

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080102

我的電磁波會轉彎

—金屬影響電磁波傳遞之探討

學校名稱：嘉義縣太保市太保國民小學

作者： 小六 馬國晉 小五 王三禾 小五 官臣尉	指導老師： 黃柏鴻 蔡承璋
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：電磁波、繞射

一、摘要

本研究欲探討不同材質對於電磁波訊號之阻隔情形、不同發射器之訊號穿越金屬網時所產生的差異、以及不同類型金屬孔隙對於電磁波傳遞所造成影響。從實驗結果發現：

- (一)鋁箔紙及鐵片等金屬物阻隔 Wi-Fi 電磁波效果很好。
- (二)偏光片為塑膠材質，無法有效的阻隔 Wi-Fi 電磁波。
- (三)波長愈長之電磁波訊號，在穿越狹小縫隙時，訊號愈容易往兩側分散。
- (四)金屬柵欄愈積密，Wi-Fi 電磁波由中央往兩側下降的幅度會愈緩慢。
- (五)電磁波的電場振盪方向與金屬柵欄互相垂直時，會產生繞射現象。
- (六)Wi-Fi 電磁波穿越孔隙與波長相近或略大的金屬柵欄時，會產生明顯強弱相間變化。
- (七)Wi-Fi 電磁波穿越直徑相近或略大於波長之圓形孔洞時，在垂直於電磁波振動方向會繞射條紋。

二、研究動機

我發現 3C 產品在現代人的生活已是不可或缺，包含手機及平板電腦，因此收訊的狀況便顯得相當重要，而當我們在不同的地方使用這些器材，就會有不同的收訊或傳輸品質。另外，在一次偶然的狀況下，我發現爸爸隔著紗窗遙控汽車門鎖，汽車居然毫無動靜，但是當爸爸打開紗窗後再按遙控器時，汽車門立即鎖上，這個結果真是令我感到訝異與不解。

於是我們興奮的與老師一同討論這些情形，老師也對這個現象感到新奇有趣，並向我們說明電磁波在現代的生活中無所不在，對人們的影響無遠弗屆，所以這是一個值得深入研究的主题，鼓勵我們來研究金屬物品對於電磁波的傳遞的影響性，並更進一步了解金屬物品對於電磁波訊號的阻隔與傳遞之影響。

三、文獻探討

在本研究的探討過程中，涉及一些物理相關的概念，為了能更為正確的將實驗結果進行推論，我們需先進行相關概念的探討，包含了四個主題，以下分段敘述。

(一) 電磁波

電磁波是一種橫向波，頻率(f)與波長(λ)成反比，其傳遞速度為光速，而光速是一個固定的物理量 3×10^8 公尺，因此頻率與波長的乘積便是光速 c ，如果頻率波長愈高，則波長愈短，三者的關係如下式，例如伽瑪射線的頻率極高，大於 3×10^{19} Hz，經過換算後波長將小於 1×10^{-11} 公尺。

$$C = f \times \lambda \text{ 或 } f = C / \lambda$$

電磁波依頻率由高到低可分為伽瑪射線、X 射線、紫外線、可見光、紅外線、微波及無線電波(如圖 3-1)。而人們肉眼可接收的可見光只是電磁波譜的一小部分，電磁波譜波長有長到數千公里，也有短到只有原子的長度。

其中與人們通訊密不可分的電磁波便是無線電波，其波長範圍介於幾百公尺至一厘米之間。我們可藉由無線電波將信息傳遞出去，生活中常用的電視、手機、無線網路等，都是利用無線電波來傳遞。

另外，平板電機或手機的區域無線上網是藉由 Wi-Fi 通訊技術來上網，其現行通信標準為 IEEE 802.11，採用的是低強度微波來傳遞信息，頻率為 2.4GHz(約 2400000000Hz)，其訊息傳輸時的穿透性高，因此得到全世界廣泛的支持與採用。

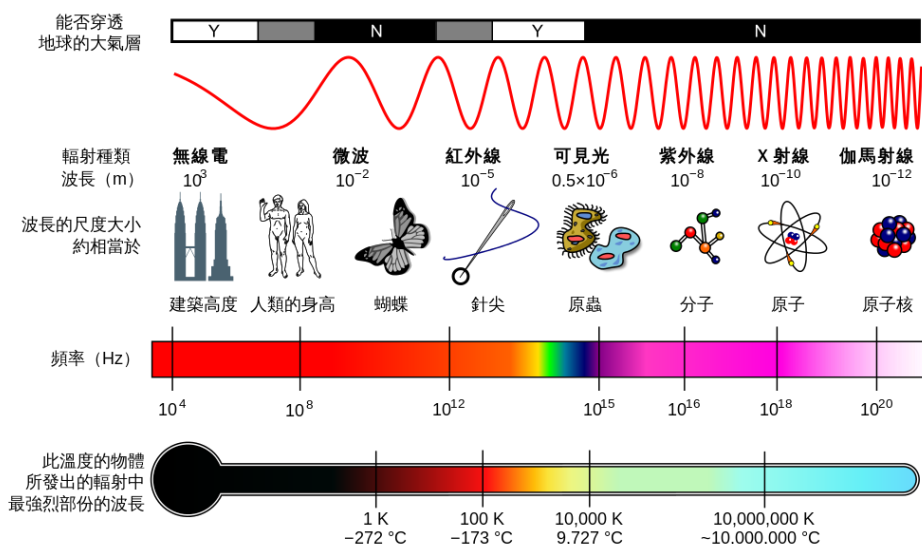


圖 3-1 電磁波頻譜與特性圖

引自 <http://zh.wikipedia.org/wiki>

(二) 電磁共振

藉著改變天線上電荷的分佈，於天線兩端產生電位差及電場，使得金屬天線內的電子朝向一端運動，而形成正電荷在一端，負電荷在另一端的分佈情形。但是此電場只有鄰近的天線才能感受到，也就是這樣的信號不能遠距離傳遞。

如果我們讓發射端天線上的正負電荷，在天線兩端形成特定頻率的周期性分佈變化，則接收端天線上也會感應或接收到相同頻率的信號，而信號的強弱仍然與距離及方位有關，但信號的頻率則不會隨著距離而改變，而此感應的訊號在空中便是以電磁波的方式傳遞，這種以電磁共振原理來傳送訊息之方式將可使傳遞距離變的更遠。

(三) 電磁波的偏振

電磁波是一種橫波，其電場和磁場振動的方向與波的行進方向垂直，如果其電場振動方向皆在單一的方向上，則可稱之為偏振的電磁波。以大自然的陽光為例，其偏振方向凌亂無序，因此屬於非偏振波，可經過特定處理(如散射或反射)，變成僅含單一偏振方向波光，而藉由天線的電磁共振所產生的電磁波亦是一種偏振的電磁波。

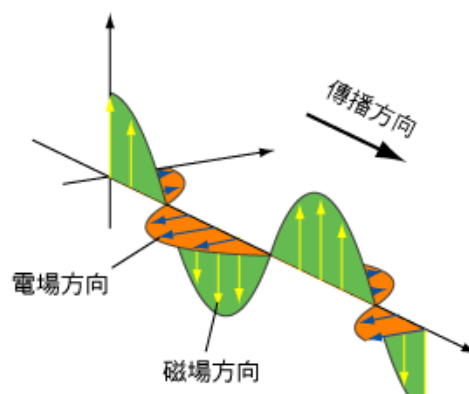


圖 3-2 偏振電磁波

引自 http://www.hk-phy.org/energy/index_c.html

(四) 繞射現象

繞射現象是橫向波前進時的一種特殊現象，我們以光波為例說明，光波即是一種橫向波，當一個固定頻率的光波通過單狹縫時，如縫隙愈窄則光波會愈向兩旁擴張，此現象即所謂的繞射。當孔徑大小遠大於光波波長時，則光波多是向前直行；當孔徑變小時，只略大於或等於光波波長，則可明顯的觀察到光波的繞射現象，並且會出現繞射條紋；當孔徑遠小於光波波長時，則光波仍然會以圓形放散的方式通過狹縫，但是卻沒有條紋出現。通常在探討繞射現象時，多以水波或光波為其波的種類，較少討論到其他範圍的電磁波，例如微波或無線電，因此本研究欲對此進行深入的探討。

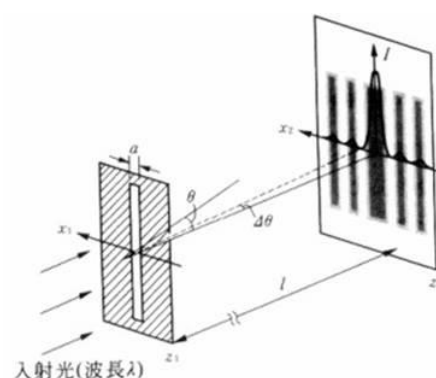


圖 3-3 單狹縫繞射現象

引自 <http://www.tnu.edu.tw/ee/>

四、研究目的

本研究的目的可大略分為三項，而每一項則包含所屬的實驗，共七項實驗，說明如下：

(一)探討各種不同材質物品對於電磁波的阻隔效果。

實驗一：不同材質阻隔 Wi-Fi 訊號實驗

實驗二：偏光片阻隔 Wi-Fi 訊號實驗

(二)探討鐵絲網對於不同種類訊號發射器材訊號的阻隔效果。

實驗三：不同的訊號發射器材受鐵網阻隔影響實驗

(三)探討各種不同金屬阻隔物品對於 Wi-Fi 訊號穿透之影響。

實驗四：Wi-Fi 訊號穿透垂直金屬柵欄實驗

實驗五：Wi-Fi 訊號穿透水平金屬柵欄實驗

實驗六：Wi-Fi 訊號穿透長條形鋁箔孔洞實驗

實驗七：Wi-Fi 訊號穿透圓形鋁箔孔洞實驗

五、研究設備及器材

實驗設備所需工具及材料(不包含測試不良作品之所耗費材料)

小鐵箱	工具	捲尺、鐵片剪、手套、熱熔膠槍、鐵鎚、鐵釘
	材料	烤漆板、熱熔膠、鐵網、膠帶
大鋁箔箱	工具	剪刀
	材料	鐵絡架、鋁箔紙、膠帶、塑膠板
垂直量角支架	工具	圓盤鋸台、焊槍、打火機、螺絲起子
	材料	壓克力板、量角器、氣仿、螺絲、螺帽
水平量角軌道	工具	線鋸機、熱熔膠槍
	材料	木板、大型圓規、熱熔膠
偏光片	工具	剪刀
	材料	3D 立體眼鏡、保麗龍膠、膠帶
金屬柵欄	工具	斜口鉗、圓盤鋸台
	材料	壓克力板、鐵絲、膠帶
各式阻隔片	工具	圓盤鋸台、剪刀
	材料	木板、烤漆板、鋁箔紙、紙張、壓克力板、PP 板、保麗龍板

實驗器材所需工具及材料

訊號發射器材	汽車晶片鑰匙、遙控汽車遙控器、手機、對講機
訊號傳遞判斷	電磁波測量儀、尺
其它	充電電池、充電座、偏光片

表 5-1

六、研究過程及方法

(一) 研究流程

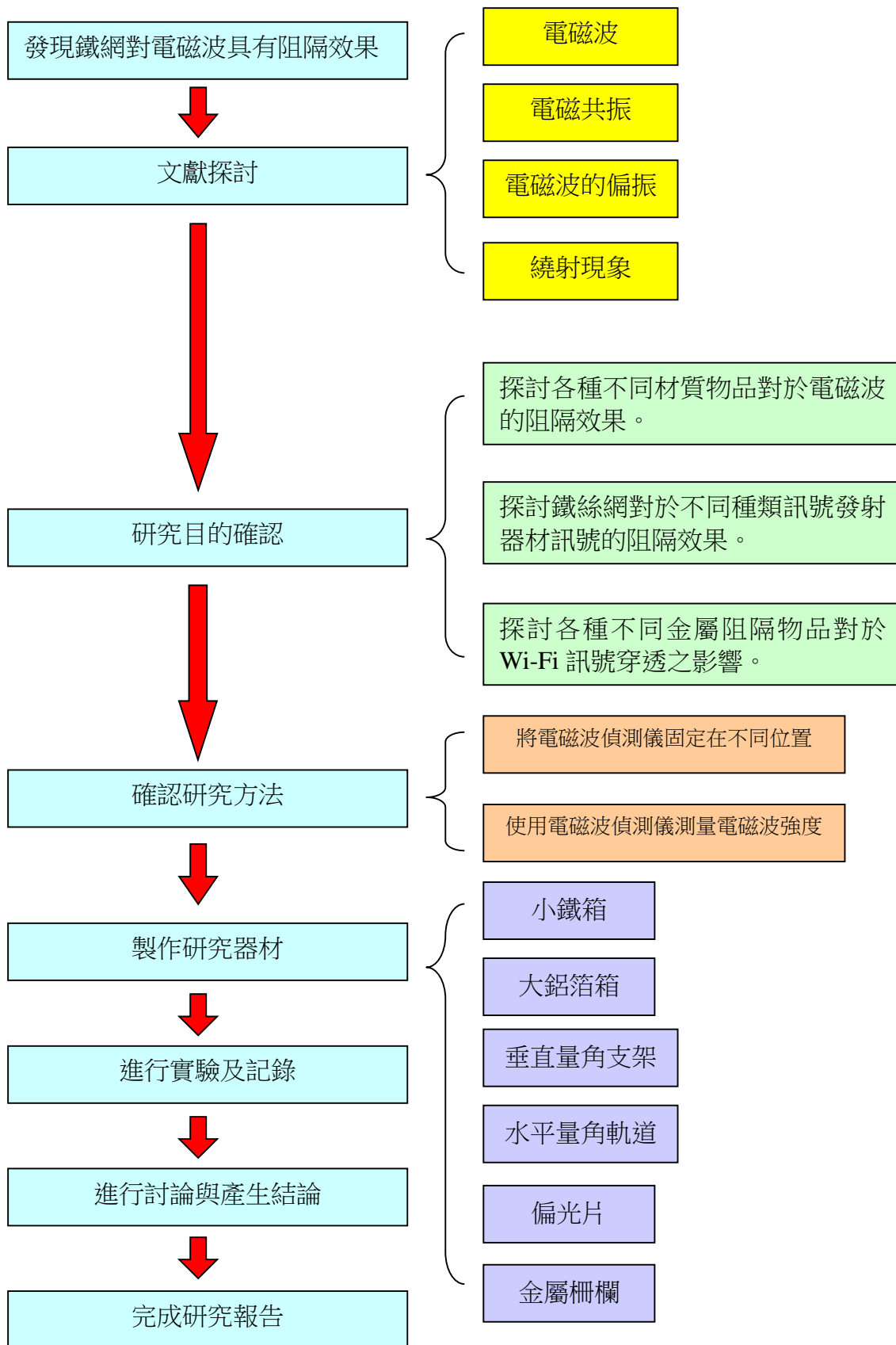


圖 6-1 研究流程圖

(二) 研究設計

整個研究共分為三個主要項目，分別是探討各種不同材質物品對於電磁波的阻隔效果、探討鐵絲網對於不同種類訊號發射器材訊號的阻隔效果以及探討各種不同金屬阻隔物品對於 Wi-Fi 訊號穿透之影響。而本研究中，主要實驗器材有六項，分別為小金屬箱、大鋁箔箱、垂直量角支架、水平量角軌道、偏光片及金屬柵欄，以下依序說明製作過程。

1. 小金屬箱的製作：為了測試各種材質對電磁波之阻隔效果，我們使用鐵製之烤漆板製成放置訊號發射器之金屬箱，以確保電磁波只能穿越阻隔片來向外傳遞。
 - (1) 將買來的烤漆板畫上所要製作的小鐵箱之平面展開圖，使用鐵片剪將展開圖剪下(如圖 6-2)，接著使用木板壓著展開圖之折線，將烤漆板邊線折成所需之直角(如圖 6-3)。
 - (2) 使用熱熔膠槍將小鐵箱各平面之連接線塗上熱熔膠，並等待其冷卻，如此依序完成箱體及蓋子，一個實驗用小鐵箱便完成。



圖 6-2 切割好的小鐵箱展開圖

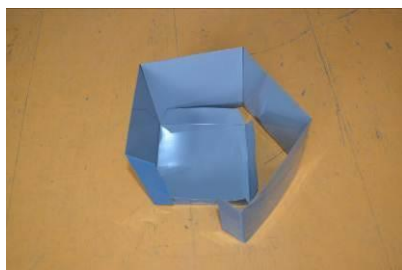


圖 6-3 將展開圖折線折成直角



圖 6-4 製作完成小鐵箱

2. 大鋁箔箱的製作：為了讓更多種類的訊號發射器能放置至實驗箱，並且能在實驗箱的外向架設垂直量角支架及水平量角軌道，我們需製作一個體積更大的實驗箱來取代小鐵箱，為確保電磁波只從前方孔洞發出，我們以鋁箔取代烤漆板，並利用鉻鐵架做為實驗箱支架。
 - (1) 在確認好我們所需要的大鋁箔箱大小後，將鉻鐵架依尺寸進行組裝(如圖 6-5)，為了避免貼在防干擾箱外的鋁箔紙容易被撕破，必須要先蓋上一層塑膠板(如圖 6-6)。
 - (2) 接著在塑膠板外貼上鋁箔紙，而底面因為會與地面接觸，所以需要再蓋上一層塑膠膜，最後為了能方便我們將實驗的器材放置在實驗內，我們有一面沒有封閉，而是製作一塊活動的鋁箔板，方便我們覆蓋實驗箱或取下(如圖 6-7)。



圖 6-5 組合鉻鐵架



圖 6-6 蓋上塑膠板



圖 6-7 完成的大鋁箔箱

3. 垂直量角支架的製作：為了能在實驗的過程中，立即確認電磁波偵測儀相對於電磁波波源的垂直高度角，我們設計了垂直量角支架，並將之與大鋁箔箱結合。

- (1) 我們確認好大鋁箔箱高度後，請老師協助以切出所需要大小壓克力板，並將一側以火加熱，彎曲成 90 度，然後插入鋁箔箱下方，另一側則與上方銻鐵支架綁在一起(如圖 6-8)。
- (2) 接著確認好電磁波偵測儀的基本高度後，則在此垂直的壓克力板上相對高度位置以氣仿黏貼壓克力材質之活頁片。
- (3) 以焊槍在此活頁片與另二塊長條形壓克力板上各穿出一個小洞，然後以一螺絲及螺帽，將三者結合(如圖 6-9)，但保持長條形壓克力板能在垂直的方向旋轉。
- (4) 而此二塊長條形壓克力板，其中一塊固定電磁波偵測儀，維持可上下活動，另一塊則與水平量角軌道結合，固定水平角度(如圖 6-10)。
- (5) 最後，將一塊量角器以保麗龍膠黏貼在活頁板上，並在長條形壓克力板上畫上一個箭頭，方便我們可以以此箭頭對應量角器，立即確認此時電磁波偵測儀的相對垂直角度。

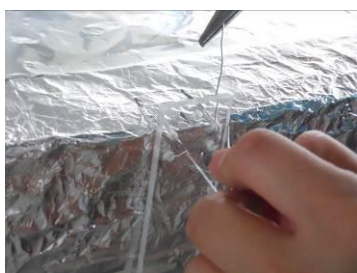


圖 6-8 將壓克力板固定在支架上



圖 6-9 以螺絲結合各部位零件



圖 6-10 固定電磁波偵測儀

4. 水平量角軌道的製作：為了能在實驗的過程中，立即確認電磁波偵測儀相對於電磁波波源的水平方位角度，我們設計了水平量角軌道，將之放置於大鋁箔箱孔洞的前方。

- (1) 我們確認大鋁箔箱的寬度後，我們使用大型圓規在一塊木板上畫上二個相同圓心不同半徑的 1/4 圓(如圖 6-11)，然後請老師協助使用線鋸機將兩個圓切下，去除中間的圓弧木塊，將切下的木板以熱熔膠黏貼在另一塊木板上。
- (2) 將中間的圓弧木塊製成一個可滑動的平長條形壓克力水平角度，間接來控制另一塊固定電磁波偵測儀的可旋轉長條形壓克力之水平角度(如圖 6-12)。
- (3) 最後，扇形木板上畫上量角角度標示(如圖 6-13)，並在圓弧木塊上畫上代表電磁波偵測儀水平角度的箭頭，可藉由觀察箭頭指示角度，確認此時電磁波偵測儀的相對水平角度。
- (4) 重覆(1)~(4)步驟，製作另一側的水平量角軌道，使電磁波偵測儀具有 180 度的旋轉區域。



圖 6-11 在木塊上畫弧線



圖 6-12 製作滑軌上圓弧木塊



圖 6-13 使用量角器來畫角度

5. 偏光片的製作：為了要測試偏光片對電磁波的阻隔狀況，我們需要製作一塊大面積的偏光片，做為阻隔片之用。

(1) 我們將一般的 3D 立體眼鏡泡在水中(如圖 6-14)，方便取下其中的偏光片，每 12 塊組成一塊大的偏光片，共需完成二塊大偏光片。

(2) 接著將相同光柵方向之小偏光片拼成 3×4 之排列方式，然後使用保麗膠將偏光片黏貼在塑膠板上(如圖 6-15)。



圖 6-14 將 3D 眼鏡泡在水中



圖 6-15 將偏光片黏貼在一起

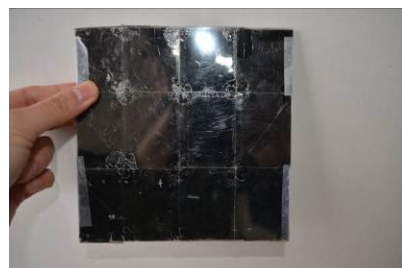


圖 6-16 完成的大偏光片

6. 金屬柵欄的製作：為了能進行各項的電磁波穿越金屬柵欄實驗，我們需要製作各種不同寬度的金屬柵欄。

(1) 首先將鐵絲剪成每 15 公分一段，並將確認鐵絲呈現筆直狀態。

(2) 請老師協助以圓盤鋸切出四塊 15 公分×10 公分之壓克力板，然後將鐵絲分別以 0.5 公分、1 公分、1.5 公分及 2 公分間隔排列在四塊壓克力板上(如圖 6-17)，並用膠帶將鐵絲包覆(如圖 6-18)，防止鐵絲滑動。



圖 6-17 在壓克板上排列鐵絲

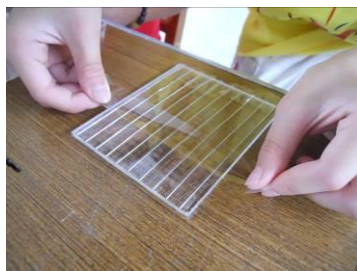


圖 6-18 以膠帶包覆固定鐵絲

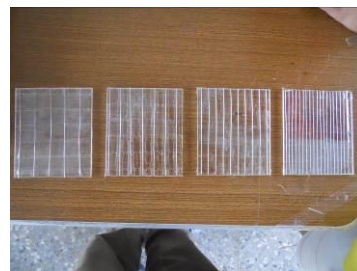


圖 6-19 完成的四種金屬柵欄

(三)實驗方法

1. 將電磁波偵測儀固定在不同位置：本研究的實驗方法主要是以電磁波偵測儀來測量小鐵箱及大鋁箔箱中的訊號發射器發射出的電磁波在不同位置的訊號強度，因此我們需要將電磁波偵測儀依不同向度固定在不同的角度上，包含了電磁波偵測儀的面對方向、長度距離、水平方位角及垂直高度角，此四者即可含蓋所有空間中的面向及位置。

- (1) 面對方向：電磁波偵測儀的面對方向會導致不同的測量結果，因此我們皆是將電磁波偵測儀固定在垂直量角支架的可活動壓克力板上，然後背對波源，而面對觀察者(如圖 6-20)。
- (2) 長度距離：將電磁波偵測儀放置在可活動壓克力板上的不同位置，便可固定其與波源之距離。
- (3) 水平方位角：藉著拉動水平量角軌道上圓弧形木塊，即可調整電磁波偵測儀的水平方位角(如圖 6-21)。
- (4) 垂直高度角：藉著調整垂直量角支架上方的線段長度(如圖 6-22)，即可調整電磁波偵測儀的垂直高度角(如圖 6-23)。



圖 6-20
調整電磁波偵測儀長度距離

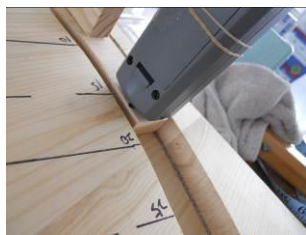


圖 6-21
調整水平方位角



圖 6-22
調整量角支架上方線段長度



圖 6-23
觀察壓克力板之高度角

2. 使用電磁波偵測儀測量電磁波強度：除了調整電磁波偵測儀的設定外，我們還需要放置不同阻隔物及調整孔洞大小。

- (1) 放置不同阻隔物及調整孔洞大小：依據實驗需求，需放置不同的阻隔物於小鐵箱或大鋁箔箱前方，或者在大鋁箔箱前方切割出不同大小形狀的孔洞(如圖 6-23)。
- (2) 電磁波偵測儀的設定：電磁波偵測儀在進行電磁波強度測量時，數據常會跳動不止，我們為了能更為正確的判讀，便將其顯示功能設定為「max」最大值(如圖 6-24)，然後在實驗開始時計時 30 秒，最後記錄此 30 秒內出現的最大值(如圖 6-25)，每項相同測量進行 5 次，求取平均值。



圖 6-23
確認所要切出的孔洞大小



圖 6-24
將電磁波偵測儀調成 max 模式



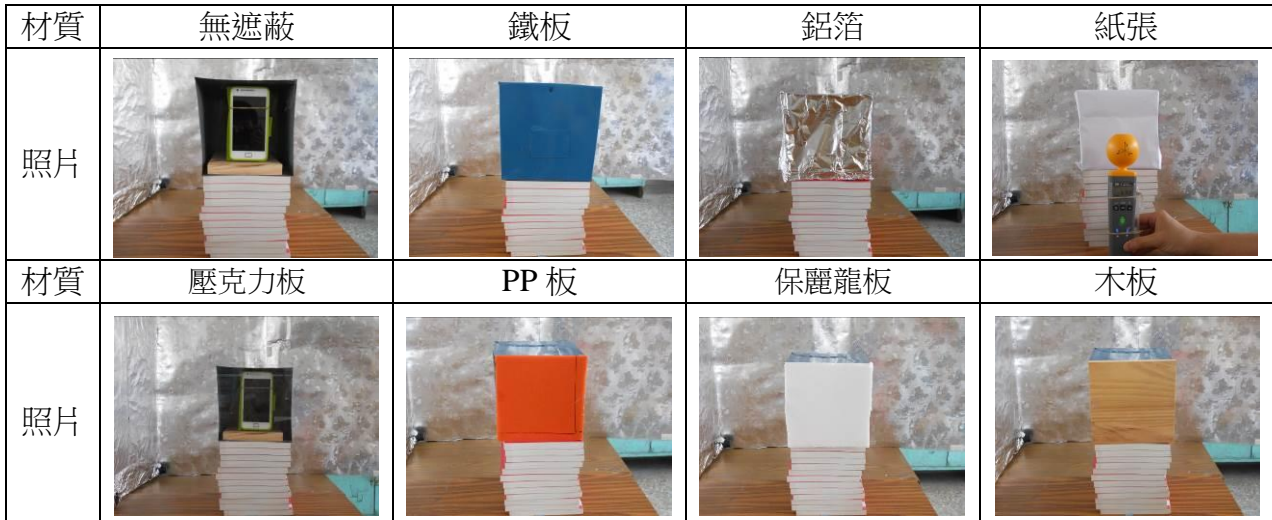
圖 6-25
實驗時計時 30 秒求取最大值

七、研究結果及討論

以下依序針對各實驗的結果進行說明，並依據實驗結果進行討論

(一)實驗一：不同材質阻隔電磁波訊號實驗

我們使用電磁波偵測儀進行不同材質阻隔電磁波穿透實驗，在此實驗中，我們探究八種不同的阻隔物對於電磁波訊號穿透之影響。



1. 實驗結果

表 7-1 不同材質阻隔電磁波訊號實驗結果

電磁波($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		距離(公分)			
		10	20	30	40
材質	無遮蔽	70134	19348	5124.2	2514.0
	鐵板	0.4	0.4	0.4	0.4
	鋁箔	0.4	0.4	0.4	0.4
	紙張	70108	18232	5132.8	2438.6
	壓克力板	68186	17384	4886.0	2478.4
	PP板	70084	19248	5098.4	2541.2
	保麗龍板	64292	13254	4368.4	2040.8
	木板	59468	12586	4158.2	1763.8

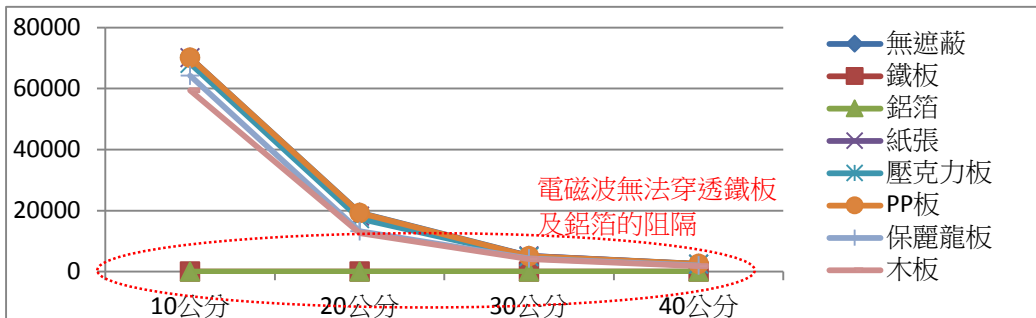


圖 7-1 不同材質阻隔手機訊號實驗結果折線圖

2.討論

- (1) 任何一種材質做為遮蔽物時，電磁波的強度皆約略與距離的平方反比，因此可以說明電磁波是以點狀波源向外擴散。
- (2) 藉由不同的材質來阻隔手機之電磁波，可以發現當手機放入沒有蓋子的金屬箱時，在距離 10 公分之處電磁波強度為 70134($\mu\text{W}/\text{m}^2$)，而當我們使用紙張與 PP 板時，強度分別為 70108 與 70084($\mu\text{W}/\text{m}^2$)，強度皆相近，因此可以發現紙張與 PP 板幾乎完全不具阻隔電磁波的能力。
- (3) 當我們使用鐵板及鋁箔紙等金屬類阻隔物時，手機之電磁波幾乎被完全阻隔，在不同的距離，電磁波強度皆只剩 0.4($\mu\text{W}/\text{m}^2$)，而此強度等同於背景電磁波強度，所以可以說明金屬物能完全阻隔電磁波之傳遞。
- (4) 而其他非金屬材質差異性並不大，例如在木板及保麗龍板阻隔下，在距離 10 公分處，電磁波強度 59468 及 64292，較無遮蔽時略低，可能原因是厚度所造成；而壓克力板雖然厚達 4mm，電磁波強度為 68186，降低幅度有限，可能是因為材質透明，而使其阻隔效果不佳，因此我們可以發現愈厚且不透光之材質在阻隔手機之電磁波有較為良好的效果。

(二)實驗二：偏光片阻隔手機訊號實驗

測驗完多種不同物質對於手機訊號阻隔之效果後，我們思考到對光具有阻隔能力的偏光片也許可以用來阻隔手機訊號，因此我們將 24 片 3D 立體眼鏡之偏光片拆下並組合成二片大面積的偏光片，藉著二片偏光片光柵的不同方向，來控制電磁波的通過狀態。

偏光片處理狀態	無偏光片	同向偏光片	交錯偏光片
照片			

1.實驗結果

表 7-2 偏光片阻隔手機訊號實驗結果

電磁波($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		距離(公分)			
		10	20	30	40
偏光片處理方式	無偏光片	70118	18976	5210.2	2538.2
	同向偏光片	69882	17912	4909.4	2518.8
	交錯偏光片	68056	16820	5089.6	2308.4

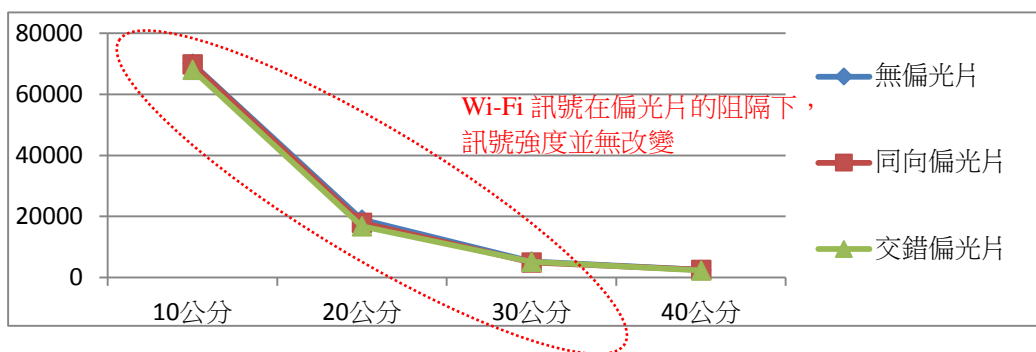


圖 7-2 偏光片阻隔手機訊號實驗結果折線圖

2.討論

- (1) 從實驗結果中，我們可以發現在各種距離下，有無偏光片或者進行不同方式的放置，對於電磁波的強度均影響不大。
- (2) 可能的原因是偏光片雖然有相當密集的光柵，可以用來阻擋垂直於光柵方向振動之光波，但是其材質為塑膠，對於頻率或波長差異甚大的無線電或微波而言，似乎引起不了作用，所以也無法發揮光柵的功能，因此若以金屬材質的光柵來阻隔波長較長的無線電或微波，則其強度可能才會明顯的減弱。

(三)實驗三：不同的訊號發射器材受鐵網阻隔影響實驗

此項實驗為探討生活中不同的訊號發射器是否會因為鐵絲網而受到阻隔，我們收集四種可發射電磁波訊息的物品，包含有汽車晶片鑰匙、玩具車遙控器、對講機及手機，並使用孔目為 1 公分之交錯鐵網做為阻隔片(如圖 7-3)，實驗時記錄相同距離之不同水平角度位置之電磁波強度，為了了解各種不同頻率之訊號發射器，其不同波長對於電磁波傳遞狀況影響，我們在下表 7-2 中列出了頻率，並利用 $\lambda=C/f$ 公式來換算其波長。



圖 7-3 在正方形孔洞前放置交錯鐵網

表 7-2 不同的訊號發射器材受鐵網阻隔影響實驗結果

	汽車晶片鑰匙	玩具車遙控器	對講機	手機
照片				
頻率(MHz)	27	45	467	2400
波長(m)	11.11	6.67	0.64	0.13

1.實驗結果

表 7-3 不同的訊號發射器材受鐵網阻隔影響實驗結果

電磁波強度 單位：μW/m ²	汽車晶片鑰匙		玩具車遙控器		對講機		手機	
	無鐵網	有鐵網	無鐵網	有鐵網	無鐵網	有鐵網	無鐵網	有鐵網
方位角度								
+90(右側)	0.4	1.2	0.6	2.4	46.2	184.0	0.8	1.8
+80	0.8	1.2	0.8	3.8	87.2	224.4	1.0	2.0
+70	0.8	1.4	0.8	4.0	286.2	268.5	5.6	3.6
+60	1.2	1.6	1.4	5.8	483.6	288.2	10.4	6.8
+50	2.0	1.6	3.8	7.4	652.2	325.6	26.8	11.4
+40	2.8	2.0	6.4	11.0	863.4	625.4	35.0	14.6
+30	3.2	2.4	11.5	12.2	1624.5	985.8	50.8	16.8
+20	4.0	2.6	16.0	15.0	1529.2	1128.2	89.4	28.6
+10	4.6	2.8	36.4	15.8	2138.6	1325.6	120.8	40.2
0(中央)	6.4	2.8	43.5	16.8	3820.4	1421.4	130.4	50.8
-10	5.2	2.4	40.2	15.6	3941.6	1225.8	118.4	44.2
-20	3.8	2.4	28.6	14.4	2621.9	958.0	95.6	25.6
-30	2.4	2.4	13.2	11.2	1768.4	652.6	73.4	16.4
-40	2.2	2.0	7.4	9.8	1236.2	356.2	38.2	13.8
-50	1.6	2.0	3.2	9.6	876.8	322.5	11.4	11.2
-60	0.8	1.6	2.6	7.6	868.2	275.6	4.2	9.8
-70	0.6	1.6	1.6	6.2	432.6	186.8	2.8	7.2
-80	0.4	1.2	1.4	3.8	238.2	168.8	1.6	4.0
-90(左側)	0.4	1.2	0.8	2.8	86.5	143.2	0.8	3.2

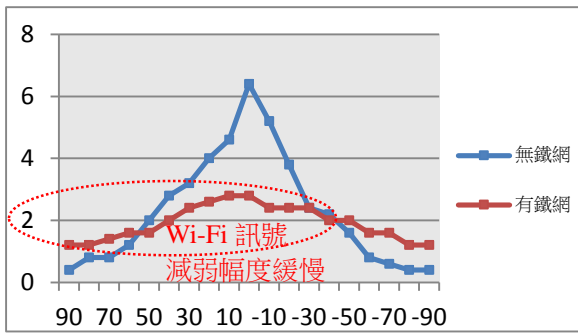


圖 7-4 汽車晶片鑰匙電磁波傳遞折線圖

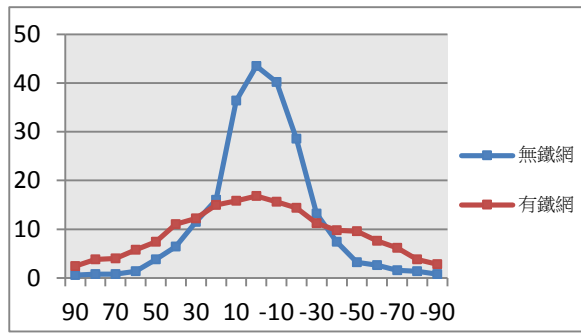


圖 7-5 玩具車遙控器電磁波傳遞折線圖

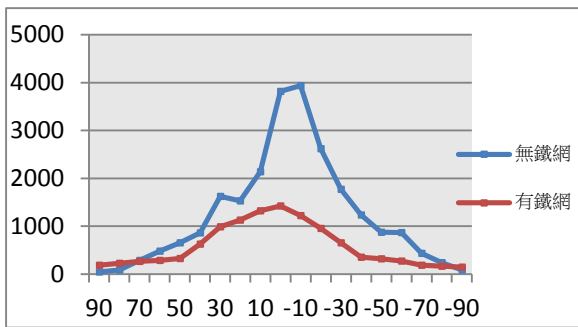


圖 7-6 對講機電磁波傳遞折線圖

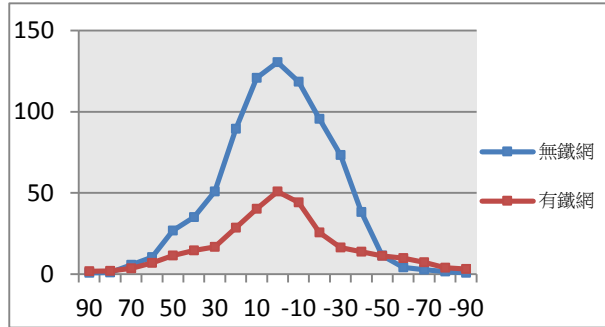



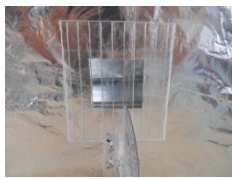


圖 7-7 手機電磁波傳遞折線圖

2. 討論：

- (1) 由實驗結果，我們可以發現四種不同的訊號發射器，在無鐵網遮蔽的情況下，電磁波多集中在中央 0 度位置附近，而愈往左右兩側，測得的訊號愈是急速遞減；相反的，若有鐵網的阻隔，則中央 0 度位置之電磁波相對減少許多，但是往左右兩側，測得的訊號減低的幅度較為緩和。我們認為，在沒有鐵網阻隔時，有較多的電磁波穿出，但是受到了角度的限制，大多集中在孔洞的正前方；相反的，當有鐵網阻隔時，則穿透的電磁波略少，但是因為鐵網的每個小孔隙皆成為個別的狹縫，所以會將原本穿透出的電磁波散射開來，使原本集中的狀態轉變為往兩側均勻分散。
- (2) 另外，我們發現使用汽車晶片鑰匙及玩具車遙控器，兩側位置所測得的訊號強度高於無鐵網時，而使用手機之 Wi-Fi 訊號時，兩側位置所測得的訊號強度則約等同於無鐵網時。造成如此狀態之原因可能是受到電磁波的波長之影響，以汽車晶片鑰匙及手機 Wi-Fi 訊號為例，汽車晶片鑰匙的波長經換算為 11.11 公尺，而 Wi-Fi 訊號之波長為 0.13 公尺，而面對只有 1 公分寬的鐵網孔隙，並無法產生可識別的繞射條紋，但是卻會使電磁波訊號由中央往兩側遞減，而波長愈長時，則 1 公分的孔隙則愈顯得微小，訊號往兩側均勻分散的情形將愈為明顯。

(四)實驗四：Wi-Fi 訊號穿透垂直金屬柵欄實驗

從實驗二中，我們發現電磁波穿過鐵網會產生繞射現象，因此我們欲進一步探討垂直金屬柵欄對手機 Wi-Fi 訊號穿透之影響，我們分別採用 0.5、1.0、1.5、2.0 公分寬之金屬柵欄，以垂直的方向放置，然後測量相同距離的水平方向不同角度之電磁波強度。

垂直金屬柵欄	0.5 公分	1.0 公分	1.5 公分	2.0 公分
照片				

1.實驗結果

表 7-4 Wi-Fi 訊號穿透垂直金屬柵欄實驗結果

電磁波強度 單位：μW/m ²		垂直金屬柵欄寬度			
		0.5 公分	1 公分	1.5 公分	2 公分
水平 角度	0 度(中央)	1168.4	1368.2	1627.2	1723.2
	5 度	1116.2	1309.2	1492.6	1689.0
	10 度	1000.4	1109.2	1418.6	1468.6
	15 度	1094.8	1051.6	1390.0	1358.3
	20 度	949.6	1022.6	1188.8	1245.8
	25 度	992.2	1029.4	1042.4	1028.4
	30 度	944.4	898.6	948.4	1158.0
	35 度	838.0	1027.4	829.4	864.2
	40 度	975.0	993.1	826.5	786.4
	45 度	1004.8	830.4	859.4	915.2
	50 度	921.2	820.4	725.6	788.4
	55 度	746.2	806.2	626.4	815.2
	60 度	769.9	785.8	608.8	838.6
	65 度	799.5	762.0	693.8	723.3
	70 度	725.2	648.2	582.8	458.2
	75 度	725.4	655.6	529.2	423.8
	80 度	762.4	648.0	548.4	551.3
	85 度	756.0	649.2	459.2	534.6
	90 度(右側)	703.2	651.4	438.4	551.8
總計	15532.4	15765.9	15938.3	16835.9	
平均	894.3	898.2	886.1	943.2	

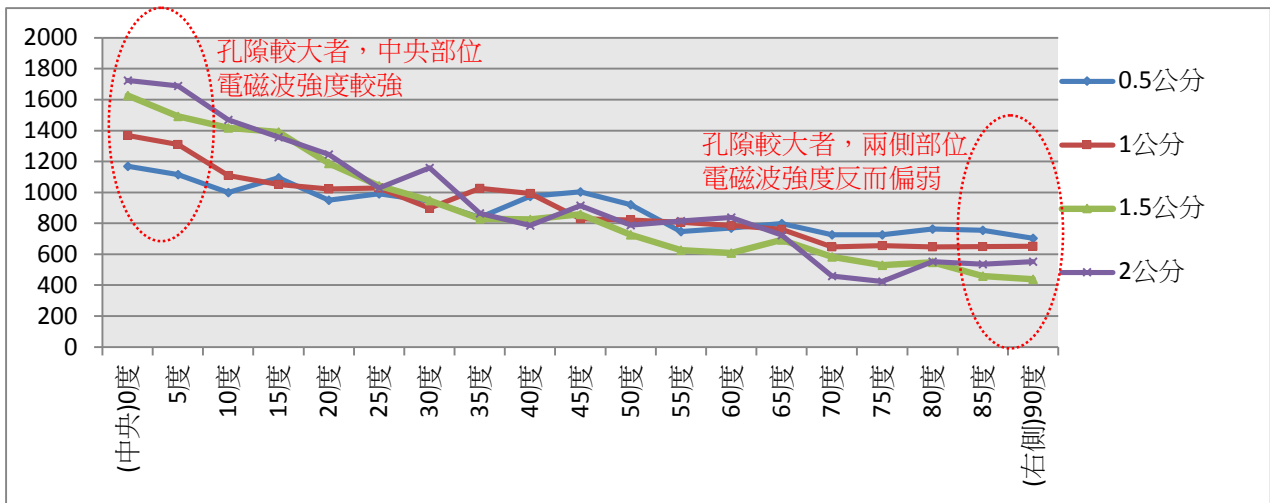


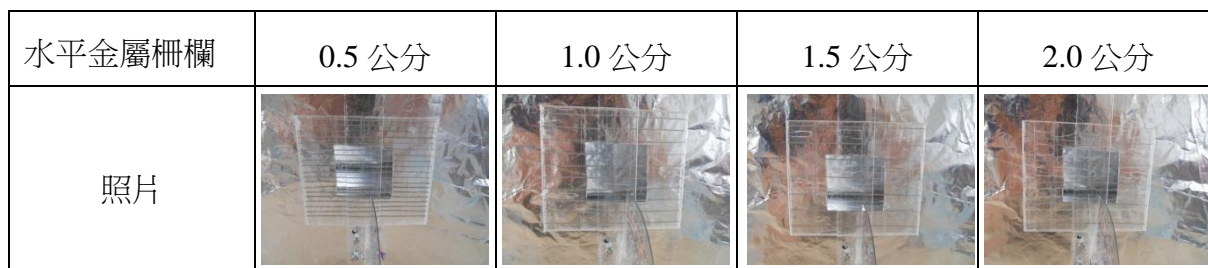
圖 7-8 Wi-Fi 訊號穿透垂直金屬柵欄實驗結果折線圖

2.討論

- (1) 實驗後發現在不同的垂直柵欄阻隔下，中央位置(0 度)的電磁波強度皆較高，而愈往右側靠，電磁波愈為降低，經過組員的討論，認為較多的電磁波仍會朝前方前進，而有部份電磁波在經過繞射後會往兩側發散，因此中央位置的電磁波會較兩旁的強。
- (2) 並且，我們發現在不同寬度的垂直金屬柵欄阻隔下，在電磁波的總量上有微小的差異，由最密的 0.5 公分至最寬的 2.0 公分，各個角度電磁波總量分別為 15532.4、15765.9、15938.3、16835.9($\mu\text{W}/\text{m}^2$)，我們認為愈密集的鐵網會使愈多的電磁波直接受到阻隔，但是鐵絲的截面積對於整個孔隙面積比例不大，因此不會產生太大的影響。
- (3) 另外，從折線圖中我們可以發現柵欄愈密時，電磁波下降的愈緩慢，例如柵欄 0.5 公分寬時，最大強度與最小強度只相差 443.2($\mu\text{W}/\text{m}^2$)，可能原因是愈小的柵欄間隔對於波長為 0.13 公尺的 Wi-Fi 訊號而言，會產生愈大角度的繞射，但是並無法看到明顯的繞射條紋，因此，0.5 公分寬的柵欄，受到繞射現象的影響，縮小了中央與兩側的電磁波差異。

(五)實驗五：Wi-Fi 訊號穿透水平金屬柵欄實驗

承續著實驗四，我們想要繼續探討水平方向的金屬柵欄對於電磁波傳遞的影響，因此我們同樣採用 0.5、1.0、1.5、2.0 公分寬之金屬柵欄，然而此次我們將金屬柵欄以水平的方向放置，然後測量相同距離的垂直方向不同角度之電磁波強度。



1.實驗結果

表 7-5 Wi-Fi 訊號穿透水平金屬柵欄實驗結果

電磁波強度 單位：μW/m ²		水平金屬柵欄寬度			
		0.5 公分	1 公分	1.5 公分	2 公分
垂直 角度	0 度(中央)	1359.4	1409.4	1629.4	1712.4
	5 度	1298.4	1351.4	1548.6	1652.4
	10 度	1087.6	1156.0	1365.0	1368.0
	15 度	772.2	1002.6	1009.4	1110.6
	20 度	836.0	891.0	1025.8	1054.8
	25 度	729.0	804.8	885.0	1040.4
	30 度	534.2	630.0	867.4	939.4
	35 度	551.0	660.6	767.2	696.8
	40 度	667.0	614.6	698.4	757.4
	45 度	702.0	639.8	773.6	748.2
	50 度	546.6	512.6	672.2	653.4
	55 度	500.6	604.0	658.5	778.2
	60 度	355.2	509.4	586.4	723.4
	65 度	288.2	404.0	392.6	693.4
	70 度	264.8	260.0	486.8	492.0
	75 度	299.6	348.2	253.0	441.4
	80 度	307.0	137.6	297.8	322.8
	85 度	70.8	182.4	274.6	383.8
90 度(上方)	86.2	161.4	217.8	239.0	
	總計	11255.8	12279.8	14409.5	15807.8
	平均	592.4	646.3	758.3	831.9

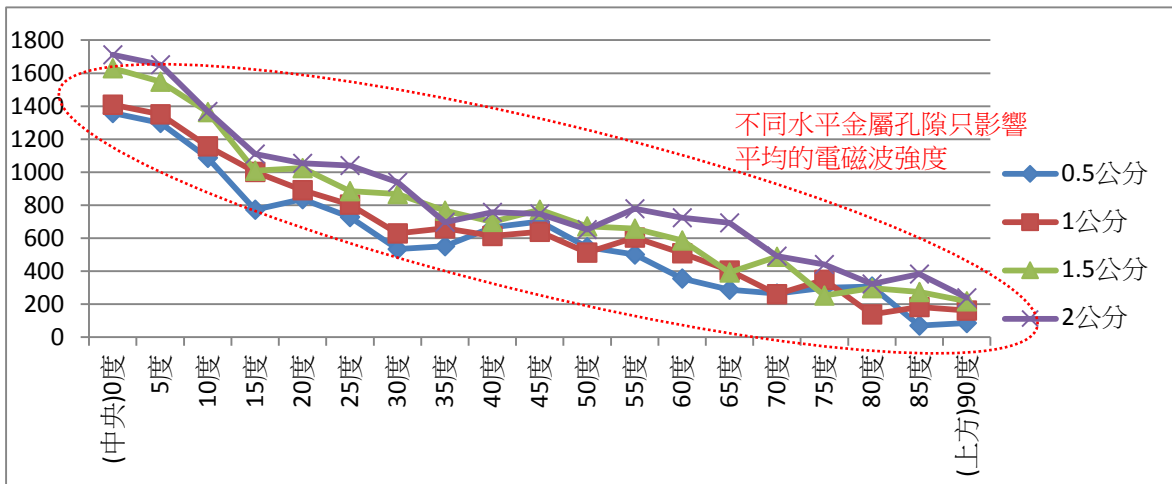


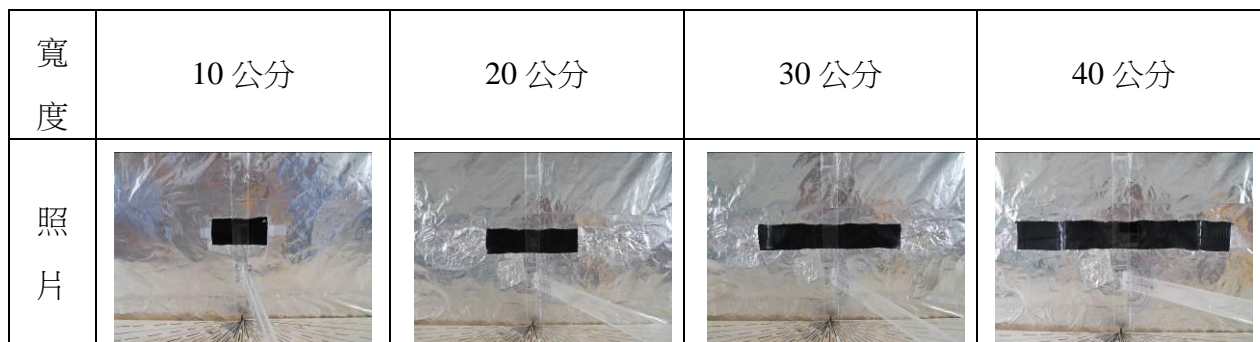
圖 7-9 Wi-Fi 訊號穿透水平金屬柵欄實驗結果折線圖

2. 討論

- (1) 實驗後，我們發現在不同的水平金屬柵欄的阻隔下，電磁波的強度平均值明顯低於使用垂直金屬柵欄阻隔時。我們認為是因為水平方向的金屬柵欄與手機發射出的垂直方向振動之電磁波互相垂直，導致有許多的電磁波在經過柵欄時，即被破壞阻隔了，因此大幅減弱了其強度。
- (2) 並且，從圖表上我們也發現電磁波強度仍由中央向上方(側邊)遞減，但是在遞減的幅度上，較使用垂直金屬柵欄阻隔時來得明顯。我們認為可能的原因是電磁波之電場為垂直振動，而水平方向的柵欄此時並無法產生繞射作用，因此電磁波並沒有被明顯的散射開來，因此較集中於中央區域。
- (3) 另外，我們也發現使用不同寬度的金屬柵欄時，電磁波強度的遞減幅度並沒有太大的差異。我們認為此四種小尺寬度之金屬柵欄皆沒有產生繞射條紋，所以僅僅影響其阻隔程度及平均電磁波強度。

(六)實驗六：Wi-Fi 訊號穿透長條形鋁箔孔洞實驗

我們將隔絕電磁波能力與鐵板相似的鋁箔紙當做阻隔片，然後在上方切出寬度分別為 10、20、30、40 公分的長方形孔洞，然後測量出現相對較強或較弱電磁波強度的水平方位角，以了解金屬盒上的孔洞大小對於電磁波穿透狀態之影響。



一、實驗結果

表 7-6 Wi-Fi 訊號穿透長條形鋁箔孔洞實驗結果

10 公分		20 公分		30 公分		40 公分	
方位角	電磁波強度 單位：μW/m ²	方位角	電磁波強度 單位：μW/m ²	方位角	電磁波強度 單位：μW/m ²	方位角	電磁波強度 單位：μW/m ²
0	715.4	0	1050.0	0	1256.4	0	1456.8
2	539.2	2	786.4	2	913.4	2.5	1142.8
4	746.0	3.5	866.2	4	1042.8	5.5	1258.6
6	535.4	5.5	695.8	6	699.4	7.5	968.2
8	665.8	7	799.4	8	856.2	10.5	1056.4
10	393.2	9	521.0	10	585.6	13.5	901.4
12	532.4	11	631.4	12	712.4	16	968.2
14	303.6	13	543.6	14.5	501.0	18.5	654.0
16	540.4	14.5	689.4	17	685.4	21	701.8
18	308.8	17.5	568.0	19.5	486.8	24	568.8
20	388.6	20	734.6	22.5	672.5	28.5	635.0
22	258.4	22	368.8	25	456.8	33	421.4
24	363.2	24	439.4	28	586.4	35	565.8
26	265.0	26	388.4	30.5	401.6	37.8	389.6
28	325.6	28	627.2	33	557.2	40.5	521.8
30	155.2	30	521.6	35.75	396.0	43	412.6
32	290.6	32	632.2	38.5	543.6		
34	128.4	34	425.2	40.75	507.6		
36	240.2	36.5	538.4	43	496.2		
38	162.0	38.5	378.8				
40	216.6	41	496.0				

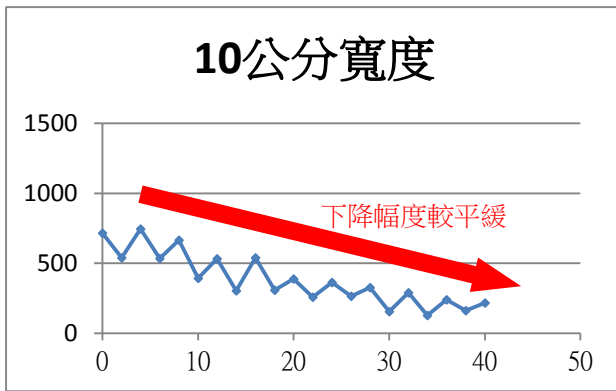


圖 7-10 10cm 寬度鋁箔孔隙實驗 XY 散佈圖

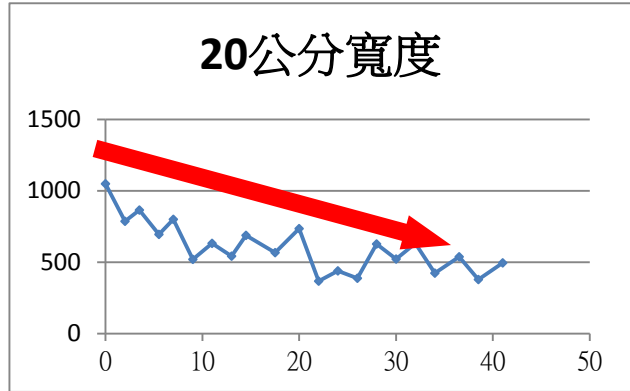


圖 7-11 20cm 寬度鋁箔孔隙實驗 XY 散佈圖

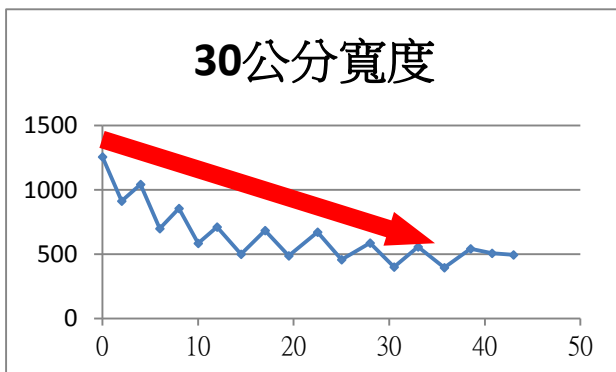


圖 7-12 30cm 寬度鋁箔孔隙實驗 XY 散佈圖

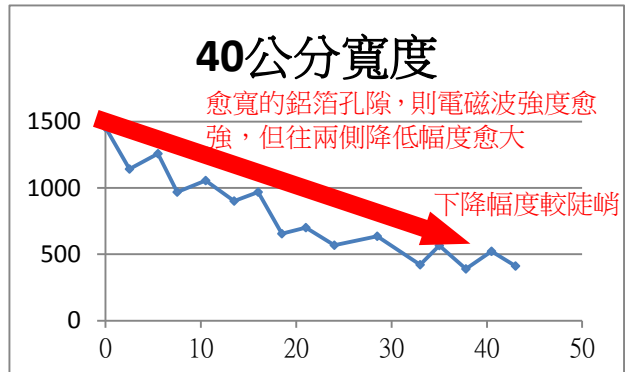


圖 7-13 40cm 寬度鋁箔孔隙實驗 XY 散佈圖

二、討論

- (1) 從實驗結果中，我們發現手機 Wi-Fi 的訊號在通過不同大小的光柵時皆出現電磁波由中央往兩旁遞減的現象，說明了電磁波在穿越不同的鋁箔孔隙時，大部份仍會朝前方傳遞，而有部份的電磁波則會繞射產生角度的偏移。
- (2) 我們也發現到每隔一些角度，電磁波似乎會出現規則性的升降，這可能是因為本實驗所採用的手機 Wi-Fi 訊號其頻率為 2.4GHz，換算後波長為 13 公分，相對於孔隙 10、20、30、40 公分，呈現波長 \leq 孔徑的狀態，因此會產生繞射條紋，相對於實驗四 Wi-Fi 訊號穿透的垂直金屬柵欄，則呈現波長 $>$ 孔徑，所以無法觀測到明顯的繞射條紋。
- (3) 另外，我們也觀察到孔隙愈寬，則電磁波強度較強，但是電磁波會較集中在中央部位，代表愈小孔隙會造成較多的電磁波往兩側繞射，而形成中央與兩側之電磁波強度落差減小。

(七)實驗七：Wi-Fi 訊號穿透圓形鋁箔孔洞實驗

承續實驗六，我們將隔絕電磁波能力相當良好的鋁箔紙當做阻隔片，在上方切出一個直徑 30 公分的圓形孔洞，然後測量出現相對較強或較弱電磁波強度的垂直高度角及水平方位角，以了解金屬盒上的圓形孔洞大小對於電磁波穿透狀態之影響。

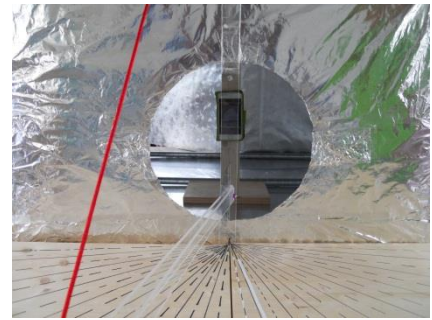


圖 7-14 切出 30 公分直徑之圓形孔洞

二、實驗結果

表 7-7 Wi-Fi 訊號穿透長條形金屬孔隙實驗結果

水平方位測量		垂直高度測量	
方位角	電磁波強度 單位： $\mu\text{W}/\text{m}^2$	高度角	電磁波強度 單位： $\mu\text{W}/\text{m}^2$
0	5263.2	0	5324.2
2	4468.4	5	5238.6
4	5124.0	10	4642.8
6	3852.8	15	4340.0
8	4124.4	20	3356.2
10	2438.2	25	3218.4
12	2994.4	30	2852.2
14.5	1658.0	35	1852.6
17	2160.8	40	1350.0
19.5	1720.4	45	1248.8
22.5	2642.6	50	1320.6
25	1692.0		
28	1940.4		
30.5	1462.8		
33	1858.6		
35.75	1368.8		
38.5	1754.2		
40.75	1520.6		
43.5	1542.4		

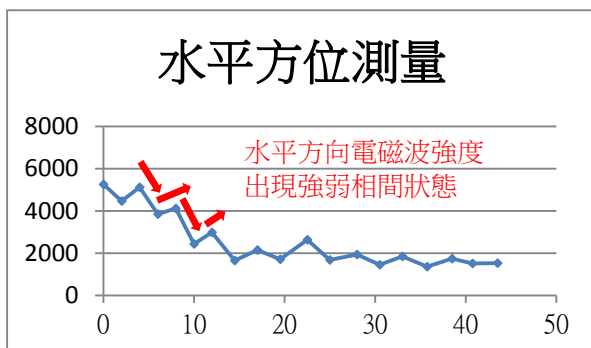


圖 7-15 水平方位電磁波測量折線圖

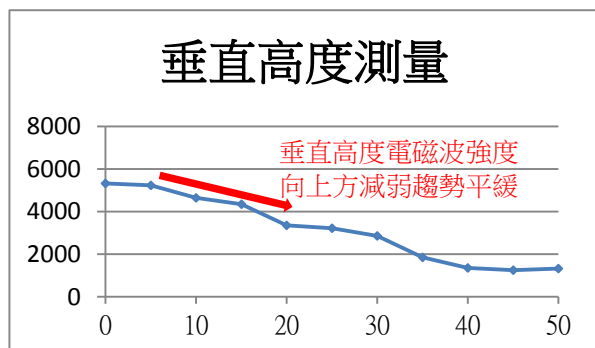


圖 7-16 垂直高度電磁波測量折線圖

二、討論

- (1) 從實驗結果中，我們發現 Wi-Fi 電磁波訊號穿越圓形孔洞時，所測得的電磁波強度明顯較長條形孔洞來得大，以寬 30 公分長條形及直徑 30 公分圓形孔洞之中央位置來比較，其電磁波強度分別為 1256.4 及 5263.2 μ W/m²，我們認為可能是直徑同為 30 公分的圓形孔洞上下寬度較大，所以能穿透的電磁波較強。
- (2) 另外，我們發現測量不同的水平方位角之電磁波強度時，會出現規律性的強度改變，且愈接近中央的位置，其強弱相間變化愈加明顯；而當我們測量不同的垂直高度角之電磁波強度時，雖然強度仍由中央往二側減弱，但減弱的趨勢是漸進的，並沒有明顯強弱相間變化規則。我們認為這是因為本實驗放置手機所發出的 Wi-Fi 訊號之電場是以垂直方向振動而向前前進，因此面對圓形孔隙時，其繞射現象之方向與振幅垂直，因此我們只能觀察到水平方向的繞射條紋。

八、結論

綜合本研究三大目的之七個實驗所獲得之結果及討論，我們推論出下列七項結論，以下依序說明。

- (一) 非金屬材質阻隔手機電磁波之效果相當有限，而鋁箔紙及鐵片等金屬物阻隔 Wi-Fi 電磁波效果很好。
- (二) 偏光片為塑膠材質，其光柵並無法有效的阻隔波長較光波長的 Wi-Fi 電磁波。
- (三) 波長愈長之電磁波訊號，在穿越愈小於波長的窄小縫隙時，訊號愈容易往兩側分散。
- (四) 金屬柵欄愈稠密時，Wi-Fi 電磁波由中央往兩側下降的幅度會愈緩慢。
- (五) 金屬柵欄與電磁波的電場振盪互相垂直時，電磁波會產生繞射現象；反之，如果兩者互相平行時，則不會有繞射現象出現。
- (六) Wi-Fi 電磁波穿越孔隙較波長(13 公分)相近或略大的金屬柵欄時，將會產生明顯的強弱變化，呈現繞射條紋。
- (七) Wi-Fi 電磁波穿越直徑相近或略大於波長(13 公分)之圓形孔洞時，在垂直於電磁波振動的方向會產生明顯的強弱相間變化，呈現繞射條紋；反之，若兩者平行則只會出現由中央往二側逐漸降低之變化，不會有繞射條紋。
- (八) 隔著金屬紗窗使用遙控器時，可能會因為紗窗本身的金屬材質而阻隔了一些電磁波，並且，有部份的電磁波會因為繞射現象而分散到其它的角度，因而降低了遙控的穩定性。

九、參考資料

行政院衛生署國民健康局出版社編輯室(民 96 年)。漫談電磁波。台北市。行政院衛生署國民健康局。

陳抗生(民 95 年)。電磁場與電磁波。台北市。新文京。

吳宗哲、黃泰翰、羅喬嶽(民 91 年)。電磁感應－無接點充電。科展群傑廳。民 102 年 10 月 15 日，取自：<http://science.ntsec.edu.tw/>

Ch6 電磁感應(無日期)。台北市建國中學阿信物理教室。民 102 年 10 月 15 日，取自：<http://www.ck.tp.edu.tw/~pxhuang/lecture/EM-Induction.ppt>

鄭士康(民 97)。第 6 章 天線。鄭士康 Shyh-Kang Jeng。民 102 年 10 月 20 日，取自：<http://cc.ee.ntu.edu.tw/~skjeng/>

黃福坤(民 103)。收音機的原理--電磁波。悟理!物理。民 103 年 2 月 5 日，取自：www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/everydayPhysics/radio.html

電磁波 (民 103) 。 維基百科。民 103 年 2 月 5 日，取自：<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E7%A3%81%E6%B3%A2>

商業 / 工業能源效益。能源效益網站。民 102 年 10 月 15 日，取自：http://www.hk-phy.org/energy/index_c.html

第二章 聲光調變器工作原理。聲光調變器元件之研究。民 102 年 10 月 15 日，<http://www.tnu.edu.tw/ee/upimages/file/Std-97/4007/>

【評語】 080102

本作品深入的探討不同材料對電磁波訊號傳遞所造成的影響，在實驗中分別量測出金屬片(實心及柵欄)、木板及塑膠材料等對Wi-Fi 訊號強度的改變量，並改變干擾物與波源的距離，是一個完整的研究結果。如果在實驗過程中能考慮電磁波波長與柵欄關係(波長與柵欄週期相近)，則可觀察到提及的繞射現象。