

第十七屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA17-176

作品名稱：碳黑塗料運用於訊號識別之可行性分析

姓名：林紀存

關鍵字：碳黑、電容、開關

目 錄

摘要

壹、 研究動機.....	3
貳、 研究目的.....	3
參、 研究過程與方法.....	4
肆、 結論.....	23
伍、 討論與應用.....	23
陸、 參考資料與其他.....	25

摘要

本實驗為自行調製不同濃度之碳黑塗料，依不同寬度將塗料塗布於紙上，透過電路量測其電容感應之反應時間，試圖依實驗結果找出最佳寬度、濃度、環境溫溼度、耐用度及調整出最佳電路設計，此實驗結果，將可運用於未來家庭開關、汽車門把或是電器產品之控制功能，甚至結合具藝術感的圖騰，實現繪製不規則形狀開關之未來性，顛覆我們對於傳統開關的認知，開關或控制鈕不再是固態且佔空間的，其最大的特色為未來的開關或是選項按鈕皆可自行繪製，只需薄薄一層塗料塗布即可扮演控制訊號的重責大任，且因傳統開關多為機械原理，因此使用久了，按壓時會有火花產生，容易發生氣爆，所以一旦本實驗可行，除了可避免氣爆發生，亦可大幅減少塑膠的使用，當然對我們的環境也就更加友善了，且也讓我們的生活增添不少驚奇及趣味。

關鍵詞：碳黑、電容、開關

碳黑塗料運用於訊號識別之可行性分析

壹、研究動機

一回在進行實驗時看到牆上掛著的書法字，好奇心驅使下將它拿下來，使用三用電錶以歐姆檔量測毛筆字，居然量測到 $2M\Omega$ ，這樣的結果讓我們感到非常意外，墨汁能導電，於是我們放下手邊的實驗，著手研究墨汁成分，更開始研究這意外的發現，我們想到，若這個研究是可行的，那麼未來的開關，將可以用塗布的方式來施行，舉凡家庭開關、汽車、電器等控制開關，將可以繪製的圖騰的替代，這樣一來，將改變目前我們對於開關的認知。傳統開關，因為是機械原理，所以使用時常會有火花產生，在平常使用不會發生甚麼意外，但若是空間內瓦斯濃度稍高時，那火花的產生便會有氣爆的危險，因此改變現有開關的施行方法亦是非常重要的研究，希望透過我們的研究數據，驗證以塗料來當開關的可行性。

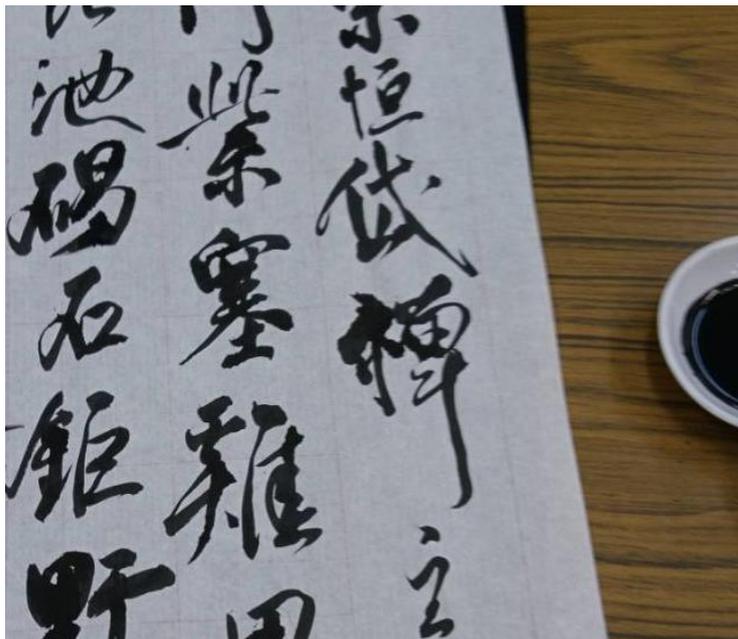


圖 1 以墨汁書寫毛筆字

貳、研究目的

- (一)、 了解墨汁的成分。
- (二)、 了解溶液濃度的調製。
- (三)、 了解電容感應。

- (四)、 了解電路 LAYOUT 程序。
- (五)、 了解 C 語言程式撰寫。
- (六)、 了解最佳感應濃度及塗布寬度。
- (七)、 了解溫溼度與感應數值之影響。
- (八)、 了解絕緣層與感應數值之影響。

參、研究過程與方法

一、墨汁的成分

墨的主要原料是煤煙、松煙、明膠等，是碳元素以非晶質型態的存在。通過硯用水 研磨可以產生用於毛筆書寫的墨汁，在水中以膠體的溶液存在。墨的水分及膠的成分不同，會影響到墨的黏度。



圖 2 市售墨汁

二、質量百分濃度

質量百分濃度又稱重量百分濃度，是一種表示混合物中特定物質濃度的方法，是特定物質的質量相對於所有物質總質量的比例，定義為混合物中所有物質的質量百分濃度總和為 1。

質量百分濃度又稱重量百分濃度：

$$w_i = \frac{m_i}{m_{tot}}$$

混合物中所有物質的質量百分濃度總和為 1：

$$\sum_{i=1}^N m_i = m_{tot}; \sum_{i=1}^N w_i = 1$$

三、電容

電容是一種以電場形式儲存能量的無需電源器件。在有需要的時候，電容能夠把儲存的能量釋出至電路。電容由兩塊導電的平行板構成，在板之間填充上絕緣物質或介電物質。電容量和電極的面積成正比，和二電極之間的距離成反比。電容量也和二電極間介電質的相對電容率成正比。平行板電容器的電容量如下式：

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

上式中，C 為電容量，單位法拉(F)， ϵ 為介電係數，單位法拉/公尺(F/m)

A 為面積，單位平方公尺(m²)，d 為距離，單位公尺(m)

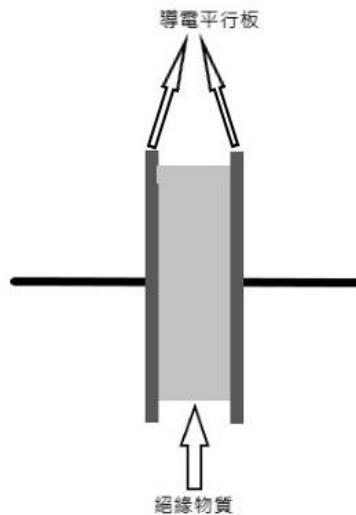


圖 3 電容基本結構

(一) 雜散電容

任意兩個相鄰導體，其電容通常很微小，但仍舊可以被視為電容器。其效應稱為「雜散電容」。原本各自孤立的電路，由於雜散電容的作用，在某種情況下可能會讓兩個電路互相干擾對方的信號，這效應稱為串擾。但雜散電容正是電容式感測應用的關鍵。

容抗交流電頻率越高，容抗越小，即電容的阻礙作用越小。容抗可由下面公式計算：

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad , \quad X_c : \text{電容抗}, f : \text{頻率}, C : \text{電容量}$$

(二)電容式感應原理

方法是切換微控制器發送腳位到新狀態，然後等待接收腳位變為與送出腳位相同的狀態。在迴圈循環內增加一個變量來定時接收腳位的狀態變化，該方法產生變量的值為反應延遲時間。

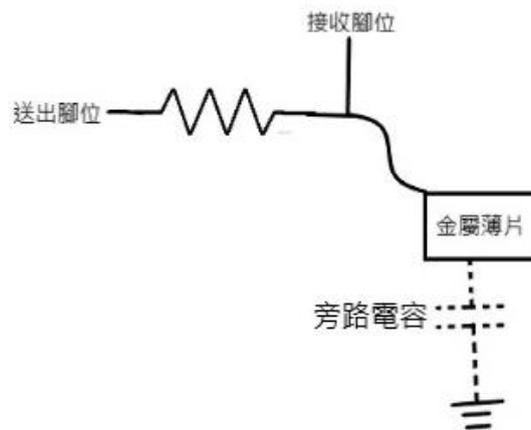


圖 4 電容感應示意圖

四、觸碰感應實驗設計

我們自行調製墨汁，將墨汁依碳黑比例來區分，調成濃度 30%、40%、50% 之溶液，此三種濃度的選擇是依毛筆字書寫在紙上能夠滑順為主。接著分別塗布寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之 10cm 線條，再搭配不同電阻值 2.2MΩ、10MΩ、40MΩ 量測實驗數據，將數據紀錄後繪製曲線。



圖 5 塗布不同寬度線條

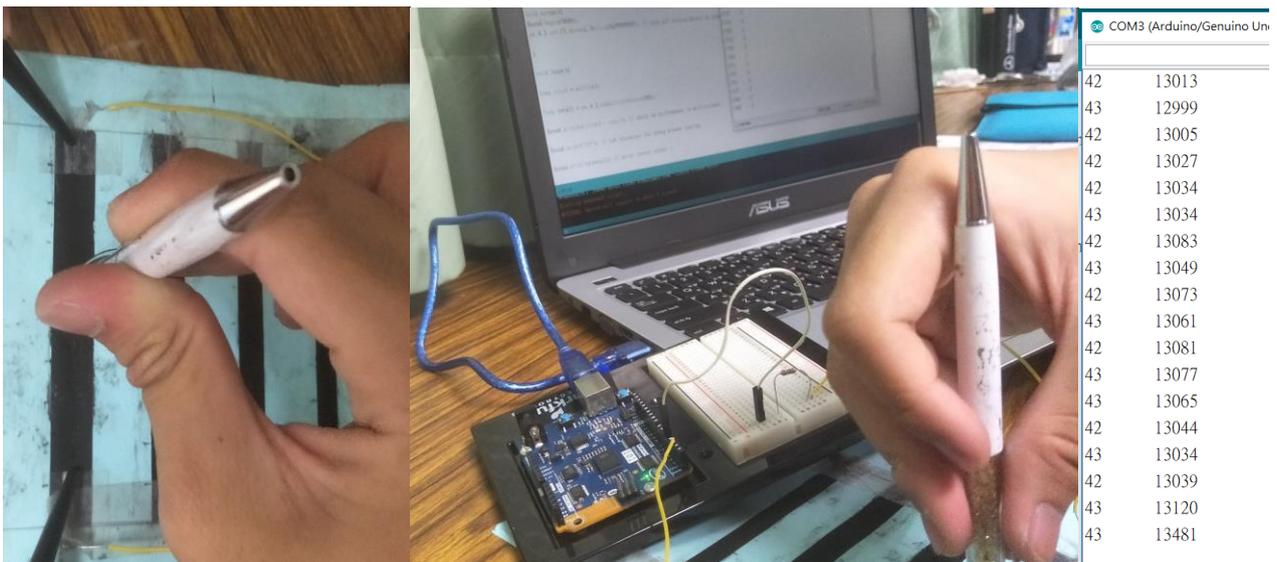


圖 6 電容感應實驗

五、固定濃度改變線條寬度量測實驗

(一)電阻值為 $2.2M\Omega$ ，以濃度 30% 墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 $2.2M\Omega$ 、墨汁濃度 30%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 1 電阻值為 $2.2M\Omega$ ，濃度 30%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	25600	254000	192000	162000	123000	128000	90000	71000
0.4CM	730	58300	50200	51200	46800	45200	43600	41400
0.6CM	940	89000	75000	70600	66000	64300	62000	56000
0.8CM	698	12200	11600	11300	10900	10600	10300	10100
1CM	164	17800	16980	16100	15300	13800	12040	11080
1.2CM	292	9500	8900	8600	8500	8300	7900	7800
1.4CM	2280	63000	59200	59600	57000	57000	55000	51200
1.6CM	3180	73400	59600	44600	43600	41200	39200	38600

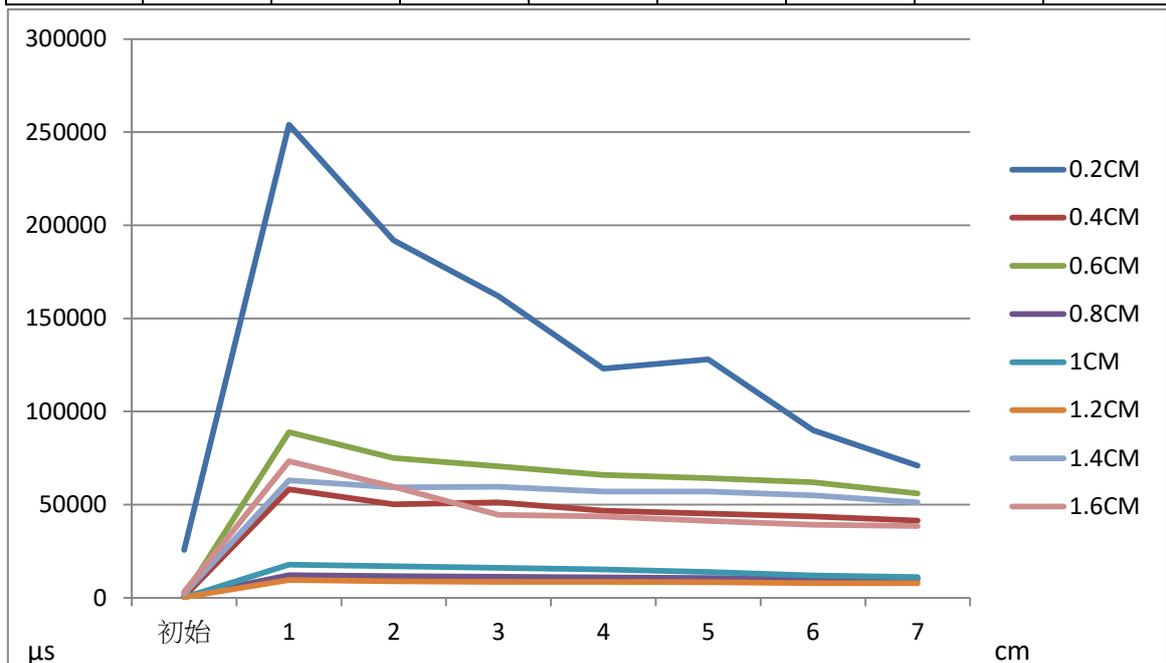


圖 7 電阻值為 $2.2M\Omega$ ，濃度 30%–不同寬度與反應延遲時間之關係

(二)電阻值為 $2.2M\Omega$ ，以濃度 40% 墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 $2.2M\Omega$ 、墨汁濃度 40%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 2 電阻值為 2.2MΩ，濃度 40%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	508	67800	65200	63000	62000	59400	55000	49400
0.4CM	343	57500	49500	47300	46100	45100	45100	44800
0.6CM	374	65600	63000	60400	58200	55600	42000	41000
0.8CM	338	66200	64200	63400	63000	63000	60800	58400
1CM	378	66000	64500	64300	62300	61800	60300	57200
1.2CM	630	57400	56000	54600	53600	52800	50400	49200
1.4CM	430	56000	54200	53000	51600	49800	47800	47000
1.6CM	757	56800	56400	55600	54600	53800	52600	51600

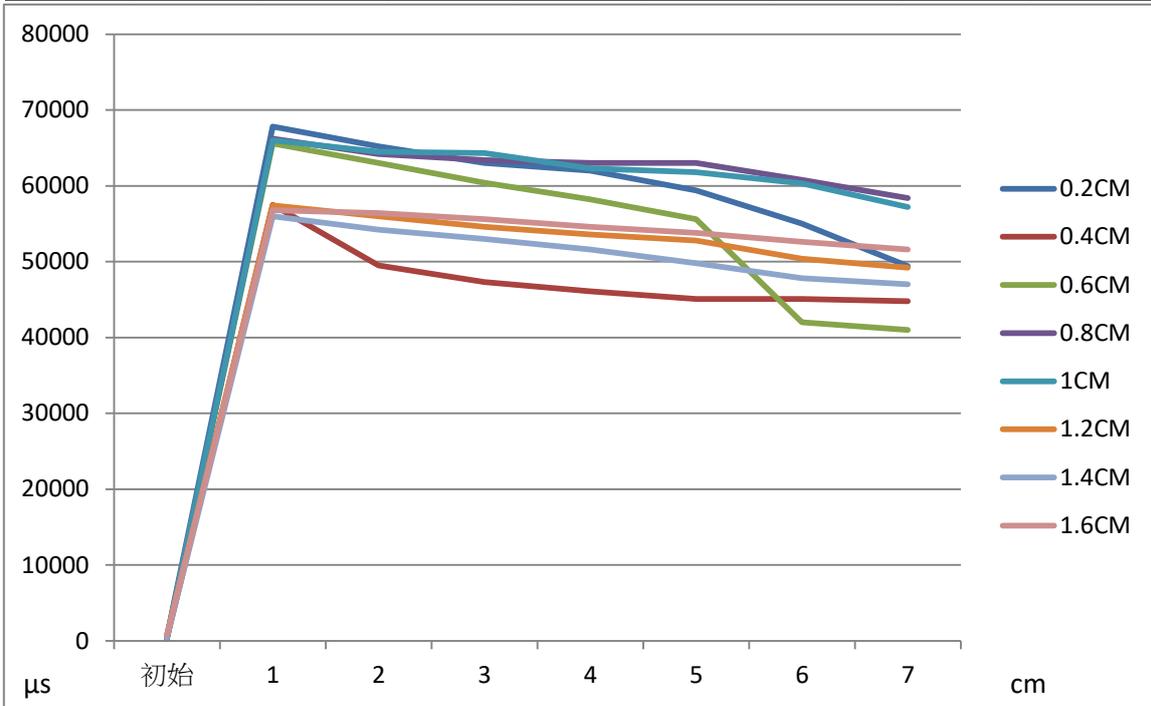


圖 8 電阻值為 2.2MΩ，濃度 40%–不同寬度與反應延遲時間之關係

(三)電阻值為 2.2MΩ，以濃度 50%墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 2.2MΩ、墨汁濃度 50%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 3 電阻值為 2.2MΩ，濃度 50%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	476	69800	66800	64800	63400	60200	57200	56600
0.4CM	636	77200	70800	73200	70800	69000	63200	61600
0.6CM	746	76000	72800	70400	68800	68000	64600	62800
0.8CM	904	72600	70000	68600	66800	68000	64600	62800
1CM	856	73600	71800	70200	70400	69600	69000	67600
1.2CM	1020	79200	74400	72600	75400	73800	72600	69800
1.4CM	994	71000	69600	68800	66600	66000	66200	65600
1.6CM	920	70000	68000	66000	67200	66200	65600	64600

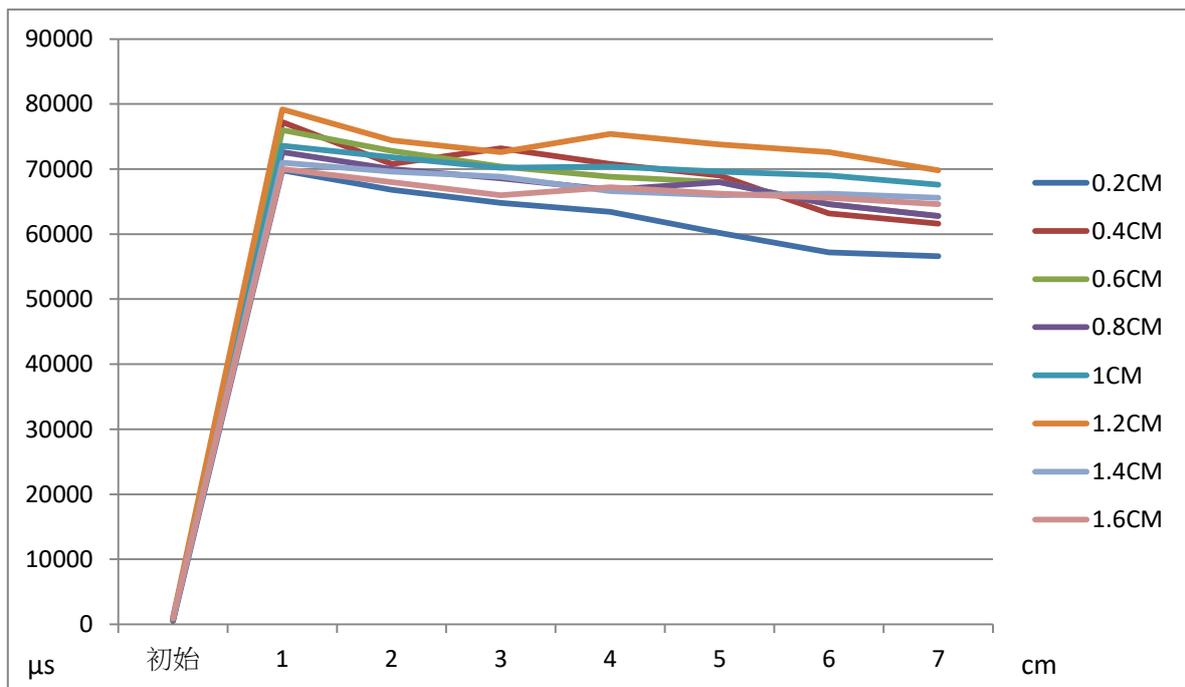


圖 9 電阻值為 2.2MΩ，濃度 50%–不同寬度與反應延遲時間之關係

(四)電阻值為 10MΩ，以濃度 30%墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 10MΩ、墨汁濃度 30%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 4 電阻值為 10MΩ，濃度 30%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	27000	272460	276400	250675	243984	218510	183680	154350
0.4CM	3100	108355	100865	99013	78746	61550	60655	58650
0.6CM	4000	110390	105850	103650	101980	98615	97165	94350
0.8CM	1650	46098	44350	45780	44350	45650	24800	20893
1CM	800	51890	44765	46590	42843	51655	34651	19533
1.2CM	1210	54980	53100	51350	42650	38982	46590	35890
1.4CM	8700	105650	87550	78980	90651	77615	50830	40533
1.6CM	10000	110600	105840	98355	81890	75950	66860	52980

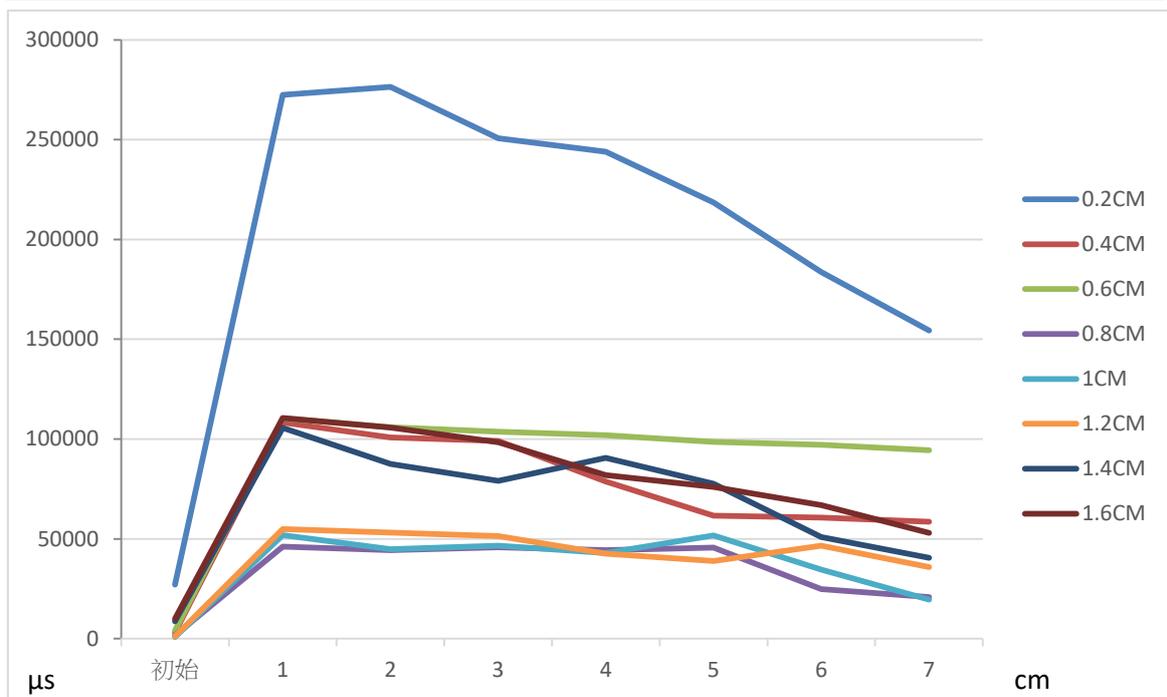


圖 10 電阻值為 10MΩ，濃度 30%–不同寬度與反應延遲時間之關係

(五)電阻值為 10MΩ，以濃度 40%墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 10MΩ、墨汁濃度 40%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 5 電阻值為 10MΩ，濃度 40%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	2100	72650	71840	71045	69355	63190	58832	53630
0.4CM	1530	73490	74932	72340	69530	67395	53443	51423
0.6CM	681	74810	78320	71635	67380	65813	51865	44830
0.8CM	19843	73074	77640	70630	69333	66724	51363	49505
1CM	650	76730	79633	70843	65542	66921	53333	50025
1.2CM	1300	72053	75580	67530	66001	65873	57990	50602
1.4CM	1400	71934	70122	65880	61870	58555	47325	44890
1.6CM	1600	61550	72440	66312	63521	61355	53885	51333

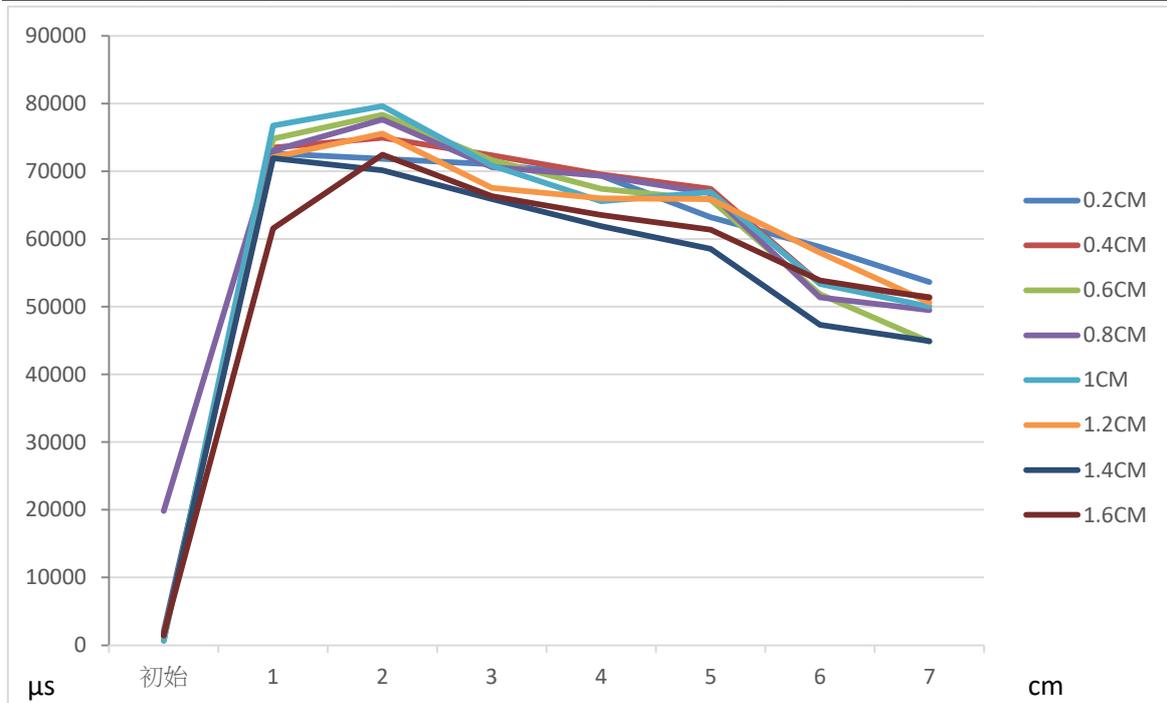


圖 11 電阻值為 10MΩ，濃度 40%–不同寬度與反應延遲時間之關係

(六)電阻值為 10MΩ，以濃度 50%墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 10MΩ、墨汁濃度 50%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 6 電阻值為 10MΩ，濃度 50%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	2000	79555	79530	76555	75880	70435	69905	59043
0.4CM	2200	88340	91423	77630	74361	73610	68452	59145
0.6CM	2500	86030	89310	83426	81220	78325	67345	66825
0.8CM	2600	87833	89430	74215	73994	72104	70700	64325
1CM	2500	89640	90020	75930	74680	73302	70243	65980
1.2CM	1900	98555	90540	74320	70020	71070	70720	63150
1.4CM	356	90810	89960	69380	68685	67042	66960	58350
1.6CM	359	89570	89540	70430	69435	67302	66703	58265

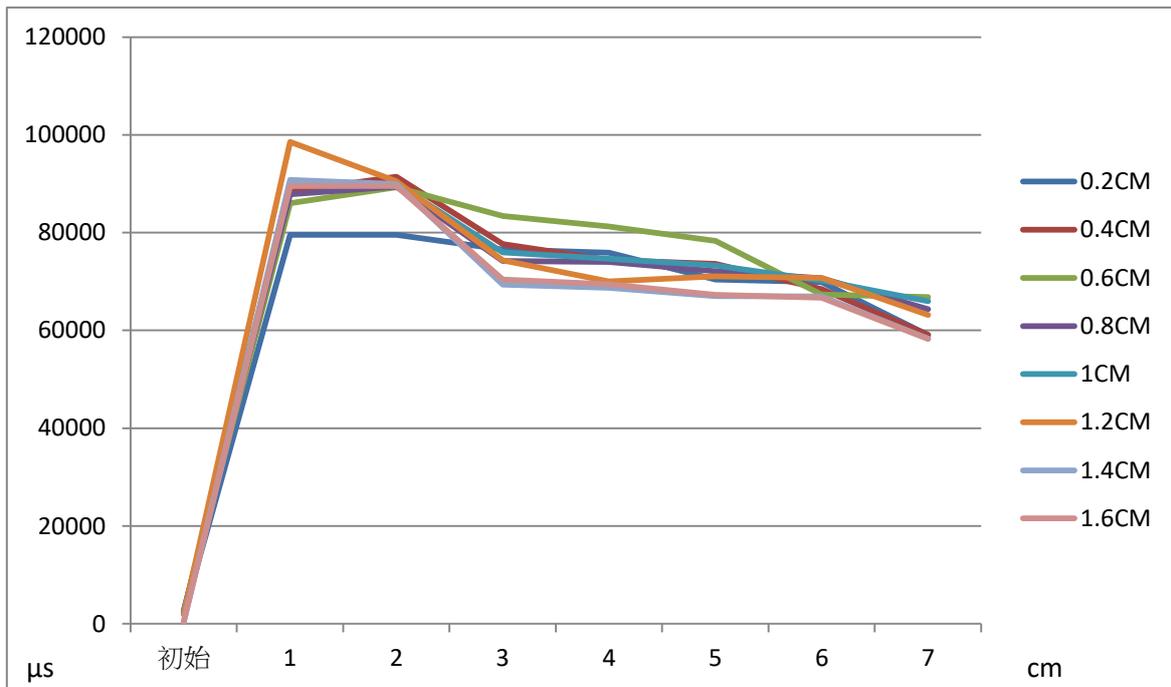


圖 12 電阻值為 10MΩ，濃度 50%–不同寬度與反應延遲時間之關係

(七)電阻值為 40MΩ，以濃度 30%墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、

10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 40MΩ、墨汁濃度 30%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 7 電阻值為 40MΩ，濃度 30%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	54983	493580	503520	500655	440195	380410	300918	270165
0.4CM	6035	155640	145200	140655	108655	100650	98650	90033
0.6CM	7800	208510	196750	171065	162850	150530	120610	98510
0.8CM	3400	300650	325500	270650	260650	240865	200650	108320
1CM	1755	240980	259830	210890	180980	135813	125650	104600
1.2CM	2450	220890	205350	200980	176870	150720	21555	100610
1.4CM	18330	192843	197685	185560	154360	127550	108320	96350
1.6CM	20050	198650	188515	180680	159750	137420	113450	103760

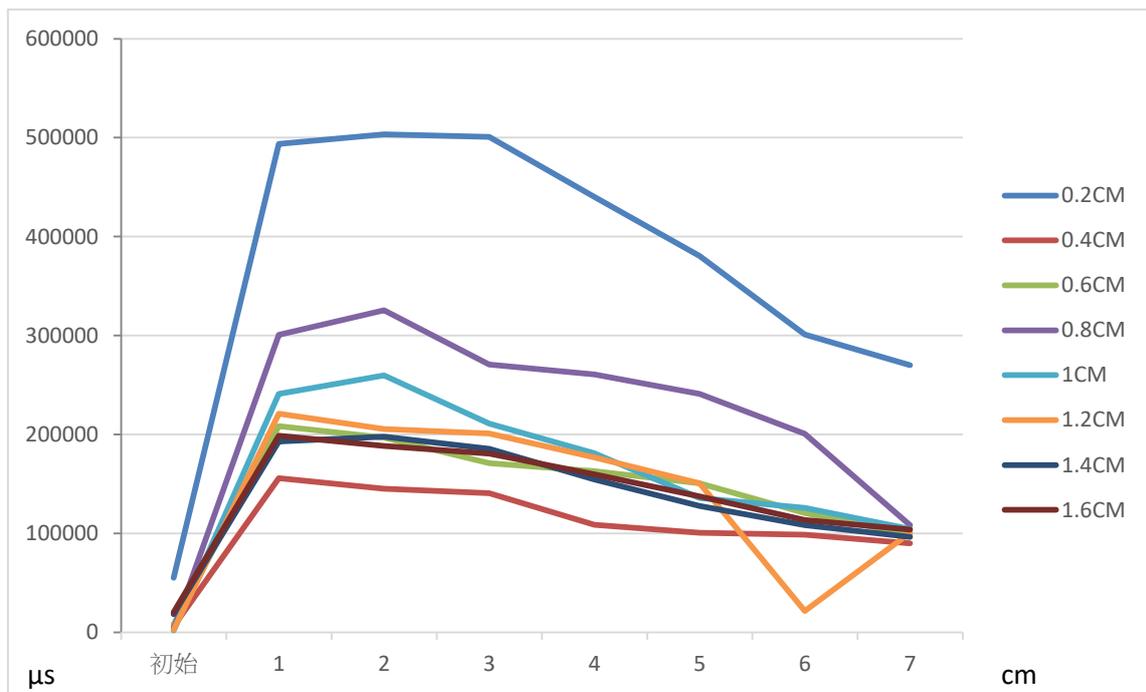


圖 13 電阻值為 40MΩ，濃度 30%–不同寬度與反應延遲時間之關係

(八)電阻值為 40MΩ，以濃度 40%墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 40MΩ、墨汁濃度 40%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 8 電阻值為 40MΩ，濃度 40%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	6255	280650	276350	234950	207650	175400	150650	131655
0.4CM	4600	258640	245950	213980	177980	160850	138350	100980
0.6CM	1960	248650	250987	217651	168400	159300	134980	110510
0.8CM	6330	249300	242840	210850	199800	173435	143765	96685
1CM	1950	250650	254900	217490	191680	165755	138205	99440
1.2CM	4220	248890	251900	247990	216670	175555	135005	99920
1.4CM	4760	245650	205635	175555	168930	149770	128550	99240
1.6CM	5490	246955	234950	199405	164440	138680	111330	100650

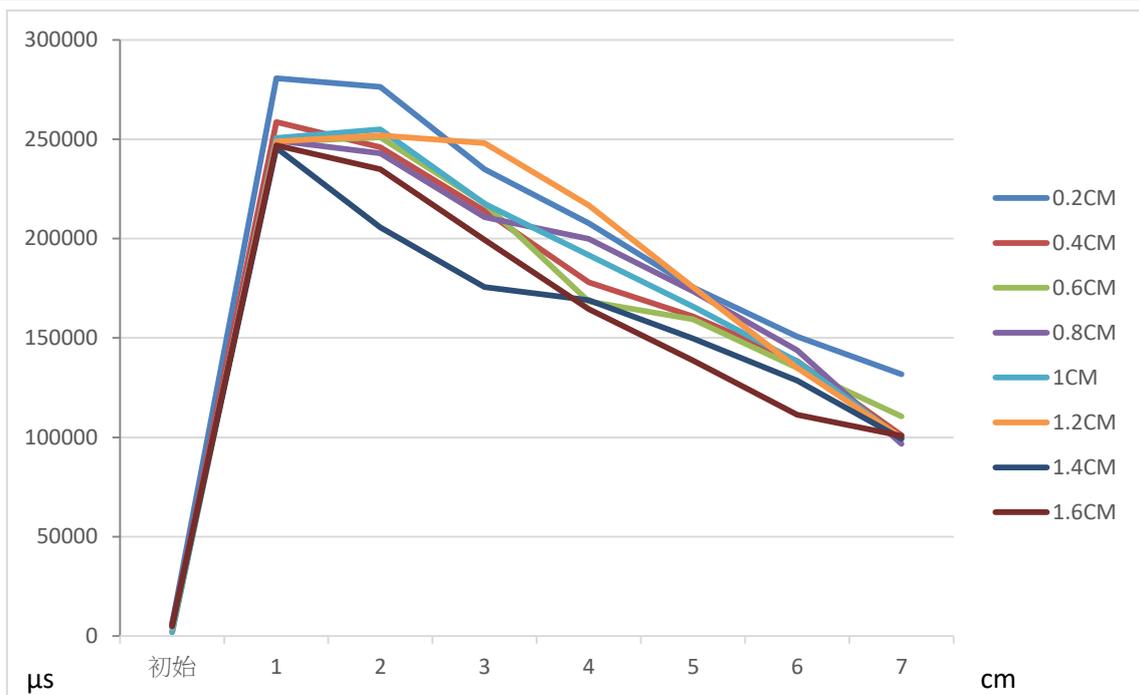


圖 14 電阻值為 40MΩ，濃度 40%–不同寬度與反應延遲時間之關係

(九)電阻值為 40MΩ，以濃度 50%墨汁，分別量測寬度為 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 之線條每隔 1cm 量測一次。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：電阻 40MΩ、墨汁濃度 50%。

(2)應變變因：線條寬度。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

表 9 電阻值為 40MΩ，濃度 50%–不同寬度之反應延遲時間(μs)

	初始	1	2	3	4	5	6	7
0.2CM	3580	127650	113980	113965	105980	94650	88650	83980
0.4CM	5270	136980	119350	119950	109980	95775	88650	86370
0.6CM	5730	135890	119985	120840	115480	107555	92650	89550
0.8CM	6680	137955	118650	119530	103595	94630	93150	91010
1CM	6155	137090	121720	120980	114795	110555	104550	98520
1.2CM	6790	139640	123980	125730	115674	103870	96540	94320
1.4CM	6900	131333	115980	119460	108320	109850	96320	95980
1.6CM	6850	140984	129480	128350	114980	103980	97770	94833

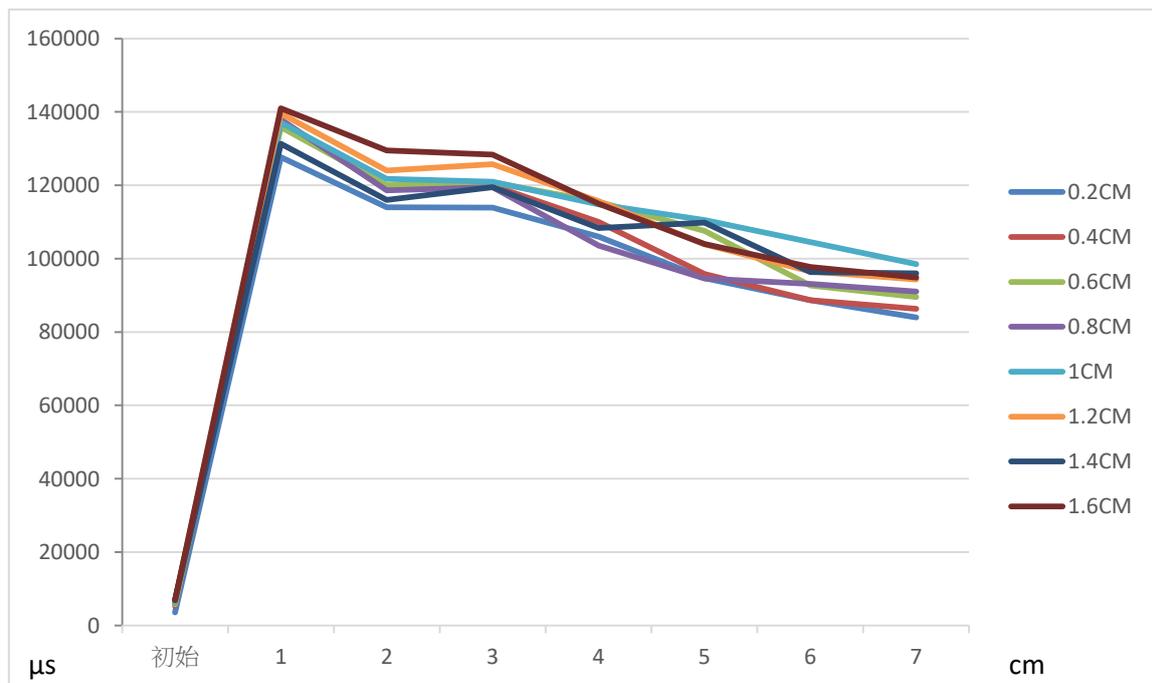


圖 15 電阻值為 40MΩ，濃度 50%–不同寬度與反應延遲時間之關係

六、溫溼度與反應延遲時間量測實驗

(一)濕度值為 60%RH，濃度 40%墨汁，分別量測溫度為 31°C、29°C、27°C、24°C、20°C。

實驗目的：觀察溫溼度影響電容感應的反應延遲時間。

實測結果：

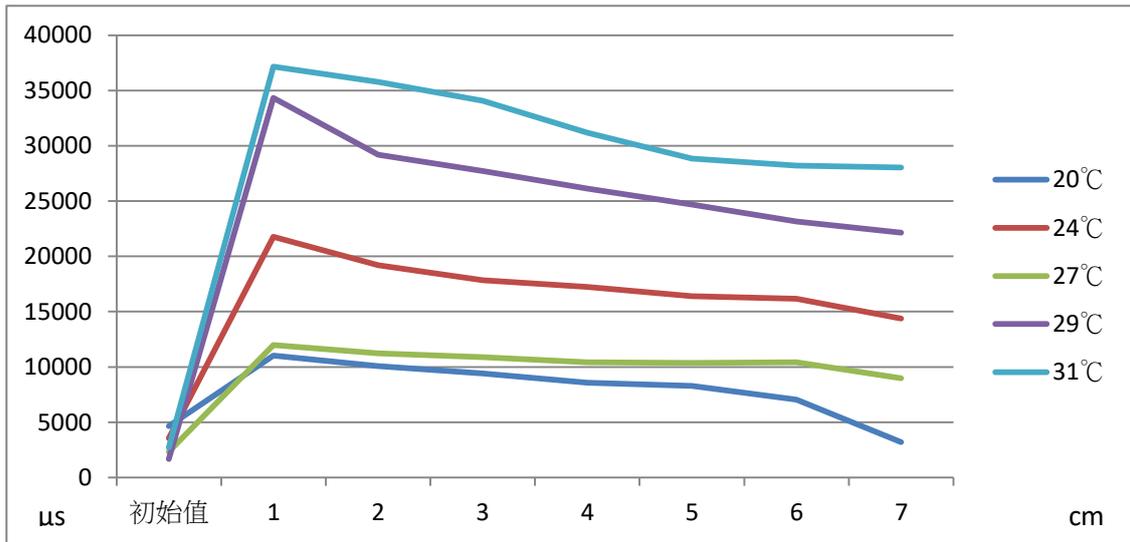


圖 16 濕度值為 60%RH，濃度 40%—不同溫度與反應延遲時間之關係

(二)濕度值為 70%RH，濃度 40%墨汁，分別量測溫度為 31°C、29°C、27°C、24°C、20°C。

實驗目的：觀察溫溼度影響電容感應的反應延遲時間。

實測結果：

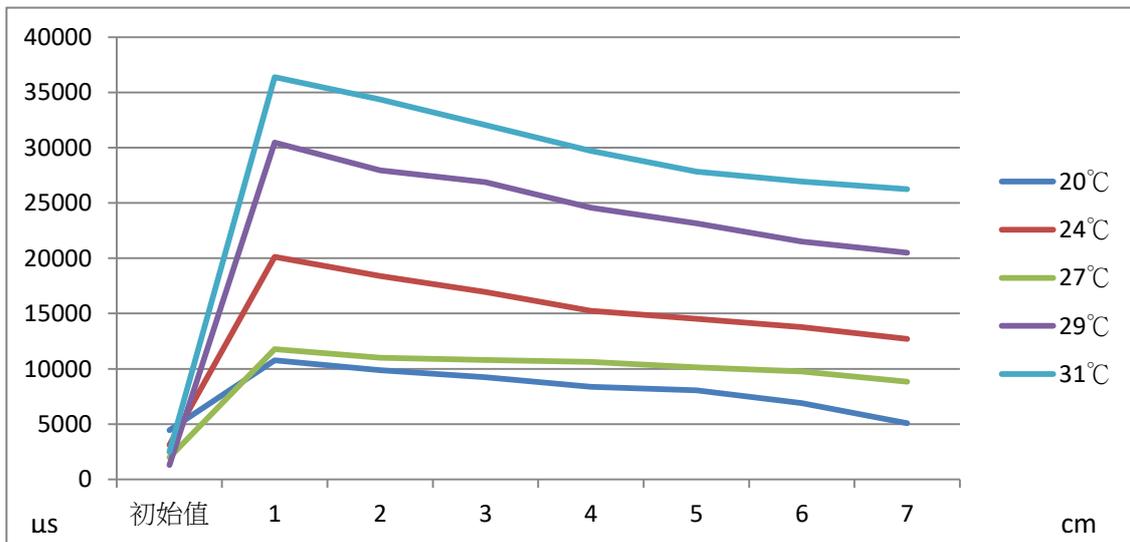


圖 17 濕度值為 70%RH，濃度 40%—不同溫度與反應延遲時間之關係

(三)濕度值為 80%RH，濃度 40%墨汁，分別量測溫度為 31°C、29°C、27°C、24°C、20°C。

實驗目的：觀察溫溼度影響電容感應的反應延遲時間。

實測結果：

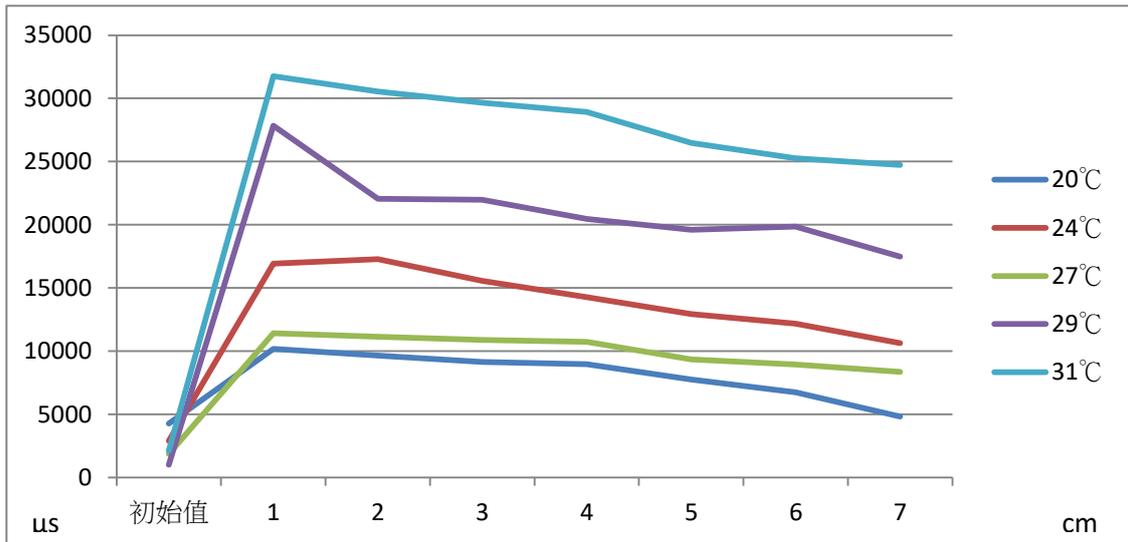


圖 18 濕度值為 80%RH，濃度 40%—不同溫度與反應延遲時間之關係

(四)濕度值為 90%RH，濃度 40%墨汁，分別量測溫度為 31°C、29°C、27°C、24°C、20°C。

實驗目的：觀察溫溼度影響電容感應的反應延遲時間。

實測結果：

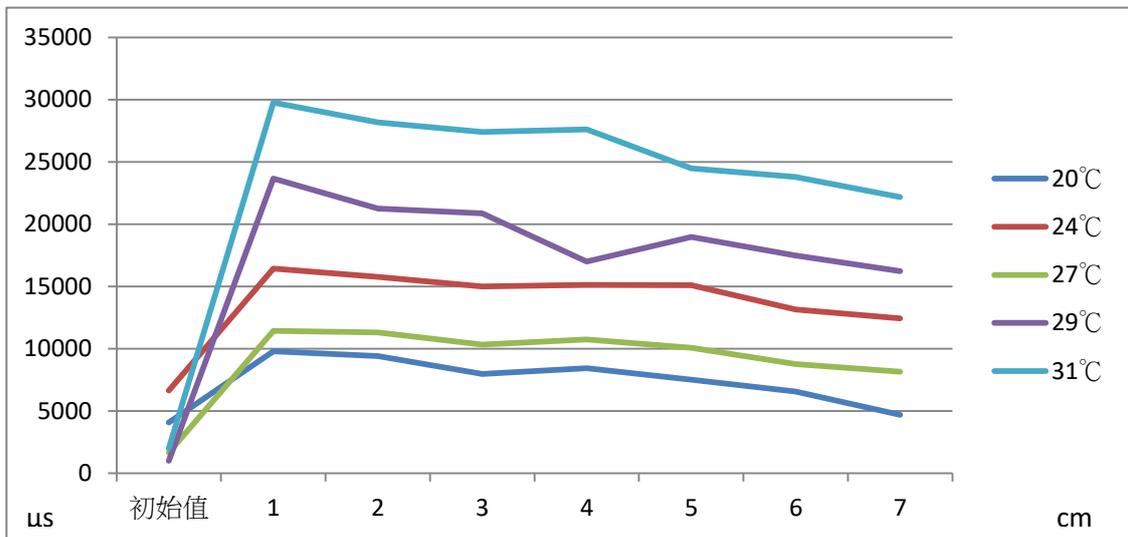


圖 19 濕度值為 90%RH，濃度 40%—不同溫度與反應延遲時間之關係

(五)濕度值為 60%RH，濃度 50%墨汁，分別量測溫度為 31°C、29°C、27°C、24°C、20°C。

實驗目的：觀察溫溼度影響電容感應的反應延遲時間。

實測結果：

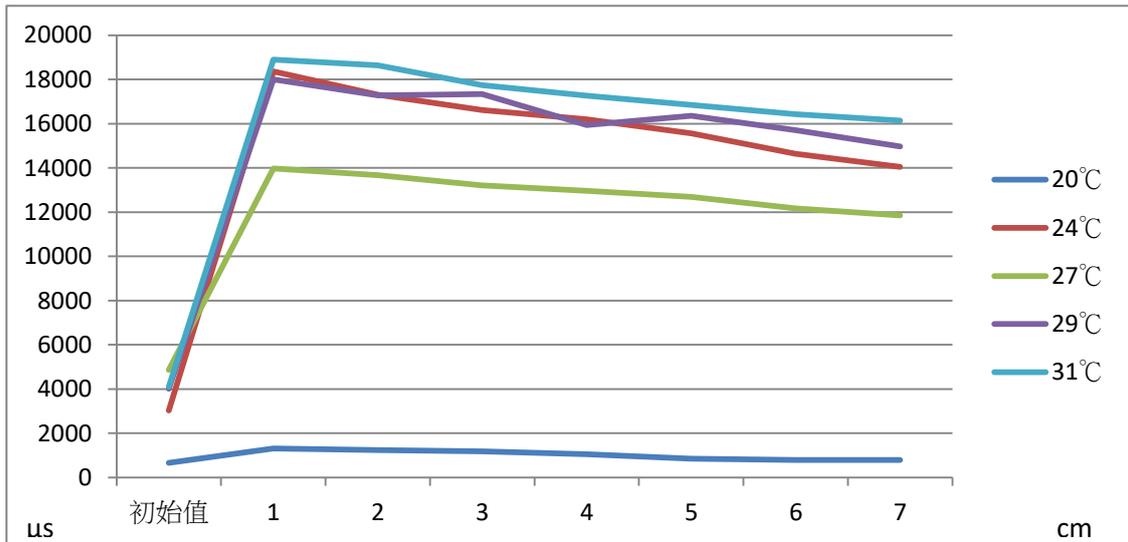


圖 20 濕度值為 60%RH，濃度 50%—不同溫度與反應延遲時間之關係

(六)濕度值為 70%RH，濃度 50%墨汁，分別量測溫度為 31°C、29°C、27°C、24°C、20°C。

實驗目的：觀察溫溼度影響電容感應的反應延遲時間。

實測結果：

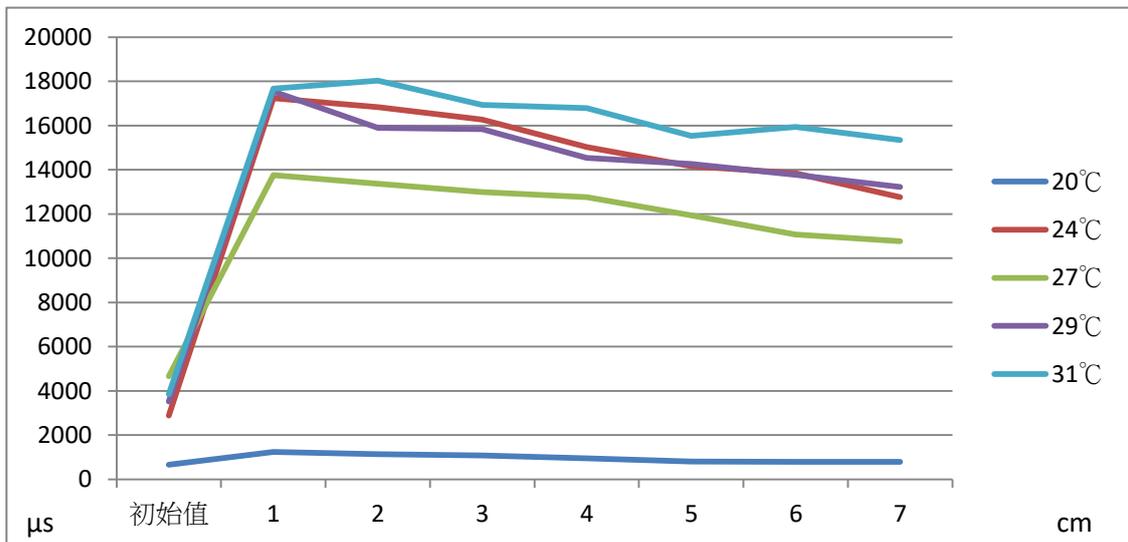


圖 21 濕度值為 70%RH，濃度 50%—不同溫度與反應延遲時間之關係

(七)濕度值為 80%RH，濃度 50%墨汁，分別量測溫度為 31°C、29°C、27°C、24°C、20°C。

實驗目的：觀察溫溼度影響電容感應的反應延遲時間。

實測結果：

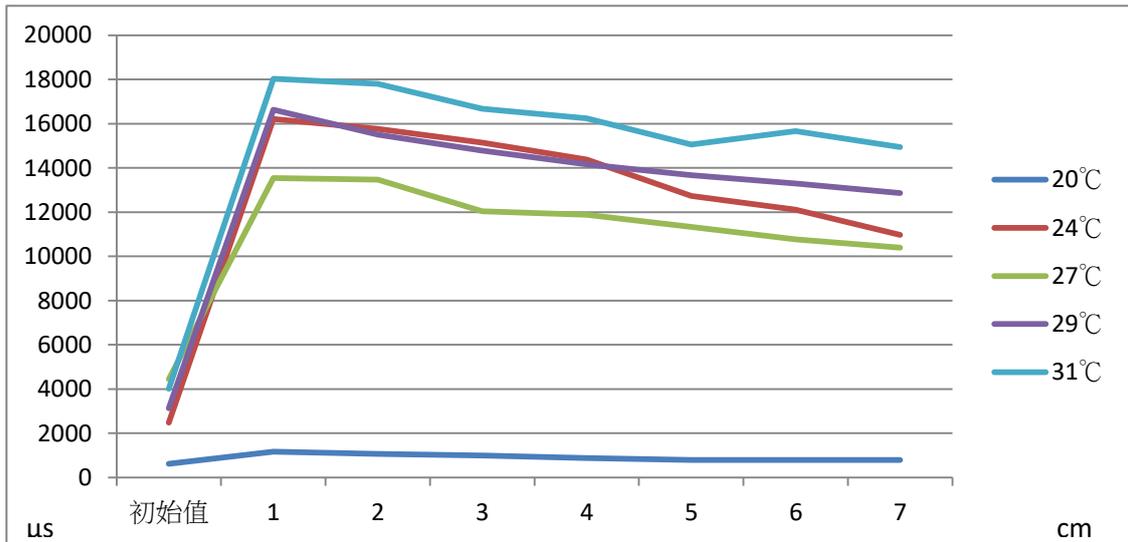


圖 22 濕度值為 80%RH，濃度 50%—不同溫度與反應延遲時間之關係

(八)濕度值為 90%RH，濃度 50%墨汁，分別量測溫度為 31°C、29°C、27°C、24°C、20°C。

實驗目的：觀察溫溼度影響電容感應的反應延遲時間。

實測結果：

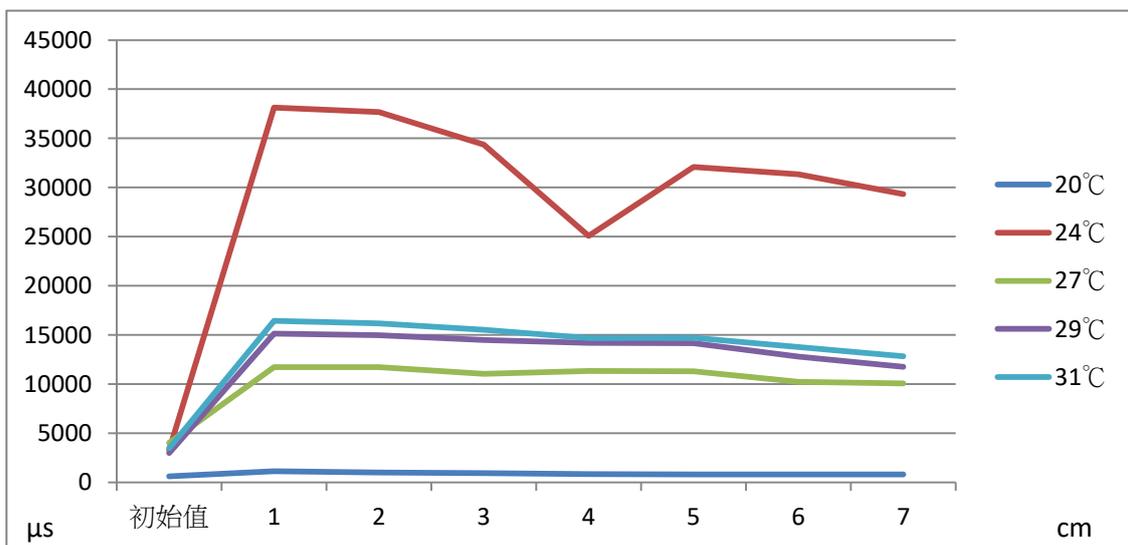


圖 23 濕度值為 90%RH，濃度 50%—不同溫度與反應延遲時間之關係

七、塗料防護壓力測試實驗

(一)溫度值為 24°C，濕度 60%RH，以濃度 50%墨汁，表面黏貼無痕膠帶。

實驗目的：觀察電容感應的反應延遲時間。

實驗內容：

(1)控制變因：溫度值為 24°C，濕度 60%RH，墨汁濃度 50%。

(2)應變變因：有無黏貼無痕膠帶。

(3)觀察反應延遲時間。

實測結果：

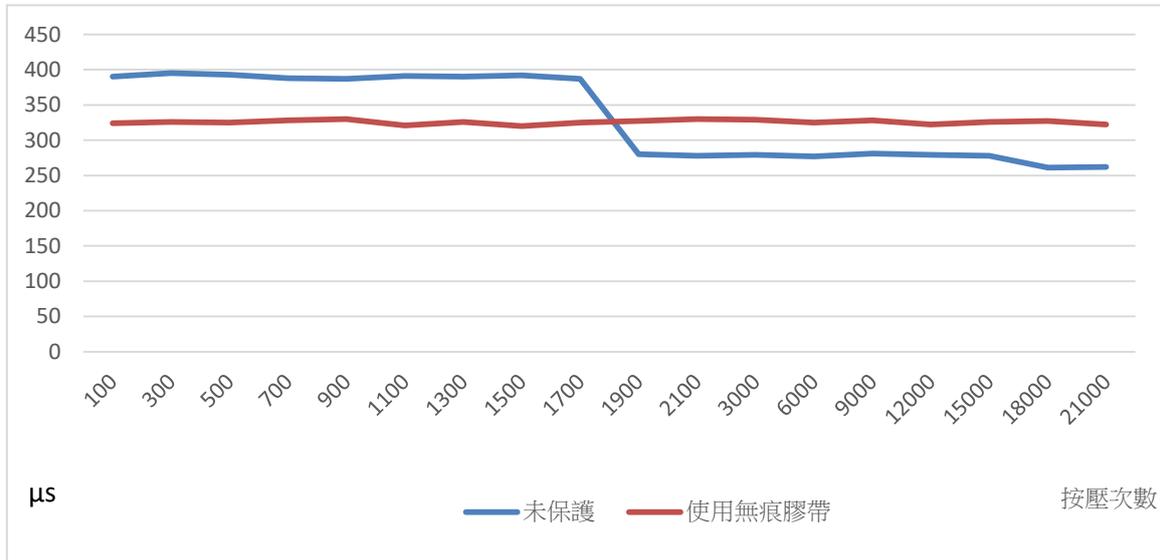


圖 24 塗料防護壓力測試

八、電阻值量測

以三用電錶量測碳黑濃度與電阻值之關係，相同寬度之線條，其濃度越高時則所測得之電阻值愈小，其最小值為 40kΩ。

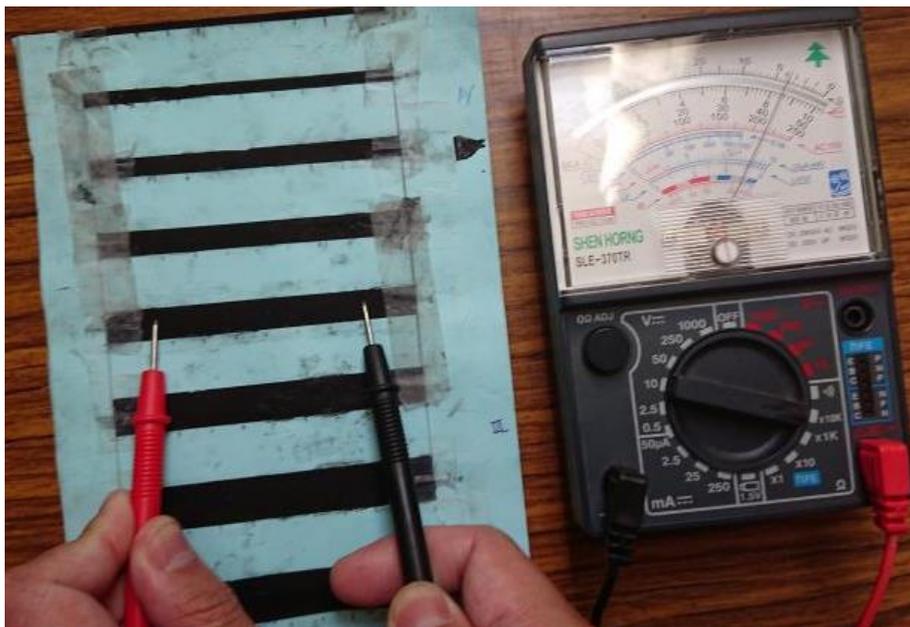


圖 25 電阻值量測

九、應用電路設計

以麵包板先行模擬電路，再將測試成功之電路以電路繪圖軟體 LAYOUT。

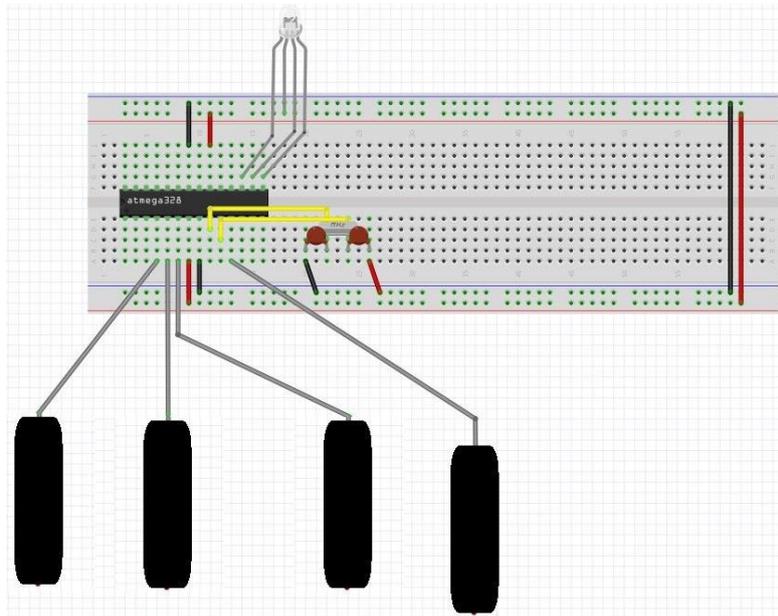


圖 26 麵包板電路測試

在觀察實驗曲線後我們可以發現，當碳黑濃度越高時，其曲線的變化不大，如此一來較不適合以同一線條進行多段電路控制，但其觸碰時變化較為穩定，因此很適合用來執行單點觸碰，以下在參考實驗曲線及成本考量下，我們選定電阻 $2.2\text{M}\Omega$ ，碳黑濃度 40%，線寬 0.6CM 之線條來執行多段觸碰控制，我們於線條之線段上第 1cm、5cm、7cm 位置處執行觸碰功能，可使 LED 分別亮起不同顏色之燈號顯示。

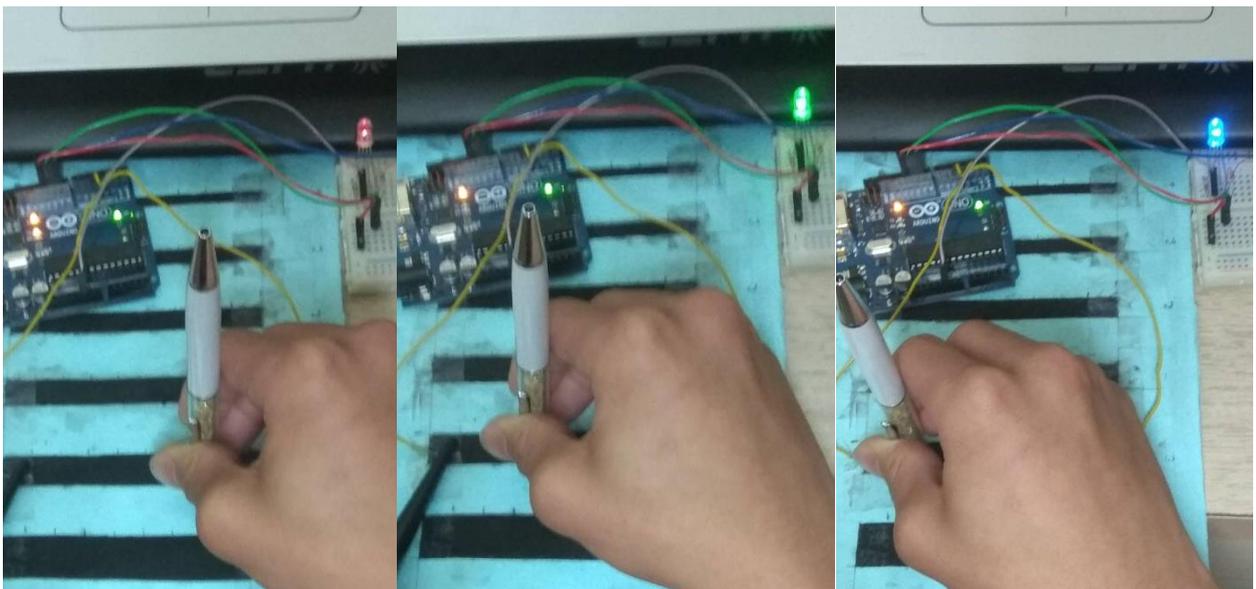


圖 27 同一線段多段觸碰實驗

肆、結論

本次實驗為期約 9 個月時間，經由我們的觀察與研究發現以下幾點：

1. 由實驗曲線圖我們可以看到，無論電路搭配電阻值為何，其濃度 40% 時，曲線變化量最大，也就是說，碳黑濃度不是愈大愈好，所以較低濃度之塗料，較適合以同一線段來執行多段觸碰控制。
2. 由實驗曲線圖我們可以看到，無論電路搭配電阻值為何，其濃度 50% 時，曲線變化量最小，也就是說，碳黑濃度愈大時，那塗料適合用作單開關控制。
3. 在相同濃度之條件下，當搭配之電阻值愈大時，其電容感應之反應延遲時間愈大。
4. 由圖 8 我們可以發現，電阻值 $2.2M\Omega$ 濃度 40% 且線條寬度 0.6CM 之曲線表現較佳，可以至少大幅度區隔三個數值，方便我們執行多段觸碰控制。
5. 由圖 15 我們可以發現，電阻值 $40M\Omega$ 濃度 50% 且線條寬度 1CM 之曲線表現較佳，其反應延遲時間最穩定，也最明顯，因此適用於單開關控制。
6. 由實驗曲線圖我們可以看到，無論其濕度值為何，當濃度 50%，氣溫於 $20^{\circ}C$ 時，其數據較為不穩定，因此低溫時較不適合使用高濃度塗料。
7. 由實驗曲線圖我們可以看到，無論其溫度值為何，濕度於 90%RH 時，其數據較為不穩定，因此高溼度時使用本塗料須於外層加上一層防水貼或防水膠。
8. 由圖 24 我們可以看到，黏貼無痕膠帶進行壓力測試時，無論按壓次數為何，其穩定度相當高，但無黏貼無痕膠帶之塗料，約在按壓 1700 次後即呈現數據崩壞現象，因此建議繪製完成後可於最上層塗上保護漆或膠帶。

伍、討論與應用

(一) 討論

(1) 以碳黑塗料為開關是否沒有其他缺點？

由實驗數據可以看出，若要以碳黑塗料來實驗開關控制，依實驗結果來說當然可行，但須注意塗料之風化或是摩擦產生之耗損，這些將讓數值無法維持在理想曲線

上，所以建議於外層塗布保護漆。

(2) 碳黑塗料亦可用於何處？

碳黑塗料可運用於汽車、電器用品、家庭裝修等地方，透過塗布碳黑塗料，將可達到控制的功能。

(3) 碳黑塗料的運用是否讓生活更便利？

確實可以減少塑膠製品的使用，開關可以只是隨筆畫出的塗鴉，讓家裡充滿驚喜，當然亦可用於室內電話的使用，按鍵也是自行繪製出來的，如此一來，生活將更不一樣。

(4) 實驗還有待改進之處？

從數據發現，實驗中產生之雜訊非常多，所以若要讓實驗更精準，需在電路設計上改進，如此方能得到精準的數據。



圖 28 牆上開關繪製

(二) 應用

(1) 可將此結論運用於繪製電子琴鍵上。

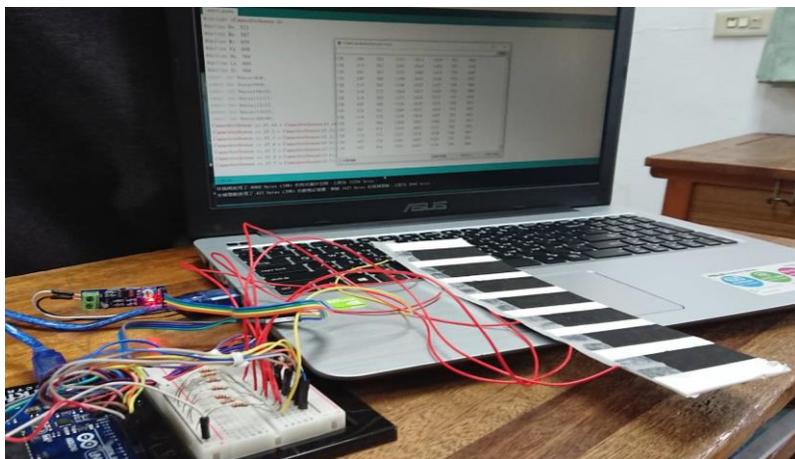


圖 29 電子琴鍵繪製

(2) 可將此結論運用於控制多段亮度之燈泡。



圖 30 控制多段亮度

(3) 可將此結論運用於控制家用燈具上。



圖 31 控制家用燈具

陸、參考資料與其他

- (一) 謝進發、鄭錦鈞(2010)。基本電學實習 I。台北市：台科大圖書。
- (二) 趙英傑(2016)。超圖解 Arduino 互動設計入門(第 3 版)。台北市：旗標出版社。
- (三) 蔡文龍(2016)。Visual C# 2015 程式設計經典。台北市：碁峰資訊股份有限公司。

(四) 艾迪諾(2017)。Arduino 全能微處理機實習：強效解析。台北市：全華圖書。

(五) 張義和(2017)。電路設計實習：電路圖設計篇（第二版）。台北市：新文京圖書。