

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 物理與天文學科

**第三名**

051801

**訊號魔術師**

學校名稱：國立彰化女子高級中學

作者：  高二 許英雪  高二 王心怡  高二 陳佩吟	指導老師：  張國志
---	------------------

關鍵詞：太陽能板、光訊號、電流

## 摘要

本實驗最主要為探討藉由太陽能板當媒介，將敲擊能量透過光訊號轉換為聲音的現象。實驗發現裝置在鋁管上的 LED 燈的發光強度，會因鋁管經敲擊所產生振動而改變。太陽能板接收到光訊號變化，將輸出之光電流經擴大機將電信號傳遞給喇叭，使喇叭發出與敲擊鋁管相似的聲音。將鋁管換為鐵尺亦然。振動訊號經過光通訊傳遞過程能保有相當多原始訊息，但是波形頻譜會發生改變，也就是失真。

## 壹、研究動機

看到學姊之前做的實驗研究跟光通訊有關，我們好奇為什麼手電筒的光照在太陽能板上，並且敲擊手電筒，在經過擴大機和喇叭，就可以從喇叭那端聽到類似的敲擊聲。我們覺得這個現象非常有趣，於是開始收集相關資料探討此現象。

## 貳、研究目的

我們希望研究在鋁管上連接的 LED 所發的光產生變化時，太陽能板接收光訊號並透過喇叭發出聲音時波形的改變：

- 一、探討原本敲擊鋁管的聲音和經過太陽能板轉換後聲音的失真現象
- 二、探討彈動鐵尺及敲擊鋁管後，其上連結的 LED 光強度與經由光電板到擴大機輸出端之波形與原始聲波形之差異
- 三、探討改變鋁管上 LED 光的顏色，LED 光強度的變化和太陽能板輸出端之差異
- 四、探討不同長度的鋁管，經過太陽能板轉換後的差異。

## 參、研究設備及器材



圖一

示波器：記錄鐵尺鋁管振動的訊號波形



圖二

高功率擴大機：輸入端接收來自太陽能板的訊號，放大訊號後傳送到喇叭



圖三

全音頻喇叭



圖四

電池組(兩個 1.5 伏特串聯，電動勢為 3 伏特)



圖五

太陽能板(型號 SM5055)



圖六

音叉槌：利用擺動角度來控制每次敲擊的力道。



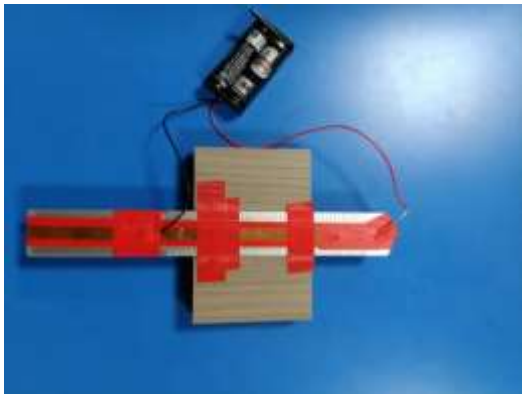
圖七

SHURE MV5 麥克風：接收敲擊鋁管時的原始聲，並傳輸到電腦上



圖八

鋁管



圖九

鐵尺(上貼導電膠帶)



圖十

高感光感應器(測量 LED 亮度變化)與  
數據機(Sparklink Air)



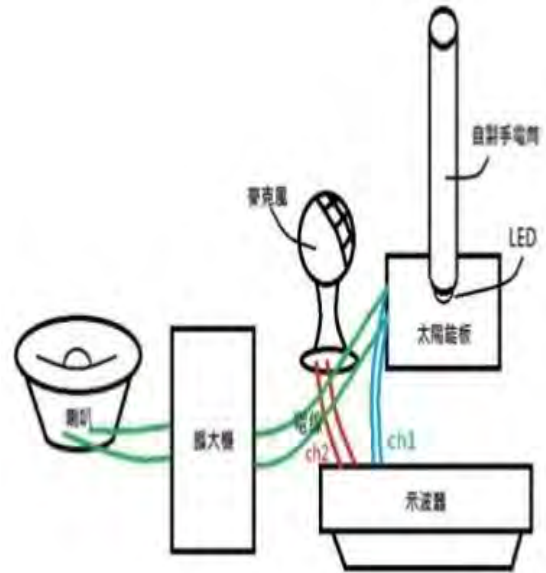
圖十一

LED(綠光、紅光、藍光)

一、 實驗裝置架設：



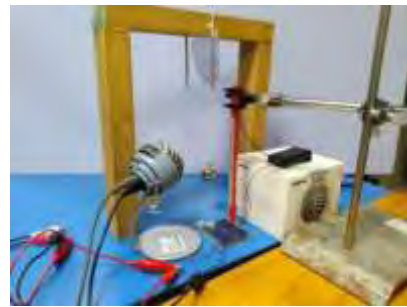
圖十二



圖十三



圖十四



圖十五

## 肆、研究過程及方法

### 一、實驗步驟：

把 LED 和電池組組裝在鋁管上接通形成一個串聯通路，並把鋁管固定在支架上，確認 LED 可照到太陽能板。打開擴大機和示波器，以及設定示波器測量波形的範圍。開始敲擊鋁管，並觀察示波器出現的波形變化以分析喇叭是否能發出和音叉槌敲鋁管一樣的撞擊聲，如圖十三。

#### (一) 實驗基本定量：

1. 鋁管敲擊位置(全長 20cm)為黃線所畫之處、固定夾住鋁管位置為紅圈部分。



圖十六

2. LED 和太陽能板的距離、角度與位置

每個 LED 與太陽能板垂直距離為 0.5 公分，照射範圍為下圖中圈起來標示 1、2 的部分。



圖十七

### 3. 示波器信號橫軸的秒數

下圖為示波器所呈現出波形，畫面中的波形是由 10000 點組成，橫軸分為 10 大格，每一大格裡面有 1000 點，然後一大格表示  $50\mu\text{s}$  的時間，因此每二點間的時間間隔為  $50\text{ns}$ 。



#### (二) 測量交流訊號經過太陽能板和擴大機的變化

1. 使用聲波產生器輸入  $440\text{Hz}$  到擴大機 A，擴大機輸出端接上 LED，使其 LED 閃爍頻率為  $440\text{Hz}$
2. 使 LED 照射在太陽能板(連接擴大機 B 輸入端)
3. 擴大機 B 輸出端分別接上示波器以及電腦，測量訊號波形和頻譜

#### (三) 測量敲擊鋁管後訊號的變化

1. 把 LED、電池組和貼在鋁管上的導電膠帶組裝為一串連電路，導電膠帶與鋁管間有絕緣膠帶相隔離
2. 把太陽能板放到 LED 正下方(發亮時能照射到的位置)



3. 打開擴大機和示波器並確認喇叭是否有連接到擴大機和示波器
4. 將高感光感應器平放於 LED 旁邊，測量照度變化
5. 利用懸吊於支架的音叉槌擺盪敲擊鋁管，然後調整懸吊角度以控制力道和敲擊位置
6. 開始敲擊鋁管長度 1/4(底部之上 5cm)處，由示波器及 audacity 軟體比較麥克風收錄之原始聲訊號及經太陽能板後擴大機輸出訊號之差異,並且和喇叭發出之聲音作比較

#### (四) 測量彈動鐵尺後訊號的變化

1. 把 LED、電池組和貼在鐵尺上的導電膠帶組裝為一串連電路，導電膠帶與鐵尺間有絕緣膠帶相隔離
2. 把太陽能板放到 LED 正下方(發亮時能照射到的位置)
3. 打開擴大機和示波器並確認喇叭是否有連接到擴大機和示波器
4. 將高感光感應器平放於 LED 旁邊，測量照度變化
5. 手壓在導電膠帶兩側(手壓位置有絕緣且未碰觸導電膠帶)
6. 控制鐵尺彈動時相同的振幅大小

#### (五) LED 基本量測：

用直流供應器接 LED 兩端，設定 LED 和太陽能板之距離為 0.5cm(即鋁管和振動鐵尺時 LED 和太陽能板之距離)，並用光感應器測量此距離(0.5cm)下太陽能板處的光照度(lux)，改變電源供應器不同的輸出電壓，由電表可得輸出電壓電流與照度的關係。

## 二、實驗變因：

### (一) 改變鋁管上 LED 的顏色

操縱變因：LED 的顏色(綠光、藍光、黃光)

控制變因：輸入 LED 電壓、敲擊強度、敲擊點

### (二) 改變振動材質

操縱變因：鋁管、鐵尺

控制變因：輸入 LED 電壓、LED 顏色(綠光)

### (三) 改變鋁管長度

操縱變因：鋁管長度(20cm、30cm)

控制變因：輸入 LED 電壓、敲擊強度，鋁管內外徑

## 三、文獻探討：

### (一) 太陽能電池：

#### 1. 太陽能板原理：

太陽能板能將接收到的光能轉變為電能。太陽能板的基本是用 P 型和 N 型的半導體組成，當光照 PN 結的空乏區時會產生電子-電洞對，經內建電場推動，電子會移動至 N 型半導體，而電洞移動到 P 型半導體上形成電池的正負極，在電路中產生電流。

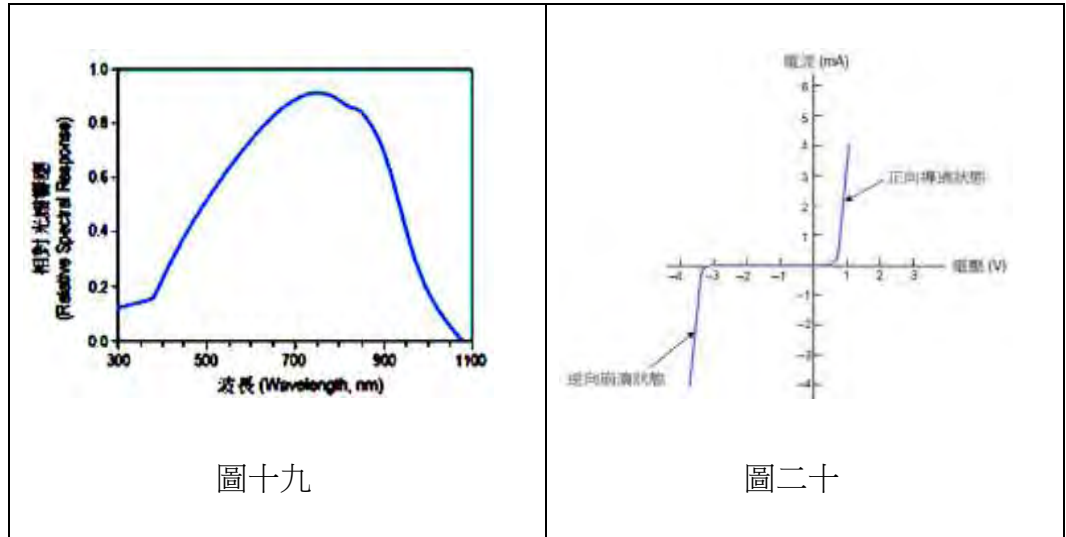
#### 2. 太陽能電池光譜感度特性：

##### (1) 光譜感度特性：

由圖十九可知不同色光 LED 即便光強度相同產生之光電流不同

(2) 太陽能電池半導體導電特性:

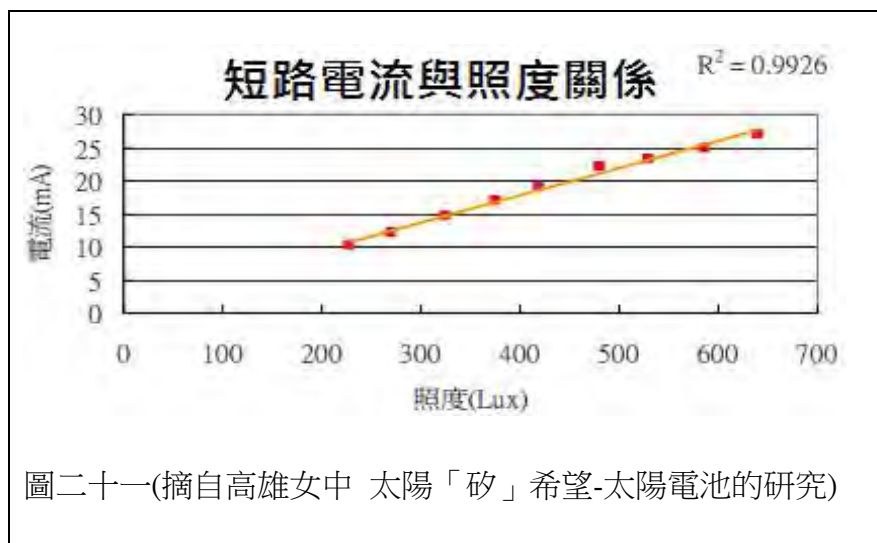
由圖二十可知太陽能電池具有二極體導電特性, 此點和 LED 一樣。



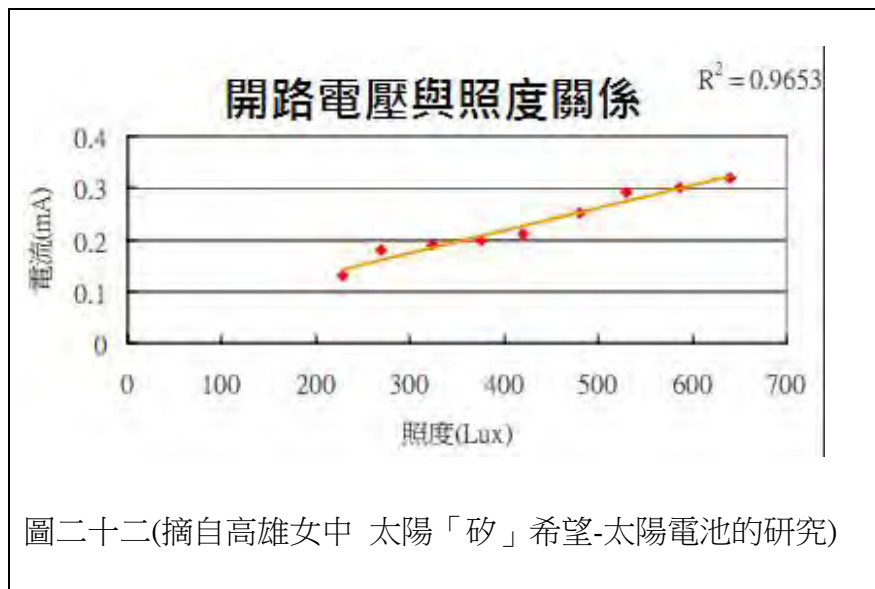
圖十九

圖二十

3. 太陽能板的開路電壓、短路電流與光照度之關係



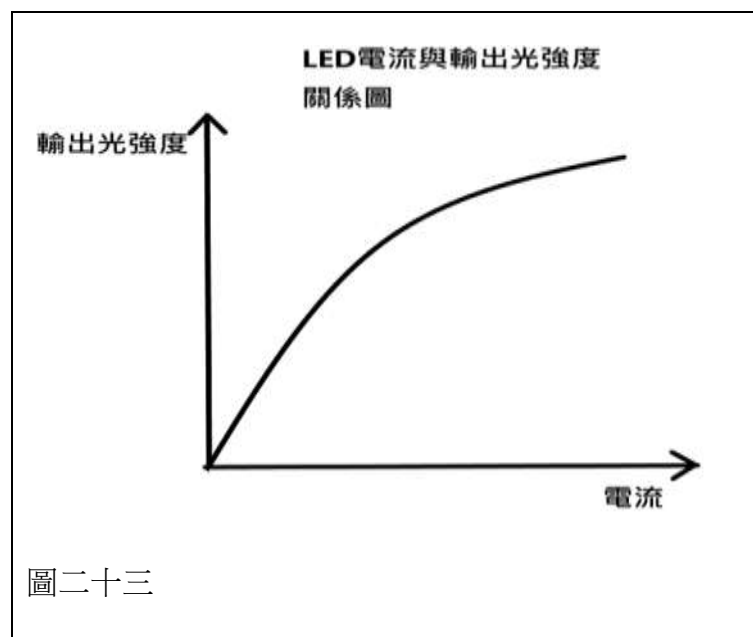
圖二十一(摘自高雄女中 太陽「矽」希望-太陽電池的研究)



(二) LED 發光特性

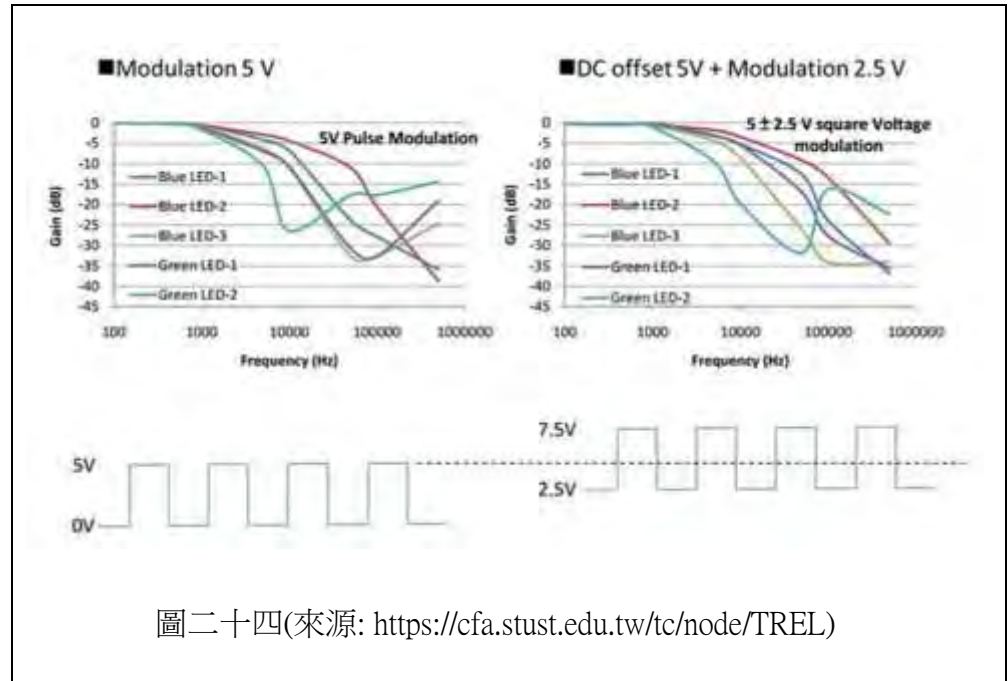
1. LED 發光強度和電流的關係：

理論上輸入的電流越大，LED 發光強度也就越大，但要小心的是輸入的電流，不能超過 LED 所能負載的，否則 LED 就會燒壞。電流過大發光強度曲線會偏離線性且上升率會越來越小，直到上升到 LED 負載的極限。



## 2. LED 頻率響應

可看出所研究鐵尺振動，鋁管振動發出之聲音頻率在兩萬以下各頻率響應都很好且值相同，也就是不會因為頻率不同造成失真。



### (三) 鐵尺振動模式：

棒做彎曲振動時的振動方程式  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\kappa^2 c_{r1}^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4}$ ，式中的  $\kappa$  是棒橫截面的回轉半徑， $c_{r1} = \sqrt{E/\rho}$  是細棒中縱波傳播速度，其中  $E$  是楊氏係數， $\rho$  是棒的密度。鐵尺振動適用此方程式。

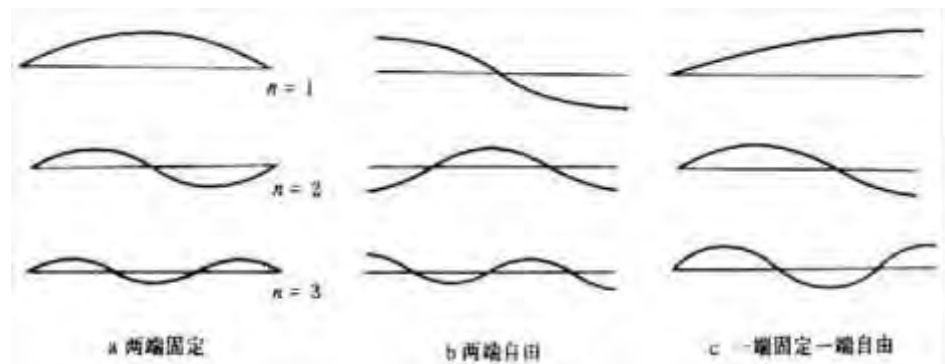
彎曲振動有三種，即棒兩端全是自由的、兩端全是固定的和一端自由一端固定三種情況。一端自由一端固定的棒做彎曲振動時的基音頻率

$$f_1 = 1.426 \frac{\pi c_{r1}^2}{8l^2} \kappa^2, \quad l \text{ 是棒長度, 而第一泛音頻率 } f_2 \cdot \frac{f_2}{f_1} = 6.267, \quad \text{第二泛音頻率}$$

$f_3, \frac{f_3}{f_1} = 17.55$ , 兩端自由的棒彎曲振動時的基音頻率  $f_1 = 9.067 \frac{\pi c_{r1} K}{8l^2}$ , 而第

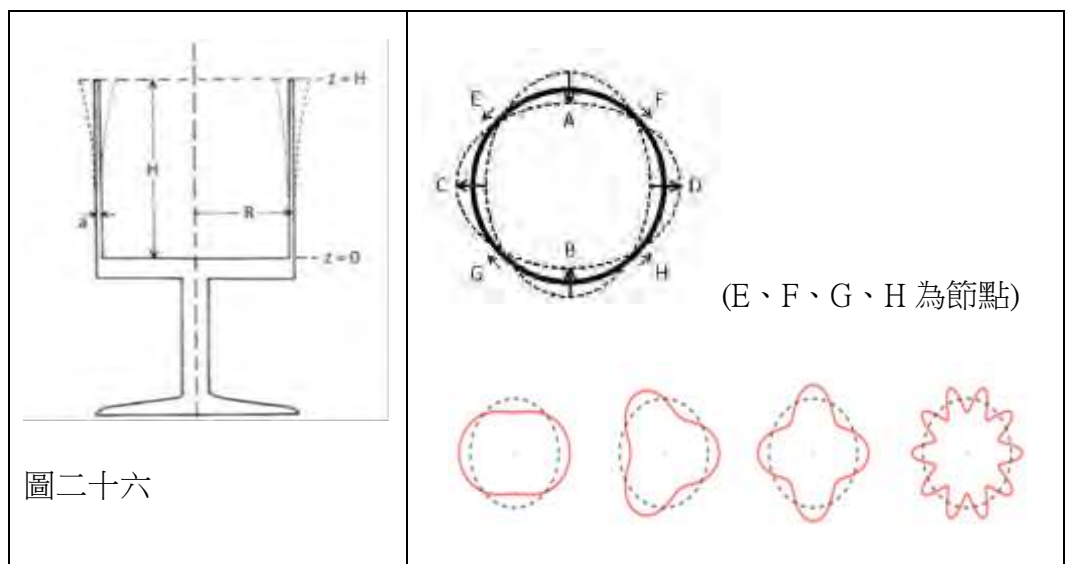
一泛音頻率  $f_2, \frac{f_2}{f_1} = 2.756$ , 第二泛音頻率  $f_3, \frac{f_3}{f_1} = 5.404$ 。

在樂器中有些是利用棒的振動原理制成的，例如木琴、風琴的簧片、調音用的音叉等。從以上所列頻率看，棒做彎曲振動時，它的泛音都不是基頻的整數倍。



圖二十五

(四) 鉛管的振動模式



圖二十六

	不同駐波模式圖圖二十七
--	-------------

圖二十六及二十七為酒杯口的振動示意圖，一端固定一端自由的鋁管管口的振動模式與之類似。酒杯上任意點之徑向位移  $R(z, \theta, t) = \Delta_0 f(z) \cos(n\theta) \cos(\omega t)$ ， $f(z)$ :從酒杯底部到酒杯口上緣之值由 0 到 1， $\Delta_0 f(z)$  是高度  $z$  處之振幅，酒杯橫截面振動符合  $f = nv/2\pi r$  ( $n=1,2,3\cdots$ 代表不同泛音的振動)

(五) 電阻定律：

電阻  $R = \rho \frac{l}{A}$ ，電阻率  $\rho$  與長度  $l$  和截面積  $A$  無關，最主要影響是溫度和本身的材質。電阻率可以得知此物質的導電性如何，例如金屬電阻率就較低，所以為導體；而像玻璃電阻率高就為絕緣體。介於中間者就稱為半導體，比如矽。

(六) 失真：

在理想狀態中，訊號經由擴大機放大，輸入波形和輸出波形會一樣，但現實生活中，是很難做到，因此輸入波形和輸出波形不能完全一樣，就稱為失真。失真總共分為 4 種：振幅失真、諧波失真、相位失真、頻率響應失真。

1. 振幅失真：

訊號經過元件後，振幅的響應不線性，振幅到達某個大小後，就無法再放大造成訊號，而被去頭去尾。

## 2. 諧波失真：

放大器運作原理大多是由控制端輸入電壓  $V$ ，之後由放大器在輸出端產生輸出  $I$ ，若  $I=n*V$  是理想的放大器，通常這個  $n$  值在電子學稱為  $G_m$ 。若  $n$  值會飄忽不定，每個輸入的  $V$  都有一個相對應的  $n$  值，那麼就是非線性，這個非線性會造成諧波失真，此失真是隨著輸入波而產生，並非外加或單獨存在的。諧波失真的程度不容易聽出來。在總諧波失真完全相同的情況下與其他不同類別的失真比較，就容易聽出差異。

## 3. 相位失真：

組合波的相位角差異會讓結果不同，通過音響的波形一定是充滿各種自然諧波，要是中間有某段頻率的相位速率特別不同，那麼就會產生相位失真。產生相位失真的因素，大多是材料對於不同頻率訊號的阻擋力有差異，例如電容的容抗及電感的感抗。大部分源自抗性分量，也就是說，輸入訊號的個別成份未被放大成一致的相移，導致輸出的訊號成份中相位不一致。或是通過濾波器後，濾波電路也是利用電容、電感挑選特別的頻率來實現，必然都會產生相位偏移。當這些交流訊號通過電容或電感時，必然都是透過充電、放電，或電生磁、磁再生成電的方式傳到另一端，包括充放電時間軌跡的不同、對頻率特性的不同都會造成失真。

## 4. 頻率響應失真：

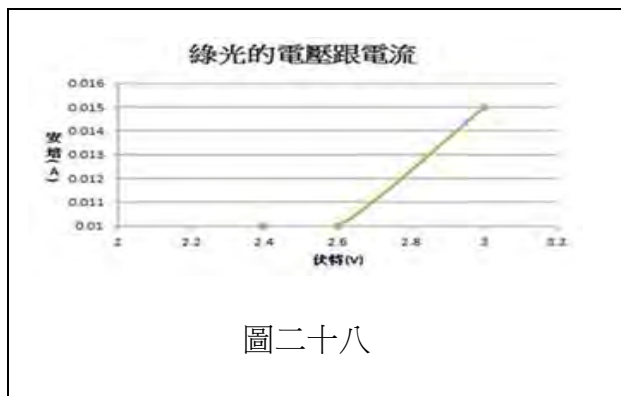


把某個頻率的波形丟進系統中，結果輸出的能量會比原來的小多少，許多電路組合之下，每個頻率通過系統之後能夠留下來的比率就有可能不同，此失真會造成樂器的泛音結構被改變，或是聲音的總結構受到改變。聽感上面除非很誇張否則不容易被發現，不過在設計擴大機或喇叭時，頻率響應仍是必測的一關。很多電子零件上面都帶有寄生電容或輸入電阻，這些特性都會造成頻率響應不佳。音響的頻率響應必需能夠通過 20KHz 的訊號。在非平坦的頻率響應中的不同頻率的振幅響應，就好像訊號通過濾波器一般的看待。在音訊的例子裡，頻率失真源自於房間的聲學模型、不好的揚聲器以及麥克風、過長的揚聲器導線加上與揚聲器的頻率相關的阻抗問題。

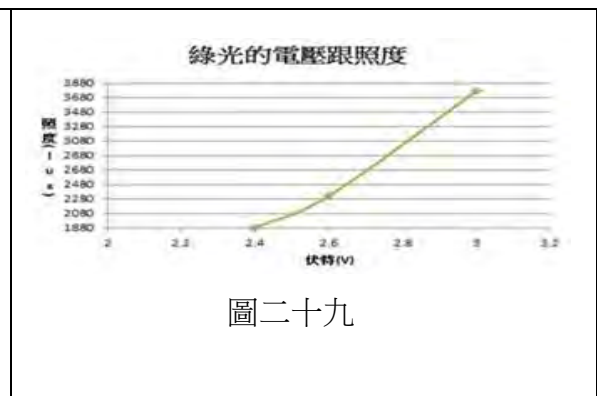
## 伍、研究結果

### 一、LED 基本量測：

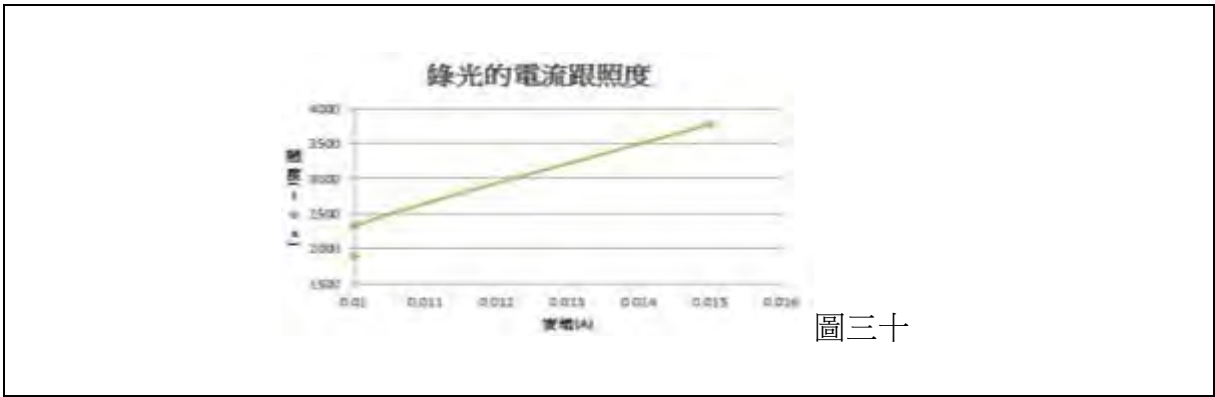
LED 兩端所加電壓越大，通過之電流越大，發光強度越大，所測到之照度也越大，且大致呈線性關係。



圖二十八



圖二十九



圖三十

二、將特定頻率的交流電通過 LED，觀察中間傳遞訊號時波形的差異：



圖三十一

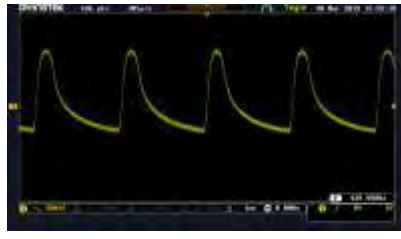
我們用聲波產生器輸入 440Hz 的信號至擴大機 A，輸出接上 LED，使 LED 發出單頻率(交流電)的光，再照射至太陽能板，經由擴大機放大，觀察信號的變化，並且觀察喇叭發聲的頻率，測得擴大機 B 頻率和原本輸入擴大機 A 頻率差不多。

由下面六張圖可知，原本輸入單一頻率(交流電)的 LED 照射太陽能板後，發現太陽能板波形幾乎減少一半(因太陽能板輸出為直流電)，然後經過擴大機放大之後波形恢復，但是波形已產生改變。太陽能板輸出端和擴大機輸出端的頻譜分析，也發現和原本單一頻率 440Hz 的相對分貝有所差別，因此造成喇叭端發出聲音和敲擊金屬聲有所差異，表現出經過太陽能板輸出的訊號會失真。



輸入頻率(440HZ)

圖三十二



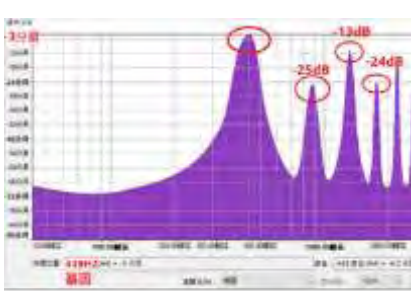
太陽能板輸出端

圖三十三



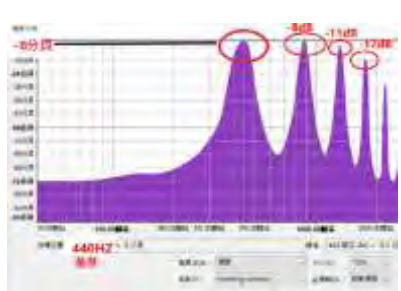
擴大機輸出端

圖三十四



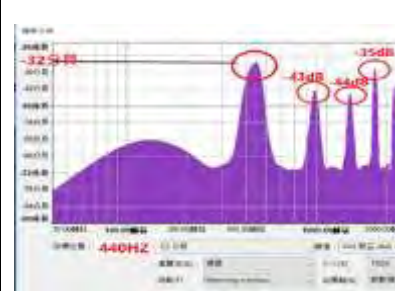
輸入頻率頻譜

圖三十五



太陽能板輸出端頻譜

圖三十六

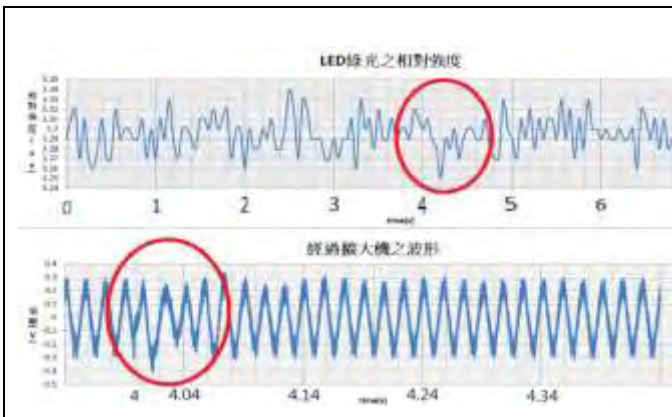


擴大機輸出端頻譜分析

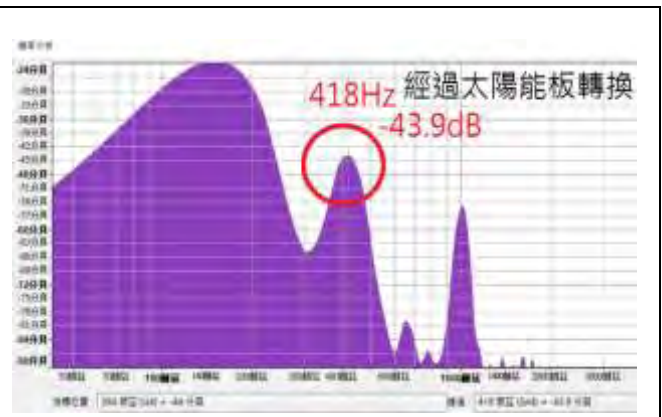
圖三十七

### 三、改變鋁管上 LED 發光的顏色：

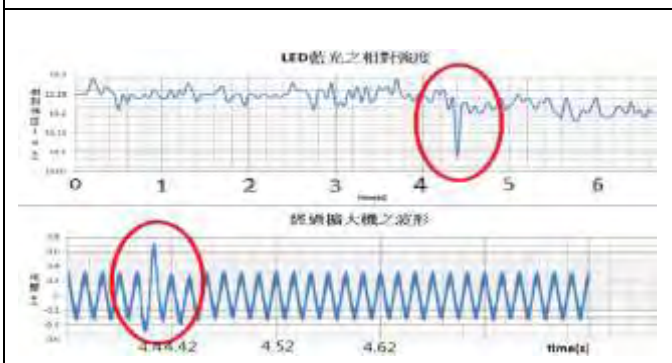
我們改變 LED 顏色(綠、藍、黃光)，來比較之間的差異。跟其他色光比起來，綠光經由擴大機發出聲音最為清脆。然後因高感光感應器的取樣率較低(只有 20hz)，雖然無法精準地測得細微變化，但可知在敲擊鋁管的瞬間還是有一個明顯光照度的變化，示波器顯示波形較精準而且明顯看到波形的變化，所以喇叭會有聲音出現。還有不同 LED 色光產生的基音相同，只是泛音跟相對 dB 數有所差異。註：光的相對強度由高靈敏光感應器量測、擴大機輸出之波形由示波器量測。



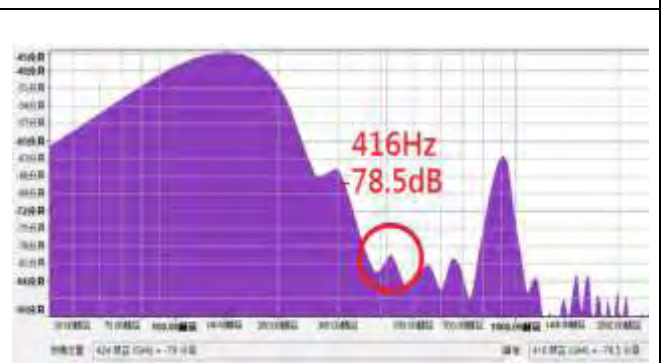
圖三十八



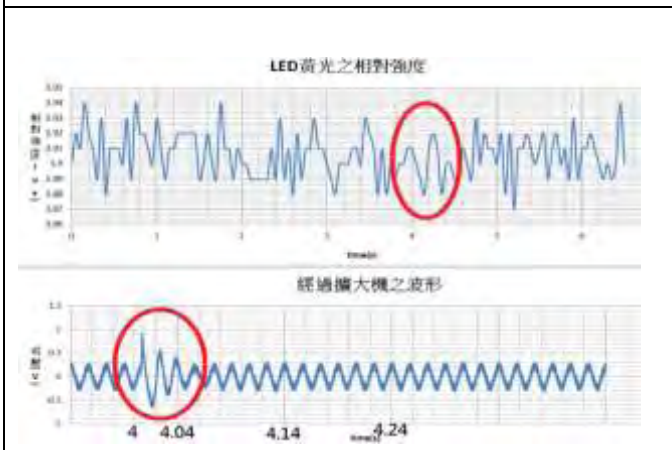
圖三十九



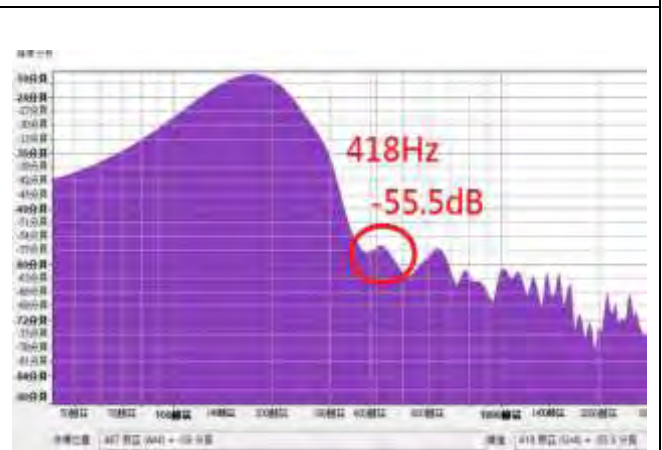
圖四十



圖四十一



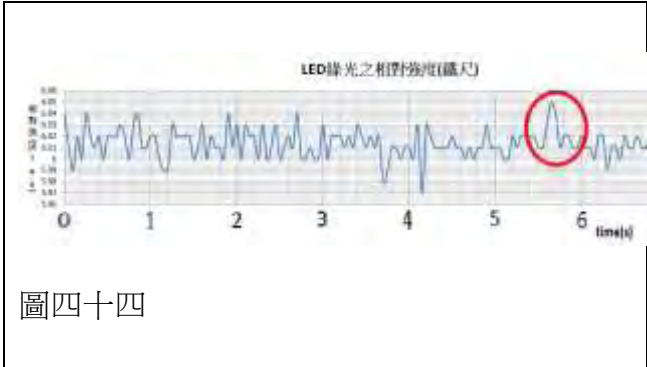
圖四十二



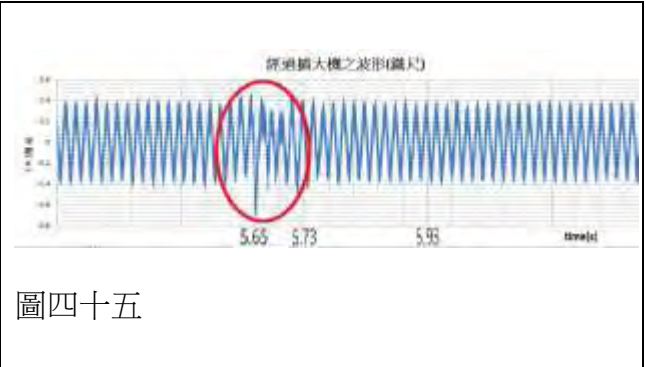
圖四十三

四、鐵尺

我們振動鐵尺，同樣可以看出是因振動時光照度產生改變，波形也隨之改變。但與鋁管綠光比較，光的相對強度較不穩定，也比較不吻合，而放大後的信號較穩定，聲音聽起來清楚，明顯為鐵尺的振動聲。



圖四十四



圖四十五

五、原始敲擊鋁管的聲音(20cm)和經過太陽能板轉換後聲音的差異：

發現基音頻率相同，但泛音和相對 dB 數有所不同

(定義：原始聲是音叉槌敲擊鋁管的聲波藉由空氣傳播至麥克風錄製)



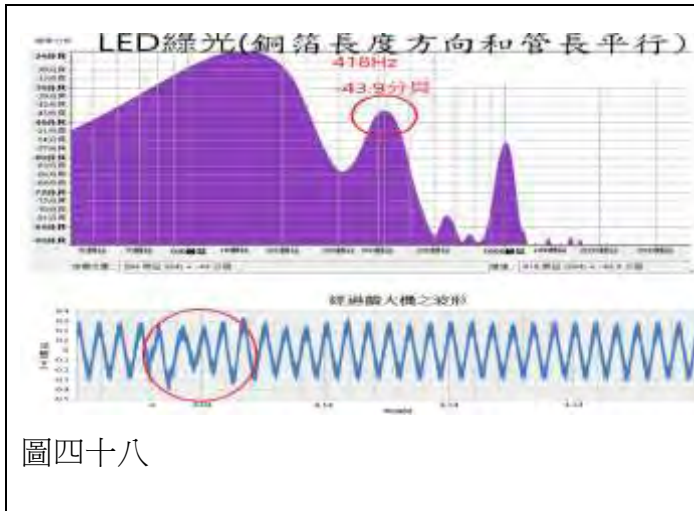
圖四十六



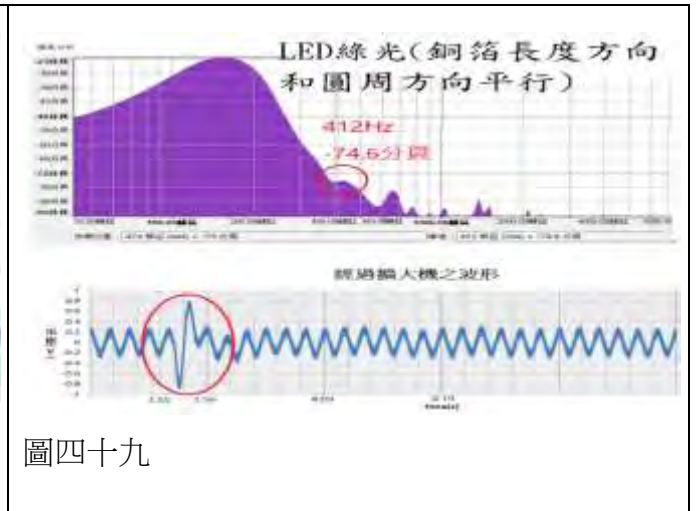
圖四十七

六、銅箔長度方向和管長平行與銅箔長度方向和圓周方向平行(鋁管 20cm)的比較：

鋁管上有不同的振動模式，有酒杯口的振動模式和彎曲模式以及扭轉模式，所以我們藉由貼不同方向的銅箔來探討，有與管長平行和圓周方向，我們發現這兩種的基音頻率差不多，只是產生的波形變化不同。



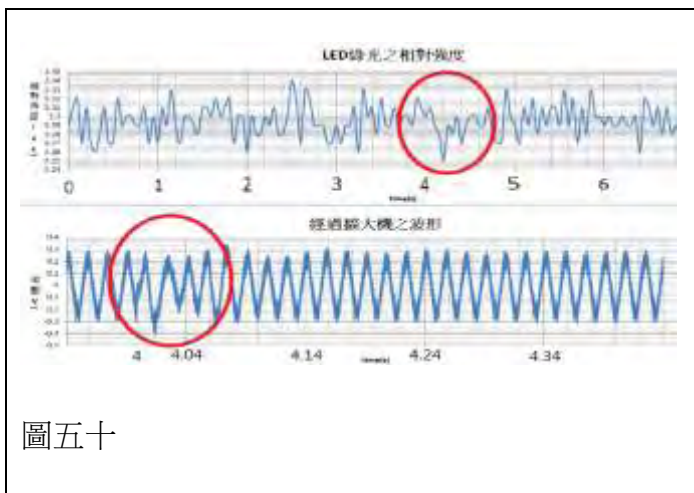
圖四十八



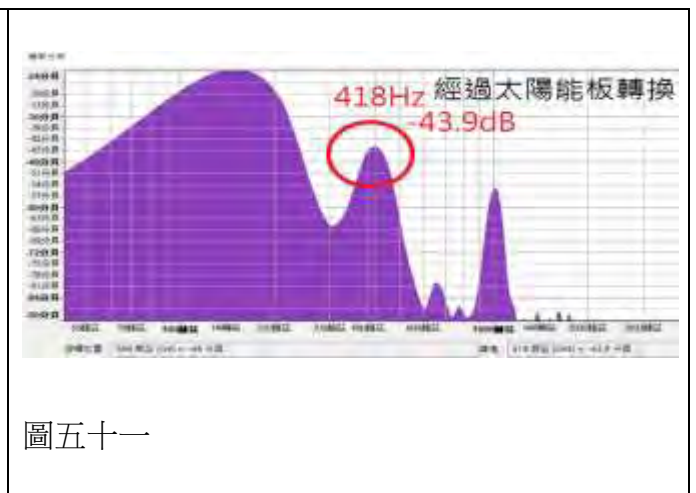
圖四十九

七、不同鋁管長度(20cm、30cm)波形和頻譜之間的比較：

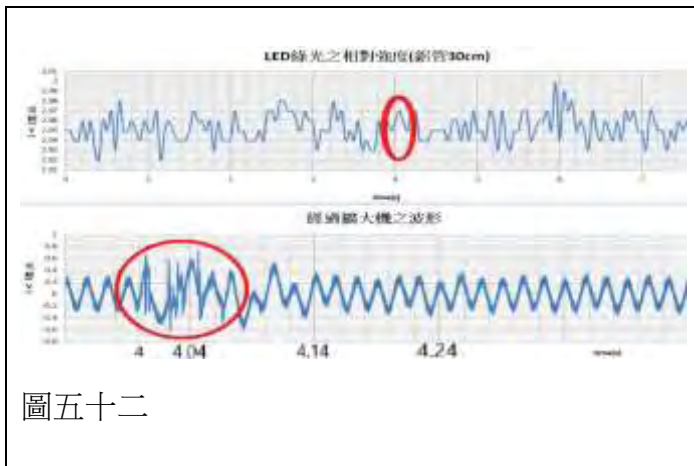
較長的鋁管基音頻率會比較低，實驗證明經過太陽能板轉換在到擴大機之訊號，同樣也是如此。而且一樣在敲擊鋁管時 LED 光強度改變，造成波形改變。



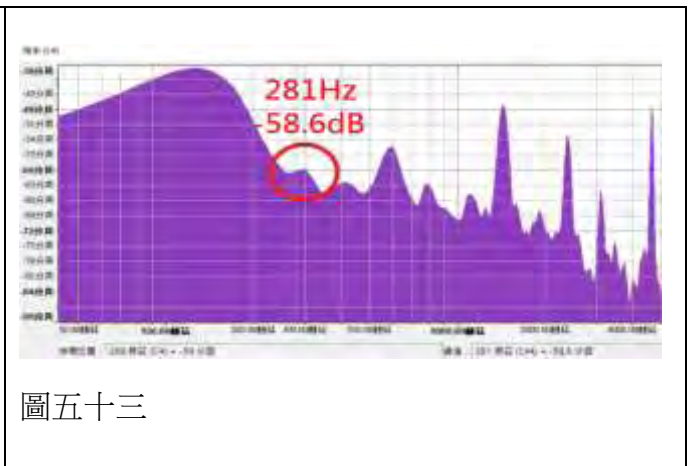
圖五十



圖五十一



圖五十二



圖五十三

## 陸、討論

我們做了一些實驗證實敲擊鋁管使得直流電流有變化放大後而使喇叭發聲：

### 一、確認聲波是否影響太陽能板，觀測喇叭有無發出聲音

將電源開啟(光照在太陽能板)的手電筒插在黏上棉花的保麗龍板(保麗龍板是用來分隔敲擊點以及 LED 之用)，經保麗龍板阻隔聲波使得敲擊聲音不會到達太陽能板。經過實驗確認喇叭還是會發生聲音，所以證明太陽能板產生的信號並非來自聲波。

### 二、比較使用直流電源與交流電源之 LED 照射太陽能板，觀察喇叭有無聲音

使用 2 個相同的 LED 分別接上直流電源與交流電源，之後直接照射太陽能板，使用直流電源時喇叭不會發出聲音，交流電卻有嗡嗡聲，由此實驗可得知喇叭發出聲音是因為 LED 有閃爍(LED 具有整流功用)，而使太陽能板輸出有變化的電流，進而使喇叭發出聲響。

### 三、拿 2 支相同手電筒(一支打開電源，另一支不通電)同時照射同一塊太陽能板，

敲擊未通電的那支手電筒，觀察喇叭有無聲音。

敲擊關閉電源的手電筒，雖然太陽能板有另一支手電筒照射，但沒有使喇叭發出聲音，表示光訊號的變化來自直接地敲擊。

#### 四、為何敲擊會產生聲音訊號？

因為導體受敲擊時局部晶格振動產生變化，使得局部聲子數量改變造成電子散射機率發生變化，導體電阻因此有變化而造成電流波動，使LED亮度閃爍。太陽能板的輸出因此改變經擴大機產生聲音訊號。

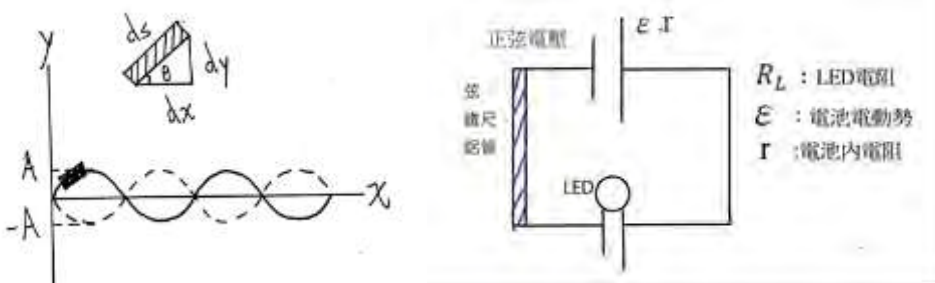
#### 五、為何振動會有訊號傳遞？

##### (一) 為何振動會有訊號？

以兩端固定的弦振動說明振動會有訊號

兩方向相反行進波  $y_1 = A\sin(kx - \omega t)$ ， $y_2 = A\sin(kx + \omega t)$

$k = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow$  干涉產生駐波  $y = y_1 + y_2 = 2A\sin(kx)\cos(\omega t)$



圖五十四圖五十五

弦上切線段長度為  $ds=(dx)^2+(dy)^2$

$X=0 \sim l$ , 弦長度  $(L)=\sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$



$$L = \int_0^l \sqrt{\left[\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + 1\right]^2 (dx)^2} \begin{cases} L = \int_0^l \sqrt{\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + 1} dx \dots \textcircled{1} \\ y = 2A \sin kx \cos(\omega t + \theta) \dots \textcircled{2} \\ \frac{dy}{dx} = 2Akx \cos(\omega t + \theta) \dots \textcircled{3} \end{cases}$$

由①②③→  $L = \int_0^l (1 + [2Ak \cos kx \omega \cos(\omega t + \theta)]^2)^{1/2} dx \dots \textcircled{3}'$

如果振幅 A 頗小  $\approx 1 + \frac{1}{2} \times 4A^2 k^2 \omega^2 kx \cos^2(\omega t + \theta) \dots \textcircled{4}$

$$L = \int_0^l 1 + 2A^2 k^2 \cos^2 kx \cos^2(\omega t + \theta) dx = l + lA^2 k^2 \cos^2 \omega t$$

$$\text{令 } \alpha = A^2 k^2 = l(1 + \alpha \cos^2 \omega t) \dots \textcircled{5}$$

弦電阻  $R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L^2}{v} \dots \textcircled{6}$  ⑤代⑥ =  $\rho \frac{[l(1 + \cos^2 \omega t)]^2}{v}$

$$R = \frac{\rho l^2}{v} (1 + \alpha \cos^2 \omega t)^2 \text{約為} \frac{\rho l^2}{v} (1 + 2\alpha \cos^2 \omega t) = R_0 (1 + 2\alpha \cos^2 \omega t) \dots \textcircled{7}$$

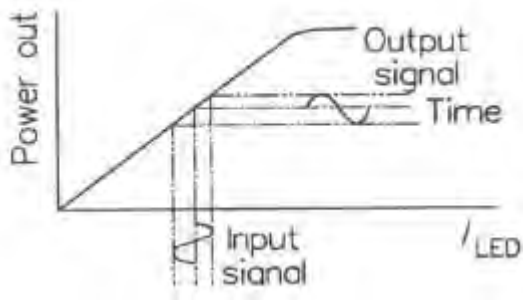
$R_0$  為弦未振動時之電阻，由此式可知弦之電阻和振幅 A，角頻率  $\omega = 2\pi f$  及時間有關

電流  $I = \frac{\varepsilon}{R + R_L} \dots \textcircled{8}$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_L(1 + \frac{R}{R_L})} \doteq \frac{\varepsilon}{R_L} (1 - \frac{R}{R_L}) = \frac{\varepsilon}{R_L} [1 - \frac{R_0}{R_L}] - \frac{2\varepsilon \alpha R_0}{R_L^2} \cos^2 \omega t \dots \textcircled{8} \text{(形成電訊號)}$$

$P_{光} = \beta P_{電} = \beta \varepsilon I \dots \textcircled{9}$  由⑧、⑨可知光訊號中包含振動幅度及頻率之資訊

( $\beta$  視為定值)



(取自中興物理系光電實驗(七))

目前市面上所販售的多晶矽太陽能板之轉換效率約 13%~18%，我們所使用的太陽能板估計為 15%， $P_{電} = VI \xrightarrow{\text{轉換效率}} 0.15 P_{光} = VI$ ，

$$\text{撥弦振動基因泛音同時產生 } y = \sum_{i=1}^N A_i \sin k_i x \cos(\omega_i t + \theta_i) \text{ --- (10)}$$

因此光訊號包含基、泛音頻率、振幅之訊息，再經由擴大機轉換成電訊號也包含不同振動模式之訊息，鐵尺、鋁管震動也是如此，不過振動模態和振動方程式不同而已。

六、敲擊鋁管的金屬聲和振動鐵尺的聲音和經由太陽能板轉換再到擴大機端發出的聲音比較：

1. 為何鋁管和鐵尺振動之頻譜不同?

棒的彎曲振動，沿與棒垂直的方向擊棒，可激起棒的彎曲振動，振動時的形狀如圖二十四所示，其振動頻率也與棒兩端的邊界條件有關。一般端點條件有兩種情況：即棒的一端自由，另一端固定；棒兩端都是自由的。根據兩端的條件解彎曲波振動方程式，可得一端自由一端固定的棒做彎曲振動時的頻率。而我們實驗中的鐵尺是一端固定、一端自由，鋁管為一端夾緊、一端自由。

尺振動和敲擊鋁管有不同振動模態，對應不同的頻率及振幅，使得尺和鋁管有不同的截面積和長度變化，影響電路電阻而造成電路電流有了波動，使發光二極體光強度有波動，再經由太陽能板和擴大機輸出得到不同之頻譜，尺振動和鋁管有不同振動模態擾動空氣發出不同之聲音。

聲音之聲波方程式可以表示如下： $y=y_1 \sin(k_1 x-w_1 t+\theta_1)+y_2 \sin(k_2 x-w_2 t+\theta_2)+y_3 \sin(k_3 x-w_3 t+\theta_3)+\dots$

## 2. 為何會有失真?

其中波數  $k=2\pi/\lambda$ ，角頻率  $w=2\pi f$ ，各頻率有不同之振幅  $y_1$ ， $y_2$  等，對應不同之強度，而傅立葉分析可以得到不同頻率對應的相對強度（dB 值）即頻譜。

本研究發現喇叭可發出類似鐵球敲擊鋁管的敲擊聲，但是聲音有些失真。光訊號系統訊號轉換如下：振動訊號→電路電訊號→LED 光訊號→太陽電池電訊號→擴大機電訊號，每次轉換因為光電元件特性都有失真之可能性，因此麥克風直接收錄到之鐵尺鋁管振動發聲(透過空氣傳播聲音)和經由擴大機輸出之訊號有所差異，即失真。依據文獻失真來自於光通訊元件及結構，可能原因有電→光之非線性效應、光→電之非線性效應、LED 頻率響應因素、太陽電池對不同色光之光譜感度特性以及擴大機放大產生之相位諧波等各種失真，這些都會造成波形之扭曲以及頻譜與原聲音不同。

由 LED 量測實驗、文獻和太陽能電池文獻得知本研究光電轉換線性度相當高 LED(兩端電壓小於但接近 3 伏特)，失真推測主要應是振動訊號相較於環境的背景雜訊並不大，因此再經由擴大機放大時旋鈕需調大以提高放大率，造成噪訊比較高導致擴大機輸出訊號與喇叭發出的聲音失真程度較大(振幅諧波等非線性失真)。

## 柒、結論

- 一、敲擊鋁管和振動鐵尺時電流產生改變，導致 LED 燈光有強弱變化，太陽能板接收到光訊號的變化，進而傳遞訊號，經過擴大機放大訊號能由喇叭端發生聲音。
- 一、敲擊鋁管的原始聲音訊號和經過光通訊傳遞之訊號，基音頻率相同但是頻譜不同。
- 二、不同顏色 LED 在相同電壓下，會有不同的電流，使發光強度不同，加上太陽能板光譜響應特性，使訊號的波形不同。
- 三、發現原始敲擊鋁管的聲音會因太陽能板轉換訊號再經由擴大機放大後而導致失真。

## 捌、參考資料

- 一、太陽能板

<file:///C:/Users/asus/Downloads/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E8%83%BD%E9%9B%BB%E6%B1%A0%E7%9A%84%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E7%89%B9%E6%80%A7.pdf>

## 二、失真

<https://www.techbang.com/posts/15886-scientific-point-of-view-the-stereo-2-spectrum-fourier-transform-and-distortion-of-4-leading-cause?page=1>

## 三、太陽能板的轉換效率

<https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd/download?source=9807/9807-08.pdf&vIId=2E40C1C0-5FA2-4B27-BC42-2C2BCB262877&nd=0&ds=0>

## 四、LED 特性

<https://www.ledinside.com.tw/knowledge/20100125-11845.html>

## 五、彰化女中 期末光通訊專題報告 作者：林彥瑜和蔡伊婷 2015 年二月

## 六、太陽能電池研析

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2009/03/2009033118135186.pdf>

## 七、太陽『矽』希望-太陽電池的研究

<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/senior/040108.pdf>

## 八、物體之振動

<https://baike.baidu.com/item/%E7%89%A9%E4%BD%93%E7%9A%84%E6%8C%AF%E5%8A%A8>

## 九、Singing Wineglasses

[http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2010\\_2011/Seminar-Singing\\_Wineglasses.pdf](http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2010_2011/Seminar-Singing_Wineglasses.pdf)

## 【評語】 051801

本實驗作品探討敲擊連接 LED 之鋁管上所造成發光之變化，由此造成 LED 照射太陽能板所產生光電流之變化，本作品探討的題材相當新穎，電阻器因敲擊而造成電阻的變化本身是一個有趣值得探討的問題，有潛在的應用如將聲能轉換光能，惟實驗本身的內容除驗證敲擊與光電流之關聯外，更應排除其他的因素如電阻器接觸點電阻(contact resistance)因震動所造成的變化，使用非敲擊方式產生固定頻率與震幅的震動，可以更確認物理機制並有更清楚的物理圖像。

# 壹、研究動機

之前看到學姊做的實驗跟光通訊有關，我們好奇為什麼手電筒的光照在太陽能板上，並且敲擊手電筒，在經過擴大機和喇叭，就可以從喇叭那端聽到同樣的敲擊聲。我們覺得這個現象非常有趣，於是找了一些相關資料後，探討此現象。

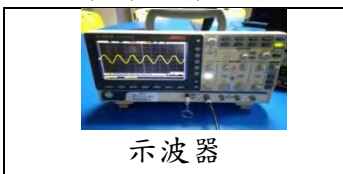
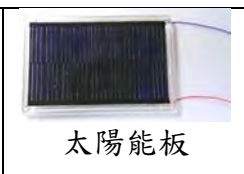


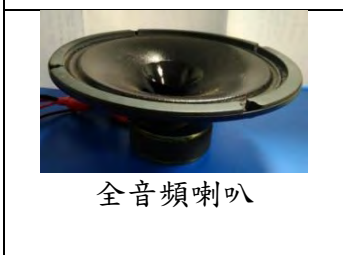



# 貳、研究目的

- 一、探討振動不同長度的鐵尺，LED 光訊號經由光電板到擴大機輸出端之波形差異。
- 二、探討改變鐵管上 LED 之色光，光強度的變化和太陽能板輸出端之差異。
- 三、探討此現象中，訊號傳遞的過程。

# 參、研究設備及器材

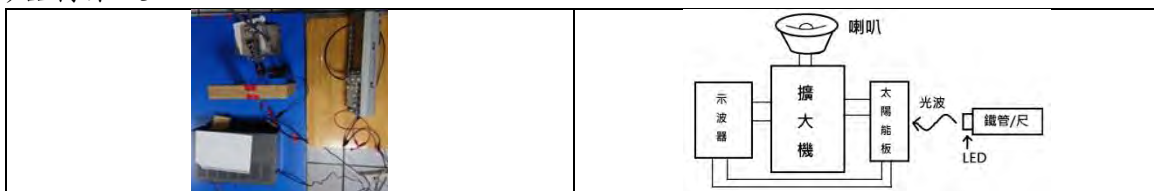
## 一、實驗器材

### (一)器材照片

			
示波器	太陽能板	高功率擴大機	雙腳 LED 燈
			
全音頻喇叭	音叉槌	數據機(sparklink air)和高感光感應器	鐵尺

其他器材：支架、電池組

### (二)器材架設



# 肆、研究過程或方法

## 一、實驗方法

### (一)改變鐵管上 LED 的顏色

控制變因：輸入 LED 電壓、敲擊速度、敲擊點。操縱變因：LED 的顏色(綠、藍、紅光)

### (二)改變振動材質

控制變因：輸入 LED 電壓、LED 顏色(綠光)。操縱變因：材質(鐵管、鐵尺)

## 二、文獻探討

### (一)太陽能電池的二極體特性

右圖可以說明交流訊號的逆向電流不太能通過

### (二)鋼弦振動公式

$$y_1 = A \sin(kx - \omega t), \quad y_2 = A \sin(kx + \omega t), \quad y = y_1 + y_2$$

$$y = 2A \sin kx \cos \omega t, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ 為波數}$$

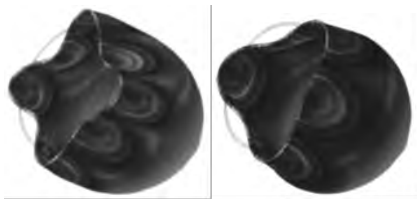
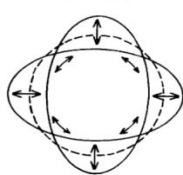
(三)棒做彎曲振動時的振動方程  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\kappa^2 c_{r1}^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4}$  式，式中的  $\kappa$  是棒橫截面的回轉半徑。與棒縱振動的情形類似，其振動頻率也與棒兩端的邊界條件有關。

### (四)太陽能電池光譜感度特性

由右圖可知不同色光 led 即便光強度相同 產生之光電流不同

### (五)酒杯的共振模式

Acoustics of the glass harmonica  
Thomas D. Rossing



$$R(z, \theta, t) = \Delta f(z) \cos n\theta \cos \omega t \quad R \text{ 是徑項位移}$$

$f(z)$ : 杯底至杯口值由 0 到  $1 \cos n\theta$ : 角度方向位移  $\cos \omega t$ : 隨時間的變化

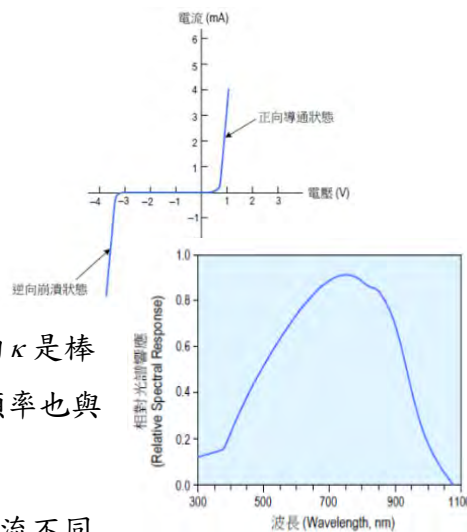
酒杯口震動滿足  $f = nv / 2\pi r$  ( $n=1, 2, 3 \dots$  代表不同基音的振動)

## 三、研究方法

### (一)敲擊位置



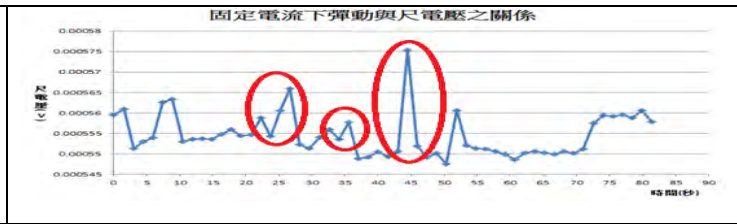
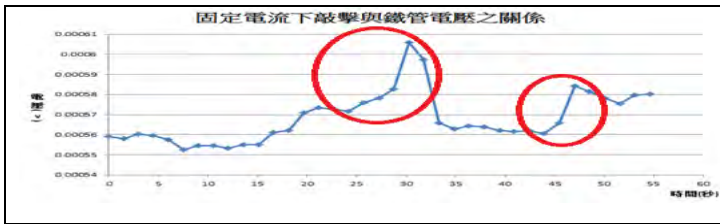
(二)LED 和太陽能板的距離、角度與位置，每個 LED 皆垂直太陽能板距離 0.5 公分。



# 伍、研究結果與討論

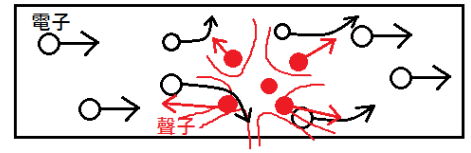
## 實驗一：敲擊與導體電壓之關係

輸入穩定電流 50mA，測量敲擊、彈動後鐵管與尺上的導電膠帶的電壓變化。發現電壓皆有上升情形。



討論：為何敲擊會產生聲音訊號？

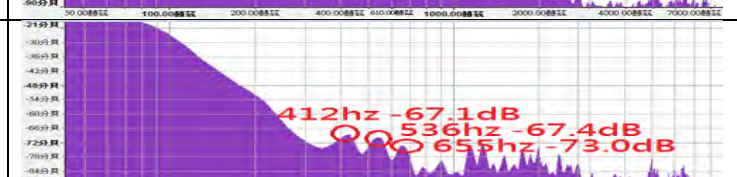
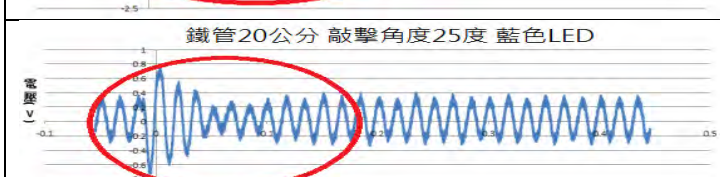
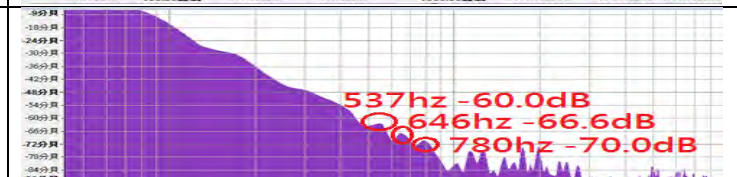
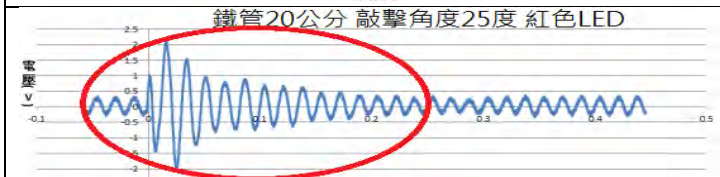
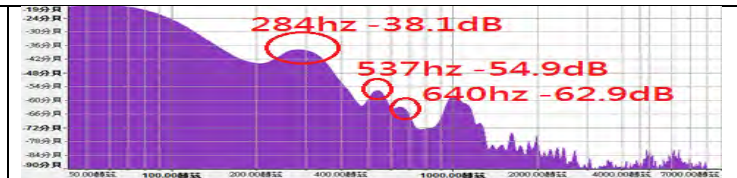
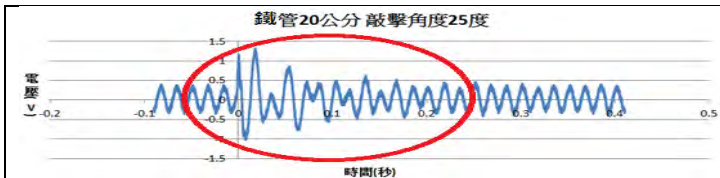
因導體受敲擊時局部晶格振動產生變化，使得局部聲子數量改變造成電子散射機率發生變化。固定電流之下電壓增加表示電阻因敲擊而增大。



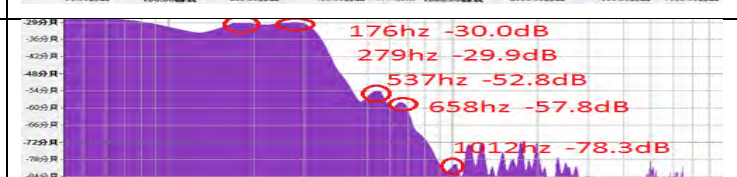
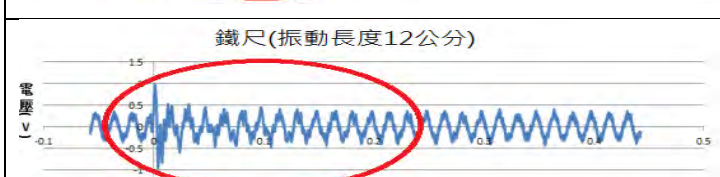
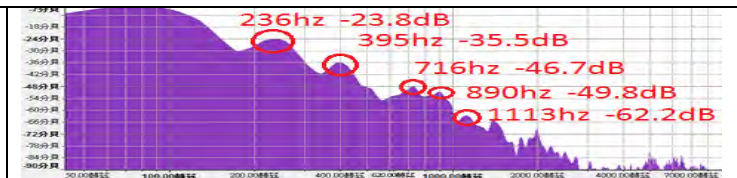
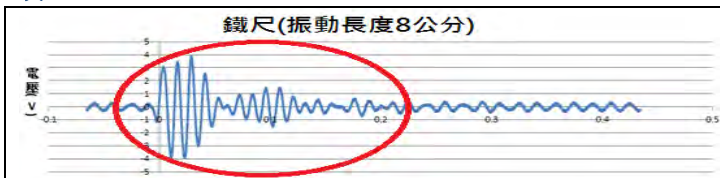
## 實驗二：鐵管上 LED 的顏色

改變 LED 顏色(綠、藍、紅光)比較之間的差異。

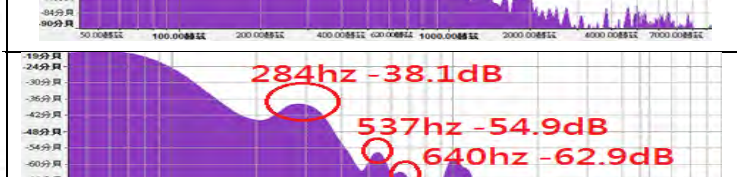
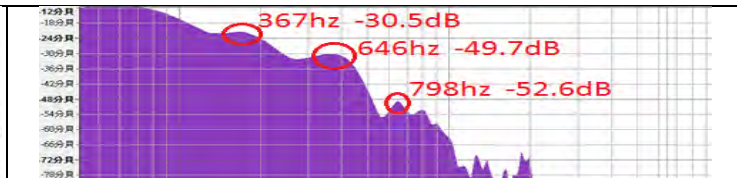
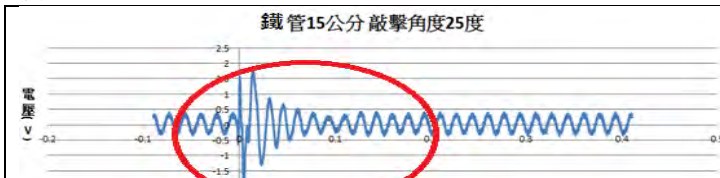
不管是什麼色光，我們發現經過擴大機之波形都會因光照度的改變而產生變化。



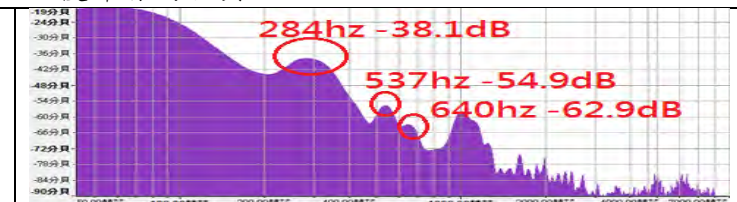
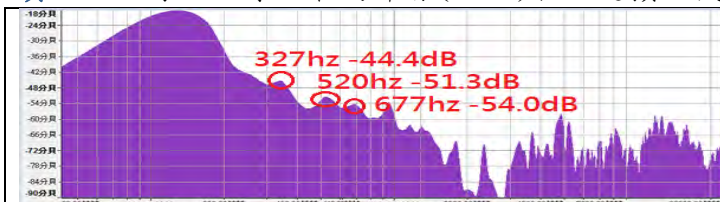
## 實驗三：鐵尺不同的振動長度 LED 顏色：綠色



## 實驗四：不同鐵管長度(15、20cm)波形和頻譜之間的比較 LED 顏色：綠色



## 實驗五：原始敲擊鋁管的聲音(20cm)和經過擴大機放大後聲音的差異。

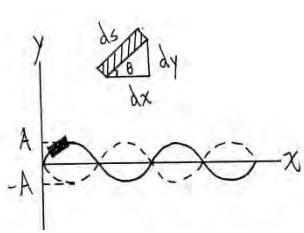
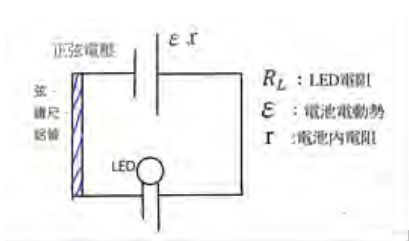




討論：為何振動會有訊號？（以兩端固定弦上駐波為例）

$$y_1 = A \sin(kx - \omega t), \quad y_2 = A \sin(kx + \omega t), \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \text{行進波之波數}$$

兩反方向行進波干涉形成駐波  $y = y_1 + y_2 = 2A \sin(kx) \cos(\omega t)$  : 駐波  
弦上切線段長度為  $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ ,  $x = 0 \sim 1$ , 弦全長  $L$



$$\begin{cases} L = \int ds = \int_0^1 dx \sqrt{\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + 1} \quad L \quad (1) \\ y = 2A \sin kx \cos(\omega t + \theta) \quad L \quad (2) \\ \frac{dy}{dx} = 2Ak \cos kx \cos(\omega t + \theta) \quad L \quad (3) \end{cases}$$

$$\text{由(1)(2)(3)} \Rightarrow L = \int_0^1 dx \sqrt{1 + 4A^2 k^2 \cos^2 kx \cos^2(\omega t + \theta)} \dots (3')$$

若振幅  $A$  頗小上式被積函數  $\approx 1 + 2A^2 k^2 \cos^2 kx \cos^2(\omega t + \theta) \dots (4)$

$$L \approx \int_0^1 dx [1 + 2A^2 k^2 \cos^2 kx \cos^2(\omega t + \theta)]$$

$$= 1 [1 + A^2 k^2 \cos^2(\omega t + \theta)] \stackrel{\alpha = A^2 k^2}{=} 1 [1 + \alpha \cos^2(\omega t + \theta)] \dots (5)$$

振盪弦之電阻

$$R(t) = \rho \frac{L^2}{V} = \rho \frac{1^2 [1 + \alpha \cos^2(\omega t + \theta)]^2}{V} \approx \rho \frac{1^2}{V} [1 + 2\alpha \cos^2(\omega t + \theta)]$$

$$\Rightarrow R(t) = R_0 [1 + 2\alpha \cos^2(\omega t + \theta)] \dots (6) \quad \text{其中 } R_0 = \rho \frac{1^2}{V} = \text{靜止弦的電阻}$$

所以振盪弦之電阻與振幅、頻率、與時間有關。

$$\Rightarrow \text{電流 } I(t) = \frac{\varepsilon}{R(t) + R_{LED}} = \frac{\varepsilon}{R_{LED} \left(1 + \frac{R(t)}{R_{LED}}\right)} \dots (7), \quad \varepsilon \text{ 為外接偏壓。}$$

$$\Rightarrow \text{電流 } I(t) \approx \frac{\varepsilon}{R_{LED}} \left(1 - \frac{R(t)}{R_{LED}}\right) = \frac{\varepsilon}{R_{LED}} \left(1 - \frac{R_0}{R_{LED}}\right) - \frac{2\varepsilon\alpha R_0}{R_{LED}^2} \cos(\omega t) \dots (8)$$

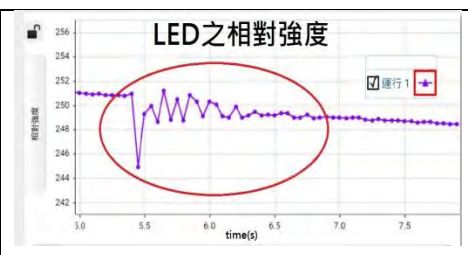
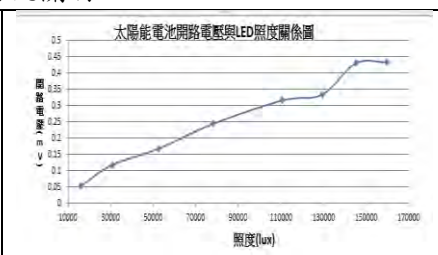
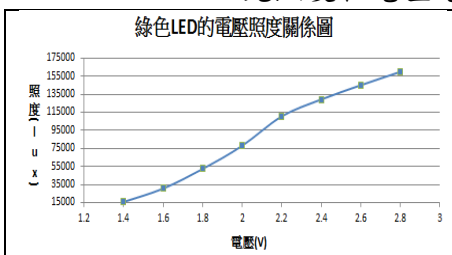
隨時間振動的電流造成隨時變的光訊號  $\Rightarrow$  在太陽能電池產生不同的電訊號!

$$\text{撥弦同時激發基音與泛音} \Rightarrow y = \sum_i A_i \sin(k_i x) \cos(\omega_i t + \theta_i) \dots (9)$$

$\Rightarrow$  光訊號包括基、泛音頻率、振幅之訊息，經擴大機轉換為聲音

$\Rightarrow$  鐵管與鐵尺的振動也是如此，只不過振動模態與振動方程式不同而已。

## 二、LED 光照度和電壓電流關係



## 陸、結論

一、敲擊鐵管和振動鐵尺時電流產生改變，導致 LED 燈光有強弱變化，太陽能板接收到光訊號的變化，進而傳遞訊號，使從喇叭端能發生聲音。

二、發現原始敲擊鐵管的聲音會因太陽能板轉換訊號再經由擴大機放大後而導致失真。

三、不同顏色 LED 在相同電壓下，會有不同的電流，使發光強度不同，加上太陽能板光譜響應特性，使訊號的波形不同。

## 柒、參考資料

一、太陽能電池研析

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2009/03/2009033118135186.pdf>

二、物體之振動

<https://baike.baidu.com/item/%E7%89%A9%E4%BD%93%E7%9A%84%E6%8C%AF%E5%8A%A8>