



## 大氣電漿表面處理工藝

大氣電漿技術與傳統真空電漿同樣具有高能粒子，卻無真空電漿所需的密閉式反應腔體及真空抽氣系統，在近幾年受到許多人的矚目。所為大氣電漿，亦即在常溫常壓的環境中即能實施操作，可大幅降低生產成本和加速生產效率。工業技術上的表面處理技術，主要是提升工件表面之親水性，或異質物接合的黏著強度。目前常用的方式包含：化學藥劑蝕刻、火焰處理法、臭氧法及真空電漿處理等。但，上述技術通常具有環保考量、高成本，與生產效率緩慢等缺點。而大氣電漿技術的崛起，在許多的領域造成革命性的震撼，傳統需真空或濕式製程才能達到的目的，在常溫常壓的條件下，即有新的解決方法。

### 電漿技術簡介

電漿 (Plasma) 乃一群部分離子化之氣體 (Partially Ionized Gas)，其內部組成包括帶電荷之電子、離子，不帶電的中性氣體原子 (或分子) 與自由基 (Radicals) 等物種。

若以操作壓力範圍來進行區分，又可分為高溫電漿及低溫電漿。亦即，當操作壓力大於 500

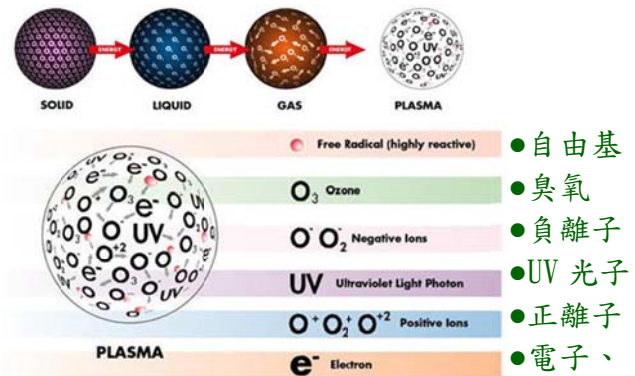
Torr 時，其產生的電漿因內部電子、離子和中性原子 (或分子) 的碰撞效應極為頻繁，故電子溫度 ( $T_e$ ) 與氣體溫度 ( $T_g$ ) 趨近於一致；此時中性原子 (或分子) 溫度可高達幾萬或幾十萬 K，稱之為高溫電漿 (Thermal Plasma)。而當操作壓力小於 50 Torr，因平均自由路徑相較為大，此時電子因被外加電場加速而獲得能量。由下列公式推算即可發現：

$$E = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{3}{2} kT \quad (k, \text{ Boltzmann constant}) \quad (1)$$

在較低之操作壓力下時，離子溫度 ( $T_i$ ) 遠比電子溫度低，且中性原子或分子因無法被電場加速，加上受電子或離子的碰撞頻率頗低，因此其整體溫度接近室溫，稱之為低溫電漿 (Non-Thermal Plasma)。

電漿的生成主要靠由電漿內部物種的連續碰撞反應，亦即靠著電子在電場中加速獲得極高的動能，以碰撞進行能量傳遞，解離氣體分子。就原子而言，當傳遞的能量累積至足夠造成原子內電子的遷移，即產生一離子與二次電子 (此電子又將受電場加速而重覆上述反應)。而電子動能與電場間可由電場對電子作功之累積表示，即電子動能相當於電場作用力與距離之乘積，亦即電子所獲得的能量相當於粒子帶電量、電場大小及其粒子平均自由路徑之相乘積。故在電子帶電量固定下，欲提升電子動能則需由增加電場，或提升平均自由路徑，也就是降低碰撞頻率等技術上著手。這也就是一般電漿製程多半以高電壓，以及低壓真空環境下操作之主因。

然而，低壓真空製程包含高設備成本，同時限制產品推動連續製程的應用，無法降低製作成本；故電漿製程若能於大氣條件下進行，這對於產品成本無非是絕對的優勢；而常壓下電子與其它中性物種碰撞頻率極高，其電子在尚未獲得足夠能量進行離子化碰撞前便把累積的能量釋出。是故，於大氣





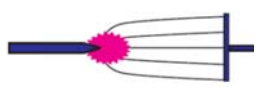
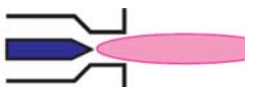
環境下產生電漿，其方法有二：提供大量電流來加熱氣體分子，此型式又稱為常壓熱電漿；或者提供高壓電場，使電子在有限的距離中累積足夠能量來產生離子化碰撞，此型式為常壓低溫電漿。然而對於製程應用而言，一大氣壓且低溫之電漿製程為業界所樂見的。

### 大氣電漿之分類

大氣電漿（或稱為常壓電漿）乃指於一大氣壓或接近一大氣壓之狀態下所產生的電漿，相較於低壓真空電漿技術，常壓電漿系統比真空電漿系統省去龐大的真空腔體與真空泵，於設備成本上有絕對的優勢；更遑論加速生產效率，與減少真空製程步驟和大量維護成本之效益。

表一整理幾種常見的大氣電漿系統之特性；其中，常壓噴射電漿設備及介電質放電系統因常壓低溫（Non-thermal Plasma）之電漿製程特性，易整合於產品製作流程上，同時有效解決電暈放電系統之均勻度，因此也最備受矚目。

表一、大氣電漿系統之特性列表

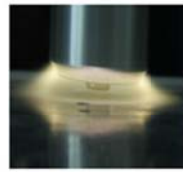
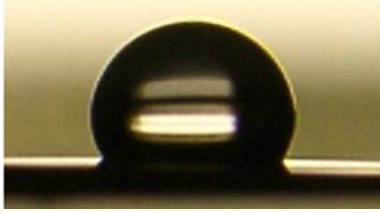
低溫電漿			高溫電漿
噴射式電漿	介電層放電	電暈放電	電漿火炬
			
由一圓管狀金屬電極包圍一金屬電極於管中央，兩電極一端接地一端接電源，利用高速惰性氣體搭配其它少量欲反應氣體流經圓管內產生穩定電漿。	於兩電極（平板型或圓柱型）間加入一層以上之介電材，並因介電質的存在，故電源只能使用交流電且操作電壓較高（>10kV）。	一般利用針狀或線狀電極對另一平板狀或管狀電極放電，放電通常集中在尖端、細線或金屬板邊緣。均勻性為此型電漿尚待解決之議題。	以高電流低電壓之特性進行放電，出口溫度可高達數千度。高溫製程，限制基材耐溫性不佳的製程。

#### 1. 噴射式電漿（Plasma Jet）

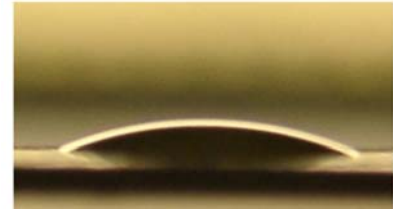
其特色為電漿面積小、能量集中、處理效率高、產生的臭氧濃度較低、靜電累積較小。其應用效果是大氣電漿中最佳選擇，但受限於處理面積狹小，通常可多支並聯成一寬幅式處理系統。目前的應用包括了：表面改質、光阻去除、電漿蝕刻、液晶面板晶片貼合、捲帶式載板製程清潔、手機組裝貼合、生醫材料殺菌及塗佈/印刷前處理。

沁耀(CLICK AP Plasma)所研發之常溫常壓噴射式電漿，在常壓常溫的環境下運行時，只消耗空氣和電，即可輕易直接和既有的生產工藝配合，無論是塑料、橡膠、金屬、紡織品、紙類 还是玻璃都能大提升工件表面能（>65 達因）。通過這樣的處理工藝，製品的表面狀態才能充分滿足後續的塗裝、粘接、印刷等工藝的要求，始可實現現代製造工藝所追求的高品質，高可靠性，高效率，低成本和環保等目標。

表面能太小，以致水滴呈現圓球狀



增加表面能，水滴則攤平於製品



零電勢常壓噴射式電漿

此外，淞耀(CLICK AP Plasma)零電勢常壓噴射式電漿，比起第一代噴射式電漿處理工藝，電極壽命長達一萬小時；在某些潔淨的環境與製程下，電極壽命更長達三萬小時，也更適合處理敏感易損的表面。例如 Touch Panel、電容器、電路基板等。這些表面覆蓋金屬電路製品，透過零電位差電漿的處理，不但不會受到任何的損傷，更是簡潔而易於掌握，且完全環保的工藝。

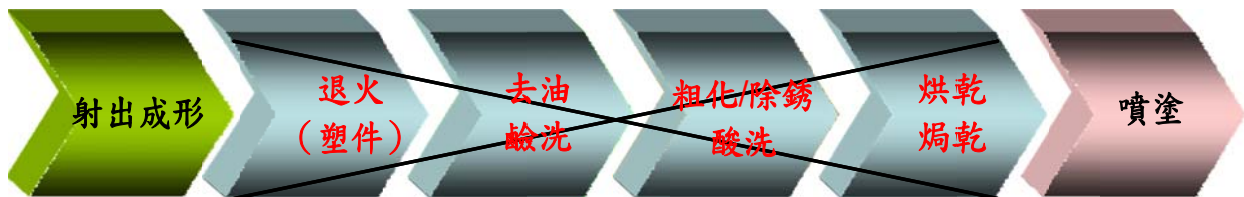
## 2. 介電質放電 (DBD)

其特色為線型電漿，適合大面積且平整面之工件表面處理。其操作頻率介於 1~40kHz，操作電壓大於 10KV。此工藝的缺點為：絲狀的微放電之電流集中於一些小點，容易損壞電極板上做表面處理的材料，且電漿反應的效率遠低於噴射電漿僅約 1/10；各項研究上更指出，DBD 約有 92% 能源損耗在熱能的產生。且 DBD 必須使用氮氣，或者氮氣、氫氣等昂貴的惰性氣體，始得以順利點燃電漿。此外，其電漿模組均勻度製作的困難度，電極壽命與可靠度都備受質疑，因此一直未被工業界正式大量採用。

### 大氣電漿預處理特性

在乾淨而剛打過蠟的汽車塗裝表面特別容易彈開雨滴是什麼原因呢？此乃因為，塗裝表面的能量非常的低，相對於水的表面張力 (72 mN/m) 非常大之故。傳統噴塗預處理工藝，為了確保噴塗質素良好，工件表面必須徹底清潔 (亦即增加表面能)，否則容易影響塗層的附著力。

塗裝前處理程序：



#### 一、退火 (只適用於塑料)

作用：由於塑料在塗裝時容易變形，故必須在塗裝前，將塑料加熱到稍低於熱變形時的溫度以減低內應力。

淞耀(CLICK AP Plasma)大氣電漿溫度低於 80°C，藉由移動速度可調整加工溫度，同時達到薄膜表面退火之目的。

#### 二、除油：

1.有機溶劑除油、2.鹼液除油、3.表面活性劑除油、4.超聲波除油

大氣電漿富含正負離子與自由基，可輕易去除殘留之油脂等有機物。

### 三、表面改質/活化：

作用：1. 若工件曾用強鹼除油或用酸洗除銹，便須於磷化前進行表面調整。

2. (只適用塑料)：增加塑料粗糙度或改變塑料表面的極性，以提高塗層的附著力。

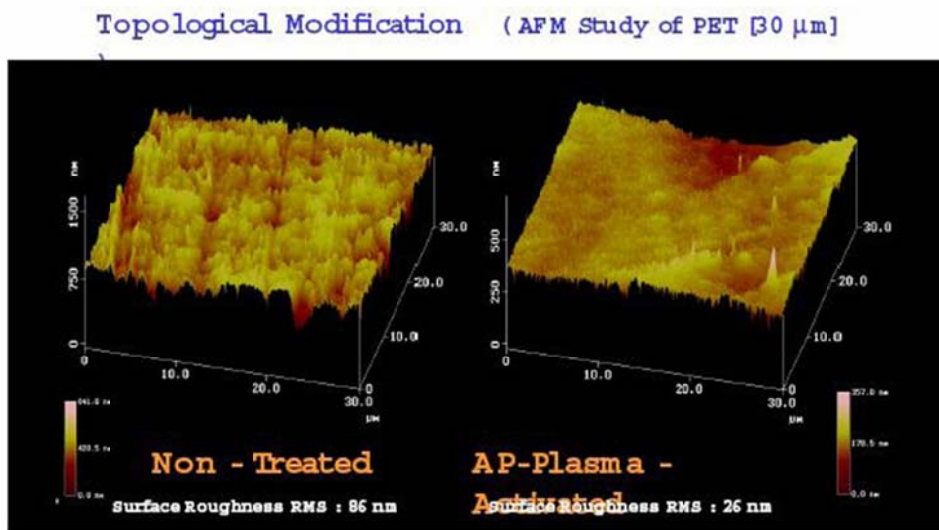
大氣電漿可解離氣體分子(空氣、氧、氮、氫、氫...)，進行表面改質，增加表面能。

### 四、除靜電(只適用於塑料)：

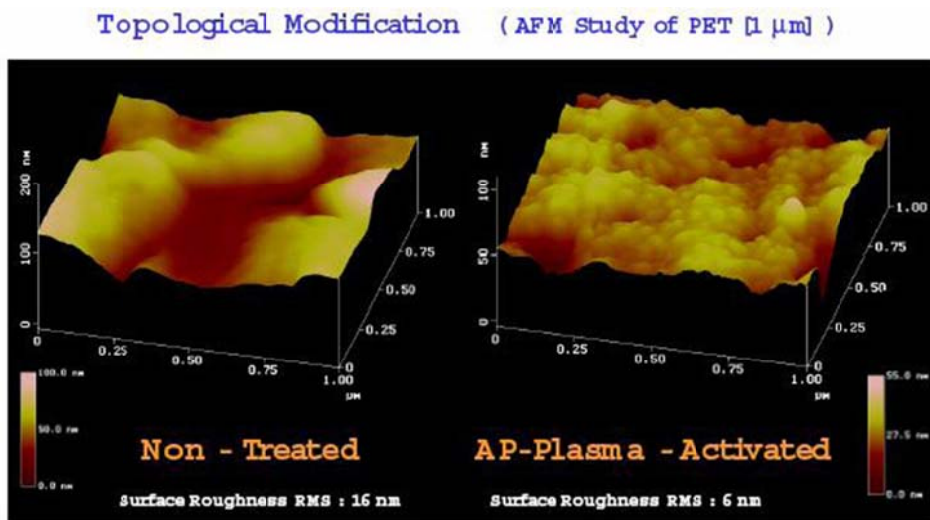
作用：由於塑料為不良導體，容易產生靜電黏塵，故除油後宜使用靜電除塵槍去除靜電。

大氣電漿富含負電子與正負離子，乃電中性氣團，在清潔/改質/活化表面的同時，亦可輕易消除表面靜電，達到四合一的預處理效果。

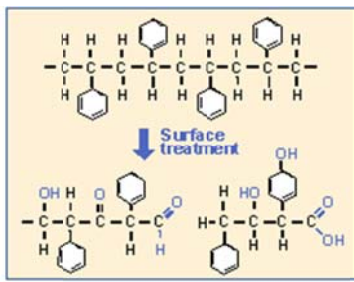
**實驗一、大氣電漿可改善微米級表面粗糙度，達到微米即表面平坦化之功效。**



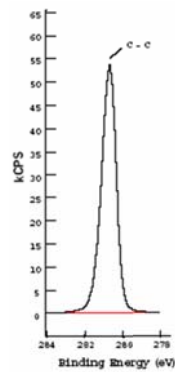
**實驗二、大氣電漿可增加奈米級表面粗糙度，比傳統酸洗粗化工藝，增加 1000 倍以上的表面積，大幅增加附著面積。**



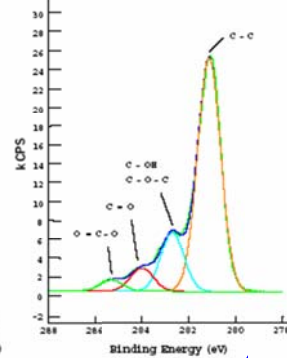
實驗三、大氣電漿可清除表面氧化物，同時進行表面極性化改質，以化學鍵結取代物理性附著，大幅提昇表面能。



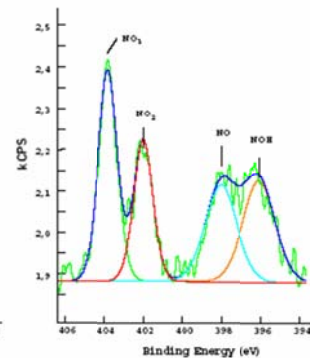
表面極性化，增加表面能



PP 未處理  
表面能 27 mN/m



經 APP 處理  
表面能 72 mN/m



實驗四、經由大氣電漿預處理的塑膠材質，可大幅提升附著力與耐腐蝕性。

試片在經大氣電漿處理後，其電鍍結果如表面亮度與鍍層耐候度等，甚至超越傳統溼式腐蝕製程之樣品



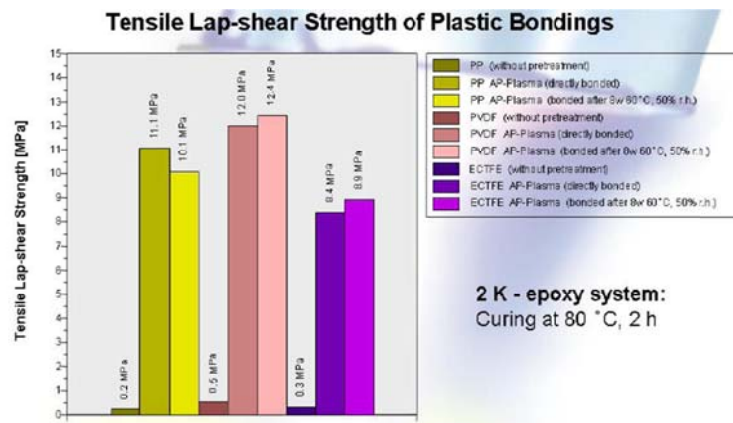
傳統預處理鍍鍍腐蝕後結果



大氣電漿預處理之塑件腐蝕結果

實驗五、大氣電漿預處理可大幅提升附著強度。

三種塑件 (PP、PVDF、ECTFE) 未預處理、大氣電漿預處理、與耐候測試後之附著強度。下圖顯示，業經大氣電漿預處理，塑材以 epoxy 黏接強度遠大於未預處理之工藝；既使經過 80 °C、50%相對溼度，2 小時的耐候測試後，業經大氣電漿預處理的工件，仍保持極大之黏著強度。



備註：

PP：表面沒有毛細孔，一般膠無法滲入而黏合，只能在表面”假黏合”。

PVDF：疏水性材質，表面極光滑。

ECTFE (F30)：熱塑性氟共聚物，有非凡的抗腐蝕能力。