



逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

Optimization of S-Bend Waveguide

作者：李杰成、謝旺育、張祐誠

系級：光電四

學號：D9586487、D9535593、D9479985

開課老師：蔡雅芝

課程名稱：光電數值模擬

開課系所：光電系

開課學年： 98 學年度 第一 學期



中文摘要

波導在彎曲時傳輸功率會有一定量的損失，為了將此損失降到最低，我們將 S 型的二維波導(2D S-Bend Waveguide)設計成四個波導所接合而成，並改變波導間偏移量，利用 BeamPROP 這套軟體計算每段最佳位移量的大小，來達到輸出功率還能維持到輸入功率的九成以上。

關鍵字:BeamPROP、波導、穿透率



目 錄

I. 簡介	4
II. 原理	4
III. 步驟	6
IV. 結果分析/討論	10
V. 結論	13
VI. 參考文獻	14



Optimization of S-Bend Waveguide

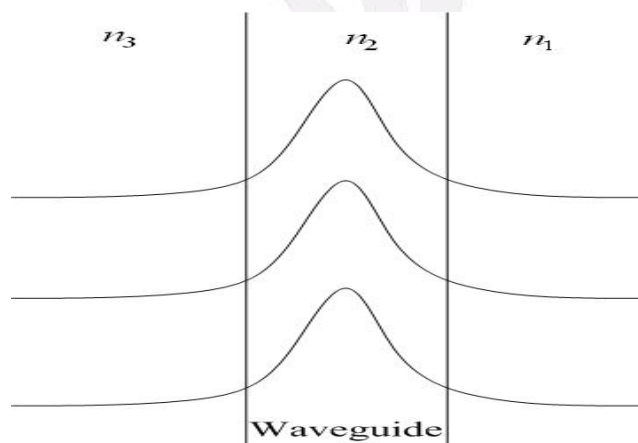
簡介：

波導在光通訊元件中扮演不可或缺的角色，而波導會隨著傳遞環境而有所彎曲，而光波會隨著波導彎曲而有彎曲損耗[2]，而本次實驗模擬將要探討光波在波導傳遞時如何減少彎曲損耗，因而達到最佳輸出功率，此次模擬將在 CAD 上利用兩條直線段及兩條曲率相反的弧線段，組成一個二維 S-Bend Waveguide，而 S 型波導具有兩種彎曲型式，然後以 BeamPROP 針對透射率找出各線段之間的最佳化偏移量(offset)，並計算最佳化後的波導傳輸功率及透射率等相關性質。

BeamPROP 是一個高度集成電腦輔助設計和模擬仿真的專業軟體，用於設計光學波導元件和光路，主程序為一套完善的用於光波導元件和光路 CAD 設計系統，且可控制相關的參數，如：數值參數、輸入電場以及各種顯示、分析功能選項[3]。

原理：

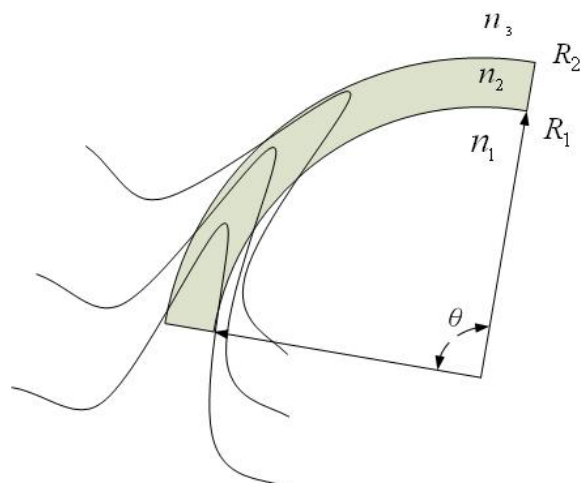
一般而言，光在介質中傳播時有往折射率高的區域集中之傾向，如圖一所示，當光在直線波導內傳播時，由於波導內的折射率大於周遭介質折射率($n_2 > n_1, n_3$)，基於全反射的原理光會被良好地侷限在直線波導內而有較低的損失。



圖一：光在直線波導內傳輸行進圖

日常生活中當汽車行駛在彎曲道路上時，車子會有如受慣性般地有往外衝的現象產生，道路越彎此現象也就越明顯，而當光在彎曲的波導結構傳輸時，並非像在直線波導內會有良好的侷限性，而是像車子般地會有向外緣方向衝的類似情況產生，如圖二所示，因此會有能量損失的產生，當損失到波導外部的能量大於侷限於波導內的能量時，波導結構的有效折射率關係為($n_{3eff} > n_{2eff} > n_{1eff}$)。

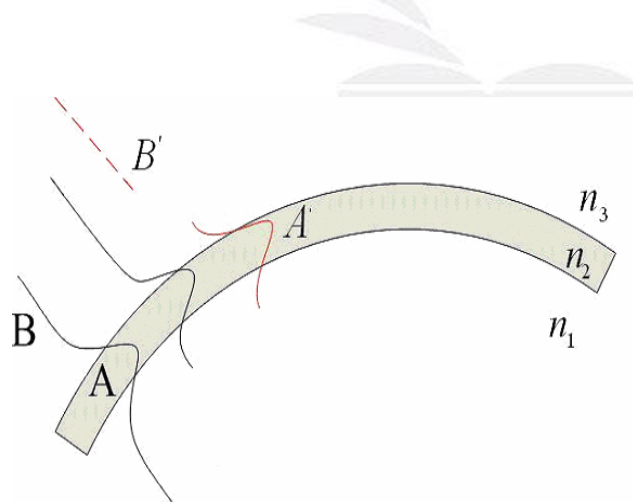
Optimization of S-Bend Waveguide



圖二：彎曲波導內模態傳輸狀態

彎曲波導在積體光迴路(Integrated optical circuits)[1]應用中為一重要的元件，由於光場在行經波導彎曲的區域時會產生扭曲變形而造成輻射損失，因此在彎曲波導元件的設計上，如何控制輻射損失的大小便成一重要的研究課題。

如圖三所示，A為波導內所形成的光場，B為波導外所形成的光場，且兩者形成一穩定的模態，而當光行經波導彎曲結構時，A與B若仍要維持一穩定模態，則兩者所形成的波前需不隨著彼此位置的移動而改變，也因此B所需走的距離必定要大於A所走的距離，即光在B處的速率需大於在A處，如此兩者所形成的波前才能不致被改變，但由知等效後在B處的折射率比A處大，而光在介質中的速度又與折射率成反比，所以可得光在B處行進的速率必比在A處來的小，因此當光在B處的行進速率漸漸趕不上A處速率時，B處的光能量即脫離(圖三)而產生了輻射損失，即為彎曲波導的彎曲損失(Bending Loss)。



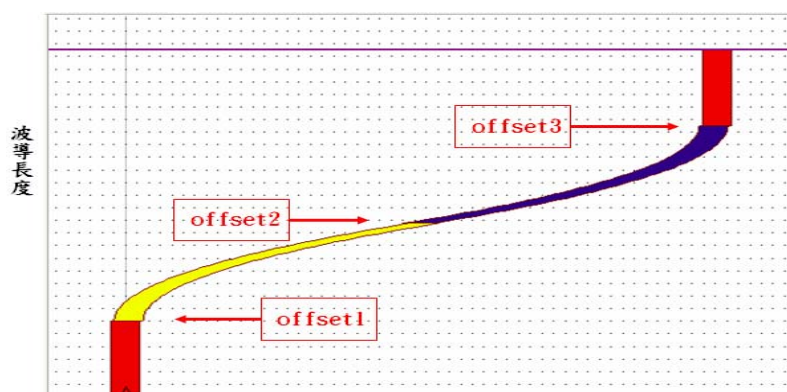
圖三：光在彎曲波導中行進傳播圖

Optimization of S-Bend Waveguide

實驗步驟：

元件規格：

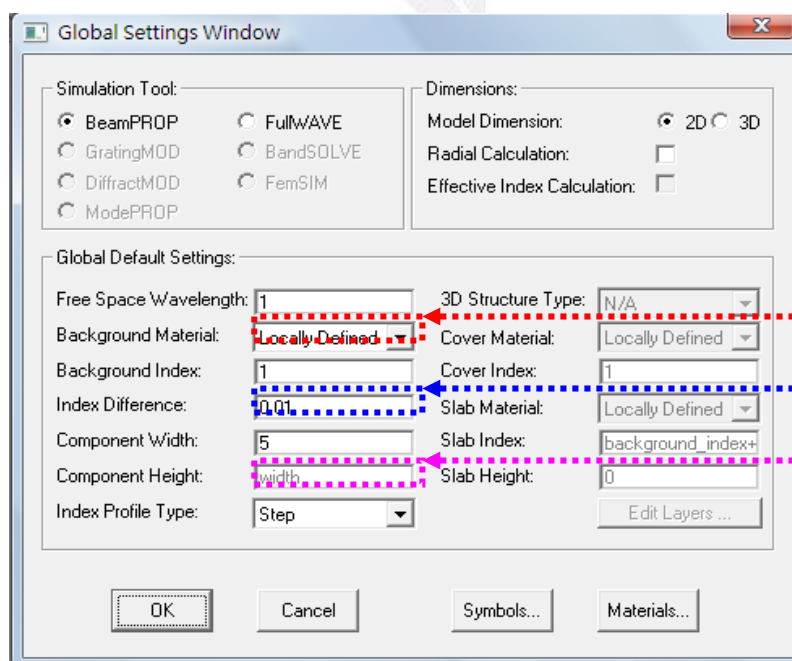
- Free space wavelength: $1.55\ \mu\text{m}$
- Core index: 1.515
- Cladding index: 1.500
- Width: $5.0\ \mu\text{m}$
- Length of the straight segment: $300\ \mu\text{m}$
- Radius of the arc: $1500\ \mu\text{m}$
- Initial angle of the arc: 0 degree
- Final angle of the arc: 15 degree
-



波導橫切面

圖四


1. 利用 Edit global setting 將 parameter 的初始條件輸入進去。

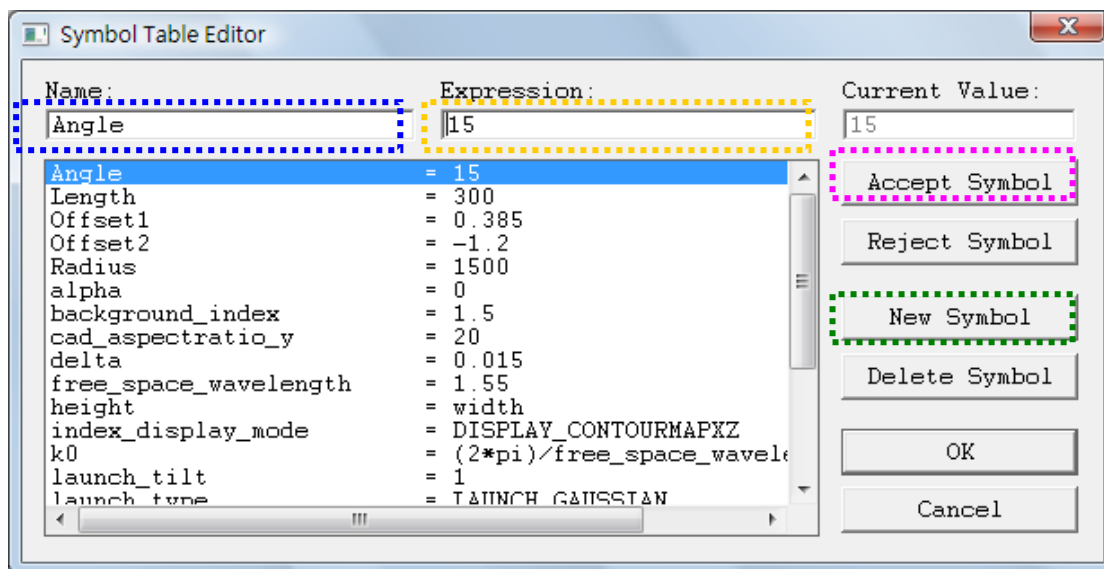


圖五


Optimization of S-Bend Waveguide

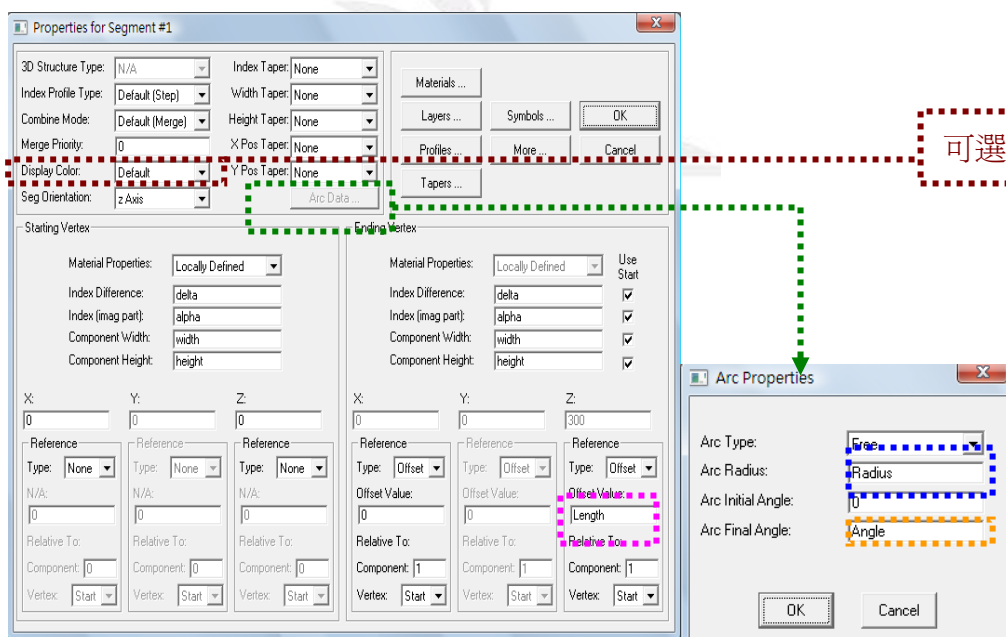
2. 首先利用程式左邊工具列 Segment  在平面上拉一條波導，並在工具列

Edit Symbol  將波導的參數統一規格化(如設定 angle, length, radius, offset 等)。



圖六

3. 其後再利用工具列 Segment  在平面上拉三條波導並改變第二條第三條波導顏色為黃色與藍色，接著在波導上點選右鍵並在每條拉出的波導上輸入 angle, length, radius 等初始條件，此時平面上的波導圖形即 Layout(圖四)。

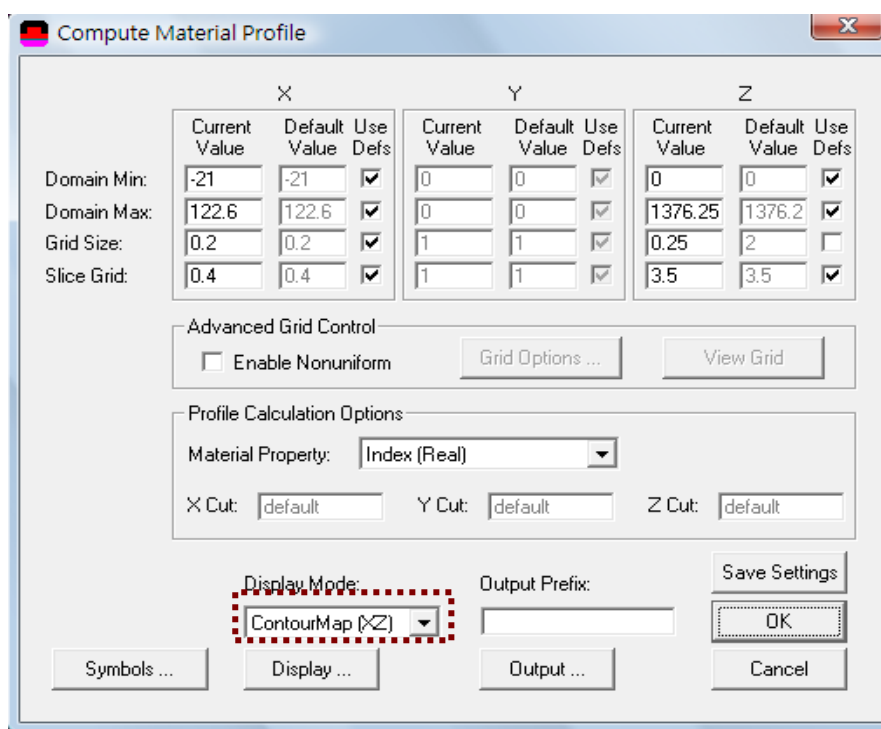


圖七(a)

圖七(b)

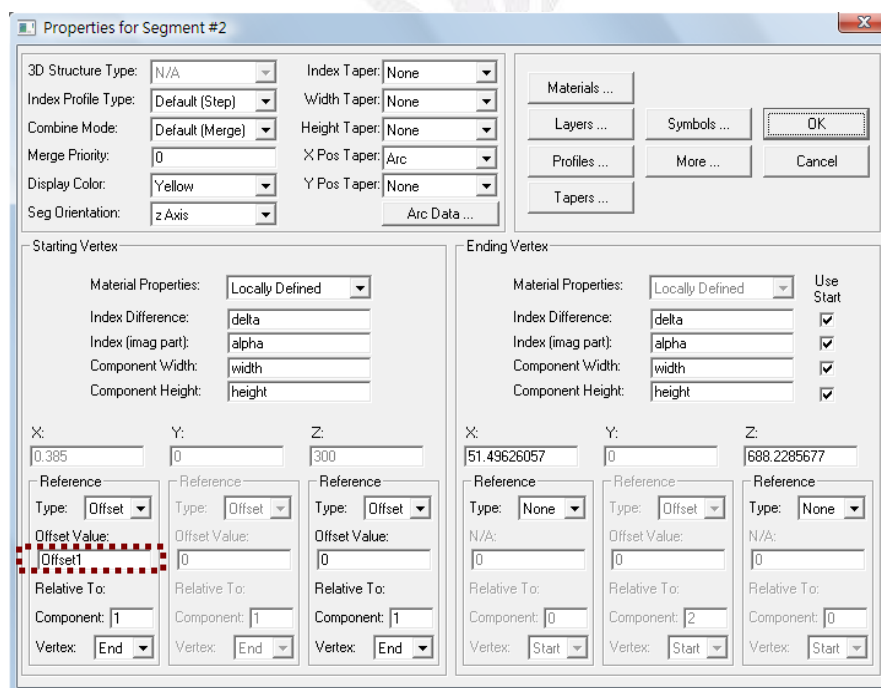
Optimization of S-Bend Waveguide

- 接著利用工具列 Display Material Profile 中的 ContourMap(XZ) 模式，並按 OK，畫出波導的 index profile 分佈圖(圖五)。



圖八

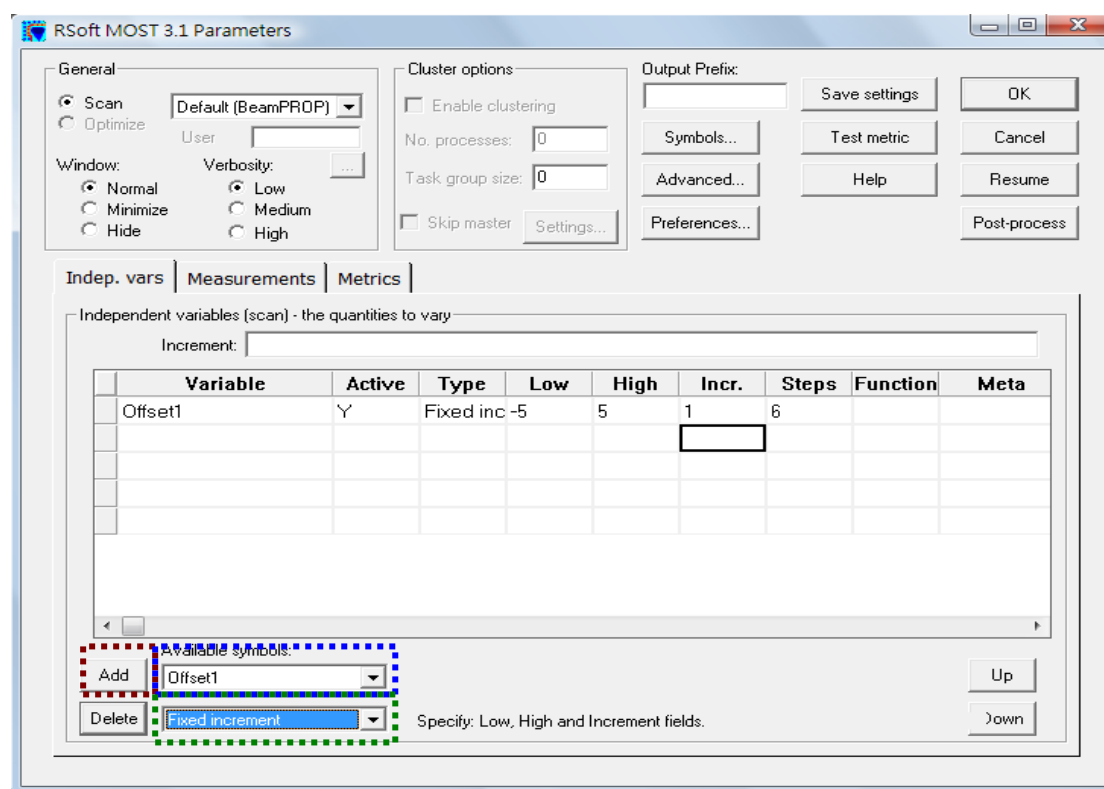
- 設定黃色弧線與紅色直線之相對位移為 $offset1$ ，藍色弧線與黃色弧線之相對位移為 $offset2$ ，紅色直線與藍色弧線之相對位移為 $offset3$ 。



圖九

Optimization of S-Bend Waveguide

6. 令 $\text{offset3}=\text{offset1}$ ；先將 offset1 及 offset2 設為 0，並利用 Perform Simulation 的 ContourMap(XZ) 模式計算出此元件最佳化後的電場分佈及功率對 Z 的變化(圖十六並與圖十七做比較)。
7. 接著利用工具列 Most Optimizer，首先，按 Add 新增，接著點選 Available Symbols 空格並選擇 offset1 ，並點選下面空格的 Fixed Increment，接著設定 offset1 的觀察偏移量(由於波導寬度為 $5\mu\text{m}$ ，故觀察偏移量須從 $-5\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 找起，並逐一縮小範圍)，然後點選 OK，最後找出當 offset2 為 0 時的最佳透射率的 offset1 (圖十三)。



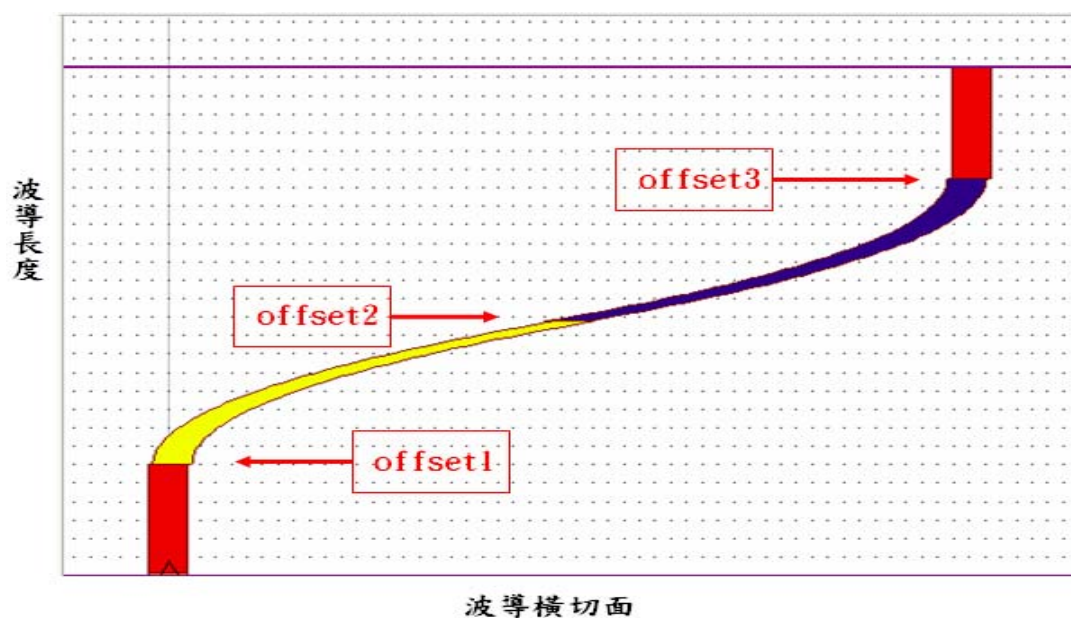
圖十

8. 換 offset1 保持固定，改變 offset2 的觀察偏移量，並重複步驟 6(圖十四)。
9. 接著同時模擬 offset1 和 offset2 的觀察偏移量，並重複步驟 6(圖十五)。
10. 此時找到的 offset1 和 offset2 即為最佳透射率時的最佳偏移量，並利用 Perform Simulation 的 ContourMap(XZ) 模式計算出此元件最佳化後的電場分佈及功率對 Z 的變化(圖十七)。

Optimization of S-Bend Waveguide

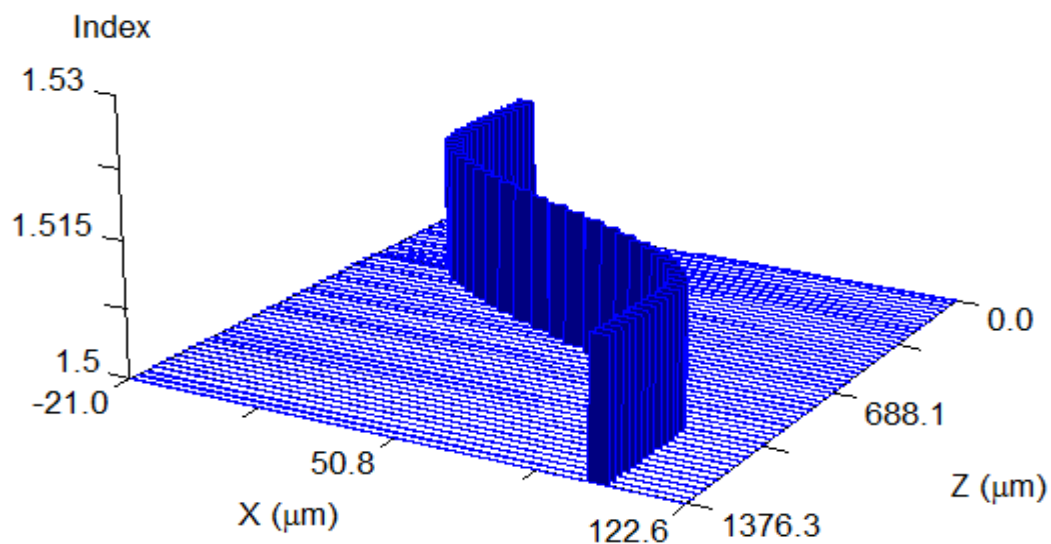
結果與分析：

(一) layout 圖：



圖十一：S-band 2D 波導圖

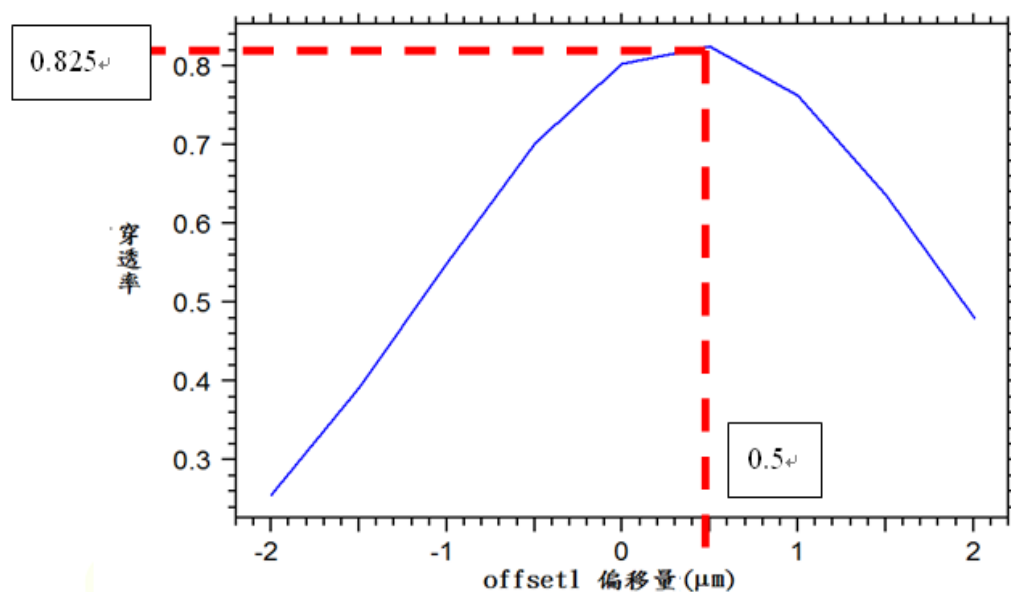
(二) Index profile 圖：



圖十二：s-band 波導折射率分布圖(x 軸為波導橫截面，z 軸為波導長度)。

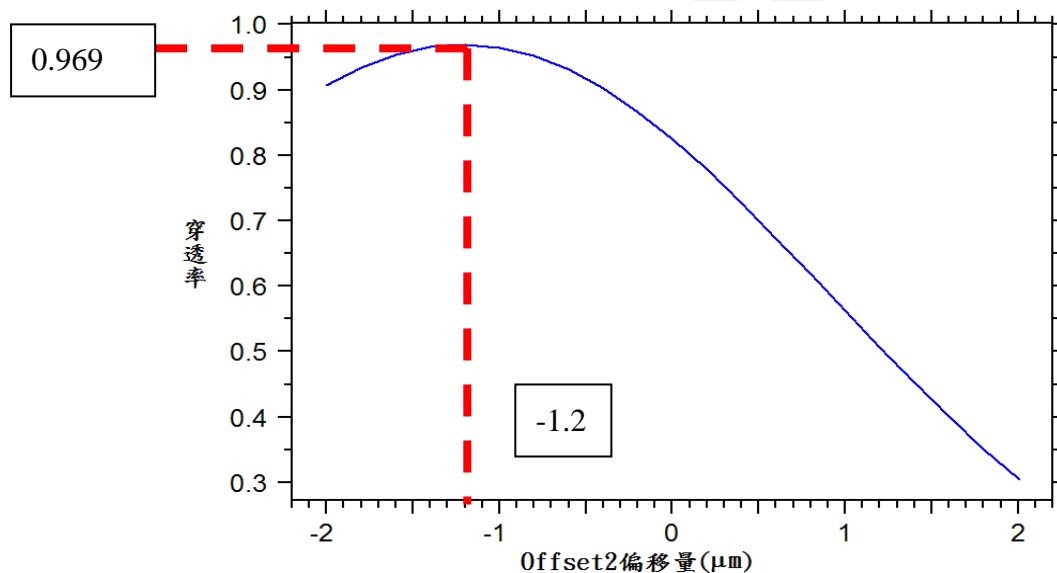
Optimization of S-Bend Waveguide

(三) offset2 為 0 時，offset1 對穿透率的對應圖



圖十三：當 offset2 為 0 時，offset1 對穿透率的對應圖
明顯的可以看出 offset1 為 $0.5\mu\text{m}$ ，最佳穿透率為 0.825。

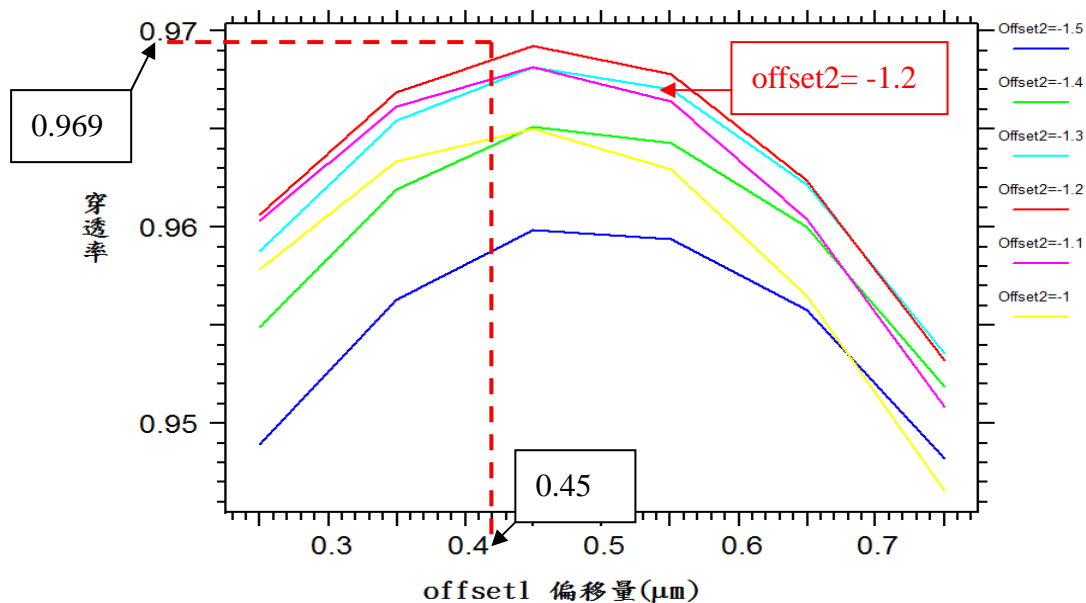
(四) offset1 為 $0.5\mu\text{m}$ 時，offset2 對穿透率的對應圖



圖十四：當 offset1 為 $0.5\mu\text{m}$ 時，offset2 對穿透率的對應圖。明顯的可以看出 offset2 為 $-1.2\mu\text{m}$ ，最佳穿透率為 0.969。

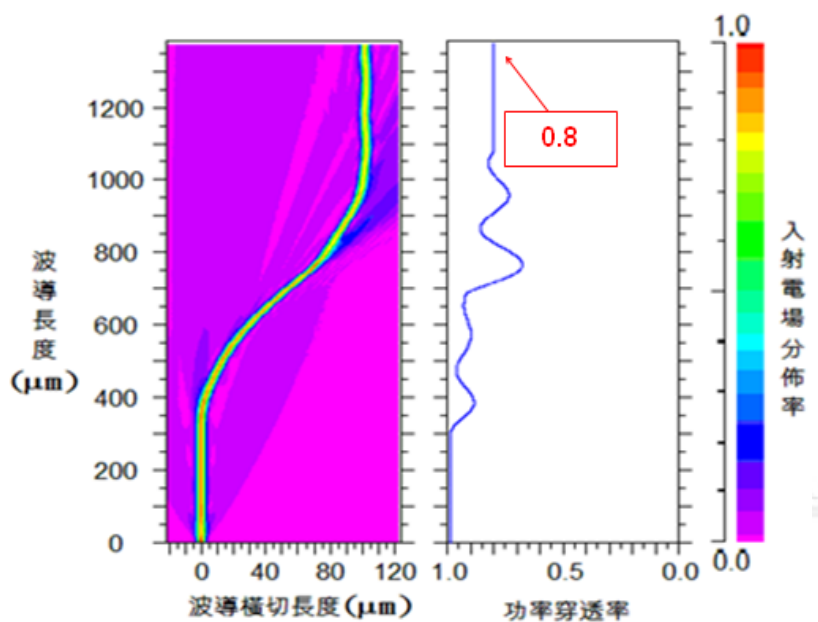
Optimization of S-Bend Waveguide

(四) offset1 為 $0.45\mu\text{m}$ ，offset2 為 $-1.2\mu\text{m}$ 時最佳透射率為 0.969



圖十五：利用 parameter 雙重模擬時，所得到最佳透射率

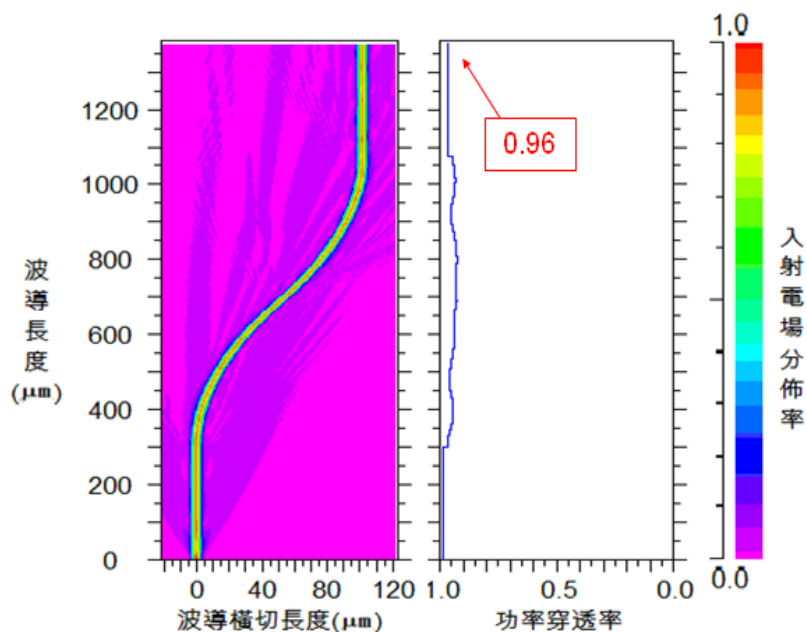
(五) 電場分佈及功率穿透率變化圖 (ContourMap(XZ) 模式)



圖十六：波導功率穿透率隨波導長度變化圖

(此時的 offset1、offset2 都為 0)

Optimization of S-Bend Waveguide



圖十七：波導功率穿透率隨波導長度變化圖。

(此時的 $\text{offset1}=0.45\mu\text{m}$ 、 $\text{offset2}=-1.2\mu\text{m}$)

結論：

參考圖九，當 offset1 和 offset2 的偏移量為 0 時的穿透率為 0.8，當逐漸改變 offset1 和 offset2 偏移量，發現 offset1 和 offset2 的偏移量為 0 (參考圖六與圖七) 時的透射率未必是最佳透射率，可見透射率極有可能是波導間偏移量的函數。此外，圖十三與圖十四波導外有電場分布這是因為波導是彎曲狀態，所以電磁波在介面的入射角未必都是大於臨界角，所以會有波折射出去。經過 parameter 改變 offset1 和 offset2 ，發現 Offset1 為 $-1.2(\mu\text{m})$ ， offset2 為 $0.45(\mu\text{m})$ 時，會有最佳透射率 0.969。

Optimization of S-Bend Waveguide

參考文獻：

- [1] 江信東，「S 型彎曲波導與微米小球共振腔之光耦合效率研究」，國立中央大學光電科學研究所碩士論文，民國九十五年六月。
- [2] Jeff Hecht, "Understanding fiber optics, pearson", prentice Hall, 2006.
- [3] RSoft Des Guideign Group, "BeamPROP 8.1[User]" , Ossining, 1993-2008.

