

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 電子、電機及資訊科

第一名

091011

新 LED 光觸控式技術的研究與應用

學校名稱：臺北市立大安高級工業職業學校

作者： 職二 周季濂 職二 黃育銘 職二 蕭 佑	指導老師： 王村益
---	------------------

關鍵詞：LED、光觸控

得獎感言

其實在這次科展能得獎，我們團隊都感到非常的意外，由於開始研究的時間比較慢，所以作品進度非常地趕，我們每天幾乎都留在學校忙到十點多才摸黑回家，星期六、日也幾乎都在學校度過；過程中屢屢碰到許多問題，使我們有放棄的念頭，還好同學的互相鼓勵與陪伴，才堅持了下來，也成功在科展前完成作品。

蕭佑，在這一次科展中，主要負責 LED 光伏特效應量測，量測過程中，學到了許多寶貴的經驗，記得有一次星期六、日整整兩天的時間量測出來的數據後，無法向老師解釋，由於以前沒有參加過比賽經驗，面臨這些無法理解的問題時，剛開始心情非常地煩躁，弄得老師經常要安撫我，和我一起討論過程中的誤差可能發生在哪？漸漸地，我越來越不怕碰到問題，也比較懂得如何去觀察我的過程中是否有哪些地方出了問題。

育銘，在這一次科展中，主要負責 CPLD 電路的設計，科展中最深的印象是我們是在量測完 LED 的光伏效應後，到電路中，因為 LED 又要發光又要兼具觸控功能，當時測量好幾個晚上，結果發現完全無法出現我們推討的結果，自己也找不出問題，一度很想放棄，後來和老師討論後，修正程式觀察電路，才發現問題所在，經過這一次的經驗，我學到了如何去思考問題，找出問題點的方法，獲益非常多！

季濂在這一次負責電路設計，及電路板製作，在擔任隊長的過程中，學到最多的是感謝，首先要感謝老師以及同學這段時間以來的陪伴以及努力，也要感謝台北市所為我們規劃那麼詳盡的行程，使得我們科展能夠順利進行！做科展不僅要有科學家的精神，在實驗失敗時不要放棄，還要學會團隊合作，分配大家的工作。我負責電路設計以及電路板的製作，在過程中學到了更多實作經驗，每天老師都陪我們到晚上很晚才回家，同學也非常努力的在做實驗，就連假日我們也一直在趕工，實在令人非常感動！



晚上十點多離開實驗室



實驗過程照片



參賽前與指導老師合影

摘要

隨著環保意識抬頭，推展發光二極體已成為世界各國重要政策。尋找 LED 特性，使 LED 有更多應用能力，無疑將會帶動 LED 的推動與發展。

本文我們提出**利用 LED 光伏特效應，實現 LED 光觸控功能**。我們共提出三點設計：

設計一是『**含偵測週期的 RGB 同步式 PWM**』機制，使彩色 LED 在發光同時兼具觸控能力。

設計二是**設計一的電路設計**，並用 CPLD 實現。

設計三是『**觸控偵測電路**』，用以偵測 LED 是否被觸控。

最後，我們簡單討論了 LED 加入觸控後，可以有那些應用？以及如何使用 LED 光觸控技術。

期待光觸控技術可以帶給人們更舒適的未來，對 LED 推行盡棉薄之力。

壹、研究動機

圖(一)為地球之夜，是美國航空局拍攝的著名衛星圖像，圖中顯示大部分地區夜間尚缺乏照明，然而想照亮全世界則需耗費龐大能源。隨著節能與環保意識的抬頭，推展高發光效率的發光二極體（Light-Emitting Diode ; LED）便成為世界各國政府的重要政策之一。



圖(一)地球之夜

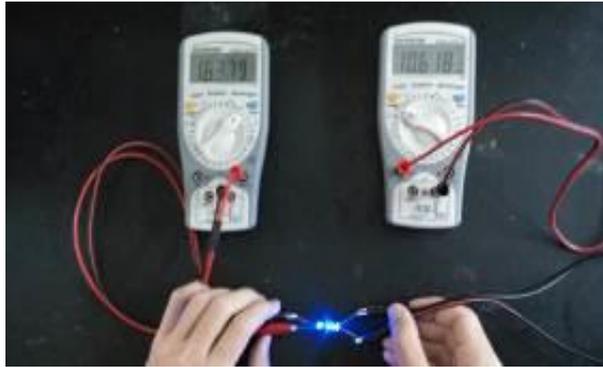
LED 從單色 LED 的指示燈應用，進入到彩色 LED 後，其應用更是包羅萬象，如招牌、引導牌、緊急出口指示...等等。其中白光 LED 更具備有取代傳統鎢絲燈泡及螢光燈，成為新的綠色光源的應用。如果說單色 LED 是應用領域的一維軸線，那麼彩色 LED 就是第二維軸線，構成了 LED 的廣泛面應用。

然而，我們團隊一直在思考著，LED 本身到底存不存在著某種特性，形成第三維軸線，將 LED 推向更多的應用呢？由於我們在一年級物理課程中學過光學，二年級電子學及電子實習課程中，學到了半導體及發光二極體原理與電子電路設計，數位邏輯課程及實習課程，也學到了數位電路設計，同時在二年級下學期，學校也安排了 Arduino 微控制器程式設計、VHDL 與電路板製作實習課程。

因此，如何運用學校所學到的專業技能，來尋找 LED 特性並提出新的應用，是我們的研究動機。

貳、研究目的

圖(二)是我們在電子實習課程中的意外發現，我們在圖(二)右方的 LED 通以 10mA 電流發亮，並直線照射入圖(二)左方的 LED，結果意外地發現左方 LED，可以測得 1.6379V 直流電壓。查詢後，我們了解這是所謂『**光伏特效應(Photovoltaic effect)**』，典型應用於太陽能電池中。



圖(二) LED 光伏特效應的發現

圖(三)中，我們進一步實驗 LED 對於戶外日光及室內照明燈具的光伏特效應，我們發現 LED 對於戶外日光的光伏特電壓比室內光伏特電壓大，此外用手觸控 LED 遮斷光源後的光伏特效應也會有明顯下降，我們發現用 LED 當光感測器，採用遮光方式已經可以用來偵測觸碰，可惜的是 LED 無法發光了。

綜合以上兩個實驗，我們開始思考是否可以運用 LED 的光伏特效應，讓 LED 在發光的情況下也能實現光觸控功能。

戶外正午	日光照射	
	遮斷光線	藍光
	1.065V	0.026V
明亮室內	燈光照射	
	遮斷光線	藍光
	4.076mV	1.38mV
	47.005mV	23.957mV

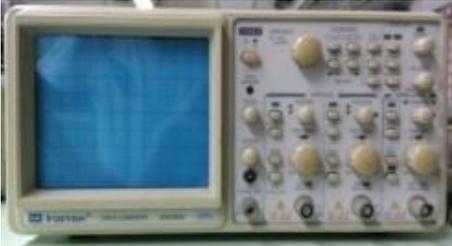
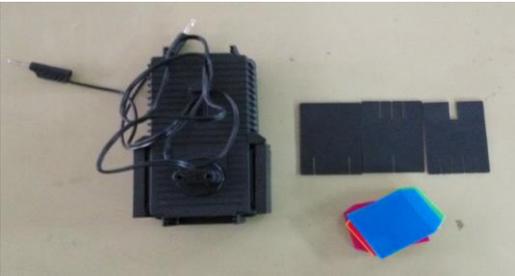
圖(三) LED 對於日光及室內照明的光伏特效應

本文的目的，我們期望提出讓彩色 LED(內含紅、藍、綠三個 LED)在發光的情況下，也可以透過手觸碰 LED 達成光觸控的能力，以便將 LED 的應用帶向互動式的新里程碑。同時也期望設計出光觸控彩色 LED 的驅動電路，及觸碰偵測電路，並討論加入光觸控技術後 LED 的應用及應用方式。

參、研究設備及器材

研究設備如表(一)所示，研究器材為表(二)。

表(一) 研究設備

設 備	
	
示波器	訊號產生器
	
直流電源供應器	數位電錶
	
光學實驗設備	照度計
	
Arduino MEGA 板	Altera MAXII CPLD 板

表(二) 研究器材

材 料			
	名稱	規格	數量(個)
電阻	一般電阻	210	20
		1K	10
		10K	24
		13K	4
		20K	4
		37K	4
		130K	8
	精密半可變電阻	1K	10
電容	電解電容	10uF	4
		0.1uF	4
發光二極體	單色發光二極體	5mm 紅、藍、綠	數個
	彩色發光二極體	SMD5050	數個
電晶體	PNP	C9012	12
IC	OPA	LM324	4

肆、研究過程或方法

以下我們將對單顆 LED 的光伏特性及多個 LED 串並聯的光伏特性進行量測:

一、單顆 LED 的光伏特性量測

(一)、基本特性量測

取兩個相同顏色的藍光 LED，一個當發射，一個當光感測器，發射的 LED 電流分別調整為 2mA、10mA、20mA，並將室內燈光全開照度約 2000 流明的環境下，如圖(二)方式將光源直線照射，並以電壓表量測光感測器的開路電壓，結果見表(三)。從表(三)中，我們得到了兩個結論:

- 1.發射的 LED 電流越大，光感測器的光伏效應越強。
- 2.相同顏色的 LED 雖然有相同材料和結構，但光伏效應也會略有差異。我們稱此為 LED 的『個別誤差(err)』。

表(三) 相同顏色 LED 直接照射實驗

發射光源 電流(mA)	藍光 LED				
	第 1 顆	第 2 顆	第 3 顆	第 4 顆	第 5 顆
2	0.31V	0.35V	0.25V	0.22V	0.29V
10	1.22V	1.15V	1.42V	1.19V	1.30V
20	1.75V	1.81V	1.75V	1.83V	1.82V

(二)、皮膚漫射實驗

用紅色雷射光照射透鏡，透鏡的另一邊焦點處分別用鏡子和手進行反射，結果如圖(四)及圖(五)。圖(四)的實驗是紅色雷射光線經透鏡折射，再經鏡面反射，可以回到原來光源處。圖(五)則顯示紅色雷射光線照射到皮膚後產生漫射使能量分散，無法回到光緣處的情形。



圖(四)

圖(五)

(三)、不同顏色 LED 收發的漫射實驗

將兩個不同顏色的 LED，折彎 45 度角後，其中一個擔任光源，另一個擔任感測器。發射的 LED 電流分別調整為 2mA、10mA、20 mA，以數位電壓表量測接收 LED 的觸控及未觸控開路電壓，結果見表(四)。討論如下：

- 1.不同顏色的LED收發，也會有光伏特電壓。
- 2.透過手觸控後感應的光伏電壓大小，已經大幅下降。

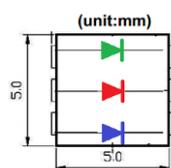
表(四)不同顏色 LED 收發的漫射光伏效應

發射光源 電流(mA)	光源	藍光	光源	綠光
	光感測器	綠光	光感測器	藍光
	未觸控	觸控	未觸控	觸控
2	0.04V	0.07V	0.22mV	0.25mV
10	0.14V	0.26V	0.3mV	0.4mV
20	0.2V	0.35V	0.4mV	0.5mV

透過以上的實驗，為了提高光伏效應，我們建議採用高度較低的彩色 LED。本文採用編號為 SMD5050 彩色 LED，內含紅、藍、綠光 LED 六隻接腳，其包裝尺寸為 5.0 mm ×5.0 mm ×1.6mm。

(四)、SMD5050 各種顏色的發射與接收差異量測

圖(六)為SMD5050的內部結構圖，其中紅燈在中間。



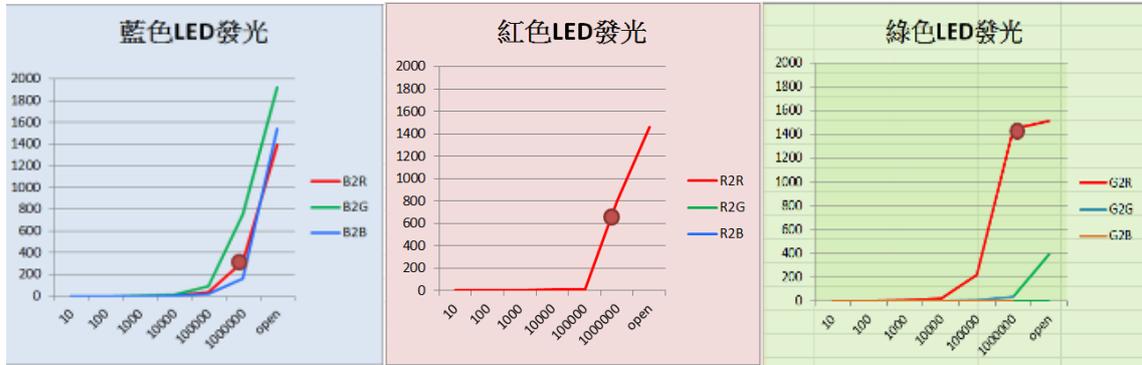
圖(六) 內部結構圖

表(五)分別是以藍光、紅光及綠光當光源，以 10mA 驅動，測得在藍光、紅光及綠光光感測器上的電壓(單位為 mV)，其中光感測器並接一個電阻，分別為 10/100/1k/10k/100k/1MΩ/開路，結果討論如下：

1. 紅光 LED 吸收綠光和藍光效果較好，因為藍光和綠光波長較短、能量較高，可以讓波長較長、能量較低的紅光接收，建議不要採用藍光當光感測器。
2. 接收器並聯電阻值的不同，電阻越大感應電壓也會越大。

本文選擇 SMD5050 紅光並接 $1M\Omega$ ，擔任光感測器，因為吸收綠光及藍光的光感度較佳。

表(五)SMD5050 觸控量測



(五)、SMD5050的觸控量測

表(六)為以 10mA 驅動綠光 LED，紅光並接 $1M\Omega$ 電阻偵測電壓，在室內調整照明設備的照度所測量分別使得照度為 2480 流明及 503 流明的光伏特量測結果，討論如下：

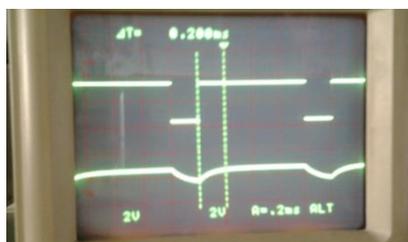
- 1.LED 的未觸控的光伏效應除了會如第 5 頁表(三)實驗結果所說的受到發光源電流的影響外，也會受環境光源的影響，我們定義 LED 感測到環境光源及發光 LED 光源的光伏電壓為『**光伏效應電壓($V_{photo})$** 』。
本例在 2480 流明下，光伏效應電壓約 0.86V~1.32V，平均值為 1.1V。
- 2.LED 的光伏效應和最小值之間的差異，稱為『**下底個別誤差(Derr)**』。
本例在 2480 流明下，最大在 0.46V 內，平均值為 0.255V。
- 3.觸控前後電壓差，我們定義『**觸控電壓差(ΔV)**』。
本例在 2480 流明下，觸控電壓差約 0.05V~0.12V 間，平均值為 0.1V。

表(六)SMD5050 的觸控量測

室內 LED 編號	綠燈發光/紅感測					綠燈發光/紅感測				
	照度(流明)	未觸控(V)	觸控(V)	Derr	ΔV	照度(流明)	未觸控(V)	觸控(V)	Derr	ΔV
1	2480	1.26	1.35	0.4	0.09	503	1.24	1.33	0.39	0.09
2	2480	1.17	1.24	0.31	0.07	503	1.15	1.21	0.3	0.06
3	2480	1.23	1.33	0.37	0.1	503	1.22	1.33	0.37	0.11
4	2480	1.32	1.37	0.46	0.05	503	1.31	1.34	0.46	0.03
5	2480	1.02	1.14	0.16	0.12	503	1.1	1.13	0.25	0.03
6	2480	0.88	0.98	0.02	0.1	503	0.85	0.96	0	0.11
7	2480	0.89	1	0.03	0.11	503	0.86	0.99	0.01	0.13
8	2480	0.86	0.96	0	0.1	503	0.86	0.95	0.01	0.09
9	2480	1.15	1.2	0.29	0.05	503	1.14	1.15	0.29	0.01
V_{photo}	平均	1.1		0.255	0.1	平均	1.1		0.26	0.1
	最大	1.32		0.46	0.12	最大	1.31		0.46	0.13
	最小	0.86		0	0.05	最小	0.85		0	0.01

(六)、光伏效應感應時間量測

我們以訊號產生器產生脈波見圖(七)上面波形，輸入給光源LED，透過示波器量測 LED 光感測的光伏特波形，見圖(七)下面波形，我們發現 LED 感應的上升時間約為 0.2ms 左右。



圖(七)光伏特感應時間

(七)、LED 遮光式的量測

表(七)是將室內照明調整為 3000 流明情況下，綠光及藍光 LED 不發光，紅光 LED 上所偵測的開路光伏特量測結果，討論如下：

1. LED 的未觸控的光伏效應受到環境光源的影響，感測到的『**光伏效應電壓($V_{photo})$** 』。
以本例在 3000 流明下，光伏效應電壓平均值為 359mV，在 520 流明下，光伏效應電壓平均值為 70 mV 左右，因為光源只剩下環境光源所以光伏電壓小於第 7 頁表(六)的數據。
2. LED 的光伏效應和最大值之間的差異，稱為『**上底個別誤差($U_{err})$** 』。
本例在 3000 流明下，平均值約在 70mV，在 520 流明下，平均值約在 10mV 左右。
2. **觸控電壓差(ΔV)**方面，遮光式受觸控後會因為遮斷光源，使得光伏電壓下降，本例在 3000 流明下，平均值約在-352mV，在 520 流明下，平均值約在-68mV 左右。

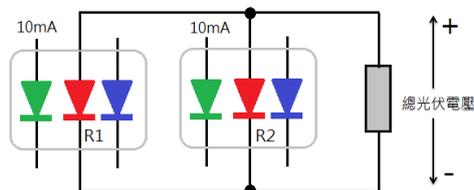
表(七)SMD5050 的遮光式觸控量測

LED編號	紅燈(室內照度3000流明)				紅燈(室內照度520流明)				
	未觸控(mV)	觸控(mV)	U_{err}	ΔV	未觸控(mV)	觸控(mV)	U_{err}	ΔV	
1	406	13	16	-393	77	2	2	-75	
2	342	11	80	-331	68	1	11	-67	
3	422	15	0	-407	79	3	0	-76	
4	320	6	102	-314	75	1	4	-74	
5	297	7	125	-290	73	1	6	-72	
6	324	4	98	-320	63	1	16	-62	
7	386	4	36	-382	67	1	12	-66	
8	363	3	59	-360	61	0	18	-61	
9	374	2	48	-372	66	1	13	-65	
V_{photo}	平均	359.3		70.5	-352	69.9		10.3	-68.7
	最大	422		125	-290	79		18	-61
	最小	297		0	-407	61		0	-76

二、多個 LED 串並聯的光伏特性量測

(一)、SMD5050 並聯量測

取兩個 SMD5050 彩色 LED，其中紅色 LED 並聯連接 $1M\Omega$ 成圖(八)所示，綠燈則各送電流 10mA。



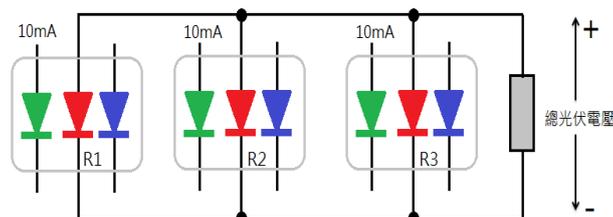
圖(八) 兩個紅燈並聯電路

量測圖(八) $1M\Omega$ 上的光伏總電壓，並記錄在表(八)，其中“0”表示“未觸控”，“1”表示“觸控”：結果發現未觸控、觸控一個 LED 及觸控兩個 LED 的光伏電壓都不一樣。

表(八) 兩紅燈並聯觸控記錄表

R1	R2	光伏總電壓
0	0	1.472V
0	1	1.480V
1	0	1.482V
1	1	1.490V

取三個 SMD5050 彩色 LED，其中紅色 LED 並聯連接 $1M\Omega$ 成圖(九)所示，綠燈則各送電流 10mA。



圖(九) 三個紅燈並聯電路

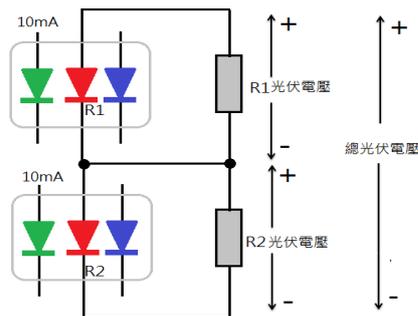
量測圖(九) $1M\Omega$ 上的光伏總電壓，並記錄在表(九)，其中“0”表示未觸控，“1”表示“觸控”，結果發現未觸控、觸控一個 LED 及觸控兩個 LED 與觸控三個 LED 的光伏電壓都不一樣。

表(九) 三紅燈並聯觸控記錄表

R1	R2	R3	光伏總電壓
0	0	0	1.476
0	0	1	1.480
0	1	0	1.480
0	1	1	1.485
1	0	0	1.480
1	0	1	1.484
1	1	0	1.485
1	1	1	1.488

(二)、SMD5050 串聯量測

取兩個 SMD5050 彩色 LED，其中紅色 LED 先並聯 $1M\Omega$ ，再串聯成圖(十)所示，綠燈則各送電流 $10mA$ 。



圖(十) 兩紅燈串聯電路

量測圖(十) R1、R2 及總光伏電壓記錄在表(十)，其中“0”表示未觸控，“1”表示觸控:結果發現未觸控、觸控一個 LED 及觸控兩個 LED 的光伏電壓都不一樣。

表(十) 兩紅燈串聯觸控光伏電壓

R1	R2	R1 光伏電壓	R2 光伏電壓	總光伏電壓
0	0	1.294	1.276	2.433
0	1	1.294	1.345	2.510
1	0	1.408	1.276	2.532
1	1	1.409	1.345	2.640

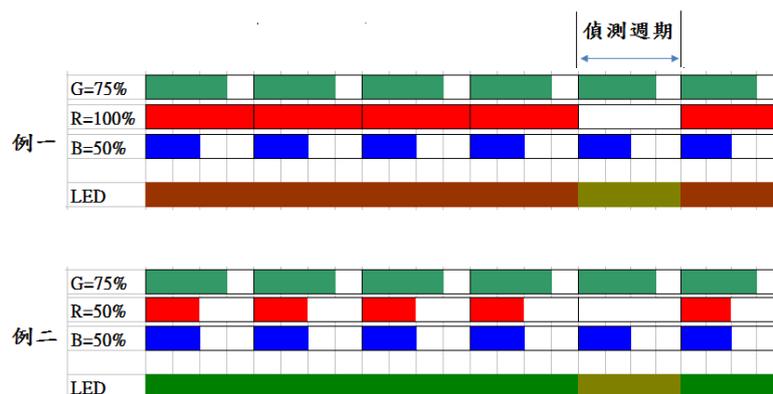
綜合以上實驗，我們發現如果有必要將多個 LED 合併成一個觸控點，無論是串聯式或並聯式都可以實現觸控，其中又以串聯式的觸控電壓差(ΔV)較明顯。

伍、研究結果

設計一:含偵測週期的 RGB 同步式 PWM 機制

LED 的亮度控制典型採用脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, 簡稱 PWM), 透由送給紅、藍、綠 LED 的脈波寬度, 以獲得所需要的顏色。然而, 一旦紅色 LED 擔任光感測器後, 紅光就不能再發光, 彩色 LED 的顏色將減少, 為了解決這一個問題, 我們提出的機制為控制紅、藍、綠燈亮度的 PWM 彼此必須同步, 以頻率為 1kHz 的 PWM 而言, 一秒有一千個 PWM 訊號。其中每 n 個 PWM 週期就安排一個『偵測週期』, 以 n=50 為例, 每 50 個 PWM 週期中安排一個偵測週期, 這樣一秒內可以偵測 20 次。於偵測時間時, 擔任光感測器的 LED(本例為紅燈)關閉, 其它兩個 LED(本例為綠燈跟藍燈)維持原來的亮度。綠燈與藍燈於偵測時間有一個限制, 依據第 8 頁實驗結果至少需維持 0.2ms 的反應時間。所以其 PWM 的設定不宜低於 20%, 若低於 20% 責綠燈與藍燈需維持 20%。

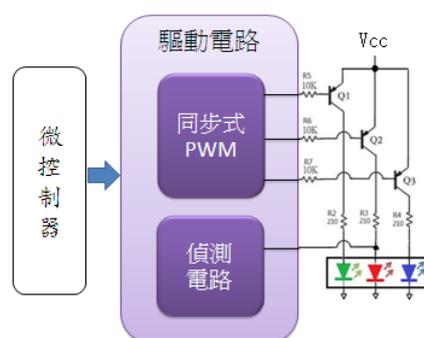
加入偵測週期後, 對於 LED 顏色的影響情況, 我們以圖(十一)來說明, 其中圖(十一)的例一中, 紅光設定為 100%, 當偵測週期時紅光關閉, LED 發光的顏色和原先會比較不一樣。但試如果像圖(十一)例二, 紅光的偵測週期設為 50%, 在偵測週期時, LED 發光的顏色就比較沒變化的感覺。由上可知, 只要 LED 的紅色、綠色、藍色當中紅色的 PWM 不為 0, 於偵測週期時, 必然會影響到色彩, 但因為時間很短, 所以眼睛感覺不太出來。



圖(十一)含偵測週期的 RGB 同步式 PWM 機制

完整的LED光觸控系統分兩個部份。其中一部份是含偵測週期同步式PWM產生器，用以同步產生紅、藍、綠LED的PWM資料及進入偵測週期。另一部份是偵測電路，可於偵測週期時偵測LED是否受觸控。其中含偵測週期同步式PWM產生可以由微控制器以軟體方式撰寫，但是會形成軟體程式的重擔。

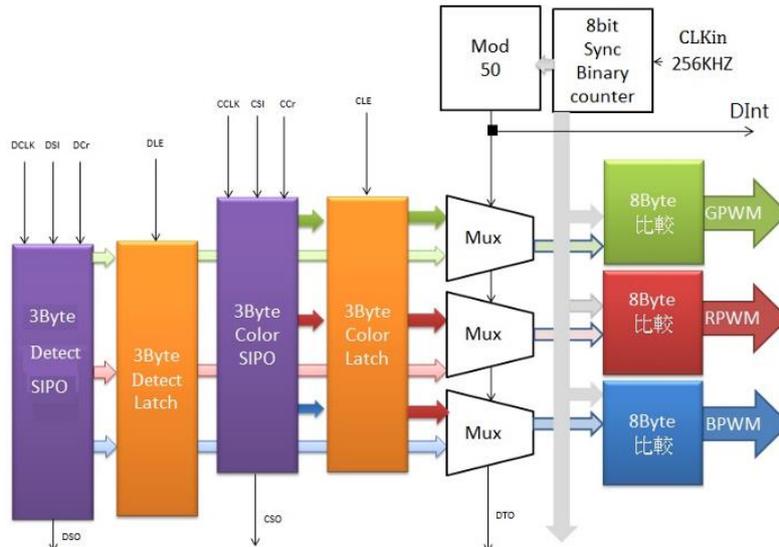
本文將提出一個同步式PWM產生器的硬體設計，並以CPLD實現出來，同時也提出了一個簡單的類比偵測電路，以驗證此光觸控技術的可行性。同步式PWM產生器電路將來可以和偵測電路製作在一顆驅動晶片內以縮小體積，如圖(十二)所示。



圖(十二)

設計二: 含偵測週期的 RGB 同步式 PWM 的硬體電路

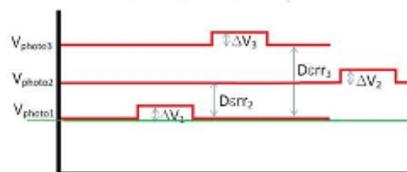
圖(十三)中我們提出含偵測週期的 RGB 同步式 PWM 的硬體電路，圖中左邊有兩組串列進入轉並列出(SIPO)移位暫存器，微控制器可以透過 DSI、CSI 兩資料輸入腳及 DCLK、CCLK 時脈腳輸入偵測週期時偵測資料，及 LED 色彩資料於兩組移位暫存器內，也可透過 CCR 腳、DCR 腳分別清除兩組移位暫存器。等待資料移入移位暫存器內完成後，微控制器可以再透過 DLE 腳及 CLE 腳將移位暫存器門鎖住，並輸出到比較器的 B 訊號。圖中右上方時脈輸入 256kHz，經四位元二進制計數器計數後，會被除頻產生 1kHz 二進制數碼分別送至比較器的 A 訊號，與 B 訊號進行比較，分別輸出綠、紅、藍色 LED 的 PWM 訊號。四位元二進制計數器輸出再送至一個 50 模計數器，技術 PWM 週期個數，當達 50 個週期時，輸出偵測中斷信號 (Dint)，並載入預儲在偵測栓鎖器內的 PWM 資料到比較器。



圖(十三) 含偵測週期的 RGB 同步式 PWM 的硬體電路

設計三:偵測電路

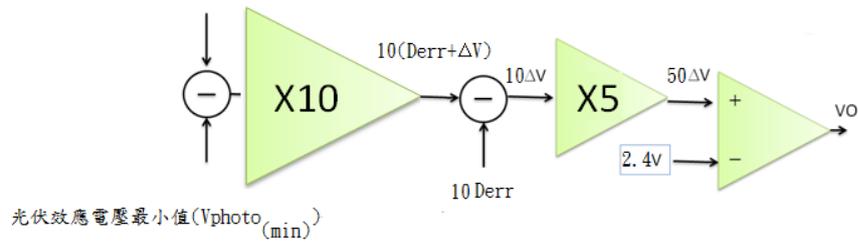
根據第 7 頁的 SMD5050 的觸控量測結果得知，以 10mA 驅動綠光 LED，紅光並接 $1M\Omega$ 電阻，紅光 LED 的光伏效應電壓(V_{photo})平均值為 1.1V、下底個別誤差(Derr)平均值為 0.255V，最大在 0.46V 內。觸控電壓差(ΔV)的平均值為 0.1V。其中，觸控電壓差(ΔV)的平均值比下底個別誤差(Derr)小，圖(十四)所示，零件彼此之間的差異比觸控後的感應電壓大，LED3 未觸控的光伏特都比 LED1 及 LED2 觸控後的光伏大，因此設計上較為不容易。



圖(十四)光伏觸控差異圖

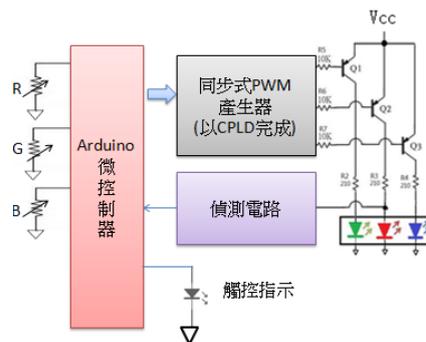
偵測電路電路如圖(十五)所示，其中紅光 LED 感應的光伏效應電壓=光伏電壓最小值($V_{photo(MIN)}$)+下底個別誤差(Derr)+觸控電壓差(ΔV)，我們採用兩個減法器做兩次的減法，先減去光伏效應電壓最小值，再經過 10 倍放大的減法器，得到 10 倍的下底個別誤差(Derr)+觸控電壓差(ΔV)。扣除 10 倍的下底個別誤差(Derr)，再經 5 倍放大後，會得到 50 倍的觸控電壓差(ΔV)，最後透過比較器，比較準位輸出成數位的高低態，其中高態表示觸控、低態表示未觸控。

$$\text{光伏效應電壓} = \text{光伏效應電壓最小值}(V_{\text{photo}_{(\min)}}) + \text{下底個別誤差}(Derr) + \text{觸控電壓差}(\Delta V)$$



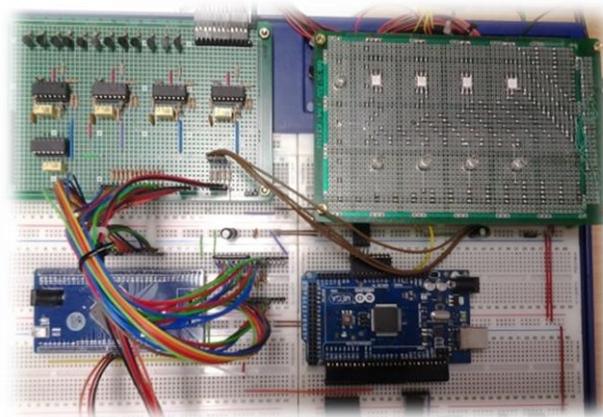
圖(十五) 觸控偵測電路

為了驗證結果，我們完成圖(十六)電路方塊，其中微控制器採用 Arduino Mega 2560 板，可接受三個可變電阻調整 R、G、B 的亮度，並輸出 PWM 至同步式 PWM 產生器，以控制 LED 的顏色。同步式 PWM 產生電路則採用 Altera MAXII EPM1270T144C5 CPLD 晶片。另外，我們也完成了觸控偵測電路。



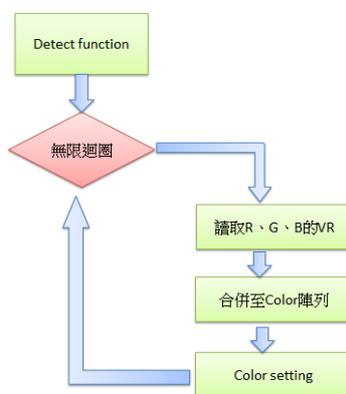
圖(十六)實體圖

實體如圖(十七)所示。

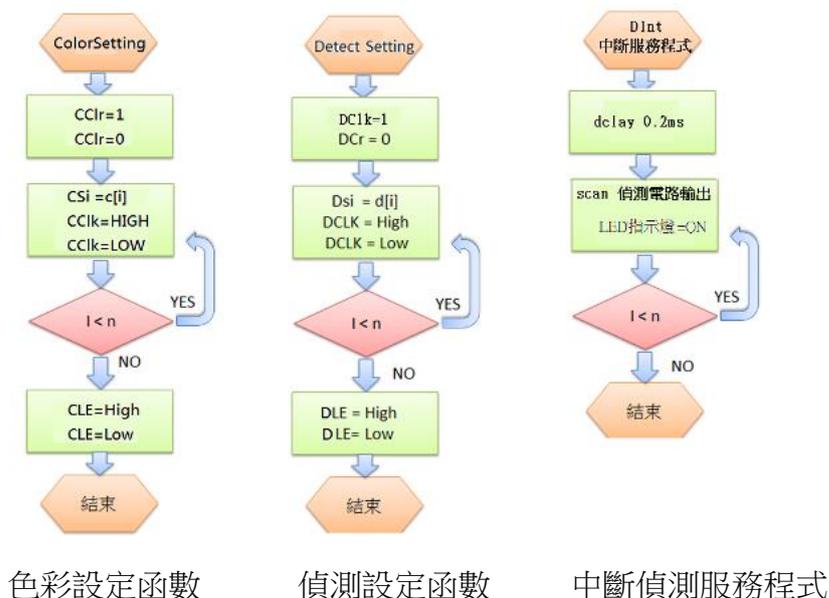


圖(十七) 實體圖

圖(十八)是主程式流程圖，主程式於先呼叫偵測設定 DetectSetting() 自定函數，將偵測週期各 LED 的 PWM 設定值預先輸入到 CPLD 同步 PWM 產生器的偵測用移位暫存器內並門鎖住。主程式接著進入無窮迴圈，逐步執行讀取外接在微控制器的三個可變電阻的 R、G、B 設定值，再合併計算儲存在色彩陣列，接著呼叫色彩設定 ColorSetting() 自定函數，將色彩資料傳送到 CPLD 同步 PWM 產生器的色彩用移位暫存器內並門鎖住。同時當微控制器偵測到來自同步 PWM 產生器的偵測中斷訊號後，會進入中斷偵測服務程式，掃描那一個 LED 被觸控，並點亮被觸控 LED 的對應指示燈圖(十九)分別是色彩設定函數、偵測設定函數及中斷偵測服務程式。



圖(十八)主程式



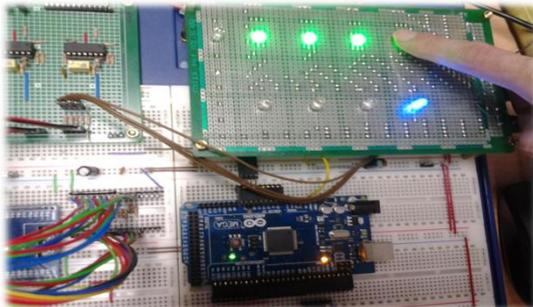
色彩設定函數

偵測設定函數

中斷偵測服務程式

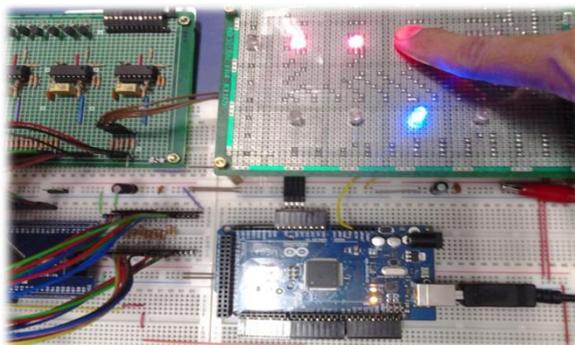
圖(十九)微控制器內部程式流程圖

測試如下，四個 LED 的顏色都一樣、調整三個可變電阻的 R、G、B 設定值使得綠色 LED 的 PWM=255、紅色 LED 的 PWM=0、藍色 LED 的 PWM=0，觸控第一個 LED，圖(二十)第一個指示燈亮，表示第一個 LED 觸控成功。



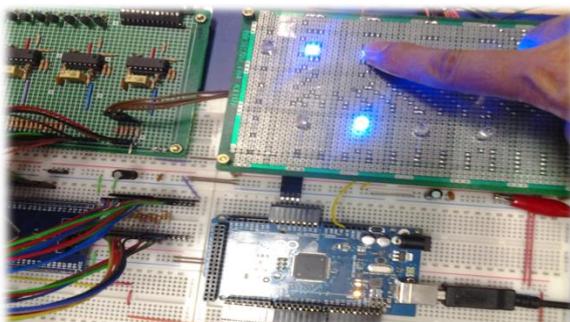
圖(二十)觸控第一個 LED

調整綠色 LED 的 PWM=0、紅色 LED 的 PWM=255、藍色 LED 的 PWM=0，觸控第二個 LED，圖(二十一)第二個指示燈亮，表示第二個 LED 觸控成功。



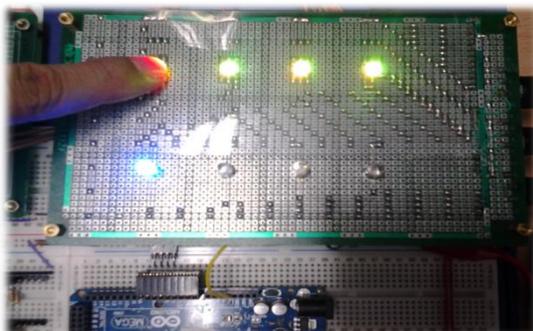
圖(二十一)觸控第二個 LED

調整綠色 LED 的 PWM=0、紅色 LED 的 PWM=0、藍色 LED 的 PWM=255，觸控第三個 LED，圖(二十二)第三個指示燈亮，表示第三個 LED 觸控成功。



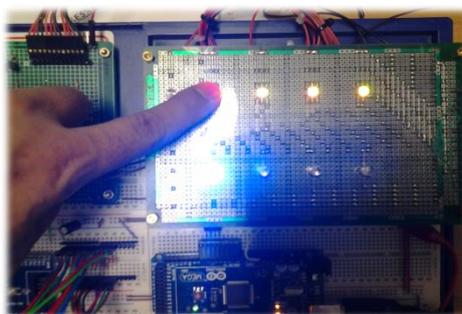
圖(二十二)觸控第三個 LED

調整綠色 LED 的 PWM=255、紅色 LED 的 PWM=255、藍色 LED 的 PWM=0，觸控第四個 LED，圖(二十三)第四個指示燈亮，表示第四個 LED 觸控成功。



圖(二十三)觸控第四個 LED

調整綠色 LED 的 PWM=100、紅色 LED 的 PWM=100、藍色 LED 的 PWM=0，觸控第四個 LED，圖(二十四)第四個指示燈亮，表示調整彩色 LED 的亮度一樣可以觸控。



圖(二十四)亮度調低測試

陸、討論

有關 LED 光觸控技術的討論：

一、驅動電路是否可以輕型化?

驅動電路含同步式 PWM 產生及偵測電路，可以整合在一個積體電路內部，達成輕型化目的。

二、戶外的環境光源大，會影響光伏電壓，如何克服此問題?

偵測電路中包括了 SVR1 半固定可調電阻，主要就是用來減去 LED 在不同光源下所產生不同的光伏電壓。在不同環境中如室內或戶外，可透過調整 SVR1 來改善此問題。

三、偵測電路中含有精密可調電阻，使用者需要學會調整，造成操作的不便!

偵測電路中包括了 SVR1，其可透過外接一個參考用的紅光 LED 來自動修正。另外，SVR2 是為了修正每一個 LED 的光伏誤差，這部份可以於偵測週期時透過調整綠燈及藍燈的電流量來自動修正，達成自動調整的功能，這也是我們團隊將來要努力的方向。

四、彩色 LED 在 LED 不亮時，會感覺到偵測用燈號顏色微閃，影響彩色 LED 的品質?

彩色 LED 在不亮時，藍光及綠光 LED 必需持續發光，以讓紅光 LED 可以感測到光伏特，但這樣便造成全暗時會有閃爍的現象，解決的方法可以讓藍光及綠光 LED 都不發光，紅光 LED 改成偵測環境光源，缺點是無法於暗室達成觸控。另外一種方式是當彩色 LED 在不亮時，降低綠光及藍光 LED 的電流讓顏色接近不亮，缺點是在 LED 全暗燈時依然會有微微的亮燈。我們建議可以混合使用這兩種方式，微控制器可以偵測參考用 LED 的光伏特，當發現有環境光源時，採用第一種方式，當發現無環境光源時採用第二種方式，也讓使用者於暗室時可以看到觸控位置。

有關 LED 光觸控應用的討論：

一、LED 光觸控技術和其它觸控技術的比較?

各類觸控方式概分四類，分別電阻式、電容式、光學式、表面聲波式與本文所提出的 LED 光觸控技術比較如下

電阻式：利用觸碰兩層導電層的接觸，計算阻抗值差得知觸控位置，透光率約在 85%。

電容式：利用人體身上的帶電體，碰觸面板所生的電位差，計算出觸控位置，透光率約在 90%以上。

紅外線式：紅外線分別在上下及左右形成網狀的分布，當手指進入時會阻斷紅外線的接收而求得其位置，透光率約在 100%以上。

表面聲波：在介質表面傳送高頻聲波，當聲波遇到軟材質被吸收後，變可計算出位置，透光率約在 100%以上。

以上的觸控技術，大部份是外加在 LCD 的面板上的感應裝置，因此其大小與形狀受限，而沒有彈性。

本文所提出的 LED 光觸控技術，顯示器本身即是感應裝置，沒有透過率的問題，可自由排列，形狀具彈性。

二、現有 LED 的應用有那些?加入觸控技術後，會有那些創意的應用方式?

我們團隊經過搜集資料，歸納現有的 LED 應用略分類如下，同時我們也彼此腦力激盪拋磚引玉地提出了可以應用的範例。

(一)顯示器:

如 8×8 LED 點矩陣、16×16 LED 點矩陣，也都可以因為光觸控技術帶來更多的想像空間。如將 16×16 LED 點矩陣做成圖形密碼鎖等等。

(二)照明:

如戶外的路燈、車用燈照明及互內的檯燈等，可透過光觸控技術控制燈光的開與關，如透過光觸控感知互外照度，自動開關路燈，室內燈具可透過觸控燈具本身或者牆壁上的 LED 燈來開關室內照明。

(三)廣告:

如廣告顯示器、跑馬燈等。加入觸控功能也可以快速查詢資訊，如跑馬燈的資訊因為移動速度略快，如果資訊量多的情況，使用者經常要再等待很久才能再看到想要的資訊，透過觸控功能的加入後使

用者可以如滑手機一般拉回剛剛的資訊看清楚後，再讓跑馬燈繼續跑動，或者下載更多資訊到手機內等等。

(四)裝飾:

如 LED 耶誕燈，加入觸控功能後可增加趣味性。

(五)指示:

如交通號誌、公共場所方向指示、設備的狀態指示，加入觸控功能後，可以增加互動性，創造出更多的應用。如大樓的火災逃生指示燈，在火災發生時，除了靠照明指示燈指示逃生路線外，也可以透過觸控，傳回控制中心知道，大樓的那個位置目前有人。又如公共場的方向指示燈，透過互動功能的指示燈，也可以增加更多的互動性以提高便利性。

三、如何應用 LED 光觸控技術到各類應用中?

(一)如何讓多個 LED 擔任同一個觸控點:

有些應用如果需要好幾個彩色 LED 當做一個觸控點，可以視電路需要，將擔任光偵測器的 LED 串聯連接或並聯連接，請參考第 8 頁及第 9 頁。

(二)如何讓 LED 不亮時也提供觸控功能:

有些應用在 LED 不亮時不需要觸控，如跑馬燈、顯示器等。有些應用在 LED 不亮時，是需要提供觸控功能的，如七段顯示器。LED 不亮時提供觸控功能的方式請見第 18 頁中第(四)點的討論。

(三)使用上一定要用到同步式 PWM 產生電路嗎?

如果 LED 的顏色只需要單色或少色，那麼可以用一個 LED 永遠擔任光感測器，該光感測器不需要發光，也就不需要同步式 PWM 產生電路，只需要偵測電路。或者是一個彩色 LED 內裝了四個 LED，其中一個 LED 擔任光感測器不必發光，也不需要同步式 PWM 產生電路，只需要偵測電路。

柒、結論

本文發現了 LED 的光伏效應可以應用在 LED 的觸控技術上，成為 LED 的一種新的應用技術。

本文對 LED 的光伏效應做了各種量測，結果發現 LED 除了可以如圖(三)以遮光的方式來偵測觸控外，也可以透過彩色 LED 的多 LED 架構，部份當光源由某個 LED 擔任光感測器的方式以偵測觸控。

我們共提出了三點設計：

第一個設計是一個含有偵測週期的 RGB 同步式 PWM 的概念，使得彩色 LED 可以在不影響原來發彩色光的情況下，兼具光觸控能力。

我們共提出了兩個電路設計，其中包括我們設計了含有偵測週期的 RGB 同步式 PWM 驅動電路，這是我們的第二個設計，並透過在學校的數位實習課程中所學到的 VHDL 與法，我們用 CPLD 實現了此驅動電路。

另外，我們也提出一個簡單的偵測電路，結果驗證了 LED 光觸控技術的可行性。

最後，我們進一步對各種觸控技術做比較，並搜集目前 LED 的應用範例，拋磚引玉地整理出 LED 在加入光觸控技術後，可以有的應用有那些?以及如何使用 LED 光觸控技術到各應用中。

期待光觸控技術，可以帶給人們更舒適的未來，也期待能幫助的 LED 推行，為節能進一份心意。

捌、參考資料

- 01.徐慶堂、黃文祥(2013)。電子學 I。台北市台科大圖書股份有限公司。
- 02.徐慶堂、黃文祥(2013)。電子學 II。台北市台科大圖書股份有限公司。
- 03.蕭柱慧(2011)。數位邏輯。台北市台科大圖書股份有限公司。
- 04.黃慶璋、蔡忠勇(2009)。數位邏輯設計(VHDL 入門實務)。台北市台科大圖書股份有限公司。
05. 梅克 2 工作室 (2014)。Arduino 微電腦控制實習(OZONE 適用) - 邁向 AMA 中級先進微控制器應用認證。台北市台科大圖書股份有限公司。

【評語】 091011

1. 研究主題超越學校教學範圍，且具實用性。若能參考網路上前人實驗結果加以改進才更能提升研究結果的重要性。
2. 建議選定至少一種應用並加以實驗驗證所發展技術的實用性。