

# 自動化大氣電漿設備建置與醫療用口罩去異味活化

## The Setup of Automatic Atmospheric Pressure Plasma System for the Odor Removal on the Medical Facial Masks

郭俞麟、孫瑛穗、何明樺、盛信儒、陳松郁、郭兆渝、王憲柏、柯季良

Yu-Lin Kuo, Ying-Sui Sun, Ming-Hua Ho, Hsing-Ju Sheng, Song-Yu Chen, Jhao-Yu Guo, Hsien-Po Wang, Chi-Liang Ko

根據新英格蘭醫學期刊 (The New England Journal of Medicine) 報導，COVID-19 新冠狀病毒於外科口罩外層可存活至 7 天、金屬表面存活 4 小時。現有的口罩再次使用的相關文獻研究中顯示口罩滅菌再使用的方法則可採用乾熱 (烘箱)、濕熱 (蒸鍋)、高溫高壓滅菌、254 nm 紫外光、次氯酸鈉水與酒精等。上述這些方法雖然具備口罩殺菌消毒功能，但口罩材質屬於非耐熱性，常會造成口罩中間靜電過濾層、外部防潑水層破壞，進而降低口罩攔阻空氣中微粒的能力，因此並不建議作為口罩再使用的處理方法。本研究團隊提出以大氣電漿設備結合產業界能量 (機械手臂與自動化設備) 建置自動化大氣電漿設備，並以空氣作為工作氣體，優化設備製程參數針對醫療用口罩去除異味且活化，達到增加使用壽命。大氣電漿處理後之結果顯示，口罩外觀結構完整並無材料性質變化，且證實有殺菌效果並達到去異味之效能。相較於其他處理方式會破壞口罩結構，且因高溫造成的熔融等問題，使防疫效果大幅地降低，因此大氣電漿表面處理技術結合自動化設備能有效解決上述的問題，並能廣泛應用於其他材料的表面處理，對於生醫領域具有非常大的發展潛力。

According to the medial report made by The New England Journal of Medicine, the COVID-19 coronavirus can survive on the outer side of solid substrates for several days, depending on the types of substrates. Several literatures dealing with killing the bacteria or virus were referred using dry/wet thermal method, high pressure/high temperature chamber, UVC irradiation, sodium hypochlorite water, and ethyl alcohol. However, the materials used in facial masks are not thermal-durable, which will be damaged on the hydrophobic outer surface and electrostatic filter layer and degrade the function of facial masks. We reported a feasible method treating the facial masks by irradiating the atmospheric pressure plasma (APP), which was also integrated with the robotic arm and automation control unit. The optimization process of automated APP system using compressed dry air as the working gas was proposed. The results demonstrated the sterilizing effect and removal of odors on facial masks without any physical damages were feasibly achieved. APP system has many potentials on treating objects for biomedical applications, and it also offers the advantages such as cost-effectiveness using air as working gas and low temperature process without visible damages on treated objects.

## 一、背景

### 1. 新型冠狀病毒簡介

新型冠狀病毒是由新發現的冠狀病毒引起的傳染病，屬於嚴重急性呼吸道症候群冠狀病毒 2 型 (SARS-CoV-2)，經鑑定後為衍生之嚴重特殊傳染性肺炎 (Coronavirus disease，簡稱 COVID-19)。最早於 2019 年 12 月於中國湖北省武漢市發現，進而演變成全球大流行疫情。截至 2021 年 5 月 10 日，全球總計 193 個國家／地區已確定病例數 1.58 億例，其中死亡人數達 330 萬人，致死率約為 2.08%<sup>(1)</sup>。該病毒主要通過感染者咳嗽、打噴嚏或說話時產生的呼吸道飛沫傳播。有些被感染的人可能沒有明顯症狀，但對於有症狀的人，突顯出之疾病的範圍可從輕度到重度，大多數感染 COVID-19 病毒的人會遇到輕度至中度的呼吸道疾病，無需特殊治療即可康復。65 歲及以上的成年人或患有諸如心血管疾病、糖尿病、慢性呼吸道疾病和癌症等潛在醫療問題的人，則感染罹患嚴重疾病的風險將更高。預防和降低 COVID-19 傳播的最佳方法，如下所述：(1) 保持良好的個人衛生，以肥皂或利用至少含 60% 酒精的洗手液揉搓雙手至少 20 秒，肥皂分子將破壞病毒周圍脂肪層或外殼使其不具活性、(2) 保持社交距離，衛生福利部疾病管制署建議，在公共場所與其他人保持大約 1.5 公尺的距離、(3) 避免用未洗的手觸摸眼睛、鼻子和嘴，避免病毒入侵體內因而感染、(4) 對經常觸摸的物體表面進行消毒，例如桌子、門把、電燈開關、馬桶與水龍頭等、(5) 由於人類無法避免社交活動，在公共場合戴上防止飛沫入侵的口罩，遮住個人鼻子與嘴巴，成為保護自己和他人免於感染 COVID-19 最重要之防護衛生用品。

### 2. 口罩簡介

臺灣算是通過 COVID-19 期中考，也進入防疫新階段，過去遭遇本土感染導致群聚感染病例陸續冒出，外加歐美境外移入國內，致使確診病例每日皆在成長階段，幸而仰賴勤洗手、戴口罩與隔離疫調等公衛檢疫手段，因此我國沒有封城就化解疫情爆發之危機，防疫表現已然成為全球典範。然而危機並未解除，韓國在 2020 年 5 月中旬發生了梨泰院夜店群聚感染事件，相關確診病例達 168 例。日本北九州發生小學及醫院群聚感染，其中六名小學生爆發群聚感染，學校緊急停課並進行全校大消毒。中國直到 2020 年 6 月中旬，在「新發地果菜批發市場」爆發第二波疫情，相關感染 79 例。近期在印度，染疫人數在一天內超過 40 萬人次，而印度總人口數約 14 億人，占全球 18%，專家警告此疫情持續延燒所產生的蝴蝶效應將可能危及全球，甚至不排除有更多變種病毒衍生。危機仍然環伺周圍，臺灣要提高警戒並超前部署，當未來再次爆發疫情時，思考該如何應對的方法。現在臺灣的主要宣達的幾項措施中，在室內環境或者無法保持社交距離的場所建議戴口罩，並且被證實是有效降低病毒傳染的方式之一。中央流行疫情指揮中心表示，醫療級口罩屬於第一級醫療器材，其結構如圖 1 所示主要由三層組織組合而成，口罩內層為具備吸水親膚的水針不織布，易吸收佩戴者的口沫，中間層為靜電過濾層，屬於熔噴不織布，可吸附病菌與有害物質，外層則為防潑水的紡黏不織布可隔絕飛沫侵入。

臺灣區不織布工業同業公會表示，一般民眾如果不是在高危險環境下工作，一片一次性的口罩用個 3-5 天，基本上是沒有什麼太大問題，主要更希望防疫物資要留給最需要的人。雖然配戴口罩雖可降低感染機會，但不可因配戴口罩而忽略 1.5 公尺的社交距離。而口罩內層之吸水特性，因此人際互動在說話相對地容易使更多的口沫黏附於口罩上及用餐後的

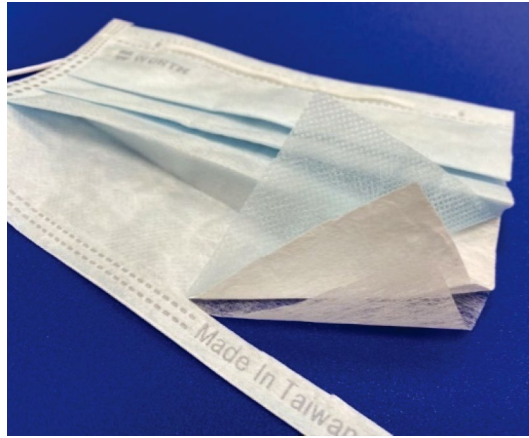


圖 1. 醫療級口罩結構照片圖。

油膩氣味沾附於其上，一段時間使用後容易產生不愉悅的氣味，導致使用者不想帶回原口罩而減少口罩使用壽命。加上疫情爆發初期，市面上的口罩供不應求。在貨源不足的情況下，使民眾開始討論口罩再次回收使用的可行性，而學術單位與醫療機構也相繼在這項議題上提供看法與評估。對於口罩再次使用的相關文獻研究中顯示，口罩滅菌再使用的方法則可採用乾熱 (烘箱)、濕熱 (蒸鍋)、高溫高壓滅菌、254 nm 紫外光、次氯酸鈉水與酒精等方式，以對口罩進行壽命延長。上述這些方法雖然具備口罩殺菌消毒功能，但口罩材質屬於非耐熱性，容易造成口罩中間之靜電過濾層、外部防潑水層破壞，進而影響並降低口罩攔阻空氣中微粒的能力，因此並不建議作為口罩再次使用的處理方法。

### 3. 電漿簡介與殺菌應用

電漿 (plasma) 於 1879 年由英國 Sir William Crookes 所發現的，真正一詞引入為 1982 年由 Irving Langmuir 與 Lewi Tonks 於物理學上正式使用。電漿源自於希臘文，意義為可塑形的物體。電漿為物質第四態，簡單的來說為氣體在電場環境下具有帶電性質之集合體，而電漿物種整體來看則有電子、自由基、離子、中性物質、激發態分子、紫外光等<sup>(2)</sup>。主要產生方式為藉由內部碰撞機制而產生，給予一外加電場，使電子在其中獲得動能而加速，當高動量的電子碰撞到氣體原子或分子時，電子會將動量傳遞到系統中較大的分子上，彼此能量相互交換，從微觀的角度來看，一定程度的能量累積，且加速電子的速率最大可接近光速，會造成電子躍遷，產生新的離子及電子，產生出的二次電子，也會與系統中的大分子互相交換能量，造成此反應會不斷重複下去，電子會以等比級數的方式，在系統中產生全面性的解離。因此，將電漿技術運用在表面改質中，對於表面的影響主要可以分為三個面向：(1) 電漿物理性蝕刻 (2) 電漿化學性活化 (3) 電漿輝光與熱效應。通常電漿應用在材料表面改質技術之主要作用為：接著性之改善、表面潤濕、表面緩衝 (醫學中人工器官與人體組織容易產生排斥反應，利用電漿表面活化技術使生物相容性提高) 與表面防蝕 (利用電漿沉積反應，沉積耐腐蝕的塗層以此隔絕氧氣與腐蝕性物質，防止電子元件表面氧化或腐蝕)。表 1 比較各種表面處理技術與電漿表面處理技術之差異性，可看出電漿表面改質處理技術之優勢<sup>(3)</sup>。

近年來以大氣電漿系統較著重材料表面處理、植物發芽效率與醫療器材殺菌等技術。相關文獻顯示出大氣電漿通入不同工作氣體，以增加表面自由能使表面達到親水之效果，其中以大氣電漿處理低表面能之高分子材料更能體現高度親水性質與時效性延長之功效。此外，

表 1. 各種表面改質技術之比較<sup>(3)</sup>。

處理方法	表面改質範圍	處理深度	溫度	成本
化學溶劑處理	大	深	室溫 ~ 200 °C	中等
火焰處理	只氧化	深	高溫	廉價
放射線處理	小	整個基材	高溫	高價
電漿處理	大	表面	室溫 ~ 100 °C	廉價—中等

因電漿具有更高強度的反應性物質，更用於增加表面粗糙度，以及形成含氧官能基進而接枝結合含氟之疏水性藥劑而達成物體表面超疏水性質。新穎技術中亦有許多文獻提出對植物種子以大氣電漿進行處理，可有效提升種子發芽率與生長速度。為更瞭解電漿應用於表面處理之完整機制，Simon Schneider 等學者透過設備建置，將大氣電漿束分為電漿物種與電漿輝光部分，分別對大腸桿菌進行殺菌測試，其研究成果之測試瞭解電漿物種與電漿輝光部分之差異。其中以大氣電漿噴射束直接進行殺菌測試，其所產生之電漿物種與輝光同時作用，具有最顯著的殺菌效果。而若僅透過單純電漿物種或是電漿輝光進行殺菌，仍有殺菌效果，但效果沒有兩者同時作用時顯著。故由此可推斷，電漿中的電漿輝光反應中扮演重要的角色<sup>(4)</sup>。

#### 4. 設備開發動機

近年電漿應用於滅菌技術亦發展許久，主要透過電漿生成之電荷轟擊細菌細胞壁使其破裂、活性物種以化學氧化作用加速破壞細胞壁，進而輔助電漿促使細菌水解與死亡。因此，可以鏈結到當初疫情之急迫性，且於口罩供不應求之情況下，對其進行延長壽命之處理辦法。本研究團隊主要由國立臺灣科技大學機械系郭俞麟特聘教授提出大氣電漿設備用於拋棄式口罩清潔之原型機組裝，與泓耀企業股份有限公司 (大氣電漿設備)、華律企業股份有限公司 (機械手臂設備)、英特美股份有限公司 (自動化設備) 三家產業界負責人與其員工、研究室成員課堂上討論後組裝完成，整體設備如圖 2 所示。

## 二、自動化大氣電漿設備建置與醫療用口罩去異味活化測試

### 1. 大氣電漿物種分析

隨著醫學產業的進步，與近其 COVID-19 的疫情肆虐，讓人們對於醫學研究投入了相當大量的資源。諸多產業界、學界也期望運用自己的技術與經驗，找出戰勝疫情的方法。而電漿醫學是一個新興的跨學科領域，期望結合電漿科學和醫學研究藉由內部的原理與機制產生此嶄新的創新應用。根據國內外研究文獻顯示，非熱平衡大氣電漿中的物種亦具有殺菌效果，相關電漿物種包含自由基、臭氧、活性氧/氮/氮氫、UV 紫外光、電子、帶電粒子等。其中所包含之活性氧物種 (reactive oxygen species, ROS) 和活性氧氮物種 (reactive oxygen and nitrogen species, RONS) 被證明能使生物分子造成氧化反應並使其造成損傷，進而應用於疾病處理或抑菌功能之發展。Abasalt Hosseinzadeh Colagar 等人則提出 ROS 電漿物種可分解大型分子，其中包括脫氧核糖核酸 (deoxyribonucleic acid, DNA)、核糖核酸 (ribonucleic acid, RNA)、蛋白質等進而有效抵抗細菌病原體<sup>(5)</sup>。Matteo Pedroni 等人更是提出以空氣作為工作氣體進行大腸桿菌滅菌測試，其電漿內部所產生的物種中發現分子型態與原子型態的氮以及原子型態的氧，經殺菌測試後屬於具有潛力殺菌之物種。而其研究成果更發現將位於波長



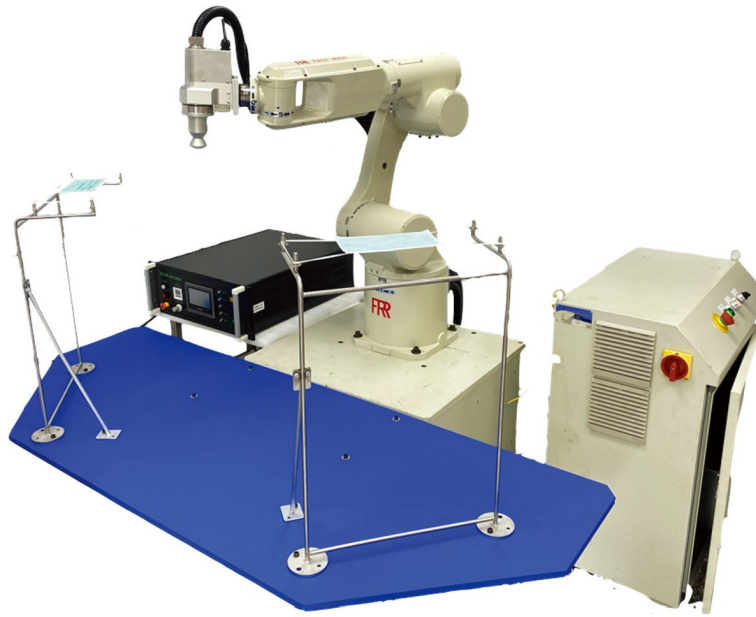


圖 2. 大氣電漿設備用於拋棄式口罩清潔之原型機。

777 nm 的  $O^*$  電漿物種濃度提升，將可利於更有效的殺菌效能<sup>(6)</sup>。因此電漿設備之實驗參數調控提高反應性物種濃度之間的關係，亦將是應用殺菌效能之工具機重要關鍵。

紫外光線 (Ultraviolet, UV) 屬於電磁輻射的一種，於西元 1801 年由德國物理學家 Johann Wilhelm Ritter 發現，波長主要介於 10–400 nm 之間，能量高於無線電波與可見光，但低於 X-rays 或是 gamma 射線。其中波長小於 200 nm 的紫外線會被空氣吸收，又稱為真空紫外線。紫外光線種類可分為 UV-A (315–400 nm)、UV-B (280–315 nm) 與 UV-C (100–280 nm) 三個範圍波段。直到 1818 年由英國 A. Downes 與 T. P. Blunt 兩位科學家以紫外線照射微生物之生長關係發現其優異的殺菌效果<sup>(7)</sup>。20 世紀初，科學家才證實 UV-C (100–280 nm) 波段之 250 nm 之紫外線光源具有最高殺菌效率，而以 UV-C 波段照射細菌、病毒或微生物等會直接破壞 DNA、RNA、蛋白質等，該研究成果證實細菌無法執行生長的能力，因此 UV-C 光源對於細菌、病毒或微生物等物種經紫外光照射後所衍生之滅菌功效也因此建立紫外光進行滅菌的相關機制<sup>(7, 8)</sup>。

圖 3 為研究團隊群使用空氣作為工作氣體於大氣電漿設備所產生之電漿物種分析圖譜。在空氣電漿光譜訊號檢測中，其特徵光譜訊號顯示電漿物種主要由氮氣、氧氣及其衍伸反應性物種組成，其中可分為在 200–500 nm 波長範圍屬於  $N_2^+$ 、 $N_2$ 、NO 之 RONS 物種，以及 500–900 nm 波長範圍的  $O_2^+$ 、 $O^*$  等 ROS 物種，皆具備高度活性並可應用於殺菌效果之電漿物種。此外圖譜中可發現，UV-C 波段更可被視為具有殺菌效果的光源之一。值得一提的是，此次設備開發應用於醫療用口罩去異味活化，預期處理兩片口罩之時間訂定在 1 分鐘內，結果顯示 1 分鐘內所累積之臭氧濃度低於 0.1 ppm 以下。整體來看，以此開發之電漿機台產生之自由基活性物種會侵蝕細菌細胞壁、而衍生之低濃度臭氧其高度的氧化能力能加速細菌細胞壁的氧化效果、帶電粒子於電漿區域中對細菌細胞壁具有轟擊效果、UV 紫外光會造成細菌 DNA 的破壞，因而使這些電漿物種具備殺菌的能力。

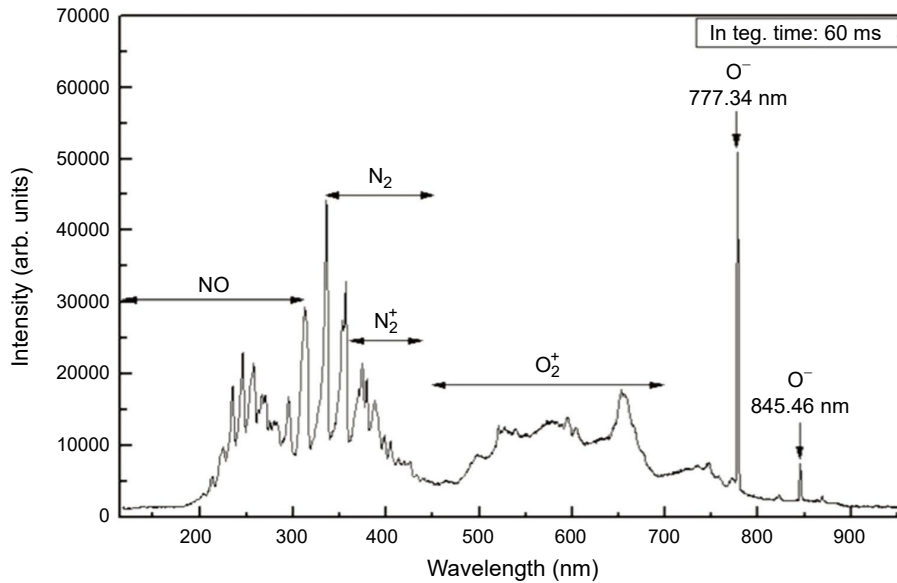


圖 3. 空氣大氣電漿物種分析圖譜。

## 2. 自動化大氣電漿設備建置

大氣電漿噴射束系統於常壓下進行操作，同時具有設備構造簡單、操作容易、應用廣泛、產品不受空間限制等優點，無需昂貴之真空設備，目前廣泛應用於表面處理技術上。研究團隊與淞耀企業股份有限公司經由產學合作衍生之大氣電漿設備製程應用，提出大氣電漿設備用於拋棄式口罩清潔之原型機，藉由產業公司整合契機，邀請華律企業股份有限公司(機械手臂設備)、英特美股份有限公司(自動化設備)進行原型機組裝(如圖 2)，並與臺科大化工系何明樺教授與臺北醫學大學牙體技術學系孫瑛穗助理教授討論滅菌機制。大氣電漿口罩清潔原型機對於口罩再使用的可行性評估主要包含兩個項目：(1) 處理方法需有殺菌效果、(2) 處理後口罩外觀完整結構沒有產生變化。由於大氣電漿技術在過往學者的研究結果中顯示具有殺菌顯著的效果，前述電漿物種、電漿輝光分析均可說明電漿具備其殺菌潛力。唯整體自動化大氣電漿設備需經過適當的參數調整，達到口罩經由大氣電漿表面處理後不能對結構造成破壞，同時口罩經長時間配戴後易於口腔接觸區域產生異味，而電漿物種亦能對異味氣體分子造成分解作用，進而達到有效去除異味且不破壞結構。此外，在眾多口罩消毒處理的方式中，大氣電漿表面處理方式最為環保與安全，由於其使用的氣體來源為一般空氣，而最終產物也將回歸大氣，對環境也沒有危害。

淞耀企業股份有限公司擁有專利旋轉槍頭與變頻電漿技術，使大氣電漿噴射束可以透過低溫電漿對口罩做表面處理，並且調整適當的電漿功率與頻率，讓口罩不會被電漿破壞，還可以達到殺菌的功效。要達到如此精準的電漿處理，就需要使用到機械手臂做自動化處理，因為機械手臂的高度自由性，所以可以對口罩的正面與反面做處理，高度精準性可以使大氣電漿的性能達到最佳的效果。整體自動化大氣電漿設備參數優化後，透過 THERMAX 溫度試紙進行電漿溫度檢測(若窗格內顏色發生改變則代表溫度到達對應數值)。圖 4 結果顯示空氣大氣電漿表面處理溫度低於攝氏 40 度，因此電漿表面處理並不會對口罩材質造成熱破壞之影響。相較次氯酸鈉有殘留氯氣的疑慮、酒精會破壞口罩結構及高溫造成的熔融問題等，大氣電漿表面處理技術具有非常大的發展潛力。

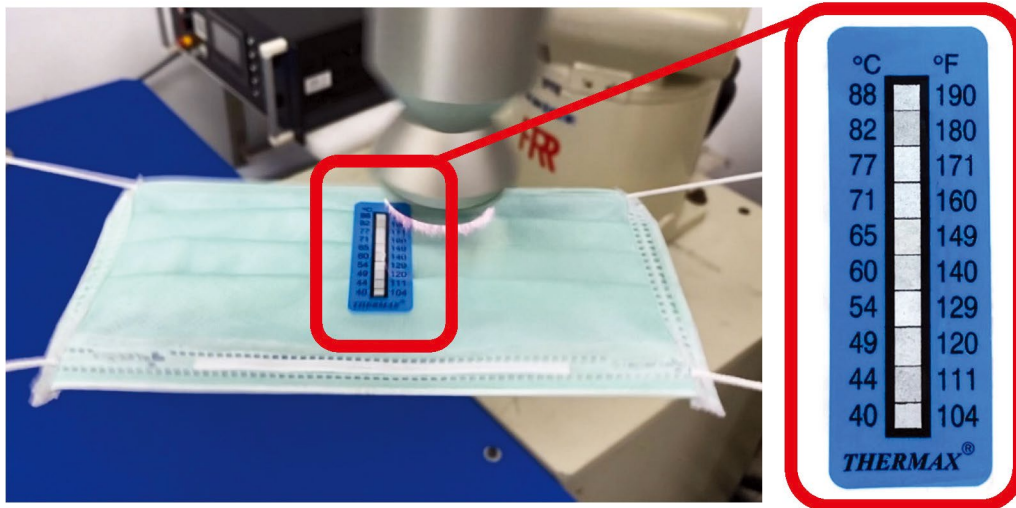


圖 4. 以 THERMAX 溫度試紙進行電漿氣體溫度檢測。

### 3. 電漿處理醫療用口罩之材料性質分析

電漿內部本身具備離子轟擊的效果與自由基可抑菌之特性，且根據上節分析，電漿氣體溫度低於攝氏 40 度，屬於低溫大氣電漿製程。而醫療用口罩分為三層不同結構之不織布，每一層之功用皆不相同，因此不織布所表現之特性會因功能性的需求而有所差異，此節將透過 FE-SEM 與接觸角儀器探討電漿對口罩表面進行處理之可行性。如圖 5 所示，醫療用口罩最外層為紡黏不織布 (spun-bond non-woven)，材質大多選用聚丙烯 (PP) 不織布。主要功能為防飛沫及大顆粒附著，需具備有防潑水的特性，其水滴接觸角為  $96.1^\circ$ ，已達到基材表面疏水的標準；中間層為熔噴不織布 (Melt-Blown Non-Woven)，運用融噴的技術產生更細的纖維，並且孔隙度控制在規範內即可形成濾網的效果，阻擋細菌及  $3\ \mu\text{m}$  以上之微粒，其水滴接觸角為  $88.5^\circ$ ；最內層為水針不織布 (spun-lace non-woven)，表面經親水化處理，使用者在講話時所噴出的口水將會吸附在不織布內部，避免口水再次接觸到皮膚，進行二次感染，其水滴接觸角為  $0^\circ$ ，具備超親水的特性。透過機械手臂搭載旋轉式槍頭產生之電漿對醫療用口罩進行表面處理，可看出電漿處理前後，口罩從外層、中層至內層均無明顯轟擊或是斷

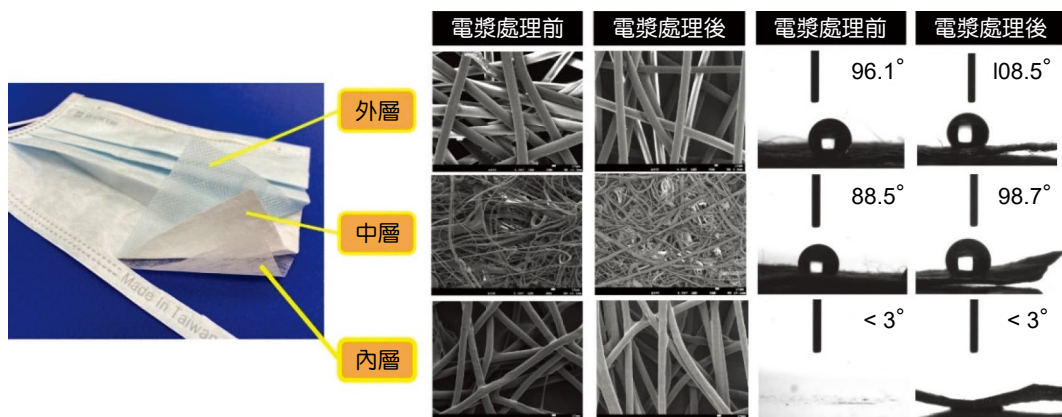


圖 5. 大氣電漿處理前與後，表面結構與水滴接觸角之量測，並無明顯之差異。



裂的痕跡，但外層與中層的水滴接觸角有將近  $10^\circ$  的提升。因為電漿本身具備離子轟擊的特性，會於纖維表面產生諸多的奈米結構，形成物理疏水的表面，進而提升表面的疏水性能，更可以避免外界的飛沫與大顆粒附著於表面，讓口罩本身更具防護力。同時內層一樣維持超親水的特性，不僅去除使用者配戴一整天存在於口罩內部的惱人氣味，同時也不影響醫療用口罩的防護性能。

#### 4. 電漿處理醫療用口罩之滅菌分析

根據細菌培養結果測試可見，圖 6(a) 與 6(d) 為使用過的口罩經過專業的消毒滅菌技術後，可完全地將口罩上的細菌清除，因此在體外實驗中無細菌滋生情形。而另一方面，將一般民眾使用過後的口罩進行細菌培養觀察，以確認平常使用後的口罩，表面是否會殘留細菌而造成口罩的異味產生。根據圖 6(b) 及 6(e) (A 組別為使用後的口罩；ddH<sub>2</sub>O 則為經過滅菌的去離子水) 結果可見，使用後的口罩表面有細菌殘留，且隨著靜置時間越長，所滋生的細菌則越多，使得口罩上的異味也相對令人感到不適，因此不建議口罩重複使用。

由於口罩長時間配戴，唾液殘留致使口罩更換率大幅提升。為延長民眾口罩配戴時間。利用大氣電漿對於細菌具有抑制作用的潛力，將其應用於口罩去味效能。因此，將經過大氣電漿處理後之口罩亦進行細菌培養，根據圖 6(c) 及 6(f) 結果，細菌殘留於口罩表面及生長情形皆受到顯著的抑制結果。

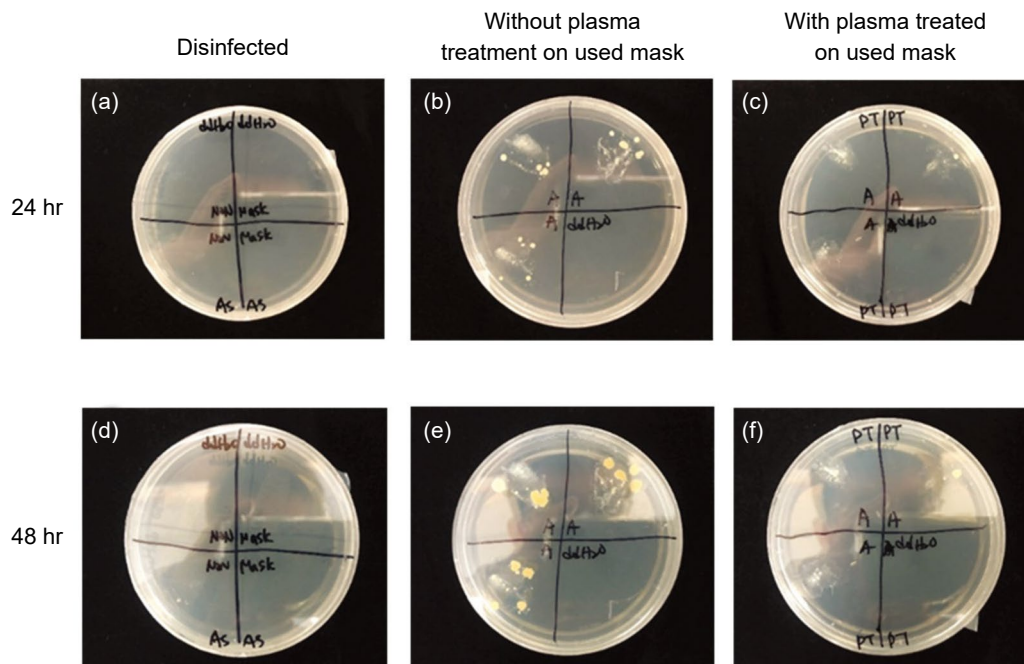


圖 6. 觀察大氣電漿處理前後，已使用後之口罩表面細菌殘留量。

### 三、結論

本研究團隊以大氣電漿設備、機械手臂、自動化控制之工具機整合自動化低溫大氣電漿口罩清潔原型機，並以乾燥空氣作為工作氣體，透過參數優化以及實驗測試後，對於口罩再使用的可行性確認有兩項成效目：(1) 口罩材料處理後無損壞情形，保持原有外層疏水性



質、(2) 細菌測試證實具有抑制滅菌效果。由於口罩經長時間配戴後易於口腔接觸區域產生異味，而電漿物種亦能對異味氣體分子造成分解作用，因此使用者在透過大氣電漿表面處理口罩後的反應回饋為口罩上異味有消失且有清新的感覺。雖口罩現今無匱乏之餘，但若能延長口罩使用時間將可利於減少日常口罩垃圾量，對環境上亦是一大貢獻。

## 誌謝

本研究計畫特別感謝淞耀企業股份有限公司提供大氣電漿噴射束相關設備資訊、華律企業股份有限公司黃坤榮董事長提供機械手臂相關設備資訊、英特美股份有限公司姚文平總經理提供自動化相關設備資訊、奇邑光電有限公司提供 OES 電漿光譜檢測相關設備資訊。

## 參考文獻

1. Coronavirus Update. Worldometer. Please refer to the website: <https://www.worldometers.info/coronavirus>
2. A. Grill, *Cold Plasma in Materials Fabrication-From Fundamentals to Application*, New York: Wiley, 1994.
3. 工業材料研究所尖端材料實驗室, 淺談電漿表面處理技術, *工業材料*, **123**, 82 (1997)。
4. Simon Schneider, et al., *Plasma Processes and Polymers*, **9**, 561 (2012)
5. Abasalt Hosseinzadeh Colagar, Hamed Memariani, Farshad Sohbatzadeh, Azadeh Valinataj Omran, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **171**, 1629 (2013).
6. Matteo Pedroni, et al., *Journal of Vacuum Science & Technology B*, **36** (1), 01A107 (2018).
7. Philip E Hockberger, *Photochemistry and Photobiology*, **76** (6), 561 (2002).
8. Tianhong Dai, Mark S. Vrahas, Clinton K. Murray, Michael R. Hamblin, *Expert Review of Anti-infective Therapy*, **10** (2), 185 (2012).

## 作者簡介

郭俞麟先生為國立臺灣科技大學化工所博士，現為國立臺灣科技大學機械系特聘教授。

Yu-Lin Kuo received his Ph.D. in Chemical Engineering from National Taiwan University of Science and Technology. He is currently the Distinguished Professor at Department of Mechanical Engineering at National Taiwan University of Science and Technology.

孫瑛穗小姐為國立陽明大學牙醫學院口腔生物研究所博士，現為台北醫學大學牙體技術學系助理教授。

Ying-Sui Sun received her Ph.D. in Institute of Oral Biology from National Yang-Ming University. She is currently an assistant professor at School of Dental Technology in Taipei Medical University.

何明樺小姐為國立臺灣大學化學工程博士，現為國立臺灣科技大學化工系教授。

Ming-Hua Ho received her Ph.D. in Chemical Engineering from National Taiwan University. She is currently a professor at Department of Chemical Engineering in National Taiwan University of Science and Technology.

盛信儒先生為國立臺灣科技大學機械所碩士，現為淞耀企業股份有限公司董事長。

Hsing-Ju Sheng received his M.S. Mechanical Engineering from National Taiwan University of Science and Technology. He is currently the owner of Click Sun Shine Corp.

陳松郁先生現為國立臺灣科技大學機械所博士候選人。

Song-Yu Chen is currently a Ph.D. candidate at Department of Mechanical Engineering in National Taiwan University of Science and Technology.

郭兆渝小姐現為國立臺灣科技大學機械所博士候選人。

Jhao-Yu Guo is currently a Ph.D. candidate at Department of Mechanical Engineering in National Taiwan University of Science and Technology.

王憲柏先生為國立臺灣科技大學機械所碩士，現為淞耀企業股份有限公司專案研究。

Hsien-Po Wang received his M.S. in Mechanical Engineering from National Taiwan University of Science and Technology. He is currently the project researcher in Click Sun Shine Corp.

柯季良先生為國立臺灣科技大學機械所博士，現為淞耀企業股份有限公司專案研究。

Chi-Liang Ko received his Ph.D. in Mechanical Engineering from National Taiwan University of Science and Technology. He is currently the project researcher in Click Sun Shine Corp.