

DNA Biopolymers-based Synaptic Memristor

基於DNA複合物的仿神經突觸憶阻器元件

組別: A199

指導教授: 洪毓珏

組員: 吳庭宇

Abstract

仿生物神經突觸科技是現今科學家尋求突破的一大方向，由於人腦擁有體積小、低耗能且效率高等特性，因此期望能模擬人腦的許多功能例如:記憶、學習、運算等。而「憶阻器」是十分具有潛力的電子元件，由於其電阻值會隨著外在輸入而變化，且受到元件自身的歷史狀態而影響，在沒有外在輸入的情形下也能記憶其電阻值，功能類比於生物神經的突觸可塑性，該性能也被認為是構成人腦記憶與學習的主要原理。

而現今科技的發展也要以「永續發展」為目標，而DNA將會是在奈米科技中十分重要的綠色材料，其取得成本低，在經由與界面活性劑結合後，將成為結構穩定且能適應外在變化的複合物材料，由於其透光度高，在光學薄膜上有很好的使用效果。

本研究將首先介紹DNA與生物突觸的運作以及憶阻器的特性。綜合上述三點，基於DNA複合物製作兩端的憶阻器元件，並實際量測觀察出其是否具有仿生物神經突觸的能力，並在最後試著改變參數，找出最佳化的元件設計。

Operation Mechanism

本研究所設計之憶阻器，將以銅為上電極、DNA-CTMA複合物為中間層、ITO為下電極，作為兩端的元件，其運作機制如下:當在元件上電極施加一個正向電壓時，上電極的銅原子將氧化成銅離子並往下電極漂移，再於下電極和從外電路流回來的電子還原成金屬銅絲，當銅絲於上下電極間形成導通時，將可觀測到元件內的電流值急遽上升(V_{set})，故元件從高電阻轉為低電阻狀態，若再從上電極施加一個負向電壓，中間層的銅絲將氧化而分解(V_{reset})，元件從低電阻變回高電阻狀態。其I-V特性圖(圖1)可說明此元件具憶阻器的特性，也就是電阻轉換特性。可將銅絲在中間層的連結強度類比於神經突觸中傳遞物質的連結強度，連結強度的不同代表著記憶與學習程度的不同，此現象於神經生物學中稱為「突觸可塑性(Synaptic Plasticity)」。

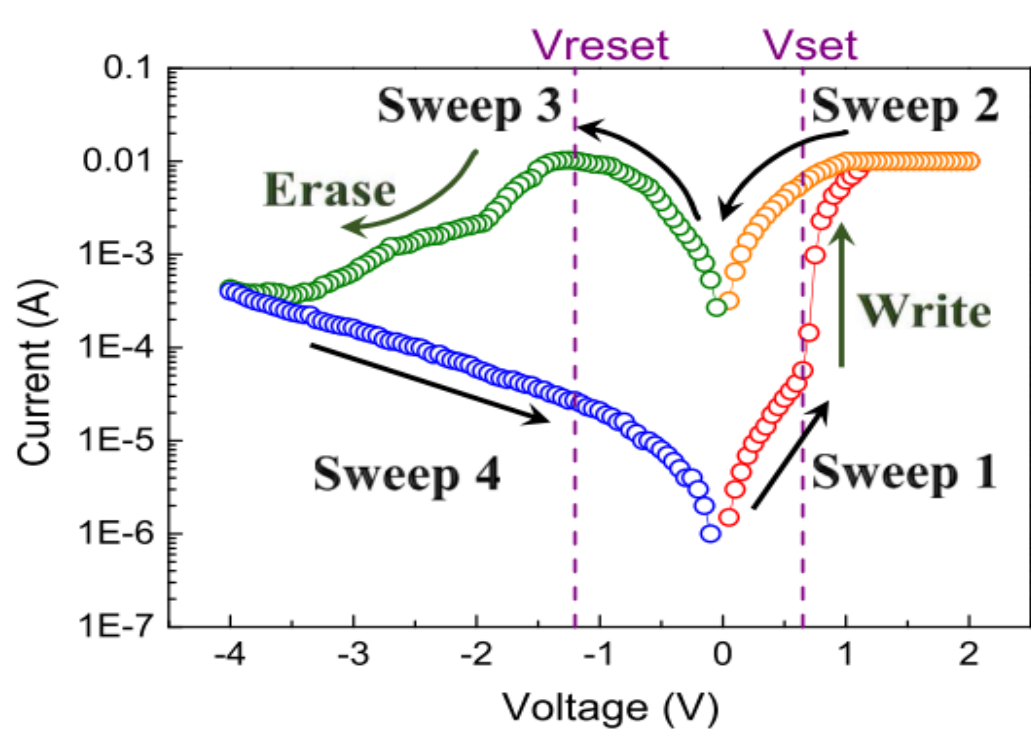


圖1 憶阻器元件的I-V特性圖[1]

Method

製程步驟: 基板清潔→旋轉塗佈→貼銅膠→元件完成
量測方式:

1. 對其施加連續的正電壓與負電壓(0V→1.5V→0V→-1.5V→0V)，觀察是否有 V_{set} & V_{reset} 的現象。
2. 對其連續掃過三個正電壓再連續三個負電壓，觀察是否有增強與抑制作用的現象。
3. 連續施予相同且高頻率的脈衝電壓(1V)。

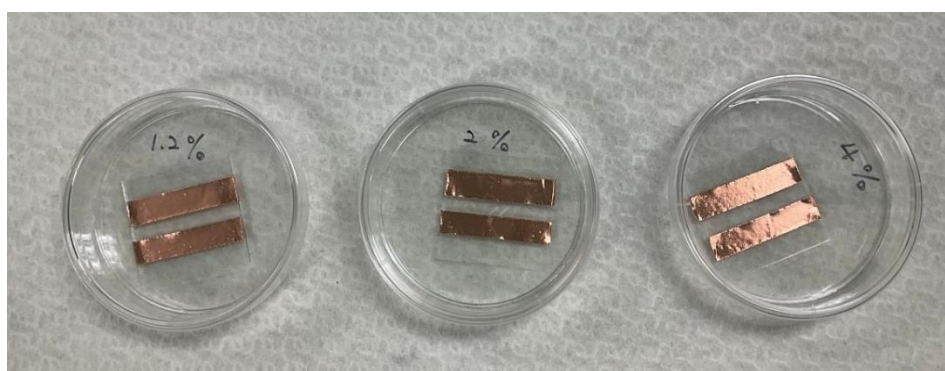


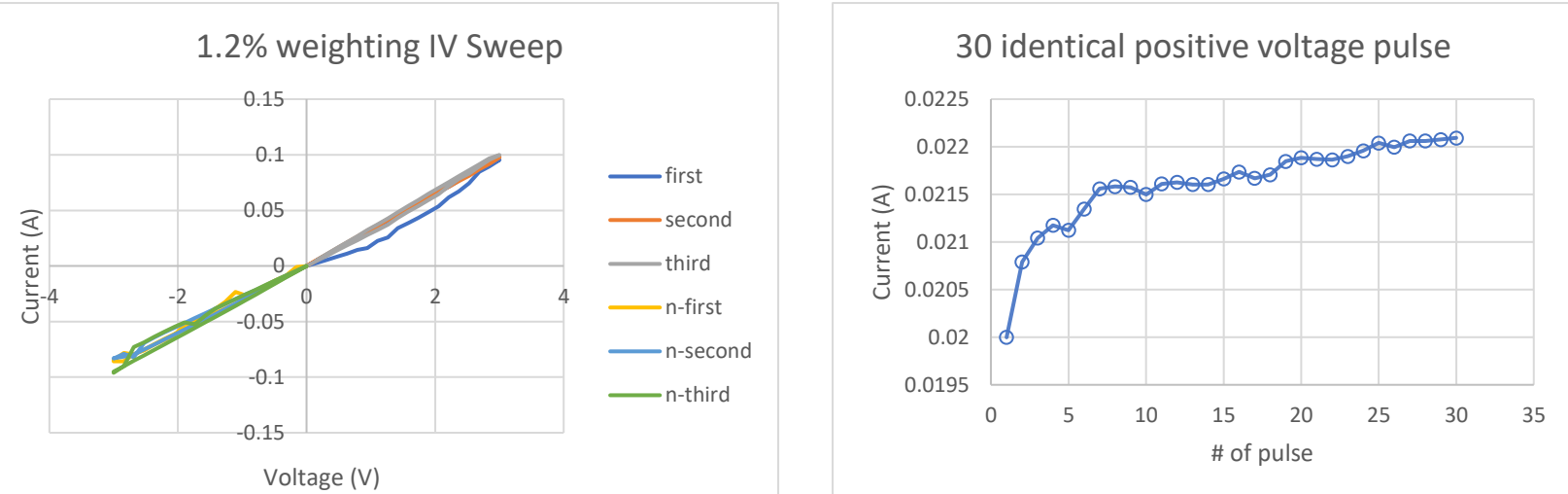
圖2 完成的兩端憶阻器元件

Conclusion

經由這次的研究，證實了DNA-CTMA在光學薄膜上是可利用的，且在經過基板清潔、旋轉塗佈、貼銅膠之簡單製程後，此兩端元件，能展現出好的憶阻器特性，也就是電阻隨著外加輸入轉換並能記憶。以機制而言，金屬銅絲能否順利在元件中導通是判別電性的重要標準，經由量測，發現1.2%重量百分濃度之元件具有良好電性，且高濃度、高厚度都將不利於元件的運作。此一元件特性可類比於生物神經突觸中，與學習記憶相關的「突觸可塑性」，也就是將中間層金屬絲的連結強度類比於突觸中神經傳遞物質的連結強度，不同的連結強度即代表元件不同的電阻狀態(記憶程度)。故在需要大量儲存數據與繁雜運算的未來，期望此一基於DNA複合物之仿神經突觸憶阻器元件能扮演重要的角色，帶來效率與永續發展。

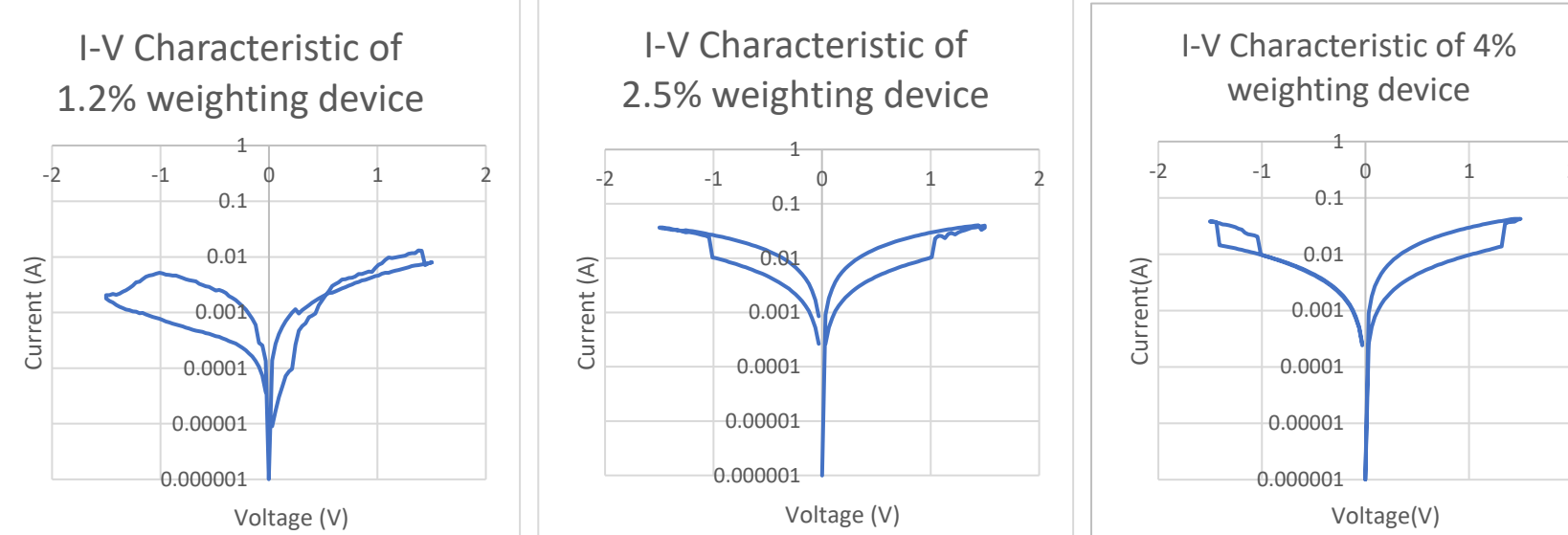
Results

1. 元件的電性量測結果與分析



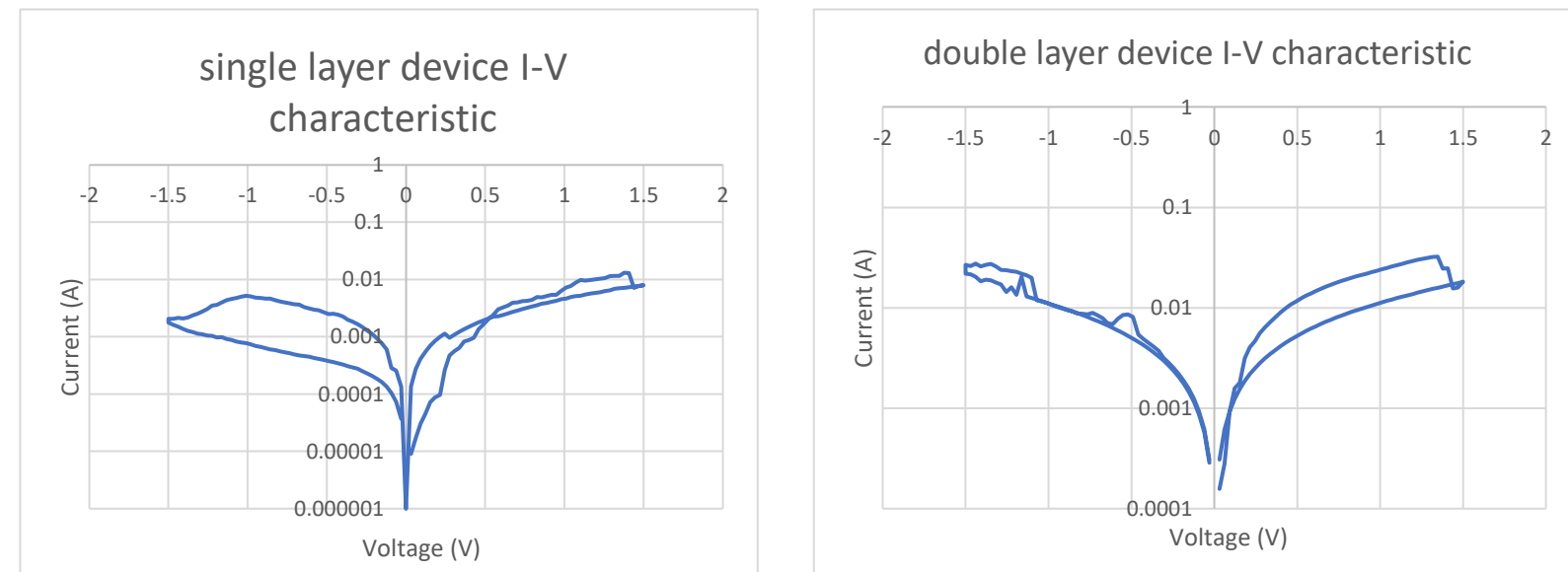
→藉由兩種量測皆可以看出，電流會隨著不斷給予元件刺激而上升，原因是中間層銅原子的連結強度隨著正電壓累積並形成導通，故電流可逐漸上升，負電壓則反之。在這一部分，先確定了元件具有仿突觸的特性。

2. 不同DNA-CTMA濃度的電性量測結果與分析



→可以發現1.2%濃度的薄膜有最好的電性，也就是可以清楚的看到電阻轉換的特性， $V_{set} \approx 0.2V$, $V_{reset} \approx -0.1$ 。然而隨著濃度漸增，儘管同樣可看出高電阻與低電阻兩種狀態，但程度較不明顯，因此功能較差。對於濃度高不利於元件電性，根據機制推測，主因有兩個:第一是濃度會導致薄膜更厚，第二是濃度高使得中間層的結構更加複雜，兩個原因都導致了銅原子更難在元件中形成導通，無法擁有電阻快速轉換的特性。

3. 不同薄膜厚度的電性量測結果與分析



→藉由增加旋塗的次數，比較厚度對於電性的影響，最終再次驗證上述之厚度越高越不利金屬絲生成的推測。