

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030109

光「纖」亮麗-探討光纖導光性質及照明應用

學校名稱： 臺北市立敦化國民中學

作者： 國二 葉正淵 國二 周彥均 國二 粘庭菡	指導老師： 陳清圳
---	------------------

關鍵詞： 光纖、折射率、照明

摘要

本實驗主要探討光纖性質及其生活應用。首先，本組測量所使用的光纖規格，接著改變不同變因，以測量損耗值來推斷光如何在光纖中傳輸。實驗後發現光纖越長，因吸收及微彎損耗，損耗值越大，而光纖彎曲角度越大、半徑越小、次數越多皆會因巨觀彎曲而造成損耗值增加；光纖上彎曲位置則是因全內反射、入射角度等造成越靠近入光處彎曲，損耗值越大；溫度對損耗值沒有太大的影響；波長越大則損耗值越大；而入射角度大於最大可接受角 10° 後，損耗值隨入射角度增加而增加。本組也將光纖用於製作一些照明裝置。一、用集光裝置來聚集光線，並用光纖將陽光導進室內來達到最小閱讀照明亮度的照明系統，二、只使用纖芯以用來製作安全照明裝置和條狀強光照明。

壹、前言

一、研究動機

最近在網路上看到在醫學上有許多貢獻的內視鏡、和我們常在用的網路，甚至綠建築裡的「電燈」都有光纖的身影！這讓本組對它有了極大的興趣，上網查詢文獻及資料，發現光纖有極大的研究性，2008 年高錕教授便是研究光纖，獲得了諾貝爾物理學獎。本組決定探討光纖的性質還有它的延伸運用。著手準備前，本組再查閱了一次文獻，發現之前有許多人做過有關光纖及其照明的實驗，但他們皆是透過太陽光並使用耗材較大的工具以達到大面積的照射，若我們可以將太陽光換成人工光源(手電筒、燈泡)，並使用較少材料讓照明裝置照射小面積，便可達到檯燈的作用，還可照射至一般電燈無法照到的小角落，使整個空間沒有照射死角，達到美觀及安全的功效。

二、研究目的

(一) 規格

1. 寬度：內芯、外芯、保護層
2. 折射率：內芯、外芯

(二) 性質探討

1. 不同長度的光纖對光在光纖中傳輸的影響
2. 光纖上不同彎曲角度對光在光纖中傳輸的影響
3. 光纖上不同彎曲次數對光在光纖中傳輸的影響
4. 光纖上不同彎曲位置對光在光纖中傳輸的影響
5. 不同環境溫度對光在光纖中傳輸的影響

6. 不同**色光**對光在光纖中傳輸的影響
7. 光纖上不同**旋轉半徑**、**旋轉次數**對光在光纖中傳輸的影響
8. 不同**入射角度**對光在光纖中傳輸的影響

(三) 延伸應用

1. 將光纖進行不同程度的**剝解**，分析光的**亮度分佈情形**，並提出適用情境。
2. 將室外的陽光透過**集光設備**及光纖導光進到室內，達到**局部照明**的目的。

三、文獻回顧

編號	名稱	相關內容	本組改良、精進
1.	引「陽」入室~將陽光導入室內之研究	使用光纖做成 大耗材 之照明裝置，可代替電燈照明整個房間	減少耗材 並改良成類似 檯燈 之導光裝置
2.	蓬『管』生輝 - 綠能導光管之應用研究	利用自製 太陽能導光管 ，將太陽能導進室內	減少耗材 並改良成類似 檯燈 之導光裝置
3.	轉角遇到光	探討 光纖性質	探討更多 不同、重要的變因
4.	導光材質的研究及其在生活當中的創意設計和應用	探討 光纖性質、應用	探討更多 不同、重要的變因 並 實際做出照明裝置

光纖歷史：

提到光纖，大家通常都會想到被譽為「**光纖之父**」的**高錕先生(Sir Charles Kuen Kao)**，但事實上，「**光纖之父**」(Father of Fiber Optics)另有其人。

早在高錕研究光纖之前，**印度人 Narinder Singh Kapany** 便已發明**世上第一條光纖**，而促使後來光纖在許多領域上的亮眼貢獻。但當時的光纖技術尚未成熟，光在光纖中的**傳輸耗損過大**，高錕先生便是將**光纖傳輸損耗降低**，使光纖能在通訊領域上廣泛運用，可以說他的研究為人類進入光導新紀元打開了大門，並因此獲得 **2009 年諾貝爾物理學獎**。而高錕被稱為光纖之父則是於 **1981 年**第一個光纖通訊系統問世時候的事。

然而，到此可以發現，高錕並非真正發明光纖的人，他最偉大的成就及貢獻應該是將光纖應用於**通訊**上，將光纖通訊的技術發展到極致，讓寬頻高速通訊成為可能，也因為這樣才有今天的**互聯網**存在。所以將他譽為「**光纖通信之父**」(Father of Optical Communication)才更為貼切。

貳、研究設備及器材

- 一、光纖性質實驗裝置：光纖(1)、手電筒(2)、自製光罩(3)、珠針(4)、切割墊(5)、白紙+厚紙板(6)、測光器(7)、測光器接收裝置(8)、膠帶(9)

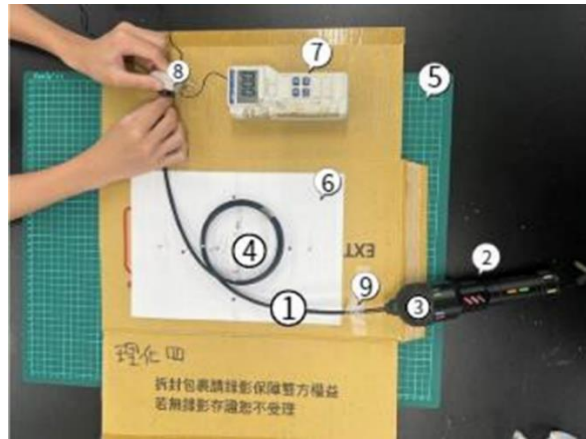


圖 2-1 測量光纖性質之實驗裝置(作者自行拍攝)

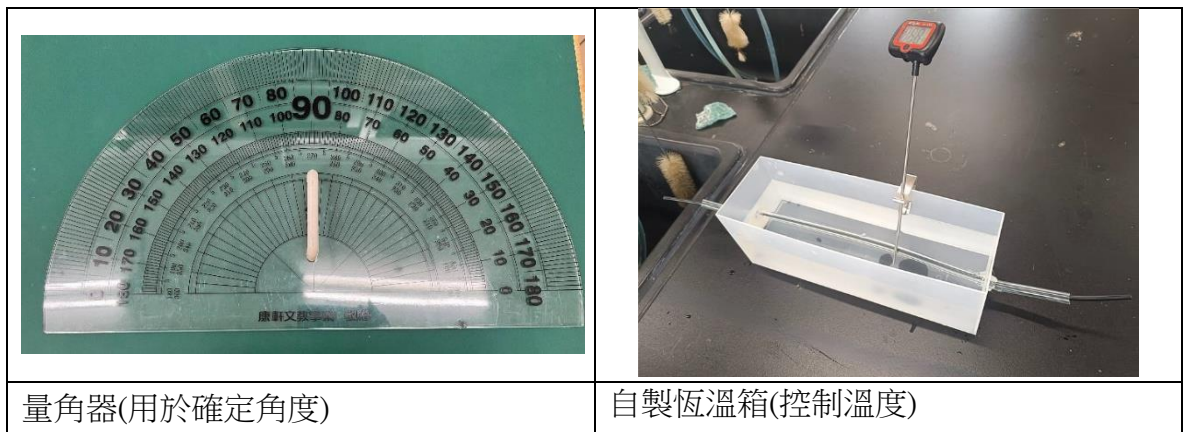


圖 2-2 實驗裝置及工具(作者自行拍攝)

- 二、光纖照明實驗裝置：光纖(1)、手電筒(2)、三角錐+反光貼+透鏡(3)、測光器(4)、實驗支架(5)、膠帶(6)、廣用夾(7)

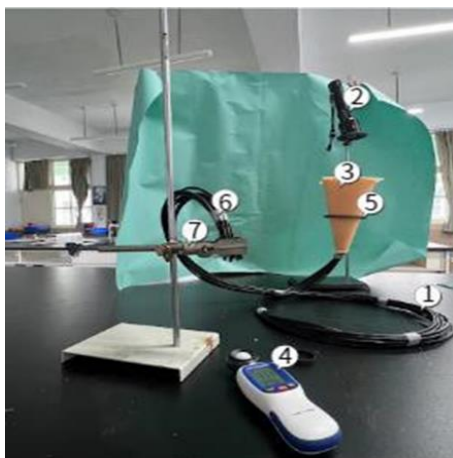


圖 2-3 延伸應用之實驗裝置圖(作者自行拍攝)

參、研究過程與方法

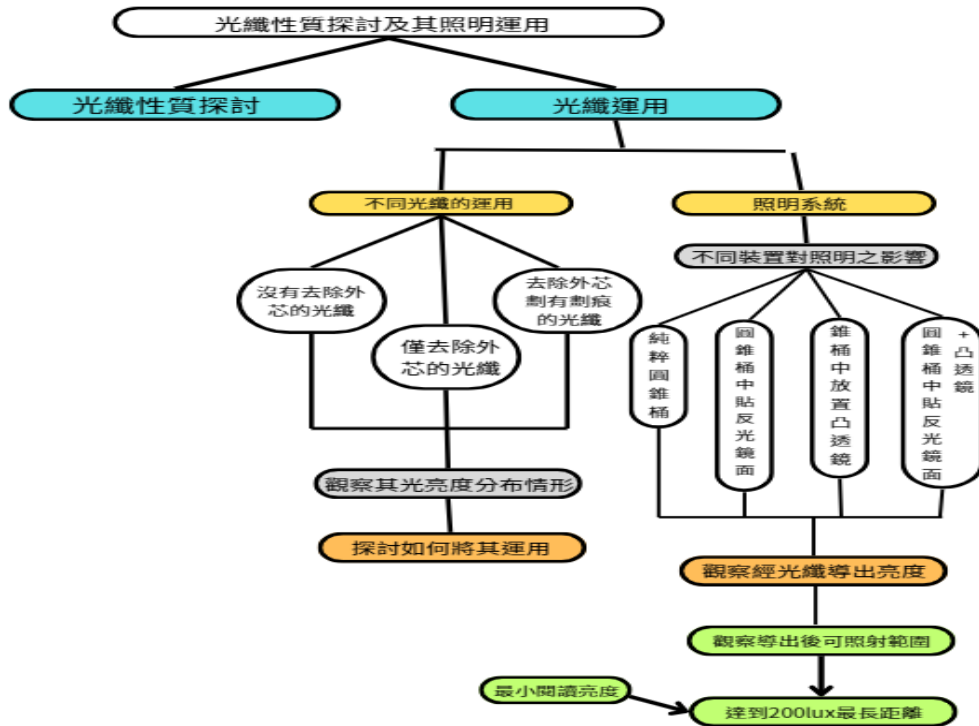
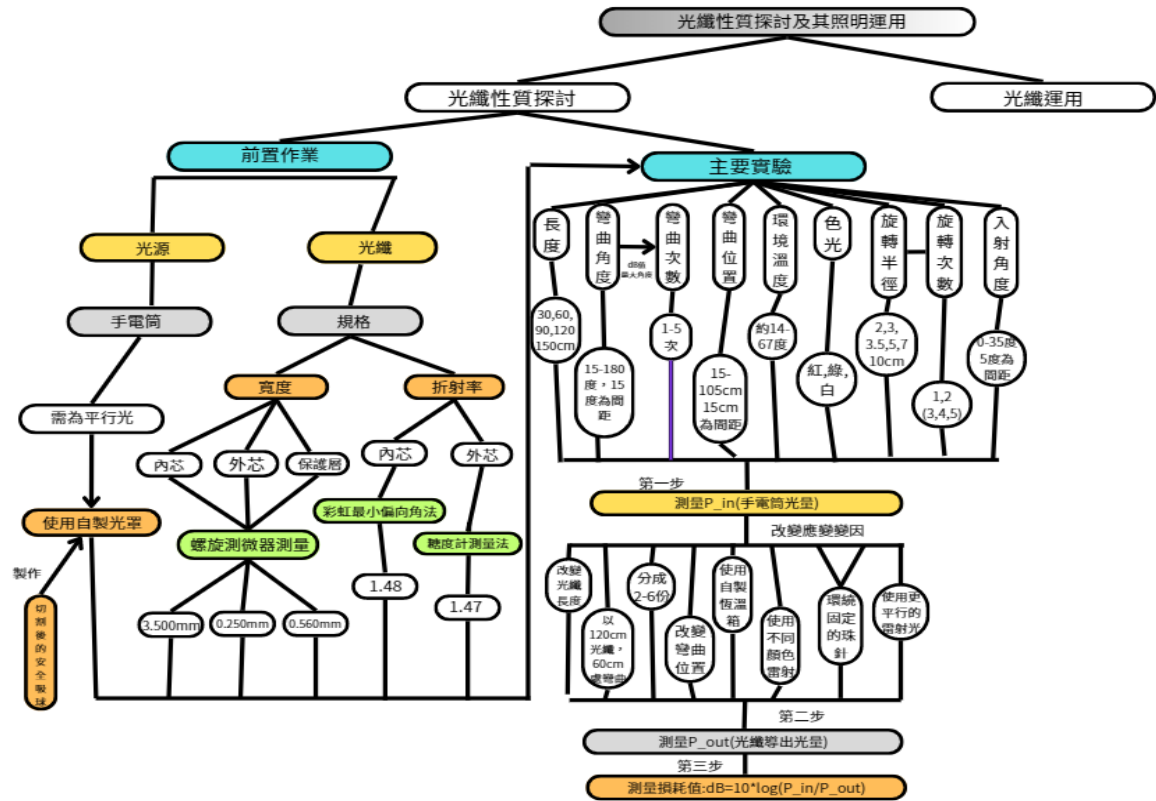
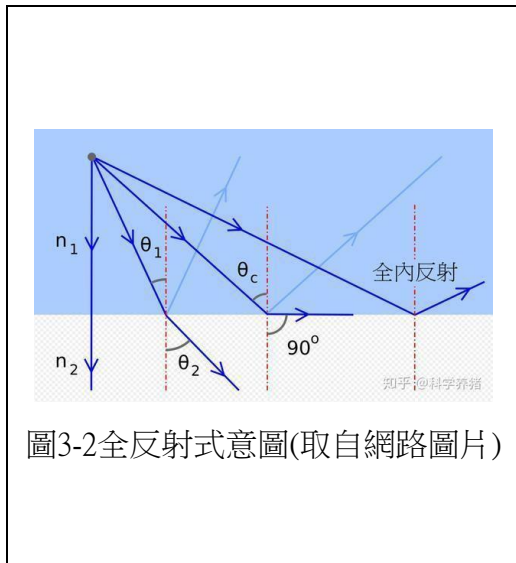


圖 3-1 實驗過程流程圖(作者自行繪製)

一、光纖傳輸原理

光在同一均質介質中是直線前進的，當遇到不同的介質時，除了部分光線被反射回到原來介質，根據史涅爾定律(Snell's law)，部分光線則以另一角度折射進入新的介質當中，其公式為： $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$



其中， n_1 、 n_2 分別為入射端與折射端介質折射率， θ_1 、 θ_2 分別為入射角及折射角。當入射角逐漸增大時，折射角也隨之變大，直到折射角等於90度時，光線便循該折射介面傳播，此時入射角即稱為臨界入射角 θ_c ，

其公式如下：

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ, \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

當入射角持續增大，此時光線將不再產生折射，所有光線將全部反射回原來介質當中，此稱為全反射-Internal Total Reflection。光在光纖內傳播，即是此現象。

二、光纖傳輸損失

光纖損失通常以對數單位分貝(dB)來表示，公式如下： $Loss_{dB} = 10 \times \log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)$

其中， P_{out} 是輸出能量， P_{in} 是輸入能量。兩者必須具有相同的單位。

光纖的能量損失隨著光纖長度的增加而增加，因此在定義損失時，通常以單位距離的光能損失來表示，使用分貝作為計算單位。

光纖能量損失的原因如下：

(一) 材料吸收損失 (material absorption losses)

材料吸收損失分為本質吸收和雜質吸收。本質吸收在紫外光區域是由於光激發電子轉態而吸收光能量；在紅外光區域，則是因材料分子震動而吸收光能量。

(二) 散射損失 (scattering losses)

散射損失是由於光纖製造過程中的不均勻性，導致光纖幾何特性不理想。主要分為雷利散射(Rayleigh scattering)和麥氏散射(Mie scattering)。雷利散射發生在光纖的加熱和冷卻過程中，由於分子排列不均勻，折射率會微小變動，這種現象無可避免，且散射損失與光波長的四次方成反比。麥氏散射則由於光纖結構不均勻，如核心與外殼的介面不規則、折射率差變動、核心直徑變動、應力或核心內的氣泡等因素引起。

(三) 彎曲損失 (bending loss)

1. 巨觀彎曲 (macroscopic bending) : 巨觀彎曲指的是大尺度的彎折。光在光纖內傳輸依賴全反射現象，使光信號局限在核心內。當光纖彎曲時，部分光入射角會小於臨界角，光線會穿出內芯進入外芯，造成光損耗。
2. 微觀彎曲 (microscopic bending) : 微觀彎曲是隨機出現在光纖中的小彎曲。光纖外部有保護層，這些保護層會帶來不均衡壓力，導致光纖產生微小的彎曲現象，進而引起光損耗。微彎曲會造成光的散射，從而導致光纖內的光損耗。

三、光纖數值孔徑

光纖數值孔徑 (Numerical Aperture, NA) 是衡量光纖收集光能力的重要參數。它定義了光纖能夠有效接收或發射光的角度範圍，並與光纖的核心和包層的折射率有關。公式如下：

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

其中， n_1 是光纖核心(core)的折射率， n_2 是光纖包層(cladding)的折射率。數值孔徑表示光纖可以接受或傳輸的光錐角度的大小，具體公式為： $\sin \theta_{max} = NA$

其中，max 是光纖可以接受的**最大入射角**，**數值孔徑越大，光纖能夠接收和傳輸的光束越多。**

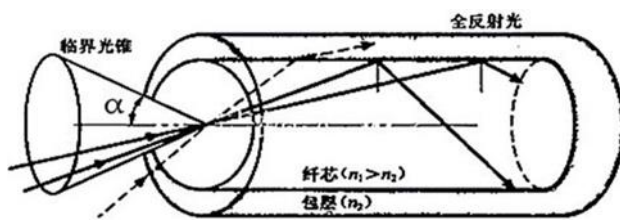
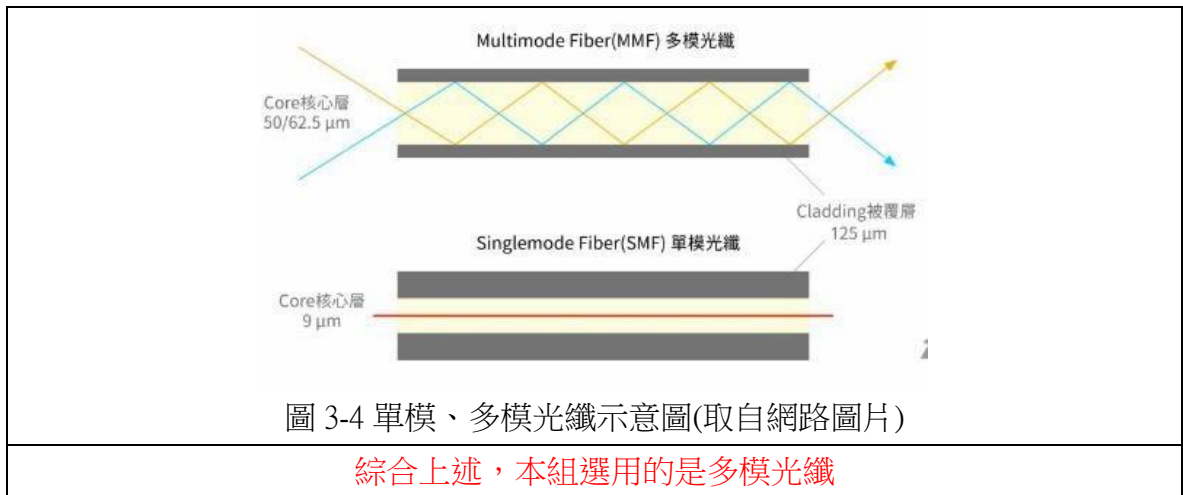


圖 3-3 光纖數值孔徑示意圖(取自網路圖片)

本次使用的光纖參數， $n_1 = 1.48$ ， $n_2 = 1.47$ ， $\sin \theta_{max} = NA = 0.1717$ ， $\theta_{max} = 10^\circ$

四、光纖種類

多模光纖	單模光纖
核心直徑大於 10 微米的光纖，其物理性質可以通過幾何光學理論來分析。當用於通訊用途時，多模光纖通常使用橘色外皮來區分。	單模光纖核心直徑小於傳播光波波長約十倍的(較細的)光纖，不能用幾何光學理論來分析其物理性質。這種光纖視為光學波導，且只允許一種橫模傳導。當用於通訊時，單模光纖通常使用黃色外皮來區分。



五、光源設置

如圖下所示，將手電筒以自製光罩罩住，並將光纖插進開口，可濾除較散的光，使入射光變為較平行光。



圖 3-5 測量光纖性質之裝置示意圖(左:作者自行拍攝；右:作者自行繪製)

六、實驗設計

(一) 光纖規格

1. 實驗設計一

目的：測量光纖纖核(core)直徑、纖衣(cladding)、保護層(buffer)厚度

實驗方法：使用螺旋測微器測量

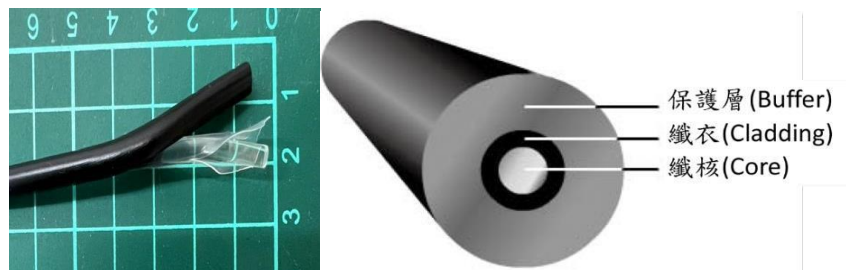


圖 3-6 光纖內部構造(左:作者自行拍攝；右:取自網路圖片)

2. 實驗設計二

目的：測量**纖核折射率**

實驗方法：**彩虹最小偏折角測量法**

(1) 實驗原理

陽光射入水滴時會同時以不同角度入射，造成**色散及反射**，形成彩虹，而水滴內亦以不同的角度反射。當中以**40 至 42 度的反射最為強烈**，造成我們所見到的彩虹。造成這種反射時，陽光進入水滴，先折射一次，然後在水滴的背面反射，最後離開水滴時再折射一次，總共經過**一次反射兩次折射**。因為水對光有色散的作用，**不同波長的光的折射率有所不同**，紅光的**折射率**比藍光小，而藍光的**偏向角度**比紅光大。由於光在水滴內被反射，所以觀察者看見的光譜是倒過來，紅光在最上方，其他顏色在下。

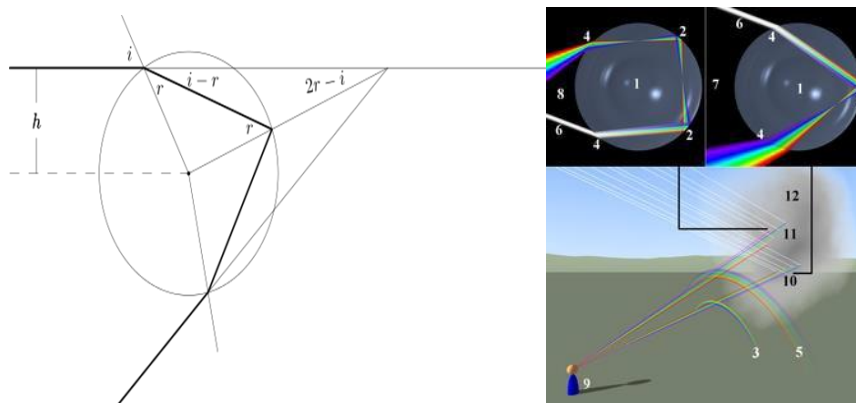


圖 3-7 彩虹偏折角示意圖(取自網路圖片)

設入射光在高度上的分布是均勻的，忽略界面處的損失，則**光強最強**的角

度出現在滿足條件 $\frac{d(2i-r)}{dh} = 0$ 的入射角 i 處。由折射定律 $\frac{\sin i}{\sin r} = n$

可得取得極值 $\sin i = \frac{\sqrt{4-n^2}}{3}$ 取水的折射率 $n=1.33$ ，可得極大值出現在，

$i=59.6^\circ$ 處，此時折射角 $r=40.4^\circ$ ，偏轉角 $\pi + 2i - 4r = 137.5^\circ$ 視線與入射光夾角 $4r - 2i = 42.5^\circ$ ，進一步計算可知，當 n 在 1 和 2 之間時，此角度隨折射率的增大而減小，這可以解釋為什麼虹的外圈是紅色而內圈是紫色。

本實驗所用之光纖，因為是基本的**普通光纖**，經查資料後，以**石英為纖芯**的**折射率大多為 1.46**，將其代入計算後，**偏轉角應為 154°** ，其補角 26° 。

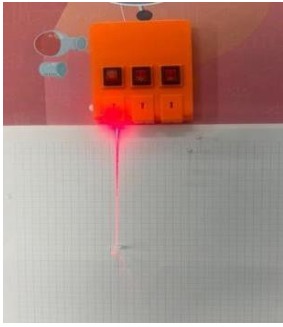
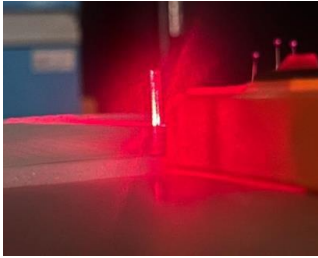
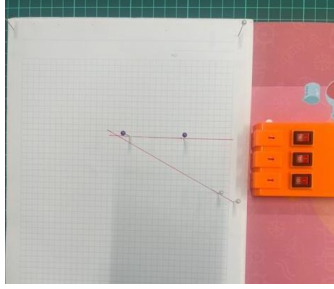
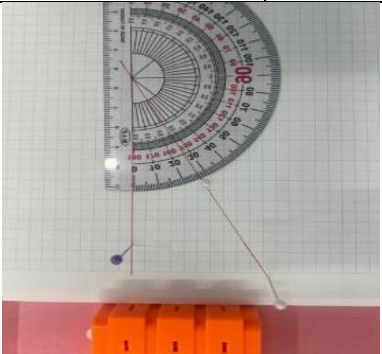
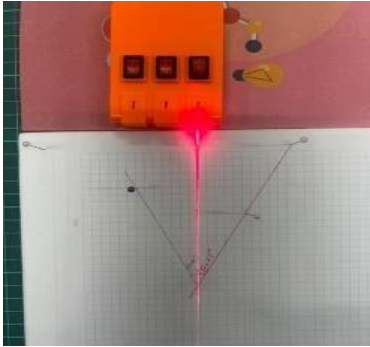
		
<p>利用紅色雷射光照射纖維一次</p>	<p>來回移動以觀察紅光最亮的位置，並利用插針法作記號。</p>	<p>利用插針法也將入射光做好記號，並連線</p>
		
<p>測量兩線之夾角</p>	<p>將入射光改置纖維的另一側，重新測量後，求平均值</p>	

圖 3-8 測量纖維折射率過程(作者自行拍攝)

3. 實驗設計三

目的：測量纖維折射率

實驗方法：利用糖度計測量

(1) 基本原理

- I. 折射率：溶液的折射率與溶質的濃度有關。在溶液中，糖的濃度越高，折射率越大。
- II. 糖度計：這種儀器通過測量溶液的折射率來推算糖的濃度。它內部有一個稜鏡和測量光線折射角度的機制。

(2) 實驗方法

- I. 校準：在測量前，需要使用蒸餾水或已知糖度的標準溶液對儀器進行校準，以確保測量結果準確。
- II. 將纖維剪下一小片，使其儘量完整服貼在折光糖度計的測量稜鏡上，確保稜鏡表面完全被覆蓋。
- III. 讀取數值：通過觀察目鏡或顯示屏，讀取糖度值。
- IV. 將糖度值(Brix)轉換為折射率。

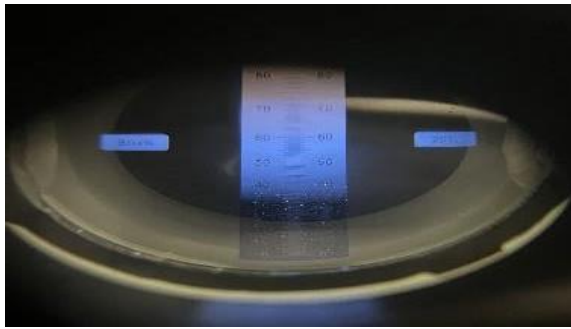


圖 3-9 糖度計顯示儀(作者自行拍攝)

%	n_D^{20}	%	n_D^{20}	%	n_D^{20}	%	n_D^{20}	%	n_D^{20}
0	1.33299	20	1.36384	40	1.39986	60	1.44193	80	1.49071
1	1.33442	21	1.36551	41	1.40181	61	1.44420	81	1.49333
2	1.33586	22	1.36720	42	1.40378	62	1.44650	82	1.49597
3	1.33732	23	1.36889	43	1.40576	63	1.44881	83	1.49862
4	1.33879	24	1.37060	44	1.40776	64	1.45113	84	1.50129
5	1.34026	25	1.37233	45	1.40978	65	1.45348	85	1.50398
6	1.34175	26	1.37406	46	1.41181	66	1.45584	86	1.5067
7	1.34325	27	1.37582	47	1.41385	67	1.45822	87	1.5094
8	1.34477	28	1.37758	48	1.41592	68	1.46061	88	1.5122
9	1.34629	29	1.37936	49	1.41799	69	1.46303	89	1.5149
10	1.34782	30	1.38115	50	1.42009	70	1.46546	90	1.5177
11	1.34937	31	1.38296	51	1.42220	71	1.46790	91	1.5205
12	1.35093	32	1.38478	52	1.42432	72	1.47037	92	1.5234
13	1.35250	33	1.38661	53	1.42647	73	1.47285	93	1.5262
14	1.35408	34	1.38846	54	1.42863	74	1.47535	94	1.5291
15	1.35568	35	1.39032	55	1.43080	75	1.47787	95	1.5320
16	1.35729	36	1.39220	56	1.43299	76	1.48040		
17	1.35891	37	1.39409	57	1.43520	77	1.48295		
18	1.36054	38	1.39600	58	1.43743	78	1.48552		
19	1.36218	39	1.39792	59	1.43967	79	1.48811		

圖 3-10Brix 值與折射率對照圖(取自網路圖片)

(二) 光纖性質測試

1. 實驗設計 一

目的：探討不同長度的光纖對光在光纖中傳輸的影響

實驗方法：測量光損耗值(dB 值)

先測量手電筒的光量，再將不同長度的光纖分別拉長，測量導出後的光量。

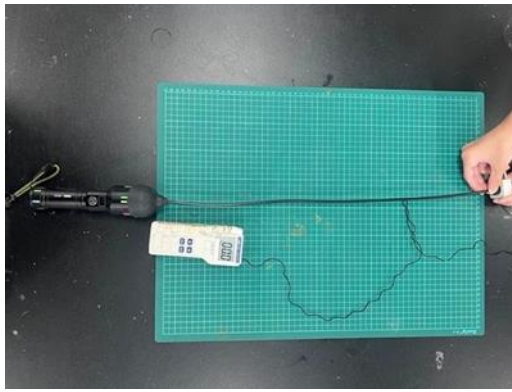


圖 3-11 實驗一裝置圖(作者自行拍攝)

2. 實驗設計二

目的：測量光纖上不同彎曲角度對光在光纖中傳輸的影響

實驗方法：測量光損耗值(dB 值)

先測量手電筒的光量，再將 120 公分的光纖在 60 公分處彎曲，每次以 15 度改變，並測量導出後的光量。

注意事項：

使用玻璃管套入分點旁，使光纖盡量達到最直(不彎曲)。

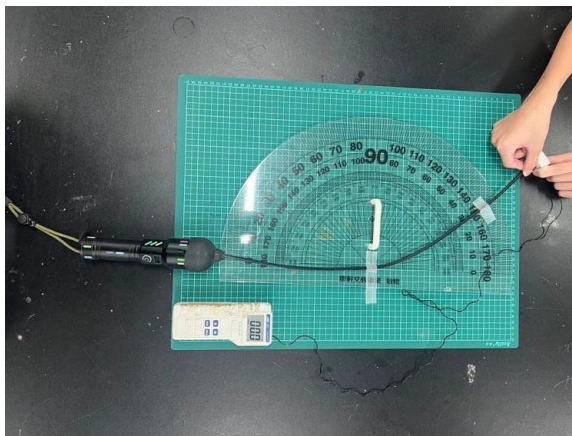


圖 3-12 實驗二裝置圖(作者自行拍攝)

3. 實驗設計三

目的：測量光纖上不同彎曲次數對光在光纖中傳輸的影響

實驗方法：測量光損耗值(dB 值)

先測量手電筒的光量，再在 120cm 的光纖上分成 2、3、4、5、6 份，並在分點上彎曲 90 度進行測量

注意事項：

使用玻璃管套入分點旁，使光纖盡量達到最直(不彎曲)

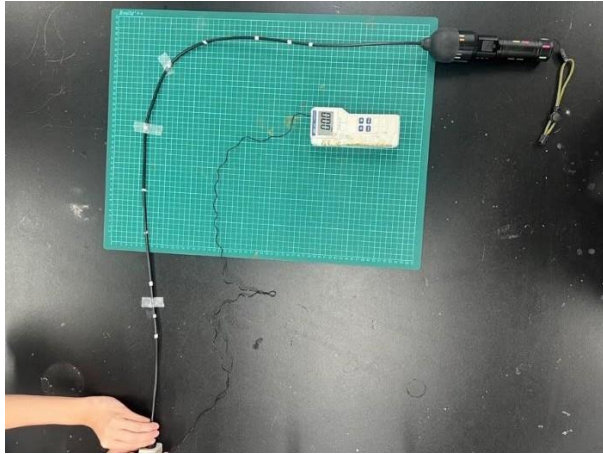


圖 3-13 實驗三裝置圖(作者自行拍攝)

4. 實驗設計四

目的：測量光纖上不同彎曲位置對光在光纖中傳輸的影響

實驗方法：測量光損耗值(dB 值)

先測量手電筒的光量，再將 120 公分的光纖在不同位置彎曲 90 度，並每次以 15 公分調整，測量導出後的光量。

注意事項：

使用玻璃管套入彎曲點旁，使光纖盡量達到最直(不彎曲)。



圖 3-14 實驗四裝置圖(作者自行拍攝)

5. 實驗設計五

目的：不同環境溫度對光在光纖中傳輸的影響

實驗方法：測量光損耗值(dB 值)

先測量手電筒的光量，再調整不同水溫並將光纖插入自製恆溫箱洞中測量

注意事項：

光纖須為一直線，而光源要以平行光且和光纖截面垂直的方式進入

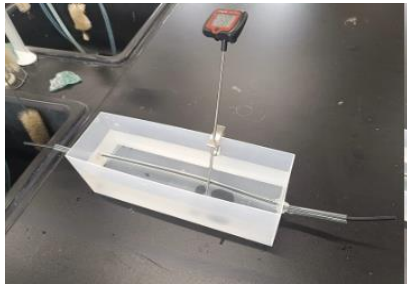


圖 3-15 實驗五裝置圖(作者自行拍攝)

6. 實驗設計六

目的：不同色光對光在光纖中傳輸的影響

實驗方法：測量光損耗值(dB 值)

先測量雷射筆的光量，再用 120cm 的光纖分別測量白、綠、紅光的損耗值

注意事項：

應取穩定的數值，跳動幅度太大時可重開雷射筆或手電筒



圖 3-16 實驗六裝置圖(作者自行拍攝)

7. 實驗設計七

目的：不同旋轉半徑、旋轉次數對光在光纖中傳輸的影響

實驗方法：測量光損耗值(dB 值)

先測量手電筒的光量，再將 200 公分光纖的轉彎半徑調整為 2、3、3.5、5、7、10 公分測量轉 1 至 5 圈的耗損值

注意事項：

先在紙上找半徑，再將光纖固定在圓上，避免誤差

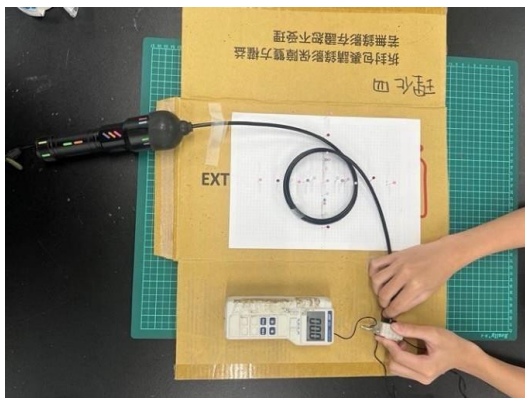


圖 3-17 實驗七裝置圖(作者自行拍攝)

8. 實驗設計八

目的：不同入射角度對光在光纖中傳輸的影響

實驗方法：測量光損耗值(dB 值)

先測量手電筒的光量，入射角度以 5 度為間距測量 0 到 35 度



圖 3-18 實驗八裝置圖(作者自行拍攝)

(三) 延伸應用

1. 實驗設計一

目的：將光纖進行不同程度的剝解，分析光的亮度分佈情形並提出適用情境。

實驗方法：取三段 60 公分的光纖，分別進行 A 指剝下外層黑色保護膜、B 剝下外層黑色保護膜及外芯、C 全部剝除並在表面進行劃痕以破壞內芯表層。以同一光源照射後進行分析。

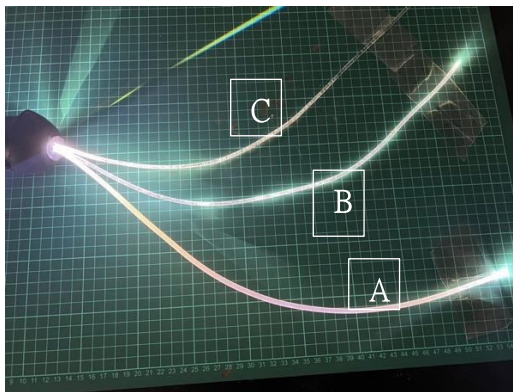


圖 3-19 不同種光纖照射圖(作者自行拍攝)

2. 實驗設計二

目的：將光源透過集光設備及光纖導光進到室內，達到局部照明的目的。

實驗方法：

(一) 實驗裝置如圖3-19

(二) 利用手電筒模擬陽光最弱（黃昏模式 10klux）及最強（中午模式 100klux）入射集光裝置中，並透過光纖將光導入測光器測量光的照度。

(三) 集光設計:

- 1.純粹圓錐桶
- 2.圓錐桶中貼反光鏡面
- 3.圓錐桶中放置焦距 15 公分的凸透鏡
- 4.圓錐桶中貼反光鏡面並放置焦距 15 公分的凸透鏡。

(四) 收集不同模式下的最大亮度及具有可以閱讀的最小亮度 200lux 的最大高度。

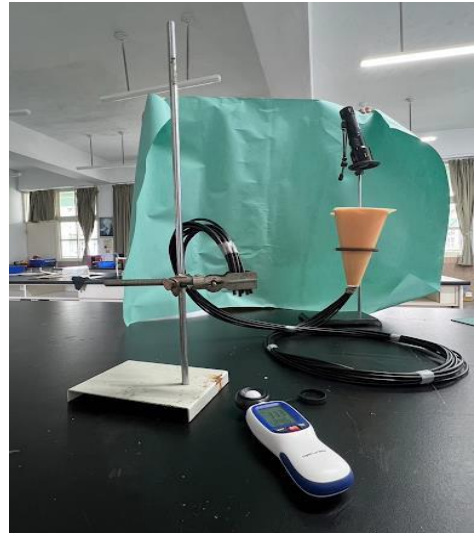


圖 3-20 延伸應用裝置(作者自行拍攝)

肆、研究結果

一、光纖規格

(一) 實驗一

目的：測量光纖纖維核(core)直徑、纖維衣(cladding)、保護層(buffer)厚度

實驗結果：

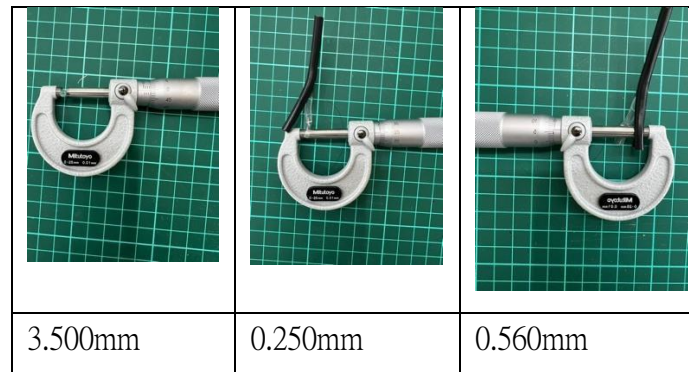


圖 4-1 螺旋測微器(作者自行拍攝)

(二)

I. 目的：測量纖維核(內芯 core)折射率

實驗結果：表 4-1 纖維核折射率數據

次數	由上端入射	由下端入射	平均值

1	27.0	26.0	26.5
2	28.0	26.0	27.0
3	26.5	25.0	25.8

小結:平均值為 26.4° ，最小偏向角為 153.6° ，符合預測，故本次實驗之纖核的折射率為 1.48 無誤

II. 目的：測量纖衣(外芯 cladding)折射率

實驗數據：表 4-2 纖衣折射率數據

實驗次數	Brix	折射率
1	71	1.468
2	71	1.468
3	72	1.470

小結:平均值為 $1.469 \approx 1.47$

二、光纖性質探討

(一) 實驗一

目的：不同長度的光纖對光在光纖中傳輸的影響

實驗數據：

長度	光損耗(強光源)	光損耗(中等光源)	光損耗(弱光源)
30	2.31	2.39	2.17
60	3.62	3.65	3.46
90	4.03	4.10	3.85
120	4.26	4.30	4.05
150	4.33	4.40	4.16

小結:光纖長度越長，損耗值越大

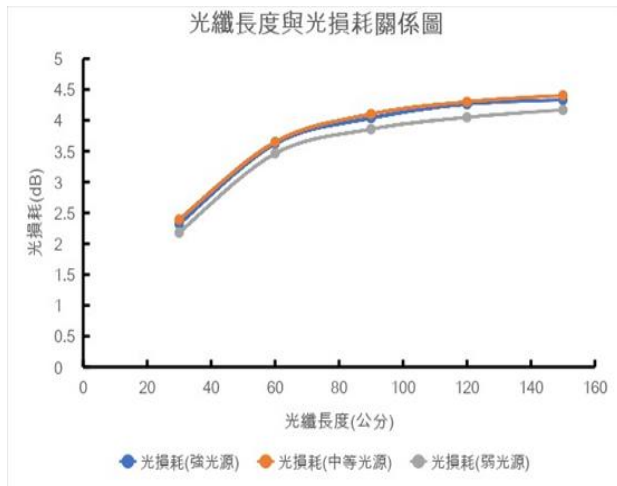


圖 4-2 光纖長度與光損耗關係圖

(二) 實驗二

目的：光纖上不同彎曲角度對光在光纖中傳輸的影響

實驗數據：

彎曲角度	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
光損耗 (dB)	3.21	3.34	3.36	3.42	3.43	3.59	3.68	3.66	3.93	3.94	4.16	4.41	5.30

小結：彎曲角度越大，損耗值越大

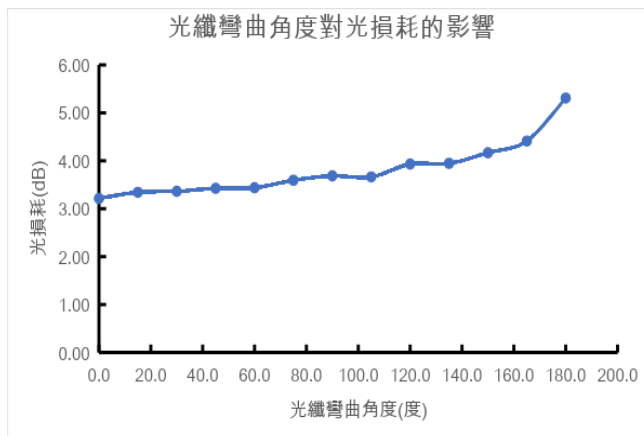


圖 4-3 光纖彎曲角度對光損耗的影響

(三) 實驗三

目的：不同彎曲次數對光在光纖中傳輸的影響

實驗數據：

彎曲次數	1	2	3	4	5
光損耗(dB)	2.66	2.40	2.63	2.77	3.69

小結：光纖彎曲次數越多，損耗值越大

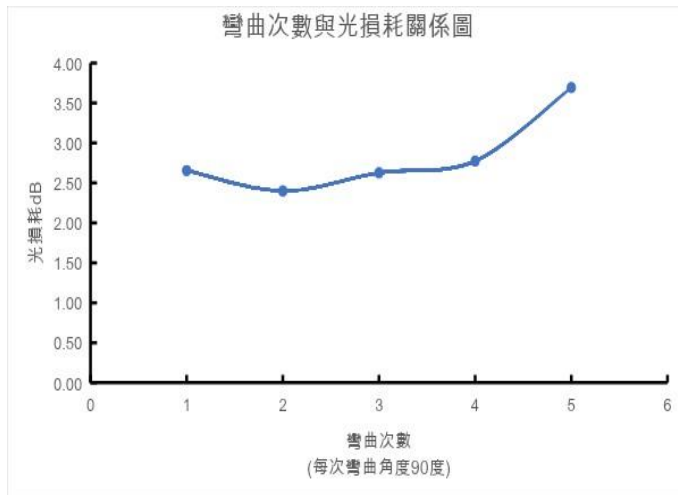


圖 4-4 彎曲次數與光損耗關係圖

(四) 實驗四

目的：不同彎曲位置對光在光纖中傳輸的影響

實驗數據：

輸出口至彎曲處距離(公分)	0	15	30	45	60	75	90	105
光損耗(dB)	2.94	3.27	3.28	3.31	3.36	3.45	3.46	3.55

小結：在距離輸入口越遠的地方彎曲時，損耗值越大

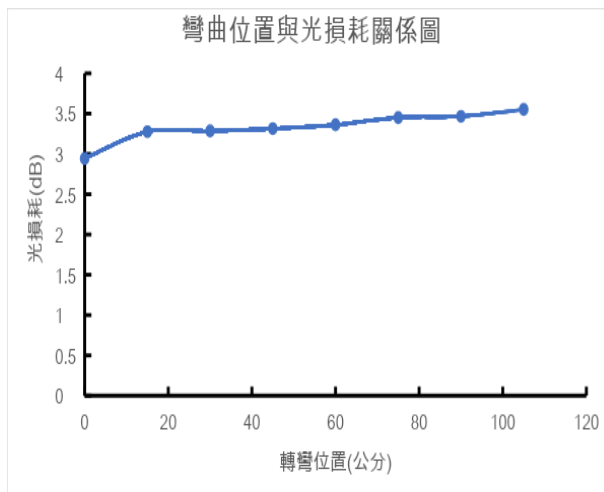


圖 4-5 彎曲位置與光損耗關係圖

(五) 實驗五

目的：不同環境溫度對光在光纖中傳輸的影響

實驗數據：

溫度	14.7	25.3	33.7	46.9	67.9
光損耗	3.28	3.20	3.13	3.13	3.05

小結：當環境溫度升高時，損耗值也降低，但是降低較不明顯

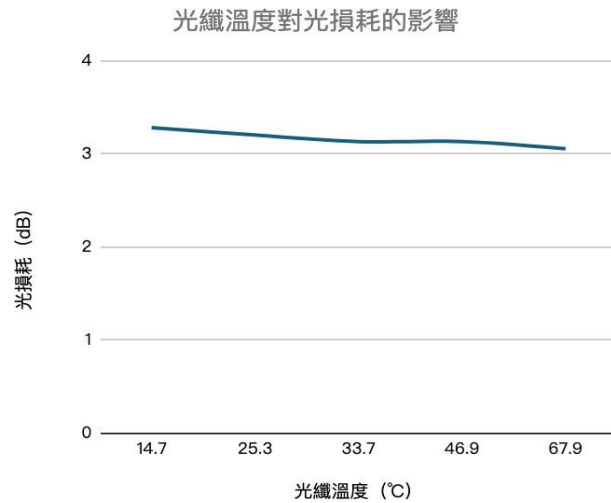


圖 4-6 光纖溫度對光損耗的影響

(六) 實驗六

目的：不同色光對光在光纖中傳輸的影響

實驗數據：

不同色光	光損耗
紅光(638nm)	3.27
綠光(532nm)	3.38
白光	3.09

小結：當波長越長時，損耗值也越低

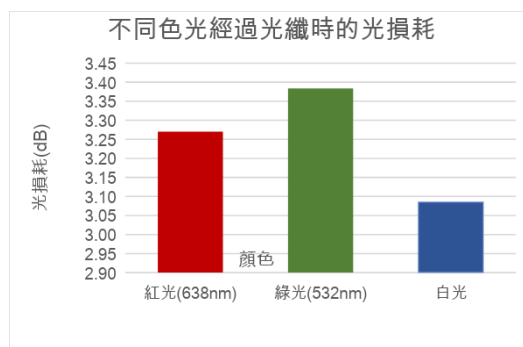


圖 4-7 不同色光過光纖時的光損耗

(七) 實驗七

目的：不同旋轉半徑、旋轉次數對光在光纖中傳輸的影響

實驗數據：

彎曲半徑 (公分)	損耗率 dB (彎曲1次)	損耗率 dB (彎曲2次)	損耗率 dB (彎曲3次)	損耗率 dB (彎曲4次)	損耗率 dB (彎曲5次)
2	3.30	3.48	3.69	4.01	4.09
3	3.22	3.37	3.45	3.58	3.44
3.5	2.83	3.09	3.21	3.28	3.22
5	2.69	2.96	2.94	3.02	3.09
7	2.66	2.49	2.53	線長不足	線長不足
10	2.68	2.73	線長不足	線長不足	線長不足

小結：旋轉半徑越大則損耗值越小，而在 3.5 公分以下時，旋轉圈數越多則損耗值明顯升高，但在 3.5 公分以上(含)旋轉圈數對損耗值沒有明顯的影響

彎曲次數與損耗值的實驗關係圖

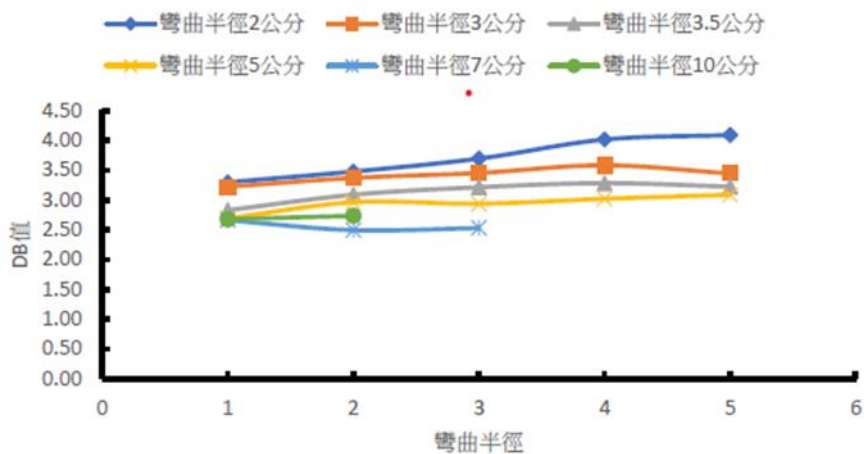


圖 4-8 彎曲次數與損耗值的實驗關係圖

(八) 實驗八

目的：不同入射角度對光在光纖中傳輸的影響

實驗數據：

入射角度	0	5	10	15	20	25	30	35
光損耗 (dB)	4.14	4.13	4.13	4.83	5.52	6.36	7.91	9.21

一、入射角度小於 10°時，損耗值無特別改變，而入射角度大於 10°後，損耗值會明顯隨角度增加而增加

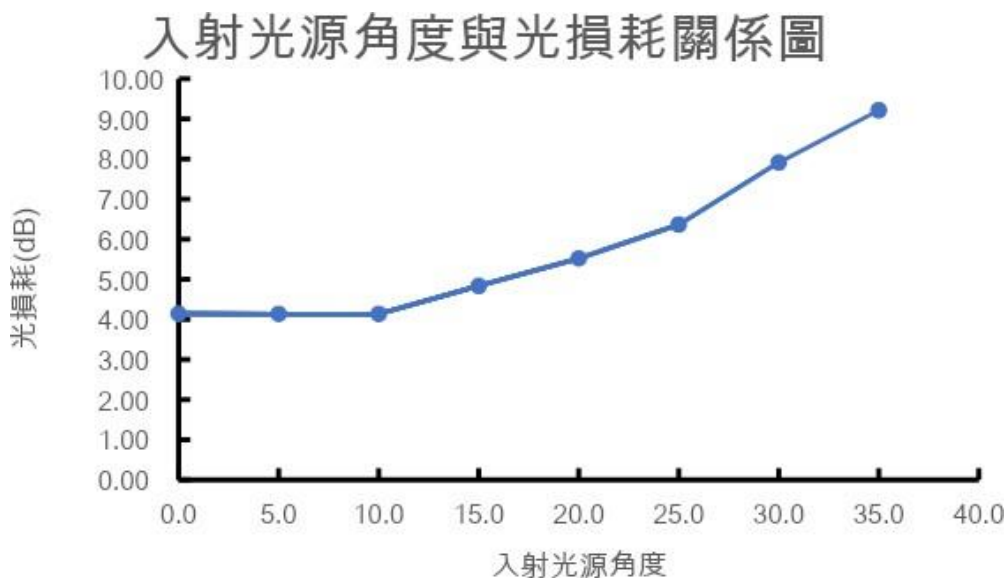


圖 4-9 入射光源角度與光損耗關係圖

三、延伸應用

(一) 實驗一

目的：不同集光設計與照度關係

設計	黃昏光照度	黃昏 200lux 照射高度	中午光照度	中午 200lux 照射高度
無加任何設備	445.5	5.15	1925	10.65
貼反光鏡面	613	6.8	3605	20.2
加透鏡	945	8.1	3980	15.35
貼反光鏡面加透鏡	2155	12.2	8255	22.4

小結: 圓錐桶中貼反光鏡面並放置凸透鏡的裝置亮度最亮，可照射範圍也最廣。

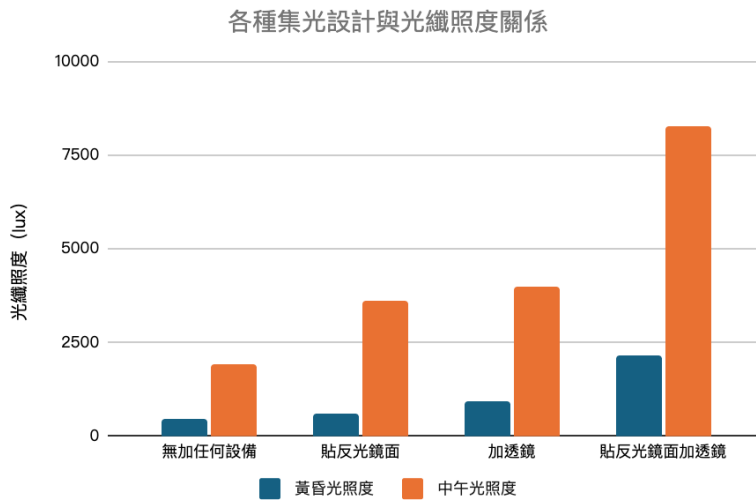


圖 4-10 各種集光設計與光纖照度關係

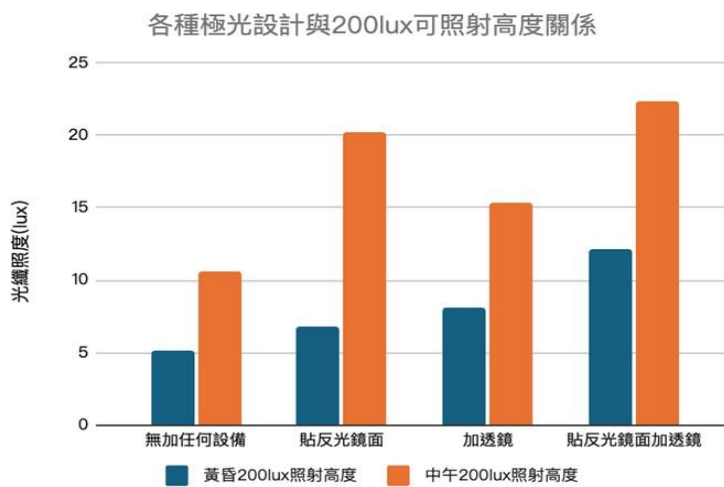


圖 4-11 各種集光設計與 200lux 可照射高度關係

(二) 實驗二

目的：將光纖進行不同程度的剝解，分析光的亮度分佈情形，並提出適用情境

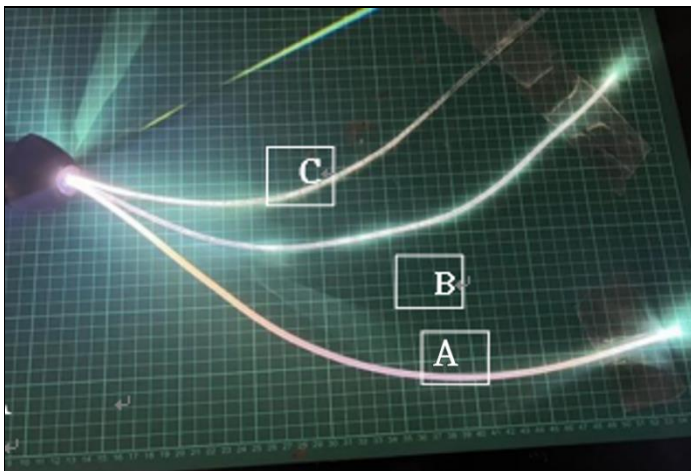


圖 4-12A、B 和 C 三種光纖的亮度比較(作者自行拍攝)

A、可以看出光纖因為只剝除黑色保護層而已，整體未遭受破壞，所以另一端出口亮度最大，利用情景與一般光纖無異，只是將光由某一端導到想要的場所，適合點光源的照明。



圖 4-13 光纖套入水蛇的應用(作者自行拍攝)

B、因為剝除了外芯，所以整條光纖看起來皆發出亮光，適合較大面積的長條照明，套入水蛇之中(具有亮片)可以作為氛圍燈使用，也可作為安全警示燈以作為提醒。

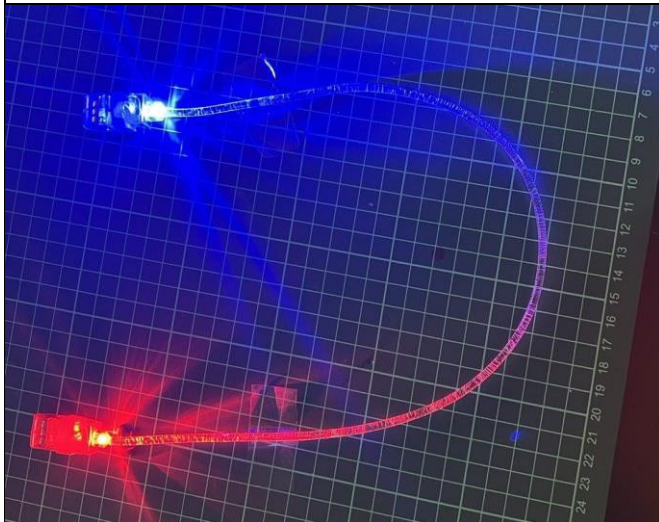


圖 4-13 光纖手環的應用(作者自行拍攝)

C 除了全部剝除之外，並在表面進行劃痕以破壞內芯表層，所以光纖的前端會發出強光，而因為光在前端就已損失完，所以後端不會發光，適合用於較短的條狀強光照明，可做成發光光纖手環，可自由替換顏色，重複使用，以代替螢光手環。

伍、討論

一、光纖規格

(一) 實驗二

1. 本實驗為驗證實驗，先由纖維折射率 1.48，再反推偏向角 154° ，確定本實驗所使用的材料是否如同我們所查到的資料所示。
2. 本實驗的雷射光有一定的寬度，加上纖維只有 3.5mm，所以在入射光纖的入射角並無法確認；經一次反射，兩次折射後的雷射光也變得很微弱，原本實驗設計紀錄為照射在屏幕的位置，如下圖所示，但因為亮度實在太弱，加上有寬度，所以改用眼睛直接觀測，用插針法決定折射光的位置（本實驗改良自清華大學補通物理實驗室，測量壓克力圓柱折射率）

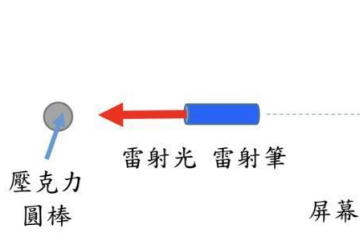


圖 5-1 彩虹最小偏折角測量法(取自網路圖片)

(二) 實驗三

1. 本實驗是使用甜度計糖度反推折射率的大小，因為折射率與甜度呈線性關係，但此法常用於溶液使用，所以本組在測量過程中，儘量將纖衣攤平服貼在稜鏡上，使其近似溶液。
2. 本實驗所用之光纖，因為為最基本的普通光纖，經查資料後，光纖包覆材料折射率大多為 1.46，本實驗測量結果為 1.469，結果尚可接受。

二、光纖性質

(一) 實驗一

1. 結果推測：根據文獻所提到，材料造成吸收損失，以及微觀彎曲損失，本組推測光纖長度越長時，此兩因素發生率增加，因而可能造成損耗值越來越大
2. 實驗結果：實驗後本組發現當光纖長度增加時，和文獻所提到，因材料吸收損失，以及微觀彎曲損失相符

(二) 實驗二

1. 結果推測：根據文獻所提，彎曲角度屬於巨觀彎曲，所以本組推測當彎曲角度越大時，損耗值也會變大。
2. 實驗結果：實驗後發現當彎曲角度增加時損耗值也增加，且在 180 度時損耗值急遽上升，推測因彎曲角度增加時，會使入射光較不易發生全反射(詳見九、巨觀彎曲損耗證明)，而轉到 180 度時損耗值突然急遽上升，推測因光纖達到極限角度(180 度)，造成光纖產生變形或裂紋，進一步增加損耗。

(三) 實驗三

1. 結果推測：根據文獻所提，彎曲次數屬於巨觀彎曲，所以本組推測當彎曲次數越多時，損耗值也會變大。

2. 實驗結果：實驗後發現彎曲次數 1 到 4 次時對於損耗值並沒有太大的影響，然而到了第 5 次卻大幅上升，可能因彎曲第五次為極限彎曲次數，會造成光纖產生變形或裂紋，進一步增加損耗。

(四)實驗四

1. 結果推測：據文獻所提，彎曲位置越靠近輸出口，其損耗值越少。
2. 實驗結果：實驗後，本組發現當彎曲位置越接近出光處時損耗值也隨減少，推測因靠近輸入端時，光的入射角度通常較大，更容易維持全反射，但當出現彎曲時角度變化會使更多光逸出，但接近出光口的光，因不同色光之折射率不同，入射角已調整多次，彎曲的耗損相對較少。

(五)實驗五

1. 結果推測：文獻中提到溫度變化導致損耗增加，其原因是因為光纖受到軸向壓縮力，產生彎曲，使損耗率上升。在小於零度時，溫度降低，其損耗率隨之增加。於是本組推測當在 0 度以上時，常溫的損耗值最小，當溫度上升或下降時損耗值都會較高。
2. 實驗結果：然而實驗後，本組發現當溫度上升時損耗值會略為下降。本組推測是因為當溫度上升時外芯會略為膨脹，而內芯(石英)不易膨脹，而膨脹後折射率會略微上升，進而使全反射更易進行。但是如果溫度上升或下降太多，光纖會彎折因此會使損耗值上升，或這是高溫與低溫會破壞石英的晶體結構也會使損耗值上升。

(六)實驗六

1. 結果推測：根據文獻所提，波長越長則損耗值越小，因此本組推測白光損耗值<紅光損耗值<綠光損耗值
2. 實驗結果：實驗後發現波長越長損耗值確實會越小，符合文獻所提

(七)實驗七

1. 結果推測：查閱文獻後，其提到旋轉半徑在纖芯直徑的 10 倍以下時，旋轉圈數越多則損耗值明顯升高，但在纖芯直徑的 10 倍以上(含)旋轉圈數對損耗值沒有明顯的影響，而旋轉半徑越大則損耗值越小
2. 實驗結果：實驗後發現旋轉半徑越大則損耗值越小，而在 3.5 公分(纖芯直徑的 10 倍)以下時，旋轉圈數越多則損耗值明顯升高，但在 3.5 公分以上

(含)旋轉圈數對損耗值沒有明顯的影響，推測因光纖在旋轉半徑在纖芯直徑的 10 倍以內會造成較大的宏觀損耗，光能會逸出

(八)實驗八

1. 結果推測：根據文獻，本組推測入射角度大於 $\theta_{\max}=10^\circ$ 後，損耗值會逐漸增加。
2. 實驗結果：測量後發現入射角度大於 $\theta_{\max}=10^\circ$ 後，入射角度越大耗損值變化更劇烈

(九)巨觀彎曲損耗證明

1. 彎曲角度越大，入射角越小($\theta_2 < \theta_1$)，而入射角小於臨界角時，更不易發生全反射，造成更多光損耗，可推斷彎曲角度越大，光損耗值可能越大
2. 此狀況會發生在彎曲角度、彎曲次數、旋轉半徑和旋轉次數中，這 4 種實驗也可用此方法證明光損耗值的變化

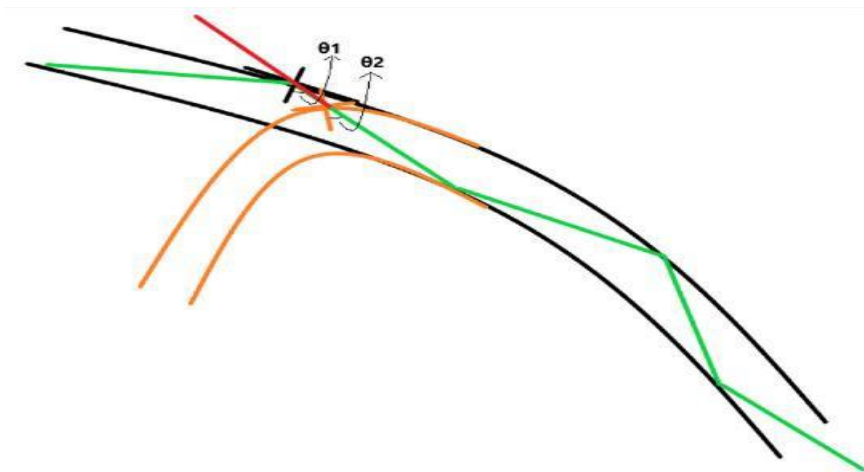


圖 5-2 巨觀彎曲損耗證明(作者自行繪製)

三、延伸應用

- (一) 沒有去除外芯的光纖，光線不易在光纖傳輸過程中散失，可利用於點光源的照明
- (二) 僅去除外芯的光纖，此種類的光纖可讓光線在光纖運輸的過程中較好的散出，也不會在還未運輸完成前就全部散失，所以此種光纖可用於安全警告標示的照明，可將主要光源透過光纖運輸到較為陰暗的角落、樓梯轉角，或者是門檻，以作為提醒的功能。而我們也將此種光纖套入水蛇中（具有亮片）可以將此光纖作為氛圍燈的使用

- (三) 去除外芯並劃有劃痕的光纖，此種光纖在光線運輸的過程中完全散失，因而無法將光線運輸到尾端，所以我們將此種光纖用來製作成發光手環，我們將光纖的兩端分別放上不同顏色的手指燈。此手環像螢光手環一樣，但光纖手環可以重複使用，也沒有對身體有害的化學藥物，以達到環境友善的目的
- (四) 在延伸應用二中，當在弱光（10kLux）下透鏡<反光鏡，而在強光(100kLux)下反光鏡<透鏡，推測是因為當在弱光下時透鏡聚焦光線的能力較反光鏡反射光的能力還強，雖然由於透鏡焦距無法讓所有光纖都有光線射入，但在弱光下反光鏡作用較不佳，因此透鏡的效果更好。而在強光下反光鏡能幾乎反射所有光線，而透鏡在焦距限制下反而無法使光線射入每條光纖中，因此反而反光鏡的效果比較好
- (五) 照射高度方面，當在強光照射下其照射高度相較於弱光照射高度高，而有加透鏡和反光鏡的裝置也較沒有加任何東西的照射高度高，而照射高度越高則照射範圍也越廣，而中午較黃昏的照射範圍比約為 3~4 左右，而有加透鏡和反光鏡的裝置較沒有加任何東西的照射範圍比約為 4~5 左右。

陸、結論

- 一、光纖長度增加時，因材料吸收損失，以及微觀彎曲損失，使損耗值也隨長度增加
- 二、彎曲角度增加時因巨觀彎曲損失，使損耗值增加；而轉到 180 度時因達到光纖極限角度，損耗值更大
- 三、彎曲 1 至 4 次時損耗值沒有明顯變動，而到了 5 次時損耗值大幅上升，可能因第五次為極限彎曲次數，導致光纖損耗值更大。
- 四、在距離輸入口越遠的地方彎曲時，因人射角度及全反射等問題，使損耗值增加
- 五、當環境溫度升高時，損耗值也降低，但是降低較不明顯
- 六、當波長越長時，損耗值也越低，所以白光損耗值<紅光損耗值<綠光損耗值
- 七、旋轉半徑越大則損耗值越小，而在 3.5 公分(纖芯直徑的 10 倍)以下時，旋轉圈數越多則損耗值明顯升高，但在 3.5 公分以上(含)旋轉圈數對損耗值沒有明顯的影響，推測因光纖在旋轉半徑在纖芯直徑的 10 倍以內會造成較大的巨觀彎曲損耗，光能逸出
- 八、入射角度小於 $\theta_{max}=10^\circ$ 時，損耗值無特別改變，而入射角度大於 $\theta_{max}=10^\circ$ 後，損耗值會明顯隨角度增加而增加

- 九、無去除外芯光纖適合點光源照射；去除外芯光纖適合安全照明；去除外芯且帶劃痕光纖適合條狀強光照明。
- 十、在弱光（10kLux）下，損耗值：透鏡+反光鏡 < 透鏡 < 反光鏡 < 無裝置；在強光（100kLux）下，損耗值：透鏡+反光鏡 < 反光鏡 < 透鏡 < 無裝置。透鏡+反光鏡的亮度最大，照射範圍最廣，相較於無任何裝置照明範圍比約擴大了 4-5 倍。本組認為透鏡+反光鏡最適合用於小範圍的閱讀照明。

柒、參考資料

- 一、維基百科，光導纖維。取自 <https://ssur.cc/88XtWG3D>
- 二、《光學學報》，1997 年 12 月，第 12 期
<https://www.researching.cn/ArticlePdf/m00006/1997/17/12/GXXB-1997-17-12-1713.pdf>
- 三、波長對光纖損耗率的影響，參考資料取自
<https://community.fs.com/hk/article/Relationship-between-optical-module-wavelength-and-transmission-distance..html>
- 四、什麼是光纖彎曲損耗，參考資料取自
<https://m.oel.com/article/7055006731690921984.html>
- 五、光纖線規格，慧光展業，取自 [technique content.php?id=39](http://www.fuji.com.tw/posts/1831)
- 六、最小照明亮度，參考資料取自 <http://www.fuji.com.tw/posts/1831>
- 七、彎曲半徑和最小彎曲半徑，參考資料取自
<https://www.igus.com.tw/info/unharnessed-cables-bendradius>
- 八、光纖的彎曲半徑應大於外徑的 10 倍，參考資料取自
<https://fiber.m.ofweek.com/2021-01/ART-11000-2100-30483665.html>
- 九、光纖數值孔徑和折射率的關係，參考資料取自
<https://www.newton.com.tw/wiki/%E5%85%89%E7%BA%96%E6%95%B8%E5%80%BC%E5%AD%94%E5%BE%91>
- 十、引「陽」入室~將陽光導入室內之研究
周宥妍，施喻雯，陳諭儀，(2019)，引「陽」入室~將陽光導入室內之研究，中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書

十一、蓬『管』生輝－綠能導光管之應用研究

竇方遠，劉承翰，關愛，曾靖中，(2015)，蓬「管」生輝－綠能導光管之應用研究，中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書

十二、轉角遇到光

薄詠心，黃秀婷，陳修儀，(2010)，轉角遇到光，中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書

十三、導光材質的研究及其在生活當中的創意設計和應用

洪靖婷，莊楚雯，林高生，楊皓晴，游承儒，何宇培，(2005)，導光材質的研究及其在生活當中的創意設計和應用，中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書

【評語】 030109

本作品探討光纖導光性質及照明應用，研究上設計各項物理變因（長度，彎曲角度，彎曲次數，位置，環境溫度，色光及入射角度等），進行系統化實驗，將得到實驗數據討論，但如果可以結合其前述物理理論進行討論，可以讓內容更加豐富。有將測得的數據進行圖或表的整理，可以一眼比較出不同參數下的差異性，如果可以將圖表的相關物理量標示得更清楚，數據呈現會更佳。作品中加入延伸應用的內容，作者們討論集光設計的實驗項目引入環境光源的導光，並建議一些受損狀況下的應用情境，是一個相當應用性的作品。也許可以再提出更多創意的點子來突出作品中的科學創意。

作品簡報

光「纖」亮麗-

探討光纖導光性質及照明應用

摘要

本研究主要探討光纖之性質及其生活應用。本組首先測量所使用的光纖規格，接著改變不同變因，並以測量出的損耗值來推斷光如何在光纖中傳輸。研究發現光纖越長，因吸收及微彎損耗，損耗值越大，而光纖彎曲角度越大、半徑越小、次數越多皆會因巨觀彎曲而造成更多光損耗；波長越大則損耗值越大；入射角度大於最大可接受角 10° 後，損耗值隨入射角度增加而增加。本組也將光纖用於製作一些照明裝置。一、用集光裝置來聚集光線，並用光纖將陽光導進室內來達到最小閱讀照明亮度的照明系統，二、只使用纖芯以用來製作安全照明裝置和條狀強光照明。

壹、前言

一、研究動機

最近在網路上看到在醫學上有許多貢獻的內視鏡、和我們常在用的網路，甚至綠建築裡的「電燈」都有光纖的身影！這讓本組對它有了極大的興趣，上網查詢文獻及資料，發現光纖有很多方面的應用值得研究，高錕教授便因長期研究光纖，在光纖傳輸訊號領域有突破性成就，而於2009年獲得了諾貝爾物理學獎。本組決定探討光纖的性質及它的延伸運用。著手準備前，本組再查閱了一次文獻，發現之前有許多人做過有關光纖及其照明的實驗，但他們皆是透過太陽光並使用耗材較大的工具以達到大面積的照射，若我們可以將太陽光換成人工光源(手電筒、燈泡)，並使用較少材料讓照明裝置照射小面積，便可達到檯燈的作用，還可照射至一般電燈無法照到的小角落，使整個空間沒有照射死角，達到美觀及安全的功效。

二、研究目的

(一) 規格

1. 寬度: 纖核、纖衣、保護層
2. 折射率: 纖核、纖衣

(三) 延伸應用

1. 將光纖進行不同程度的剝解，分析光的分佈情形，並提出適用情境
2. 做出可傳輸光，並達到局部照明的裝置
3. 不同折射率的纖衣對光在光纖中傳輸的影響

(二) 性質探討

1. 不同長度的光纖對光在光纖中傳輸的影響
2. 光纖上不同彎曲角度對光在光纖中傳輸的影響
3. 光纖上不同彎曲次數對光在光纖中傳輸的影響
4. 光纖上不同旋轉半徑、旋轉次數對光在光纖中傳輸的影響
5. 不同色光對光在光纖中傳輸的影響
6. 不同入射角度對光在光纖中傳輸的影響

貳、研究設備

一、光纖性質實驗裝置：光纖(1)、手電筒(2)、自製光罩(3)、珠針(4)切割墊(5)、白紙+厚紙板(6)、測光器(7)、測光器接收裝置(8)、膠帶(9)

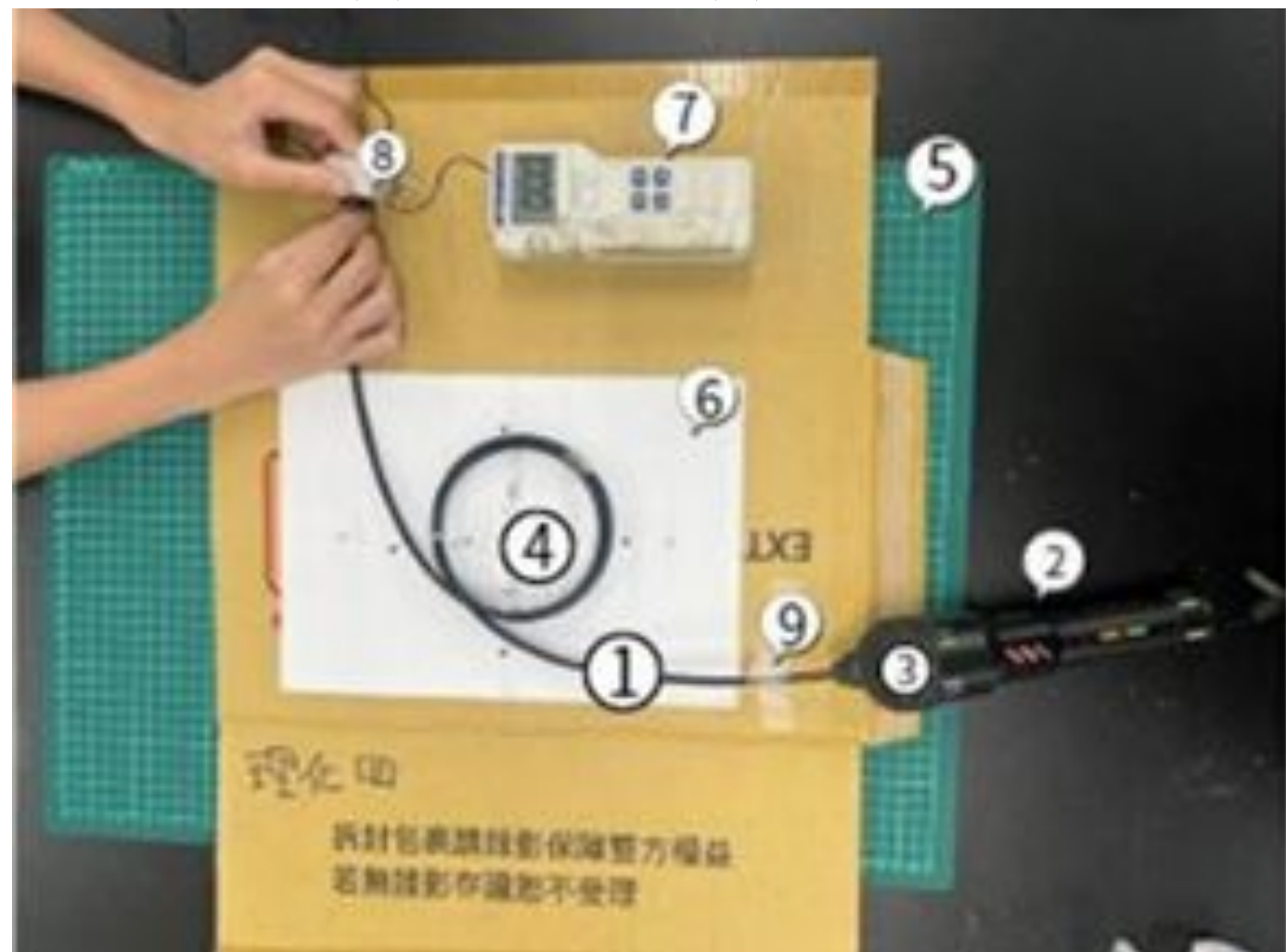


圖2-1 測量光纖性質之實驗裝置(作者自行拍攝)

二、光纖照明實驗裝置：光纖(1)、手電筒(2)、三角錐+反光貼+透鏡(3)、測光器(4)、實驗支架(5)、膠帶(6)、廣用夾(7)

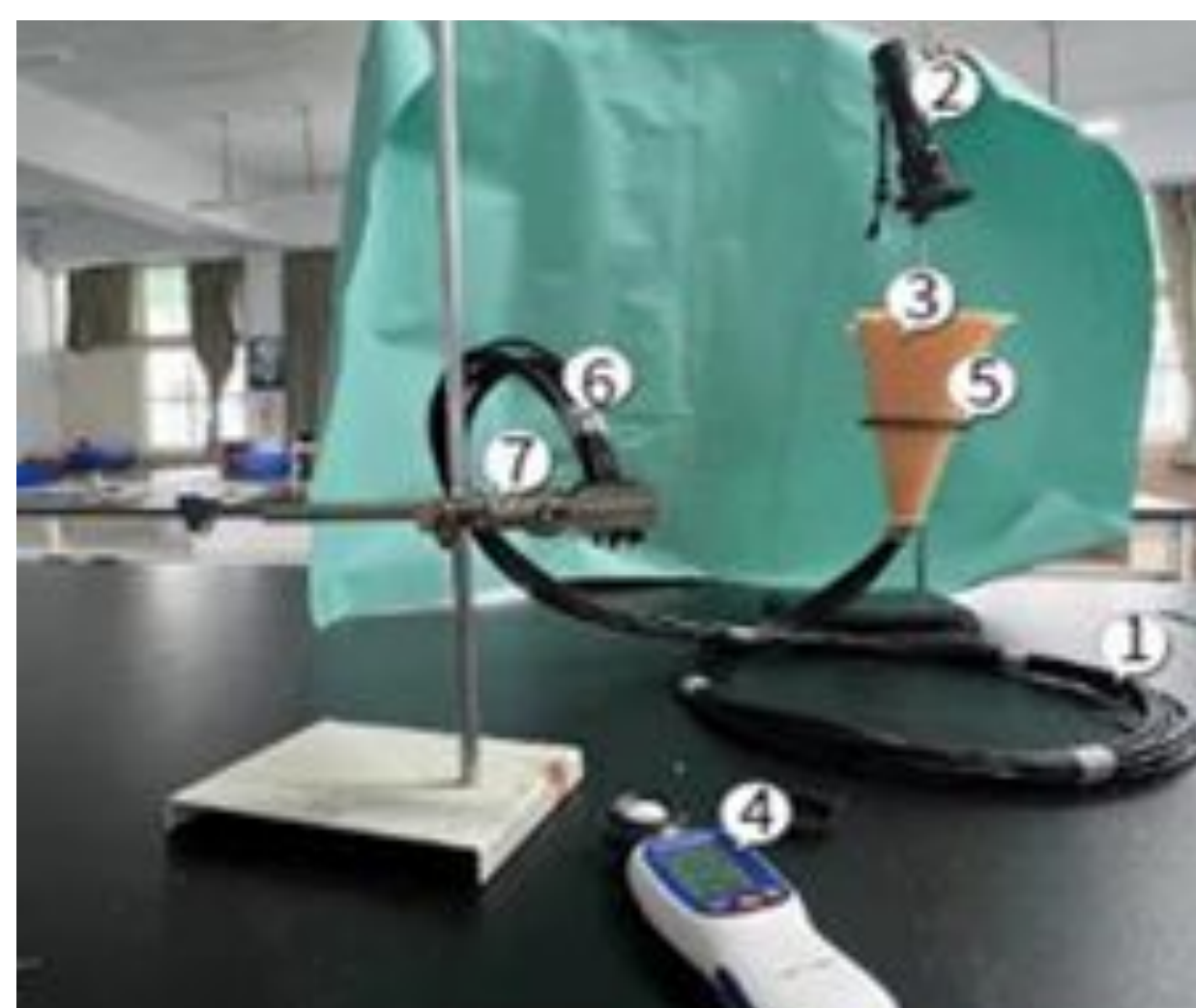


圖2-2 延伸應用之實驗裝置圖(作者自行拍攝)

參、研究過程或方法

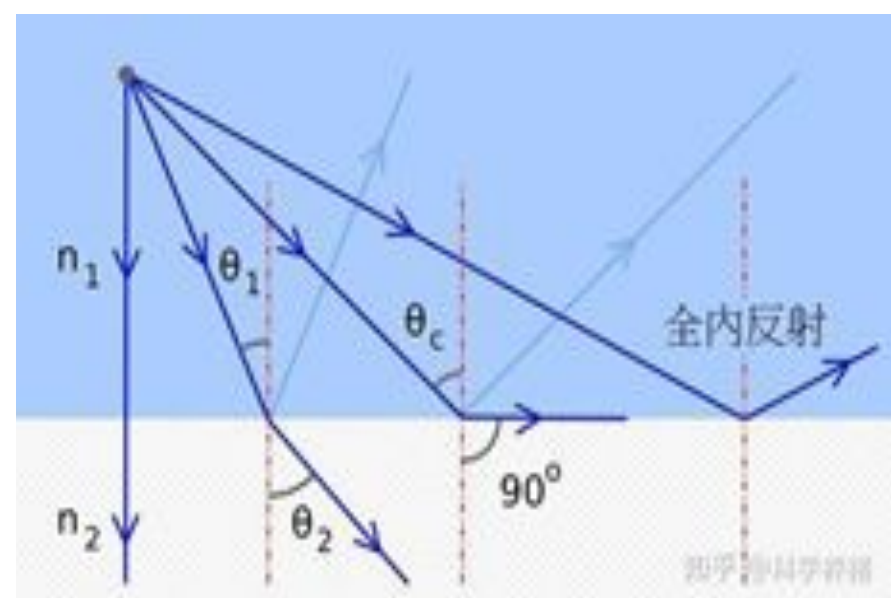
一、光纖傳輸原理

光在光纖中以全內反射原理傳輸，而其發生條件為：

1. 光由折射率高的介質(光密介質)進入折射率低的介質(光疏介質)
2. 入射角大於臨界角。纖芯即是折射率高的介質，而纖衣為折射率低的介質

3. 臨界角計算公式：

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.47}{1.48}$$
$$\theta_c \approx 80^\circ$$



二、光纖傳輸損失

光纖損失通常以對數單位分貝(dB)來表示,公式如下：

$$\text{LossdB} = 10 \times \log(P_{\text{in}}/P_{\text{out}})$$

光纖能量損失的原因如下：

(一) 材料吸收損失：

在光傳輸的過程中，能量會被無可避免地吸收一部分

(二) 散射損失：

光纖因結構或分子排列不均勻，發生散射效應，使光能量損失

(三) 彎曲損失

1. 巨觀彎曲

彎曲角度越大，入射角越小，而入射角小於臨界角時，更不易發生全反射，造成更多光損耗

2. 微觀彎曲

為隨機出現在光纖中的小彎曲，其損耗原因和巨觀彎曲損耗一致

三、光纖數值孔徑

有效接收或發射光的的角度範圍，公式：

$$\text{光纖數值孔徑 } NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \text{ 而 } \sin \theta_{\text{max}} = NA$$

本次使用的光纖參數， $n_1 = 1.48$ ， $n_2 = 1.47$ ， $\sin \theta_{\text{max}} = NA = 0.1717$ ， $\theta_{\text{max}} = 10^\circ$

四、研究步驟

(一) 光纖規格

1. 測量光纖纖核(core)直徑、纖衣(cladding)、保護(buffer)厚度

實驗方法: 使用螺旋測微器測量

2. 測量纖核折射率

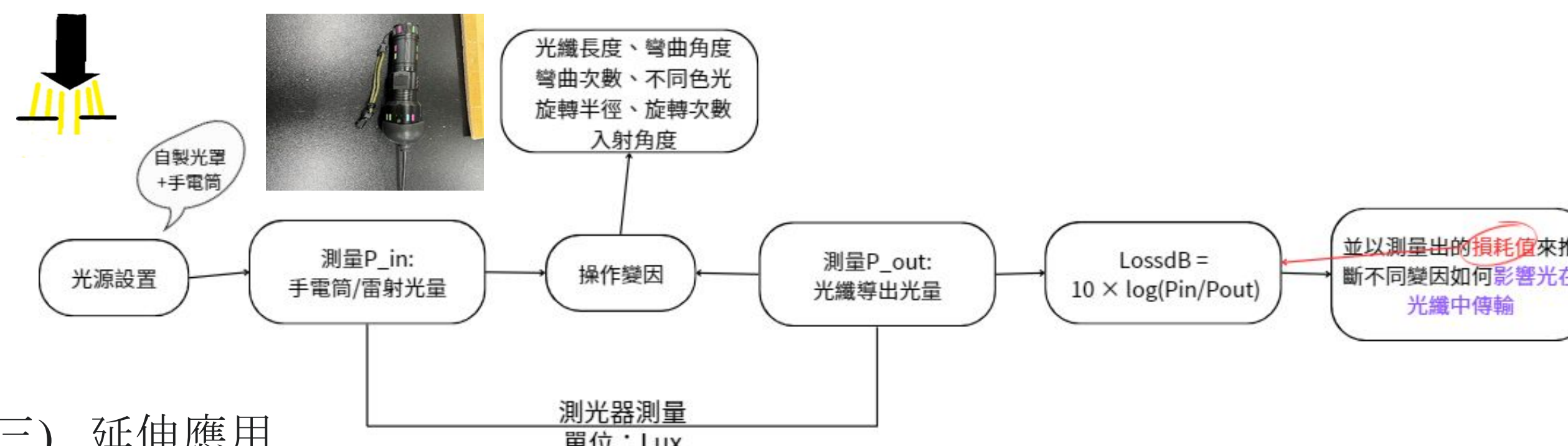
實驗方法: 彩虹最小偏折角測量法

3. 測量纖衣折射率

實驗方法: 利用糖度計測量

將纖衣服貼在糖度計上測量，得到糖度值後再將其轉換成折射率

(二) 光纖性質測試



(三) 延伸應用

1. 將光纖進行不同程度的剝解，分析光的亮度分佈情形並提出適用情境

實驗方法: 取三段光纖，分別進行: 1. 只剝下外層保護膜、2. 剝下外層保護膜及纖衣、3. 保護膜及纖衣全部剝除並在纖核表層進行劃痕。以光照射後進行分析。

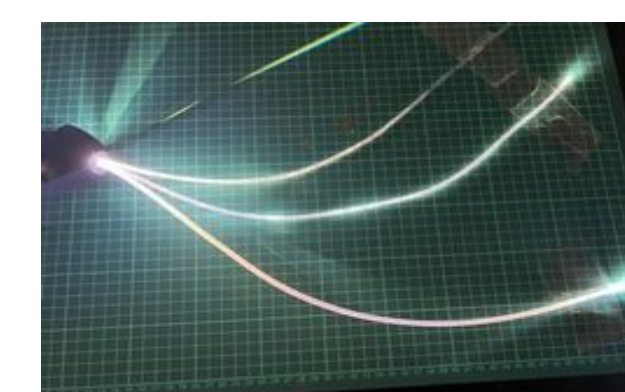


圖3-7 實驗一裝置圖(作者自行拍攝)

2. 將光源透過集光設備及光纖導光進到室內，達到局部照明

實驗方法: 先測量距中心距離及垂直高度對照度的影響，再利用手電筒模擬陽光最弱(黃昏10klux)及最強(中午100klux)時入射集光裝置中，並透過光纖將光導入測光器測量光的照度。再製作一個能使光聚集及散開之裝置。



圖3-8 實驗二裝置圖(作者自行拍攝)

3. 不同折射率的纖衣對光損耗的影響

實驗方法: 將纖芯分別放入不同折射率的溶液中，以溶液取代纖衣，並以光入射後，觀察其損耗現象。

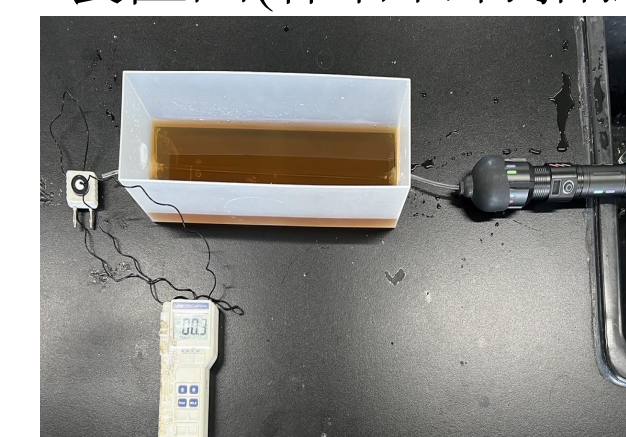


圖3-9 實驗三裝置圖(作者自行拍攝)

肆、研究結果

1. 光纖規格

(一) 實驗一

目的: 測量光纖**纖核(core)**直徑、**纖衣(cladding)**、**保護層(buffer)**厚度

實驗結果:

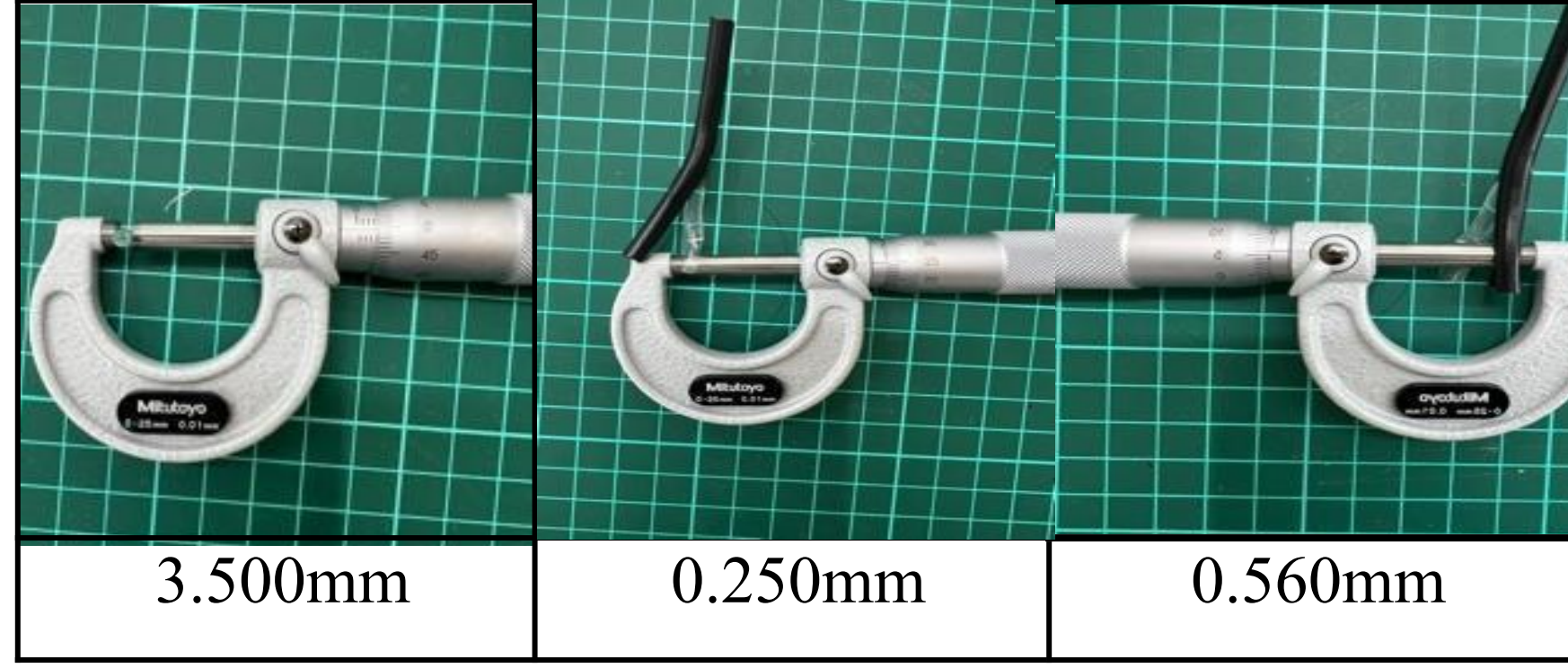
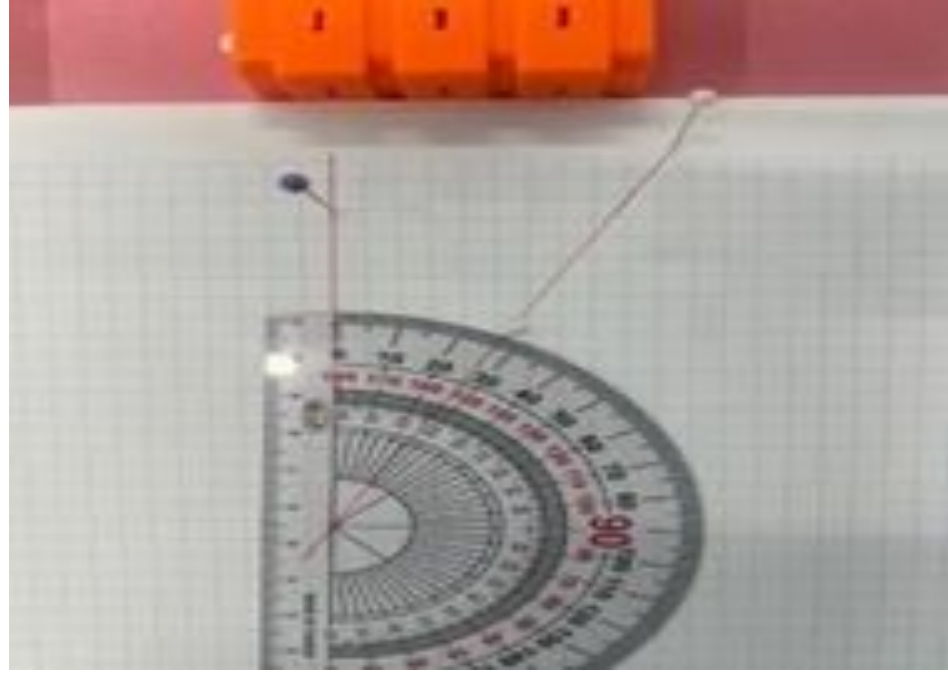


圖4-1螺旋測微器(作者自行拍攝)

(二) 實驗二

I. 目的: 測量**纖核(內芯core)**折射率

實驗結果:

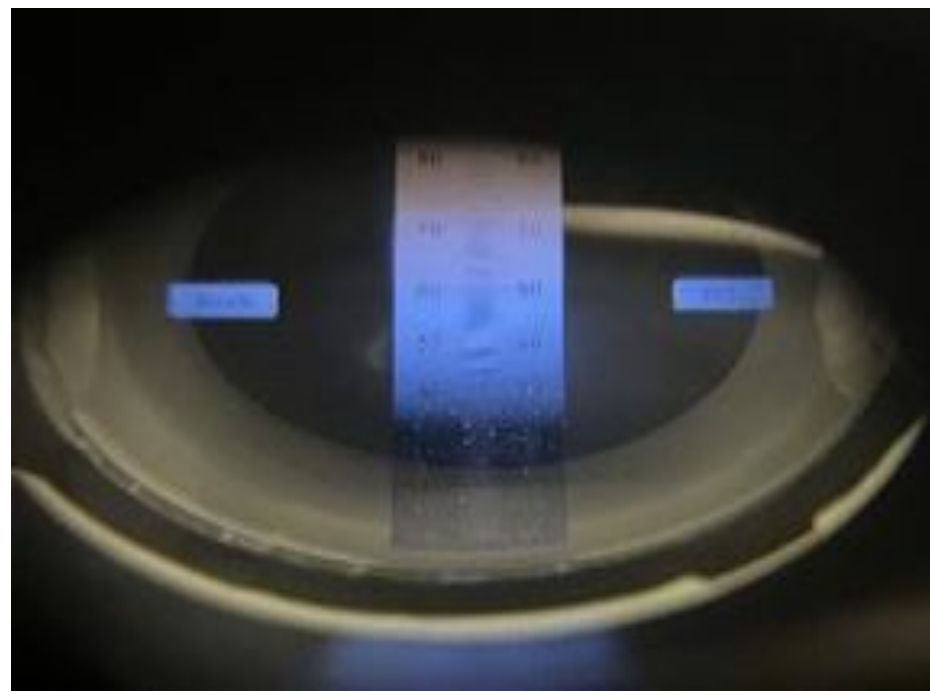


小結: 平均值為26.4°, 最小偏向角為 153.6°, 符合預測, 故本次

實驗之纖核的折射率為 1.48 無誤

II. 目的: 測量**纖衣(外芯 cladding)**折射率

實驗數據:

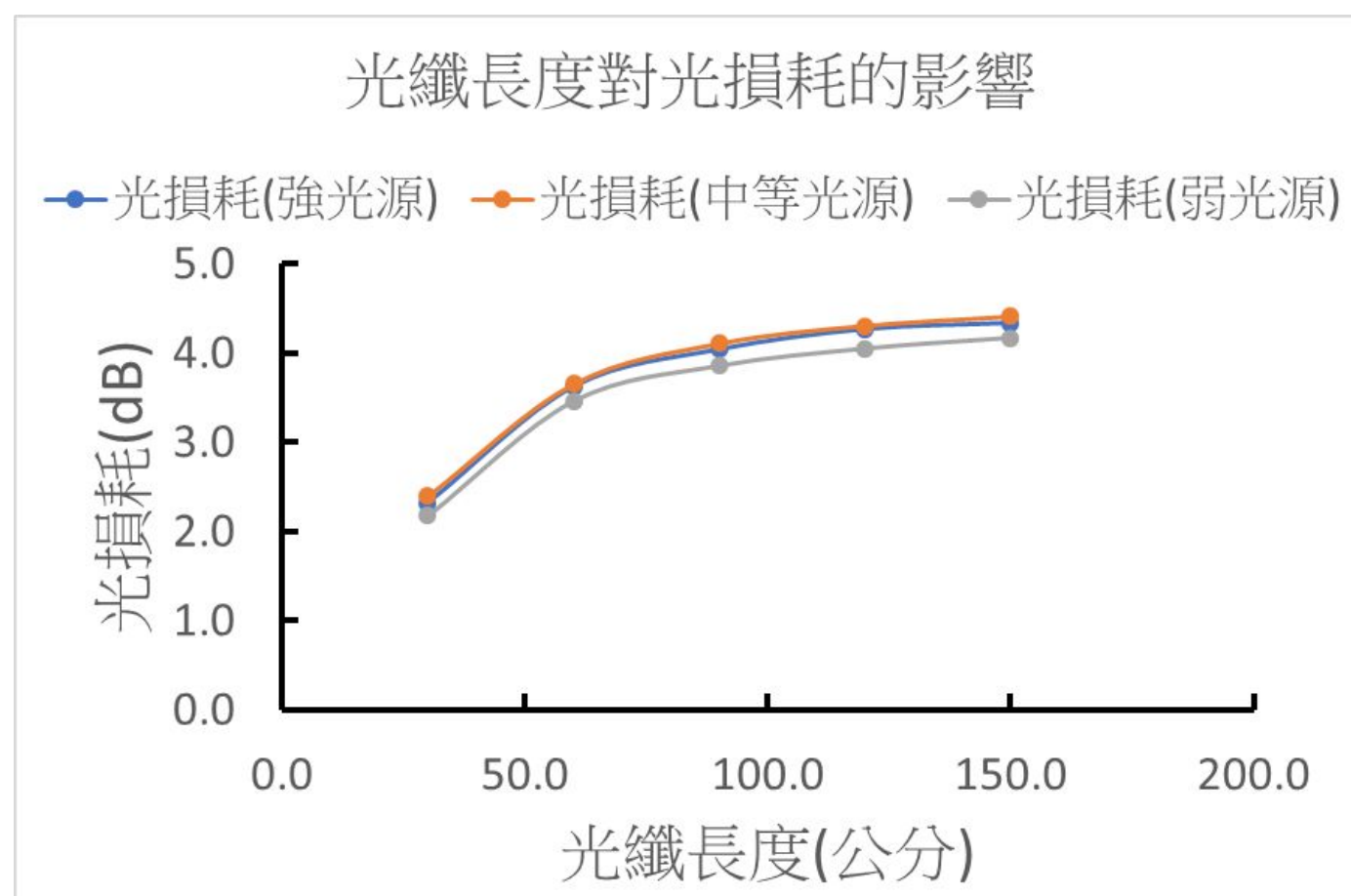


小結: 平均值為 1.469 ÷ 1.47

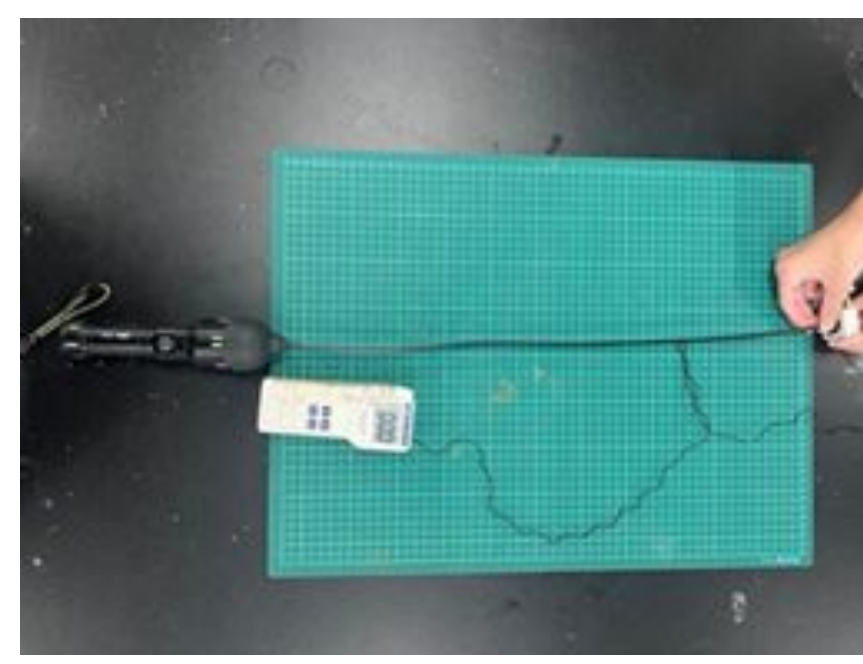
2. 光纖性質探討

(一) 實驗一

目的: **不同長度**的光纖對光在光纖中傳輸的影響

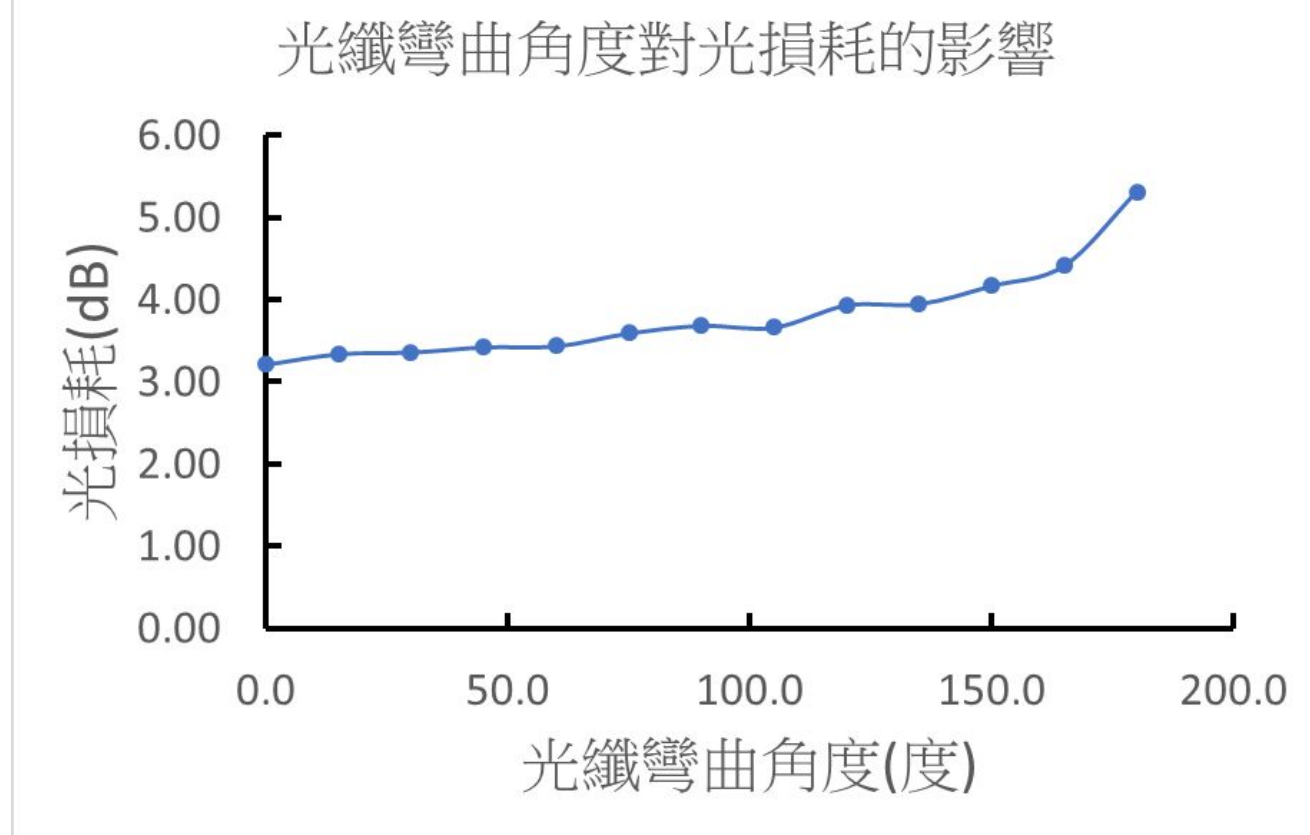


小結: 光纖長度越長, 損耗值越大

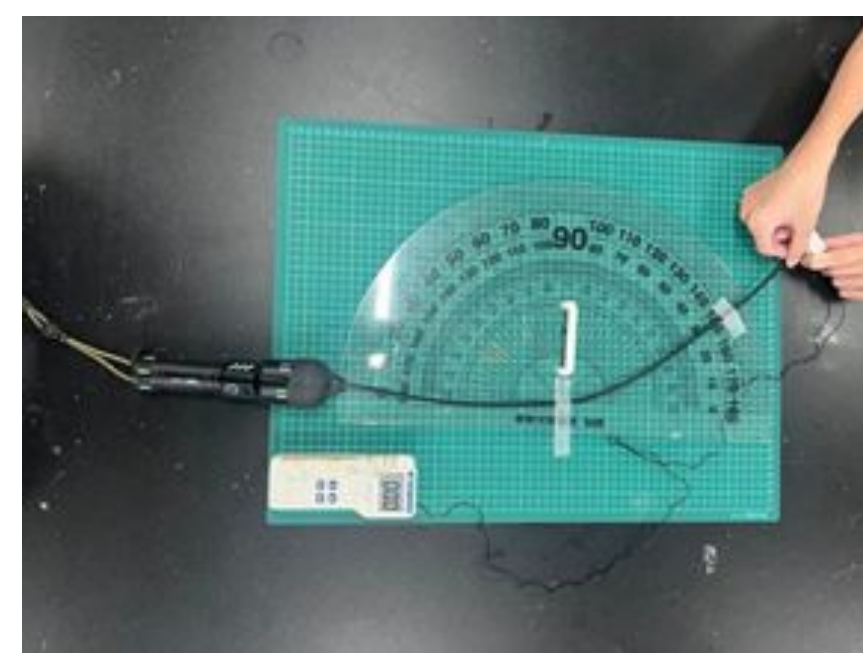


(二) 實驗二

目的: 光纖上**不同彎曲角度**對光在光纖中傳輸的影響

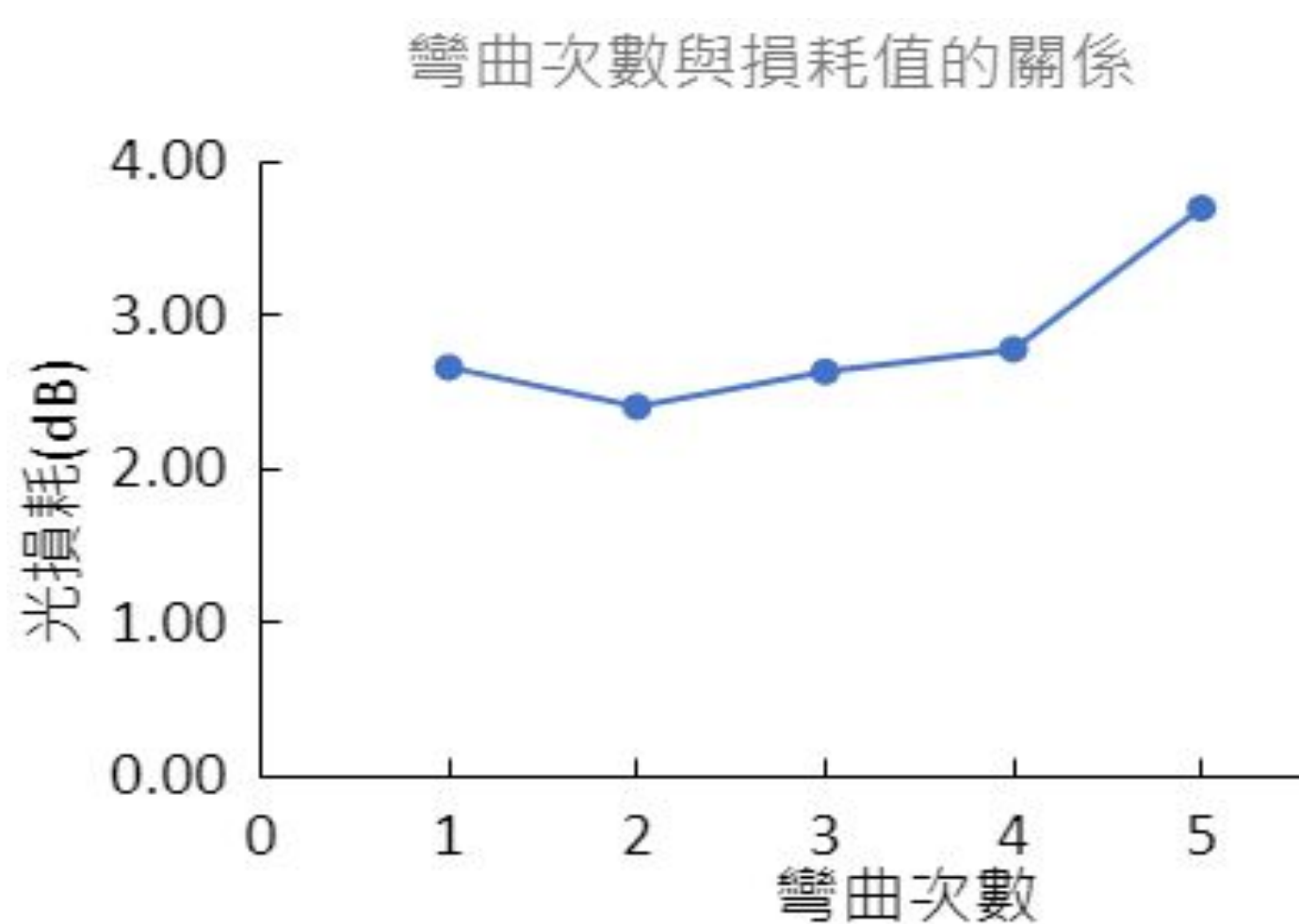


小結: 彎曲角度越大, 損耗值越大



(三) 實驗三

目的: **不同彎曲次數**對光在光纖中傳輸的影響

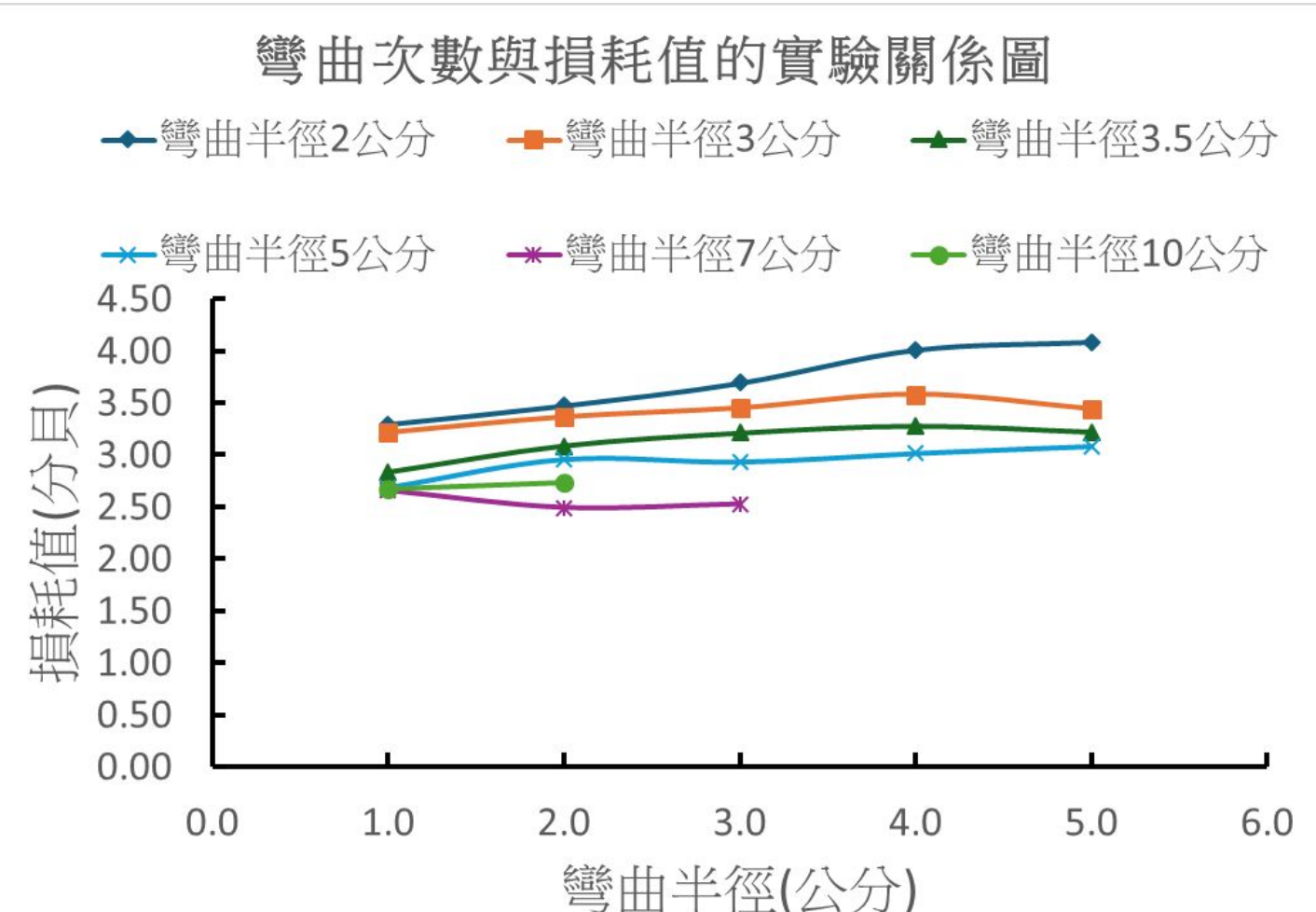


小結: 光纖彎曲次數越多, 損耗值越大



(四) 實驗四

目的: **不同旋轉半徑、旋轉次數**對光在光纖中傳輸的影響



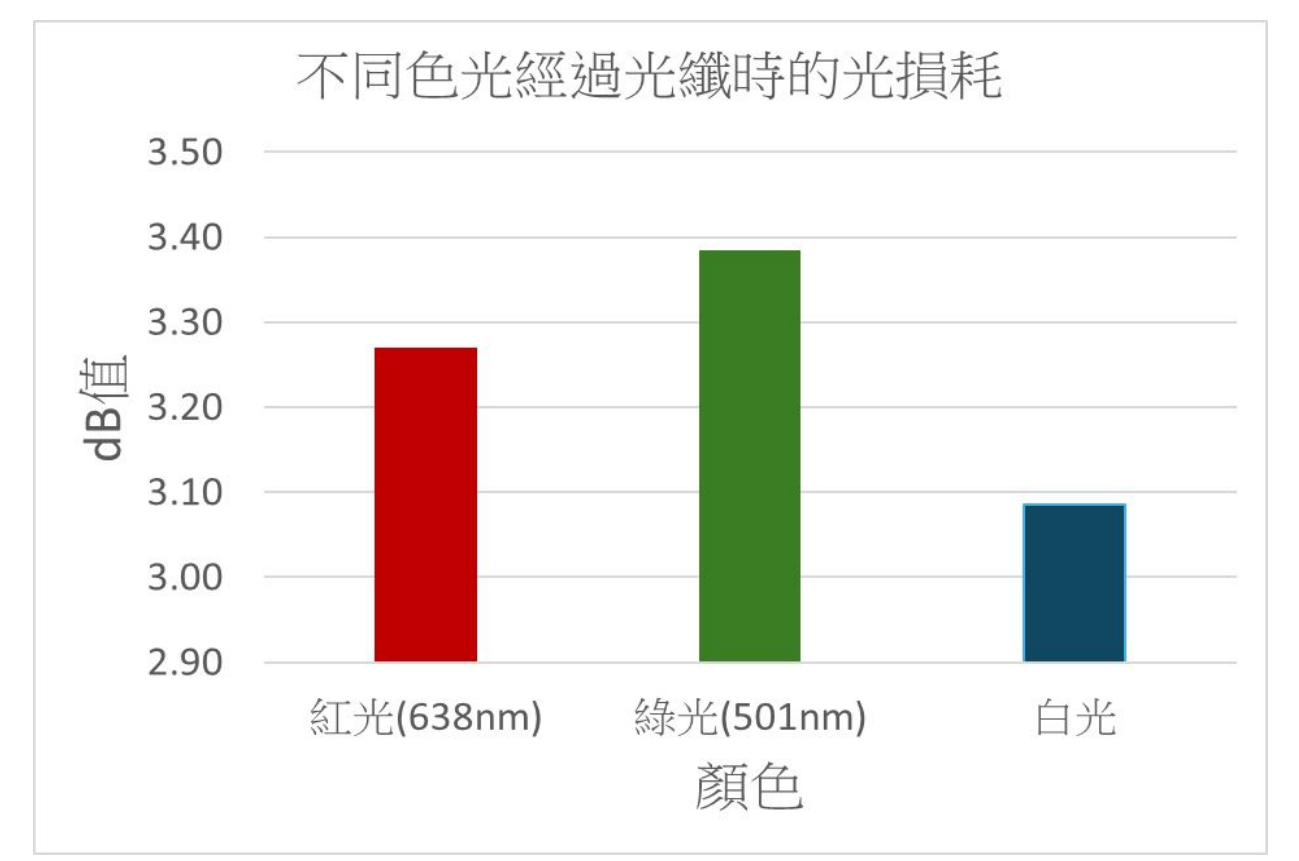
小結: 旋轉半徑越大則損耗值越小, 而在半徑3.50公分以下時, 旋轉圈數越多則損耗值明顯升高, 但在半徑3.50公分以上(含)旋轉圈數對損耗值沒有明顯的影響



(五) 實驗五

目的: **不同色光**對光在光纖中傳輸的影響

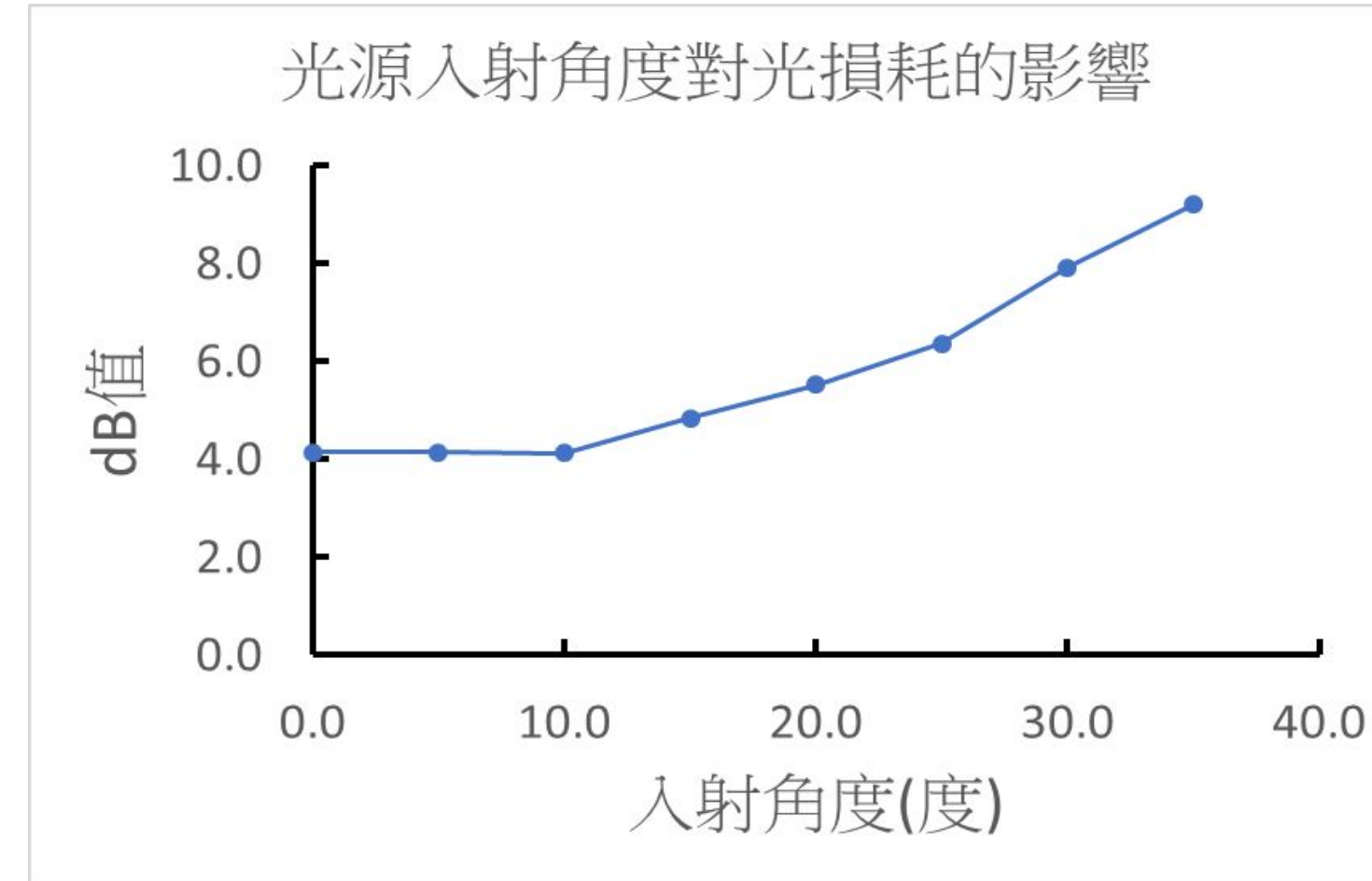
不同色光	光損耗
紅光(638nm)	3.27
綠光(532nm)	3.38
白光	3.09



小結: 當**波長越短**時, 損耗值也越大

(六) 實驗六

目的: **不同入射角度**對光在光纖中傳輸的影響



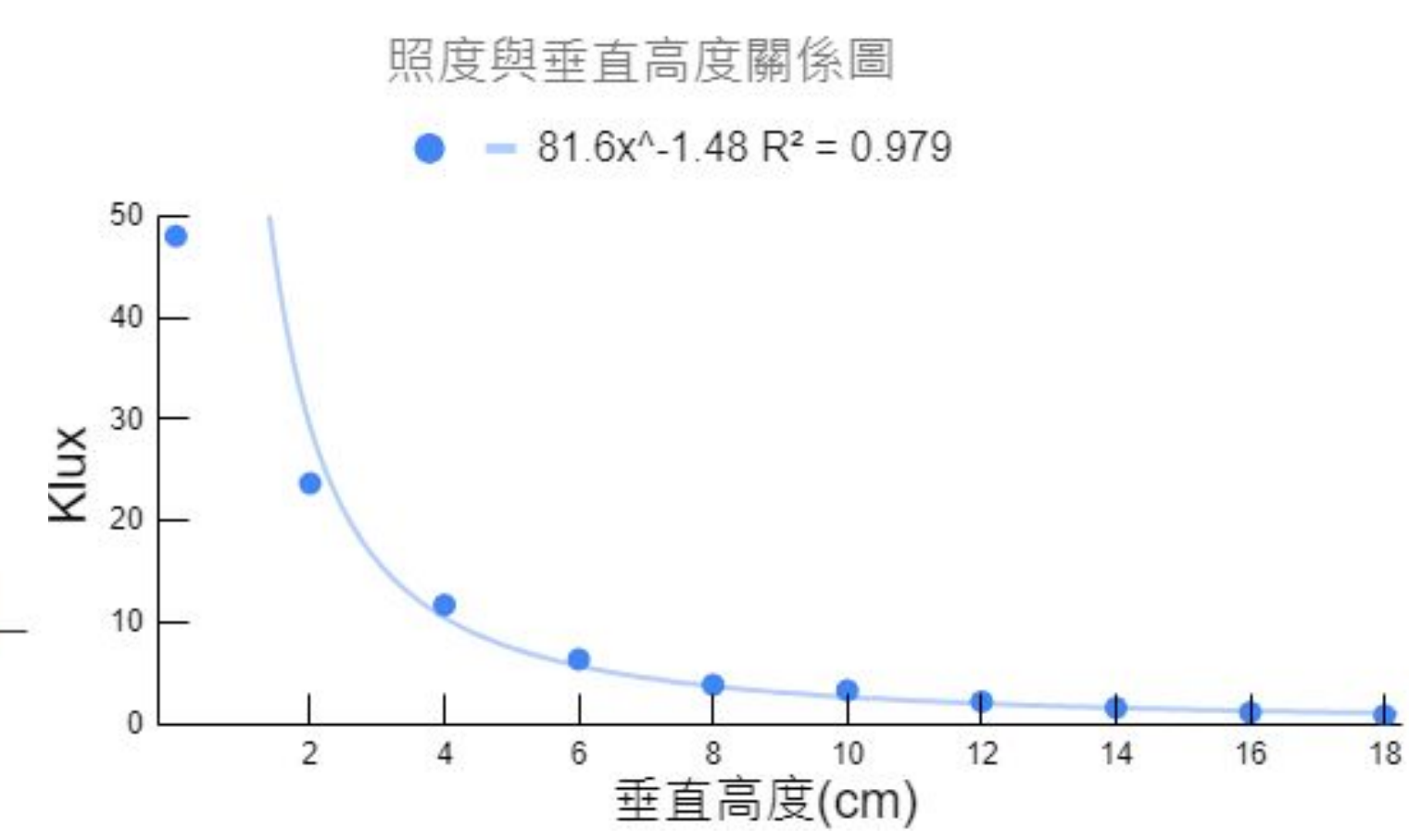
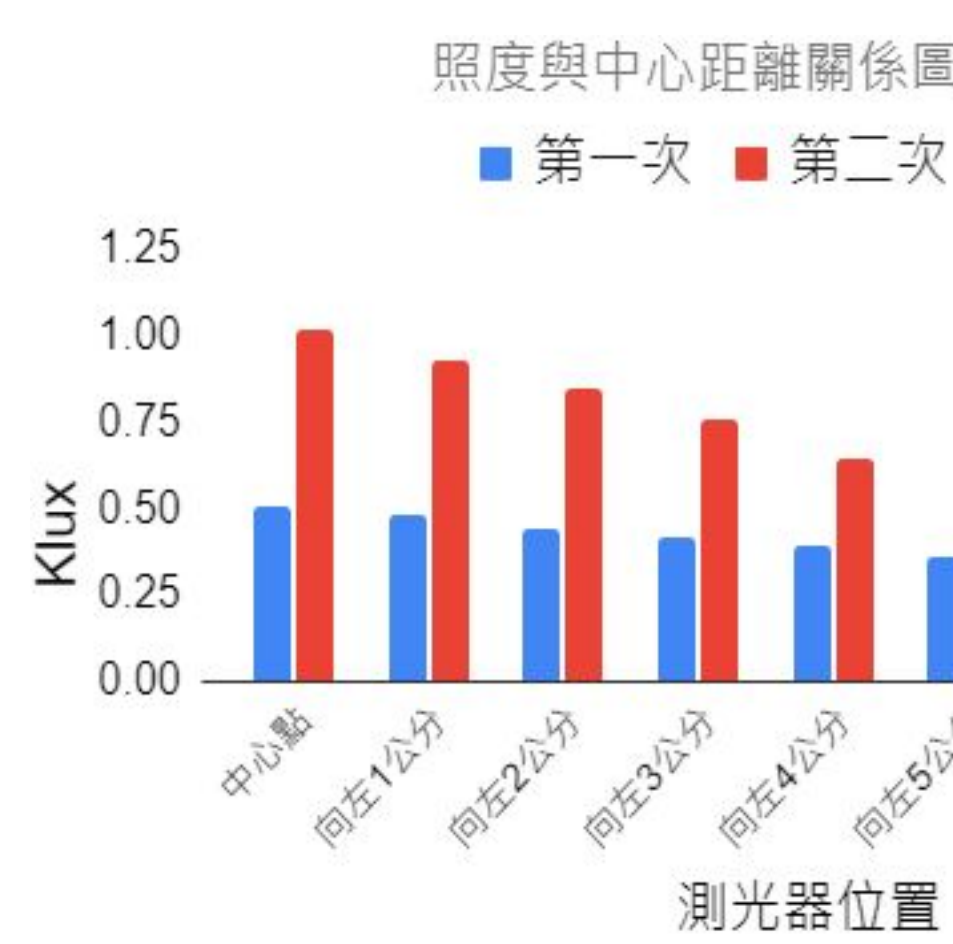
小結: 入射角度**小於10°**時, 損耗值**無特別改變**, 而入射角度**大於10°**後, 損耗值會**明顯隨入射角度增加而增加**



3. 延伸應用

(一) 將光源透過**集光設備**及**光纖導光**進到室內, 達到**局部照明**

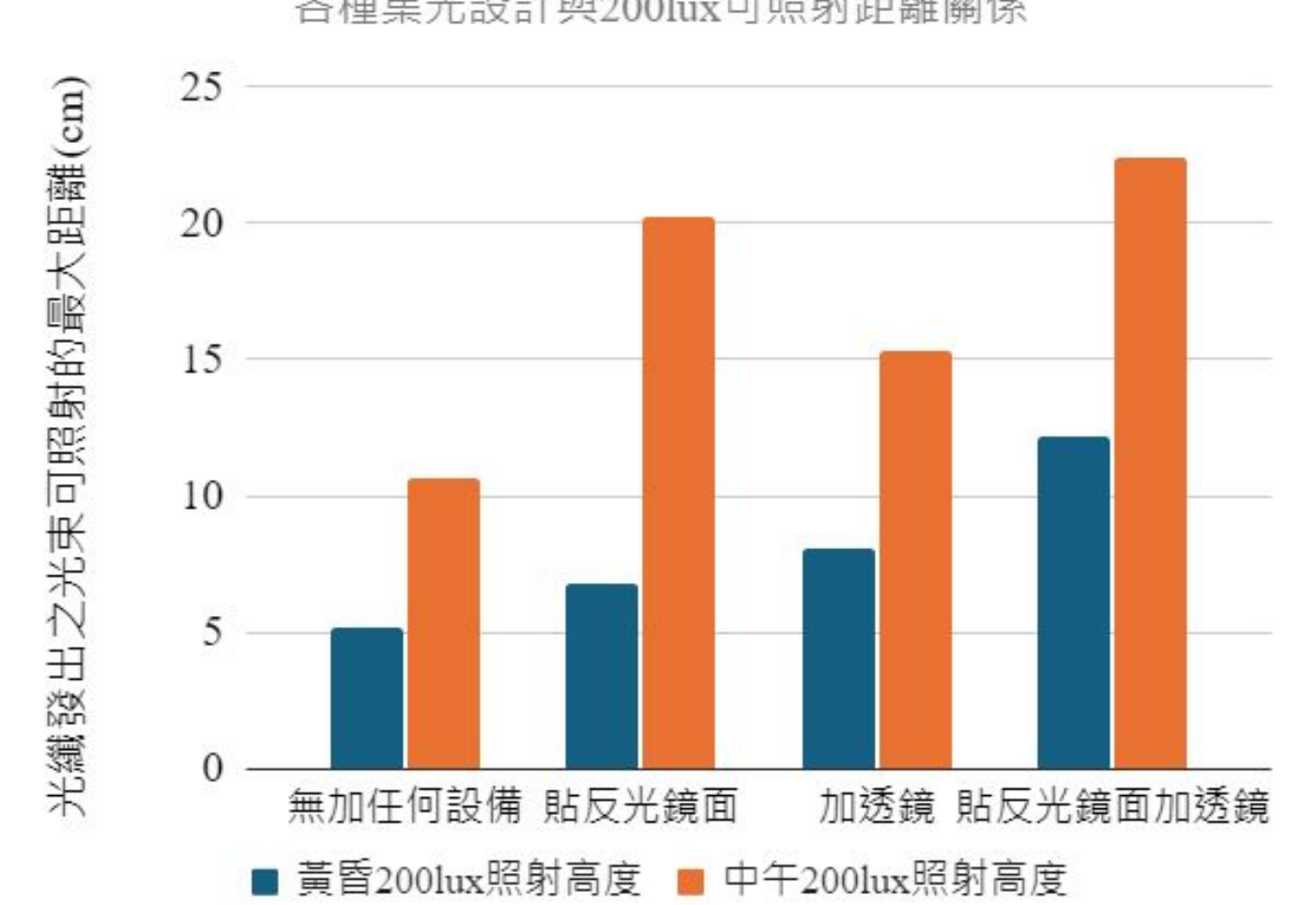
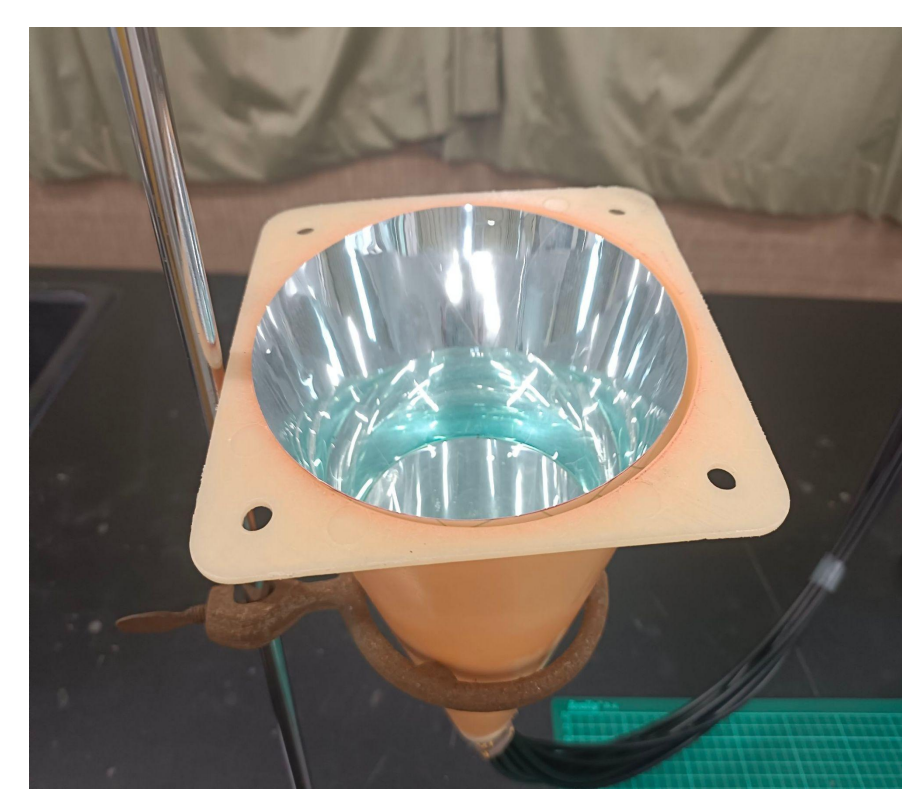
1. 距中心距離及垂直高度對照度的影響



小結: 證明自製檯燈的光源類似**點光源**

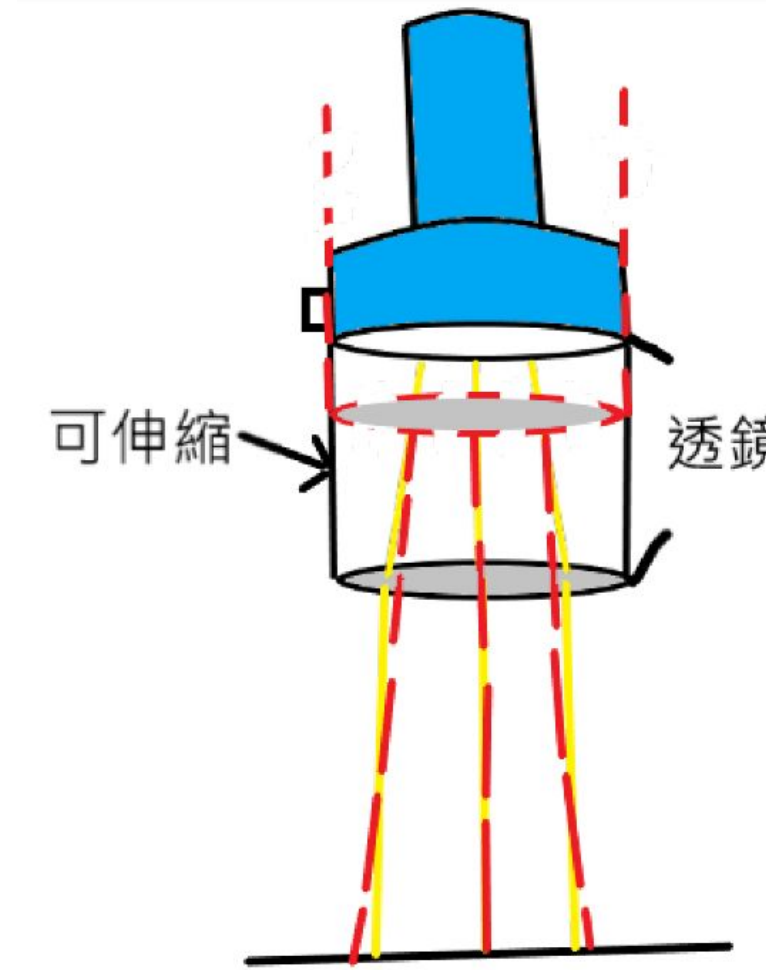
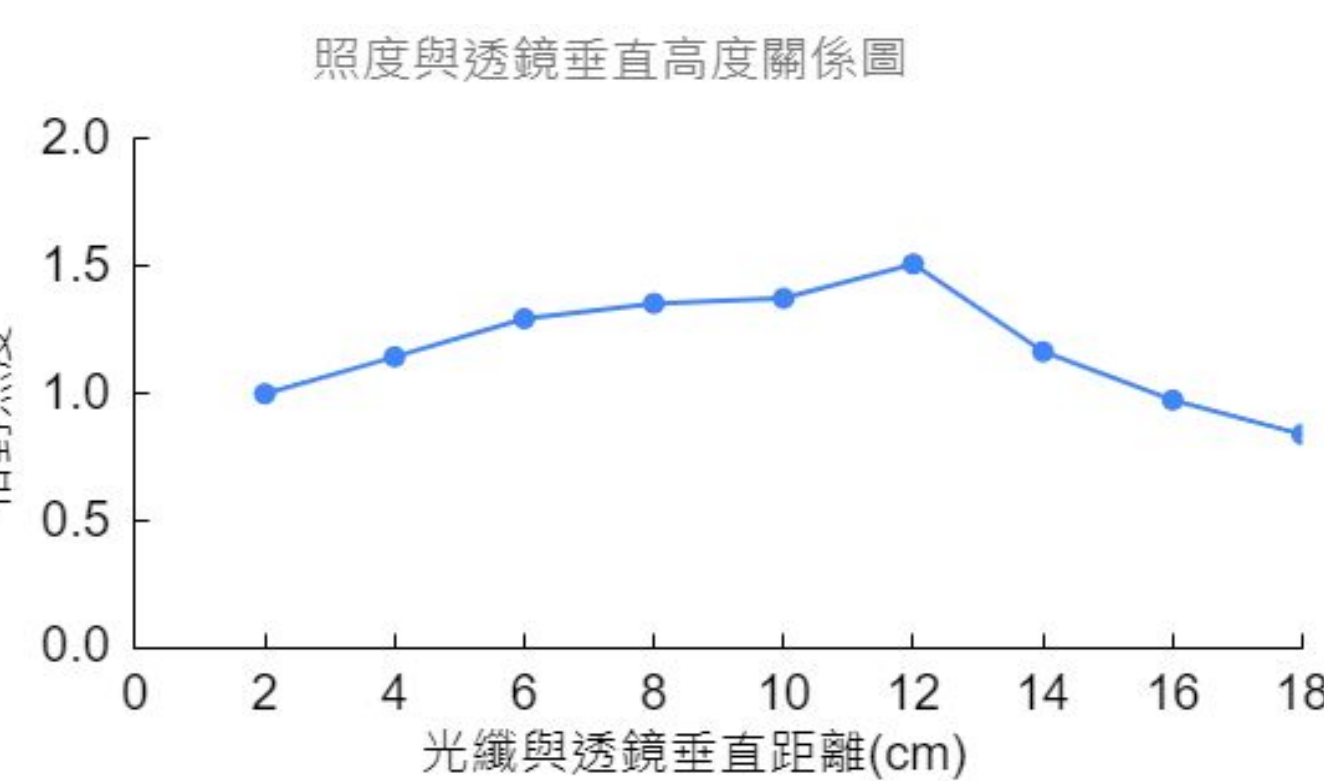
小結: 照度和垂直高度的**1.5次方成反比**

2. 不同集光設計與照度關係



小結: **圓錐桶中貼反光鏡面並放置凸透鏡的裝置亮度最亮, 可照射範圍也最廣。**

3. 光源與透鏡距離的照度關係



小結: **光纖與透鏡距離與透鏡焦距接近時照度會較大**

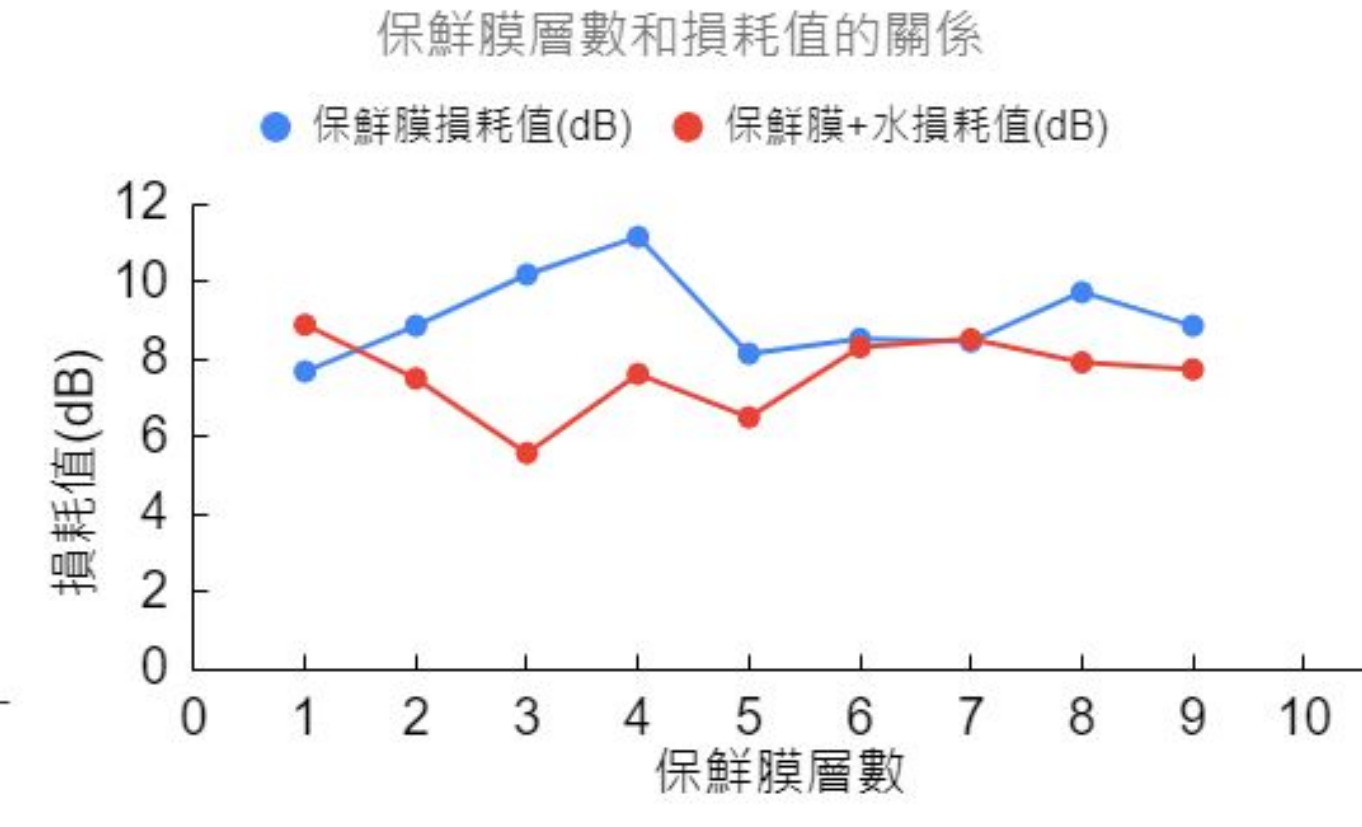
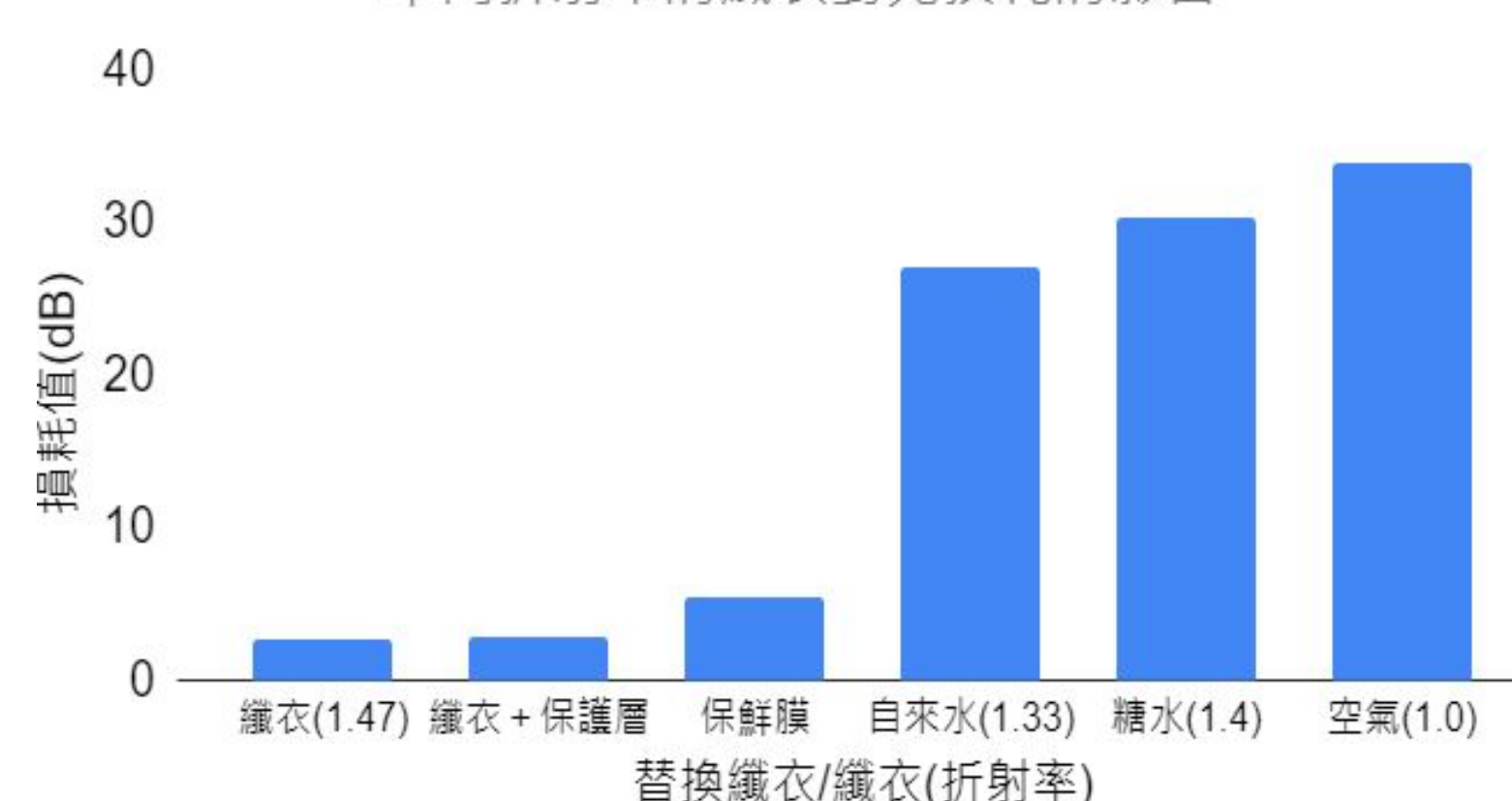
(二) 實驗二

目的: 將光纖進行**不同程度的剝解**, 分析光的**亮度分佈情形**並提出**適用情境**

	A、可以看出光纖因為只剝除黑色保護層而已, 整體未遭受破壞, 所以 另一端出口亮度最大 , 利用情景與一般光纖無異, 只是將光由某一端導到想要的場所, 適合 點光源 的照明。
	B、因為剝除了外芯, 所以整條光纖看起來 皆發出亮光 , 適合較大面積的長條照明, 套入水蛇之中(具有亮片)可以作為 氛圍燈 使用, 也可作為 安全警示燈 以作為提醒。
	C除了全部剝除之外, 並在表面進行劃痕以破壞內芯表層, 所以光纖的前端會發出強光, 而因為光在 前端就已損失完 , 所以 後端不會發光 , 適合用於較短的條狀強光照明, 可做成發光光纖手環, 可自由替換顏色, 重複使用, 以代替螢光手環。

(三) 實驗三

目的: **不同折射率**的**纖衣**對光在光纖中傳輸的影響



伍、討論

一、光纖規格

(一) 實驗二: 纖核折射率

1. 本實驗為驗證實驗, 先由**纖核折射率 1.48**, 再反推**偏向角 154°**, 確定本實驗所使用的材料是否如同我們所查到的資料所示。

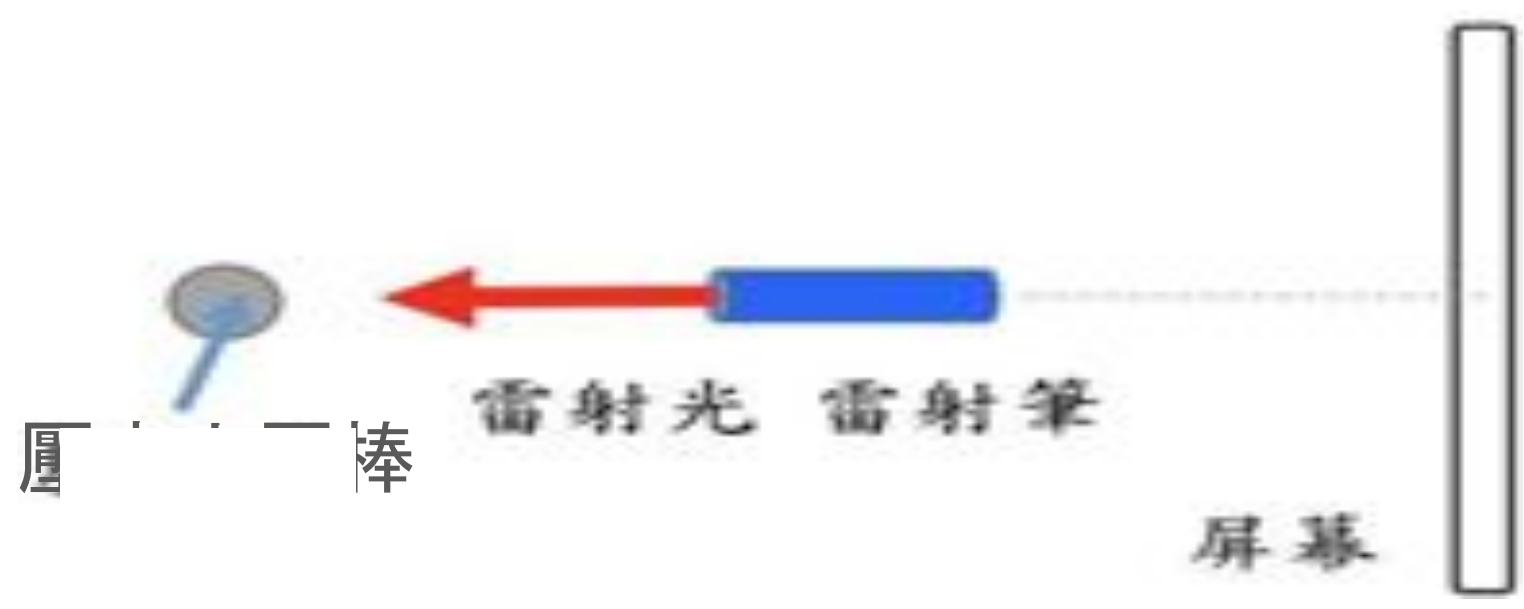


圖5-1彩虹最小偏折角測量法(取自網路圖片)

(二) 實驗三: 纖衣折射率

1. 本實驗所用之光纖, 因為為最基本的**普通光纖**, 經查資料後, **光纖包覆材料折射率大多為1.46**, 本實驗**測量結果為 1.469**, 結果尚可接受。

二、光纖性質

(一) 巨觀彎曲損耗證明

1. **彎曲角度越大, 入射角越小($\theta_2 < \theta_1$)**, 而入射角小於臨界角時, 更不易發生全反射, 造成更多光損耗, 可推斷**彎曲角度越大, 光損耗值可能越大**
2. 此狀況會發生在**彎曲角度、彎曲次數、旋轉半徑和旋轉次數**中, 這 4 種實驗也可用此方法證明光損耗值的變化。

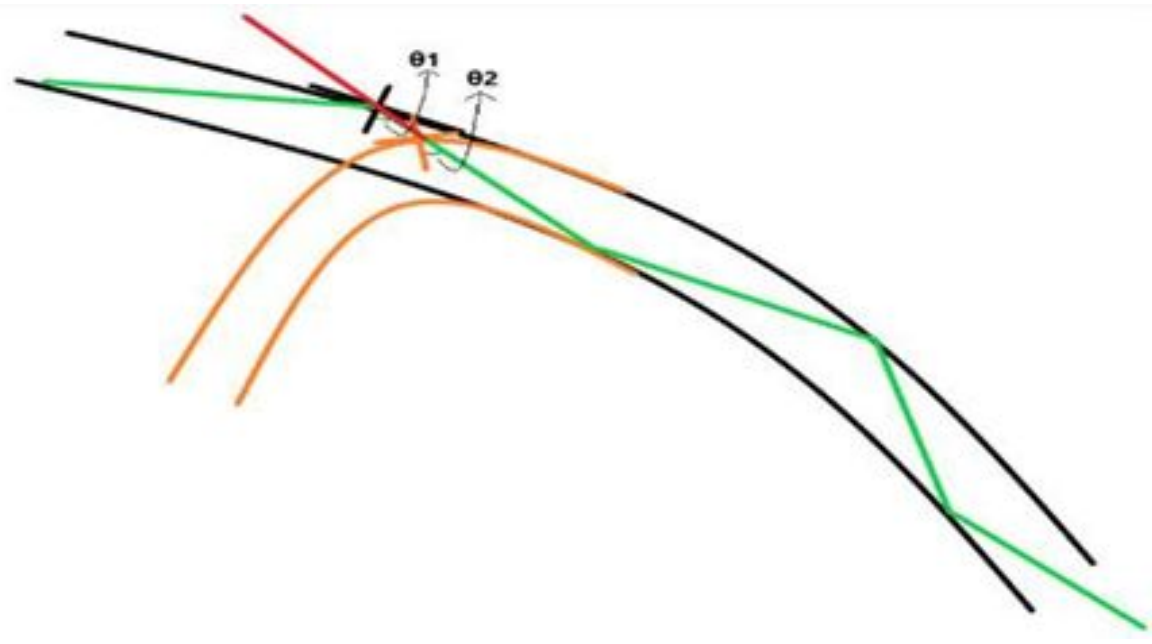


圖5-2巨觀彎曲損耗證明(作者自行繪製)

(二) 實驗一: 不同**長度**的光纖對光在光纖中傳輸的影響

1. 結果推測: 根據文獻一所提, 材料造成**吸收損失**, 以及**微觀彎曲損失**, 本組推測**光纖長度越長時, 此兩因素發生率增加**, 因而可能造成**損耗值越來越大**。
2. 實驗結果: 實驗後本組發現當光纖長度增加時, 損耗值也**隨之增加**, 和文獻四所提到因**材料吸收損失以及微觀彎曲損失**相符。

(三) 實驗二: **光纖上不同彎曲角度**對光在光纖中傳輸的影響

1. 結果推測: 根據文獻二所提, 彎曲角度屬於**巨觀彎曲**, 所以本組推測當**彎曲角度越大時, 損耗值也會變大**。
2. 實驗結果: 實驗後發現當**彎曲角度增加時損耗值也增加**, 且在**100度以上時損耗值急遽上升**, 推測因彎曲角度增加時, 會使入射光較**不易發生全反射**(詳見七、巨觀彎曲損耗證明), 或是因光纖彎曲角度達到**極限**, 造成光纖產生**變形或裂紋**, 進一步增加損耗。

(四) 實驗三: **光纖上不同彎曲次數**對光在光纖中傳輸的影響

1. 結果推測: 根據文獻二所提, 彎曲次數屬於**巨觀彎曲**, 所以本組推測當彎曲次數越多時, 損耗值也會變大。
2. 實驗結果: 實驗後發現彎曲次數 1 到 4 次時對於損耗值並沒有太大的影響, 然而到了**第 5 次卻大幅上升**, 可能因彎曲第五次為**極限彎曲次數**, 會造成光纖產生**變形或裂紋**, 進一步增加損耗。

(五) 實驗四: **光纖上不同旋轉半徑、旋轉次數**對光在光纖中傳輸的影響

1. 結果推測: 根據文獻三, 其提到**旋轉半徑在纖芯直徑的 10 倍以下時, 旋轉圈數越多則損耗值明顯升高**, 但在**纖芯直徑的 10 倍以上(含)旋轉圈數對損耗值沒有明顯的影響**, 而**旋轉半徑越大則損耗值越小**。
2. 實驗結果: 實驗後發現**旋轉半徑越大則損耗值越小**, 而在**3.5 公分(纖芯直徑的 10 倍)以下時, 旋轉圈數越多則損耗值明顯升高**, 但在**3.5 公分以上(含)旋轉圈數對損耗值沒有明顯的影響**, 推測因光纖在旋轉半徑在纖芯直徑的 10 倍以內會造成較大的宏觀損耗, 光能會逸出。

(五) 實驗五: **不同色光**對光在光纖中傳輸的影響

1. 結果推測: 根據資料所提, **波長越長則損耗值越小**, 因此本組推測**白光損耗值 < 紅光損耗值 < 綠光損耗值**
2. 實驗結果: 實驗後發現**波長越長損耗值確實會越小**, 符合資料所提

(六) 實驗六: 不同**入射角度**對光在光纖中傳輸的影響

1. 結果推測: 根據文獻三, 本組推測入射角度**大於 $\theta_{max}=10^\circ$** 後, 損耗值會逐漸增加。
2. 實驗結果: 測量後發現入射角度**大於 $\theta_{max}=10^\circ$** 後, **入射角度越大耗損值變化更劇烈**。

三、延伸應用及未來展望

(一) **沒有去除外芯的光纖**, 光線不易在光纖傳輸過程中散失, 可利用於**點光源的照明**

(二) **僅去除外芯的光纖**, 此種類的光纖可讓光線在光纖運輸的過程中較好的散出, 且能**運輸光一段距離**, 所以此種光纖可用於**安全警告標示的照明**, 或將光透過此光纖運輸到較為陰暗的角落、樓梯轉角等, 以作為提醒的功能。而我們也將此種光纖套入水蛇中作為**氛圍燈**的使用。

(三) **去除外芯並劃有劃痕的光纖**, 此種光纖**僅能運輸光一小段距離**, 因而無法將光線運輸到尾端, 所以我們將此種光纖用來製作成**發光手環**, 我們將光纖的兩端分別放上不同顏色的手指燈。此手環像螢光手環一樣, 但光纖手環可以**重複使用**, 也沒有對身體有害的化學藥物, 以達到**環境友善**的目的。

(四) 圓錐桶中貼反光鏡面並放置凸透鏡的集光裝置亮度比沒加東西多**4倍**左右, 而照射高度則多了**1倍**左右, 且有達到**最小閱讀照明亮度200lux**。

(五) 改變纖衣後, **無論其折射率大小**, 損耗值皆急遽增加, 推測因纖衣能**保護光纖**, 使其**不受環境及物理損害**。但若纖衣為固體, 損耗值能明顯較液、氣體小, 推測因固體能提供**穩定的物理及環境保護**, 使光在光纖內能更好地全反射。液體中, **損耗值隨折射率增加而增加**, 推測因介面反射率不同導致, 藉由公式, **折射率低則界面反射率高**, 光更好地全反射。而保鮮膜層數越多, 損耗值越大, 推測因包層時會無可避免的**包進些許空氣**, 導致**纖衣結構不均勻**, 進而導致損耗。

陸、結論

一、光纖長度增加時, 因**材料吸收損失**, 以及**微觀彎曲損失**, 使損耗值也隨長度增加。

二、彎曲角度增加時因**巨觀彎曲損失**, 使損耗值增加; 而轉到**100度**時因光纖達到**彎曲極限**, 損耗值更大。

三、彎曲**1至4次**時損耗值**沒有明顯變動**, 而到了**5次**時損耗值**大幅上升**, 可能因第五次為**極限彎曲次數**, 導致**光纖損耗值更大**。

四、當波長越短時, 損耗值越大, 所以**白光損耗值 < 紅光損耗值 < 綠光損耗值**。

五、旋轉半徑越大則損耗值越小, 而在**3.5公分(纖芯直徑的 10倍)以下時, 旋轉圈數越多則損耗值明顯升高**, 但在**3.5公分以上(含)旋轉圈數對損耗值沒有明顯的影響**, 推測因光纖在旋轉半徑在纖芯直徑的 10 倍以內會造成較大的**巨觀彎曲損耗**, 光能逸出。

六、入射角度**小於 $\theta_{max}=10^\circ$** 時, 損耗值**無特別改變**, 而入射角度**大於 $\theta_{max}=10^\circ$** 後, 損耗值會明顯隨角度增加而增加。

七、**無去除外芯光纖適合點光源照射**; **去除外芯光纖適合安全照明**; **去除外芯且帶劃痕光纖適合條狀強光照明**。

八、無論在弱光(10kLux)或在強光(100kLux)下, **圓錐桶中貼反光鏡面並放置凸透鏡的集光裝置照射最亮**, 可照射範圍也最廣, 而其類似點光。

九、改變纖衣後, **無論其折射率大小**, 損耗值皆急遽增加, 所以**僅使用原纖衣**, 才能良好地傳輸光, 而使用保鮮膜不會增加太多損耗值, 加以**改良**或許能使用。

柒、參考文獻資料

一、引「陽」入室~將陽光導入室內之研究

周宥妍, 施喻雯, 陳諭儀, (2019), 引「陽」入室~將陽光導入室內之研究, 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書

二、光纖彎曲損耗, 參考資料取自

<https://m.oe1.com/article/7055006731690921984.html>

三、光纖的彎曲半徑應大於外徑的 10 倍, 參考資料取自

<https://fiber.m.ofweek.com/2021-01/ART-11000-2100-30483665.html>

四、光纖數值孔径和折射率的關係, 參考資料取自

<https://www.newton.com.tw/wiki/%E5%85%89%E7%BA%96%E6%95%B8%E5%80%BC%E5%AD%94%E5%BE%91>