

105 年「機電工程專題競賽與成果展」

作品中文名稱：PVDF 智能布料開發與研究

作品英文名稱：PVDF-TalentShirt-Research

國立中山大學/ 機電系/鄧學宏/B023021024

國立中山大學/ 機電系/侯昱任/B023021027

國立中山大學/ 機電系/陳薪如/B023021047

國立中山大學/ 機電系/楊人懿/B023022041

指導教授：潘正堂

主辦單位：國立中山大學機械與機電工程學系

一、摘要

近年來智能服裝之紡織材料崛起，嵌入式之感測器愈來愈熱門，其潮流正逐漸開發中，並且將信息技術和微電子技術引入人們日常穿著的服裝中。本研究以聚偏氟乙烯 (Polyvinylidene fluoride, PVDF) 高分子壓電材料作為感測元件，將其以中空圓柱近場靜電紡絲製程 PVDF 纖維之薄膜感測器，經由激發壓電效應的產生最大電壓值。本研究已成功結合靜電紡絲技術開發可撓式 PVDF 絲觸控布料，未來可將此感測器朝陣列發展應用於穿戴式或貼片式衣物感測發展方向。

二、動機與目的

穿戴式裝置應用已經從工業、商業、醫療領域，走入消費者的日常生活中，相關產品相繼問世，而電子服裝一般應具有感測、回饋、響應、自修復、自調節功能。而目前穿戴式裝置從頭到腳包含智能眼鏡、智能耳機、智能手環、智能戒指、智能衣、智能襪到智慧鞋等，各類創意目不暇給，如圖 1。穿戴式裝置一般定義即為可被穿戴在身上的相關電子裝置，為人們提供智慧聯網的各種應用設備[1]。面對穿戴式裝置接踵而出，技術及零組件依裝置不同亦有差異，其技術重點將會從過去行動裝置所追求的先進製程、高效能轉變為低耗電、高穩定、高環境容忍性的技術發展新趨勢。由於穿戴式電子產品零組件較其它 3C 產品除形狀更為複雜且更精細外，與人體的貼合性亦是重要考量因素，因此產品及零組件的關鍵製程主要聚焦在微型零組件及軟性電子兩大類生產技術，由於產品研發仍存在許多技術的瓶頸，而相關之電路控制技術在國際上更屬先期研發階段，其主要的問題還是在於將各類功能模組整合在軟性基板上，其更適合於人體穿戴。

2011 年 Jiyoung Chang 與 Liwei Lin 研究團隊利用近場靜電紡絲製程製作大面積陣列的聚偏氟乙烯 (Polyvinylidene fluoride, PVDF) 奈米發電機於撓性基板上 [2]，此研究成功地將 500 條平行的 PVDF 纖維電紡於圖案畫之金屬指叉狀電極上，並且透過直流馬達提供 1Hz 的頻率為外界應力的來源，再重複拍打感測器後於最大應變 0.05% 下分別能夠產生 35nA 與 0.2mV 的電壓與電流之峰值，乃證明 PVDF 纖維能夠利用壓電效應作為發電之應用，但由於其發電量過小並無法應用於實際生活；於 2014 年 Z H Liu 團隊發展直寫式中空圓柱收集器 [3]，其研究做了一系列相同溶劑比例與表面活性劑下，比較 PVDF 溶劑不同濃度比例於不同電壓供應源與收集器之轉速影響 PVDF 纖維直徑之關係，經分析後 18wt% 之 PVDF 溶液在高電壓源為 14kV 配合收集器轉速 1900rpm 時為最佳壓電特性之參數，隨後將其製作於高分子薄膜 (polyethylene terephthalate, PET) 上，於 7Hz 拍打頻率與應變 0.05% 時，能產生約 76mV 與 39nA，且拍打頻率愈大輸出訊號值將會愈大，雖然其結果優於前者文獻之研究，但若能夠成為感測器之應用元件將較為理想。

由上述的研究分析，壓電材料作為發電功能的效益較不可行，因此，我們利用 PVDF 高分子材料的壓電特性與柔軟性，將其以絲狀來回紡成纖維，使纖維結合於人體衣物，如圖 2，當觸發時會產生微電流，最後以此訊號達到感測與控制的目的。



圖 1：國內外相關於智能穿戴之裝置圖 2：穿戴式主流功能與價值

三、研究內容

1.作品描述

本專題作品為智能衣，智能的定義為藉由拍打衣料上之壓電材料，使其產生電流，進而轉換成訊號來做手機功能的控制。因為手機是電子產品，既為硬性材料又怕潮濕使內部電路短路，所以在使用上仍有很大的限制。因此，我們藉由本專題所研究的 PVDF 壓電纖維來實行遠距離的手機控制。具體運作模式是以在智能衣上配置多個由 PVDF 纖維與指插式電極組合之軟性訊號發射器，藉由將這些軟性纖維片縫合於衣服的不同位置，如領口與腹部等平常較不會活動到的部位，而這些不同的位置分別代表不同的控制功能，利用 Arduino 程式控制各個區域的功能來操作手機。主要控制功能有：播放與暫停手持裝置音樂、接聽與掛斷來電、遠端拍照，而這些控制都是藉由衣物內層的導電布將訊號傳至衣領上的微小藍芽發射器，再經由藍芽發射器將訊號發射至目標裝置上。這套智能衣的實用價值為，當使用者在進行無法空出雙手的事情時，如行車或運動，或是手上沾有液體或染料時，如洗衣與做菜等，可藉由迅速的拍打衣料以控制手機的功能，且衣物是隨時與人合而為一的物件，不會有忘記帶、不在身邊等問題，使得其比上手持控制器要方便且快速。

2.近場靜電紡絲製程

近場靜電紡絲製程中，主要的設備有高壓電源供應系統、金屬針注射器結構，以及反極性滾筒旋轉收集之電紡纖維收集器，如圖 3 所示。近場電紡纖維的壓電特性及

尺寸可藉由溶液性質、電場大小、滾筒轉速、針頭尺寸、XY 雙軸式數位控制平台移動速度等參數控制以提升製程穩定度，透過電場使液滴突破表面張力而形成泰勒錐，藉由 XY 雙軸式數位控制平台移動滾筒旋轉收集與壓電纖維間密度。由於微小的間距使得纖維噴射至滾筒收集器的期間，受到電場影響產生螺旋撓曲前便沉積在滾筒收集器上；藉由空心玻璃圓管搭配直流馬達旋轉，電腦控制 XY 雙軸式數位控制平台之移動裝置做配置，壓電纖維就會沉積於滾筒。

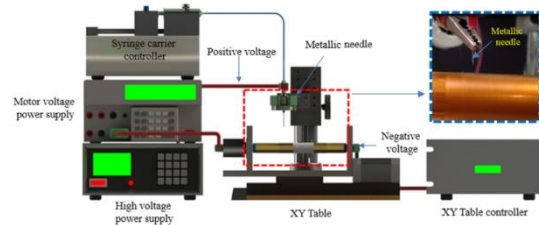


圖 3：高壓電源供應器接頭接到金屬針頭與整體近場靜電紡系統

3.PVDF 電紡纖維編織與感測元件製作

主要利用 PVDF 纖維製作為單一線條之感測元件，並將其與一般織物線條相互交織進而形成一塊布料，故本計畫透過中空圓柱近場靜電紡絲製成之 PVDF 纖維由玻璃管收集器上取下(如圖 4-a)，以手術刀裁切成每 $0.5 \times 6 \text{ cm}^2$ ，如圖 4-b 所示，接著將每一截 PVDF 纖維以軸線方向捻成單一條實心且較為堅固之 PVDF 線，並於整體線條或者線條兩端塗佈導電漿料，如圖 4-c 與圖 4-d 所示，最後以 UV 膠塗佈於中段 PVDF 線部份作為絕緣保護層，經紫外光曝光後，UV 膠絕緣保護層成功覆蓋於單一 PVDF 線上，並且同時俱備可撓性之特點，如圖 4-e 所示。最後以簡易手工織布機將加工後之條狀實心 PVDF 線與一般織布棉線相互交織成織狀布料，每片其 PVDF 線數目皆為十根，整體尺寸為 $6 \times 6 \text{ cm}^2$ ，即可完成本研究之 PVDF 絲觸控布料雛形(如圖 4-f)。

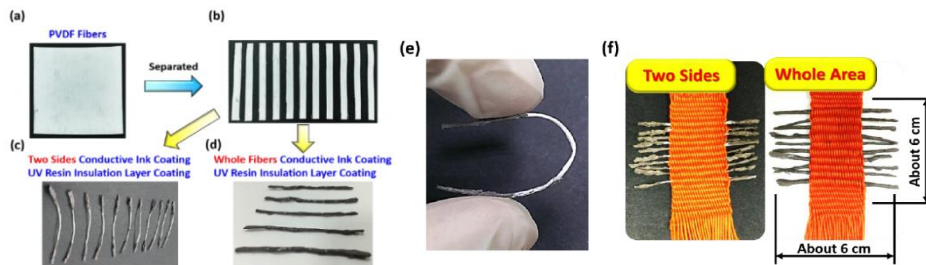


圖 4：PVDF 電紡纖維編織與感測元件製作流程；(a)PVDF 纖維形成之薄膜；(b)分段後之 PVDF 纖維；(c)兩端塗佈導電漿料之 PVDF 線；(d)整根塗佈導電漿料之 PVDF 線；(e)塗佈 UV 絕緣保護層仍具備可撓性之 PVDF 線；(f)PVDF 線與一般綿線相互交織之實體圖

4.PVDF 壓電纖維編織感測元件之電性量測

研究中量測其在不同面積的感測器情況下，施加不同大小力量之電壓輸出大小；以及在不同面積的感測器情況下，施加相同地應力並量測其電壓輸出，根據 PVDF 元件之特性，執行壓力測試與彎曲應力測試，其實驗架構與方法示意，如圖 5-a 與圖 5-b 所示。

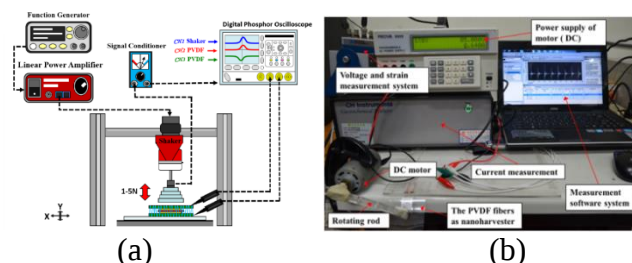


圖 5：編織感測元件之電性量測方式；(a)壓力測試；(b)彎曲應力測試

四、結果與討論

本研究 PVDF 線感測元件與一般棉線材料相互交織之織狀結構感測器中，以應力之週期性施加動態壓力的實驗設備與方法，過程中增加電荷放大器將訊號加以濾波與放大後，得出如圖 6-a 之示波器訊號擷取圖，圖中可以清楚地觀察出織狀結構感測器之訊號峰值能夠對應到 Ch1 週期性壓力波形之峰值，亦即表示量測擷取而得之訊號為感測器因應力施加影響而激發壓電效應進而輸出之壓電訊號；本實驗於圖 6-b 之結果圖中可以明確地觀察出兩者感測器俱備施加應力與輸出電壓值成正比，且兩者皆有著線性成長的趨勢，而圖中兩端塗佈導電漿料之感測器於應力 2222Pa 下輸出 65mV 為最大電壓值。

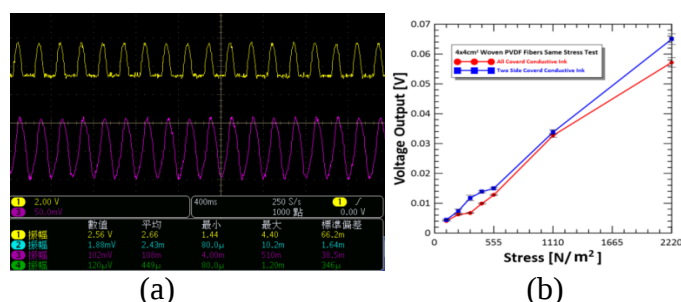


圖 6：織狀 PVDF 電紡纖維之量測結果；(a)感測器之訊號；(b)不同應力下的輸出電性

本研究未來將其利用電紡絲繃帶感測器應用於老年人呼吸監控裝置，取代目前精密昂貴的監控儀器，結合物聯網(IOT)之技術，即時監控患者之呼吸，達成 Internet of Human 的新一代趨勢，如圖 7 所示。



圖 7：電紡絲繃帶應用於老年人呼吸監控裝置示意圖

五、感謝

感謝本專題的指導教授的細心指導，指點迷津，幫助我們開拓研究思路，精心點撥、熱誠鼓勵。

六、參考文獻

1. 台灣就業通, “穿戴式裝置應用產業發展趨勢”, <http://www.taiwanjobs.gov.tw/>, 2015.
2. Jiyoung Chang and Liwei Lin, "Large Array Electrospun PVDF Nanogenerators on a Flexible Substrate," *Transducers*, vol.11. pp 747–50, 2011.
3. Z. H. Liu, C. T. Pan, L. W. Lin, J. C. Huang, and Z. Y. Ou, "Direct-write PVDF nonwoven fiber fabric energy harvesters via the hollow cylindrical near-field electrospinning process," *Journal of Smart Materials and Structures*, vol. 23, no. 2, Article ID 025003, 2014.