

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

082807

靜電密碼-無接觸電極感應探究

學校名稱：高雄美國學校

作者： 小五 何栢丞 小五 蘇晉辰 小五 陳品均 小四 許子瑋 小四 謝季芳	指導老師： 許黃亮捷
---	-------------------

關鍵詞：靜電、電晶體、測電

摘要

在求學階段大家對靜電這個名詞都不陌生，但基本上都只能背誦，例如毛皮摩擦塑膠尺，毛皮帶正電，塑膠尺帶負電；絲絹摩擦玻璃棒，玻璃棒帶正電，絲絹帶負電。靜電確實存在，而且稍碰即逝，接觸到的當下，電子瞬間就會導引掉，所以我們很難利用接觸的方式去測量。

本研究主要針對靜電的電性進行探究，從基本靜電實驗開始，逐步深入探討，並利用電晶體可以放大訊號的特性，將電晶體串聯起來，增強放大效果。結合LED燈與蜂鳴器做為指示燈與警報器，當有微電流靠近時，警示燈與警報器便會通電，由燈號、聲響可以快速的判斷是否帶電，與電的極性。最後再進行改良，使系統能在準確、快速、安全且便宜的前提下讓所有學生不必再用死記硬背的方式記錄，並以實驗記錄取代，在工程上也能使用此系統在無接觸的情形下進行電力判別，使施工、維修能更加安全，大大的改善生活。

壹、前言

研究動機

我們以前就覺得很神奇，在冬天溜滑梯有時候頭髮會翹起來，洗澡時把毛衣脫掉，會聽到「啪啪」的聲音，或者是在很乾燥的時候觸碰車門，會有一種刺刺麻麻的痛覺，好像是被電到一樣，本來我以為電應該是存在於有電線的電器產品，可是滑梯或是車門不可能有電才對啊？我們為什麼被電到呢？所以想知道為什麼會這樣子呢？後來上科學課的時候，我們做了靜電的實驗，也體驗到許多關於靜電的器材設施，讓我更有興趣來研究靜電，看能不能明白更多靜電的性質。

研究目的

- 一、靜電的基本實驗探究。
- 二、蒐集靜電與自製靜電棒的可行性探究。
- 三、電晶體與電荷關係探究。
- 四、自製感應探測器的適用性探究。
- 五、改良新版提高感應範圍與聲光效果的實用性探究。

貳、研究設備及器材

材料類：塑膠杯、鋁箔紙、毛衣，棉衣服，尼龍布，PVC 管，水管束環套、絕緣膠帶、汽球棍。

電子類：電晶體、麵包板，LED、蜂鳴器、電阻、電池盒、電池、130 馬達、漆包線。

設備類：三用電錶、韋氏起電機、箔片驗電器、水氧機、電烙鐵、熱熔膠。

參、研究過程

一、文獻探討

(一) 靜電的定義

靜電 Static Electricity	當兩個物體相互碰撞時，負電將會移動到吸引負電力道較強的一方，原本呈現良好平衡的狀態因碰撞而失去平衡。此失去平衡的狀態就稱作「靜電」。
起電 Charge	組成物質的原子內含帶正電的質子和帶負電的電子組成。正常情況下，物體中正負電荷電量相等，對外不顯示出電性，即不帶電。在一定的外部作用下（比如摩擦），物體得到或失去一定數量的電子，使物體內部正負電荷電量不相等，物體就會對外呈現電性，即帶電。
放電 Discharge	靜電積累之後，由於不同物體電位不同，電荷瞬間通過的過程稱為放電。冬季手和金屬之間的火花、閃電等現象都屬於放電。
電荷中和 Charge Neutralization	自然的電荷中和現象最常發生於低溼度的季節。這現象偶而會造成一些困擾。但是，在某些特別狀況，會變得具有相當的破壞性和摧毀性（例如，電子製造業）。

(維基百科)

(二) 歷屆科展作品

電流的物理原理及公式

電流是指電荷在導體中的移動的流動，其物理原理是受到電場力驅動的電子在導體中自由移動所造成的。

電流的公式： $I=Q/t$ ，其中 I：電流強度，Q：電荷量，t：時間

當電荷為庫倫（C），時間為秒（s）時，此時電流強度的單位為安培（A）

(三) 科展四十五屆靜觀奇電作品中，主要探討日常生活中的靜電現象及各種變數變因對靜電的影響，內容相當完善，但在報告中，只能察覺靜電力的大小，卻無法直接判別靜電電荷的正電與負電。為了解決以上的問題，我們設計並動手製作無接觸電極感應系統，無須接觸僅憑聲光效果就可以立刻判別（本次報告的亮點）來解決他們所遇到的問題，也是大部分在校的師生在靜電課程中常遇到的問題。

二、靜電的基本實驗探究

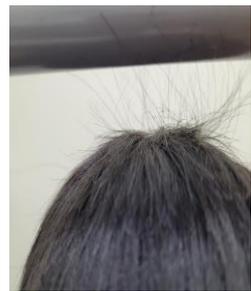
我們利用手邊的材料進行簡單的靜電實驗，希望了解靜電的基本性質。

(一) 靜電的感覺

實驗步驟：

1. 根據前面所查到的文獻資料我們了解，靜電是經由摩擦後所產生。
2. 利用 PVC 水管與毛衣進行摩擦。
3. 將摩擦後的 PVC 水管緩緩靠近臉頰與身體。
4. 觀察、感覺、記錄實驗過程與結果

表一、靜電靠近身體的感覺

照片				
	(圖 1) 靠近手臂	(圖 2) 靠近臉頰	(圖 3) 靠近頭髮	(圖 4) 用手觸摸
感覺	手臂上的毛會被吸引，會站起來。	臉頰感覺有被輕拂過的感覺。	頭髮被吸起來，好像有什麼東西牽引。	摸起來有東西在手上跳動的感覺。
備註	1. 毛衣摩擦水管時會發出聲音。 2. 靠近身體有奇怪的感覺。			

實驗後發現與討論：

1. 在多次摩擦 PVC 水管時，會明顯聽見有劈啪聲。
2. 帶靜電的 PVC 水管靠近身體時，會有毛毛的感覺，身上的毛髮也會被吸起來。
3. 用手握住會有劈劈啪聲及電荷跳動的感覺。

(二)靜電的吸附能力

由上一個實驗，我們發現靜電會有吸附或吸引毛髮的現象，此實驗找了更多不同的物質進行測試。

實驗步驟：

1. 我們把紙片、鋁箔剪碎。
2. 將保麗龍搓成碎屑，餅乾壓碎成餅乾屑。
3. 打開水龍頭製造小水流，點燃線香產生煙霧。

4. 利用水氧機製造蒸氣。
5. 將 PVC 塑膠管和毛衣摩擦後，靠近餅乾屑、保麗龍碎屑、鋁箔屑、小紙屑、水流及點燃的線香，觀察物質被吸引的情形。

表二、靜電對物體的吸附情形

照片				
	(圖 5) 餅乾屑	(圖 6) 保麗龍碎屑	(圖 7) 鋁箔屑	(圖 8) 紙屑
結果	吸附	吸附	吸附	吸附
備註	所有材質的碎屑都能被帶電的 PVC 管吸起來。			

表三、靜電對流體的吸附情形

照片			
	(圖 9) 水流	(圖 10) 線香煙霧	(圖 11) 蒸氣
結果	吸附	吸附	吸附
備註	<ol style="list-style-type: none"> 1. 流體也均能背靜電吸引。 2. 摩擦實驗久了會產生手汗，影響靜電。 		

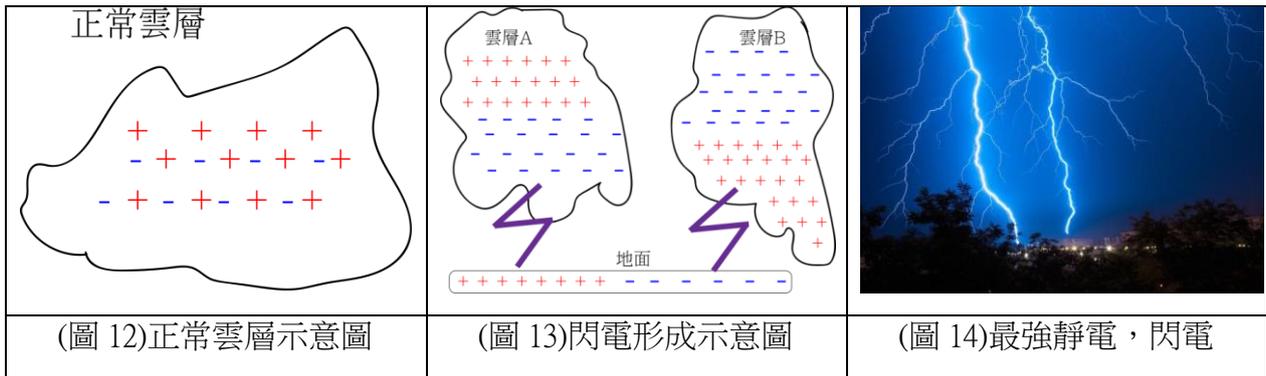
實驗後發現與討論：

1. 無論是固體、液體、氣體的物質皆會有被靜電吸引的現象產生。
2. 質量較小的物質會被吸起，較大的物質無法被吸起，與 PVC 管上帶的電荷多寡有關。
3. 實驗久了會有手汗，手汗會影響電流的傳導，所以必須在乾燥的

情況下進行起電反應。

(四)自然界中最強的靜電

閃電通常發生在積雲、層積雲和雷暴雲中，這些雲層內部的風速和溫度變化很大，會使雲內部產生靜電場。當靜電場達到一定程度時，就會導致雲內部的氣體離子化，產生強烈的放電，形成閃電。閃電通常以電弧形式出現，從雲層內部或雲和地面之間傳遞。



綜觀上述實驗結果可獲致以下結論：

1. 靜電只發生在表面，且很微弱，質量越小越輕的物品越容易被吸引。此外，濕度濕氣會影響靜電的生成。在越乾燥的環境下，靜電越容易生成。
2. 閃電就是雲層與雲層相互摩擦帶電後的放電反應，但由於雲層的面積很大，所帶的電荷也高，因此釋放時能量極高。

三、蒐集靜電與自製靜電棒的可行性

1. 在接下來的實驗中，我們希望能量化靜電力的大小，於是使用三用電表與箔片驗電器進行檢測。
2. 驗電器是一種檢測物體是否帶電以及粗略估計帶電量大小的儀器，典型構造如圖(15-16)所示。當被檢驗物體接觸驗電器頂端的導體時，自身所帶的電荷會傳到玻璃罩內的箔片上。由於同種電荷相互排斥，箔片將自動分開，

張成一定角度。

3. 根據兩箔片張成角度的大小可估計物體帶電量的大小。

(圖 15)驗電器示意圖	(圖 16)箔片驗電器	(圖 17)三用電表

(一)自製萊頓瓶儲存靜電

萊頓瓶是一種用以儲存靜電的裝置，最先由彼得·穆森布羅克（1692 年—1761 年）在荷蘭的萊頓試用，萊頓瓶因此得名。作為原始形式的電容器，萊頓瓶曾被用來作為電學實驗的供電來源，也是電學研究的重大基礎。至今，萊頓瓶仍然在演示靜電學原理時被使用。

製作過程:

1. 首先，將鋁箔剪成兩片長方形。
2. 把鋁箔個別包在兩個杯子上。
3. 將兩個包裹著鋁箔的杯子套在一起。
4. 我們剪了一片長條狀的鋁箔，將其中一段弄尖，以方便傳導。
5. 最後把鋁箔尖的長條鋁箔夾在兩個杯子之間，簡易萊頓瓶製作完畢。

		
(圖 18)剪下鋁箔	(圖 19)包裹杯子	(圖 20)組合
		
(圖 21)萊頓瓶電容完成	(圖 22)收集靜電	(圖 23)用手碰觸

碰觸後發現與討論：

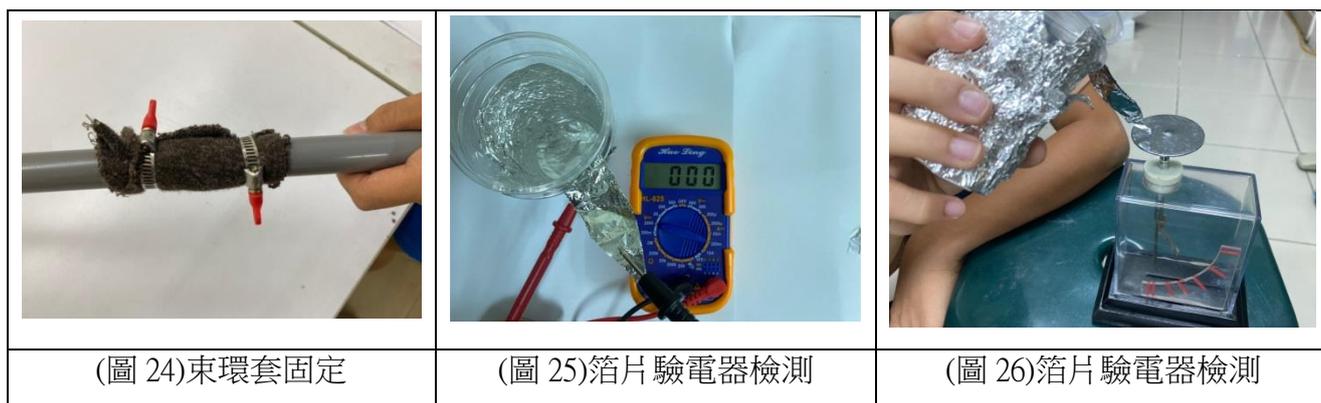
1. 製作萊頓瓶之後，我們動手去做測試。大家都有觸電的強烈感覺，而且這個觸電會產生火花。
2. 實驗證明，摩擦會產生靜電，且這靜電能被萊頓瓶儲存。
3. 在摩擦 PVC 管時，發現鋁箔不斷的上下震動，同時發出聲音，明顯感覺到電荷導入萊頓瓶內。

(二)摩擦次數對靜電的影響

1. 由前幾次的實驗過程中，我們發現摩擦的次數會影響靜電產生的電荷量，本次實驗將針對摩擦次數與靜電產生的電荷進行比較實驗。
2. 為了使實驗更加精準，接下來的實驗我們將水管與毛衣用束環套固定，減少人為變因。

實驗步驟：

1. 毛衣纏繞 PVC 管後用束環套固定鬆緊度。
2. 靠近萊頓瓶電容，分別摩擦 2 次、4 次、6 次、8 次、10 次。
3. 利用三用電表測量電壓電流
4. 觀察箔片驗電器的角度變化並記錄。



表四、萊頓瓶電容器對人體放電實驗

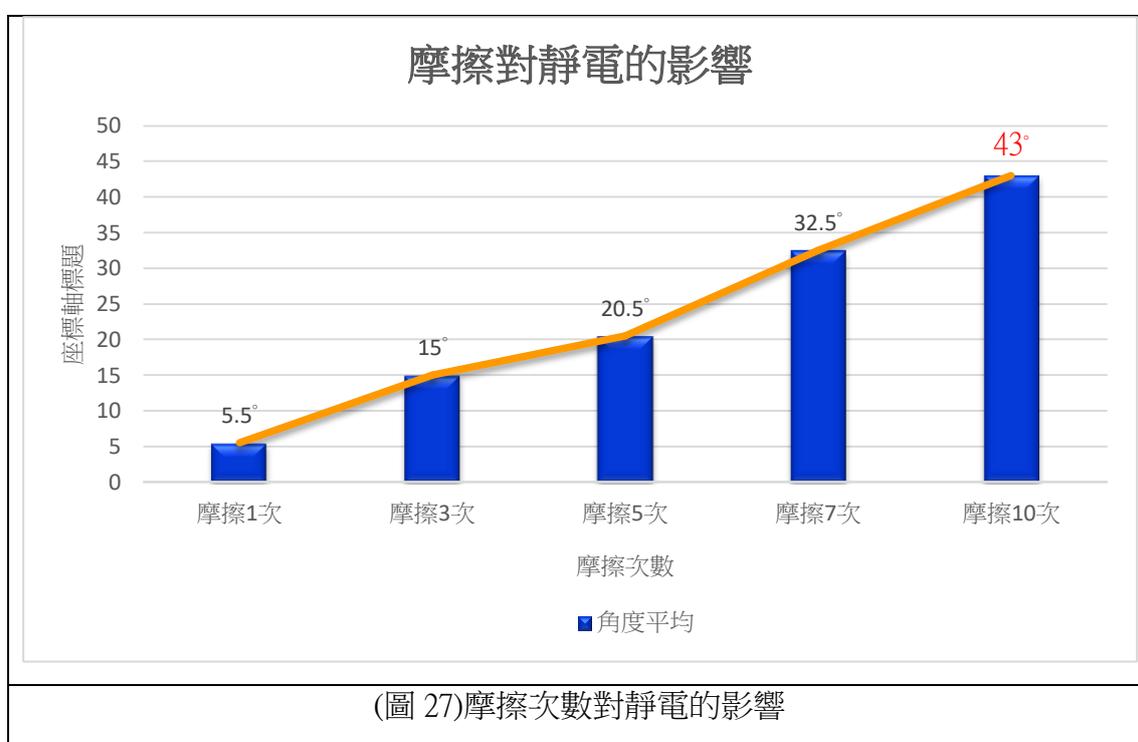
摩擦次數	摩擦 1 次	摩擦 3 次	摩擦 5 次	摩擦 7 次	摩擦 10 次
用手觸碰	無感覺	稍有感覺	感覺明顯	有刺痛感	很痛
備註	若只用手觸碰鋁箔尖端，實驗會失敗。				

表五、三用電表檢測

電壓、電流	摩擦次數				
	摩擦 1 次	摩擦 3 次	摩擦 5 次	摩擦 7 次	摩擦 10 次
三用電表(電壓 mV)	X	X	X	X	X
三用電表(電流 mA)	X	X	X	X	X
備註	無法測得，就算電表有反應數字也會亂跳。				

表六、摩擦對靜電的影響

摩擦次數 角度	摩擦 1 次	摩擦 3 次	摩擦 5 次	摩擦 7 次	摩擦 10 次
第一次	5°	14°	21°	35°	43°
第二次	6°	16°	19°	32°	45°
第三次	6°	15°	22°	31°	41°
平均	5.5°	15°	20.5°	32.5°	43°
備註					



由上述實驗後發現與討論：

1. 萊頓瓶確實能儲存靜電，測試者皆有被電擊的疼痛感。
2. 三用電表無法測得靜電，就算電表螢幕有反應，有數字與正負電會亂跳，無法列入記錄。
3. 摩擦次數越多，箔片驗電器的角度發生偏折越大，表示越多電荷產生。
4. 摩擦次數與靜電量有正相關的線性關係。

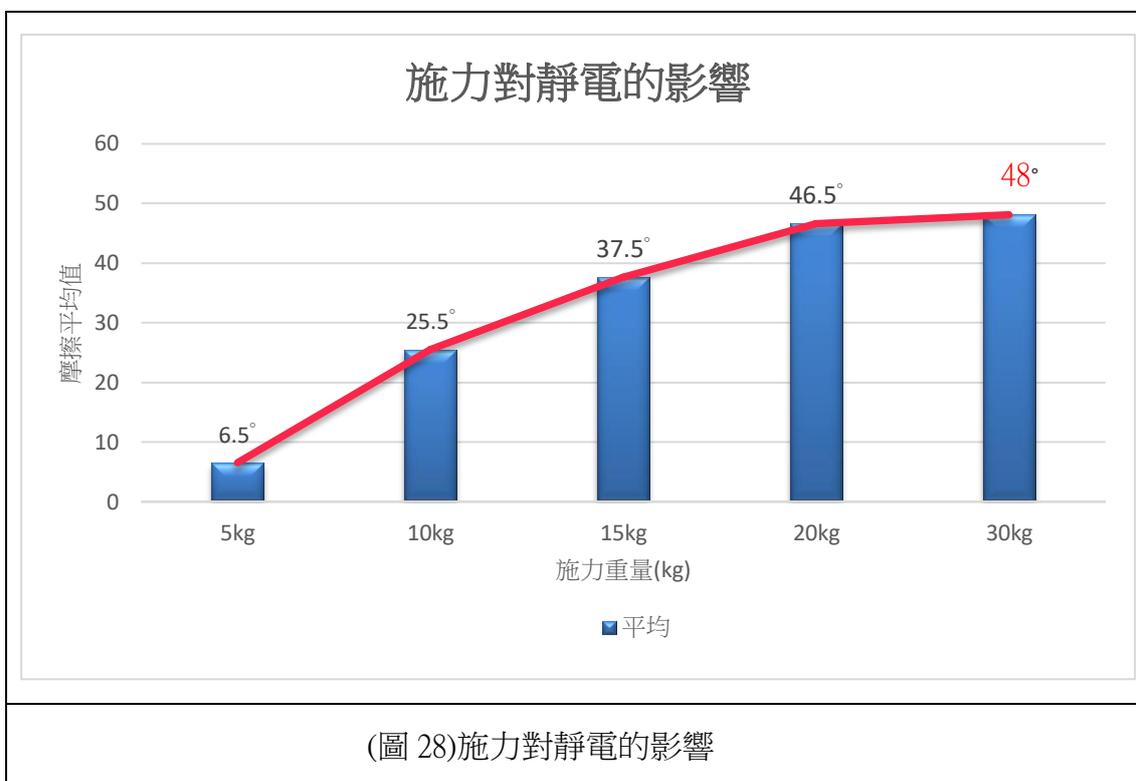
(三) 摩擦力對靜電產生的影響

實驗步驟：

1. 利用體重機測量施力重量，若施力越大則體重機顯示越重。
2. 將下壓力道調整為 10、20、30 公斤進行測試。
3. 靠近萊頓瓶電容，分別個摩擦 10 次進行測定。
4. 觀察箔片驗電器的角度變化並記錄。

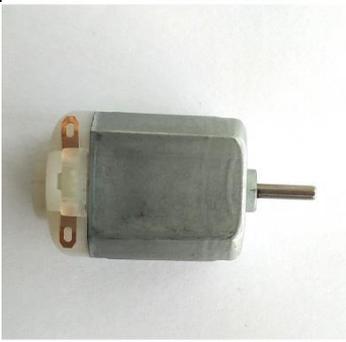
表七、施力對靜電的影響

摩擦次數 \ 角度	5kg	10kg	15kg	20kg	30kg
第一次	7°	24°	36°	45°	48°
第二次	6°	27°	38°	47°	48°
第三次	7°	26°	39°	48°	49°
平均	6.5°	25.5°	37.5°	46.5°	48°
備註	箔片夾角似乎無法超過 50°				



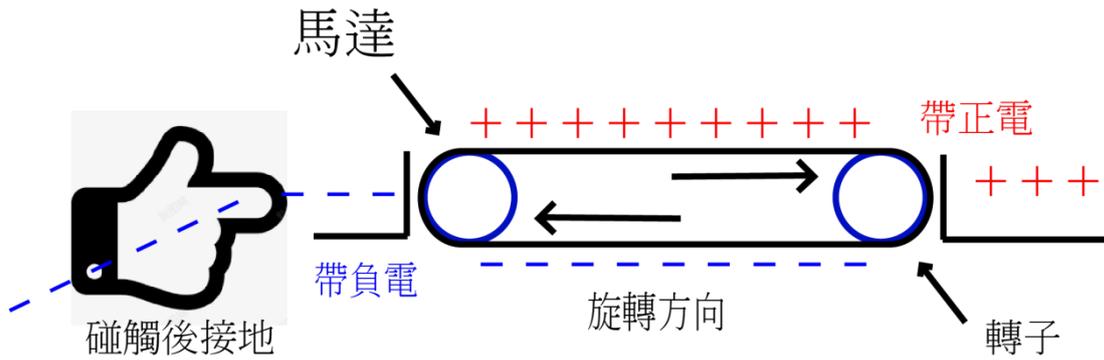
(二)自製靜電產生器

1. 由前幾次實驗，我們已經理解了靜電的產生的基本原理與因素，希望能自製更方便且快速的穩定的產生的裝置。
2. 此次實驗我們希望利用馬達旋轉的方式帶動，更穩定的產生與測量靜電。
3. 我們拆卸了市售靜電玩具，進行觀察。

馬達規格介紹	
圖片	
	(圖 29)
名稱	130 馬達
工作電壓	3-6V
負載電流	150mA
空載轉速	13000rpm
齒輪比例	無

製作過程：

1. 將 130 小馬達用熱溶膠固定於木板底座。
2. 棉花棒作為馬達軸心，並用絕緣膠帶纏繞增加厚度。
3. 氣球棍纏繞絕緣膠帶後作為前方轉子。
4. 長條氣球用剪刀剪開後頭尾固定，作為旋轉皮帶。
5. 利用金屬片作為電荷導引片，使靜電能夠順利傳導。



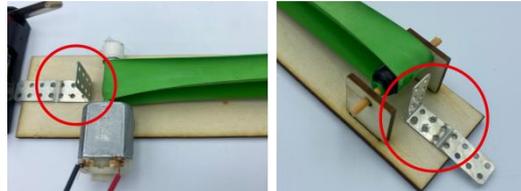
(圖 30)靜電產生器示意圖



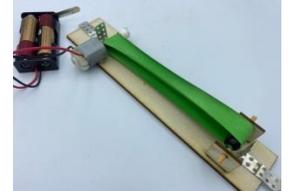
(圖 31)轉子製作



(圖 32)剪下氣球



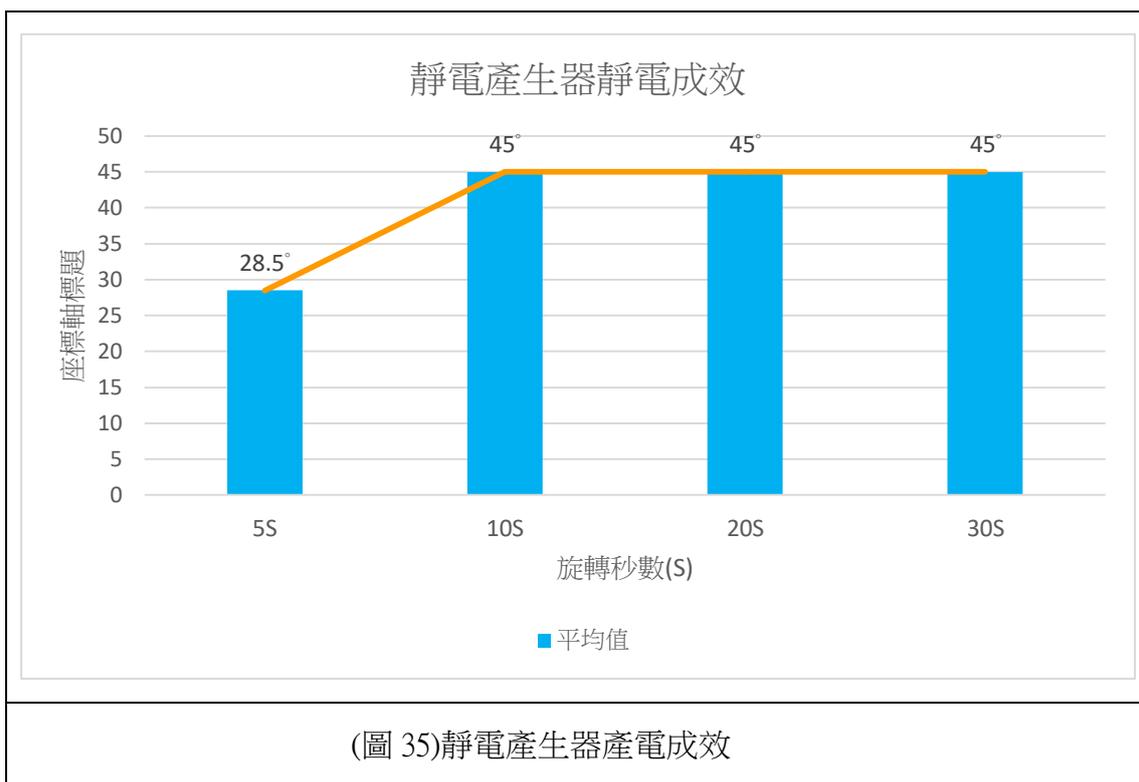
(圖 33)金屬導引片



(圖 34)完成圖

表八、自製靜電產生器靜電成效

旋轉秒數 角度	5 秒	10 秒	20 秒	30 秒
第一次	28°	44°	45°	45°
第二次	29°	45°	46°	45°
第三次	29°	46°	45°	44°
平均	28.5	45°	45°	45°
備註	靜電產生很快，但一斷電靜電就明顯下降。			



由表八、自製靜電產生器靜電成效發現與討論：

1. 自製靜電產生器能快速且穩定的產生靜電。
2. 靜電產生器運轉大約 10 秒，產生的靜電就能達到最大值。
3. 與前面手動摩擦實驗相比，靜電產生器相對穩定。

(三) 檢測靜電的方式與效果

1. 我們將前幾次使用到的檢測工具進行比較。
2. 比較驗電方式、準確度、優點與缺點，找出何種最為適合。

表九、靜電檢測的方式比較

測量工具	碎屑	三用電表	箔片驗電器	萊頓瓶 & 三用電表	萊頓瓶 & 箔片驗電器
驗電方法	觀察吸附碎屑數量。	觀察電壓電流。	觀察瓶內箔片彈開角度。	先將靜電儲存至萊頓瓶再利用三用電表測量。	先將靜電儲存至萊頓瓶再利用箔片驗電器觀察箔片彈開角度。
驗電結果	可以測量	無法測量	可以測量	無法測量	可以測量
驗電效果	方便觀察，但不夠準確，吸附的碎屑容易掉落影響準確度。	無效果	方便觀察與測量，且準確度高。	無效果	方便觀察與測量，且準確度高，但箔片有角度上的限制，無法再繼續增加。
備註：			※		※

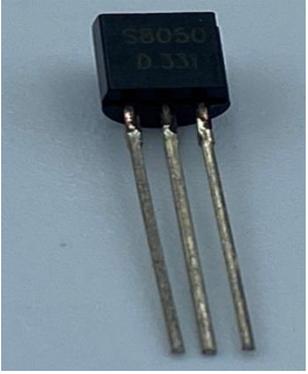
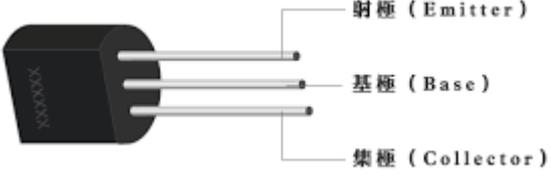
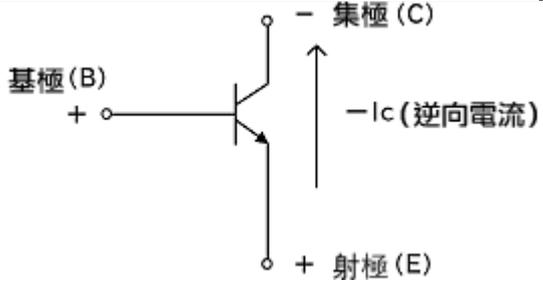
(效果佳：※)

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論：

1. 萊頓瓶是最早的電容儲存裝置，不僅製作方便容易，效果還很好，至今仍然很常出現在靜電實驗中。
2. 摩擦的次數愈多與摩擦的施力愈大，產生的靜電愈強。
3. 摩擦面積：摩擦面積愈大，產生的靜電愈強。
4. 兩物體摩擦後會產生電性不同的靜電，即正電和負電。

四、電晶體與電荷關係

(一) 電晶體的功能

(圖 36)	電晶體 S8050	
	功 能	電晶體，是一種類似於閥門的固態半導體元件，可以用於放大、開關、穩壓、訊號調變等功能。
	傳 遞	電晶體，至少有三個對外端點稱之為極。基極(B)、集極(C)、射極(E)，其中基極(B)是控制極，另外兩個端點之間的伏安特性關係是受到基極的非線性電阻所影響。
		
(圖 37)電晶體 S8050 腳位	(圖 38)腳位電路	

(二) 電流是否通過人體

1. 當人體觸碰普通乾電池時，我們卻一點也沒有感覺，有人說是人體電阻太高，電流無法流通，也有人說是因為電壓太低人體沒有感覺。
2. 我們希望利用電晶體能將訊號電流放大的性質，測試電流是否通過人體。
3. 實驗過程中，手指必須接觸電池的正極，使人體作為導體。
4. 若人體確實有電流通過，LED 燈變化發亮。

照片	
	(圖 39)
名稱	發光二極體 light-emitting diode ; (LED)
輸入電壓	2.2-3 伏特(V)
輸入電流	20 毫安培(mA)
腳位	長腳正極；短腳負極

(三) 設計簡易電路(單顆)

1. 利用 Tinker Cad 線上網頁繪製電路設計圖。
2. 我們將 2 顆三號乾電池串聯後接上電晶體，中間連接 LED 燈，希望測試電晶體的功能。
3. 利用電烙鐵將電池盒紅線(正極)與 LED 燈長腳銲接；短腳與電晶體 E 極銲接。
4. 電池盒黑線(負極)與電晶體 C 腳銲接。
5. 一手碰觸電池盒刀柄開關；另一手碰觸電晶體 B 腳位。
6. 觀察 LED 燈發光情況。

<p>(圖 40)一顆電晶體電路示意圖</p>	<p>(圖 41) 一顆電晶體電路圖</p>
<p>(圖 42)將線路銲接</p>	<p>(圖 43)一顆完成</p>

第一次測試後發現與討論：

1. 單一電晶體直接使用，並無法直接接通電源。
2. LED 燈無反應，可能是電流沒有通過，或產生的微電流過低，無法啟動。

製作過程：

串聯電晶體(雙顆)

1. 將第一顆電晶體 B 腳作為天線；C 腳與第二顆電晶體 B 腳連接。
2. 第二顆電晶體的 C 腳與電池盒負極連接。
3. 迴紋針拉直作為導體，與兩顆電晶體的 E 腳相連並接上 LED 燈與電池盒正極。

(圖 44) 二顆電晶體電路示意圖	(圖 45) 二顆電晶體電路圖	(圖 46) 兩顆串聯完成

第二次測試後發現與討論：

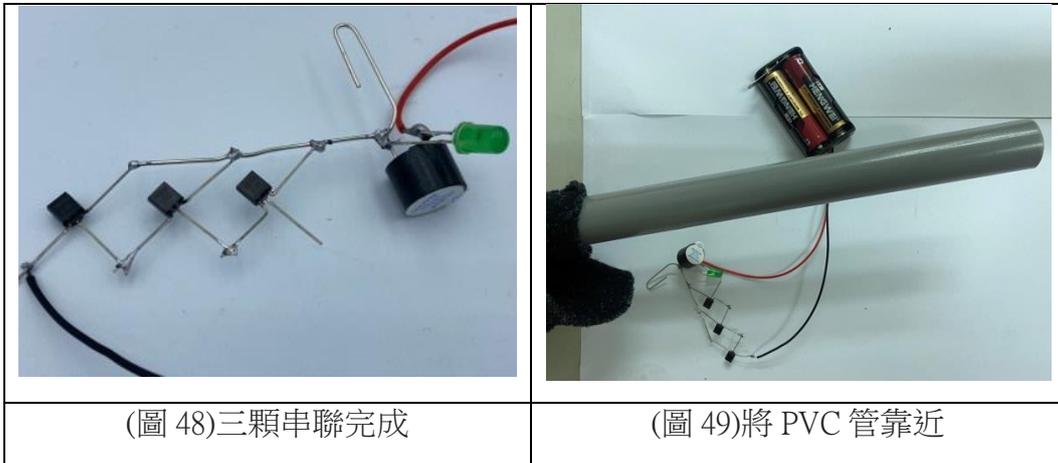
1. 碰觸第一顆電晶體 B 腳，LED 燈會發亮。
2. 此實驗證明微小的電流也能夠流過身體，但由於太過微弱，所以人體才沒有感覺。
3. 串接更多電晶體的反應效果會更好。

(四) 串聯三顆電晶體

1. 由前次實驗結果讓我們感到意外，本次實驗我們希望串聯三顆電晶體，除了 LED 指示燈外，我們還加裝了蜂鳴器進行判別輔助。
2. 本次實驗我們利用三用電表對實際放大效果進行測定。

照片	
	(圖 47)
名稱	二極體震盪蜂鳴器
輸入電壓	3-6 伏特(V)

輸入電流	30 毫安培(mA)
腳位	長腳正極；短腳負極



(圖 48)三顆串聯完成

(圖 49)將 PVC 管靠近

第三次測試後發現與討論：

1. 串聯三顆電晶體的效果反應更加敏銳，一碰觸到馬上做出反應。
2. 蜂鳴器的電壓稍微不足，需要加裝電池。
3. 將帶靜電的 PVC 管靠近，竟然發現裝置對靜電有反應，LED 與蜂鳴器發出微弱光線與聲音。
4. 需要用到電烙鐵銲接的過程，不適合國小學生使用，後續實驗我們將採麵包版取代銲接方式。

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論：

1. 單顆電晶體放大訊號效果不足，但在串接兩顆電晶體之後，對微電流開始有明顯的反應，也能透過接觸，感應出電流經過人體的現象。
2. 串聯三顆電晶體，接觸感應更加明顯了，同時在 PVC 管不碰觸的情形之下，此裝置對靜電會有細微感應。
3. 電烙鐵銲接方式，較不適合國小生使用，應採用麵包版改善。

肆、研究結果

一、自製微電流電晶體測電器功能比較

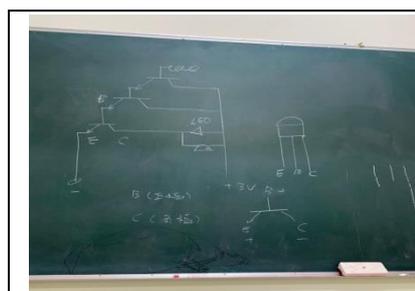
表十、電晶體數量對對感應的靈敏度比較

	一顆電晶體	二顆電晶體	三顆電晶體
用手指觸碰	無反應	有反應	反應更靈敏
PVC 水管靠近	無法應	無反應	稍微有反應

(一) 改良：增加第四顆電晶體，並製作天線，提高感應範圍(第二版)。

改良過程：

1. 將電晶體依照之前的排列方式，在麵包板上串接四顆電晶體。
2. 利用漆包線(直徑 19mm)，刮漆後旋轉纏繞在筆管上數圈，做成天線。
3. 第一顆電晶體的 B 腳拉出來與天線連接，增加感應範圍。



(圖 50) 電路圖



(圖 51) 四顆電晶體感應器



(圖 52) 製作天線

測試後發現與討論：

1. 效果更加明顯，對帶靜電體，每一次都有反應。

2. 在感應靜電時，靠近或遠離帶電物體，有些靠近時會有聲光效果；有些則發生在遠離時，我們懷疑與靜電的電性有關。
3. 我們希望再增加無接觸感應的範圍與強度，討論後希望再增加一顆電晶體提高效能。
4. 發現 LED 燈亮度不足；蜂鳴器也只有微弱聲音。
5. 需要增加輸入電源電壓。

(二) 再次改良：增加第五顆電晶體，再提高感應範圍與聲光效果(第三版)

(第三版)再次改良與說明：

1. 因本次改良還要再提高電壓，改用 4 顆 AA 1.5V 電池，所以 LED 會有燒毀的風險，必須加裝電阻。
2. 歐姆定律公式：

$$V = I R \text{ 電壓} = \text{電流} \times \text{電阻}$$

$V =$ 以伏特表示的電壓。

$I =$ 以安培表示的電流。

$R =$ 以歐姆表示的電阻。

要計算所需的電阻值 R ，公式推導：

$$R = V / I, \text{ 電阻} = \text{電壓} / \text{電流}。$$

3. 電池為 4 顆 1.5 伏特串聯 = 6V。

LED 需要的電流大約是 20mA，也就是 0.02A。

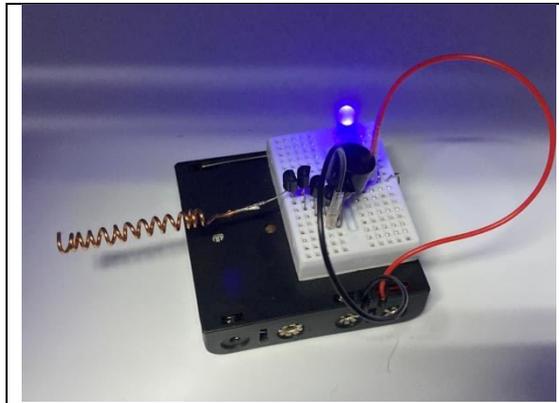
$$R = (6V - 3V) / 0.02A = 150。$$



(圖 53)電阻 294-150-RC

因此我們使用 150 歐姆的電阻。

4. 將第五顆電晶體按照之前排列方式安裝在麵包板上。
5. 加裝 150 歐姆電阻防止 LED 燒毀。



(圖 54)第三版無接觸電極感應探測器
完成

二、改良版無接觸電極感應探測器實際應用

實驗說明：

1. 由前面研究我們知道，自製無接觸電極感應探測器對靜電會有很敏銳的感應效果。
2. 本次實驗將針對靜電的電性進行研究。

(電性=電極；正電荷與負電荷)

3. 為了實驗精準性，我們從實驗室找出了韋氏起電機，進行對照實驗。
4. 將韋式起電機轉盤旋轉，產生的正電荷與負電荷會傳導至兩側的金屬球，使金屬球一顆帶正電荷；另一顆帶負電荷。

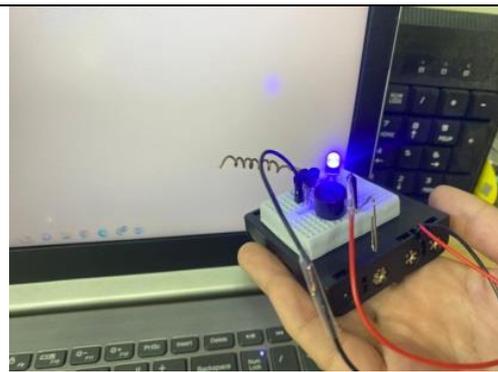
5. 將改良版無接觸電極感應探測器靠近、遠離金屬球便能判別所帶電荷的電性，並觀察記錄無接觸電極感應探測器所發出的聲光效果。

表十一、改良版無接觸電極感應探測器判別記錄

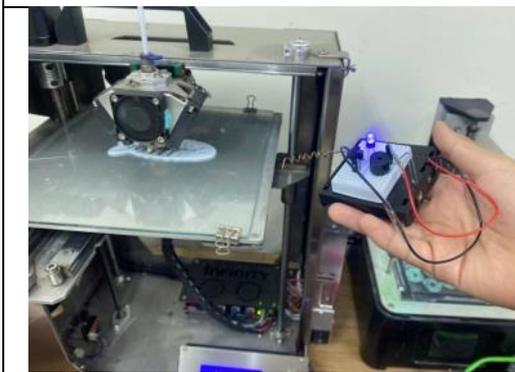
	正電荷(+)	負電荷(-)
燈光現象	靠近不閃爍；遠離閃爍	靠近閃爍；遠離不閃爍
警報現象	靠進不響；遠離響	靠近響；遠離不響
備註	兩種電荷反應完全相反	



(圖 55)判別韋式起電機電性



(圖 56)靠近電腦螢幕



(圖 57)靠近 3D 列印機



(圖 58)靠近冰箱

由表十一、改良版無接觸電極感應探測器判別記錄發現與討論：

1. 自製改良版無接觸電極感應探測器，能簡單清楚的在不接觸的情況下，馬上檢驗出電荷的正負性。
2. (指示燈) 正電荷：靠近不閃爍，遠離閃爍；負電荷：靠近閃爍，遠離不閃爍。
3. (警報聲) 正電荷：靠進不響；遠離響；負電荷：靠近響；遠離不響。
4. 自製改良版無接觸電極感應探測器，對其他通電的電器也都有敏銳的感測，是因為(電流磁效應)，當電流通過線圈或電線時就會產生磁場，而這個磁場同樣也能被無接觸電極感應探測器接收。
5. 自製改良版無接觸電極感應探測器，感應效果非常良好，很適合做為中小學靜電相關實驗的教材，使學生們在面對靜電相關課堂時不必用背誦的方式，老師也更能在實驗時示範展示。
6. 自製改良版無接觸電極感應探測器，對工程可能也有幫助，甚至可能避免誤觸高壓電的風險。

伍、討論

我們發現自製無接觸電極感應探測器，對有電通過的電器或線路也有敏銳反應，可以再繼續深入研究，若能針對其判別數據更進一步的分析，或許又會是一大進展與發明。

陸、結論

- 一、不論固體或流體，質量愈小愈容易被靜電吸引，此外濕度濕氣會影響靜電的生成，在越乾燥的環境下，靜電越容易生成。
- 二、閃電就是雲層與雲層相互摩擦帶電後的放電反應，但由於雲層的面積很大，所帶的電荷也高，因此釋放時能量可以比我們生活中發生的靜電高出數萬倍。
- 三、萊頓瓶確實能儲存靜電，測試者皆有被電擊的疼痛感，再儲存靜電的過程中，發現鋁箔片不斷的上下震動，同時發出聲音，明顯感覺到電荷導入萊頓瓶內，放電時仔細看還能看到火花。
- 四、三用電表無法測得靜電，使用箔片驗電器就能量化靜電量，但箔片偏折的角度卻有所限制，是一大缺點。
- 五、摩擦起電實驗中，摩擦次數愈多、摩擦力到愈大就能產生愈多的靜電荷，彼此呈現正相關的線性關係。
- 六、自製靜電產生器能快速且穩定的產生靜電，運轉大約 10 秒，產生的靜電就能達到最大值。
- 七、串聯越多顆電晶體，訊號放大效果會越明顯，有 Darlington pair 的效果。
- 八、我們將歐姆定律推導出 $R = V / I$ ，電阻 = 電壓 / 電流，可以簡單地找出適合的電阻保護裝置。
- 九、自製改良版無接觸電極感應探測器，能簡單清楚的在不接觸的情況下，馬上檢驗出電荷的正負性。
- 十、(指示燈) 正電荷：靠近不閃爍，遠離閃爍；負電荷：靠近閃爍，遠離不閃爍。(警報聲) 正電荷：靠進不響；遠離響；負電荷：靠近響；遠離不響。

柒、參考文獻資料及其他

靜電 閃電

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9D%99%E7%94%B5>

維基百科(靜電)

<https://www.keyence.com.tw/ss/products/static/static-electricity/basic/about.jsp>

靜電知識學堂 (靜電)

<https://www.jendow.com.tw/wiki/%E6%91%A9%E6%93%A6%E8%B5%B7%E9%9B%BB>

百科知識 (摩擦起電)

<https://bookzone.cwgv.com.tw/article/13419>

天下文化-科學自然 (摩擦起電原理)

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%99%B6%E4%BD%93%E7%AE%A1>

維基百科(電晶體)

<https://baike.baidu.hk/item/%E8%B5%B7%E9%9B%BB/10283653>

百度百科(起電)

[https://physcourse.thu.edu.tw/galechu/wp-](https://physcourse.thu.edu.tw/galechu/wp-content/uploads/sites/8/2018/09/%E9%9B%BB%E6%99%B6%E9%AB%940913.pdf)

[content/uploads/sites/8/2018/09/%E9%9B%BB%E6%99%B6%E9%AB%940913.pdf](https://physcourse.thu.edu.tw/galechu/wp-content/uploads/sites/8/2018/09/%E9%9B%BB%E6%99%B6%E9%AB%940913.pdf)

(電晶體 0913)

【評語】 082807

※此裝置有助於學生以直觀的方式學習電學的基本概念，使他們能夠通過實際實驗而非單純的理論學習來掌握知識。

※安全：此系統能夠在無接觸的情況下識別靜電性質，對於工程、維修等工作中的使用者來說，這能大大提高工作安全性。

※便捷性：由於系統可以快速且準確地判斷物體是否帶電以及電的極性，這使得使用者可以在需要判斷電性質的情況下迅速做出反應。

※攜帶的便利性：如果該裝置的尺寸大或重，或者需要特殊的設備來操作，如專用的電源供應，那麼它可能不便於攜帶或在場地間轉移。這可能會限制其在某些場景下的實際應用，例如在外地進行工作或在戶外環境進行實驗。

作品海報

靜電密碼-無接觸電極感應探究

摘要

在求學階段大家對靜電這個名詞都不陌生，但基本上都只能背誦，例如毛皮摩擦塑膠尺，毛皮帶正電，塑膠尺帶負電；絲綢摩擦玻璃棒，玻璃棒帶正電，絲綢帶負電。靜電確實存在，而且稍碰即逝，接觸到的當下，電子瞬間就會導引掉，所以我們很難利用接觸的方式去測量。

本研究主要針對靜電的電性進行探究，從基本靜電實驗開始，逐步深入探討，並利用電晶體可以放大訊號的特性，將電晶體串聯起來，增強放大效果。結合LED燈與蜂鳴器做為指示燈與警報器，當有微電流靠近時，警示燈與警報器便會通電，由燈號、聲響可以快速判斷是否帶電，與電的極性。最後再進行改良，使系統能在準確、快速、安全且便宜的前提下讓所有學生不必再用死記硬背的方式記錄，並以實驗記錄取代，在工程上也能使用此系統在無接觸的情形下進行電力判別，使施工、維修能更加安全，大大的改善生活。

研究動機

我們以前就覺得很神奇，在冬天溜滑梯有時候頭髮會翹起來，洗澡時把毛衣脫掉，會聽到「啪啪」的聲音，或者是在很乾燥的時候觸碰車門，會有一種刺刺麻麻的痛覺，好像是被電到一樣，本來我以為電應該是存在於有電線的電器產品，可是滑梯或是車門不可能有電才對啊？我們為什麼被電到呢？所以想知道為什麼會這樣子呢？後來上科學課的時候，我們做了靜電的實驗，也體驗到許多關於靜電的器材設施，讓我更有興趣來研究靜電，看能不能明白更多靜電的性質。

研究目的

- 靜電的基本實驗探究。
- 蒐集靜電與自製靜電棒的可行性探究。
- 電晶體與電荷關係探究。
- 自製感應探測器的適用性探究。
- 改良新版提高感應範圍與聲光效果的實用性探究。

研究過程

- 文獻探討
 - 靜電的定義

靜電 Static Electricity	當兩個物體相互碰撞時，負電將會移動到吸引負電力道較強的一方，原本呈現良好平衡的狀態因碰撞而失去平衡。 此失去平衡的狀態就稱作「靜電」。
起電 Charge	組成物質的原子內含帶正電的質子和帶負電的電子組成。正常情況下，物體中正負電荷電量相等，對外不顯示出電性，即不帶電。在一定的外部作用下（比如摩擦），物體得到或失去一定數量的電子，使物體內部正負電荷電量不相等，物體就會對外呈現電性，即帶電。
放電 Discharge	靜電積累之後，由於不同物體電位不同，電荷瞬間通過的過程稱為放電。冬季手和金屬之間的火花、閃電等現象都屬於放電。
電荷中和 Charge Neutralization	自然的電荷中和現象最常發生於低溼度的季節。這現象偶而會造成一些困擾。但是，在某些特別狀況，會變得具有相當的破壞性和摧毀性（例如，電子製造業）。

（維基百科）

- 歷屆科展作品

電流的物理原理及公式

電流是指電荷在導體中的移動的流動，其物理原理是受到電場力驅動的電子在導體中自由移動所造成的。

電流的公式：I=Q/t，其中 I：電流強度，Q：電荷量，t：時間

當電荷為庫倫（C），時間為秒（s）時，此時電流強度的單位為安培（A）

- 科展四十五屆靜觀奇電作品中，主要探討日常生活中的靜電現象及各種變數變因對靜電的影響，內容相當完善，但在報告中，只能察覺靜電力的大小，卻無法直接判別靜電電荷的正電與負電。為了解決以上的問題，我們設計並動手製作無接觸電極感應系統，無須接觸僅憑聲光效果就可以立刻判別（本次報告的亮點）來解決他們所遇到的問題，也是大部分在校的師生在靜電課程中常遇到的問題。

二、靜電的基本實驗探究

我們利用手邊的材料進行簡單的靜電實驗，希望了解靜電的基本性質。

（一）靜電的感覺

實驗步驟：

- 根據前面所查到的文獻資料我們了解，靜電是經由摩擦後所產生。
- 利用PVC水管與毛衣進行摩擦。
- 將摩擦後的PVC水管緩緩靠近臉頰與身體。
- 觀察、感覺、記錄實驗過程與結果

一、靜電靠近身體的感覺

照片				
	(圖 1) 靠近手臂	(圖 2) 靠近臉頰	(圖 3) 靠近頭髮	(圖 4) 用手觸摸
感覺	手臂上的毛會被吸引，會站起來。	臉頰感覺有被輕拂過的感覺。	頭髮被吸起來，好像有什麼東西牽引。	摸起來有東西在手上跳動的感覺。
備註	1. 毛衣摩擦水管時會發出聲音。 <p>2. 靠近身體有奇怪的感覺。</p>			

實驗後發現與討論：

- 在多次摩擦 PVC 水管時，會明顯聽見有劈啪聲。
- 帶靜電的 PVC 水管靠近身體時，會有毛毛的感覺，身上的毛髮也會被吸起來。
- 用手握住會有劈劈啪聲及電荷跳動的感覺。

（二）靜電的吸附能力

由上一個實驗，我們發現靜電會有吸附或吸引毛髮的現象，此實驗找了更多不同的物質進行測試。

實驗步驟：

- 我們把紙片、鋁箔剪碎。
- 將保麗龍搓成碎屑，餅乾壓碎成餅乾屑。
- 打開水龍頭製造小水流，點燃線香產生煙霧。
- 利用水氧機製造蒸氣。
- 將 PVC 塑膠管和毛衣摩擦後，靠近餅乾屑、保麗龍碎屑、鋁箔屑、小紙屑、水流及點燃的線香，觀察物質被吸引的情形。

表二、靜電對物體的吸附情形

照片				
	(圖 5) 餅乾屑	(圖 6) 保麗龍碎屑	(圖 7) 鋁箔屑	(圖 8) 紙屑
結果	吸附	吸附	吸附	吸附
備註	所有材質的碎屑都能被帶電的 PVC 管吸起來。			

表三、靜電對流體的吸附情形

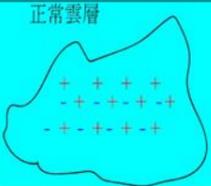
照片			
	(圖 9) 水流	(圖 10) 線香煙霧	(圖 11) 蒸氣
結果	吸附	吸附	吸附
備註	1. 流體也均能背靜電吸引。 <p>2. 摩擦實驗久了會產生手汗，影響靜電。</p>		

實驗後發現與討論：

- 無論是固體、液體、氣體的物質皆會有被靜電吸引的現象產生。
- 質量較小的物質會被吸起，較大的物質無法被吸起，與 PVC 管上帶的電荷多寡有關。
- 實驗久了會有手汗，手汗會影響電流的傳導，所以必須在乾燥的情況下進行起電反應。

（四）自然界中最強的靜電

閃電通常發生在積雲、層積雲和雷暴雲中，這些雲層內部的風速和溫度變化很大，會使雲內部產生靜電場。當靜電場達到一定程度時，就會導致雲內部的氣體離子化，產生強烈的放電，形成閃電。閃電通常以電弧形式出現，從雲層內部或雲和地面之間傳遞。

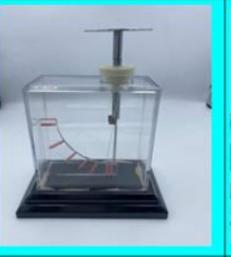
		
(圖 12)正常雲層示意圖	(圖 13)閃電形成示意圖	(圖 14)最強靜電，閃電

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論：

- 靜電只發生在表面，且很微弱，質量越小越輕的物品越容易被吸引。此外，濕度濕氣會影響靜電的生成。在越乾燥的環境下，靜電越容易生成。
- 閃電就是雲層與雲層相互摩擦帶電後的放電反應，但由於雲層的面積很大，所帶的電荷也高，因此釋放時能量極高。

三、蒐集靜電與自製靜電棒的可行性

- 在接下來的實驗中，我們希望能量化靜電力的大小，於是使用三用電表與箔片驗電器進行檢測。
- 驗電器是一種檢測物體是否帶電以及粗略估計帶電量大小的儀器，典型構造如圖(15-16)所示。當被檢驗物體接觸驗電器頂端的導體時，自身所帶的電荷會傳到玻璃罩內的箔片上。由於同種電荷相互排斥，箔片將自動分開，張成一定角度。
- 根據兩箔片張成角度的大小可估計物體帶電量的大小。

		
(圖 15)驗電器示意圖	(圖 16)箔片驗電器	(圖 17)三用電表

（一）自製萊頓瓶儲存靜電

萊頓瓶是一種用以儲存靜電的裝置，最先由彼得·穆森布羅克（1692年－1761年）在荷蘭的萊頓試用，萊頓瓶因此得名。作為原始形式的電容器，萊頓瓶曾被用來作為電學實驗的供電來源，也是電學研究的重大基礎。至今，萊頓瓶仍然在演示靜電學原理時被使用。

製作過程:

- 首先，將鋁箔剪成兩片長方形。
- 把鋁箔個別包在兩個杯子上。
- 將兩個包裹著鋁箔的杯子套在一起。
- 我們剪了一片長條狀的鋁箔，將其中一段弄尖，以方便傳導。
- 最後把鋁箔尖的長條鋁箔夾在兩個杯子之間，簡易萊頓瓶製作完畢。

		
(圖 18)剪下鋁箔	(圖 19)包裹杯子	(圖 20)組合
		
(圖 21)萊頓瓶電容完成	(圖 22)收集靜電	(圖 23)用手碰觸

碰觸後發現與討論：

- 製作萊頓瓶之後，我們動手去做測試。大家都有觸電的強烈感覺，而且這個觸電會產生火花。
- 實驗證明，摩擦會產生靜電，且這靜電能被萊頓瓶儲存。
- 在摩擦 PVC 管時，發現鋁箔不斷的上下震動，同時發出聲音，明顯感覺到電荷傳入萊頓瓶內。

（二）摩擦次數對靜電的影響

- 由前幾次的實驗過程中，我們發現摩擦的次數會影響靜電產生的電荷量，本次實驗將針對摩擦次數與靜電產生的電荷進行比較實驗。
- 為了使實驗更加精準，接下來的實驗我們將水管與毛衣用東環套固定，減少人為變因。

實驗步驟：

- 毛衣纏繞 PVC 管後用東環套固定鬆緊度。
- 靠近萊頓瓶電容，分別摩擦 2 次、4 次、6 次、8 次、10 次。
- 利用三用電表測量電壓電流
- 觀察箔片驗電器的角度變化並記錄。

		
(圖 24)東環套固定	(圖 25)箔片驗電器檢測	(圖 26)箔片驗電器檢測

表四、萊頓瓶電容器對人體放電實驗

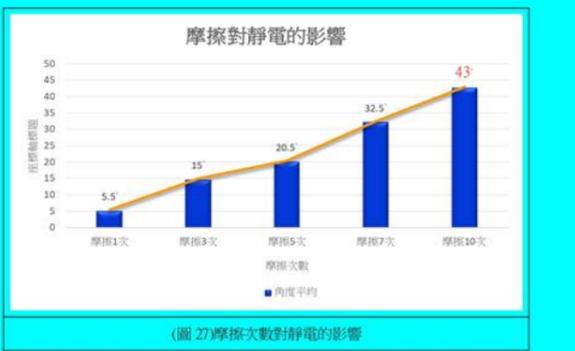
摩擦次數	摩擦 1 次	摩擦 3 次	摩擦 5 次	摩擦 7 次	摩擦 10 次
用手觸碰	無感覺	稍有感覺	感覺明顯	有刺痛感	很痛
備註	若只用手觸碰鋁箔尖端，實驗會失敗。				

表五、三用電表檢測

摩擦次數	摩擦 1 次	摩擦 3 次	摩擦 5 次	摩擦 7 次	摩擦 10 次
三用電表(電壓 mV)	X	X	X	X	X
三用電表(電流 mA)	X	X	X	X	X
備註	無法測得，就算電表有反應數字也會亂跳。				

表六、摩擦對靜電的影響

摩擦次數	摩擦 1 次	摩擦 3 次	摩擦 5 次	摩擦 7 次	摩擦 10 次
第一次	5°	14°	21°	35°	43°
第二次	6°	16°	19°	32°	45°
第三次	6°	15°	22°	31°	41°
平均	5.5°	15°	20.5°	32.5°	43°
備註					



由上述實驗後發現與討論：

- 萊頓瓶確實能儲存靜電，測試者皆有被電擊的疼痛感。
- 三用電表無法測得靜電，就算電表螢幕有反應，有數字與正負電會亂跳，無法列入記錄。
- 摩擦次數越多，箔片驗電器的角度發生偏折越大，表示越多電荷產生。
- 摩擦次數與靜電量有正相關的線性關係。

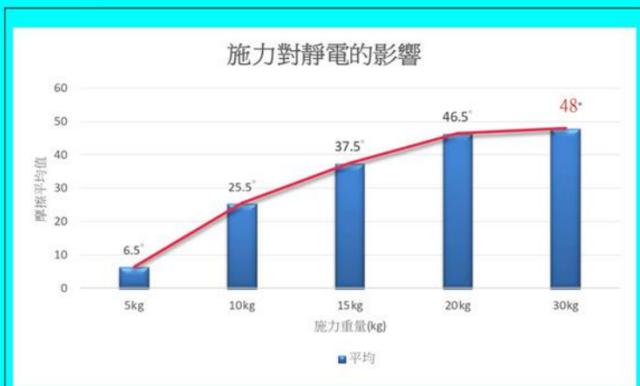
(三) 摩擦力對靜電產生的影響

實驗步驟：

1. 利用體重機測量施力重量，若施力越大則體重機顯示越重。
2. 將下壓力道調整為 5、10、15、20、30 公斤進行測試。
3. 靠近萊頓瓶電容，分別個摩擦 10 次進行測定。
4. 觀察箔片驗電器的角度變化並記錄。

表七、施力對靜電的影響

摩擦次數	5kg	10kg	15kg	20kg	30kg
第一次	7°	24°	36°	45°	48°
第二次	6°	27°	38°	47°	48°
第三次	7°	26°	39°	48°	49°
平均	6.5°	25.5°	37.5°	46.5°	48°
備註	箔片夾角似乎無法超過 50°				



(圖 28) 施力對靜電的影響

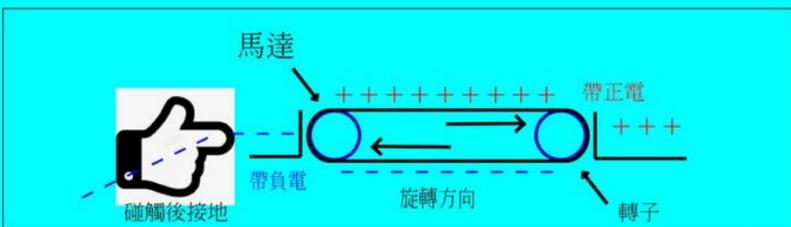
(二) 自製靜電產生器

1. 由前幾次實驗，我們已經理解了靜電的產生的基本原理與因素，希望能自製更方便且快速的穩定的產生的裝置。
2. 此次實驗我們希望利用馬達旋轉的方式帶動，更穩定的產生與測量靜電。
3. 我們拆卸了市售靜電玩具，進行觀察。

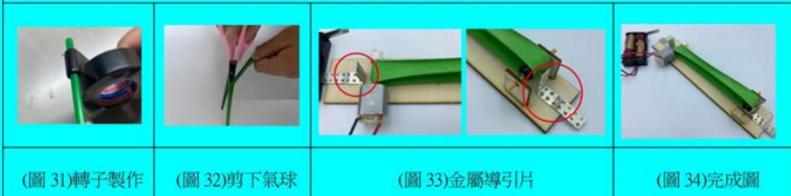
製作過程：

1. 將 130 小馬達用熱溶膠固定於木板底座。
2. 棉花棒作為馬達軸心，並用絕緣膠帶纏繞增加厚度。
3. 氣球棍纏繞絕緣膠帶後作為前方轉子。
4. 長條氣球用剪刀剪開後頭尾固定，作為旋轉皮帶。
5. 利用金屬片作為電荷導引片，是靜電能夠順利傳導。

馬達規格介紹	
圖片	
	(圖 29)
名稱	130 馬達
工作電壓	3-6V
負載電流	150mA
空載轉速	13000rpm
齒輪比例	無

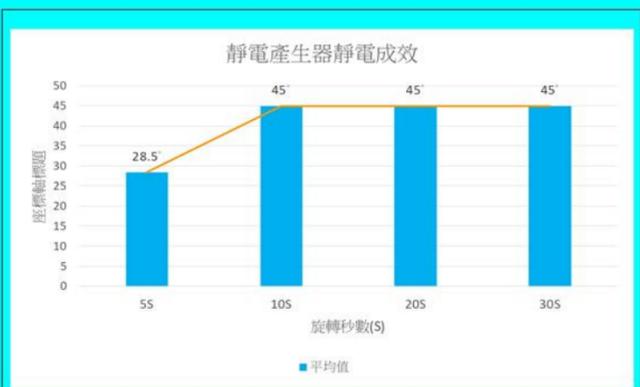


(圖 30) 靜電產生器示意圖



表八、自製靜電產生器靜電成效

旋轉秒數	5 秒	10 秒	20 秒	30 秒
第一次	28°	44°	45°	45°
第二次	29°	45°	46°	45°
第三次	29°	46°	45°	44°
平均	28.5	45°	45°	45°
備註	靜電產生很快，但一斷電靜電就明顯下降。			



(圖 35) 靜電產生器產電成效

由表八、自製靜電產生器靜電成效發現與討論：

1. 自製靜電產生器能快速且穩定的產生靜電。
2. 靜電產生器運轉大約 10 秒，產生的靜電就能達到最大值。
3. 與前面手動摩擦實驗相比，靜電產生器相對穩定。

(三) 檢測靜電的方式與效果

1. 我們將前幾次使用到的檢測工具進行比較。
2. 比較驗電方式、準確度、優點與缺點，找出何種最為適合。

表九、靜電檢測的方式比較

測量工具	碎屑	三用電表	箔片驗電器	萊頓瓶 & 三用電表	萊頓瓶 & 箔片驗電器
驗電方法	觀察吸附碎屑數量。	觀察電壓電流。	觀察瓶內箔片彈開角度。	先將靜電儲存至萊頓瓶再利三用電表測量。	先將靜電儲存至萊頓瓶再利用箔片驗電器觀察箔片彈開角度。
驗電結果	可以測量	無法測量	可以測量	無法測量	可以測量
驗電效果	方便觀察，但不夠準確，吸附的碎屑容易掉落影響準確度。	無效果	方便觀察與測量，且準確度高。	無效果	方便觀察與測量，且準確度高，但箔片有角度上的限制，無法再繼續增加。
備註：			※		※

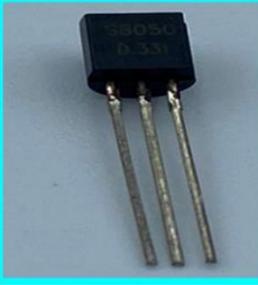
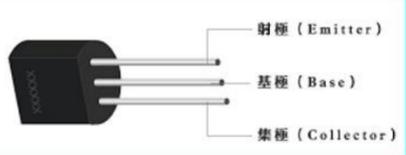
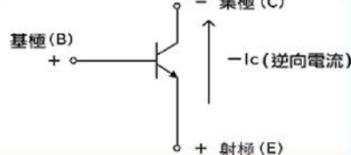
(效果佳：※)

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論：

1. 萊頓瓶是最早的電容儲存裝置，不僅製作方便容易，效果還很好，至今仍然很常出現在靜電實驗中。
2. 摩擦的次數多與摩擦的施力愈大，產生的靜電愈強。
3. 摩擦面積：摩擦面積愈大，產生的靜電愈強。
4. 兩物體摩擦後會產生不同性質的靜電，即正靜電和負靜電。

四、電晶體與電荷關係

(一) 電晶體的功能

(圖 36)	電晶體 S8050	
	功	電晶體，是一種類似於閥門的固態半導體元件，可能以用於放大、開關、穩壓、訊號調變等功能。
	傳	電晶體，至少有三個對外端點稱之為極。基極(B)、集極(C)、射極(E)，其中基極(B)是控制極，另外兩個端點之間的伏安特性關係是受到控制極的非線性電阻關係。
		
(圖 37) 電晶體 S8050 腳位		(圖 38) 腳位電路

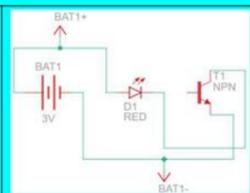
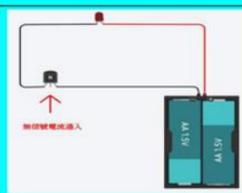
(二) 電流是否通過人體

1. 當人體觸碰普通乾電池時，我們卻一點也沒有感覺，有人說是人體電阻太高，電流無法流通，也有人說是因為電壓太低人體沒有感覺。
2. 我們希望利用電晶體能將訊號電流放大的性質，測試電流是否通過人體。
3. 實驗過程中，手指必須接觸電池的正極，使人體作為導體。
4. 若人體確實有電流通過，LED 燈變化發亮。

照片	
	(圖 39)
名稱	發光二極體 light-emitting diode ; (LED)
輸入電壓	2.2-3 伏特(V)
輸入電流	20 毫安培(mA)
腳位	

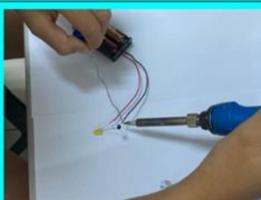
(三) 設計簡易電路(單顆)

1. 利用 Tinker Cad 線上網頁繪製電路設計圖。
2. 我們將 2 顆三號乾電池串聯後接上電晶體，中間連接 LED 燈，希望測試電晶體的功能。
3. 利用電烙鐵將電池盒紅線(正極)與 LED 燈長腳銲接；短腳與電晶體 E 極銲接。
4. 電池盒黑線(負極)與電晶體 C 腳銲接。
5. 一手碰觸電池盒刀柄開關；另一手碰觸電晶體 B 腳位。
6. 觀察 LED 燈發光情況。

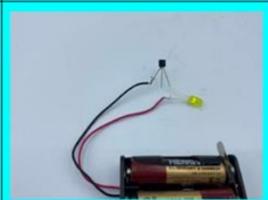


(圖 40)一顆電晶體電路示意圖

(圖 41) 一顆電晶體電路圖



(圖 42)將線路銲接



(圖 43)一顆完成

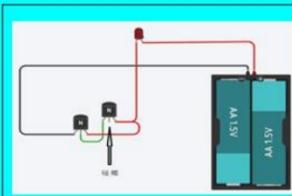
第一次測試後發現與討論：

1. 單一電晶體直接使用，並無法直接接通電源。
2. LED 燈無反應，可能是電流沒有通過，或產生的微電流過低。

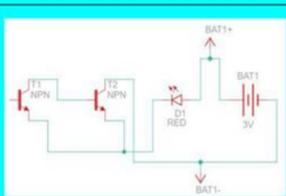
製作過程：

串聯電晶體(雙顆)

1. 將第一顆電晶體 B 腳作為天線；C 腳與第二顆電晶體 B 腳連接。
2. 第二顆電晶體的 C 腳與電池盒負極連接。
3. 迴紋針拉直作為導體，與兩顆電晶體的 E 腳相連並接上 LED 燈與電池盒正極。



(圖 44) 二顆電晶體電路示意圖



(圖 45) 二顆電晶體電路圖



(圖 46)兩顆串聯完成

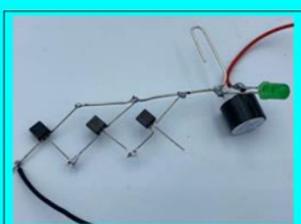
第二次測試後發現與討論：

1. 碰觸第一顆電晶體 B 腳，LED 燈會發亮。
2. 此實驗證明微小的電流也能夠流過身體，但由於太過微弱，所以人體才沒有感覺。
3. 串接更多電晶體的反應效果會更好。

(一) 串聯三顆電晶體

1. 由前次實驗結果讓我們感到意外，本次實驗我們希望串聯三顆電晶體，除了 LED 指示燈外，我們還加裝了蜂鳴器進行判別輔助。
2. 本次實驗我們利用三用電表對實際放大效果進行測定。

照片	
	(圖 47)
名稱	二極體震盪蜂鳴器
輸入電壓	3-6 伏特(V)
輸入電流	30 毫安培(mA)
腳位	長腳正極；短腳負極



(圖 48)三顆串聯完成



(圖 49)將 pvc 管靠近

第三次測試後發現與討論：

1. 串聯三顆電晶體的效果反應更加敏銳，一碰觸到馬上做出反應。
2. 蜂鳴器的電壓稍微不足，需要加裝電池。
3. 將帶靜電的 PVC 管靠近，竟然發現裝置對靜電有反應，LED 與蜂鳴器發出微弱光線與聲音。
4. 需要用到電烙鐵銲接的過程，不適合國小學生使用，後續實驗我們將採麵包板取代銲接方式。

綜觀上述實驗結果可獲致以下結論：

1. 單顆電晶體放大訊號效果不足，但在串接兩顆電晶體之後，對微電流開始有明顯的反應，也能透過接觸，感應出電流經過人體的現象。
2. 串聯三顆電晶體，接觸感應更加明顯了，同時在不碰觸的情形之下，對靜電會有細微感應。
3. 電烙鐵銲接方式，較不適合國小生使用，應採用麵包板改善。

肆、研究結果

一、自製微電流電晶體測電器功能比較

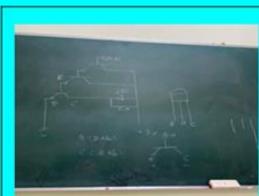
表十、電晶體數量對感應的靈敏度比較

	一顆電晶體	二顆電晶體	三顆電晶體
用手指觸碰	無反應	有反應	反應更靈敏
PVC 水管靠近	無法應	無反應	稍微有反應

(一) 改良：增加第四顆電晶體，並製作天線，提高感應範圍(第二版)。

改良過程：

1. 將電晶體依照之前的排列方式，在麵包板上串接四顆電晶體。
2. 利用漆包線(直徑 19mm)，刮漆後旋轉纏繞在筆管上數圈，做成天線。
3. 第一顆電晶體的 B



(圖 50)電路圖



(圖 51)四顆電晶體感應器



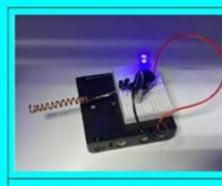
(圖 52)製作天線

測試後發現與討論：

1. 效果更加明顯，對帶靜電體，每一次都有反應。
2. 在感應靜電時，靠近或遠離帶電物體，有些靠近時會有聲光效果；有些則發生在遠離時，我們懷疑與靜電的電極有關。
3. 我們希望再增加無接觸感應的範圍與強度，討論後希望再增加一顆電晶體提高效率。
4. 發現 LED 燈亮度不足；蜂鳴器也只有微弱聲音。
5. 需要增加輸入電源電壓。



(圖 53)電阻 294-150-RC



(圖 54)第三版無接觸電極感應探測器完成

(二)再次改良：增加第五顆電晶體，再提高感應範圍與聲光效果(第三版)

(第三版)再次改良與說明：

1. 因本次改良還要再提高電壓，改用 4 顆 AA 1.5V 電池，所以 LED 會有燒毀的風險，必須加裝電阻。
2. 歐姆定律公式：

$$V = I R \text{ 電壓} = \text{電流} \times \text{電阻}$$

$$V = \text{以伏特表示的電壓。}$$

$$I = \text{以安培表示的電流。}$$

$$R = \text{以歐姆表示的電阻。}$$

要計算所需要的電阻值 R，公式推倒：

$$R = V / I，\text{電阻} = \text{電壓} / \text{電流。}$$

3. 電池為 4 顆 1.5 伏特串聯 = 6V。

LED 需要的電流大約是 20mA，也就是 0.02A。

$$R = (6V - 3V) / 0.02A = 150 \Omega$$

因此我們使用 150 歐姆的電阻。

二、改良版無接觸電極感應探測器實際應用

實驗說明：

1. 由前面研究我們知道，自製無接觸電極感應探測器對靜電會有很敏銳的感性效果。

2. 本次實驗將針對靜電的電性進行研究。

(電性=電極；正電荷與負電荷)

3. 為了實驗精準性，我們從實驗室找出了章

氏起電機，進行對照實驗。 表十一、改良版無接觸電極感應探測器判別記錄

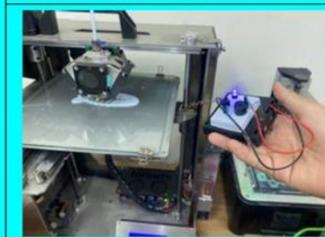
	正電荷(+)	負電荷(-)
燈光現象	靠近不閃爍；遠離閃爍	靠近閃爍；遠離不閃爍
警報現象	靠進不響；遠離響	靠近響；遠離不響
備註	兩種電荷反應完全相反	



(圖 55)判別韋式起電機電性



(圖 56)靠近電腦螢幕



(圖 57)靠近 3D 列印機



(圖 58)靠近冰箱

討論

我們發現自製無接觸電極感應探測器，對有電通過的電器或線路也有敏銳反應，可以再繼續深入研究，若能針對其判別數據更進一步的分析，或許又會是一大進展與發明。

結論

- 一、不論固體或流體，質量愈小愈容易被靜電吸引，此外濕度濕氣會影響靜電的生成，在越乾燥的環境下，靜電越容易生成。
- 二、閃電就是雲層與雲層相互摩擦帶電後的放電反應，但由於雲層的面積很大，所帶的電荷也高，因此釋放時能量可以比我們生活中發生的靜電高出數萬倍。
- 三、萊頓瓶確實能儲存靜電，測試者皆有被電擊的疼痛感，再儲存靜電的過程中，發現鋁箔片不斷的上下震動，同時發出聲音，明顯感覺到電荷傳入萊頓瓶內，放電時仔細看還能看到火花。
- 四、三用電表無法測得靜電，使用箔片驗電器就能量化靜電量，但箔片偏折的角度卻有所限制，是一大缺點。
- 五、摩擦起電實驗中，摩擦次數愈多、摩擦力到愈大就能產生愈多的靜電荷，彼此呈現正相關的線性關係。
- 六、自製靜電產生器能快速且穩定的產生靜電，運轉大約 10 秒，產生的靜電就能達到最大值。
- 七、串聯越多顆電晶體，訊號放大效果會越明顯，有 Darlington pair 的效果。
- 八、我們將歐姆定律推導出 $R = V / I$ ，電阻 = 電壓 / 電流，可以簡單地找出適合的電阻保護裝置。
- 九、自製改良版無接觸電極感應探測器，能簡單清楚的在不接觸的情況下，馬上檢驗出電荷的正負性。
- 十、(指示燈) 正電荷：靠近不閃爍，遠離閃爍；負電荷：靠近閃爍，遠離不閃爍。(警報聲) 正電荷：靠進不響；遠離響；負電荷：靠近響；遠離不響。