

薄膜太陽能電池應用於臉部辨識系統開發

*陳瑞堂、吳逢郎

南臺科技大學光電工程系

*raychen@stust.edu.tw

摘要

本研究以薄膜太陽能電池技術為基礎，開發薄膜太陽能電池應用於新型臉部辨識系統。藉由兩側 LED 光源提供照明，因人臉膚色與輪廓差異的反射光，使相對位置的薄膜太陽能電池輸出不同的電壓與電流，並以此作為臉部特徵的判斷依據。本研究藉由精準控制 LED 不同光強度來提升薄膜太陽能電池應用在臉部辨識上的精準度。根據最後的實驗結果，成功分辨五位不同人的臉部特徵，由此證明薄膜太陽能電池應用於臉部辨識系統是可行的。

關鍵詞：薄膜太陽能電池、感測器、LED、臉部辨識

Development of A Face Recognition System Based on Thin-Film Solar Cells

*Ruei-Tang Chen, Fong-Long Wu

Department of Electro-Optical Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

We have developed a new face recognition system based on thin-film solar cells that convert the light reflected from the user's face into electrical signals. The LEDs assembled on both ends of the solar module provide illumination for the user's face. The correspondence solar cells generate electrical output at varying light intensities caused by diffuse reflection of the individual's unique 3-dimensional contour and skin color, thus providing highly accurate verification. At the end of this research, the thin-film solar cells not only generate green power but also serve as a sensing device for facial recognition. Based on the final experimental results, we successfully distinguished the facial features of five individuals, thus proving that it is feasible to apply thin-film solar cells to face recognition systems.

Keywords: Thin Film Solar Cell, Sensor, LED, Face Recognition

壹、前言

近年來隨著生物辨識技術日漸成熟，例如指紋辨識、臉部辨識.....等等，市場上也已經有越來越多產品與生物辨識技術結合，如廣泛使用的手機、居家防盜門鎖，因生物辨識使用方便又具備相當的安全性，使生物辨識成為未來的趨勢。但也隨著生物辨識技術的發展，個人特徵隱私也引起了眾人的重視。

目前爭議最多的生物辨識技術為臉部辨識，臉部辨識是目前生物辨識技術中唯一一種可以遠距離就能辨識的技術。透過攝影機的方式遠距離取得民眾臉部的生物特徵，因此民眾不容易察覺，所以利用臉部辨識技術可以在民眾不知情的情況下對民眾進行監控。當民眾的行為舉止都被路口監視器監控時，通過大數據的運算，可以推測得到個人的行蹤或是其他個人訊息，這樣的行為已經明顯侵犯到個人隱私。為了解決侵犯個人隱私的問題，唯有開發不會詳細記錄人臉的臉部辨識技術才能解決。而本研究採用薄膜太陽能電池作為偵測元件，取代攝影鏡頭，不會有隨時監視，記錄臉部訊息的情況發生，所以能夠解決以往臉部辨識過於精準而衍生侵犯隱私的問題。

本研究透過利用薄膜太陽能電池與臉部辨識技術，開發一種新型臉部辨識系統，由遠距離辨識轉變為近距離，且獲取的數據無法逆向推算，因此解決了臉部辨識侵犯隱私權的問題，此外還能提供薄膜太陽能電池一種全新的應用。在薄膜太陽能電池的應用領域中作為非發電用途的應用非常罕見，但本實驗室曾開發出利用薄膜太陽能電池作為感測器的遊戲系統[1]以及攜帶型薄膜太陽能鍵盤[2]等相關應用，應用原理是藉由遮蔽薄膜太陽能電池使薄膜太陽能電池輸出不同的電壓來作為控制訊號，成功將薄膜太陽能電池作為感測器使用，有這個初步研究成果之後，認為將薄膜太陽能電池應用在臉部辨識是有機會實現的，此後實驗室便積極開發關於薄膜太陽能電池與臉部辨識相結合的系統。

對於薄膜太陽能電池應用的部份，也曾評估關於薄膜太陽能電池作為感測器的相關文獻，得知目前研究當中以鈣鈦礦太陽能電池的應用最為廣泛。如 Emanuele Orgiu 教授 2017 年發表於 *Advanced Materials* 中，利用鈣鈦礦元件來作為氧氣感測器[3]，圖 1 中(a)圖為氧氣感測器在密閉環境裡的實驗架構圖。(d)和(e)圖為利用兩種不同沉積方式製作的感測器在不同氧氣濃度下的靈敏度。可以觀察到兩種不同沉積方式製作的鈣鈦礦氧氣感測器對於電流的靈敏度會隨著氧氣濃度增加而增加，但是不同沉積方式製作出來的感測器結構將會對電流的靈敏度有極大的影響。

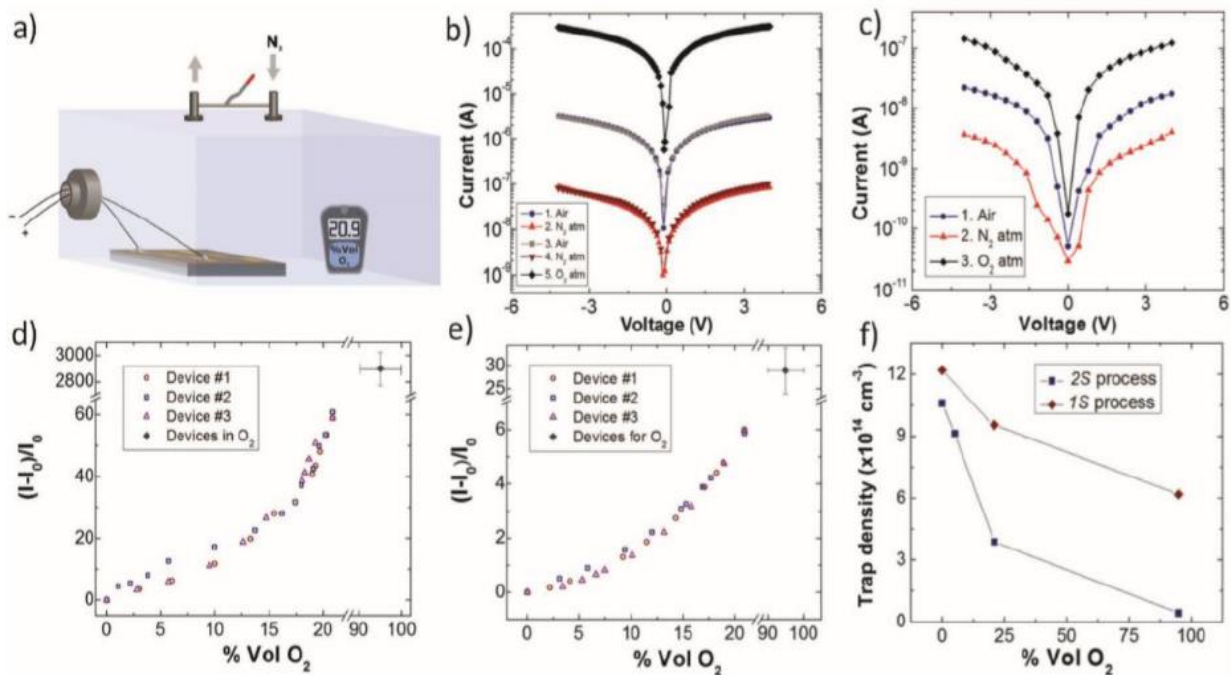


圖 1 鈣鈦礦元件偵測氧氣數據圖[3]

或是 Jong-Min Oh 教授在 2019 年發表於 *Advanced Functional Materials* 中，利用鈣鈦礦元件來作為濕度感測器[4]，圖 2 中(a)和(b)是以 Al_2O_3 和 TiO_2 材料作為濕度感測器在 RH 相對濕度範圍為 25 至 95 RH%時得到的電容變化，可以觀察到上述兩種材料之間的靈敏度差距超過十倍 (0.033pF 及 0.45pF)。但與 Al_2O_3 和 TiO_2 單層的材料相比，利用鈣鈦礦 CsPbBr_3 浸漬的濕度感測器能顯示出極高的靈敏度，因為電容變化大，代表著能夠偵測到相對濕度較低的濕度值。

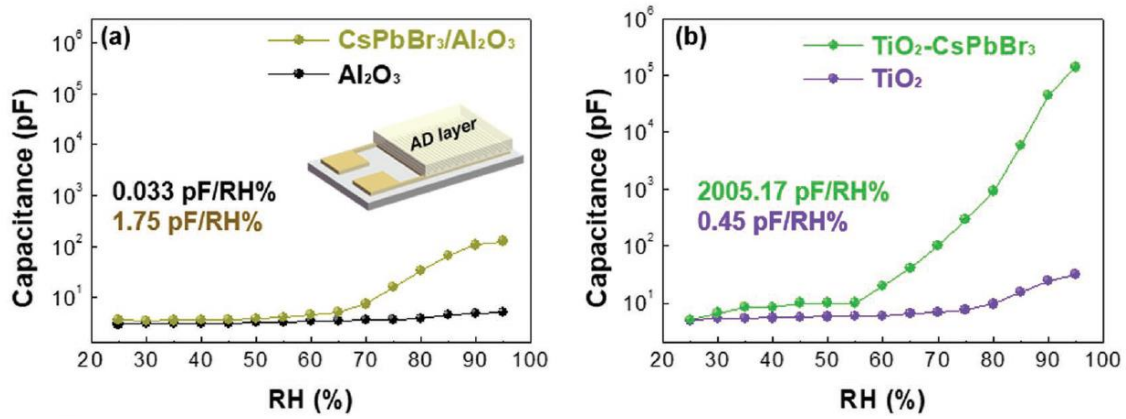


圖 2 鈣鈦礦元件偵測濕度數據圖[4]

另外 Mahmoud H. Elshorbagy 團隊在 2019 年發表於 *Applied Sciences* 中，將鈣鈦礦太陽能電池(PSC)作為折光儀 (refractometric sensor) 感測器[5]，圖 3(a)為一般標準鈣鈦礦結構圖，圖(b)為改良結構後作為感測器功能的鈣鈦礦結構圖。其中最上層的 ITO 層被鍍銀層和三角形光柵所取代，這樣的結構能夠實現更好的感測性能。

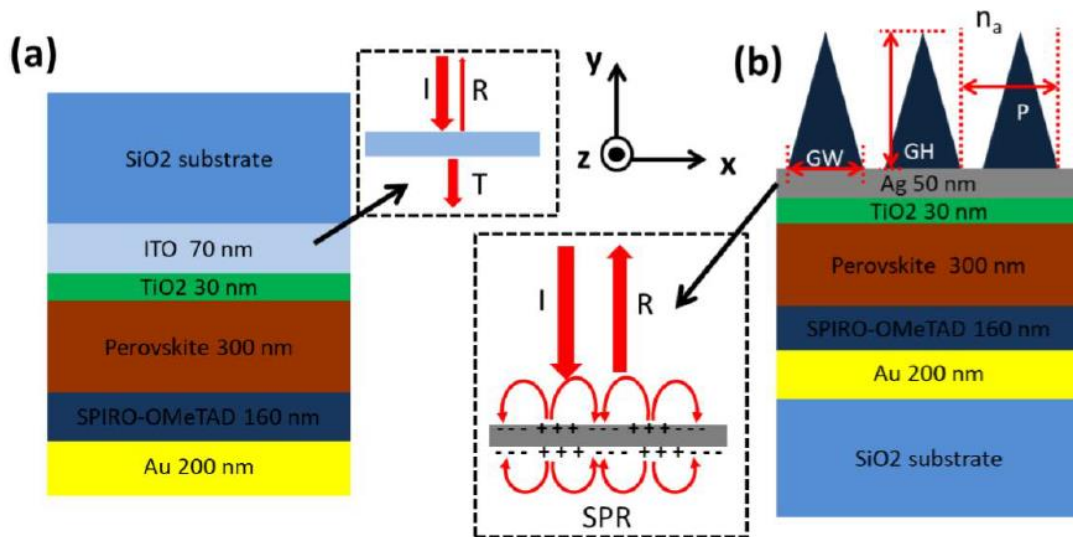


圖 3 Mahmoud H. Elshorbagy 團隊之折光儀元件結構圖[5]

染料敏化太陽能電池的研究則有 Rahmadwati 教授在 2018 發表了以 DSSC 為基礎的光學感測器[6]，圖 4 為光學感測器的光照與電流關係，可以觀察到隨著照明度增加，電流也會跟著增加。此感測器在增強光強度時，可以輸出更高的電流，因此有作為光感測器的潛力。

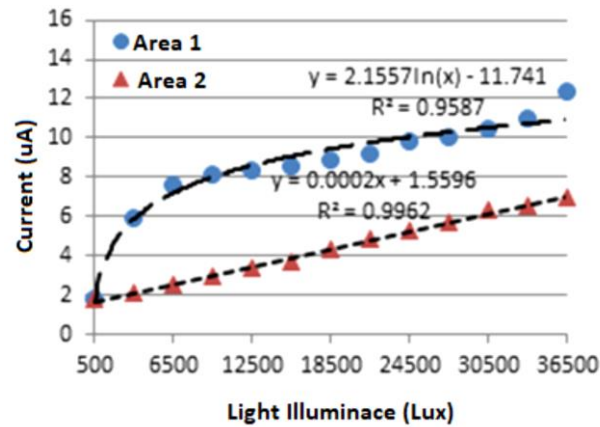


圖 4 Rahmadwati 教授團隊之光學傳感器測試數據圖[6]

最後是銅銦鎵硒 (CIGS) 方面, Shuang Qiao 教授團隊在 2018 年發表於 *Advanced Functional Materials* 中, 以軟性 CIGS 來做為寬頻譜光感測器[7], 圖 5 為測試自製光感測器的光影響應性能, 在 $1.5\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 3.3\text{mW}/\text{cm}^2$ 不同功率密度情況下, 探討電壓電流的關係。可以觀察在正向偏壓下, 電流幾乎保持穩定, 而反向偏壓的電流會隨著功率密度增加而增加, 這樣的特性是作為自供電光感測器的好選擇。

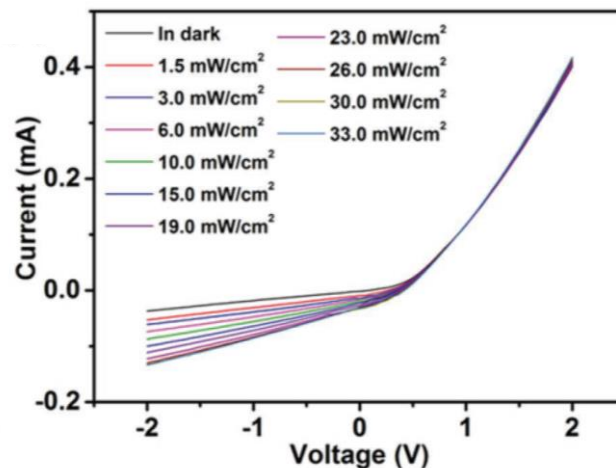


圖 5 Shuang Qiao 教授團隊之寬頻譜光感測器光譜響應性能[7]

除了以上文獻之外, 近年來越來越多關於薄膜太陽能電池的應用正在逐漸發展當中, 透過閱讀以上這些研究, 觀察到能夠藉由控制薄膜太陽能電池對於光響應變化作為應用, 所以認為薄膜太陽能電池應用於臉部辨識的可行性是更有機會實現的。加上近年來臉部辨識技術發展日漸成熟, 為人類生活帶來許多便利。不過在便利的同時, 也出現了極端的案例。像是中國利用臉部辨識系統隨時監控維吾爾族的日常生活, 剝奪維吾爾族的隱私權利, 造成人民對臉部辨識侵犯隱私的反對聲浪越來越高。考慮到臉部辨識帶來的便利, 要完全停止使用臉部辨識技術是不可行的, 於是盡快開發出不侵犯隱私的臉部辨識技術是當務之急。而本研究開發的臉部辨識系統是利用薄膜太陽能電池作為光感測器, 取代攝影鏡頭, 所以不會有隨時監控的情況, 更不會有侵犯隱私的疑慮。當薄膜太陽能電池接收到的反射光越多, 能夠產生的電壓或電流越大, 將這些電壓或電流數值當作判斷不同使用者的依據, 由於不同使用者對應的數值不相同, 因此能夠達到辨識的效果。

本系統除了將薄膜太陽能電池作為感測器辨識不同使用者之外, 因考慮到系統電力的問題, 所以還將薄膜太陽能電池作為系統供電來源使用。由於目前市場上的生物辨識技術需要額外消耗市電來運作, 且一般市電大多是來自於火力發電, 而火力發電會對空氣造成汙染, 使空氣品質下降, 這樣的產電方式

對於環境並不友善。相反的，本系統採用的薄膜太陽能電池能提供部分電力，不完全依靠市電。在系統未使用時藉由薄膜太陽能電池吸收環境光，轉換為電力並對電池進行蓄電，作為在辨識時供應系統的電力，因此薄膜太陽能電池能同時擁有感測器以及部分系統自供電的功能，一方面減少能源消耗，另一方面延長系統的使用時間。

貳、實驗步驟

一、薄膜太陽能電池整合為臉部辨識系統之偵測元件

首先將多個薄膜太陽能電池（thin film solar cell）排列整合成為一個薄膜太陽能電池陣列，如圖 6，從右上方由右往左依序編號為 SC01 電池至 SC04 電池，中間為 SC05 電池至 SC08 電池，以此類推。將陣列作為感測器（此陣列對應到人臉大小）及部分系統的電力來源，系統在無運作時，透過陣列進行蓄電，以便供應部分系統在運作時所需的能源消耗。加上系統核心使用耗能需求較小且常見的 Arduino 開發板來進行數據處理，解決其他生物辨識技術需要額外供電的問題。



圖 6 臉部辨識架構圖

本系統的辨識原理是藉由薄膜太陽能電池陣列左右兩側設置的 LED 輔助照光，Arduino 讀取薄膜太陽能電池陣列上十二個薄膜太陽能電池受到 LED 照射人臉後的反射光進行電壓數值的轉換，將這些電壓數值作為判斷相異兩人的依據，整體的偵測流程如圖 7。首先會先進行資料的建檔，讀取一人作為允許解鎖的數值，之後讓其他測試者進行辨識。當測試者到達辨識的位置後便啟動 LED 進行輔助照光，由於每個人的五官輪廓、膚色深淺不同，照射 LED 光後反射進入薄膜太陽能電池陣列的反射光也不相同，不同的反射光會使 Arduino 讀取到不同電壓數值。將這些電壓數值與允許解鎖的數值相比較，若兩組數值符合，判斷為同一人，則進行開門解鎖的動作，相反，辨識為不同人，無法進行解鎖。

二、LED 光源

位於臉部辨識系統兩側的 LED 燈在整體系統上扮演著重要的角色，需要利用 LED 燈進行照光，增加薄膜太陽能電池的光吸收，來達到辨識不同人的臉部特徵差異，因此 LED 光源的穩定度是其中一項重要的考量。LED 光源的穩定度攸關最終測試數值的好壞，適當的 LED 亮度能夠使足夠的人臉反射光被薄膜太陽能電池吸收，所以能夠精準控制 LED 的穩定度是首要解決的問題。

在本研究中，使用由 ON Semiconductor（安森美半導體）生產型號為 CAT4104 的 LED 驅動 IC 來精準控制臉部辨識系統的 LED 光源。CAT4104 是一顆擁有四通道的 LED 驅動 IC，通道輸出電流是由 IC 引腳 R_{set} 控制，每個通道最高可提供 175mA 電流。在完成相關電路之後，接著利用 CAT4104 進行測試，在實驗室環境中測試左右燈條的照度，將照度計放置距離於臉部辨識系統 8.5CM 處並以 LED 燈照光延遲 5000ms 的時間測試照光時 LED 燈照度穩定程度。圖 8 為 LED 左右燈條在不同電流情況下的照度，結果表示左右燈條的照度相當接近。

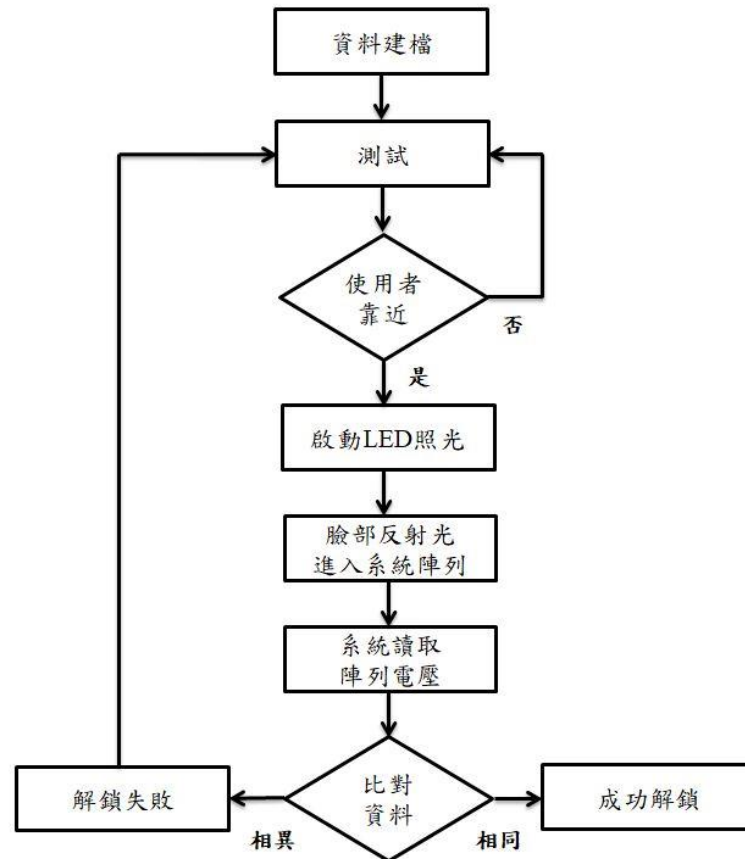


圖 7 臉部辨識流程圖

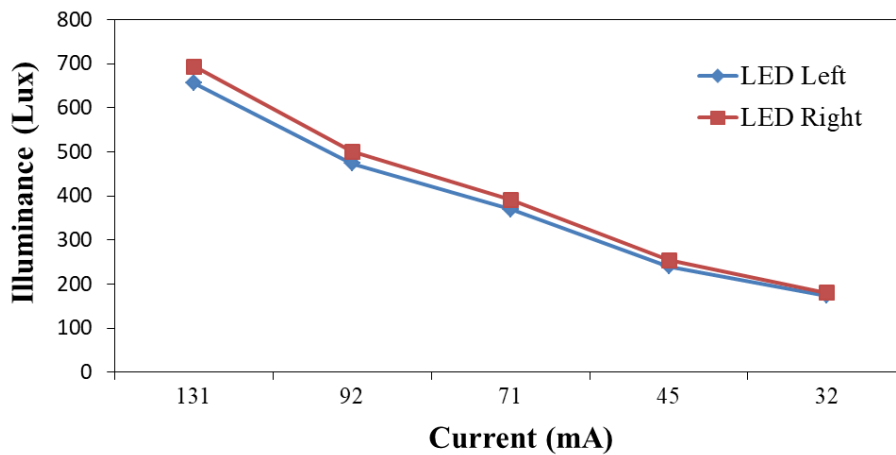


圖 8 LED 左右燈條在不同電流情況下的照度

表 1 為 LED 白光左右燈條在固定電流情況下每次延遲 5000ms，於 3000ms 時讀取照度計數值，總計測試二十次的照度穩定程度，結果表示左右燈條二十次的照度穩定程度差異不大，但會造成落差的原因是使用的 LED 燈為市售產品，非高精密燈源，所以難以確保 LED 品質。不過以本系統而言，控制電流在相同的情況下，依圖 8 和表 1 結果，我們認為以 CAT4104 LED 驅動 IC 來作為控制亮度是相當穩定的。

表 1 LED 左右燈條在固定 131mA 電流情況下測試二十次的照度穩定程度

	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Data6	Data7	Data8	Data9	Data10
左燈條	658	658	656	657	656	657	657	656	657	656
右燈條	694	694	694	694	695	695	696	694	694	693
	Data11	Data12	Data13	Data14	Data15	Data16	Data17	Data18	Data19	Data20
左燈條	656	657	656	658	656	657	656	657	658	657
右燈條	694	696	696	696	693	694	695	695	694	693

單位：Lux

對於 LED 白光光譜也有進行光譜測量，如圖九。可以觀察到在 400nm~500nm 區間是屬於藍光波長，500nm~600nm 屬於黃光，所以可以得知所使用的 LED 燈是利用藍光再搭配黃色螢光粉所調色出白光。從光譜圖中看出使用的 LED 左右燈光譜幾乎相近，在實際應用上是穩定的。之後在穩定控制 LED 光源後的實驗發現，適當的 LED 光源有助於提升薄膜太陽能電池應用在臉部辨識系統的辨識率。

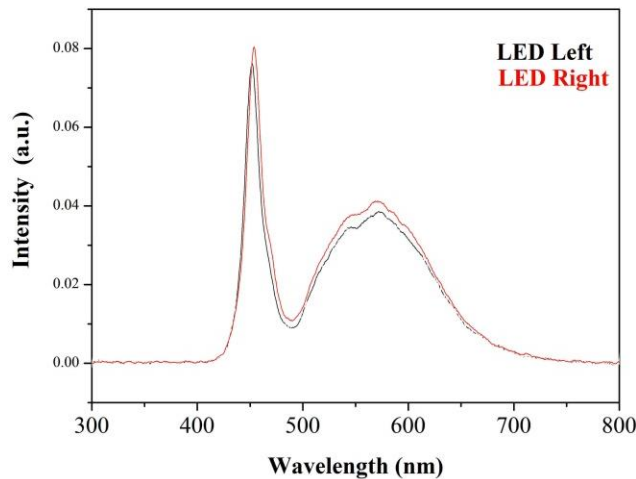


圖 9 LED 左右燈條白光光譜圖

參、結果與討論

以下為六位不同測試者以及各自測試六筆數據的平均數值比較，由於六筆數據幾乎相同，所以誤差線較不明顯。

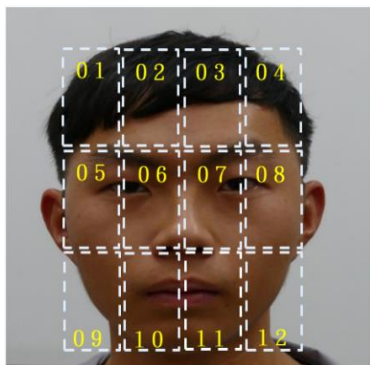


圖 10 Tester No1

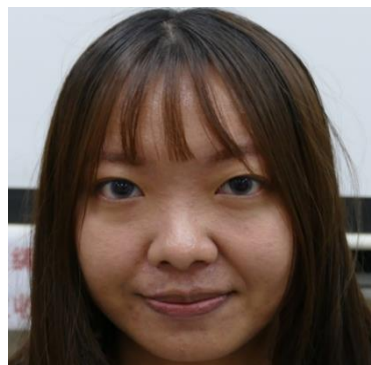


圖 11 Tester No2

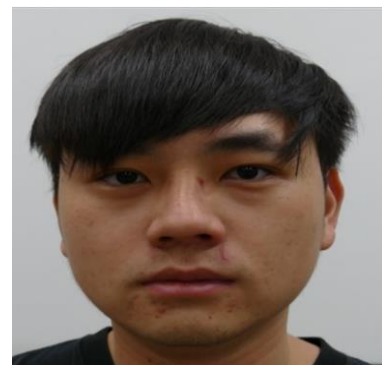


圖 12 Tester No3



圖 13 Tester No4



圖 14 Tester No5



圖 15 Tester No6

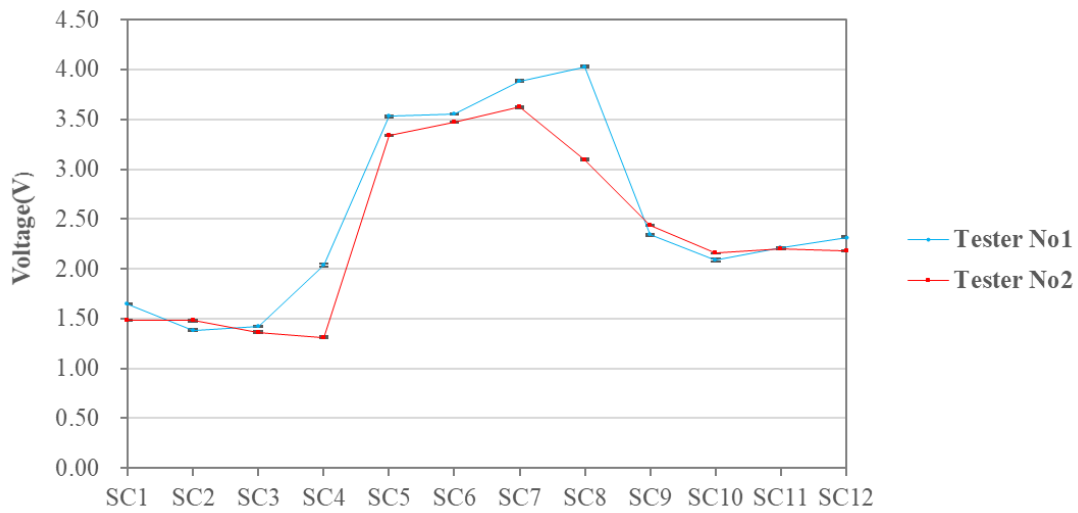


圖 16 測試者一號與二號數據差異

這組數據可以觀察到二號測試者的 SC01、SC04、SC05 及 SC08 會比一號低，這是因為頭髮的關係。SC05 及 SC08 (臉頰位置) 有頭髮遮蓋，所以二號數值會比一號測試者低。一號測試者的 SC04 會比 SC01 高是因為斜瀏海，露出的額頭面積較多，所以照射 LED 光後反射回薄膜太陽能電池的反射光也比較多，所以電壓數值大。

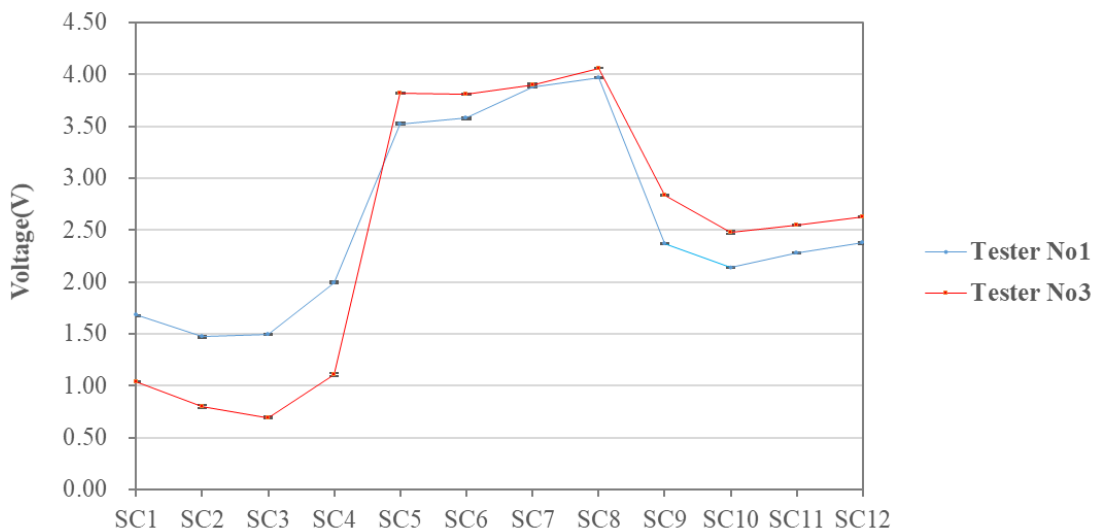


圖 17 測試者一號與三號數據差異

三號測試者的瀏海比一號多，可以看出 SC01~SC04 的電壓都比一號測試者低，再者由於三號的膚色比一號測試者白，所以可以觀察到在 SC05~SC12 整體的電壓都會比一號測試者高。

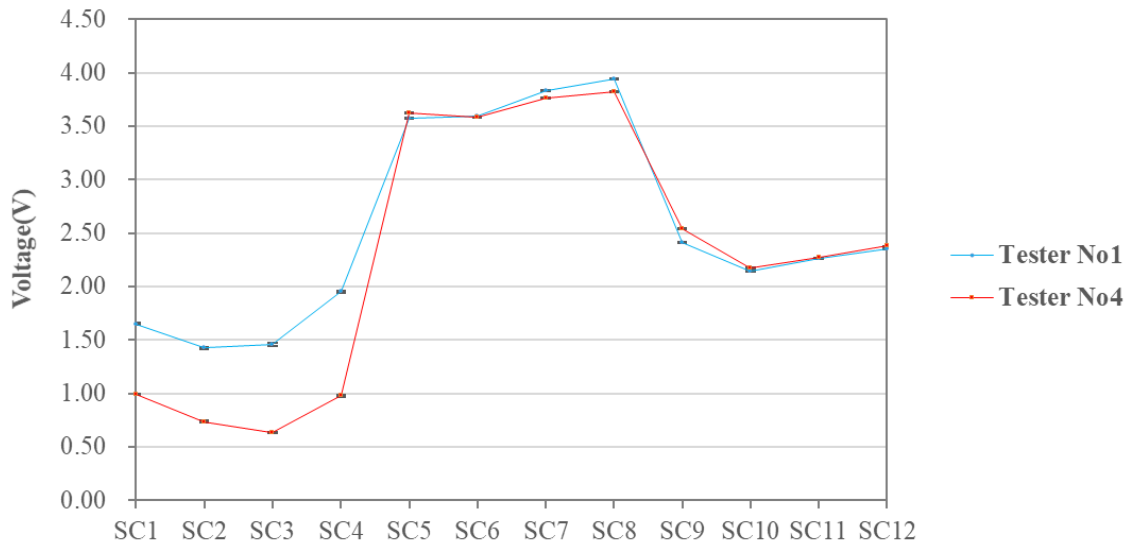


圖 18 測試者一號與四號數據差異

四號測試者的瀏海比一號多，SC01~SC04 比一號來得低，SC08 位置可能會受到鬢角頭髮影響，一號的鬢角較少，被鬢角吸收的光相對較少，所以電壓比四號高一些。SC09 下巴位置，四號稍微圓潤一些，可以觀察到 SC09 略高於一號。

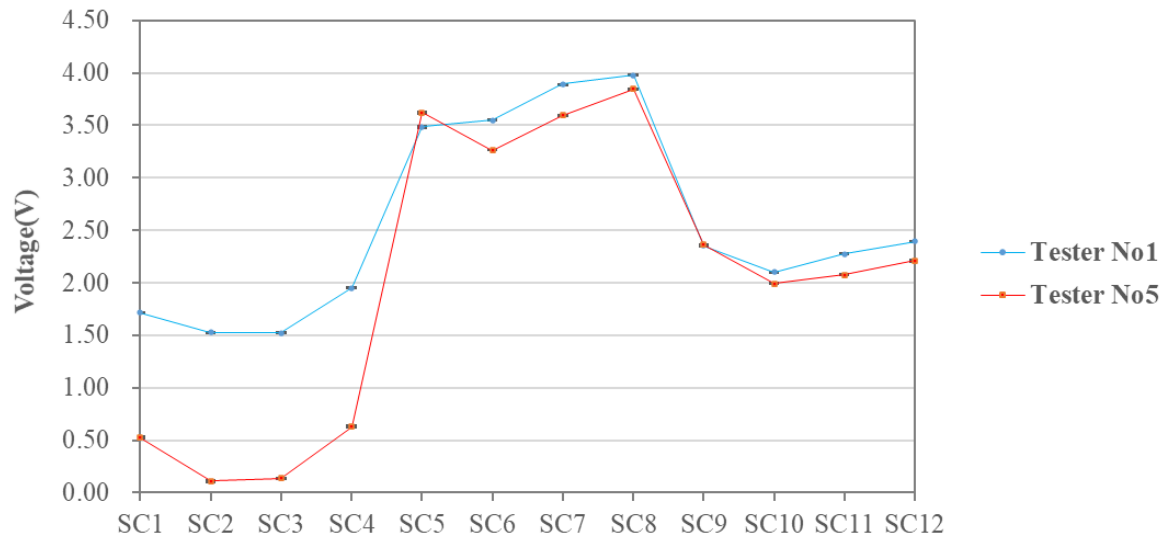


圖 19 測試者一號與五號數據差異

在 SC01~SC04 額頭位置，可以很明顯觀察到頭髮的差異，一號的 SC06、SC07 相對位置輪廓比較明顯，反光效果呈現比較好，所以數值略大於五號測試者。

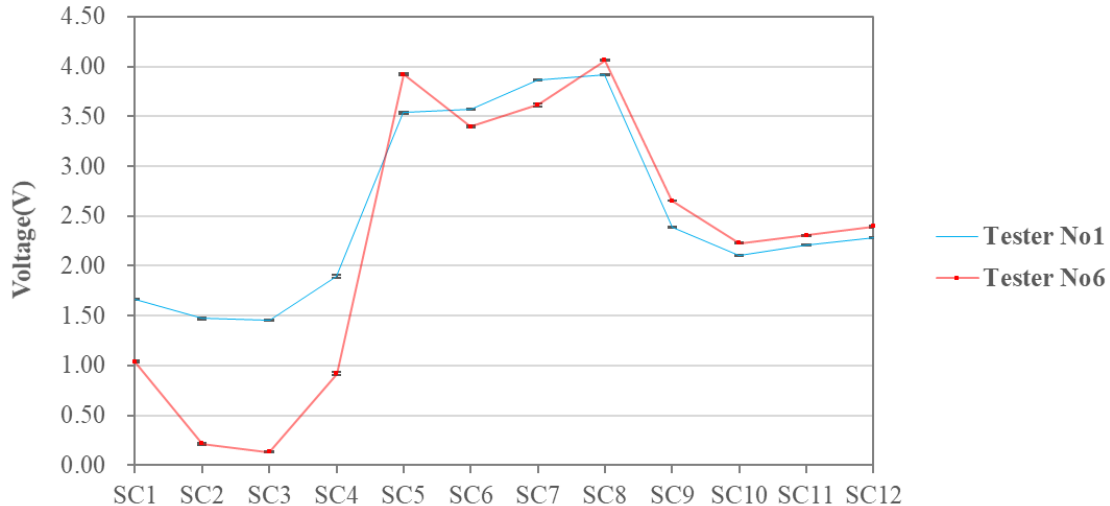


圖 20 測試者一號與六號數據差異

從照片看來，六號測試者的臉型較圓潤，所以在 SC05、SC08 位置的數值都是比一號測試者高。且六號測試者膚色較一號白，使得整體數值較高。一號測試者的 SC06 及 SC07 的輪廓比較明顯，所以數值高一點。

肆、結論

以目前的數據結果顯示，成功利用薄膜太陽能電池作為偵測元件，開發與臉部辨識技術結合的臉部辨識系統能夠成功辨識相異的使用者。根據實驗結果，發現頭髮對於數值的影響最大，其次是膚色再者是輪廓。其中膚色及輪廓能夠反映出每張人臉的生物特徵，膚色為數值帶來全面的影響，輪廓則為部分，由此可見 LED 燈照射人臉後的反射光被薄膜太陽能電池吸收後所產生的數值是具有生物特徵的特性。與傳統臉部辨識系統相比較，本系統能具有一定的生物特徵且同時不會侵犯到個人隱私，不像市場上的臉部辨識系統數據一樣可以逆向推算，並重新建立個人數據模型，所以相對來說本系統不容易被盜用及侵犯個人隱私，所以不必擔心無所不在的攝影鏡頭可以取得個人的臉部特徵並進行數據模型重建，進而盜用你的個人資訊。最後，本系統也因使用薄膜太陽能電池，所以可以達到部分自供電的效果，減少系統運作對市電的消耗。

參考文獻

- [1] 陳瑞堂、蔡宸維與莊靜雯 (2015)。以太陽能感測操控的遊戲系統，中華民國專利 M507786。
- [2] 陳瑞堂、吳俊毅、鄭弘祥、黃裕清、查厚錦、盧德翰、陳長盈與曹正熙 (2014)。太陽能鍵盤裝置，中華民國專利 M484143。
- [3] M.A. Stoeckel, M. Gobbi, S. Bonacchi, F. Liscio, L. Ferlauto, E. Orgiu and P. Samori. (2017). Reversible, fast, and wide-range oxygen sensor based on nanostructured organometal halide perovskite. *Adv. Mater.*, 29, 1702469.
- [4] M.Y. Cho, S. Kim, I.S. Kim, E.S. Kim, Z.J. Wang, N.Y. Kim, S.W. Kim, and J.M. Oh. (2019). Perovskite-induced ultrasensitive and highly stable humidity sensor systems prepared by aerosol deposition at room

- temperature. *Adv. Funct. Mater.*, 31, 1907449. <https://doi.org/10.1002/adfm.201907449>
- [5] M.H. Elshorbagy, A. Cuadrado and J. Alda. (2019). Narrow absorption in ITO-free perovskite solar cells for sensing applications analyzed through electromagnetic simulation. *Appl. Sci.*, 9(22), 4850.
- [6] Rahmadwati, S.N.Sari, E.Maulana and A.Sabarudin. (2018). Optical sensor based on dye sensitized solar cell (DSSC). *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, 12(2), 685–690.
- [7] S. Qiao, J. Liu, X. Niu, B. Liang, G. Fu, Z. Li, S. Wang, K. Ren, and C. Pan. (2018). Piezophototronic effect enhanced photoresponse of the flexible Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS) heterojunction photodetectors. *Adv. Funct. Mater.*, 28(19), 1707311. <https://doi.org/10.1002/adfm.201707311>