

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040819

比太陽能發電好數百倍的節能照明系統

學校名稱：臺中縣私立致用高級中學

作者： 高二 李世閔 高二 辜智民 高二 黃詠農 高二 盧建瑋	指導老師： 葉政宗 林平修
---	-----------------------------

關鍵詞：追日機構，照度，節能省碳

比太陽能發電好數百倍的節能照明系統

摘要：

本系統是利用PLC控制，帶動與太陽轉動速度一半之機構，利用鏡子將太陽光反射至天花板，期望太陽光可以取代日光燈之機構。再者，可隨太陽光不同的入射角來做調整，而且利用光敏電阻控制電燈開關，當光線足夠時，自動關閉燈光，當光線不足時，自動開啓燈光，使教室照度合乎教育部規定之需求。藉以達成節能減碳之目的，並且拿來跟太陽能發電比較其經濟效益，發現本系統比太陽能發電好八百倍。

壹、研究動機：

本校幾位師生長期研究太陽能自走車，也曾多次贏得相關比賽，然而，從有關書籍及網路資訊看來，太陽能發電最大的問題是「太貴了！」(王柏鴻，民96)，有什麼更有效，更經濟的方法使用太陽能呢？

我們發現陽光普照的時候，全校教室和辦公室仍然『燈火輝煌』(圖1-1)，因為大家怕陽光直射臉部甚至眼睛，所以都用窗簾遮蔽陽光(圖1-2)，在沒有這個顧慮的時候，打開遮陽板，教室的照度立即提高很多，但是大家都忘記打開，我們想，用鏡子直接把陽光反射到教室的天花板，再讓天花板反射陽光到學生書桌上，提高照度，就可以節省用電。

然而，任何理想，只要「不方便」就不會被接受。因此我們想設計一種可以隨地球自轉而轉動的追日反射鏡，將太陽光反射至天花板當作光線，以及自動控制電燈開關的系統，兩套系統結合起來，當陽光足夠時，關閉電燈，當陽光不足時，開啓1~4盞燈光，使教室內的照度達到物理課本裡的參考數字「300 lux」(鄭仰哲，民95)，那麼使用起來很方便，應該可以被接受了。上屆科展比賽，本校計算上述兩種方法比較其經濟效益，參加比賽，發現太陽能光電板的價格是一般反射鏡的一百倍貴，所能得到的照明，卻只有反射鏡的八分之一，換句話說，反射陽光代替燈光比太陽能發電在經濟效益上好八百倍。但上屆因為只有計算，沒有實物故未盡理想，今年再接再厲，結合本校機械，電子兩科之資源希望能讓本研究更細密實用。



圖 1-1



圖 1-2

貳、研究目的

利用我們所研發的節能照明系統，能真正節省用電，藉以達到節能減碳的目的。

本研究之目的有下列四項：

- 一、 自行設計及製作完成一個節能照明系統。
- 二、 節能照明系統每天早上起始角位置可以手工調整一次，之後整天全自動。
- 三、 一年四季太陽光照的角度位置可以調整。
- 四、 自動感測系統能隨著陽光強弱，控制電燈開關以符合教室照度之要求。

參、研究設備及器材

本研究使用的設備如表3-1 所示。

表3-1 設備一覽表

品名規格	功能
車床	加工機構心軸及圓形料件
銑床	加工機構所需平板
鑽床	鑽孔
筆記型電腦	執行軟體
3D繪圖軟體Solid Works 2008	繪製工作圖及機構組合圖
PLC可程式控制器	撰寫程式控制機構擺動
手提鋸割機器	鋸切木板製作所需形狀
手提電鑽	木板鑽孔安裝電燈
麵包板	電路安裝測試
三用電表	電路功能檢修量測
鑽孔機	電路板鑽孔
電烙鐵	電路板焊接
Protel電路繪圖 layout軟體	電路繪圖 layout軟體
數位式照度計	量測顯示目前照度數據

本研究使用材料如表3-2 所示。

表3-2 材料一覽表

品名	規格	數量	單位
鋁材	Φ 110*厚5m m	1	個
	□150*厚12m m	1	個
	L型35*75*厚13m m	2	個
軸承	6000Z	2	個
軸承	6002Z	1	個
鋁擠型	AF3030-50L	2	個
鋁擠型	AF3030-90L	2	個
控制機	AX2N-32MT	1	個
步進馬達	2 相步進馬達(TK264P-02A1)	1	個
減速機	步進馬達減速機(1:10)	1	個
驅動器	2 相驅動器(TR22B DC24V)	1	個
電磁接觸器	Coil: AC110V	1	個
電源供應器	Input:AC100~240V Output:DC24V 2A	1	個
電源開關	NFB 2P 15A	1	個
單光式開關	AC110V 紅色	1	個
單光式開關	AC110V 綠色	1	個
指示燈	AC110V 白色	1	個
指示燈	DC24V 紅色	1	個
按鈕開關	1A1B	3	個
切換開關	二段 1A1B	3	個
緊急開關	押扣式 紅色	1	個
控制箱	長 40cm*寬 40cm*高 18cm	1	個
變壓器	AC9V	1	個
繼電器	12VDC	4	個
感光電路板		1	片
省電燈泡(含座)	24W	4	個
LM 324 IC	14 PIN	1	個
LM 358 IC	8 PIN	1	個
穩壓電晶體	UA 7805	1	個
整流二極體	1N 4001	4	個
電晶體	9013	1	個
電解電容器	470U f/35V	1	個
塑膠電容器	104J	3	個
可變電阻器	SV R 502	1	個
電阻器	1K	7	個
接線端子座	2 PIN	5	個
光敏電阻	5m m	1	個
鏡片	A 5	1	個

肆、研究過程或方法：

一、設計初稿

初次設計之節能照明系統是利用坊間樂高積木，搭配塑膠鏈條齒輪箱，利用機件原理課程所學之減速比，將速度減慢致729倍如圖4-1、圖4-2所示，發現本研究是可行的，但齒輪所產生的問題仍需要克服。

- (一)減速比要調成很大，大到與地球自轉時間相同，需要非常多組的齒輪。
- (二)如要參展時需要調整速度變快，可以很快呈現本研究的問題，。
- (三)當一年四季太陽位置不同時需要調整位置。

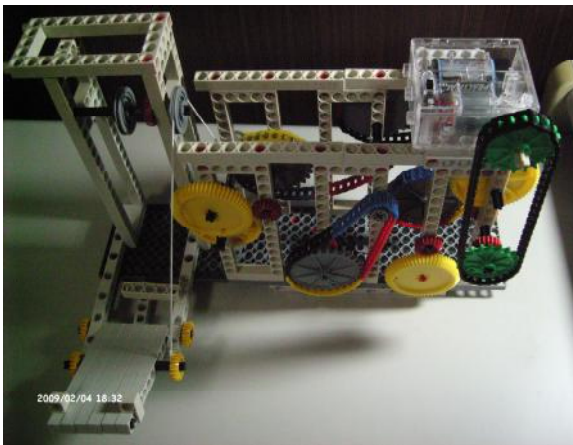


圖4-1



圖4-2

二、基於上述理由，真正利用上課所學開始著手設計規劃。

- (一) 討論尋找發生之問題。
- (二) 收集資料。
- (三) 研究尋找解決方法。
- (四) 繪製工作圖。
- (五) 機械加工。
- (六) 程式撰寫。
- (七) 拼裝校正。
- (八) 實際測試，最後修整，完成工件。

三、機構圖的繪製

我們利用上課所學軟體(Solid Works)設計所需機構，在板面與桿件連接處利用萬向接頭調整可以達到更多角度的調整(如圖4-3、4-4)，設計機構的開始僅一個想法就是上面要放一個鏡子，然後帶動搖擺，再配合馬達與PLC的控制達到我們想要讓鏡子仰角到設定之位置(太陽角速度為 $\frac{360^\circ}{24\text{小時}} = 15^\circ/\text{hr}$)，之後又考量到一年四季太陽的角度會改變，

所以鏡子也需要作微調，再者，太陽每天升起的角度會有些許不同，在程式撰寫中也一併將此問題考量進去，所以加進微調角度的功能。

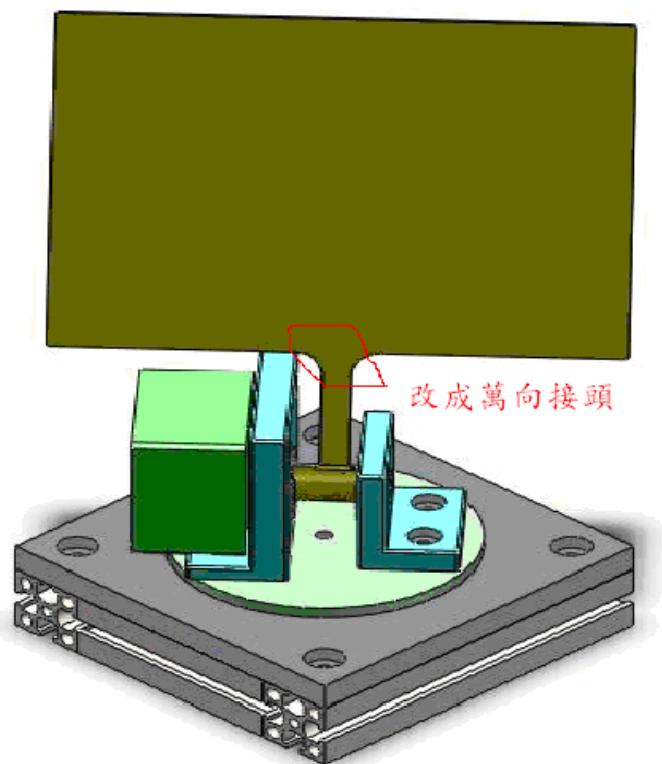


圖 4-3

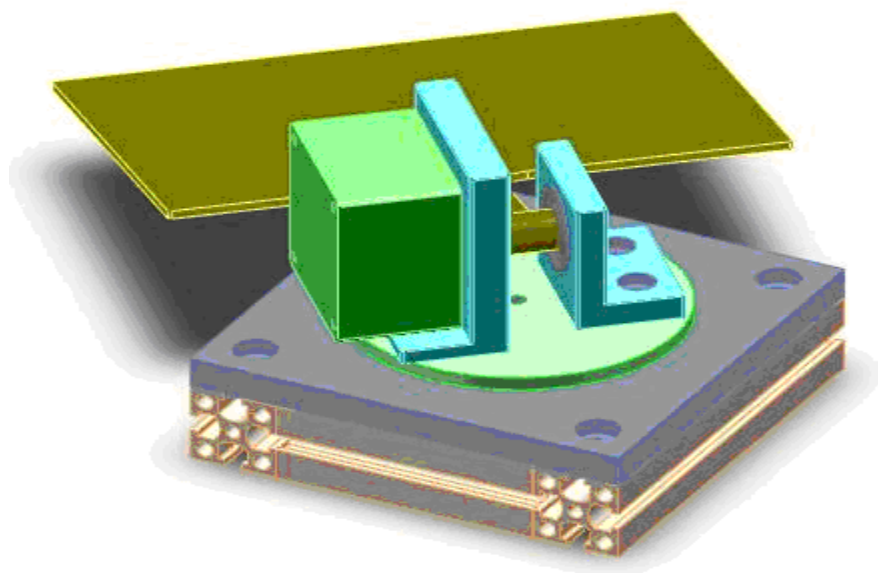
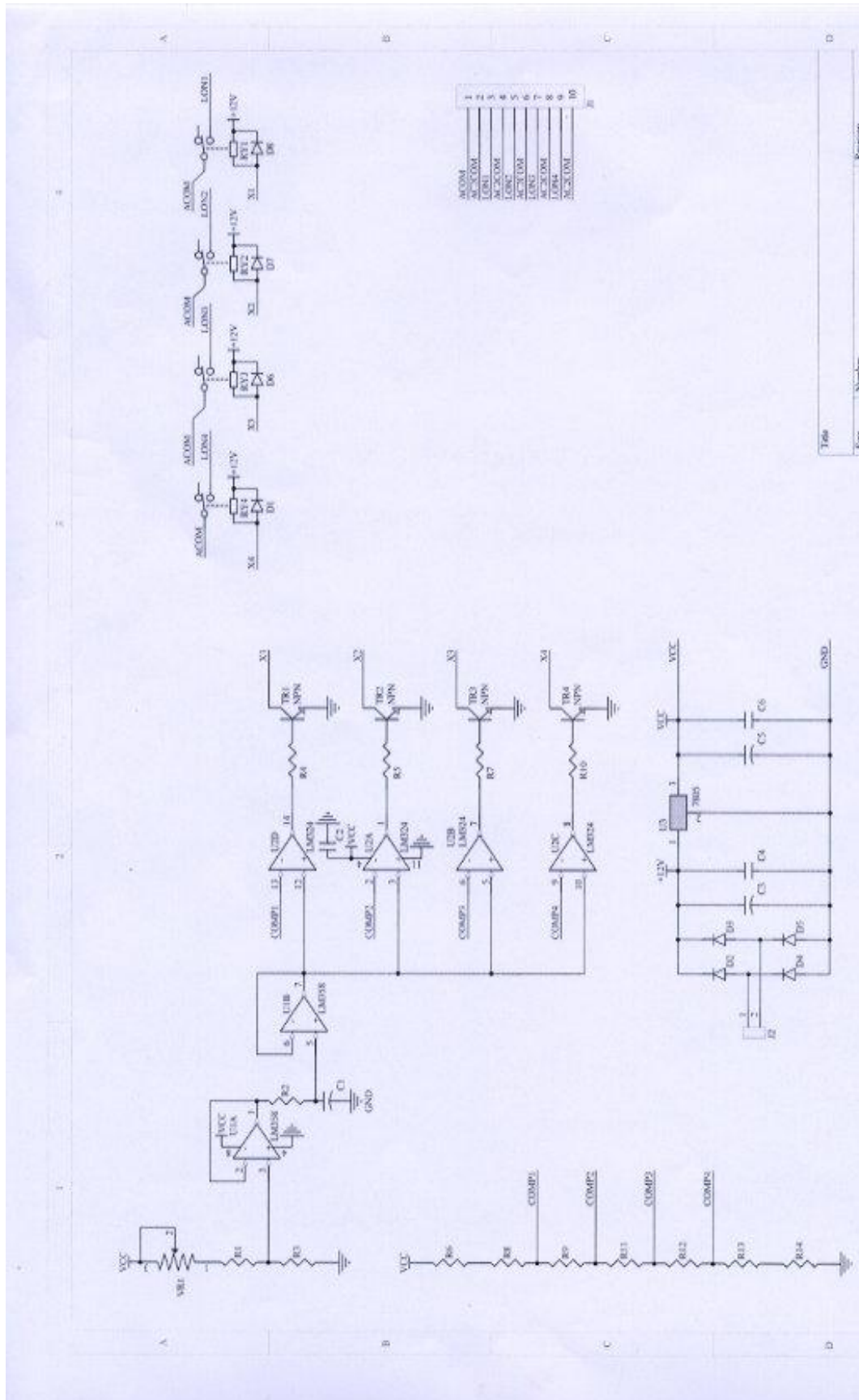


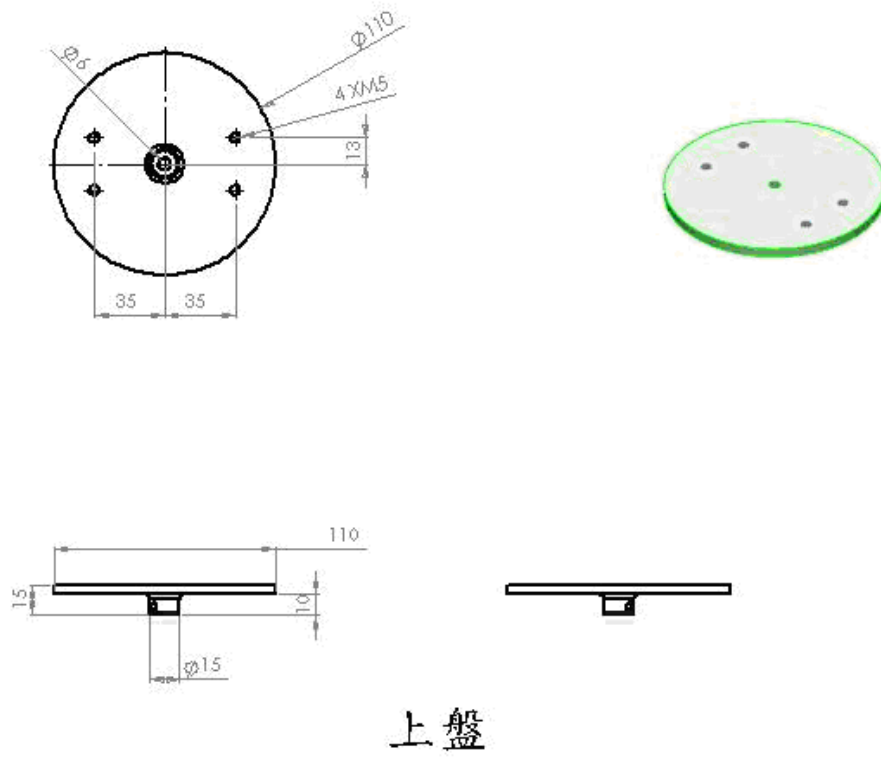
圖 4-4

四、電路施工圖



五、機構製作

利用學校實習課餘時間，按照所繪製之零件圖進行加工，因材質為鋁件，所以比平日實習材料更容易加工，製作零件之情形如圖4-5~圖4-12。

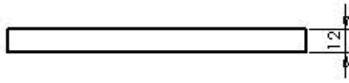
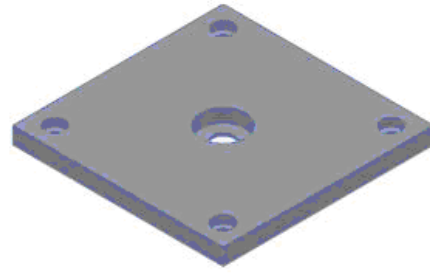
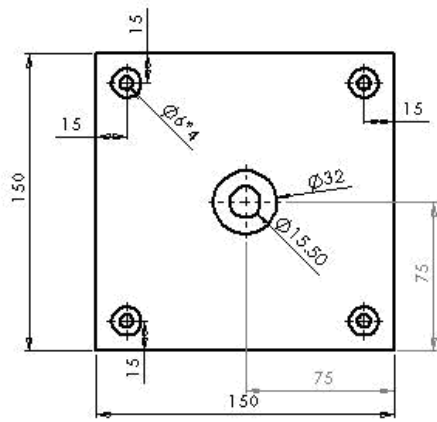


上盤

圖4-5上盤

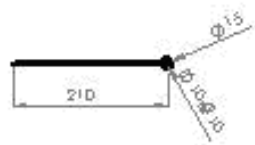
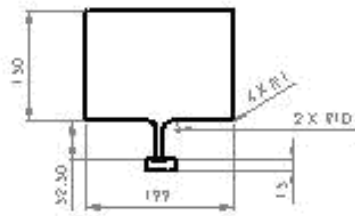


圖4-6上盤車削



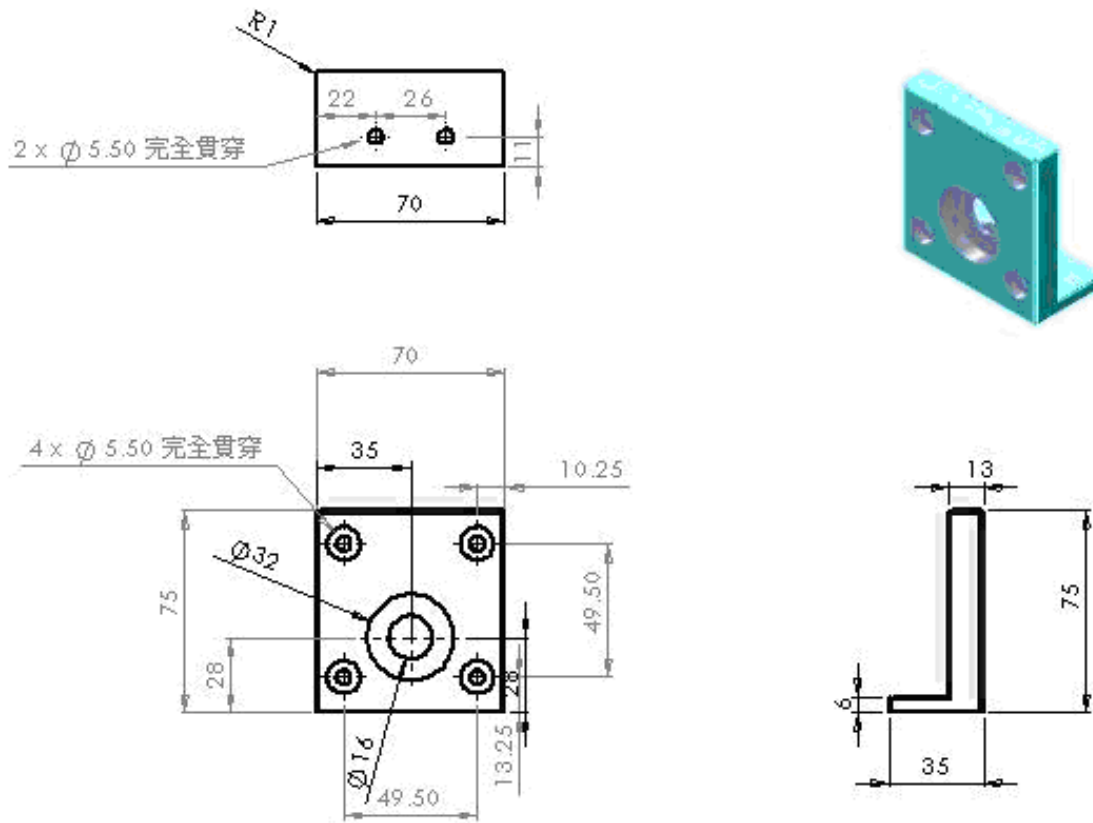
基 板

圖4-7 基板



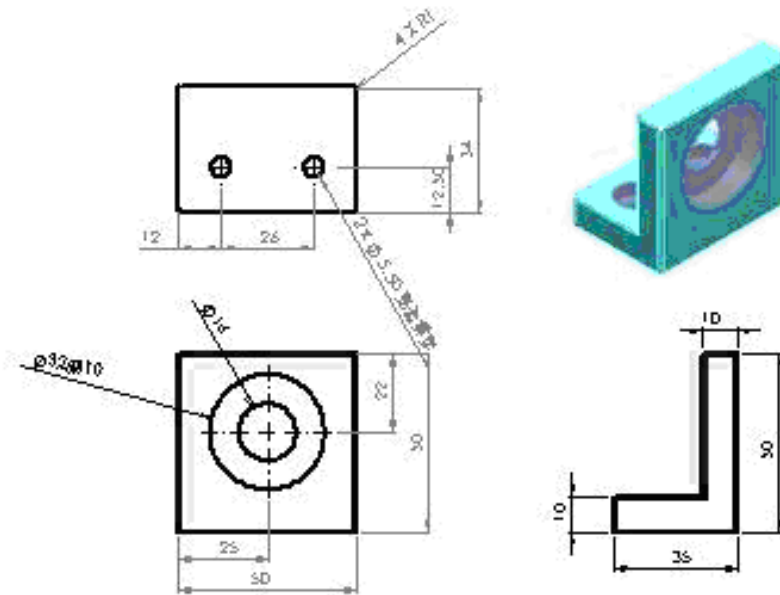
轉 軸

圖4-8 轉軸



轉盤固定座(右)

圖4-9 轉盤固定座(右)



轉盤固定座(左)

圖4-10 轉盤固定座(左)



圖4-11 車削工作



圖4-12 銑削工作



圖4-13 模擬教室天花板製作



圖4-14 燈具安裝

同時因展示時需要模擬教室的天花板，以及太陽光的情形，所以利用木板上面裝置四盞23W 的螺旋式省電燈泡來顯示燈光與反射鏡的情形(如圖4-13~圖4-14)。

六、反射鏡轉角解析圖

如圖4-15、圖4-16所示， $\triangle ABC \cong \triangle EDB$ ； $\angle A = \tan^{-1} \frac{2}{4.5} = 20^\circ$

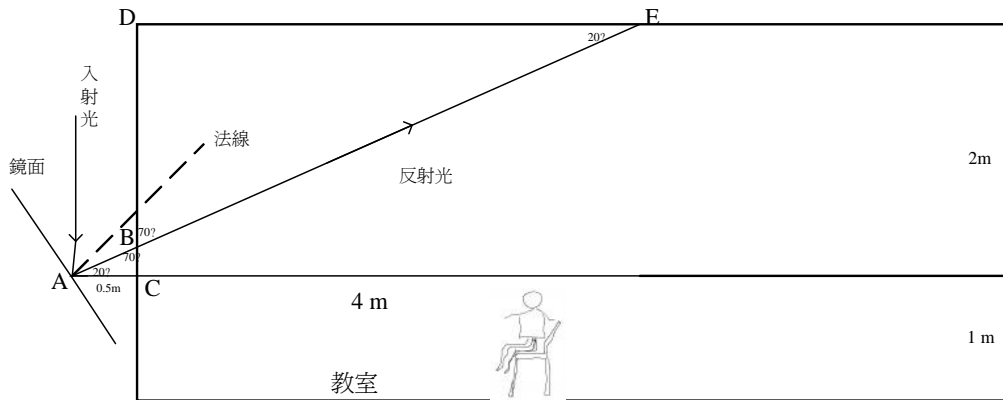


圖4-15 (0.5m 為舉例鏡子與教室的距離)

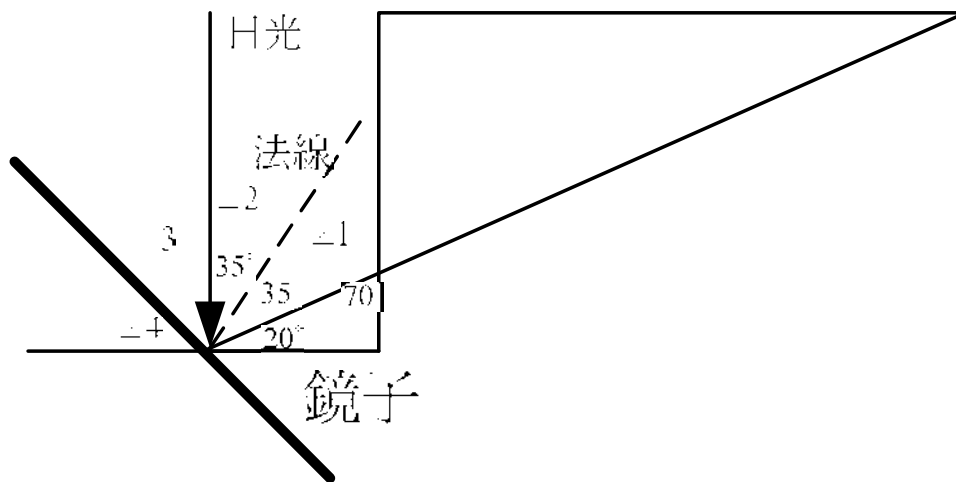


圖4-16

Case1: 日光與中午12:00垂直線夾角(太陽角速度為 $\frac{360^\circ}{24\text{小時}} = 15^\circ/\text{hr}$)

入射角 = 反射角，故法線之角轉速為太陽角轉速之一半，

也就是 $7.5^\circ/\text{小時}$ 與法線垂直之反射鏡當然也是 $7.5^\circ/\text{小時}$ 。

Case2: 若鏡子移近或移離牆壁，移高或移遠，只有起始角不同，鏡子每小時轉 7.5° 仍然不變。

七、PLC程式撰寫

機構完成將減速馬達裝上後，再來組裝控制箱內的配線，與安裝PLC可程式控制器(如圖4-17、4-18)，接著利用PLC控制擺動的時間與角度，所以與老師討論，既然展示速度要快一點(約 7.5° /分鐘)，實際轉速(7.5° /小時)又很慢，所以透過程式的控制達到可以切換的功能。

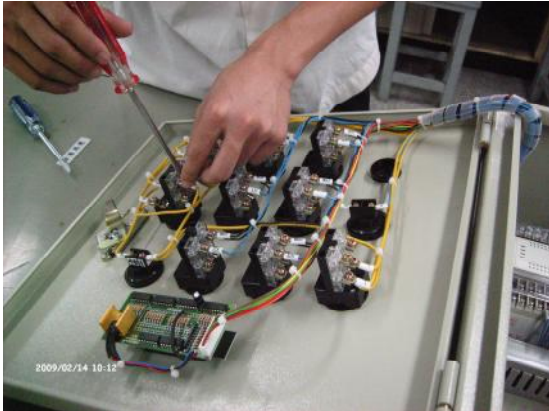


圖4-17

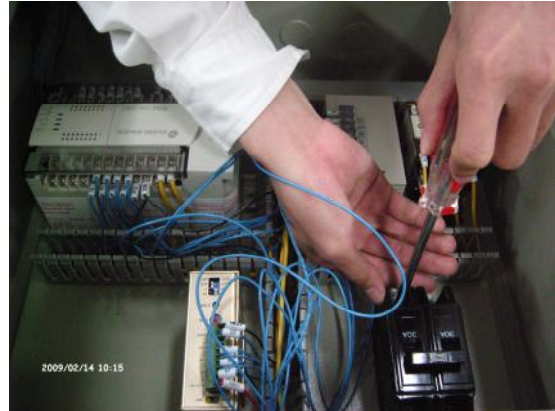
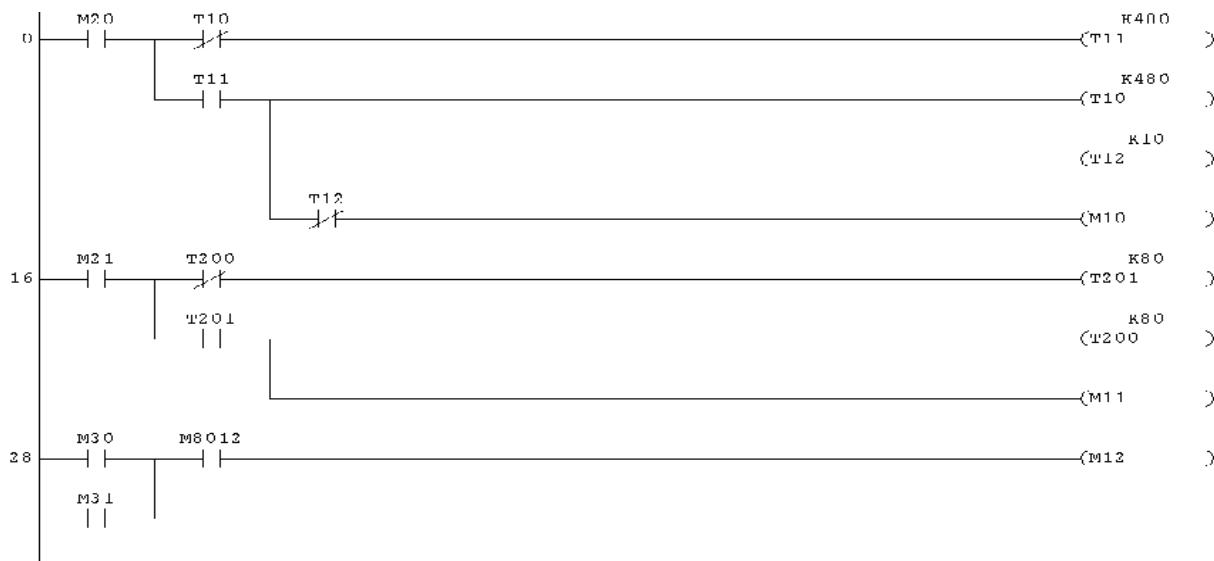
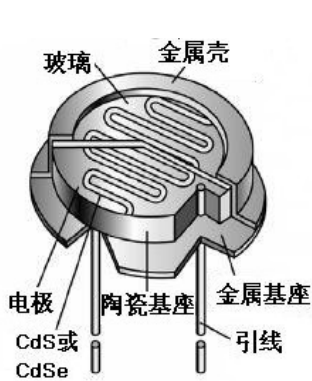


圖4-18

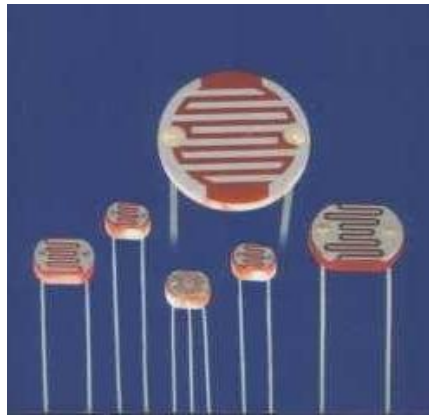


八、電路動作原理

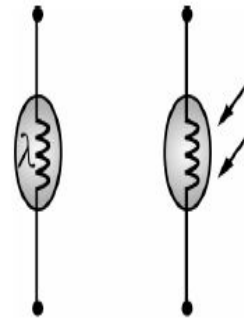
(一) 電路相關知識



光敏電阻結構圖片



光敏電阻外觀圖片



光敏電阻 CDS 之符號

光敏電阻器以硫化隔製成，簡稱為 CDS，通常使用熱壓結晶體之光電傳導零件，其特性有：

1. 光電傳導零件之特性：

CDS 之相對靈敏度與照射光線之靈敏度有關，波長由 5500 至 6500A($1\text{A}=1 \cdot 10^{-8}\text{cm}$)之間有最大的靈敏度。

2. 照度特性：

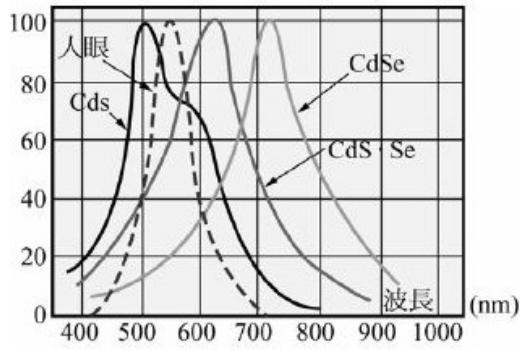
在同樣之電壓下，照度愈強，光電流愈大，亦即是電阻愈小，適當的添加雜質，便能使照度在小 1~1000 lux 範圍內保持與光電時間的直線關係。

3. 時間響應特性：

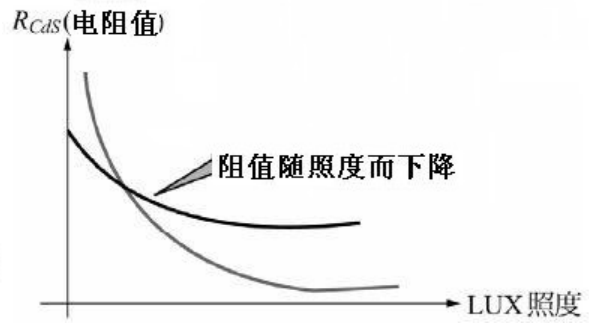
光照射到元件，光電流達到正常值之 63% 的時間，稱為"上升時間"，反之將光遮斷，而光電流減少為原來的 63% 之時間，則叫做"衰弱時間"。一般其值為 10 毫秒至數秒，若置於黑暗的時間較短而有照度愈強，響應時間就有愈短之傾向，此外，負載電阻增大，則上升時間變短而衰弱時間就變長。

4. 溫度特性：

CDS 之禁帶寬度高達 2.4eV(eV 為電子伏特)，故可以在 $-20^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 之範圍內工作，當溫度上升，光靈敏度減少，在低照度時特別顯著。

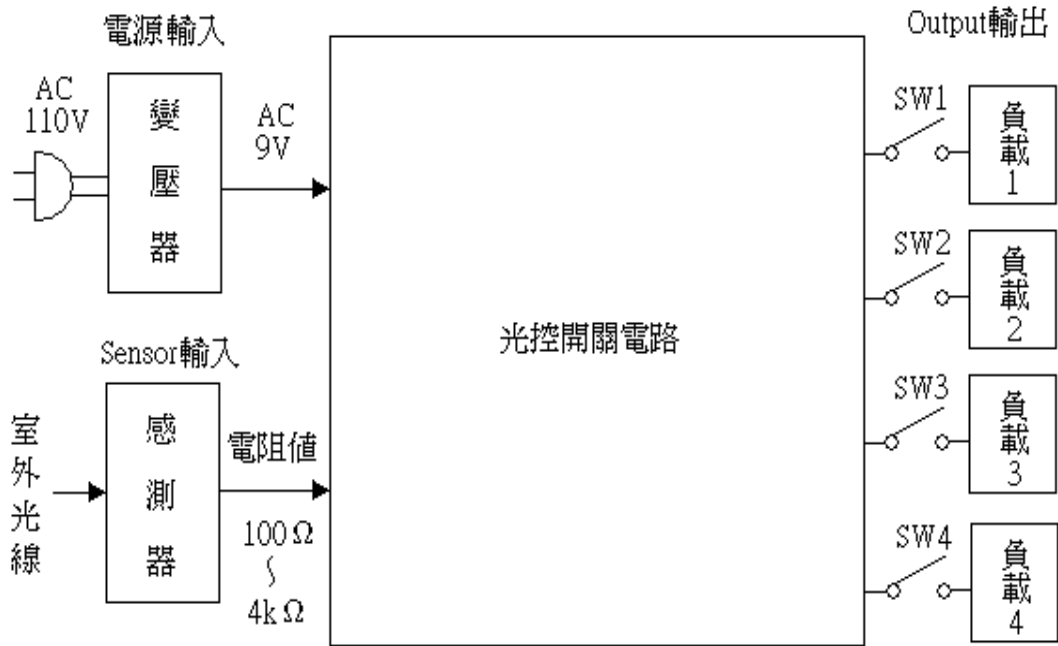


光敏電阻光譜圖



光敏電阻特性曲線

(二) 電路方塊圖

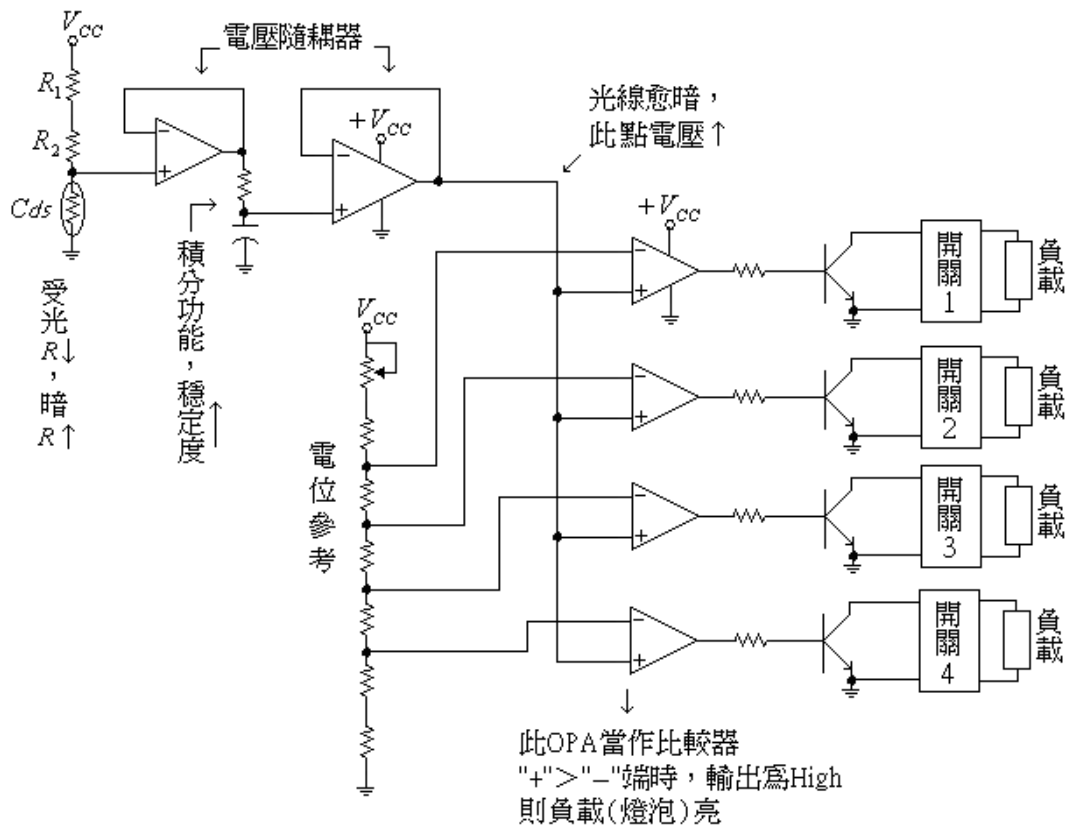


(三) 電路動作說明

從上面電路方塊圖及元件特性原理設計，電源部分是由插座AC 110V 交流電源輸入經過變壓器降壓後，接至電路板經橋式電路整流濾波由 7805 穩壓 IC 輸出，以提供電路直流 5V 電源，另外室外反射鏡機構光線由光敏電阻依光線強弱轉換為電阻值經 OPA 電壓放大再積分使電路更加穩定，以避免外界光線有立即干擾而使開關錯誤動作，最後再經過 OPA 當比較器，依照電位參考值判斷是否驅動電晶體啟動繼電器當開 關來點亮電燈，室外光線對室內補光與室內開關動作點燈情況請參考下表所示。

室外光線	SW 1(電燈1)	SW 2(電燈2)	SW 3(電燈3)	SW 4(電燈4)	目標室內400 lux
0~100 lux	ON	ON	ON	ON	
100~200 lux	OFF	ON	ON	ON	
200~300 lux	OFF	OFF	ON	ON	
300~400 lux	OFF	OFF	OFF	ON	
> 400 lux	OFF	OFF	OFF	OFF	

(四) 電路工作圖



(五) 電路板製作過程

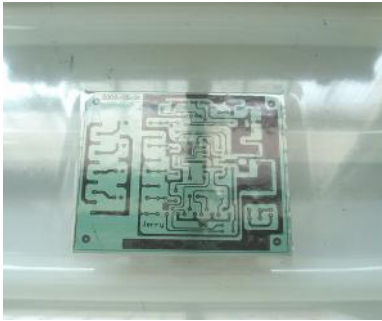


圖4-19 真空準備曝光



圖4-20 電路板準備顯影



圖4-21 電路板顯影完成



圖4-22 洗掉多餘的銅

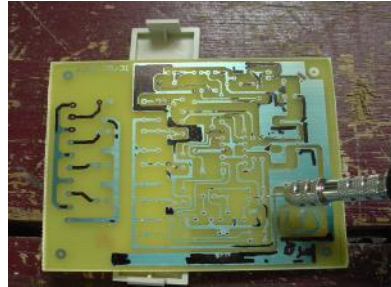


圖4-23 電路板鑽孔

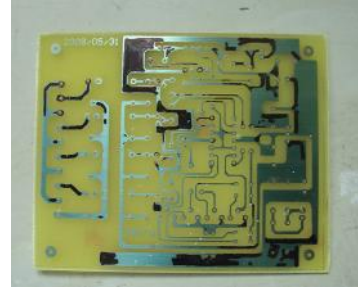


圖4-24 電路板完成圖

(六) 模擬教室與太陽照射時電燈啓動情形



圖4-25 模擬教室情形

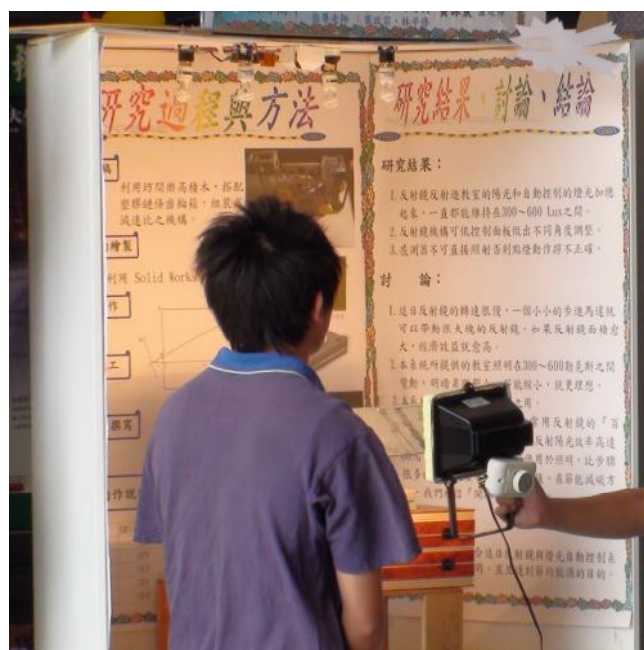


圖4-26 模擬太陽光照射情形

(七) 學校的庫房實際測試情形



圖4-27 組裝機構支撐架



圖4-28 組裝機構支撐架



圖4-29 機構向外延伸



圖4-30 機構安裝於室外



圖4-31 天花板電燈及自動控制系統安裝



圖4-32 窗戶遮一半模擬百葉窗情形

一開始是利用木板模擬教室天花板，並裝置四盞燈，利用投射光源模擬太陽光，於預賽中獲得肯定，進而付諸行動，借了學校一間庫房(面積為4.8m *2.6m)開始佈線實際測試，因為西曬的教室都會裝置窗簾，所以將窗戶遮住一半模擬百葉窗的情形，如果可行未來的窗簾應該是由下往上關閉，讓陽光得以反射進來獲得所需照度。

伍、研究結果：

一、以6/5日所測得的數據為例，先不開燈實測太陽光的照度

自然光(沒有反光鏡、亦無燈光) 日期:6/5 日							
時間	有遮窗 戶一半	沒有遮 窗戶	備註	時間	有遮窗 戶一半	沒有遮 窗戶	備註
08:00	90	140	烏雲	10:00	160	250	
08:05	88	137	烏雲	10:05	162	213	
08:10	125	248		10:10	220	280	
08:15	120	250		10:15	180	262	
08:20	130	240		10:20	97	192	烏雲
08:25	160	270		10:25	99	150	烏雲
08:30	222	320		10:30	150	218	
08:35	119	197		10:35	146	197	
08:40	180	278		10:40	136	179	
08:45	230	321		10:45	135	181	
08:50	206	280		10:50	134	178	
08:55	220	284		10:55	147	193	
09:00	165	250		11:00	123	183	半烏雲
09:05	80	155	烏雲	11:05	153	230	
09:10	90	163	烏雲	11:10	163	218	
09:15	103	153	烏雲	11:15	138	218	
09:20	158	237		11:20	135	190	
09:25	160	239		11:25	108	161	半烏雲
09:30	160	241		11:30	123	173	
09:35	162	228		11:35	125	170	
09:40	150	240		11:40	123	180	
09:45	144	262		11:45	93	152	烏雲
09:50	180	320		11:50	135	200	
09:55	160	240		11:55	150	252	
				12:00	148	194	

追日機構反射(無燈光情形) 日期:6/5日							
時間	有遮窗 戶一半	沒有遮 窗戶	備註	時間	有遮窗 戶一半	沒有遮 窗戶	備註
08:00	105	145	烏雲	10:00	333	452	
08:05	108	142	烏雲	10:05	443	424	
08:10	335	486		10:10	436	500	
08:15	330	484		10:15	392	531	
08:20	290	450		10:20	105	203	烏雲
08:25	350	525		10:25	109	173	烏雲
08:30	390	522		10:30	350	430	
08:35	400	530		10:35	322	401	
08:40	362	509		10:40	254	360	
08:45	366	538		10:45	300	390	
08:50	330	481		10:50	280	380	
08:55	380	487		10:55	382	477	
09:00	347	484		11:00	275	363	半烏雲
09:05	128	218	烏雲	11:05	398	507	
09:10	130	220	烏雲	11:10	409	530	
09:15	132	225	烏雲	11:15	408	490	
09:20	410	572		11:20	380	492	
09:25	361	460		11:25	188	306	半烏雲
09:30	310	440		11:30	380	490	
09:35	360	458		11:35	390	460	
09:40	310	447		11:40	375	470	
09:45	294	444		11:45	152	204	烏雲
09:50	390	548		11:50	373	465	
09:55	301	437		11:55	398	506	
				12:00	401	476	

模擬半天情形，因有時會有烏雲，或是被高處的雲稍微遮住，以致於數值有大有小，若取平均值則

	自然光(沒有反光鏡、亦無燈光)	追日機構反射(無燈光情形)	增加情形
有遮窗戶一半	144.7 lux	315.06 lux	170.36 lux
沒有遮窗戶	218.9 lux	423.18 lux	204.28 lux

二、以6/6日所測得的數據為例，實測太陽光的照度以及自動控制開燈情形

燈光及反射鏡統合照度					日期:6/6 日				
時間	有遮窗戶一半	開幾盞燈(23W)	總照度	備註	時間	有遮窗戶一半	開幾盞燈(23W)	總照度	備註
08:00	103	4	420	烏雲	10:00	173	3	463	烏雲
08:05	118	3	435	烏雲	10:05	243	2	434	半烏雲
08:10	353	1	446		10:10	223	2	422	半烏雲
08:15	365	1	460		10:15	391	1	504	
08:20	343	1	452		10:20	413	0	413	
08:25	370	1	483		10:25	421	0	421	
08:30	365	1	471		10:30	368	1	472	
08:35	373	1	492		10:35	383	1	495	
08:40	410	0	410		10:40	410	0	410	
08:45	403	0	403		10:45	420	0	420	
08:50	386	1	503		10:50	385	1	512	
08:55	373	1	495		10:55	384	1	503	
09:00	246	2	463	半烏雲	11:00	364	1	487	
09:05	404	0	404		11:05	387	1	516	
09:10	386	1	510		11:10	420	0	420	
09:15	373	1	484		11:15	403	0	403	
09:20	430	0	430		11:20	387	1	519	
09:25	406	0	406		11:25	374	1	496	
09:30	388	1	504		11:30	383	1	503	
09:35	386	1	498		11:35	426	0	426	
09:40	379	1	486		11:40	407	0	407	
09:45	253	2	472	半烏雲	11:45	377	1	488	
09:50	153	3	473	烏雲	11:50	363	1	475	
09:55	138	3	453	烏雲	11:55	365	1	443	
					12:00	420	0	420	

註：使用螺旋式省電燈泡(23W)

由此可知可以呼應本研究之目的，利用有遮窗戶一半(代表百葉窗)為例，反射鏡(20*30cm)可以提供170.36 lux的照度，若將鏡面換大，則照度也會明顯增加。再者，本研究另一目的則是透過自動控制系統，當光線不足時如圖5-1~圖5-2，則會自動開啓電燈，此時也有設定一個範圍，避免照度上升或下降到臨界點，電燈會突然忽暗忽亮，導致損壞燈具造成眼睛的不舒服，補足照度後使得總照度得以達到400~600 lux範圍內，如表5-1所示。

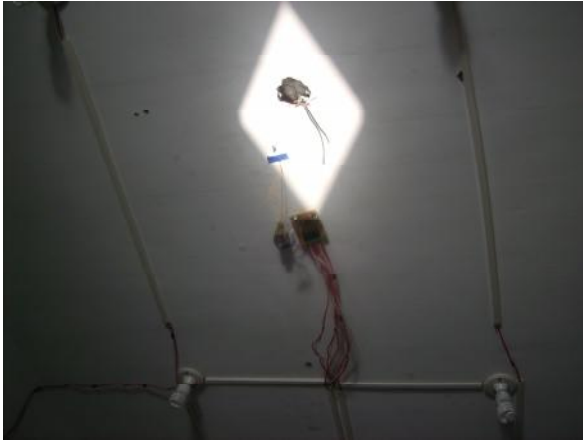
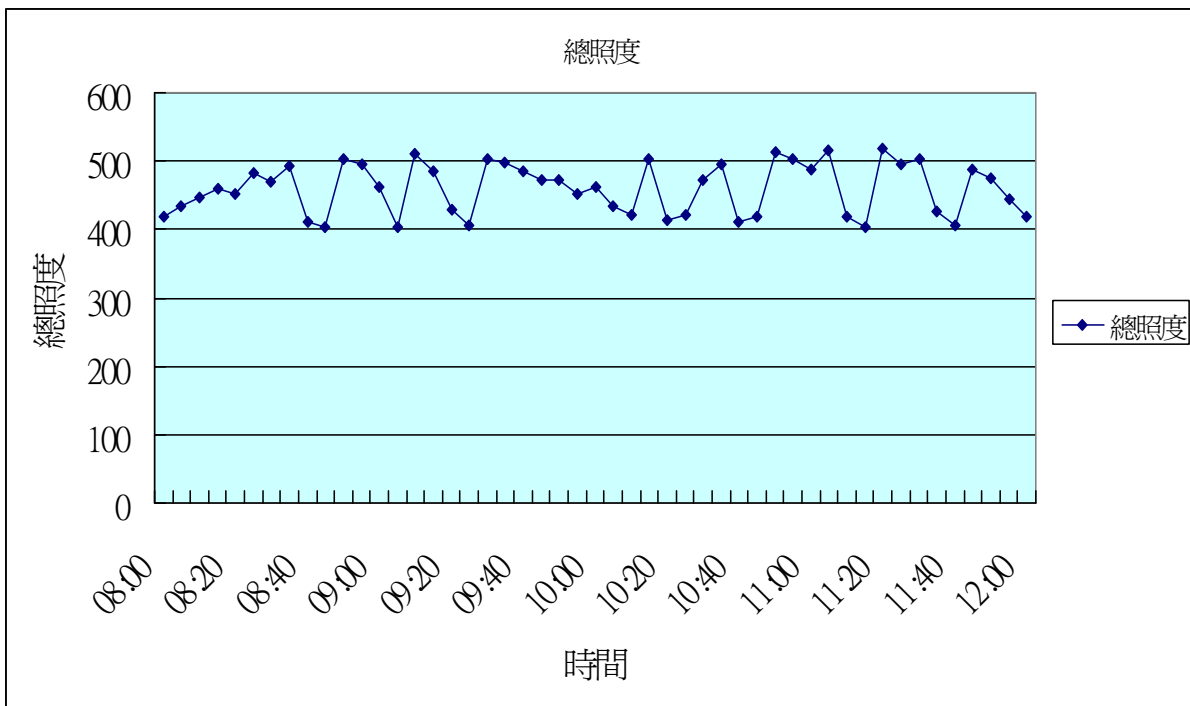


圖5-1 陽光反射於天花板情形



圖5-2 陽光不足時自動開啓電燈情形

表5-1 光照時間與總照度關係(6/6日)



陸、討論：

- 1.我們最初以為本系統的經濟效益比太陽能發電系統好「八百倍」，這是僅就晶片與反射鏡之價格與發光效率來比較，但是本系統的經費大都花在追日機構和控制系統，而不是花在反射鏡上面，所以總和而言，應不到八百倍，但是，太陽能發電同樣需要追日機構，否則發電效益更低，而且需要電池儲存電力，再由電力點亮燈具，又要損失過半。其成本超越我們所能計算的範圍。所以只能粗略估計，本系統比太陽能發電好「數百倍」。
- 2.追日反射鏡的轉速很慢，所以一個小小的步進馬達就可以帶動很大塊的反射鏡，所以如果反射鏡面積越大，經濟效益就越高。
- 3.本系統所提供的教室照明在400~600 lux之間變動，已經很適合閱讀。
- 4.本系統只能作為白天照明之用，太陽能發電所發出來的電，用途較廣泛。
- 5.全球能節省的照明用電，已經遠比太陽能發電的總電量更多，打個比喻：當你的口袋裡一直掉出百元大鈔時，你不必急於撿起路邊的一元硬幣，應該優先把口袋補好。本系統好比把口袋補好，太陽能發電好比撿拾路邊的硬幣。
- 6.能量的轉變，每一個步驟都伴隨損失，所以陽光直接使用於照明比步驟很多的太陽能發電更具經濟價值，在能源方面，我們相信「開源不如節流」。
- 7.如在大教室則需分區域，且量測點的位置應五個點或甚至更多，再取平均值較為理想。
- 8.反射鏡光位置稍會偏移，但都在使用範圍內。

柒、結論：

本研究係經研究目的之探討，本系統確實能結合追日反射鏡與燈光自動控制系統，提供教室穩定照明，使用很方便，能達到節約能源的目的，因此本研究完全符合研究目的。

1. 經研究證實可以達成最初研究目的：反射鏡反射進教室的陽光和自動控制的燈光加總起來，一直都能維持在400~600 lux之間，以符合教室照度之要求。
2. 反射鏡機構可依控制面板做出不同角度調整，將室外光線有效反射進來以達成最大進光量，並且光控電路能分四段不同照度，正確動作開啓或關閉電燈。
3. 因一年四季太陽光的位置會有所不同，本研究有加裝萬向接頭可以自由調整角度，並且於PLC程式設計上，設計有角度手動微調裝置。

捌、參考資料及其他：

1. 王柏鴻，石油衝擊，台北：時報文化，民96。
2. 吳思達，機械設計大意，台北：全華，民81。
3. 許全守，機械基礎實習—鉗工，台北：全華，民80。
4. 葉倫祝，機件原理，台北：全華，民97。
5. 郭宏賓，深入淺出零件設計Solid Works2008，台北：全華，民97。
6. 鄭仰哲，基礎物理B，台北：全華，民95。
7. 鍾富昭，數位電路實習與專題製作，台北：全華，民91。
8. 陳福春，感測器，台北：全華，民87。

【評語】 040819

作者確實製作了一組可調角度的鏡片組以及室內燈光的開關控制機構。但其方法並未創新，應由在實際的應用角度，思考更進一步，研究設計室內各角落的光度控制。尤其標題存在著嚴重的錯誤。