

105 年「跨領域工程專題競賽與成果展」

參賽組別：課程組

作品名稱：低成本高效能之可撓性陣列式觸覺感測器
研發

中山大學/機電與機械工程學系/劉鎧豪/ B023021007

中山大學/機電與機械工程學系/陳晏祺/ B023021023

中山大學/機電與機械工程學系/陳育鴻/ B023021025

中山大學/機電與機械工程學系/阮柏翰/ B023021039

指導教授：林哲信博士

指導單位：科技部

主辦單位：國立中山大學工學院

一、摘要

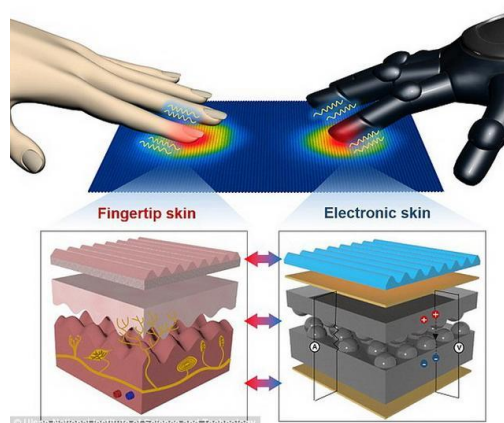
本研究提出一種製程簡便、結構輕巧，並具可撓性的電容式觸覺感測器。利用電極距離縮短造成電容值上升的原理，製作一種可在不同壓力下，產生對應電容響應的觸覺感測器。研究中使用 PDMS 作為主要材料，因為此材料具有良好的彈性回復，和穩定的絕緣效果，並於介電層摻雜高介電常數的 BaTiO₃ 以增加響應。結構上，使用凸點優化電容響應，同時便於定義陣列位置。並期望將此裝置應用於電子皮膚，給予機器人觸覺回饋，以增加控制的靈敏度。

關鍵字: 電容式觸覺感測器、PDMS-BaTiO₃、陣列

二、動機與目的

近年來微機電技術不斷改良精進，應用範圍也越來越廣泛，從懸臂和齒輪等傳統機械元件的製造微小化，到系統整合的微型機器以及微型硬碟等等，都說明未來製造微小化的走向。微機電製程除了可以大量製造降低成本之外，還有縮小尺寸並提高精度的優點。

機器人產業越來越發達，從以前機構運動只能進行簡單的指令，像是直線前進上下垂直伸縮等，不斷發展進步，到可以進行多軸的動作，開始可以在許多自動化工廠或製造業等地方見到它的身影，甚至使用於日常生活的打掃或是看護等，替人類完成工作，漸漸取代許多人力資源，並發展成現今可以下達各種指令，且能夠執行各式各樣的任務，但目前依舊有它無法突破的問題，機器人無法得知是否碰觸到一個物體，或是應該給予物體多少的力量，來達到抓取的動作。本研究的動機，正是源於此處，思考如何讓機器人擁有觸覺回饋能夠對不同大小的力量進行感測，因此本研究開始尋找解決的辦法，電容感測器藉由結構受壓產生的應變而導致的電性變化，包含電荷、電阻、電容值的改變，再藉由變化值得到它的受力情形。而本專題希望藉由 PDMS 摻雜高介電常數材料的特性[1, 2]讓機器人擁有感知微小力量的靈敏度，同時能夠承載較大力量的機械強度。

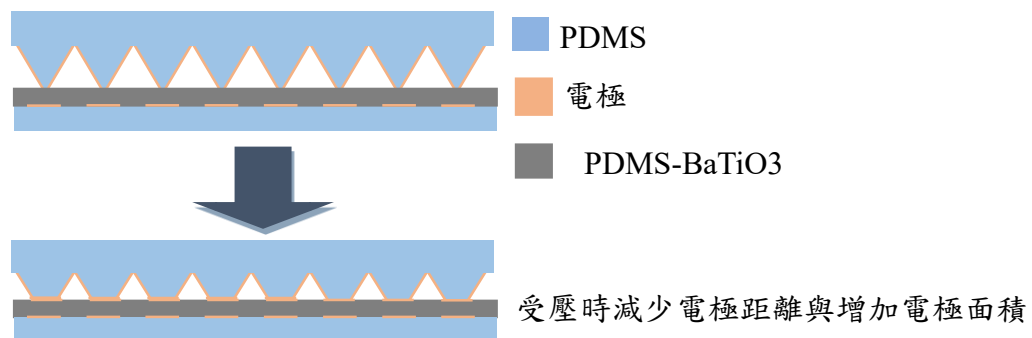


圖一: 機器人電子皮膚

三、研究內容

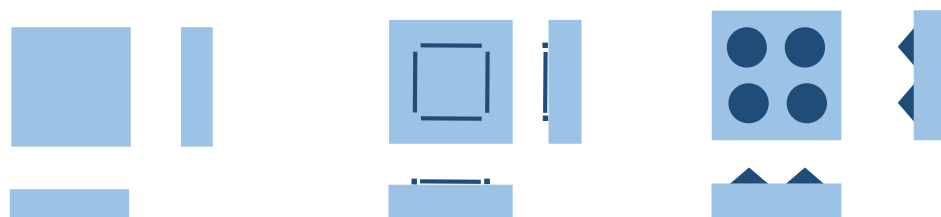
本感測器系統，使用多工器掃描每一個感測單元的電容值，並藉由電路設計，將輸出電容值轉換成電壓值，再經過放大器放大訊號，由電表讀取電壓訊號，傳輸至個人電腦，進行數據紀錄與分析。

此感測器的組成，包含上下電極與介電層。上電極利用濺鍍機將金屬薄膜鍍於 PDMS 圓錐的表面；下電極以 PET 為基板，於此表面製作電極陣列。介電層材料為 PDMS-BaTiO₃，BaTiO₃ 摻雜量為 40wt%[3]。感測器工作原理為，當上電極受壓時會迫使圓錐狀的 PDMS 變形，使電極距離縮短與電極面積增加同時改變該感應單元的電容值，以此作為壓力感測。



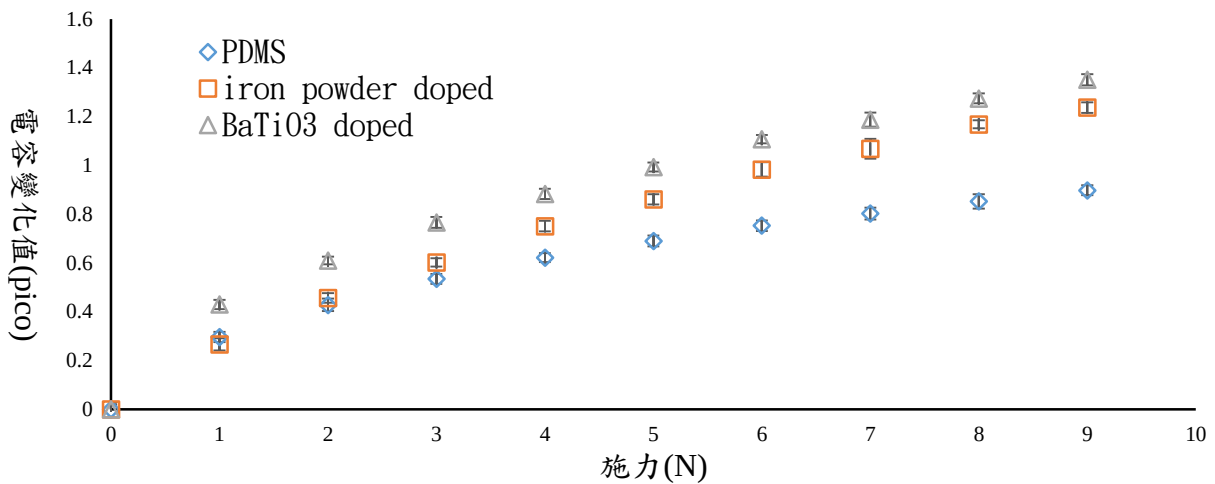
圖二：受壓變形示意圖

本研究在結構方面實驗過以下三種結構，方形、線條、圓錐。方形結構受壓變形效果不顯著，導致電容值變化不明顯。線條結構受壓變形效果類似按鈕開關，電容值線性變化不明顯，無法用於壓力感測。圓錐結構變形容易且電容值變化呈現良好的線性關係。所以此感測器採用圓錐結構。

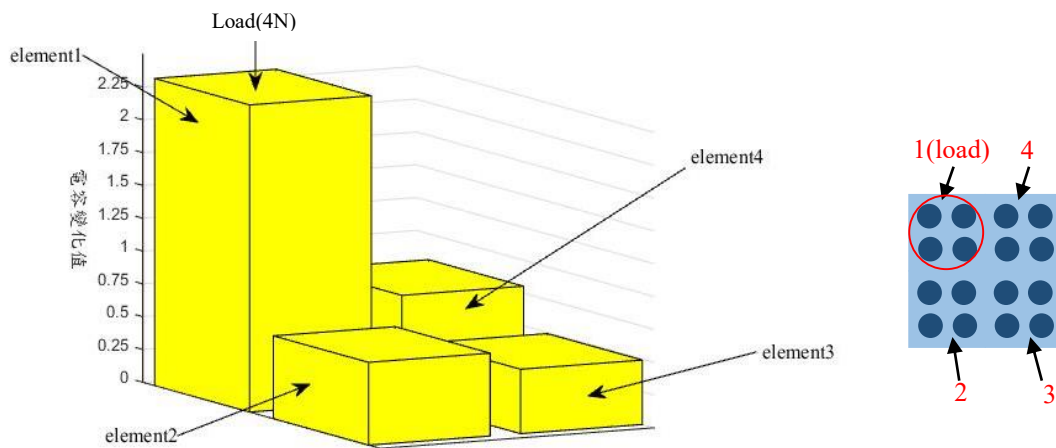


圖三：方形、線條、圓錐結構示意圖

本研究在介電層方面實驗過三種材料，PDMS、PDMS 摻雜鐵粉、PDMS 摻雜 BaTiO₃。分別做了定力測試，如圖四可知摻雜 BaTiO₃ 能夠得到最好的電容響應。另外單元擁有良好響應的情況下，本專題利用四個單元做成一 2X2 陣列，試圖得到對某一特定點施力時，各點的電容變化量，如圖可得知對 element1 施力，則 element1 電容變化量最大，element4 最小。



圖四：不同介電材料之施力對應電容值變化



圖五：左圖為不同陣列區域施力對應電容值變化(施力於 element1)，右圖為其示意圖。

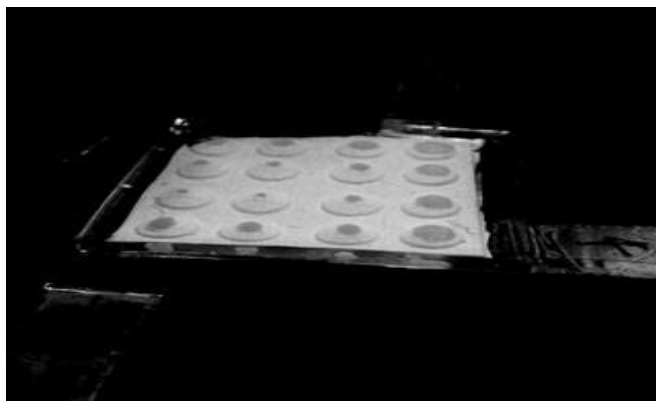
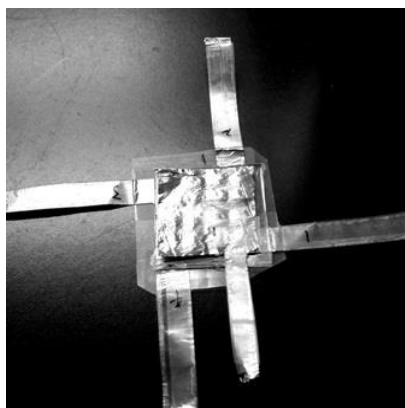
專題研究初期使用 PMMA 貼以銅箔作為上下電極，此方法製造快速且成本較低，但精密度較差，而且 PMMA 無法做撓性的運作。所以本研究將基板改為 PET 來製作，因為 PET 同時具有可撓性，而且可以防止感測器因過大張力而破裂。本實驗的材質 PDMS，其中一個重要的特性，為高彈性回復力，使受力過程有足夠的緩衝空間，同時可以定義出穩定的受力改變，提高產品之安全性。本實驗之成品，深具發展潛力，除了上述關於受力區間；也可以使用在任意形狀之裝置上應用，並防止不必要的危險發生，可以用於生活中諸多地方，電梯關合處、工廠機具，都可以提供有效的保護。

四、結果與討論

可以，技術上，本研究使用的儀器和技術，包含雷雕機，提供相當高的建模便利性，同時可以進行大量的模具製造；而濺鍍機則可以使所需的膜層與基板之間有良好的附著性，更能夠在基板上連續及均勻的鍍膜；另外使用黃光微影製程定義電極位置，製成精度

高、電極對位精準，厚度輕薄；材料選擇 PDMS，具彈性且回復性優良，亦容易取得，混合 BaTiO₃ 並電場極化結晶方向，以提升整體電容響應。

成本考量上，機具本身除了濺鍍機之外，都不算昂貴；結構材料和銅電極，價格低廉。本研究使用的製程技術門檻不高，並且各機具的自動化技術已趨成熟，透過製程自動化，可以減少人力成本的開銷，使人力需求集中在產品檢測端、技術開發等，同時具有高度量化的能力。如同本研究最初的目的，希望能將本產品使用在機器人觸覺回饋，改善現今機器人多以光學感測為主，對於接觸力量無法判讀的缺點；於未來展望下，本研究團隊也希望，可以將此產品，應用於生醫領域之上，像是現今依舊無法測量的牙齒咬合受力，藉由產品的彈性特色，協助牙醫進行補牙和植牙；另外也可以應用於腳底受力檢測，提供企業客製化出符合人因工程的產品。



圖六：左右兩張皆為陣列成品圖

五、致謝

感謝科技部之大專學生研究計畫認可與經費補助，計畫編號 105-2815-C-110-029-E，另外感謝林哲信教授和實驗室學長姐的指導與幫助，使本研究能夠有今天的成果。

六、參考文獻

- [1] 黃建豪, "高介電陶瓷複合材料在內埋式電容之應用," 化學工程與材料工程學系, 國立中央大學, 2004.
- [2] 薛婉琪, "含二氧化鈣之奈米鈦酸鋇之製備、微觀結構與介電性質之研究," 材料科學與工程學系, 2007.
- [3] S. Nayak, T. K. Chaki, and D. Khastgir, "Development of Flexible Piezoelectric Poly(dimethylsiloxane)-BaTiO₃ Nanocomposites for Electrical Energy Harvesting," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 53, pp. 14982-14992, 2014.