

國立臺北大學

光通訊

Optical Communication

(期末報告)

組別：第十五組

姓名：鐘婉庭/葉璇

學號：411186028/411186030

一、實驗原理

這次實驗的主要目的是模擬與分析兩段光纖之間的錯位情況對插損（Insertion Loss, IL）的影響，並探討光纖間距離變化（ $20\text{ }\mu\text{m}$ 、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 、 $40\text{ }\mu\text{m}$ ）對此影響的程度。

1. 光纖傳輸與錯位

光纖的錯位：光纖之間的錯位會導致光信號在光纖的輸入端與輸出端之間的對準不良。當光纖的核心不能完全對準時，部分光信號會逸散或被削弱，造成插損增加。

錯位因素：

水平或垂直方向上的位移（實驗中模擬 $0\sim 16\text{ }\mu\text{m}$ 的範圍）。

不同的光纖間距（如 $20\text{ }\mu\text{m}$ 、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 、 $40\text{ }\mu\text{m}$ ）會改變錯位對插損的敏感性。

2. 插損（Insertion Loss, IL）的定義

插損是光纖傳輸中能量損耗的一種度量，定義為輸入功率與輸出功率的比值：

$$IL = -10 \times \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

P_{in} ：光纖輸入端的功率。

P_{out} ：光纖輸出端的功率。

在實驗中，插損隨光纖錯位量增加而上升，反映出光耦合效率的降低。

3. 光纖的移位損失

光纖移位損失是指當兩段光纖在對接過程中，由於橫向不對齊或軸向偏移，導致光能量不能完全從一根光纖的核心傳輸到另一根光纖核心，從而引起的損耗。

主要成因

核心對準誤差：光纖的核心直徑通常很小（單模光纖核心直徑僅為 $6\sim 9\text{ }\mu\text{m}$ ，多模光纖約 $50\text{ }\mu\text{m}$ ），因此即便是微小的移位，也可能導致光的耦合效率下降。

光的數值孔徑（NA）影響：數值孔徑描述光在光纖中進入或傳出的角度範圍。較大的數值孔徑意味著光束能承受較大的角度偏差，但當光纖的 NA 增加時，對移位的敏感性也隨之上升。

橫向不對齊：光纖橫向偏移的情況最常見，表現為光纖核心中心的水平位移。這種偏移會直接導致光束進入對接光纖的核心區域變少。

光纖結構誤差：由於光纖製造過程中的微小缺陷（如直徑不均勻），也可能導致接續處出現移位問題。

4. 光纖端面間隔與缺口損失

光纖端面間隔指的是光纖兩端之間的空隙，這會影響光的傳輸效率，並因數值孔徑和端面間隔大小而產生缺口損失。

數值孔徑（NA）影響：光纖的數值孔徑越大，光的集光能力越好，但在端面

間隔情況下，數值孔徑較大的光纖會產生更大的缺口損失。

- 例如：0.5NA 的光纖損失 > 0.2NA 與 0.15NA 的光纖損失。這是因為高 NA 光纖的光束發散角度更大，在空隙中易散射或逸散。

端面間隔影響：光纖兩端的間隔越大，缺口損失也越大，損失與間隔成正相關，因此需要盡量減少光纖對接處的間隔。

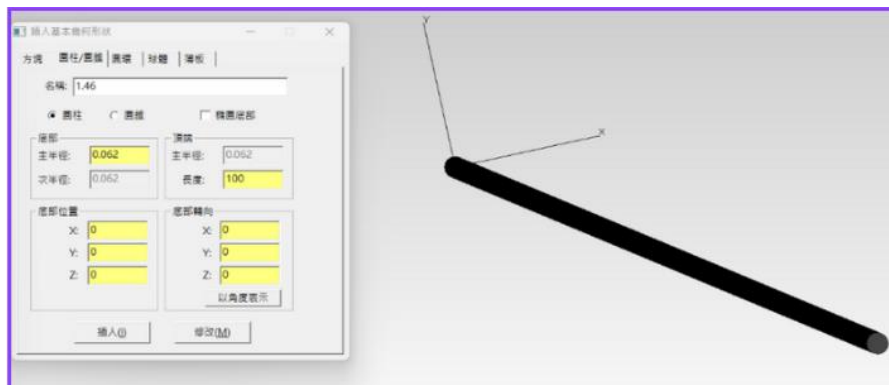
模擬分析條件

實驗使用 TracePro 軟體進行光纖的錯位模擬，主要條件如下：

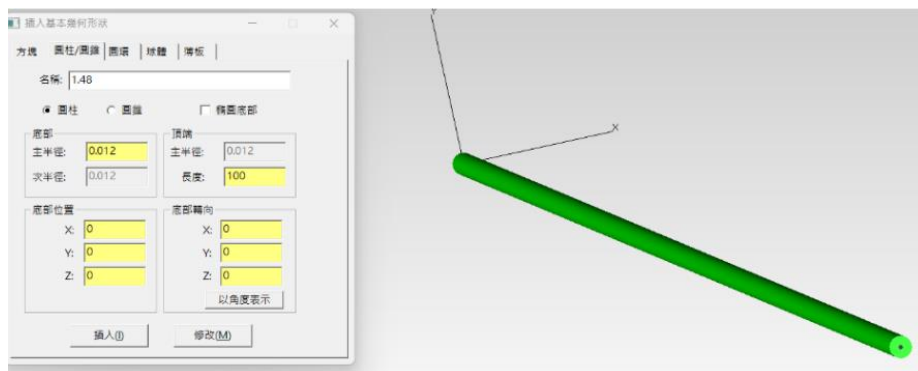
1. **光纖間距**：光纖核心與核心之間的距離設定為 $20\mu\text{m}$ 、 $30\mu\text{m}$ 和 $40\mu\text{m}$ 。光纖兩端的間隔越大，缺口損失也越大，損失與間隔成正相關。
2. **凸點圓柱 (Surface1)**：模擬光纖輸出端與輸入端的耦合界面，通過分析此界面的輻照度分布來研究能量損失。
3. **輻照度與插損**：輻照度分布（如圖中的 Total Irradiance Map）能幫助可視化光的傳輸特性，進一步計算輻射功率來得到插損值。
4. **數值孔徑 (NA) 影響**：光纖的數值孔徑越大，光的集光能力越好，但在端面間隔情況下，數值孔徑越高的光纖，光傳輸的缺口損失越大。

二、系統設計

纖殼: 直徑： $(4+1+1+1+8+6+0+2+8) \times 4 = 124(\mu\text{m})$ 折射率：1.46



纖核: 直徑： $(4+1+1+1+8+6+0+3+0) = 24(\mu\text{m})$ 折射率：1.48



設定兩種材料：

目錄: Glass 名稱: text148

描述:

插入: 表列 均向性

溫度 (K)	波長 (um)	折射率	吸收 [/mm]	消光係數,K [um/um]
300	1.55	1.48	0	0

目錄: Glass 名稱: text146

描述:

插入: 表列 均向性

溫度 (K)	波長 (um)	折射率	吸收 [/mm]	消光係數,K [um/um]
300	1.55	1.46	0	0

並將材料性質設定在相對應纖核纖殼

材料

目錄: Glass 名稱: text148

對應於所給予的波長顯示其折射係數與吸收率

波長: 1.55 um

折射係數: 1.48 吸收係數: 0

穿透率: 1 當通過 10 mm

在光線追跡中所使用的波長是在光線追跡選項對話窗中進行設定

材料

目錄: Glass 名稱: text146

對應於所給予的波長顯示其折射係數與吸收率

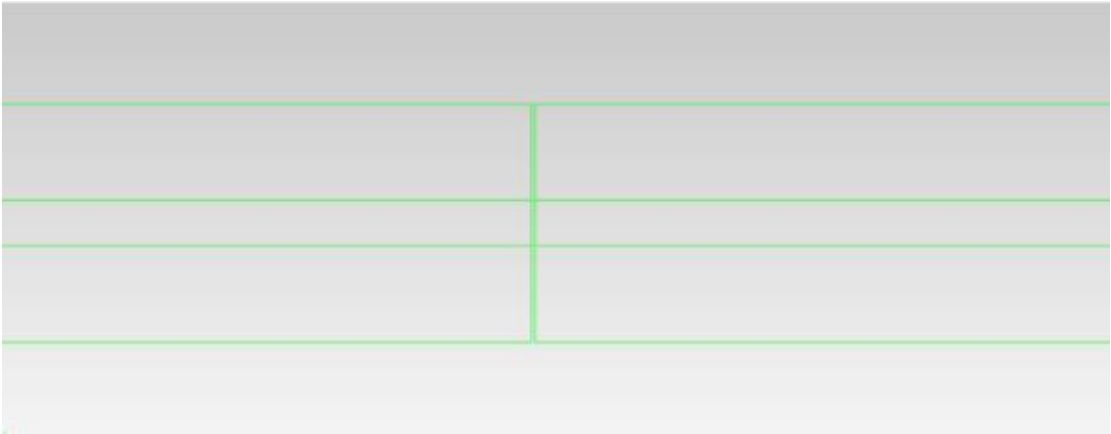
波長: 1.55 um

折射係數: 1.46 吸收係數: 0

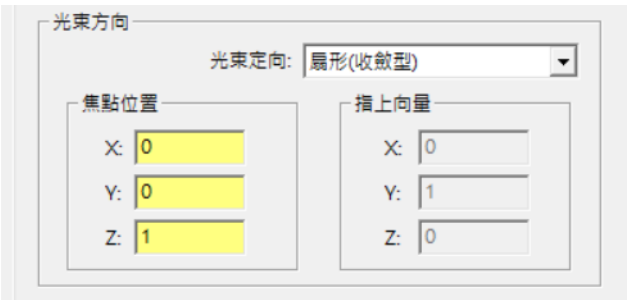
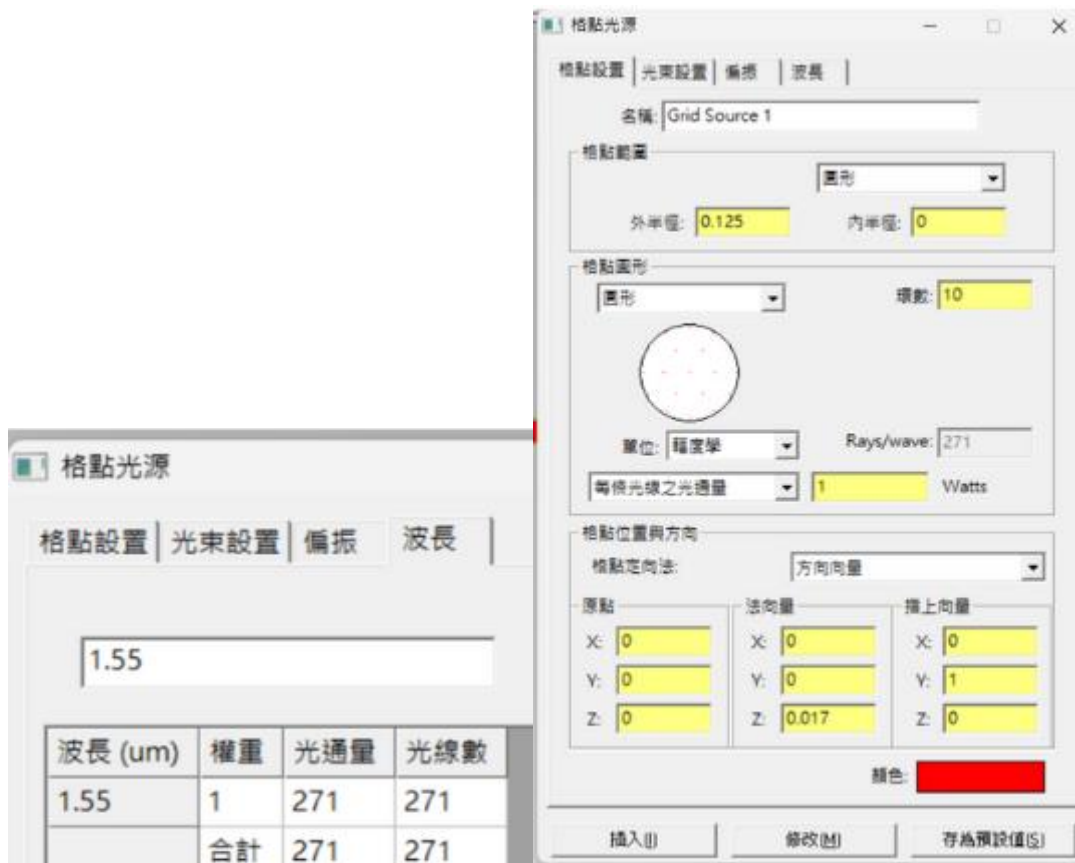
穿透率: 1 當通過 10 mm

在光線追跡中所使用的波長是在光線追跡選項對話窗中進行設定

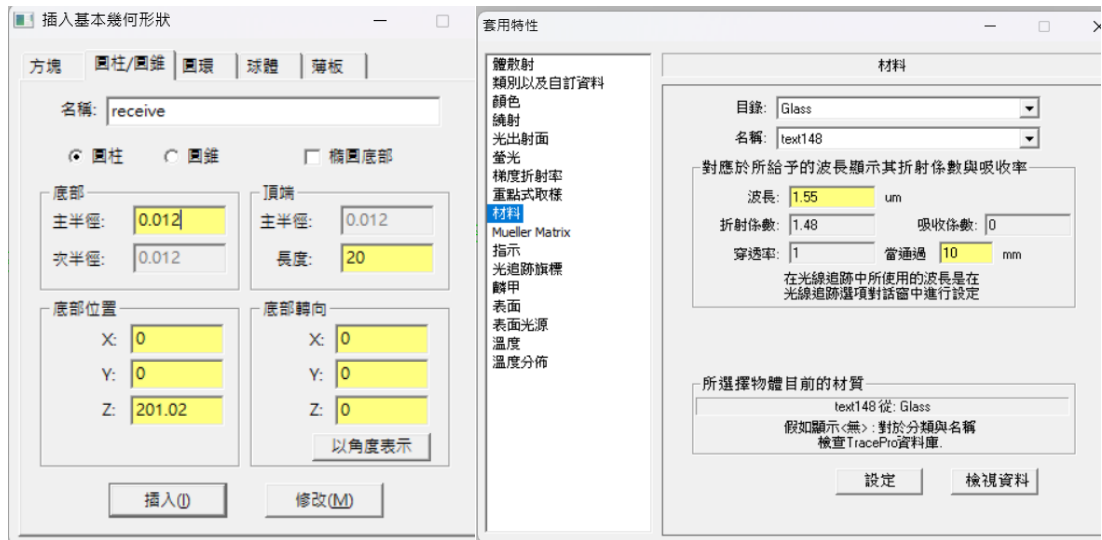
橫切面如下



格點光源設置（波長 $1.55\mu\text{m}$, 外半徑 0.125mm , 法向量 0.017 , 光束方向扇形）

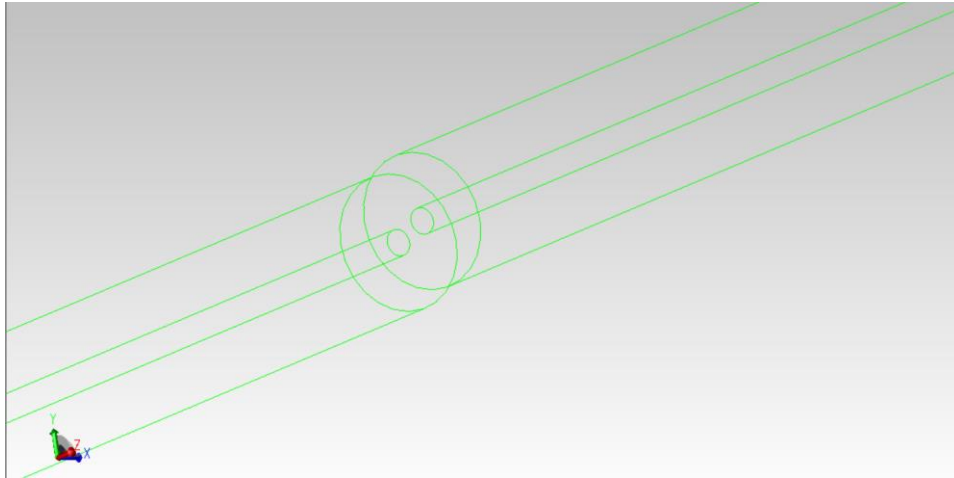


並在尾端添加凸點圓柱並設定內容材料

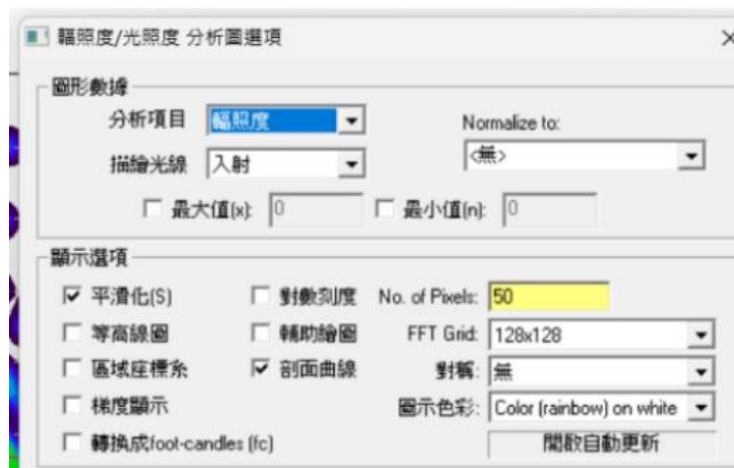


Y 座標用來設置偏移量

Z 座標用來設置位移也就是光纖間距，設定完的模型圖類似如下圖



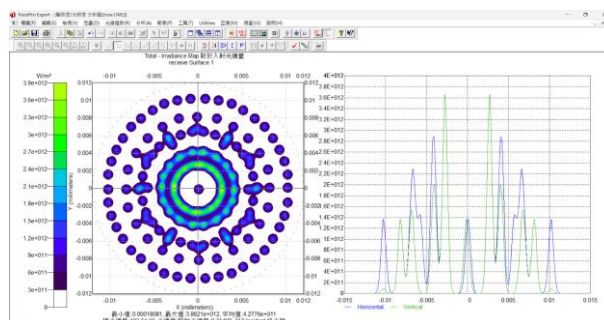
最後按下光源追蹤並對於凸點圓柱 surface1 執行輻照度/光照度分析，記錄結果



三、模擬結果

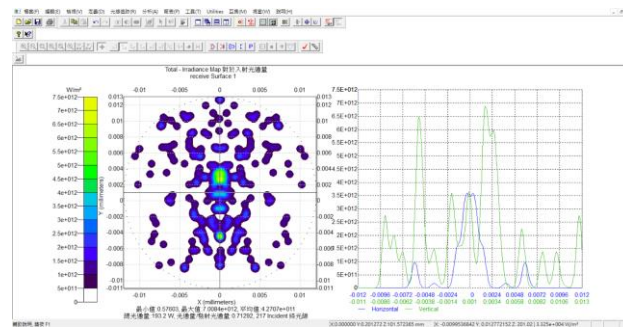
20 μm

偏移 0 μm



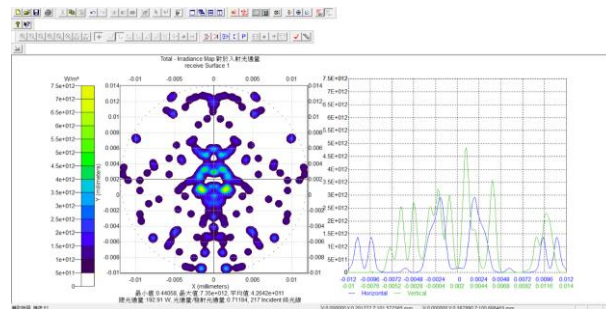
光能量集中於核心區域，輻照度圖呈現對稱且均勻分布，顯示出最高的耦合效率。圖中的等高線（輻照度輪廓）呈圓形，表明光束完全進入纖核，沒有明顯的偏差。波形圖中綠線與藍線的幅值最大，顯示光的強度最高。頻譜圖顯示主頻率能量集中，沒有額外的損耗現象。

偏移 $1\ \mu\text{m}$



光能量仍然主要集中於核心區域，但輻照度圖的等高線開始出現輕微的不對稱。光束核心有部分能量逸散到核心以外，導致耦合效率略有下降。插損開始增加，但幅度非常小，損失主要來自微小的偏移導致的光散射。波形圖中綠線的幅值略有下降，表明傳輸效率稍微減弱。頻譜圖顯示主頻率的能量集中度仍然較高，但邊帶頻率可能開始出現微弱影響。

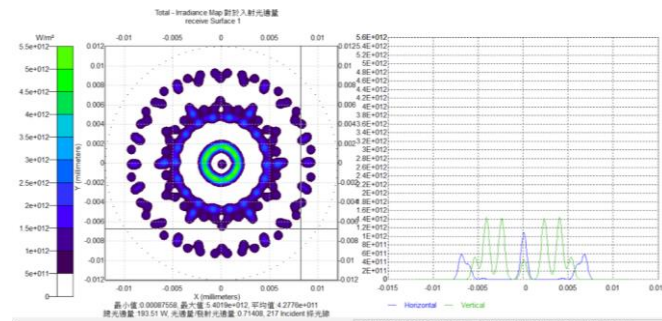
偏移 $2\ \mu\text{m}$



光能量分布的不對稱更加明顯，核心部分的輻照度減少，部分光束已明顯逸散至核心外。輻照度圖中的高能量區域變小，表明核心內的光能量密度下降。損失進一步增加，但仍處於較低的範圍。光耦合效率持續下降，更多光信號未能進入纖核。波形圖中的綠線幅值明顯下降，光傳輸強度進一步減弱。頻譜圖顯示主頻率的能量有所下降，可能開始出現較明顯的邊頻效應。

30 μm

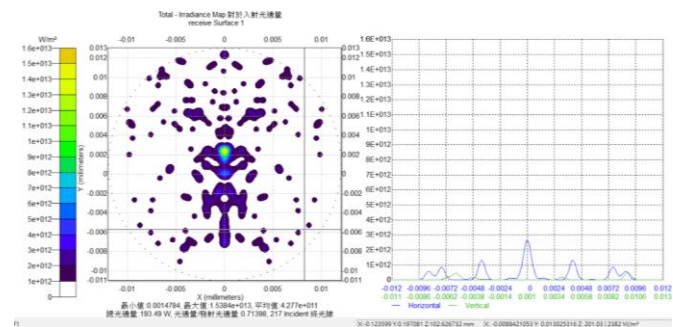
偏移 $0\ \mu\text{m}$



光能量高度集中在核心區域，輻照度圖顯示出完整的對稱分布，等高線呈現規則的圓形結構。表明光束完全耦合進入纖核，損失接近於零。波形圖中綠線與藍線的幅值最大，表明信號強度最高。頻譜圖顯示能量高度集中，無明顯側頻能量損

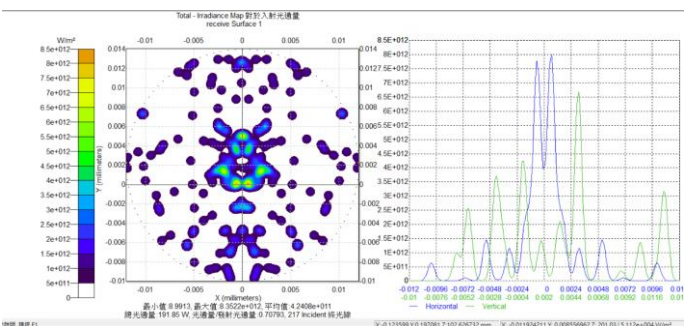
失。

偏移 1 μm



核心區域的光能量仍集中，但分布開始出現不對稱。有部分能量從核心區逸散，顯示耦合效率開始下降。波形圖中的綠線幅值略有減弱，顯示耦合效率有所下降。頻譜圖中主頻能量仍集中，但開始出現微弱的側頻能量。

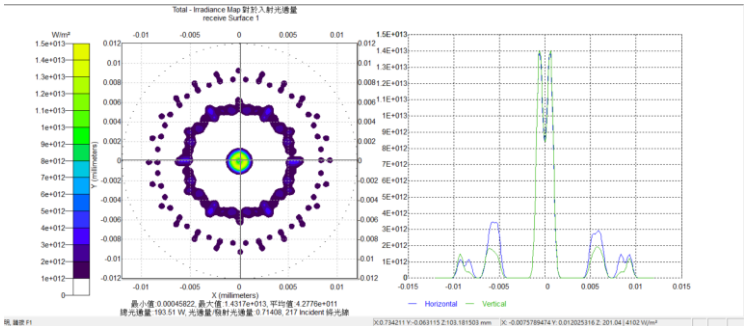
偏移 2 μm



光能量的核心區域進一步減小，更多光能量逸散至纖核之外。等高線顯示高能量區域變小，輻照度不對稱性更加明顯。波形圖中綠線幅值明顯下降，光傳輸效率顯著減弱。頻譜圖中主頻能量下降，側頻能量有所增加，表明插損進一步增大。

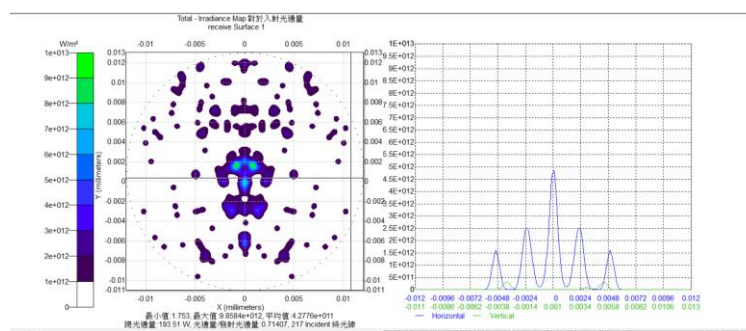
40 μm

偏移 0 μm



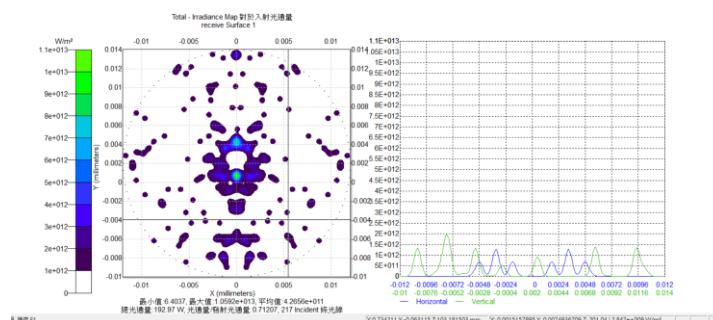
光能量集中於核心區域，輻照度圖顯示明確的對稱性，且等高線呈現圓形。由於光纖核心完全對準，所有光能量均有效耦合進入纖核，損耗最低。波形圖中的綠線與藍線幅值最高，表明光信號的強度最大。頻譜圖顯示主頻能量集中，無明顯的側頻分佈。

偏移 1 μm



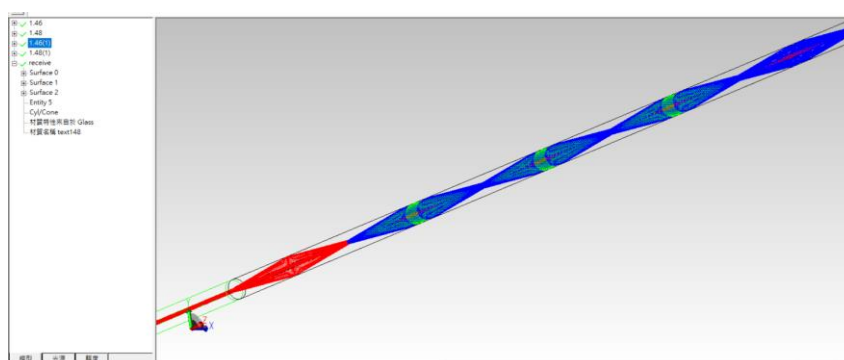
核心區域的光能量分佈開始出現輕微不對稱，部分光能量散佈到纖核外圍。高能量區域的等高線出現變形，耦合效率輕微下降。波形圖中的綠線幅值略有下降，顯示光傳輸效率受到輕微影響。頻譜圖中主頻能量仍集中，但側頻能量的出現暗示損失的增加。

偏移 2 μm



光能量的核心分佈明顯縮小，高能量區域顯著減少，更多光束逸散至纖核外。輻照度圖的對稱性進一步降低，核心區的輻射密度下降。波形圖中的綠線幅值顯著下降，表明光耦合效率進一步降低。頻譜圖中主頻能量下降更加明顯，側頻能量增強，表明損失進一步加劇。

30 μm 光路模擬



這張圖顯示的是 30 μm 間距的光路模擬，呈現光纖之間的傳輸過程。

光纖核心與光束的耦合情況：

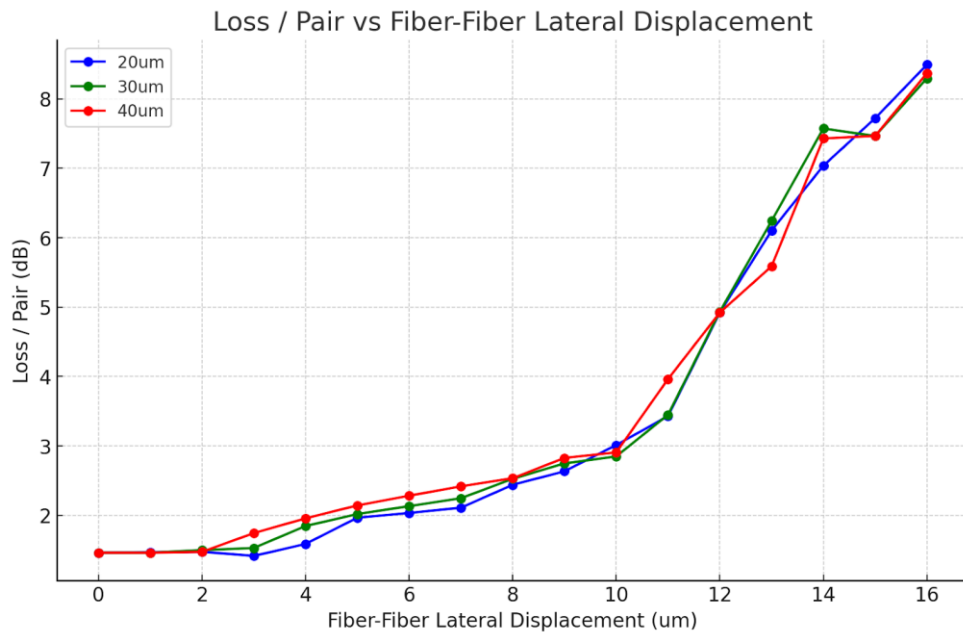
紅色與藍色光束顯示了光在光纖核心內部的傳播路徑。可以觀察到光纖核心內光束的多次反射，這是由於全內反射條件（折射率 1.48 與 1.46）形成的傳輸特性。

光束的發散與間距影響：

在 $30\text{ }\mu\text{m}$ 間距下，光束從一端光纖射出後開始發散，但仍能被另一端光纖接收到。光束的發散程度受纖核直徑與數值孔徑（NA）的影響。更大的間距會導致更高的耦合損失。

測試線與待測物 Fiber 距離為 20、30、40 μm 所記錄的數據

	距離20um	距離30um	距離40um
0um	1.46253	1.46253	1.46253
1um	1.46959	1.46314	1.46259
2um	1.47618	1.5001	1.47477
3um	1.41589	1.53038	1.7447
4um	1.58866	1.84668	1.95697
5um	1.96659	2.01881	2.1435
6um	2.0344	2.13327	2.28273
7um	2.11026	2.24695	2.41868
8um	2.44057	2.52666	2.53483
9um	2.63492	2.74873	2.82812
10um	3.01308	2.84975	2.90662
11um	3.43002	3.44938	3.96336
12um	4.92063	4.93306	4.92104
13um	6.10214	6.24117	5.58745
14um	7.03686	7.57285	7.42826
15um	7.72011	7.46371	7.46541
16um	8.49244	8.29562	8.36868



X 軸 (Fiber-Fiber Lateral Displacement, μm) :

表示光纖之間的側向位移量，範圍從 $0\ \mu\text{m}$ 到 $16\ \mu\text{m}$ 。隨著位移量增加，光纖對準精度下降，插損逐漸增大。

Y 軸 (Loss/Pair, dB) :

表示插損大小，以分貝 (dB) 為單位。插損越大，光信號的能量損耗越多。

四、結果討論

距離與錯位的影響

1. 光纖間距：

當光纖之間的距離增加（例如從 $20\ \mu\text{m}$ 增加到 $40\ \mu\text{m}$ ），光的耦合效率下降，錯位對插損的影響會更加明顯，因為更多的光信號會散射到光纖之外。

2. 位移量：

當錯位量增加（例如從 $0\ \mu\text{m}$ 增加到 $16\ \mu\text{m}$ ），更多的光從核心區逸散，插損會顯著增大。

3. 損失曲線呈現非線性增長：

在偏移量小於 $6\ \mu\text{m}$ 時，曲線幾乎平滑，損失增長緩慢。在偏移量超過 $7\ \mu\text{m}$ 後，曲線急劇上升，顯示光纖耦合的閾值效應。

4. 偏移量對損失的影響：

偏移量 (Lateral Displacement) 與損失 (Insertion Loss, IL) 呈明顯的**正相關**。在位移量**小於 $10\ \mu\text{m}$** 時，插損增長較為平緩，顯示此範圍內光纖的耦合效率仍然較高，對小幅偏移有一定容忍度。**超過 $10\ \mu\text{m}$** 後，插損開始急劇上升損失增長加速，說明偏移超過一定閾值後偏移量已遠超纖核容忍範圍，光束逸散現象顯著，導致**耦合效率迅速下降**。