接著釋放累積的能量，造成分子極化與電子振盪現象，這些運動造成分子摩擦升熱而提高介質溫度，進而造成溫度上升的現象<sup>[陳-02-4]</sup>。以水為例，在高頻電場加熱的非金屬材料中，或多或少含有水分。在室溫下一千萬個水分子中就有一個離解的氫離子自動與另一個水分子結合成離子。這兩種離子在電場作用下做加速運動，並在運動過程中與水分子碰撞而產生熱量。而當微波作用在真空環境下的分子時，會促進分子的轉動動能，此時分子的內能增加，稱為該分子處於激發狀態，當激發狀態的分子回復到基態時，其多出的能量便以熱或其他的能量形式釋放出來。

對於某特定頻率的微波而言，有些分子可與之作用，而有些分子則否。如 Fig. 2.1(a)，在外電場中，每個電偶極子還要受到電場力矩的作用發生轉動，並趨向於外電場的作用方向。若外電場越強，分子偶極子排列就越整齊，如 Fig. 2.1(b)。若外電場隨著時間改變方向，

則介質中的電偶極子也要跟著改變方向。

$$P = 0.556 \times 10^{-10} f \varepsilon' E^2 \quad (2-1)$$

$f$ ：高頻電場的頻率， $\varepsilon'$ ：介質的介電常數

從(2-1)說明加熱的效果首先取決於電場強度  $E$  的大小和頻率，其次是介質自身的特性。

微波加熱是一種將電能轉換為熱能的加熱方法，其轉換機制可由

$$P = \sigma |E|^2 = 2\pi f \varepsilon_r \varepsilon_0 \tan \delta |E|^2 \quad (2-2)$$

$P$ ：材料單位體積所吸收的能量

$\sigma$ ：有效傳導率(s/m)

$E$ ：電場強度(V/m),  $f$ ：微波頻率(Hz)

$\varepsilon_r$ ：真空之介電常數  $8.86 \times 10^{-12}$  F/m

$\varepsilon_0$ ：相對介電常數

$\tan \delta$ ：物質感應損失

由(2-2)可知，在介電材料內部所吸收的微波能量正比於頻率、介電常數和電場的平方，Table 2.1 為常見物質在不同頻段之介電常數及感應損失。微波在被吸附的材料中傳送時，其電場強度會遞減，因此其變化情形可定義為微波從材料表面開始穿透，至其能量減為一半的距離  $D$ ，可用(2-3)式表示

$$D = 3 \lambda_0 / 8.686 \pi \tan \delta (\varepsilon_r / \varepsilon_0)^{1/2} \quad (2-3)$$

$\lambda_0$ : 微波在工作頻率下，於真空的波長

從式中可看出微波的加熱深度比紅外線加熱大，因為微波的波長比紅外線大，所以紅外線加熱只是表面加熱，微波是深入到內部加熱。

而 915 MHz 的微波加熱深度會比 2450 MHz 的大。

## 2.2 微波系統設計

一般微波裝置是使用稱為磁控管(Magnetron)的電子管來產生微波源，經由導波管(Waveguide)傳送特定振盪模式微波至反應腔體內，如腔體內部有微波可吸收介質材料，則微波會對介質材料產生加熱作用。另如透過石英玻璃或介質窗導入真空腔體內部，則微波所產生之振盪電場將對饋入的氣體造成崩潰現象以產生電漿。以下就針對微波系統之磁控管、腔體、導波管做一簡單介紹。

### 2.2.1 磁控管

如 Fig. 2.2(a)所示<sup>[李-90-112]</sup>，磁控管的構造，包含陰極與陽極的二極真空管，在陰極上繞有鎢絲線圈。在陽極片之間，產生微波頻率之共振。陰極需要電源加熱，以使熱電子從陰極表面發射，同時在陰極、陽極門加上高壓電，在磁控管的外部裝設磁石，產生磁力線偏向作用，形成以陰極為中心的旋轉電子。這種電子集團稱為”回轉電子”，這種狀況與交流發電機的構造很相似，以磁控管與發電機相比擬，回轉

電子就如同發電機的轉子，陽極相當於定子。轉子(回轉電子)之動能轉變成陽極片的微波能量，微波經由天線連接到外界，天線與導波管連接，將能量傳送到腔體內。磁控管動作時需大的磁場，這個磁場的來源，對於小型磁控管是採用永久磁鐵，大型磁控管則使用電磁鐵。

磁控管產生的振盪頻率，由磁控管俯視圖 Fig. 2.2(b)所示，陰極軸長和陽極軸長的比值與操作頻率  $2\pi$  模態、 $\pi$  模態及軸向  $\pi$  模態的關係。當陰、陽極軸長的比值趨近 1 時，磁控管在軸向的電場是完全對稱，磁控管的  $2\pi$  模態頻率接近於 4.6 GHz，接近  $\pi$  模態為 2.34 GHz。

但當陰極長度小於陽極長度時，軸向的對稱已被破壞，所以  $2\pi$  模態的頻率並不是約為  $\pi$  模態頻率的兩倍。一般而言，磁控管的間隙  $d = ra(\text{陽極半徑}) - rc(\text{陰極半徑})$ ， $d/ra$  約介於 0.15 至 0.25 之間。如

Fig. 2.2(c) 為磁控管的布里淵頻散圖，它的縱軸為頻率，橫軸為相鄰的相角差。實際的共振模態有無限多個，由圖知，除了模態  $3_0$  和  $0_1$  之外，其它的模態均為重合態，所以一般均在這兩模態下操作。 $3_0$  模態相角差為  $\pi$ ，所以稱為  $\pi$  模態。 $0_1$  模態相角差為  $2\pi$ ，所以稱為  $2\pi$  模態，Table 2.2 為各種磁控管的結構尺寸與振盪頻率。

### 2.2.2 腔體之設計

空腔為一完全封中空之固體形態，在微波技術中可視為導波管之共振電路。Fig. 2.3<sup>[李-90-112]</sup> 顯示長方形、圓柱形空腔中場電流、電壓分

布情形。Fig. 2.3<sup>[李-90-112]</sup> 圓柱形空腔為圓形導波管之一種形式，圓中心為其軸，橫越場為磁場，標為  $TM_0$  圍繞且平行其周圍有一固定 H 磁場。方形導波管半波封閉管中，即  $TE_{0,1}$  當改變空腔形狀及加入金屬或陶磁體可改變空腔共振頻率。如使用調整圓盤減縮圓柱形之空腔，藉此改變腔內共振頻率，Fig. 2.4<sup>[李-90-112]</sup> 所示，空腔調諧系統以一可動的插桿穿過管壁插入圓柱環空腔中，亦可改變其共振頻率。用一螺旋電感和電容性探棒附在一可動之活塞上，在較高頻率時，此電感的作用好一短路活塞，或好像一電容板伸入空腔中一樣。電磁場在空間中的傳送是以電場與磁場相垂直的模態行進，彼此交互消長向前自我傳遞。

腔體之設計，可參考 Table 2.3 不同型式空腔 Q 值計算表及

Table 2.4 不同型式空腔及波長計算表。至於何謂 Q 值？

可從諧振的意義談起，在電路裡我們使用的被動元件，一般為電阻、電容與電感。電阻因僅會消功率，它的數值是實數。電感及電容會儲能及釋放能量，其值為虛數。如果在 R, L, C 電路裏，在某一頻率，可使該電路的虛數值為零。故稱為諧振。Q 值代表電路實數與虛數的某種關係，是在電路計算很重要的一個參數。前面所提到 R, L, C 電路及電阻、電容與電感之特性，可定義為一個比值，其內容是元件的儲存電能與消耗電能的比值稱品質因素 Q，如(2-4)式。

$$Q=2\pi * \text{最大儲存能量} / \text{每週期消耗功能} \quad (2-4)$$

故若串聯 R, L, C 電路，外加電壓頻率高於諧振頻率則電感電壓大於電容電壓，會有虛部阻抗出現，且總電流減少。而電容電壓大於電感電壓同樣會有虛部阻抗出現。只有在諧振頻率時，虛部阻抗為零，才有實部最大之電流。

腔體內最佳傳輸波長，則可以由傳輸線理論來看。傳輸線上阻抗分佈的情形，它是隨著距離而變化。如 Fig. 2.5(a)，傳輸線上阻抗等效電路圖。如果距離為  $\lambda/4$ ，則  $R_0 = (Z_2 Z_1)^{1/2}$ ，虛部不見了。此式也可作為阻抗匹配對公式，如 Fig. 2.5(b) 傳輸線電路。此時輸入阻抗為  $Z_S$  和  $Z_2$  阻抗完全一樣，則就不會產生反射。Fig. 2.5(c)，等效傳輸線， $Z_S = Z_2$ ，故開路傳輸線上的入射波和反射波，在距開路端  $\lambda/4$  處，入射波和反射波的和(駐波)等於 0，如 Fig. 2.5(d)。由於電磁波的能量儲存在電場及磁場中，單位體積的能量密度於駐波時，以  $1/4$  波長處為最大，此處的電場或磁場之能量密度一為最大，一為最小。

### 2.2.3 導波管之設計

微波可由多種方式傳送；譬如經由同軸電纜，導波管或由絕緣體。但使用到高能量微波時，則須使用導波管。導波管尺寸決定了微波可於其內傳輸之範圍。要讓微波能量能夠傳送至材料處理的區域，必須設計可以引導微波傳送而不致損傷微波能量的路徑，常用的為矩形波導管。各種波導管尺寸都有其可傳送的微波頻率，特定尺寸的波

導管傳送某特定頻率以上的頻率，該特定頻率通稱為截止頻率。而尺寸與頻率構成波導管內特定的電磁場型分佈，稱為模態。

常見的矩形波導管為 TE 模態，即電場存在於垂直電磁波行進的方向，而無電磁波行進方向的分量之模態，如 Fig. 2.6(a) 為矩形波導管 TE 模態，其第一下標表示在矩形波導管長之半波長數目，第二下標表示在矩形波導管短之半波長數目。為了僅使 TE<sub>01</sub> 波型能於其內傳輸，因而制定一些標準：

導波管之尺寸比例如 Fig. 2.6(b)

$$a/b = 2 \sim 2.25 \quad (2-5)$$

$$f_{\text{range}} = (1.2 \sim 1.9)f_c \quad (2-6)$$

$f_{\text{range}}$  : 傳輸之範圍

$$f_c = c/2a,$$

$f_c$  : 截止頻率

截止頻率為定義訊號可通過與阻止訊號通過頻帶之分界點的頻率。

$$f_c = 1/2 \pi RC \quad (2-7)$$

R、C 分別代表電路中之電阻及電容值

所以只有當頻率高於此特定值時，波才能在波導中傳送。

真空中光速  $c = 3 \times 10^{11}$  mm/s, 而其於導波管內之波長：

$$\lambda_g = c/f \sqrt{1 - (f_c/f)^2} \quad (2-8)$$

以 2.45 GHz 所使用之導波管 R26 為例，

$$a = 86.36, b = 43.18, a/b = 2f_c = 1.74 \text{ GHz}$$

$$f_{\text{range}} = 2.2 \sim 3.3 \text{ GHz}, \lambda_g = 173.4 \text{ mm}$$

Table 2.5 為電子機械工業規格的方形導波管尺寸與頻率關係。

## 2.3 PET 特性與應用

### 2.3.1 PET 水解特性<sup>[林-05-189]</sup>

一般在聚合物的主鏈上若含有非碳原子，當發生溶解反應時會將這些非碳原子的 C-X 鍵打斷，而使分子鏈剪斷，這些非碳原子(X)包括有氧、氮、磷、硫、矽原子及素等，如 Fig. 2.13，溶解劑一般指的是水(HO-H)、(ROH)、(NH<sub>3</sub>)、(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)。其中，溶解劑若為水時，其溶解過程又稱水解，這種反應較為常見。一般溶解反應被局限於聚合物的表面進行，但若聚合物對溶解劑的擴散速率夠快的話，溶解反應也會發生於聚合物的內部。當然聚合物的結晶性與分子鏈上的組態也會影響到溶解反應進行的程度。另若分子鏈中成份含有易水解的鏈結時，如聚酯、PU 等皆較易受酸、鹼的侵蝕。

### 2.3.2 PET 應用

PET 目前每年至少還有 10 %左右的成長率。PET 樹脂依加工製程及熱處理方式不同，造成分子鏈排列整不同，而有透明非晶性及非透明結晶性兩種樹脂材料，世界上目前使用量每年高達 300 公噸以上，



其中大部份 PET 樹脂作為纖維使用，約佔 66 %，其次為塑膠瓶，約佔 26 %，以及薄膜和其他少數用途約佔 8 %。

PET 塑膠薄膜的生產方式<sup>[洪-07-159]</sup>，因其優異的延伸性，可利用雙軸拉伸而予薄膜較高阻氣性、耐化性、透明性以及機械強度(楊氏模數 ~ 4 GPa)，此種雙軸拉伸的 PET 薄膜製作過程如 Fig. 2.7 所示，首先將融熔態壓冷卻至滾筒上進行雙軸順向拉伸，拉伸比約為 3 ~ 4 倍。一旦拉伸完成之後，薄膜經由烘箱中固定張力下做熱定型處理步驟(或稱結晶)。而熱處理主要是為防止薄膜收縮回到原先拉伸形狀以及可以固定分子鏈排列方向，雙軸拉伸高分子除了薄膜不錯的機械性質外，排列整的分子鏈形成無數個直徑小於可見光波長的小晶核，因此也可具有不錯的透明性。



一般可撓性基板材料主要有超薄玻璃、不銹鋼板及塑膠薄膜等三種，如 Table 2.6 所示。而 PET 具有良好的光學穿透度、低的 CTE 且價格又便宜<sup>[田-06-144]</sup>，如 Table 2.7 為與其它材料特性之比較。另 PET 塑膠則會因吸濕增加水分而降低分子量(水解)，因此成型品的強度會減低，特別是耐衝擊強度的降低，如 Fig. 2.8<sup>[台-00-p1][澁-92-358]</sup>。PET 與薄膜在軟性顯示器基板之間接合後其應力與撓曲特性，如 Figs. 2.9 ~ 2.11 為 PET 上鍍一金膜，並拉伸測試其變形狀況<sup>[林-07-60]</sup>，故若要產生奈米等級(~ 100 nm)之結構圖案，則進一步選擇楊氏係數( $E_f/E_s$ )與厚

度比( $t_s/t_f$ )皆越大的材料組合。

PET 塑膠基板的應用可在軟性印刷電路板、軟性顯示器、電子書上<sup>[呂-07-127]</sup>，軟性印刷電路板上因光學透明性不似顯示器要求高，首重在耐熱性與耐化學藥品性，一般耐熱溫度大於 188 °C，以確保鐳錫過程中基板的安定性，而 PET 因價格便宜而被採用。尤其在 RFID 標籤上，此一無線 RFID 標籤集成數百個有機電晶體。除天線部分外，無線電路、電源電路、邏輯電路以及記憶體電路等均使用有機材料。故其成本比現有矽晶材料更便宜及更有競爭力。軟性顯示器的應用方面，目前以 OTFT(Organic thin-film transistor)最具可行性。因 PET 具備輕、薄、可捲曲、省電、耐衝與環保等特性，美國賓州大學在 PET 塑膠基板上製作 OTFT 元件以驅動 OLED<sup>[王-07-88]</sup>，如 Fig. 2.12(a)所示，面板解析度為 48 \* 48，畫素大小為 500 \* 500  $\mu\text{m}$ ，實際點亮狀況如 Fig. 2.12(b)所示。

## 2.4 物料乾燥過程及水分量測法

### 2.4.1 乾燥過程

所謂乾燥就是指除去物質水分之一種加工方式，目的是減少物質含水率，減少重量、體積、防止變質、延長貯存期限及方便其他加工作業。而物料乾燥過程最初表面為呈濕潤狀態，在加熱乾燥過程中，

首先自表面蒸發水分，待濕潤表面積逐漸減少之後，物料內部水分即向表面擴散而蒸發出去，直到物料含水率降到預期含水率為止，終止乾燥過程。乾燥過程基本上可區分為三個期間，如 Fig. 2.21 所示。

- (1). 預熱期，如 A-B 階段物料溫度逐漸提高到乾燥空氣的濕度預熱期，此時對整個乾燥過程的影響甚小。由於物料初溫較熱空氣溫度為低，加熱之後蒸發速率，即乾燥速率會增加，到達恆率乾燥期即維持固定值。
- (2). 恆率乾燥期，如 B-C 階段於單位時間內自物料單位面積內蒸發出去的水分量為恆值。物料表面含有飽和水分，乾燥過程如由自由水面的蒸發現象。影響恆率乾燥速率的因素為物料表面積、熱空氣之溫度、濕度及速度。由於質量交換速率，所以物料表面維持恆溫，且等於熱空氣的濕溫度。熱空氣與物料表面蒸氣壓之差異現象促使水氣經由停於物表面之空氣薄層移動到熱空氣流中。恆率乾燥期之乾燥現象可從蒸氣壓、絕對濕度和熱傳遞等三個角度表示之。恆率乾燥期結束時之含水率稱為臨界含水率。
- (3). 減率乾燥期，如 C-D 階段物料水分由內部向表面移動的量逐漸減少，使得濕潤表面積開始減少，反之物料表面已乾燥面積及表面溫度則漸增，直到整個表面達到完全乾燥程度，此時表面溫度高到熱空氣乾溫度。由 C 點開始，乾燥速率即與時遞減而

進入減率乾燥期。減率乾燥期一般可再劃分為兩個階段：

第一階段 C-E 減率乾燥期，此期間內濕潤表面積逐漸減少，乾燥速率與濕潤表面積成正比關係。到了 E 點之後，水分蒸發面即由表面移到物料內部，乾燥速率更逐漸減小而進入第二階段恒率乾燥期，即 E-D 段。當含水率降至平衡含水率(D 點)為止完成乾燥過程。第二段恒率乾燥期主要限制因素為水分由物料內部移到表面之速率。恒率乾燥期間，水分由內部轉移到表面的速率受到下列因素的影響：

- a. 毛細管力導致水分流動。
- b. 由濃度差或蒸氣壓差所導致的液態擴散或氣態擴散作用。
- c. 收縮作用導致表面形成堅硬面而減緩水分移出。

#### 2.4.2 含水率之定義

物料內含有水分及乾物料兩種。乾燥過程中物料所含水分量漸減，但乾物料量則維持不變。表示物質所含水分量多寡之方法有二，即濕基含水率和乾基含水率，其計算方式為濕基含水率  $w. b. , m = w/w+d*100$  (%) 及乾基含水率  $d, b. , M = w/d*100$  (%)。

$w$  為水分重， $d$  為乾物料重， $m$  為濕基含水率(%),  $M$  為乾基含水率(%)。

#### 平衡含水率

將物料置於某一特定溫度與濕度的環境下，經一段長時間之後，

物料含水率會達到某一固定值，如環境的溫度與濕度不再變化，則置於該環境下的物料含水率也不再增減而達到一平衡狀態，此一固定值含水率稱為平衡含水率。在不同空氣溫度與濕度下，不同物料的平衡含水率值也不同。

### 空氣濕度線圖

Fig. 2.22 空氣濕度線圖上任一點所顯示之空氣狀態資料計有空氣之乾球溫度，濕球溫度、露點溫度、相對濕度、絕對濕度、焓、比容和水氣壓力，如 Fig. 2.23 空氣在加熱、冷卻、加濕、去濕、混合及乾燥物料時之狀態皆可在圖上顯現。假設乾燥過程於絕熱反應，但實際上因為熱傳現象，乾燥過程並非絕熱反應。為簡化計算，一般將乾燥過程視為絕熱反應。



### 2.4.3 含水率測試方法

測定物料含水率的方法有 a. 直接法 b. 間接法兩種，直接法為將物料靜置烤箱內加熱，消失掉的重量即為物料水分量。美國分析化學學會明文規定各種物料含水率的測定標準。間接法為應用物料在不同含水率之下所具有的特性，如電阻或電容等做為判斷含水率的指標。

間接法量測含水率所需時間甚短，可在一、二分鐘內完成。

如 Fig. 2.24 所示為紅外線水分測定器、電阻式水分測定器。

含水率所用單位一般為%，但現物料有時需乾燥至%以下，如 0.02 %或

更低的 0.005 %。紅外線水分測定器原理如下所述：

由於物料之成分組成係由分子之化學鍵（如 O-H，C-H，N-H 等）所構成，每一化學鍵有其固定之吸收光譜(Pattern)，換言之，每一化學鍵對一特定光波波長之吸收性最為顯著敏感。以此波長選擇特性，可用於進行各物性之量測。當物體受到對水分子吸收之特定波長照射時，因其含水率不同，物體之光能量因通過內部被吸收能力也就不同。

近紅外光之光譜範圍自 700-2500 nm。許多物質之主要官能基（例如 O-H，C-H，H-N 等）其固有吸收光譜都在此範圍，因此也在某些特定光譜範圍內其能量之吸收或共振特別激烈。例如水分子（H<sub>2</sub>O）之最強共振光譜即在 958，1409，1460，1910，2510 nm。其次為 834，1153，1780 nm。而在其他波長如 938，986，994，1030，2305，2345 nm 之波長也有能量吸收現象。近紅外光以不同光譜通過物質內部，物質內水分在特定波長範圍產生能量之變化，因此影響了能量的反射比例或透過比例。利用此比例與水分之關係，可以進行水分檢測。近紅外光之分光量測設備必須包括如下組件：

- a. 光源：通常為鹵素鎢絲燈。
- b. 單光器：利用光柵以提供固定波長的光源。
- c. 樣本槽：用以處理樣本，因樣本本身之透明性而不同。
- d. 偵測器：（1）不透明液體或粒狀固體：偵測能量反射之比例（反射率）。

(2) 透明水溶液：用以偵測能量穿透後強度，再轉換為透過率。

以稻穀水分計量測原理為例說明：

近紅外線之波長定義於 700 - 2500 nm 之範圍。近紅外光通過物體時，有直接反射、吸收與通過內部方式。因內部成分不同，通過內部在散射之能力亦不同，由於物料之成分組成係由分子之化學鍵（如 O-H, C-H, N-H）所構成，每一化學鍵有其固定之吸收光譜(Pattern)，換言之，每一化學鍵對一特定光波波長之吸收性最為顯著敏感。以此波長選擇特性，可用於進行各物性之量測。當物體受到對水分子吸收之特定波長照射時，因其含水率不同，物體之光能量因通過內部被吸收能力也為之不同。換言之，此吸收率受含水率影響而改變。利用此特性可用以為含水率量測作業。以水分計量測為例，通常以烤箱所測得之數值為標準值，以相同水分之樣本藉由近紅外線水分計量測其反射率（或吸收率）因而建立標準值與反射率之校正曲線。此校正曲線可利用電腦之記憶體貯存於水分計內部。在進行另一批水分量測時，所測得之反射率（或吸收率）再經由已預設之校正曲線計算後加以顯示。此種水分量技術其量測特性如下：

- a. 準確度高。
- b. 測定所需時間測定，2-6 秒內。
- c. 為非破壞性測定，不損傷樣本。
- d. 不需接觸樣本。

e. 量測範圍廣。f. 適用各種農產品。

而對物料乾燥之相關研究，M. N. Berteli 等人，利用微波輔助熱風乾燥方式乾燥牧草<sup>[Berteli-05-175]</sup>，其含水率由 23 % 降到 12 % w. b. (濕基含水率)，比傳統熱風方式時間大幅縮短，如 Table 2.8。並以實驗統計手法如 Table 2.9 所做評估。Qing-guo 等人<sup>[Hu-06-977]</sup>，就大豆乾燥方式以微波能量處理。其乾燥時間比熱風方式，在時間可大幅縮短，並比真空乾燥方式可減少質量之損失，如 Fig. 2.14 為在 95 kPa 真空壓力下，35, 25, 22 min.，分別以 2.1, 2.8, 3.5 kW 的微波乾燥大豆到最終含水率曲線圖。Alfred 等人<sup>[Anderson-06-318]</sup>，就米倉用純熱風乾燥及輔以微波乾燥所得米粒做分析，在黏滯性上有明顯的不同。經微波熱處理 60 分鐘後，其黏度範圍由 112.7 RVU 降至 35.9 RVU，而只經傳統熱處理之米粒，其黏度範圍由 29.8 RVU 升至 35.8 RVU，如 Fig. 2.15。劉洋貴用微波設備乾燥塑膠粒子<sup>[劉-05-p65]</sup>，並得到乾燥溫度比熱風乾燥機降低 13 °C 以上，比除濕乾燥機降低 12 °C 以上。而乾燥時間比熱風、除濕乾燥機均節省 200 % 以上。電量比熱風乾燥機節省 142 % 以上，比除濕乾燥機節省 488 % 以上，如 Fig. 2.16。微波源之研究，D. Skansi 等人提出針對植物微波的乾燥模式<sup>[Skansi-95-207]</sup>，主要描述不同濕度條件下，微波能量對植物在各階段乾燥過程中的方程曲線建立，如 Fig. 2.17。W. M Cheng 等人就微波乾燥系統的能量控制做出評估<sup>[Cheng-06-188]</sup>，微波電源電路的設計方式會影響波分佈之均勻性，進而影響乾燥之效率。如 Fig. 2.18 為使用 Triac 之電源設計，



Fig. 2.19 為原始電路及修正後微波電路設計方塊圖。Fig. 2.20 為使用鎖向迴路控制電路之微波 Power 與電壓關係曲線圖。


## 2.5 電漿清洗

物質的狀態是可變的，在一定溫度和壓力條件下，物質固、液、氣三態相轉變為現代人所熟悉。而電漿不同於三態，它是由電粒子組成的電離狀態。在性質上電漿氣體不同於一般氣體，首先，它是一種導電流體。其二，普通氣體並不存在電磁力，而電漿中的電粒子間存在著庫倫力。其三，電漿因為電粒子的關係會受到磁場的影響支配。簡單的說電漿就是指電離氣體，它是由電子、離子、原子、分子或自由基等粒子組合而成的集合體。以電漿對高分子表面進行反應而言，則視高分子表面親水官能基的數量多寡，以適當處理時間與氧、氫氣、氮氣等不同混合性氣體通入，結果顯示出有較佳改質效果。高分子材料的表面改質，分為表面氧化與表面粗糙化二種，表面氧化的行為，以親水與疏水性的研究居多。

傳統的溼式處理法，則是採用酸與表面產生介面解離反應，使表面形成易鍵結表面，分子結構改變而產生表面自由能的變化，或利用介面活性劑作用，使表面成一暫態行為，以增大表面能，或使表面成為極性，以提供一易於反應之介面環境。但因為使用高酸鹼性之物質

或陰電性強的處理溶液，易造成結構表層的破壞與排放所造成環境污染。另一表面粗糙化，通常為用力學方式強制粗化表面，如噴砂法或利用溶劑處理使表面微溶達粗化之目的，並產生增加表面積的功效。而利用電漿技術，則可選用各種高分子單體或氣體物種，達到傳統溼式處理法所要的表面氧化與表面粗糙化二種效果，且不影響整體的材料特性行為又減低污染。就以軟式基板塑膠產業則利用電漿來進行表面改質，電漿中帶電粒子，除了電子與離子外，也可以是分子活化基。這些粒子統稱單體。而如氧又稱聚合單體，可在表面產生聚合反應，以形成大面積聚合物，改變表面物理性質，如親水基或疏水基等。

低壓電漿表面處理，在材料表面主要有以下四種作用：

- 
- a. 表面清潔：即由材料表面去除有機污染。
  - b. 移除、蝕刻：去除表面鍵結較弱之分子並增加表面積。
  - c. 交聯或分枝：即使表面強化，可增進表層之黏著強度。
  - d. 表面活化：即在反應性氣體(如  $O_2$ 、 $N_2$  等)中，材料表面之官能基被電漿中之其他原子或化學基所置換。

而相關電漿清洗之研究，A. Ohl 等人設計一 2.45 GHz 微波電漿系統<sup>[Ohl 95-59]</sup>，如 Fig. 2.24，並在真空下利用  $O_2$  氣氛電漿移除測試物上表面之有機物塗層，如 Fig. 2.25。A. C. Fozza 等人利用低壓電漿產生之  $O_2$  氣氛<sup>[Fozza-97-205]</sup>，量測其產生之 UV 光譜吸收狀況  $135 < \lambda < 170$  nm，

並與碳氫化合物類處理物 PMMA、Hydrocarbon 吸收情況( $\lambda=160\text{ nm}$ ) 比對，如 Fig. 2.26 知  $O_2$  電漿可有效與處理物反應。

D. Korzec 等人以 RF 及微波電漿比較處理大面積油脂的清洗速度<sup>[Korzec-97-165]</sup>，發現在有偏壓、導體處理物上 RF 電漿有較快速度及處理效果，而在非導體基板上微波電漿則有較佳處理效果，如 Fig. 2.27。

W. Petasch 等人利用低壓微波電漿處理飛機機體上鋁合金結構和引擎部份金屬零件<sup>[Petasch-97-176]</sup>，可有效清除其上有機物並強化結構之接着性。如 Fig. 2.28 為飛機金屬零件處理物及 Table 2.10 使用清洗處理參數。C. Lee 等人以 PBGA(Plastic ball grid array)基板<sup>[Lee.-99-97]</sup>，研究在電漿環境下  $O_2$ , AR, AR/ $H_2$  等氣氛對表面金屬，非金屬部份潔淨之效果。並利用 AES, XPS, AFM, Contact angle method 等做表面特性分析，如利用 AFM 分析經  $O_2$  電漿處理後不同時間，Solder mask 表面會有不同粗糙效果，如 Fig. 2.29。P. Kruger 等人以  $O_2$ ,  $NH_3$  低壓電漿來做碳、玻璃纖維表面處理<sup>[Kruger-99-240]</sup>，發現能有效增加材料之彎曲強度，如 Fig. 2.30。Wen-Jen Liu 等人以 FBGA(Film ball grid array) 基材在真空環境<sup>[Liu-05-192]</sup>，不同的電漿氣氛影響下，探討對表面之親、疏特性反應。並利用 XPS、PCT 環境測試找出 FBGA 基材與 SUMITOMOEME-7372A 膠材(如 Table 2.11)最佳的反應參數，最後發現在特定參數條件(300 W, 67 Pa, 3 min., AR 100 sccm,  $O_2$  50 sccm)，產生較多  $C = 0$

鍵結，進而有較佳接著性。如 Fig. 2. 31 以 XPS 分析在不同電漿條件下 C = O 鍵結之情況。M. Keller 等人對 PET Fibers 利用溼式及乾式清洗方式進行處理<sup>[Keller-05-1045]</sup>，結果發現比起溼式污染及高成本方式，微波電漿有較佳處理效果及速度。如 Fig. 2. 32 為未處理 PET 複合纖維 SEM 照，其上有 180 nm 厚的污染層，Table 2. 12 則為使用批次、浸漬、大氣電漿、微波電漿及 R. F 電漿五種不同的清洗方式比較表。

## 2.5.1 接著與潤溼

### 接著

通過接著的黏接，使兩被著體表面連結在一起的過程與現象，稱為接著。「接」是一種方法，「著」是我們的目標，而「接」：接觸及潤溼是為接著的第一步，「著」：接著力產生。接著劑與被著物表面之間，由界面相吸引和連接作用的力，稱為「接著力」。

### 潤溼

接著過程中，接著會經歷三個過程：液態膠水→濕潤基→固態膠合層(黏著層)，這就是一般所謂的膠水固化過程。若為印製單一元件材料，耐化性及耐熱性良好的接著劑即可符合要求。但當強調的是多功能的印製需求，此時接著的滴黏現象卻是不喜歡的特性，因此開發的重點在於黏著促進層，強調的重點為如何去「接」，如何去潤溼基材，唯有良好的潤溼，才有助於接著強度的提昇。潤溼的好壞可由液

滴對固體表面的接觸角  $\theta$  大小反映出來。接觸角  $\theta$  小表示液/固界面間的吸引力大，潤溼效果好。當  $\theta > 90^\circ$ ，不潤溼狀態，當  $0 < \theta < 90^\circ$  時，部份潤溼狀態，當  $\theta = 0^\circ$  時，完全潤溼狀態。當固體表面為低表面能(自由)能時，界面區液體分子有向內縮的張力，此時液體內聚力大於界面張力，液滴呈球狀，是為非潤溼狀態；當固體表面為高表面能時，界面區液體分子有被吸附於固體的壓力，此時界面間張力大於液體內聚力，液滴扁平是為潤溼狀態。

## 2.5.2 水滴角與達因試劑

### 水滴角

水滴角就是液體與固體界面間產生某種吸引力的程度與狀態。如 Fig. (2.33) 所示，若在固體表面上放置一止液滴，由於受到液滴表面張力的影響，固體表面與液滴的切線所形成夾角稱之為接觸角。

Table 2.13 為水於各種物質表面上之接觸角。

### 達因試劑

一般對低表面能基表面處理技術有 1. 電暈放電 2. 酸蝕 3. 化處理 4. 表面改質 5. 表面摩擦 6. 火燄處理 7. 電漿處理 8. 塗覆法處理，而溶劑型油墨所應用的基材表面需要處理至 38 達因以上，UV 型油墨需 44 達因以上，而環保的水性或短類型油墨，需 46 達因以上，其通用法則為基材的表面能必須高過塗料或油墨 10 達因為佳。

此法可做為素材表面接著力的預測，使用方式為在素材表面塗畫一條油墨，一、二分鐘後不會成為分裂珠狀即為此表面可達此油墨之達因值，故可用更高達因油墨測試直到產生分裂珠狀。藉由此方法可判斷PET 基板表面能的達因範圍。

## 2.6 傳統微波電漿源之設計

Fig. 2.35 為一種非常普遍之設計，微波由磁控管產生，通過隔離器後，進入電漿產生器。於方形導波管之上下，則連接著圓形之金屬管，此金屬管之內側為一石英管，利用真空泵將石英管內之壓力降至  $0.1 \sim 1$  mTorr，再由微波能量將氣體游離產生電漿。而微波與電漿之間的匹配，可由 Sliding Short 調整而達成。Sliding Short 之位置，即其與石英與石英管中心之距離  $d$ ，因使用氣體之工作壓力、溫度以及石英管之內徑不同。而為延長石英管之壽命，使用壓縮空氣來冷卻管壁。此設計優點為構造簡單，但受限導波管之尺寸，所產生電漿之面積太小，僅用於實驗室，當然，可將金屬圓形管附近之方形導波管放大，而使用較大之金屬圓形管與石英管，但仍有一定之限制。故為有大面積微波電漿源，許多公司、研究單位做了一些不同的設計。總歸起來，可分成下述兩種：

- a. 將電漿設計為一共振腔的形式，使得微波能量得以駐留於共振腔內，並於適當之條件下，激發氣體產生電漿。
- b. 將微波源視為一點光源。先將此點光源分散為多個小的點光源，或者將其平面化，然後再進入電漿室，將氣體激發產生電漿。



Table 2.1 常見物質在不同頻段之介電常數及感應損失 [陳-97-156]

物質	溫度 (°C)	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	頻率			物質	溫度 (°C)	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	頻 率		
			300 MHz	3 GHz	10 GHz				300 MHz	3 GHz	10 GHz
水	15	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	86.5 0.032	80.5 0.31	38 1.03	木材 (丁鎢橡膠)	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	1.86 0.032	1.82 0.027	1.8 0.029
	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	77.5 0.016	76.7 0.157	55 0.54	紙 (royal gray)	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	2.75 0.066	2.7 0.056	2.62 0.04
	85	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	57 0.0073	56.5 0.0547	54 0.26	玻璃 NaCl 9% SiO <sub>2</sub> 91%	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	5.1 0.01		5.05 0.013
水	-2	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		3.2 0.0009	3.17 0.0007	陶器	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	5.75 0.014		5.51 0.0155
木精	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		23.9 0.64		生橡膠	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		2.15 0.003	
酒精	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		12.0 1.000	2.5 0.05	尼龍 610	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		2.84 0.012	
動物脂肪	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$	2.5 0.12	2.5 0.07	2.5 0.05	鐵弗龍	22	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		2.1 0.0015	
聚苯乙烯	25	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		2.55 0.00032		耐熱 玻璃	23	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		4.0 0.0012	
聚苯乙烯	80	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		2.45 0.0045		耐熱 玻璃	100	$\epsilon_r$ $\tan \delta$		4.0 0.0019	



Table 2.2 各種磁控管的結構尺寸與振盪頻率<sup>[卓-94-14]</sup>

各種磁控管的結構尺寸與振盪頻率						
Magnetron	$r_c$ (cm)	$r_a$ (cm)	$\theta$ (degrees)	N	f(n=3) GHz	f(n=6) GHz
A6	1.58	2.11	20	6	2.34	4.6
B6	1.58	2.11	20	6	2.34	4.6
D6	1.88	2.46	20	6	1.98	4.01
J6	1.69	2.22	15	6	2.81	5.27
N：磁控管上共振腔的數目      n：模態數						

Table 2.3 不同型式空腔 Q 值計算表 [李-90-114]

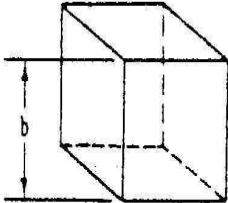
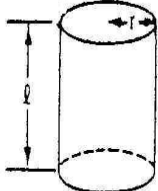
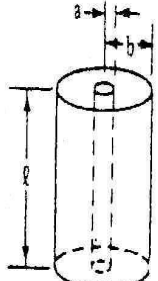
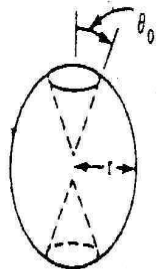
形狀	(模式)	Q 值	最大 Q	最大 Q 之條件
 立方形	$TE_{m,n,p}$ $TM_{m,n,p}$	$Q_k = \frac{\lambda_k}{\Delta} \frac{\sqrt{p^2 + m^2 + n^2}}{8}$ provided $p, m, n > 0$		
 圓柱形	$TE_{0,1,1}$	$Q_k = \frac{\lambda_k}{\Delta} \frac{\sqrt{r^2/l^2 + 1.49}}{r^2/l^2 + 1.46}$ $\times \frac{1}{r^3/l^3 + 2.92}$	$Q_k = 0.67 \frac{\lambda_k}{\Delta}$	$\frac{l}{r} = 0.5$
 同軸圓柱形	$TEM_p$	$Q_k = \frac{\lambda_k}{\Delta} \frac{p}{4 + \frac{l}{b} \frac{1+b/a}{\ln b/a}}$	$Q_k = \frac{\lambda_k}{\Delta} \frac{p}{4 + 3.6 \frac{l}{b}}$	$\frac{b}{a} = 3.6$
 反回圓錐球形	$TEM_1$	$Q_k = \frac{\lambda_k}{\Delta} \frac{1}{4 + 3.3 \frac{\csc \theta_0}{\ln \cot \theta_0/2}}$	$Q_k = 0.11 \frac{\lambda_k}{\Delta}$	$\theta_0 = 33.5^\circ$

Table 2.4 不同型式空腔及波長計算表 [李-90-115]

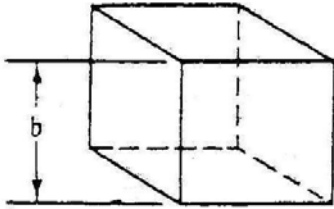
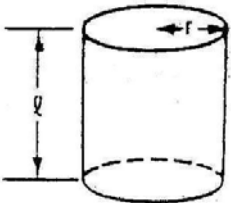
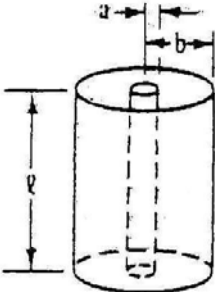
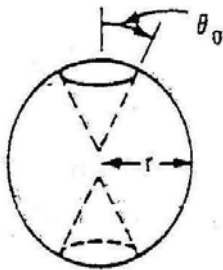
形狀	模式	共振波長
 <p style="text-align: center;">方形</p>	$TE_{m, n, p}$ or $TM_{m, n, p}$	$\lambda_k = \frac{2b}{\sqrt{p^2 + m^2 + n^2}}$
 <p style="text-align: center;">圓柱形</p>	$TE_{0, 1, 1}$	$\lambda_k = \frac{2}{\sqrt{1/l^2 + 1.49/r^2}}$
 <p style="text-align: center;">同軸圓柱</p>	$TEM_p$	$\lambda_k = 2 \frac{l}{p}$
 <p style="text-align: center;">返回圓錐球</p>	$TEM_1$	$\lambda_k = 4r$

Table 2.5 方形導波管尺寸與頻率關係<sup>[劉-02-175]</sup>

名稱	使用頻率範圍 (GHz)	尺寸大小 (mm)		截止頻率 (GHz)
		A	B	
WRI-9	0.76~1.15	247.65	123.82	0.6
WRI-22	1.72~2.61	109.22	54.61	1.37
WRI-26	2.17~3.30	86.36	43.18	1.73
WRI-32	2.60~3.95	72.14	34.04	2.08



Table 2.6 塑膠顯示器用透明基板材料物性<sup>[田-06-144]</sup>

	Ultra-thin Glass	Stainless Steel	Plastic Film
Thickness	50~100 μm	50~100 μm	50~200 μm
Light Transmittance	>90%	Opaque	>90%
Temperature Limit	~500°C	~500°C	<200°C
Dimensional Stability	<10ppm/°C	<20ppm/°C	<60ppm/°C
Chemical Resistance	Excellent	Good	Poor
Gas Barrier (O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	Excellent	Excellent	Poor
Impact Resistance	Poor	Good	Excellent
Manufacture	Sheet by Sheet	Roll-to-roll	Roll-to-roll
Panel Type	Transmission/ Reflective	Reflective	Transmission/ Reflective

Table 2.7 可撓式顯示器用不同基板材料特性比較 [甲-07-107]

	Unit	PET	PEN	PC	ARTON (JSR)	ZEONOR (Zeon)	PAr	PES	
Thickness	μm	100	200	150	188	188	75	100	
Specific Gravity	g/cm <sup>3</sup>	1.30	1.36	1.20	1.08	1.01	1.20	1.37	
Water Absorption	%	0.3	0.3	0.2	0.4	<0.01	0.6	1.4	
Refractive Index		1.40	1.74	1.59	1.51	1.53	1.60	1.65	
Retardation	nm	68	TBD	41	6-7	3-5	12	13	
Haze	%	0.6	1.0	0.8	1.5 (t=3.2mm)	0.8 (t=3.0mm)	0.9	1.4	
Light Transmittance (at 550nm)	%	91	89	92	92 (t=3.2mm)	92 (t=3.0mm)	92	90	
Glass Transition Temp.	°C	70	120	145	165	163	215	225	
Heat Shrinkage (150°C/30min)	%	MD	1	0.4-0.5	0.7	<0.1	<0.1	TBD	0.18
		TL	0.5	0-0.2	0.5	<0.1	<0.1	TBD	0.05
CTE	ppm/°C	17*	21*	70	62	60	53	55	
Chemical Resistance	Methanol	○	○	○	○	○	○	○	
	Ethanol	○	○	○	○	○	○	○	
	Acetone	○	○	×	○	○	○	×	
	MEK	○	○	×	○	○	○	×	
	Cellosolve	○	○	×	○	○	×	×	

資料來源：DuPont



Table 2.8 Results of the drying experiments with the penne short cut pasta durum wheat [ Berteli-05- 175]

Results of the drying experiments with the *Penne* short cut pasta-durum wheat

Test no.	<i>P</i> (W)	<i>t</i> (min)	Air flow rate #3A (m <sup>3</sup> /min)	RH #2 (%)	RH #16 (%)	<i>T</i> <sub>air</sub> #6 (°C)	<i>T</i> <sub>air</sub> #16 (°C)	PM <sub>i</sub> (% w.b.)	PT <sub>f</sub> (°C)	PM <sub>f</sub> (%)
1	150	52	0.80	53.88	28.43-26.60	45±1	37-38	23.03	50-67	13.61
2	300	25	0.80	58.91	32.63-30.88	45±1	39-41	23.03	85-125	12.48
3	150	52	1.20	51.51	28.43-27.59	45±1	37-39	23.03	55-70	13.36
4	300 <sup>a</sup>	25	1.20	51.51	26.34-24.32	45±1	41-42	23.56	93-124	11.59
5	200	30	1.00	49.25	36.16-26.34	45±1	37-41	23.56	65-90	13.57
6	200	30	1.00	53.88	24.42-20.53	45±1	39-41	23.56	60-85	13.19
7	200	30	1.00	51.51	26.60-23.38	45±1	38-41	23.56	60-85	13.56

R.H: relative humidity of air, *T*<sub>air</sub>: air temperature; PM<sub>i</sub>: initial product moisture; PM<sub>f</sub>: final product moisture; PT<sub>f</sub>: final product temperature

Table 2.9 Percentage of pasta of durum wheat without fissures after the drying tests (by the statistical treatment of data using the software Statistica version 5.0)<sup>[ Berteli-05- 175]</sup>

Percentage of pasta of durum wheat without fissures after the drying tests

Test no.	Variables		Response, % Product without fissures (WF)	
	Power	Air flow rate	Without equalization	With equalization
1	-1	-1	34.43	97.19
2	1	-1	11.99	30.47
3	-1	1	8.57	79.87
4	1	1	7.11	37.68
5	0.333	0	49.71	100.00
6	0.333	0	59.67	93.07
7	0.333	0	61.93	91.46

Table 2.10 Two different sets of process parameters are specified for the whole material spectrum<sup>[Petasch - 97- 97]</sup>

Process parameters

Parameter	Process 1	Process 2
Process gas (ml min <sup>-1</sup> )	O <sub>2</sub> : 4800CF <sub>4</sub> : 200	O <sub>2</sub> : 2000
Process pressure (mbar)	0.17 (17 Pa)	0.12 (12 Pa)
Plasma performance (kW)	15	15
Process time (excluding evacuation, venting, loading and unloading) (min)	20	30
Temperature on workpiece surface (°C)	30–50 <sup>a</sup>	30–50
Excitation frequency (GHz)	2.45	2.45

<sup>a</sup>Heat absorption depends on the ratio of mass to surface area.

Table 2.11 The molding compound was SUMITOMO EME-7372A with the detail properties<sup>[Liu-05-192]</sup>

The molding compound was SUMITOMO EME-7372A with the detail properties

Resin type	Bi-phenel
Spiral flow (cm)	115
Gel time (s) (at 175 °C)	33
Viscosity (poise) (at 175 °C)	120
CTE $\alpha_1$ ( $\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ )	0.9
CTE $\alpha_2$ ( $\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ )	3.4
Tg (°C)	150
Filler content (wt.%)	87~93
Flexural strength (kgf/mm <sup>2</sup> ) (at 25 °C)	19
Flexural strength (kgf/mm <sup>2</sup> ) (at 240 °C)	2.5
Flexural modulus (kgf/mm <sup>2</sup> ) (at 25 °C)	2600
Flexural modulus (kgf/mm <sup>2</sup> ) (at 240 °C)	140
Specific gravity	2.01
Water absorption (wt.%) (boining, 24 h)	0.16

Table 2.12 Summary of the results obtained for the five cleaning methods (soxhiet mean batch process)  
[Keller M.- 05-200]

Summary of the results obtained for the five cleaning methods

Method	Velocity (m/min)	Used medium	Waste (g/km)	Cleaning factor	$F_{\text{norm}}$ (min <sup>-1</sup> )	Residual size (nm)
Soxhlet	1.7	hexane	132	88	0.074	2
Bath	20	isopropanol/ ethyl alcohol	1600	44	147	4
Atmospheric plasma	200	compressed air	18	1.1	11000	166
Microwave plasma	20	Ar/N <sub>2</sub>	24	20	800	8
RF plasma	10	He/O <sub>2</sub>	9	2095	5240	0.1

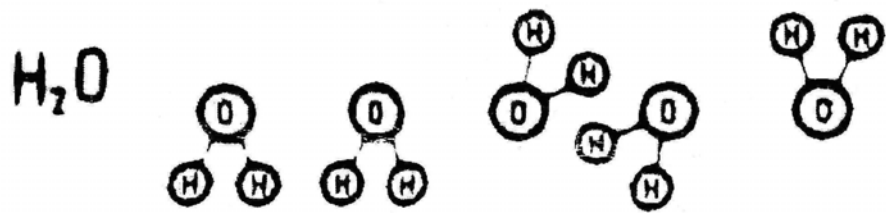
For the calculation of the residual size and the etch rate, a homogeneous distribution on the fiber is assumed.

Batch process.

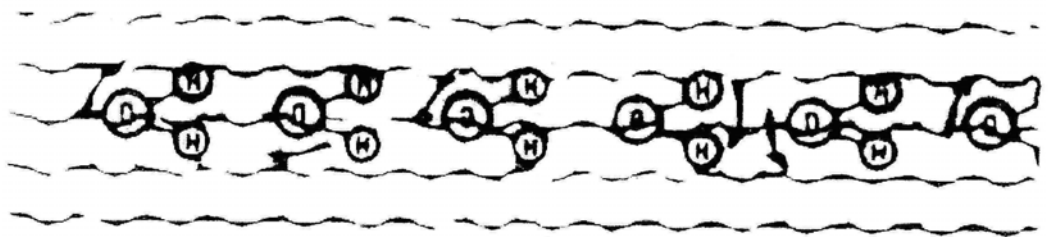
Table 2.13 水於各種物質表面上之接觸角 [黃-06-402]

物 質	$\theta$ ( 度 )	物 質	$\theta$ ( 度 )
石蠟	108	尿素樹酯	70
石墨	86	聚乙烯	88
苯甲酸	65	萘	62
三苯甲烷	45	蔥	92
四苯甲烷	15	硬脂酸	106
三硬脂酸甘油酯	110	軟脂酸	111
二苯甲酮	65	聚氯乙烯	65
二苯胺	80	聚乙烯醇	37
苯乙酮	65	鐵夫綸 (teflon)	112
聚苯乙烯	107	聚丙烯	103
膠木	60	黃金	66
玻璃	0	白金	40
		碘化銀	17



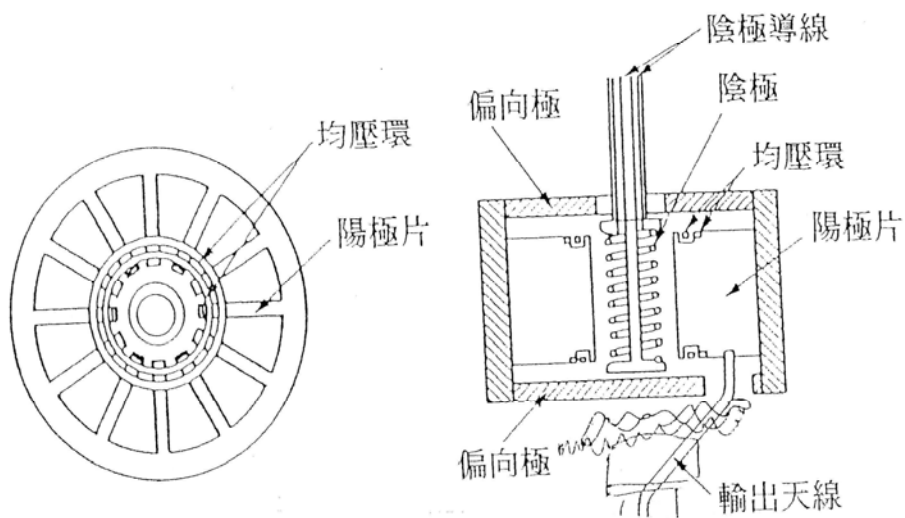


(A)

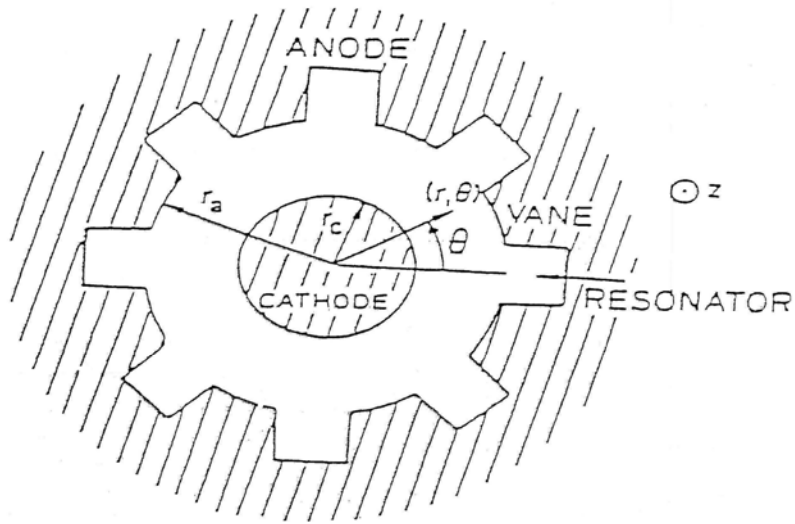


(B)

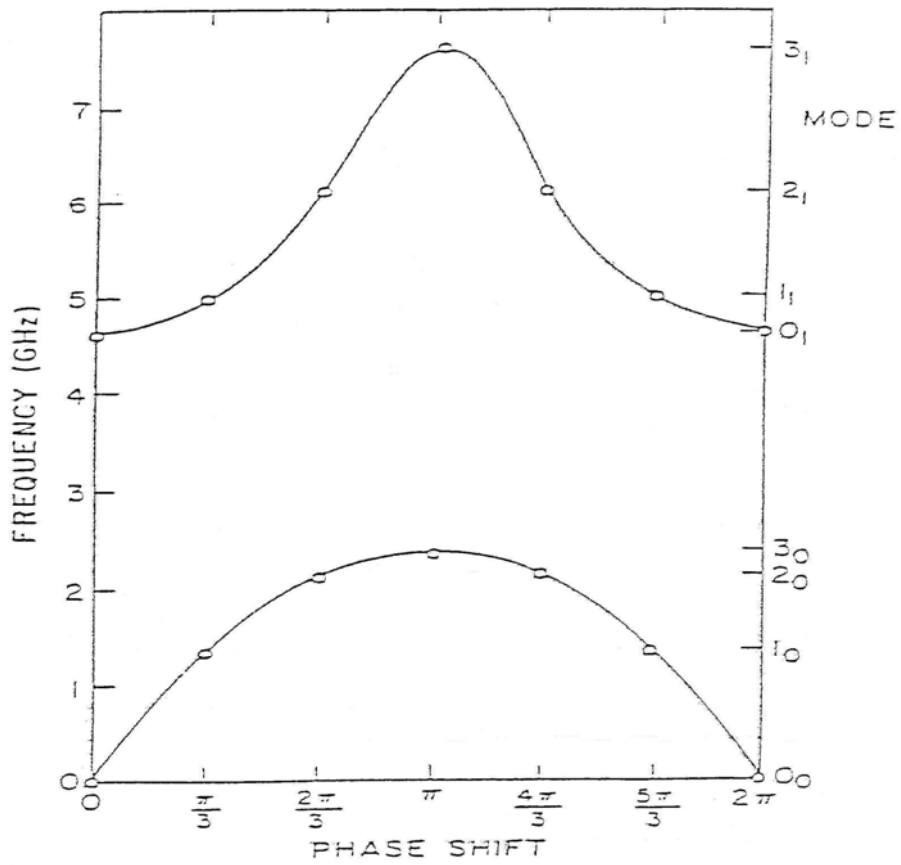
Fig. 2.1 (a) 水分子構造(b)水分子受電磁波照射排列整齊



(a)



(b)



(c)

Fig. 2.2 (a) 磁控管的構造 [陳-97-156] (b) 磁控管俯視圖 [張-85-8]

(c) 磁控管的布里淵頻散圖 [陳-92-14]

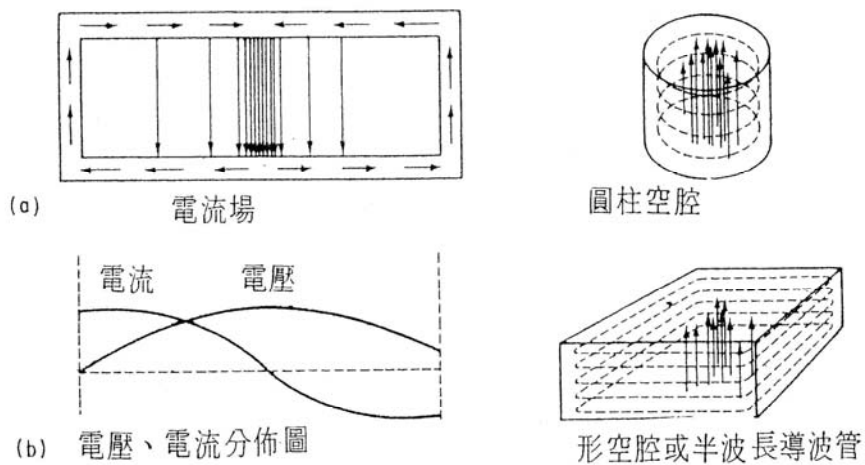


Fig. 2.3 (a)長方形及(b)圓柱形空腔中場電流、電壓分布情形<sup>[李-90-113]</sup>

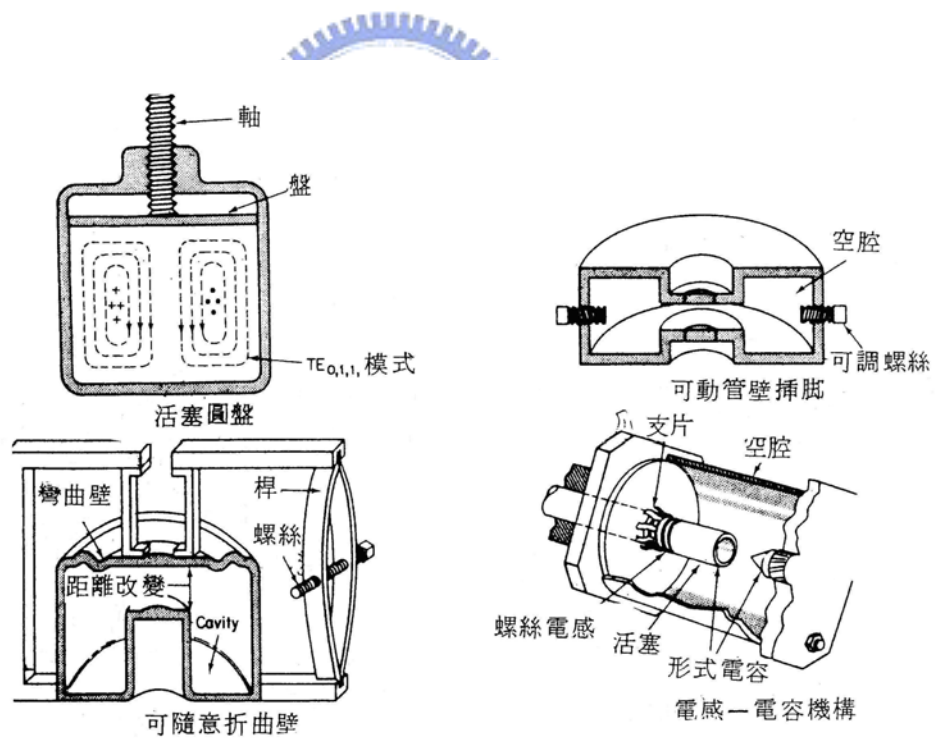
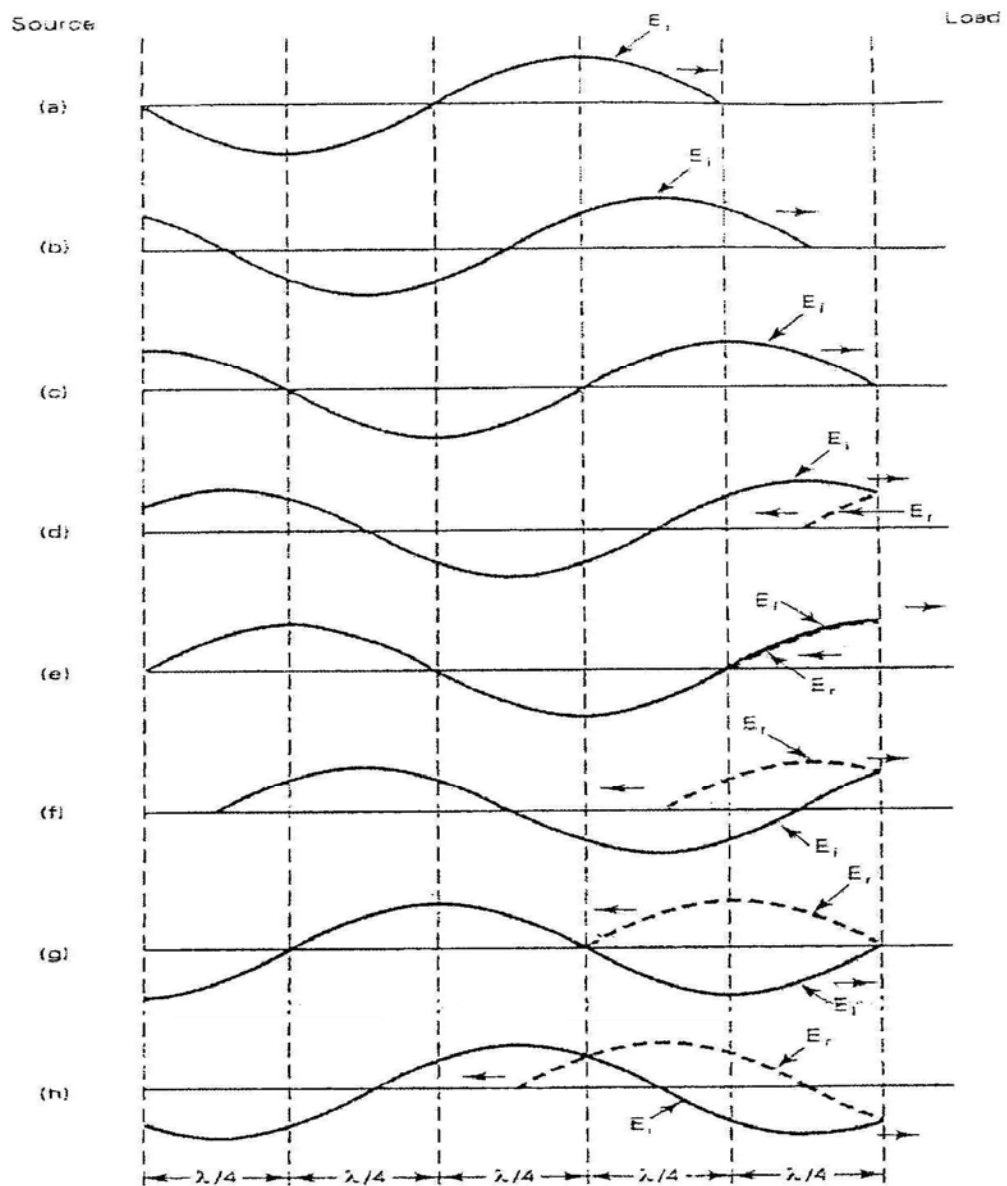
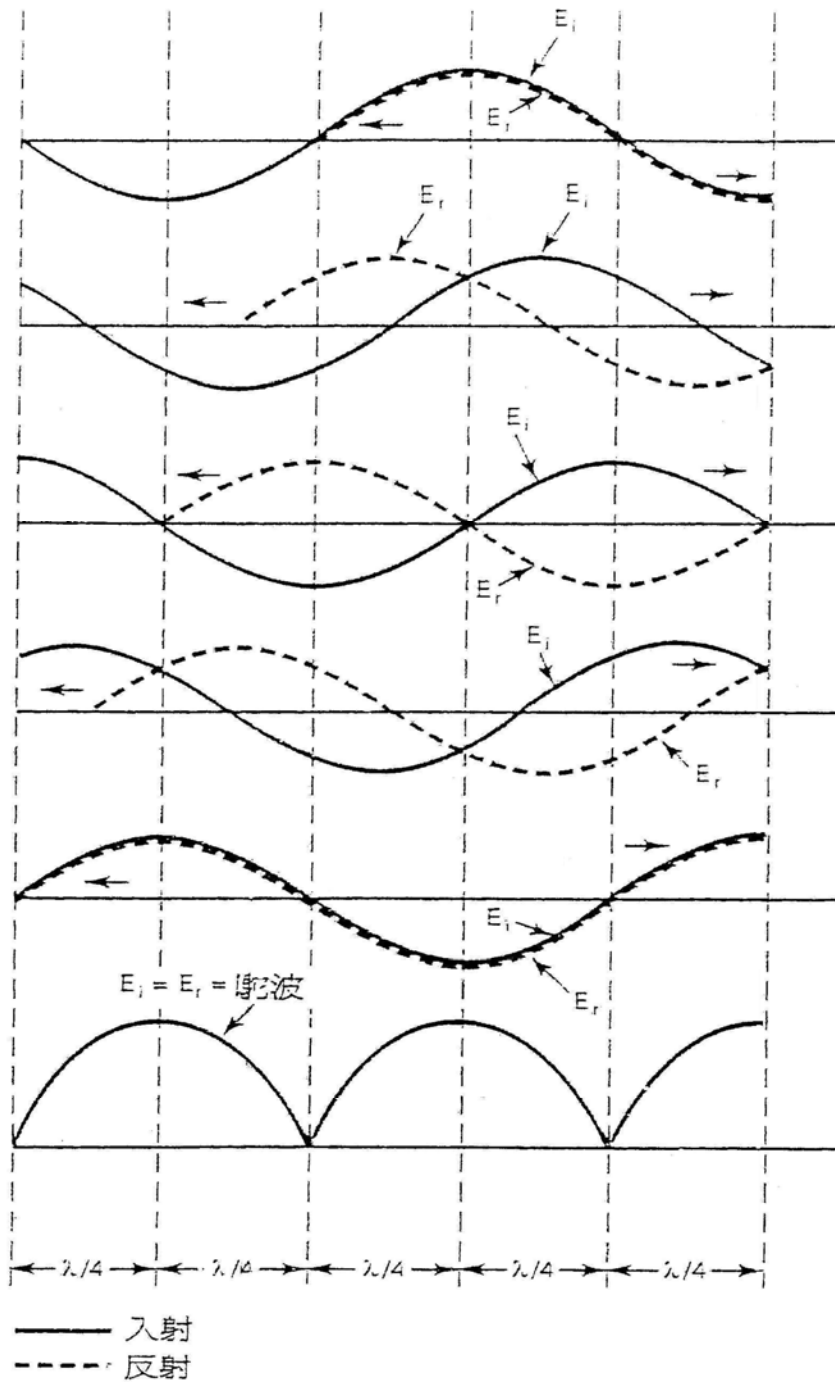


Fig. 2.4 空腔調諧系統<sup>[李-90-116]</sup>

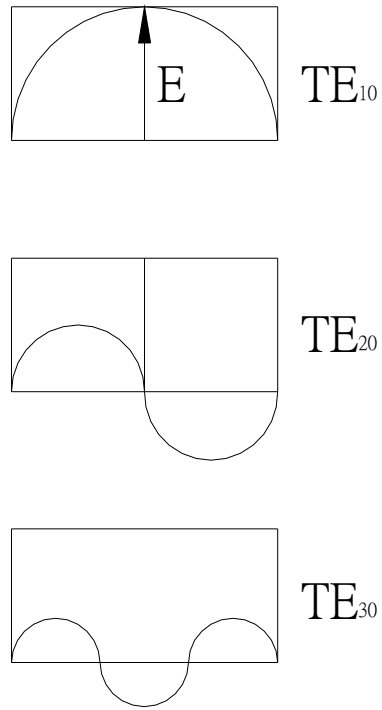




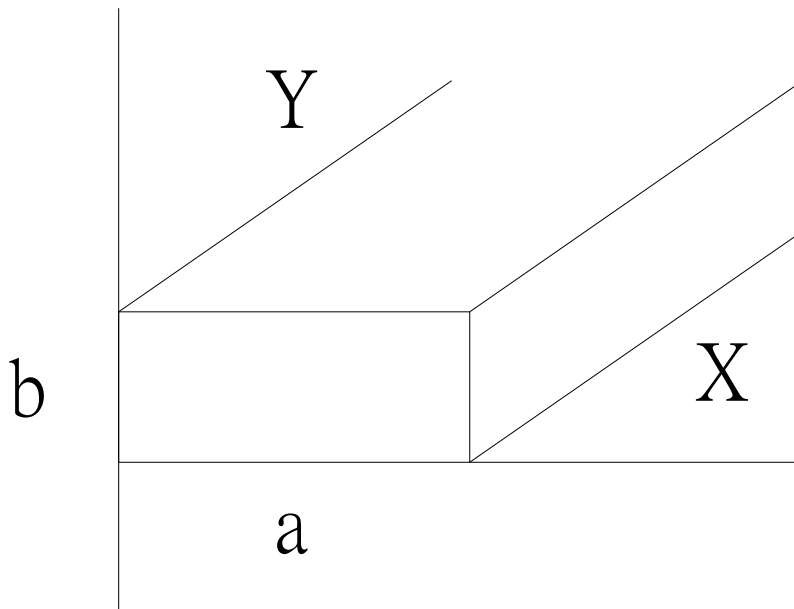


(d)

Fig. 2.5 (a) 傳輸線上阻抗等效電路圖<sup>[賈-98-2]</sup> (b) 傳輸線電路<sup>[賈-98-3]</sup> (c) 等效傳輸線<sup>[賈-98-4]</sup> (d) 開路傳輸線上的入射波和反射波，在距開路端  $\lambda/4$  處，入射波和反射波的和(駐波)等於 0<sup>[呂-97-444]</sup>



(a)



(b)

Fig. 2.6 (a) 矩形波導管 TE 模態<sup>[張-04-89]</sup> (b) 導波管之尺寸比例<sup>[張-04-89]</sup>

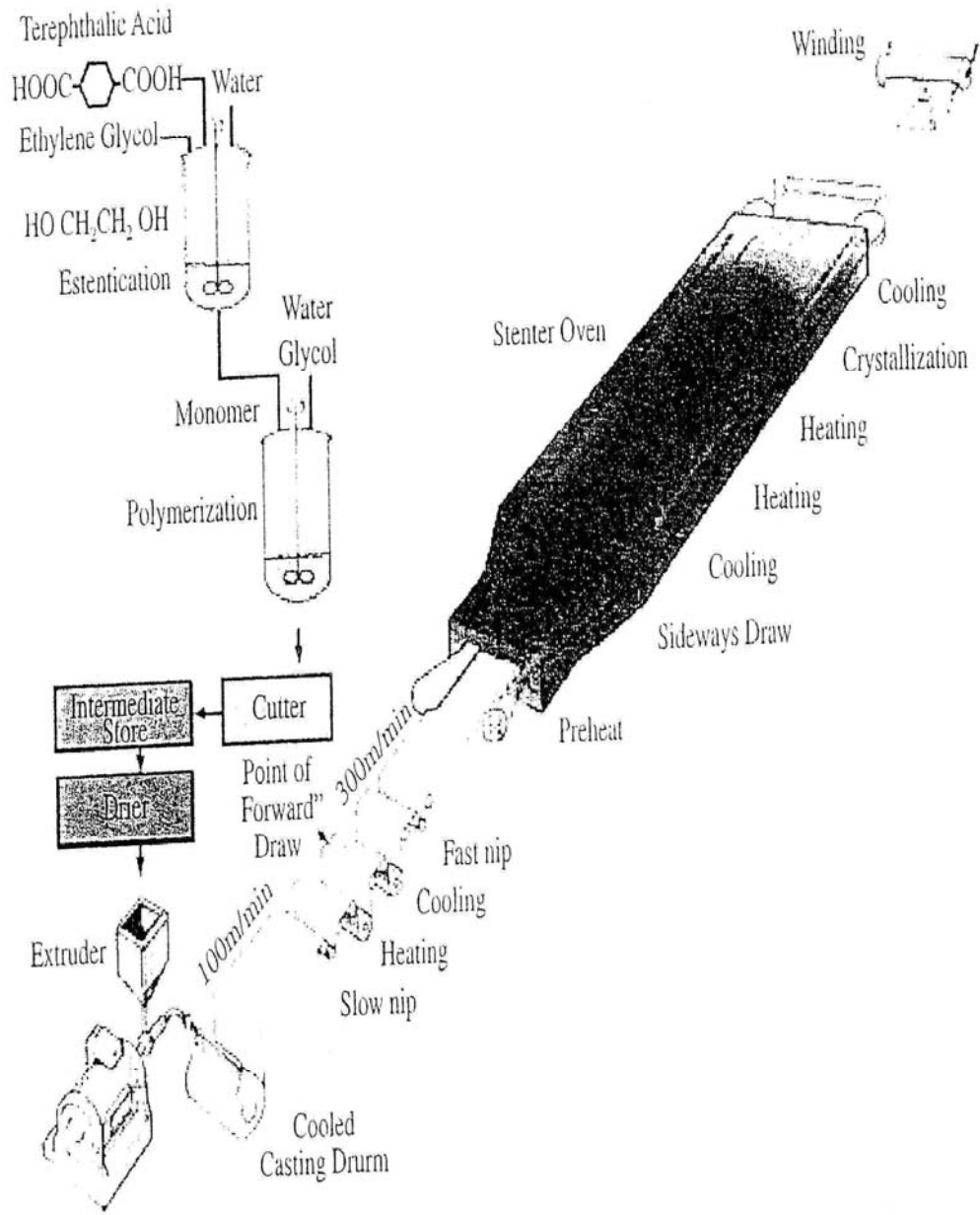


Fig. 2.7 PET 塑膠薄膜材料的雙軸拉伸製造設備示意圖 [甲-07-107]



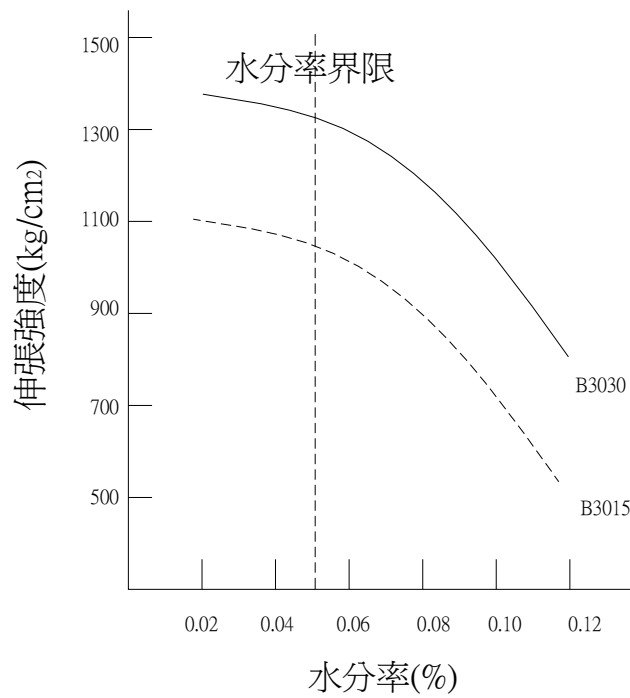
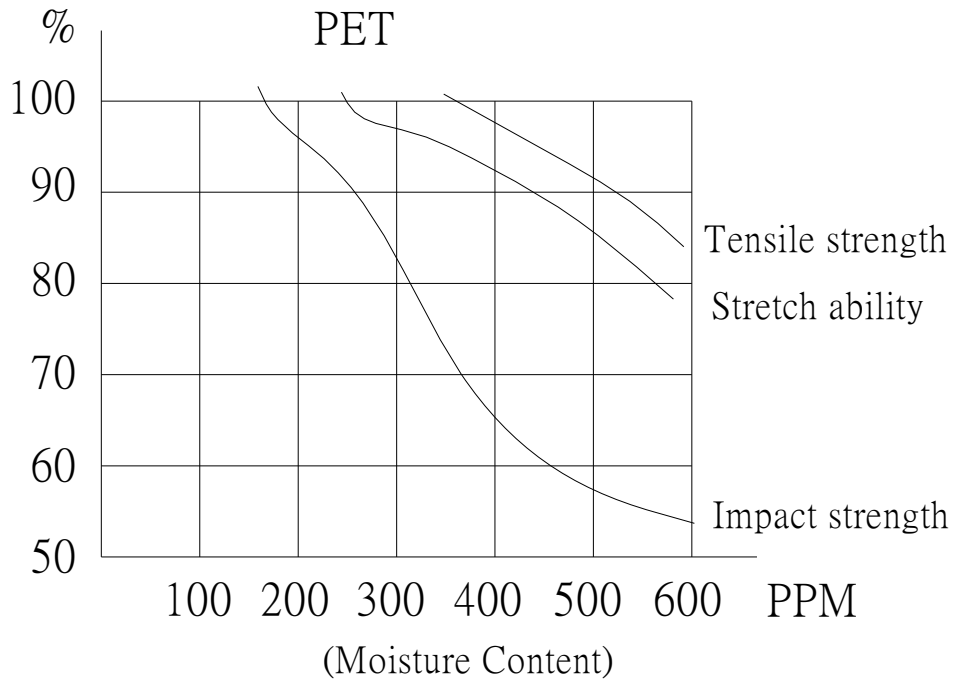


Fig. 2.8 含水率對PET 成形物性之影響 [台-00-p1] [瀧-92-358]

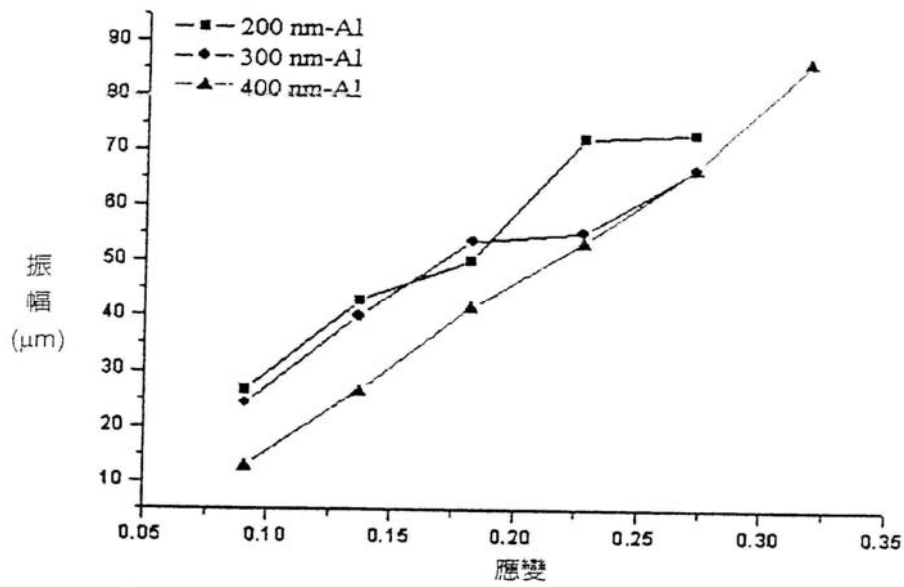


Fig. 2.9 不同金屬厚度(200、300、及 400nm)試片波紋結構振幅和拉伸應變量關係 [林-07-60]

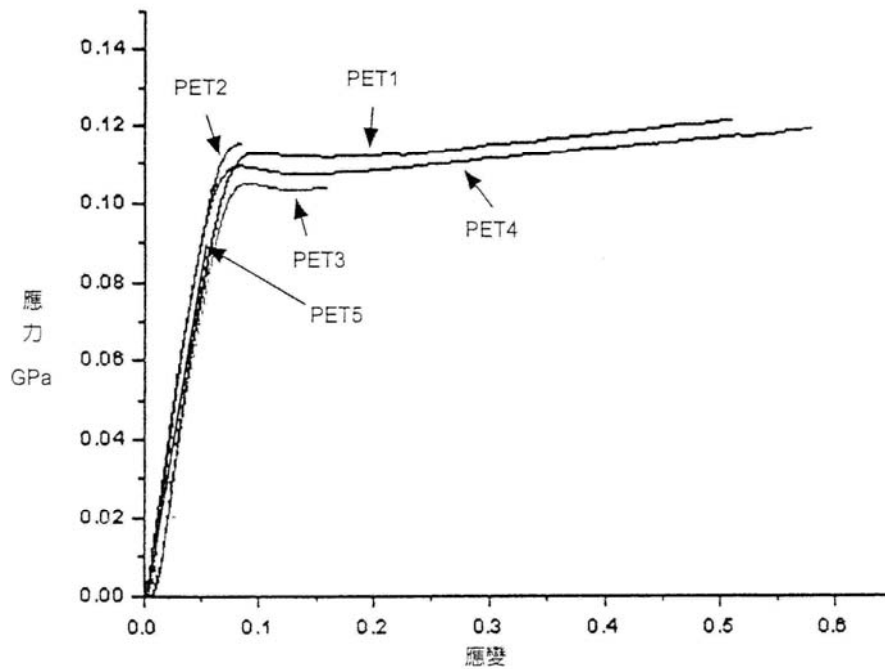


Fig. 2.10 PET 試片之拉伸曲線 [林-07-60]

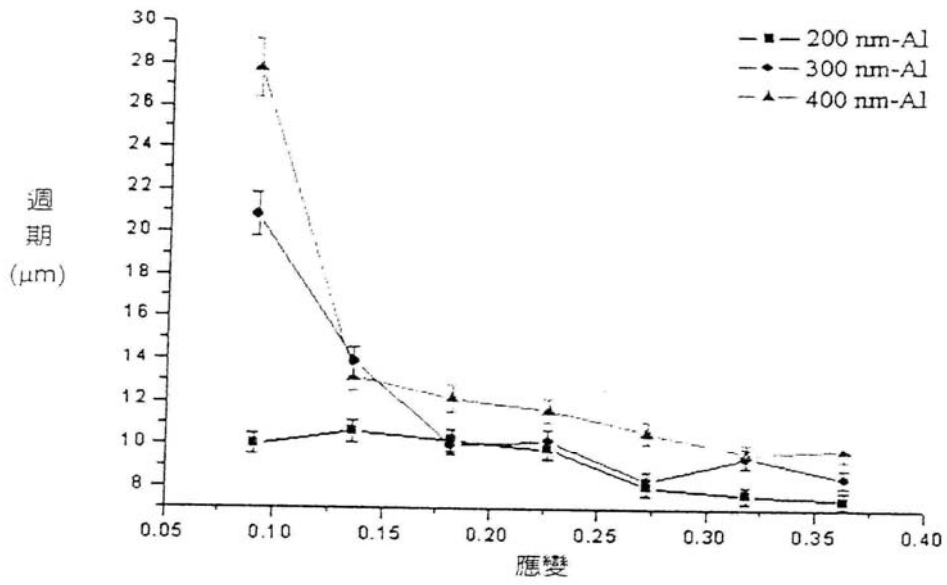


Fig. 2.11 不同金屬厚度(200、300、及 400nm)試片波紋結構週期和拉伸應變量關係 [林-07-60]

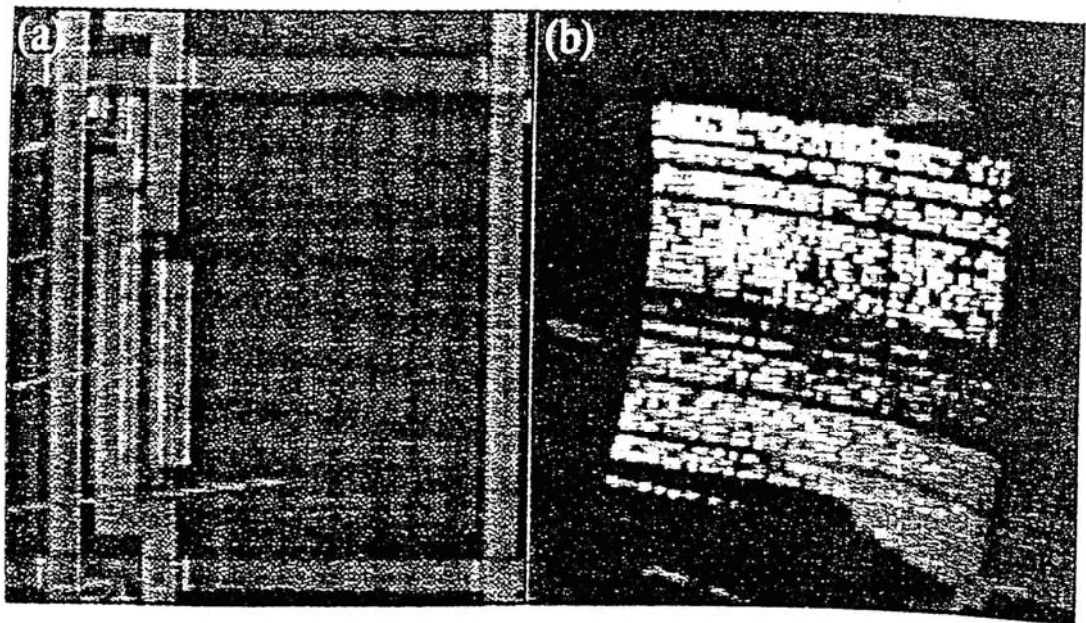
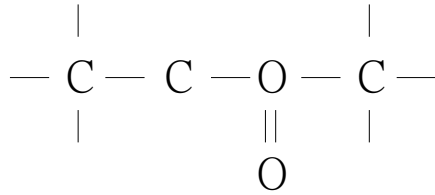


Fig. 2.12 美國賓州大學以 OTFT 驅動 OLED (a)顯示器基本畫素設計圖(b)面板點亮狀況 [王-07-88]

# 聚酯

會遭受水解之鏈結



水解後產物

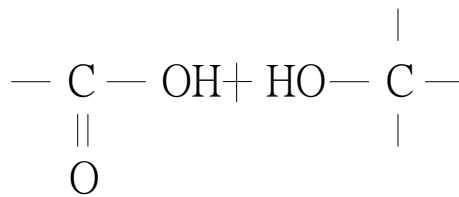


Fig. 2.13 水解反應 [李-87-278]

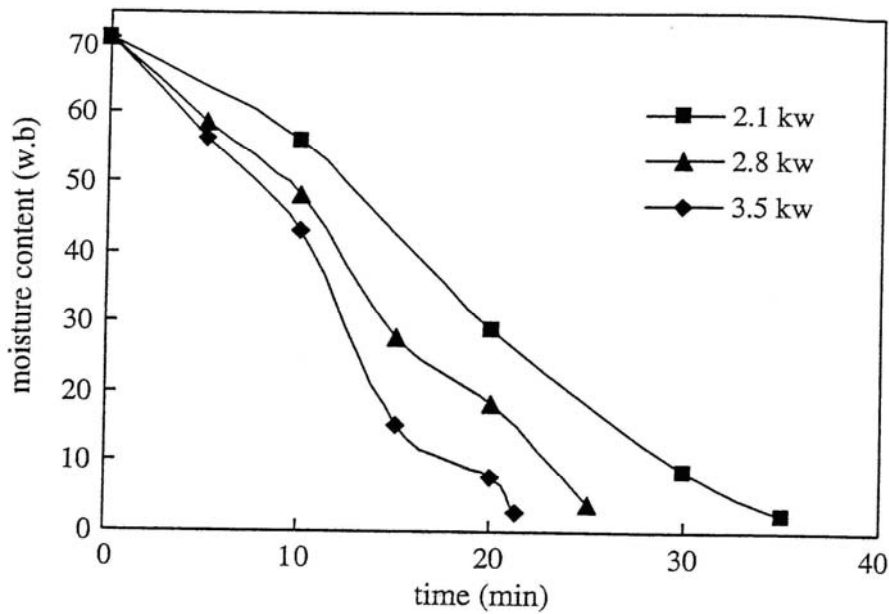


Fig. 2.14 Effect of microwave power on drying time (P=-95 kPa, 500g) 在 35, 25, 22 min. 內，分別以 2.1, 2.8, 3.5 Kw 的微波乾燥大豆到最終含水率曲線圖 [Hu -06-977]

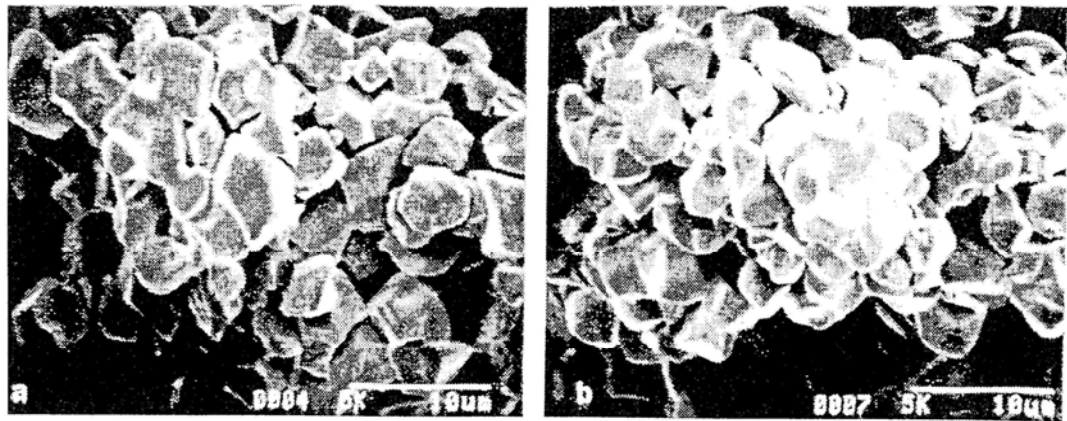


Fig. 2.15 SEM of the structural characteristics of individual starch granules of native (a) microwave heat-treated and (b) waxy rice starch [Anderson-06-318]

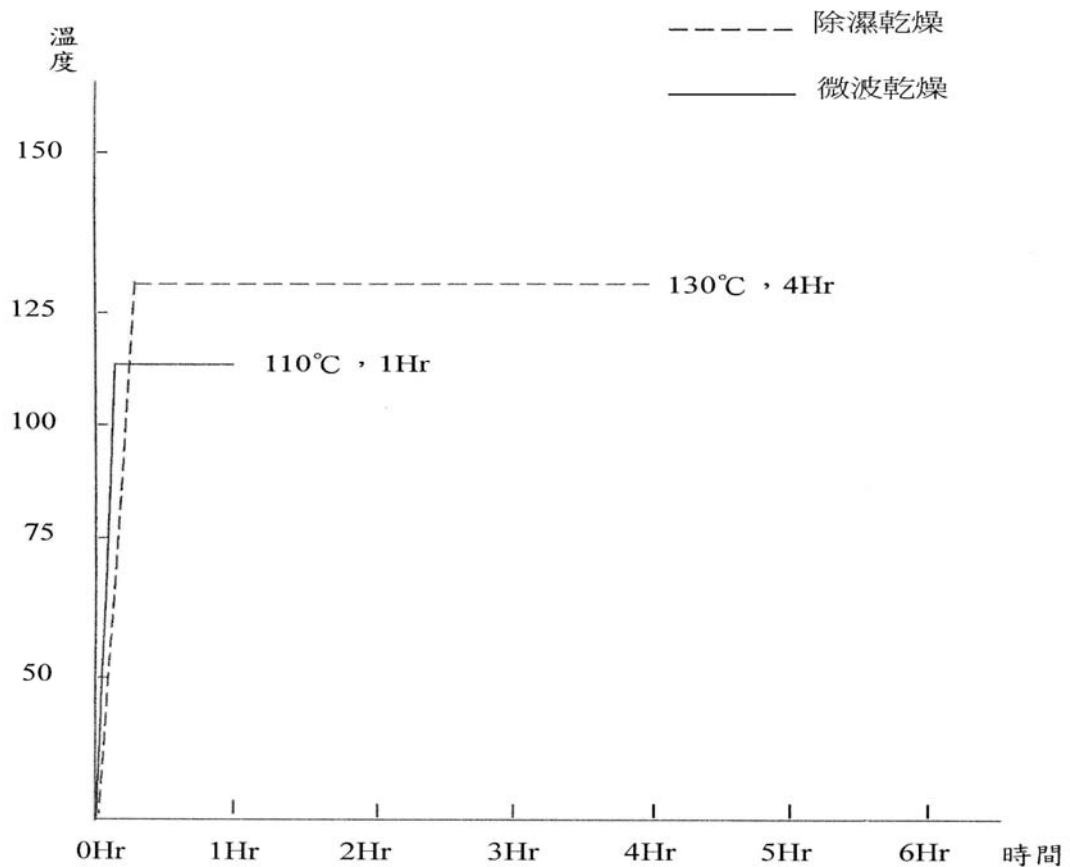


Fig. 2.16 PET 傳統乾燥與微波乾燥時間與溫度變化圖 [劉-05-p65]

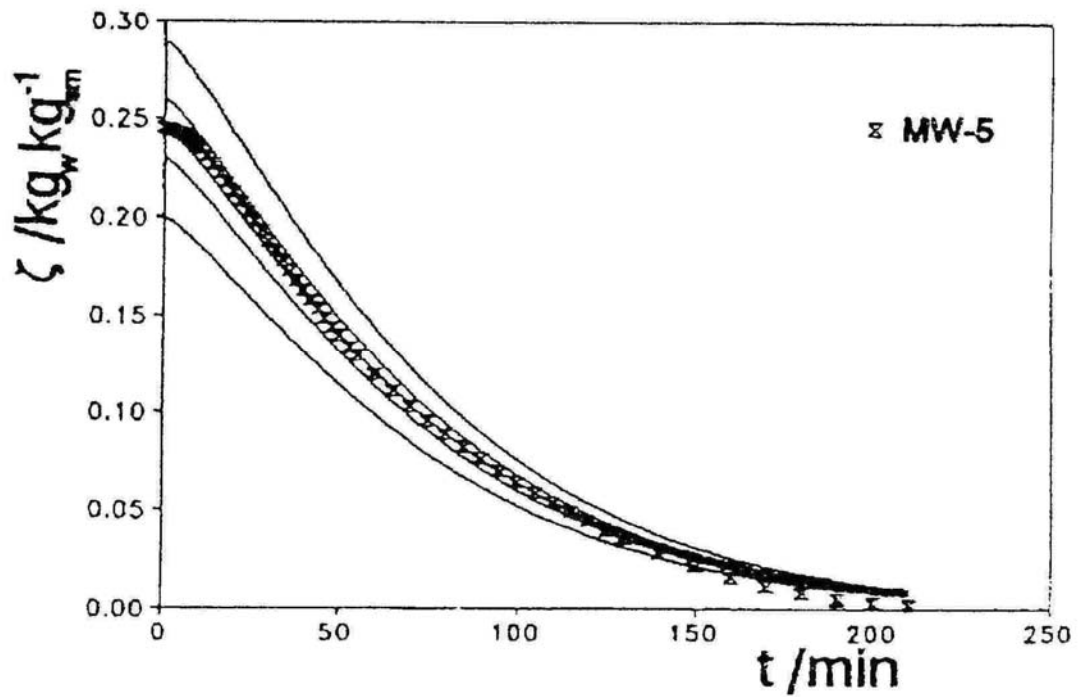


Fig. 2.17 Simulation of drying kinetics with different initial water content of clay sample. [Skansi-95-207]

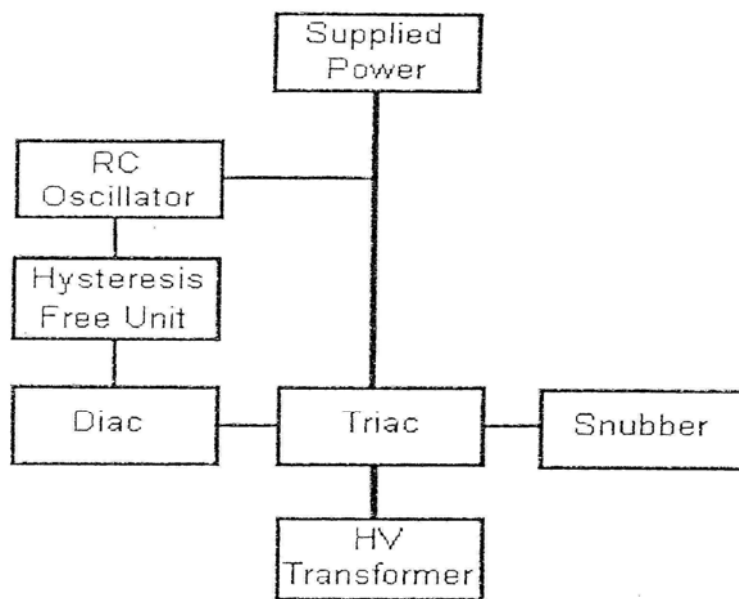


Fig. 2.18 Block diagram of proposed triac power regulator [Cheng-06-188]

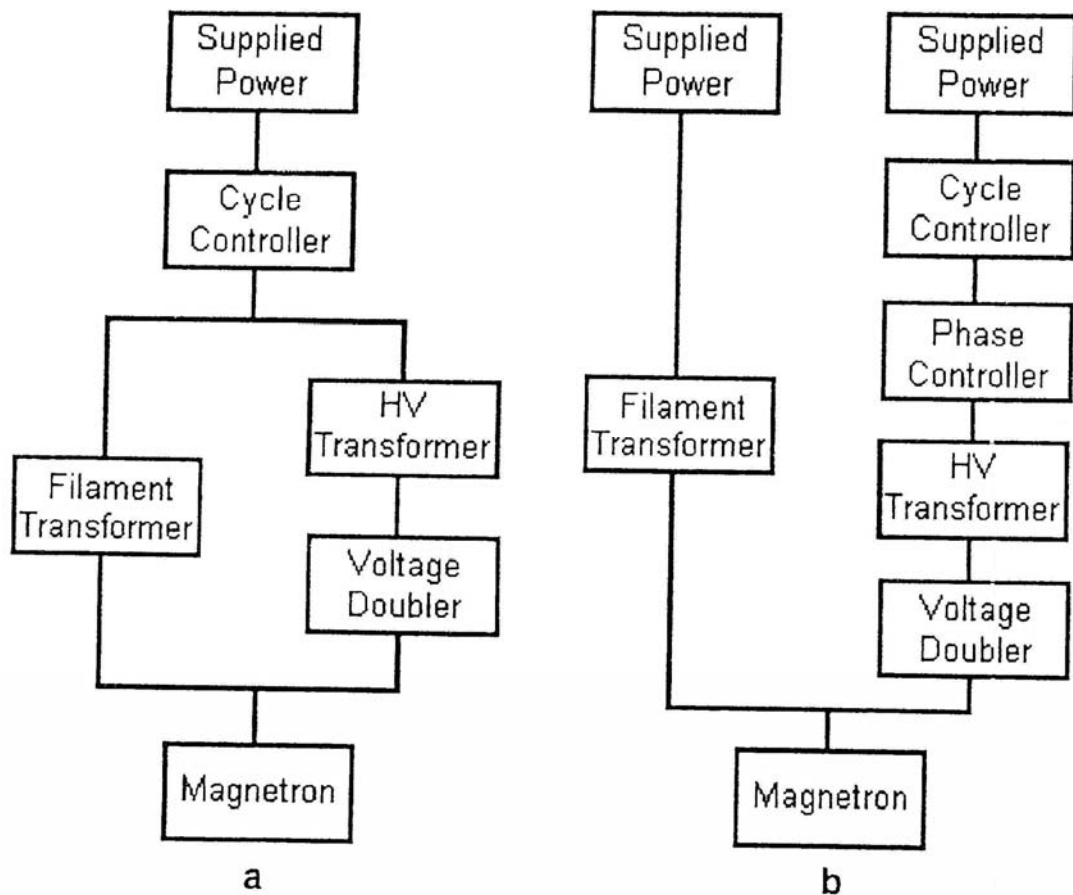


Fig. 2.19 Block diagram of (a) original circuit and (b) modified circuit [Cheng- 06-188]

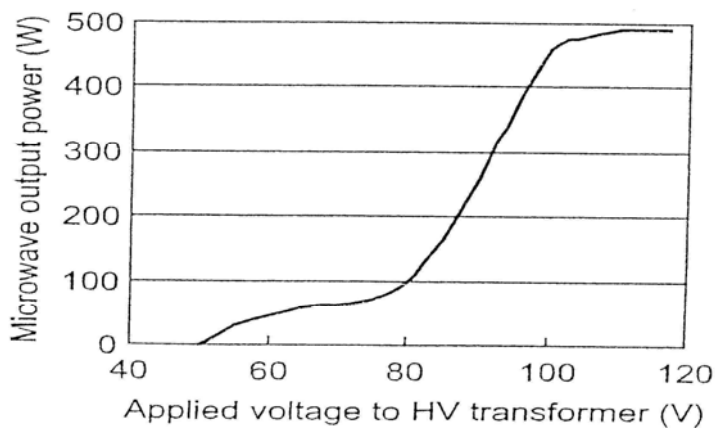


Fig. 2.20 Microwave output power versus applied voltage to HV transformer controller [Cheng- 06-188]

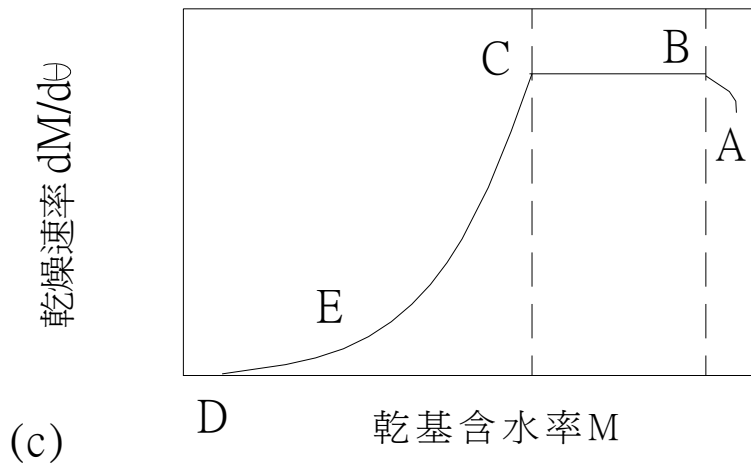
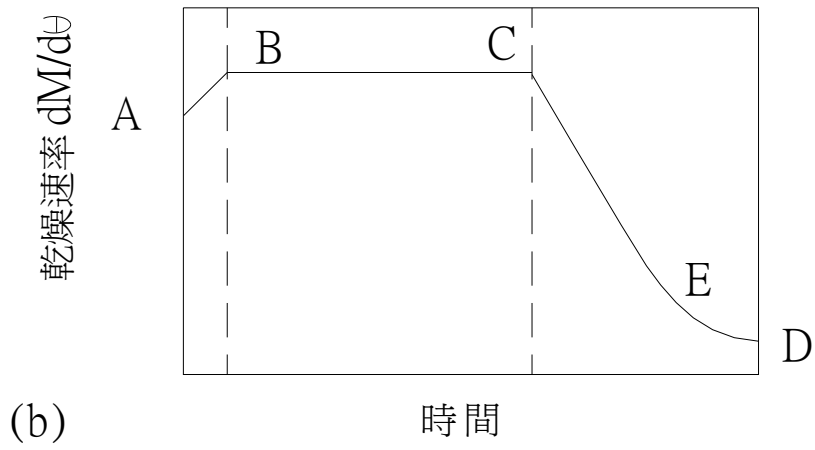
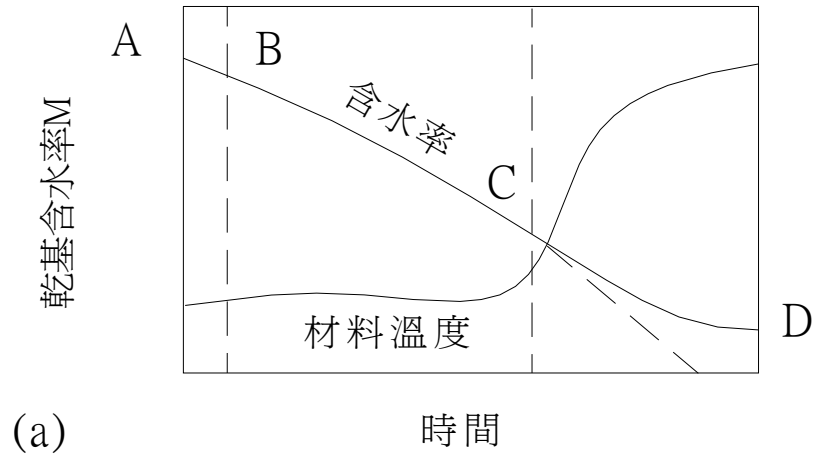


Fig. 2.21 (a)乾基含水率與時間(b)乾燥速率與時間(c)乾燥速率與乾

基含水率 [盧-95-163]



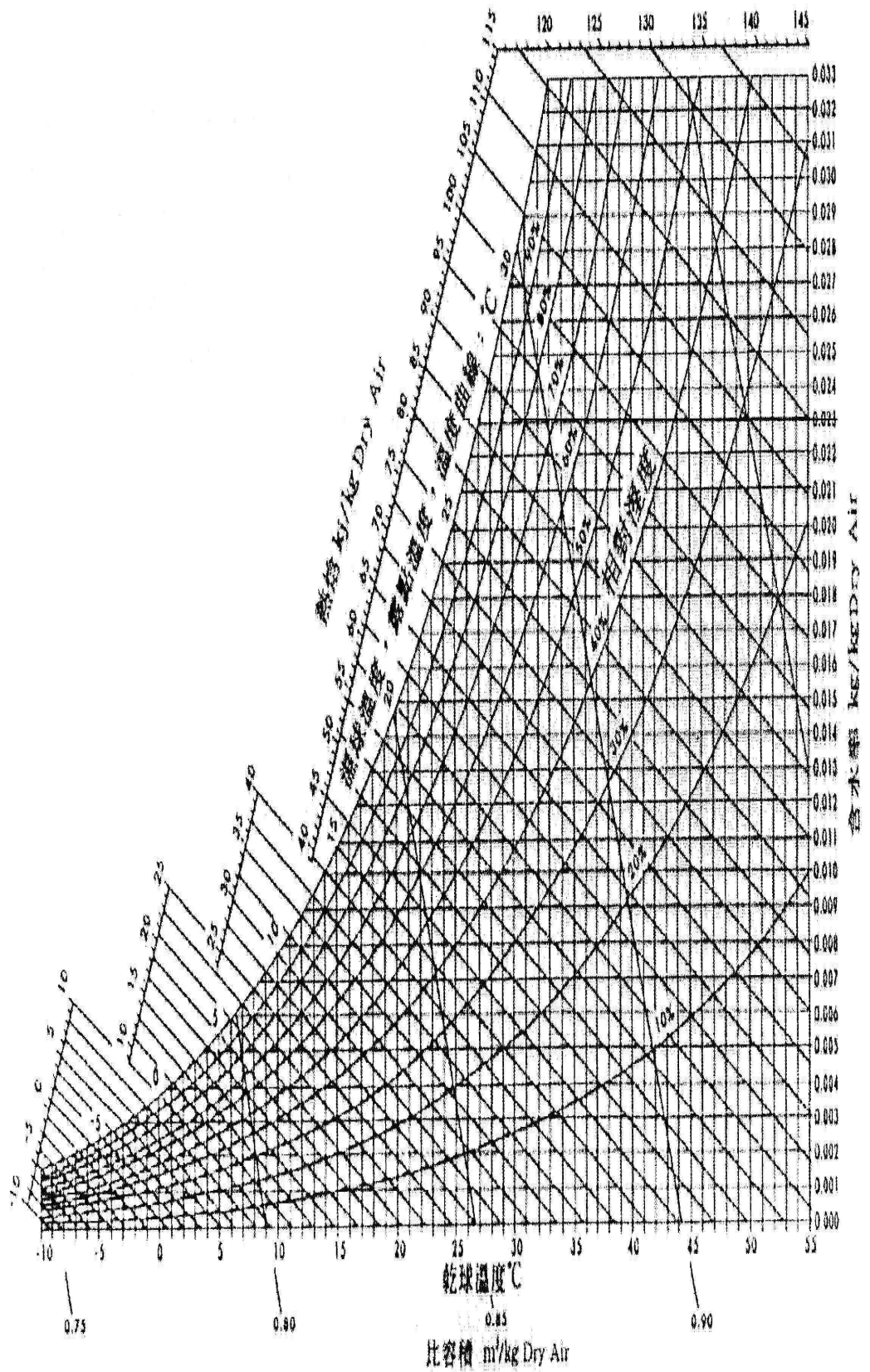


Fig. 2.22 空氣濕度線圖 [盧-95-149]

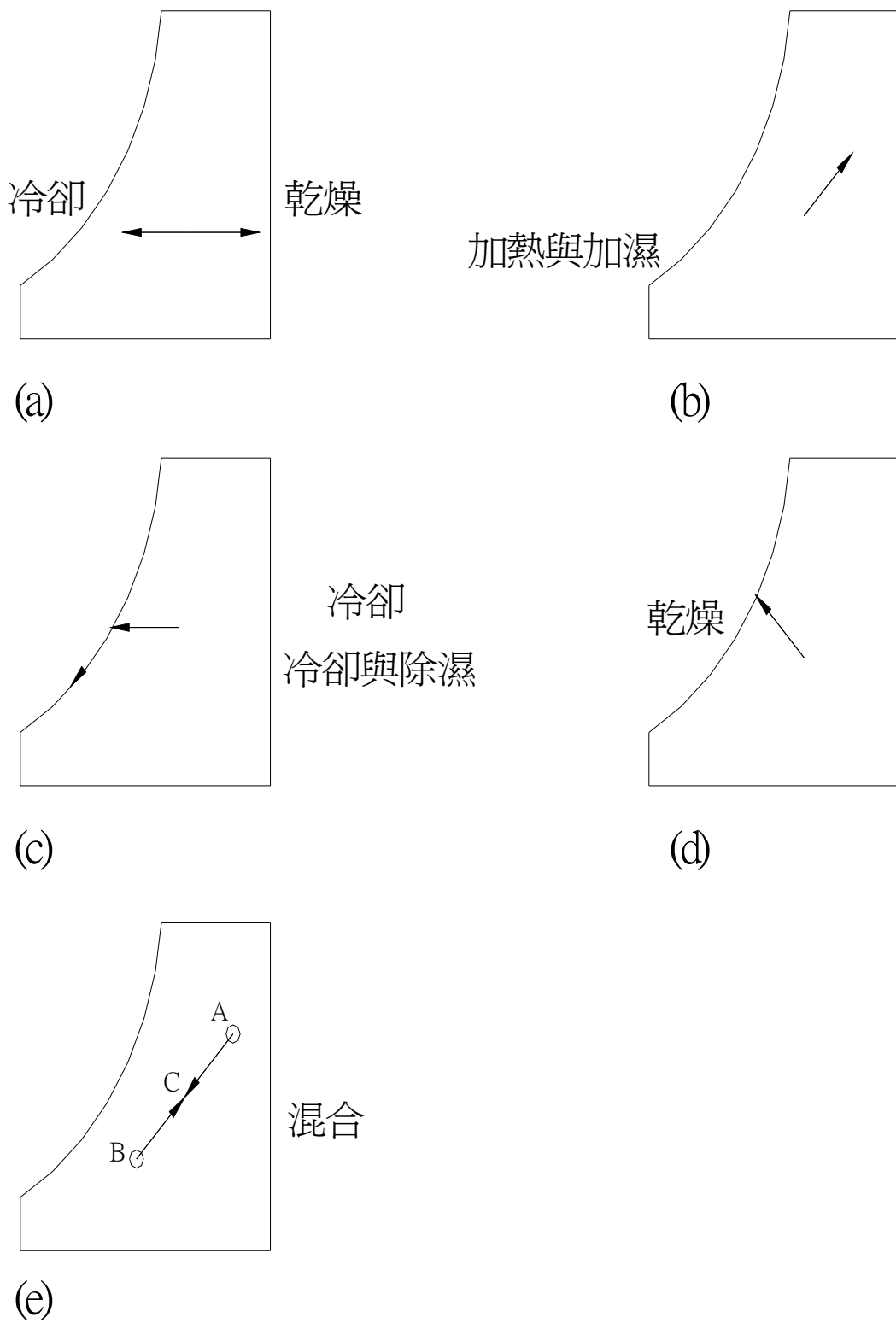


Fig. 2.23 空氣在(a)冷卻(b)加熱(c)除濕(d)乾燥及(e)混合時之不同狀態 [盧-95-151]

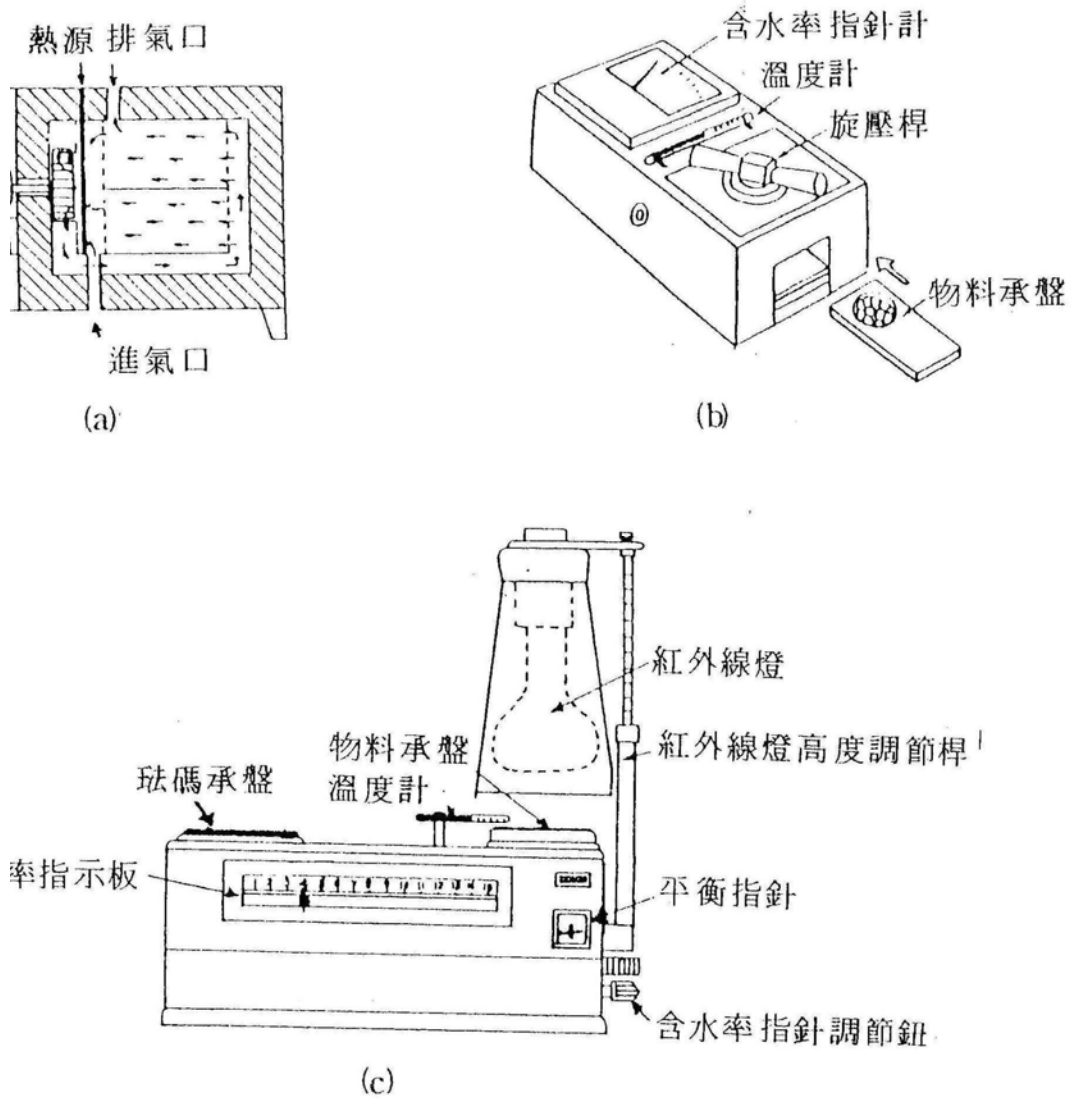


Fig. 2.24 (a)熱烤箱(b)電阻式水分測定器(c)紅外線水分測定器 [盧

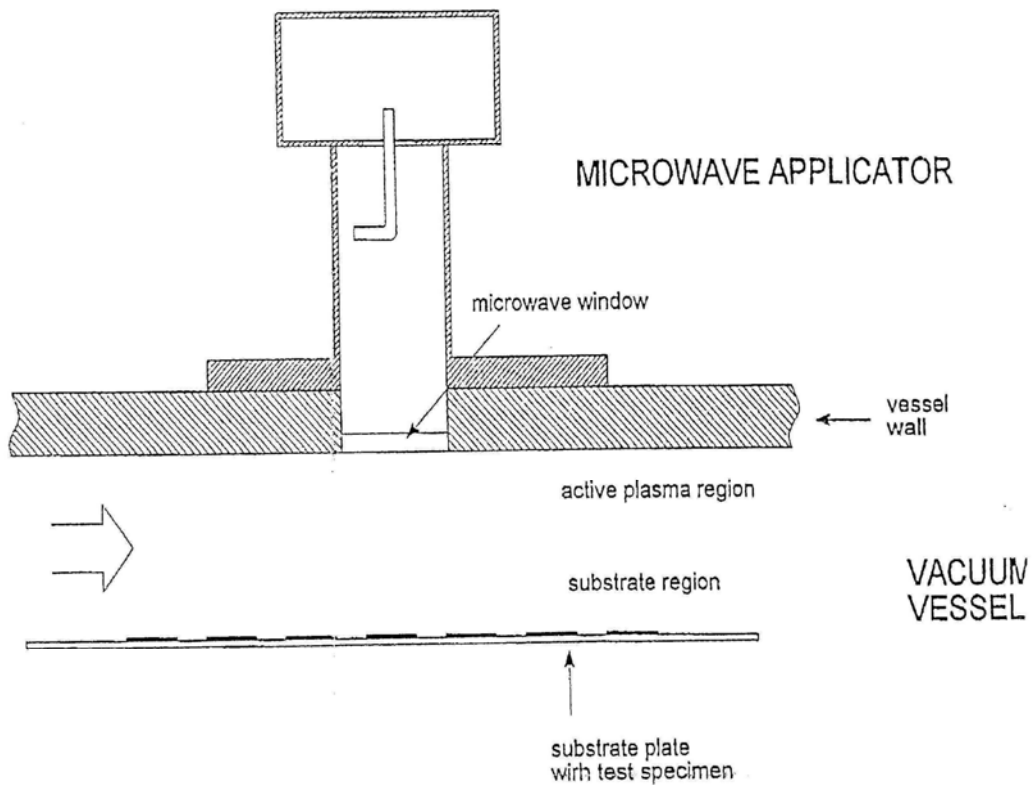


Fig. 2.25 Scheme of the investigated planar microwave plasma source set-up. The microwave applicator which is fitted to the vacuum vessel wall excites an intense microwave plasma near the wall (active plasma region). Test specimens for plasma cleaning are located on a substrate plate a few centimeters away from the wall in the decaying after glow of the substrate region. [Ohl.- 95-59]

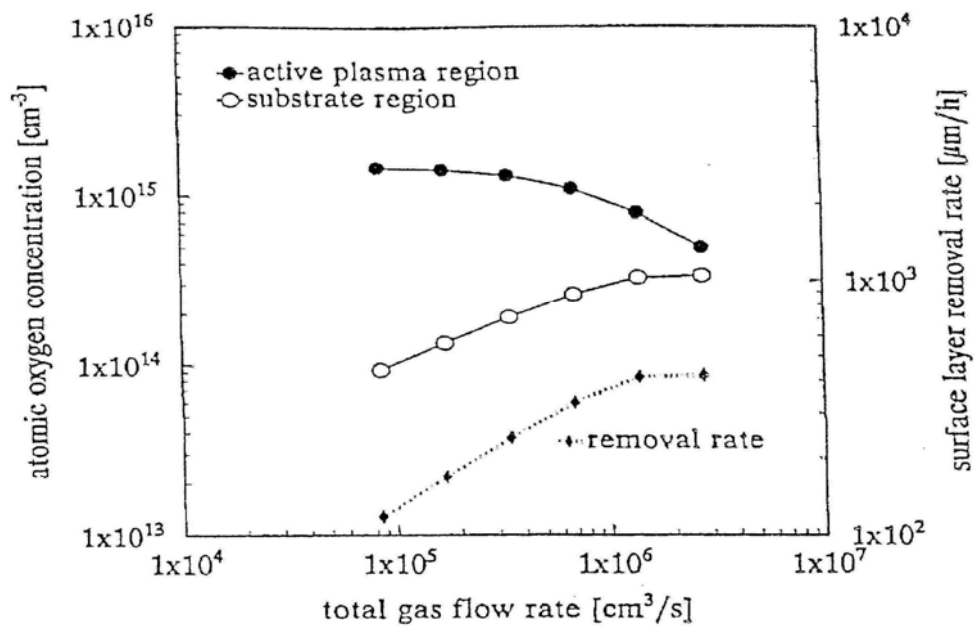


Fig. 2.26 Results of numerical modeling of the investigated plasma cleaning process<sup>[Ohl.- 95-59]</sup>

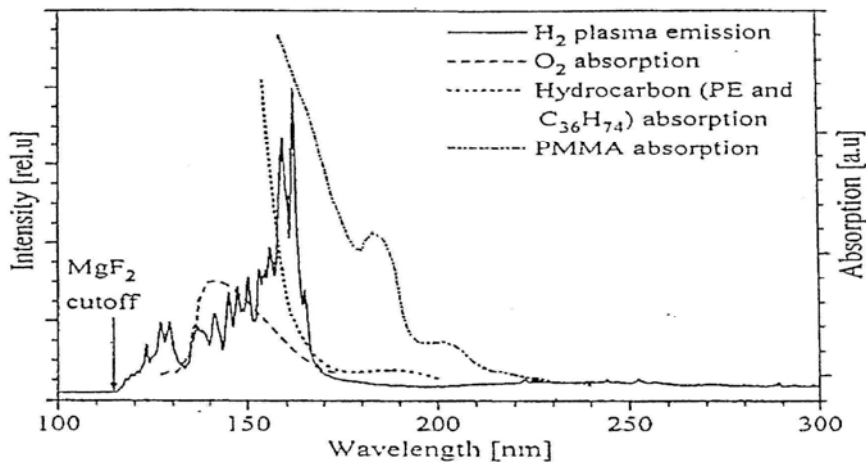


Fig. 2.27 Absorption domains for O<sub>2</sub> and for polymeric films, with respect to H<sub>2</sub> plasma emission<sup>[Fozza- 97- 205]</sup>

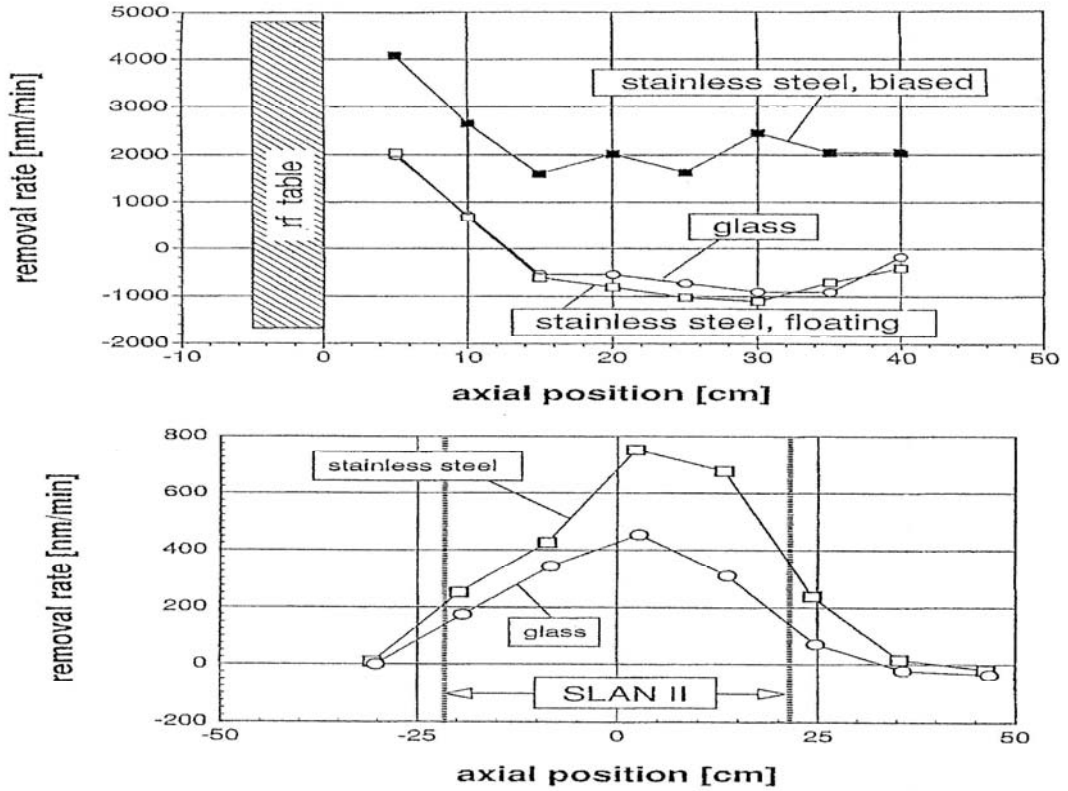


Fig. 2.28 Axial distribution of the removal rate for 8 glass or stainless steel substrates with 5 mg oil N62 per substrate (above) in the PPU-400 at a gas flow of 100 sccm, pressure of 10 Pa and RF power of 600 W, and (bottom) in the SLAN II at a gas flow of 150 sccm, pressure of 10 Pa and microwave power of 4 kW. [Korzec - 97- 165]

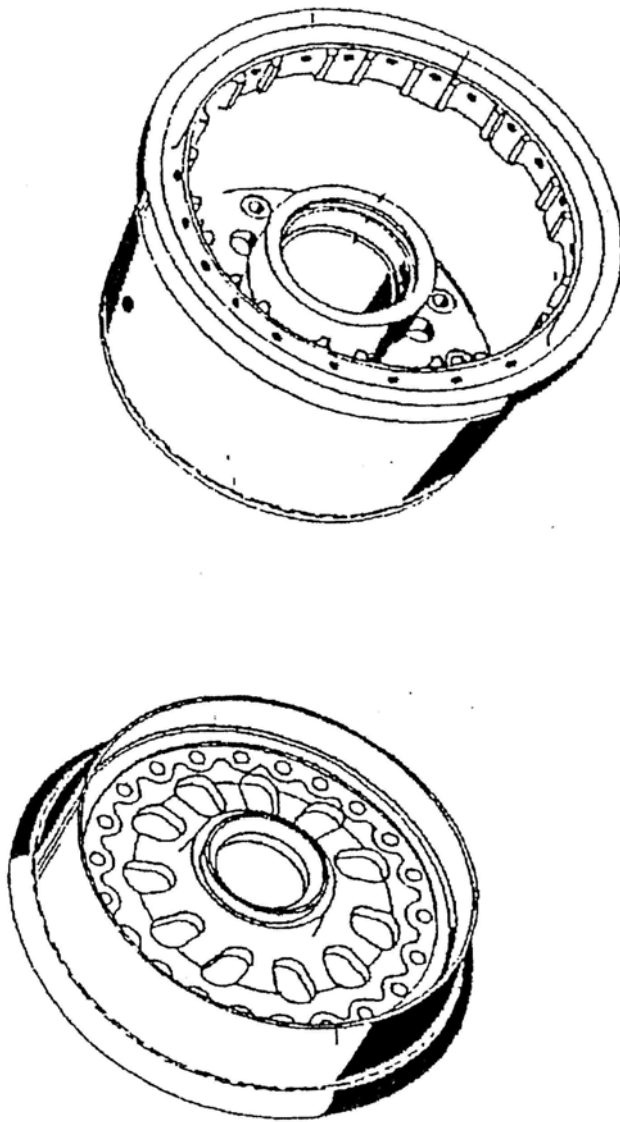
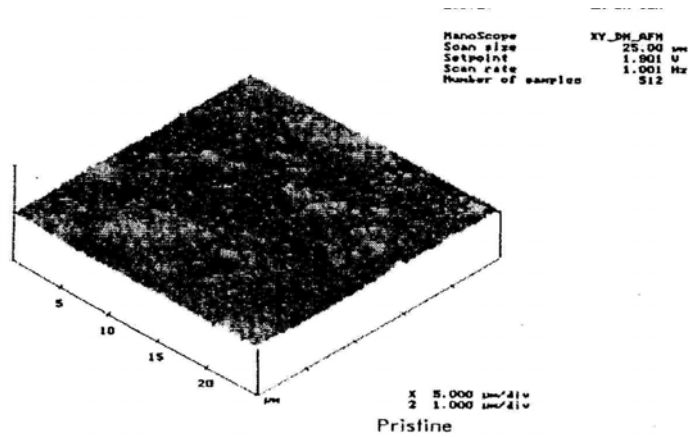
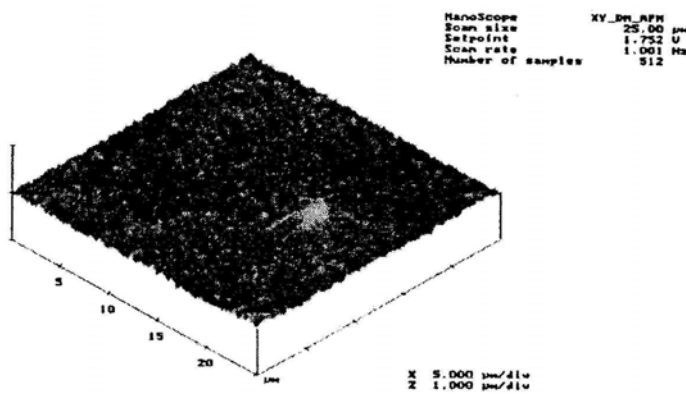


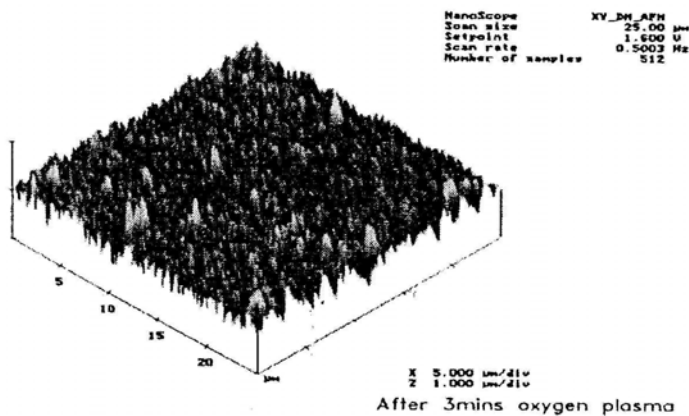
Fig. 2. 29 Main wheel rim of aircraft braking systems.  
Aluminums, titanium and steel are the most of  
ten cleaned materials. [Petasch - 97- 176]



(a) Pristine



(b) After optimal plasma cleaning



(c) After excessive plasma cleaning

Fig. 2.30 The effect of  $\text{O}_2$  plasma cleaning on solder mask surface modification. (a)Pristine(b)After optimal plasma cleaning and(c)After excessive plasma cleaning<sup>[Lee - 99-97]</sup>



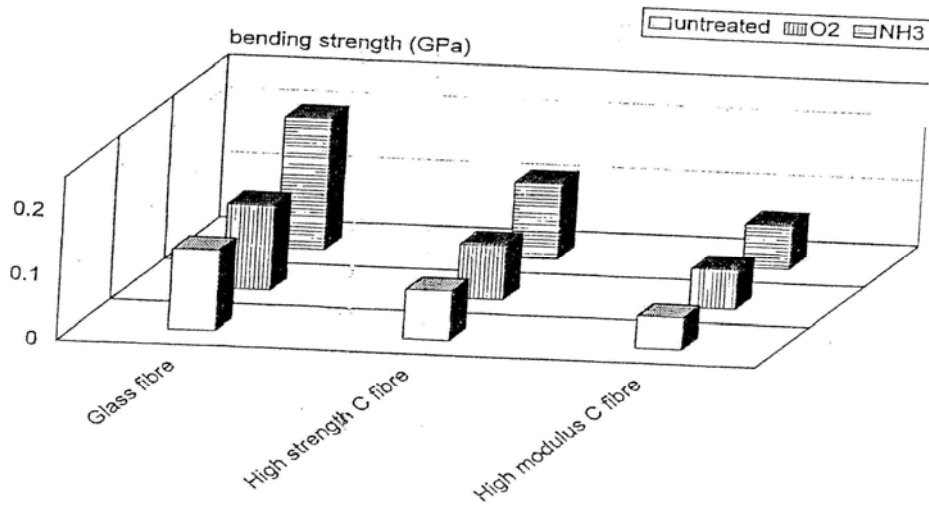


Fig. 2.31 Bending strength of carbon and glass fiber roving-epoxy resin composite sheet materials in relation to time and type of plasma pretreatment. [Kruger - 99- 204]



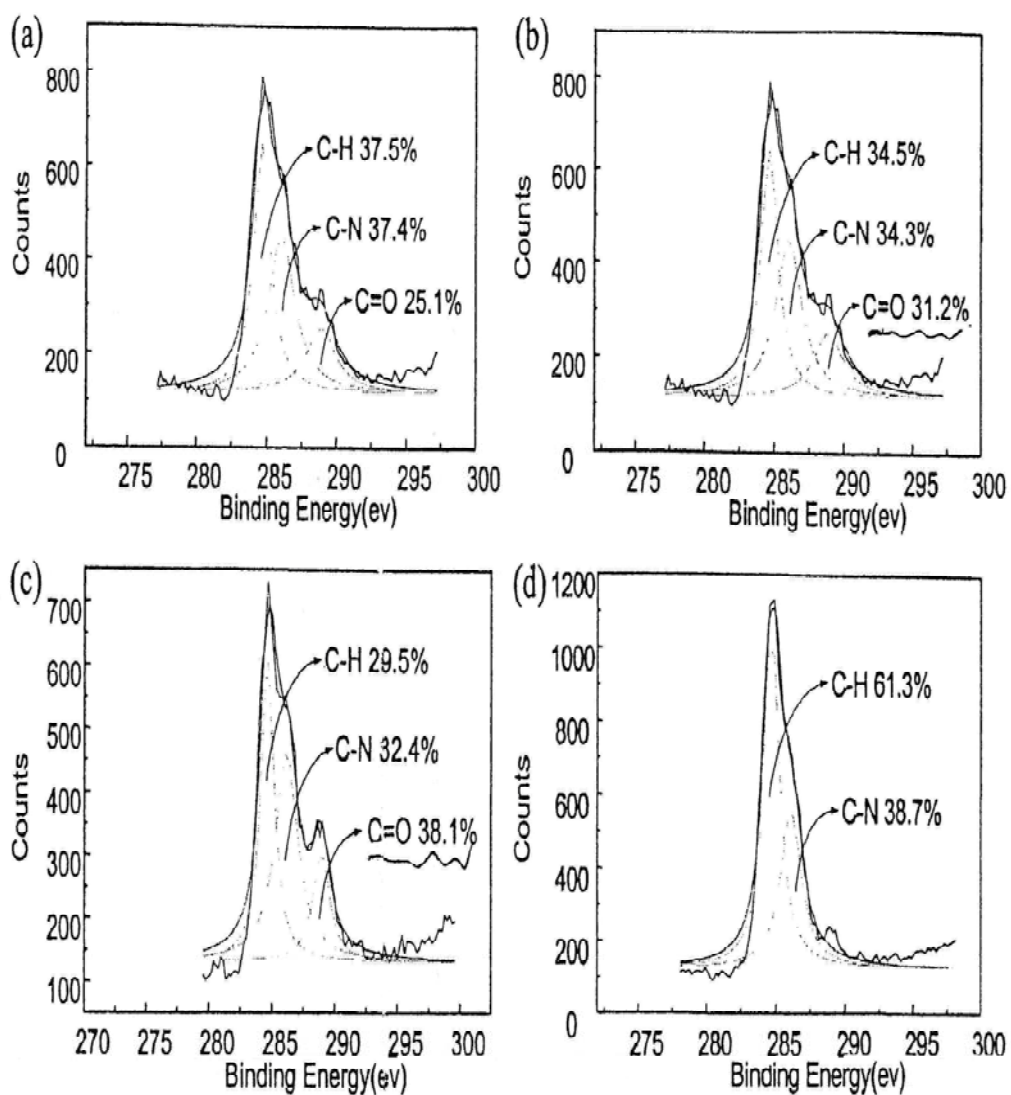


Fig. 2.32 The XPS C 1s multiplex spectra obtained from plasma treated substrate indicated C=O bonds variations under (a)fresh Film-BGA substrate, (b)150 W+67 Pa +2min recipe, (c)300 W+67 Pa +3 min recipe, (d) 600 W+10 Pa +3 min plasma treatments [Liu-05-192]

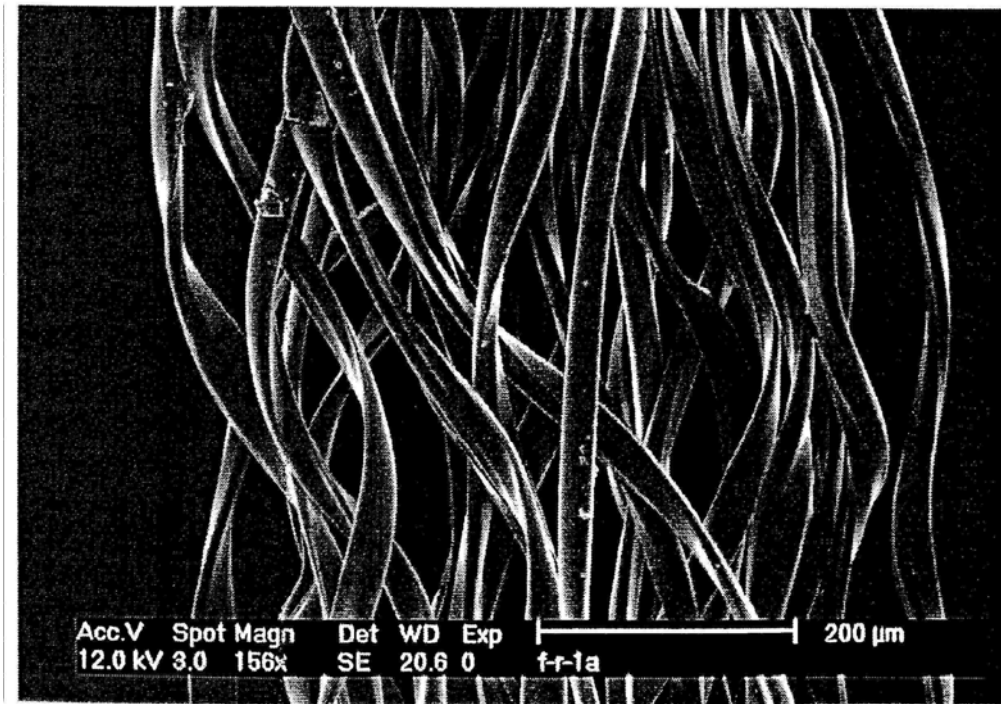
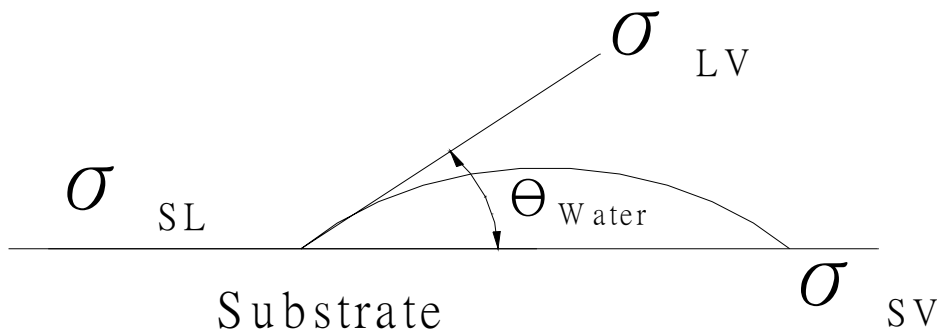


Fig. 2. 33 SEM of an untreated PET multifilament yarn. The filaments have a circular section of ca. 25  $\mu\text{m}$  [Keller - 05-1045]



$\sigma_{LV}$  (液氣相間表面張力)

$\sigma_{SL}$  (固液相間表面張力)

$\sigma_{SV}$  (固氣相間表面張力)

Fig. 2. 34 液滴與固體表面關係圖 [陳-07-151]

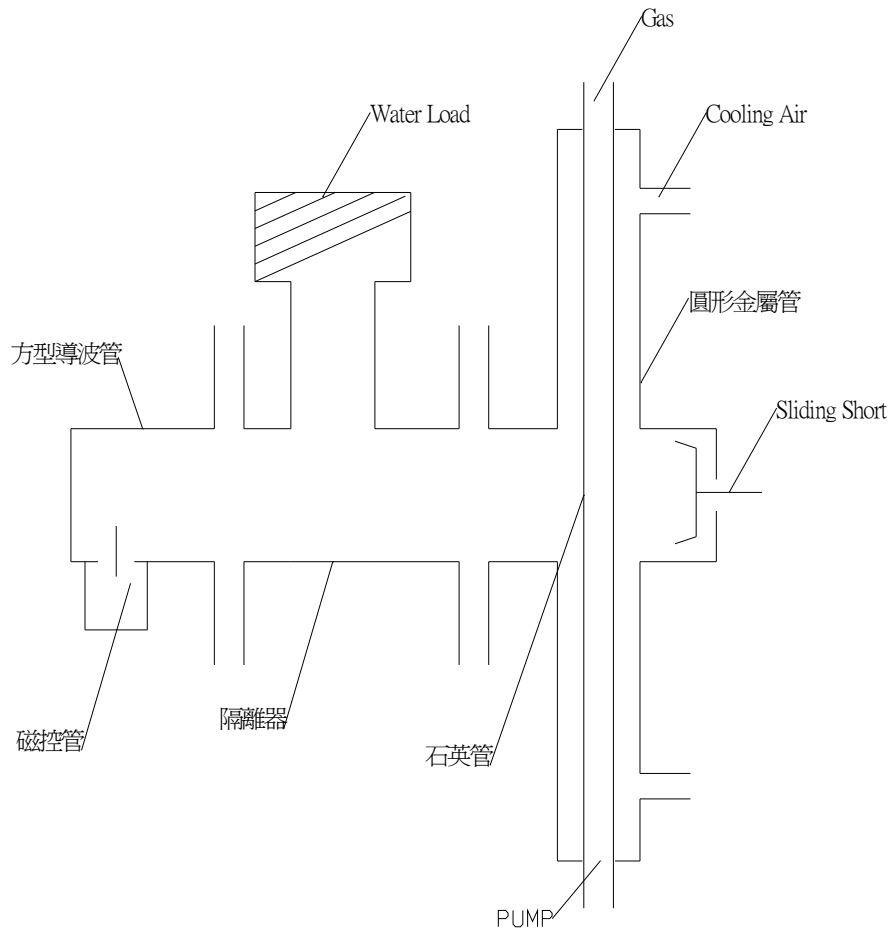


Fig. 2.35 傳統微波電漿源之設計 [劉-02-174]