



National Ilan University

Bulletin of College  
of Engineering  
<http://engineering.niu.edu.tw/main.php>

國立宜蘭大學工程學刊第五期, 65-74 頁, 2009 年 3 月

Bulletin of College of Engineering, National Ilan University, NO. 5, P. 65-74, Mar.. 2009

# 週期性分段波導一對二分光器之設計

葉建男<sup>1</sup> 陸瑞強<sup>2</sup>

1. 國立宜蘭大學電子工程系研究生

2. 國立宜蘭大學電子工程系助理教授

## 摘要

本文使用了週期性分段波導（Periodically segmented waveguides, PSW）幫助模態轉換，藉著降低光波傳輸於模態轉換（Mode transformer）時的插入損耗（Insertion loss）來設計一對二的積體光學分光器。這是由於週期性分段波導可以改變傳播方向折射率的特性，進而使光波能量重新分配，因此用來使漸變（Taper）波導減少輻射損耗。此結構之分光器的傳輸率高並且不需要複雜的製程步驟。

**關鍵詞：**週期性分段波導、分光器、插入損耗。



National Ilan University

國立宜蘭大學工程學刊第五期, 65-74 頁, 2009 年 3 月  
Bulletin of College of Engineering, National Ilan University, NO. 5, P. 65-74, Mar.. 2009

# 1×2 Optical Divider Design Using Periodically Segmented Waveguides

**Chien-Nan Yeh<sup>1</sup> Ruei-Chang Lu<sup>2</sup>**

1. Student, Department of Electronic Engineering, National Ilan University

2. Assistant Professor, Department of Electronic Engineering, National Ilan University

## Abstract

In this letter, we use the periodically segmented waveguides( PSW )to design a  $1\times 2$  optical divider. The periodically segmented waveguides can avail the mode transforming to reduce the insertion loss and taper the refractive index along the propagate direction to redistribute the lightwave energy. Thus, by reducing the radiation loss of taper waveguide, the proposed structure has a high transmission. Furthermore, the proposed technique is simple to implement with a single-step fabrication process.

**Keywords :** periodically segmented waveguides, optical divider, insertion loss.

## 一、 前言

近年來由於網際網路的興起，使得通訊頻寬的需求急劇地增加，傳統以電流傳輸訊號的方法已無法承載高容量訊號，必須要以光波傳輸光訊號以解決頻寬的需求，這個結果因而促進了光通訊技術及積體光學快速地發展。

在積體光學元件中，訊號是經由光波在光波導 (optical waveguides) 中傳送，要將光從單一輸入端分配到多個輸出端時，如何使光能夠均勻分配是非常重要的。為了在光纖通訊網路上達到訊號均勻分配的目的，需使用 $1 \times N$  的分光器；對積體光學而言，分光器則是用來將光訊號分配傳輸到其他元件。而  $1 \times N$  分光器的基本單位是  $1 \times 2$  的Y型分光器，它常被用來作為光功率分配器 (optical power divider)，光開關 (optical switch)，光合成器 (optical recombiner) 等，其主要的結構可分成分岔式分支波導與耦合式分支波導兩大類，而分岔式分支波導又分成兩類，一為對稱式Y型分支波導[1][2]，另一非對稱式Y型分支波導[3]。而為了達到高度積體化，有較高的角度，損耗往往無法避免。

光纖在傳送時的損耗可分為轉彎所造成的彎曲損耗 (Bend Loss)、連接器和光纜間的接續損失 (Splice loss)、光纖的返回損失 (Return loss)、波導和光纖之間的插入損失 (Insertion loss)，而插入損耗在在積體光學中是一個很嚴重的問題，它代表訊號通過元件之後的損耗程度。可能是由於光纖和積體元件之間的錯位 (misalignments)，或積體光學波導和光學光纖之間不同的折射率差所引起的菲涅爾反射 (Fresnel reflection)，或是由積體光學波導和光纖不同的模態尺寸所產生的模態不匹配 (Mode-mismatch) 損耗。

在分光器設計中，模態不匹配損耗的問題可利用漸變波導 (Taper) 解決，漸變波導的功能主要是負責模態尺寸轉換 (Mode-size transformer)，為了在傳波損耗和耦合效率之間達到最佳化，它必須能夠防止散射，並希望以單模態傳播光場，而長度盡可能越短越好；M. H. Hu 等學者，提出在漸變波導使用折射率漸變的方式[4]，它的優點是避免過多的散射及低損耗，不過卻必須增加額外製程

步驟；另有學者提出使用週期性的分段波導設計在銻酸鋰上[5][6]，經由適當變化它的分段比  $R_s$  ( Segmentation rate )，可以改變波導傳波方向的折射率，讓入射波由輸入端到輸出端有較好的的模態匹配，它有適合用在任何材料和波導製造技術的優點。

為了實現高效率和理想的 Y 型分支結構，需要有低的分支損耗，較短的耦合長度和不需要額外的彎曲要素。接下來會先說明本文設計的基本結構，然後是二維的模擬結果，比較當分支角度不同時有何改變，還有解決大角度輸出傳播率的方法。

## 二、 設計

圖 1 所示，為本文所提出的週期性分段波導設計一對二分支電路的二維結構，所有波導都在折射率為  $n_1$  的基底上建構而成，包括折射率  $n_2$  和輸入寬度  $W$  在內的輸出直線波導和輸入直線波導，在中間波導的部份，範圍是從  $Z=0$  到  $Z=L$  區間，分為漸變波導和內部的分段波導，其中漸變波導彎曲角為  $\theta$ ，折射率同為  $n_2$ ；分段波導為間隔交替並且間隔 ( gap )  $\Gamma_s$  逐漸增加，分段波導長度由下列公式決定：

$$\Lambda = W / (N \times \tan \theta) \quad (1)$$

$$\Gamma_s = \Lambda \times S/N \quad S=1, 2 \cdots N-1 \quad (2)$$

其中  $\Lambda$  為分段週期 ( Segmentation period )， $N$  為分段波導週期數。由於有足夠高的分段比，使的波導模式延展開來；同樣的，折射率下降是由於分段導波和周圍平均的結果。

等效折射率會由  $Z=0$  至  $Z=L$  程線性的下降，而分段波導的折射率和漸變波導相同。波導結構左右對稱，且沿著  $z$  軸方向傳播。

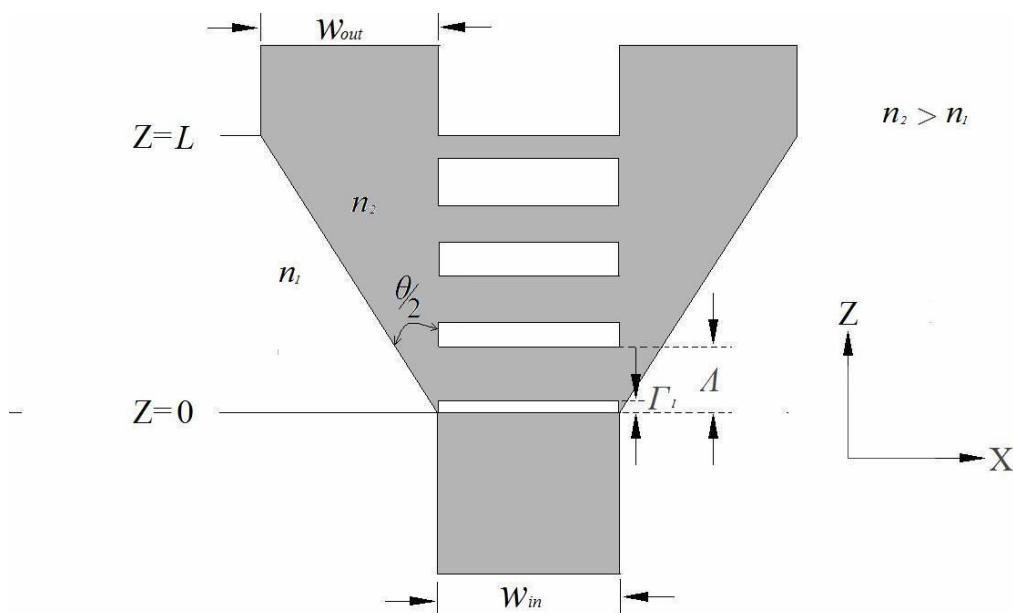


圖 1 本文所提出的 Y 型結構

### 三、模擬

為了得到波導的傳播特性和傳播結構的分支損耗，使用光束傳播法（beam propagation method，BPM）軟體 BeamPROP 來作數值模擬，BeamPROP 是廣泛用於光學元件模擬的軟體，主要由於它有速度快的數值運算，本文設計參數分別為：輸入波導和輸出波導的波導寬度  $W$  為  $3.2 \mu m$ ，基底折射率  $n_1$  為 3.34，折射率差異  $\Delta n (= n_2 - n_1)$  為 0.0121，入射波長  $\lambda$  為  $1.3 \mu m$ ，共有 20 段分段波導週期數，有關的參數如表 1。

表 1：模擬參數

參數名稱	設定值
輸入波導和輸出波導的波導寬度 ( $W$ )	$3.2 \mu m$
基底折射率 ( $n_l$ )	3.34
折射率差異 ( $\Delta n$ )	0.0121
入射波長 ( $\lambda$ )	$1.3 \mu m$

一般而言，漸變波導必須要有足夠小的分支角，才不會有過多的損耗，才能保證模態發展時能夠隔絕散射，使輸出能夠得到單一模態 ( Single-mode )，得到較高的傳輸比。為了能近一步了解它的各種變化，首先模擬角度改變時，相對於輸出的傳輸比率。如圖 2 所示，在傳統 Y 分支波導結構，當半分支角低於  $1.25^\circ$  時，總傳輸率會呈現明顯的下降，這是因為模態受到不同程度的破壞，而當半分支角度為  $1^\circ$  時，大約會有 79% 的總傳輸率會成為基本模態，剩下約 30% 的總傳輸率會轉換成高階模態，1% 的總傳輸率則會散射。不過在使用漸變分段波導後，在  $1^\circ$  的小角度時，模態比較不會受到破壞，輸出功率明顯的增加，大概只有 3% 會轉換成高階模態，1% 的總傳輸率會散射。這是因為漸變分段波導改變了波導折射率，使得模態能夠匹配，防止了散射的發生。

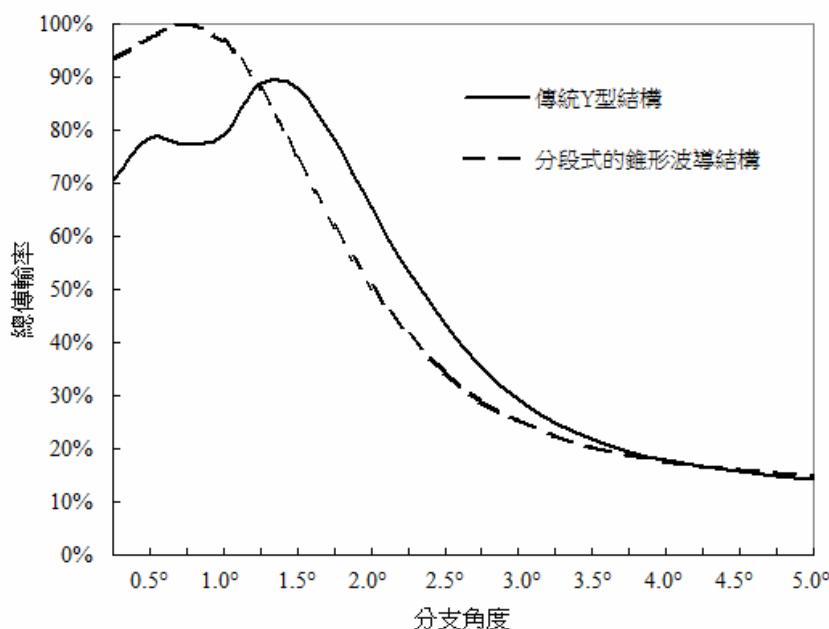


圖 2 分支角度改變時的總傳輸率

高性能的分支波導歸因於使用了高效能的分離區，在小角度時，要成為基本模態且功率損失不高於  $10^\circ$ ，傳統的 Y 分支波導結構是辦不到的，本文提出的方法在  $\theta \sim 1.25^\circ$  時，總傳輸率均可達 90%以上，遠優於傳統 Y 分支結構，並且傳播模態不會受到破壞。經由圖 3 (a)、(b) 的模擬可更清楚呈現此一特性，圖 3 (a)、(b) 分別顯示在分支角為  $0.75^\circ$  下，傳統 Y 型結構和週期性分段波導的場形分佈；當光場經過漸變波段時，傳統 Y 型結構的模態轉換會產生比較劇烈的震盪，如果是週期性分段波導結構，當光場經過中間的分段波導區則會比較平緩，可得到較理想的模態轉換。而圖 3 (c)、(d) 分別顯示傳統 Y 型結構和週期性分段波導的光場分佈；可發現當使用週期性分段波導時，散射相對比較不明顯，光束在波導內有比較好的傳播，能讓光侷限在其中傳遞。不過當角度在  $1.25^\circ \sim 3.5^\circ$  時，傳統 Y 型結構的傳輸率會比分段式錐形波導結構好，惟此時傳輸率已低，並不實用。

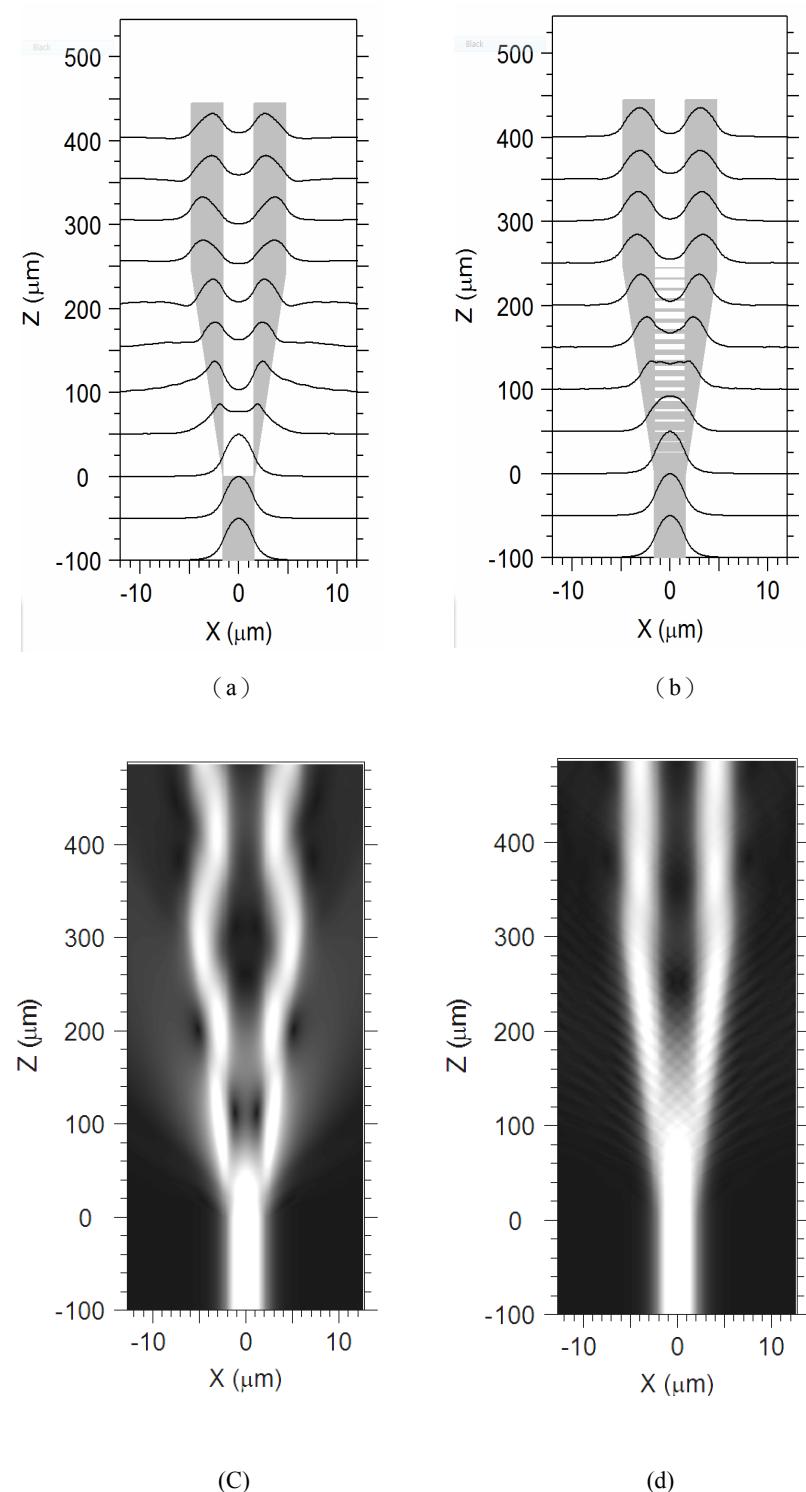
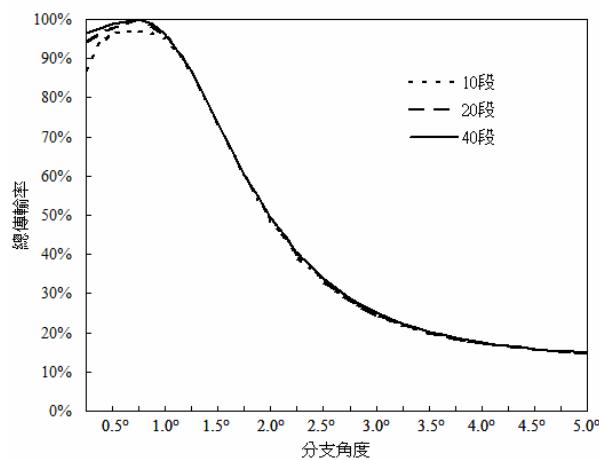
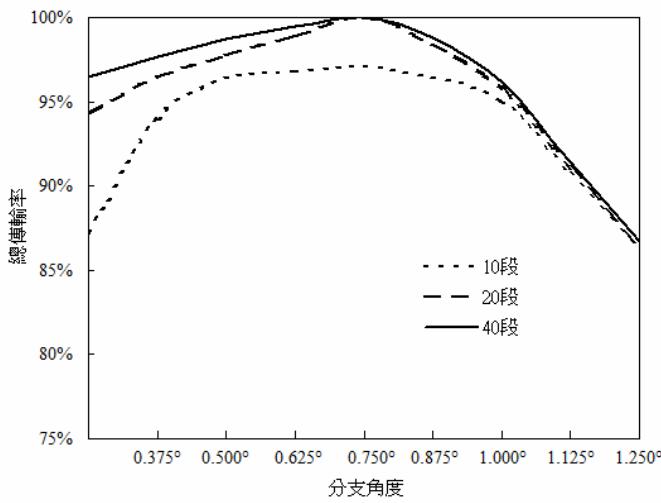


圖 3 (a)、3 (b) 分別表示傳統 Y 型結構和週期性分段波導的場形分佈；  
圖 3 (c)、3 (d) 分別為傳統 Y 型結構和週期性分段波導的光場強度分佈。

接著探討當分段波導週期數不同時的總傳輸率，如圖 4 (a) 所示，可發現在大角度時 ( $>1^\circ$ ) 總傳輸率幾乎完全相同，不過在小角度時 ( $<1^\circ$ )，經由圖 4 (b) 所示  $0.25^\circ \sim 1.25^\circ$  區間的總傳輸率，可得到若使用 40 段的分段波導週期數可比 10 段的分段波導週期數平均提高約 5% 的總傳輸率，也可比 20 段的分段波導週期數提高約 1% 的總傳輸率，這就表示段數越多可以使漸變折射率的特性更加明顯，並減少過多的損耗，因而獲得較高的總傳輸率，不過當使用較高的分段波導週期數時，製程困難度也會相對的提高，這是需要去衡量的，所以在製程上不需太小的波導間隔，則有比較容易的製程。



(a)



(b)

圖 4 (a) 表示當分段波導週期數不同時的總傳輸率。

圖 4 (b) 顯示  $0.25^\circ \sim 1.25^\circ$  區間的總傳輸率。

## 四、結論

本論文針對光傳播時產生的插入損耗進行探討，我們使用週期性分段波導，解決損耗和小角度模態破壞的問題，對於傳統Y型結構的總傳輸率最多可得到近25%的提升，且可用較簡單的製程步驟完成。

## 參考文獻

- [1] P. S. Chung, H. P. Chan, E. Y. B. Pun, October 1990, “Novel design of integrated optical beam splitters using symmetric Y-branch structures”, *IEE Proceedings*, Vol. 137 , No. 5, pp. 340-344.
- [2] H. P. Chan, S. Y. Cheng and P. S. Chung, March 1996, “Low loss wide-angle symmetric Y-branch waveguide”, *Electronics Letters*, Vol. 32, No. 7, pp. 652-654.
- [3] Han-Bin Lin, Jung-Young Su, Rei-Shin Cheng, and Way-Seen Wang, July 1999, “Novel Optical Single-Mode Asymmetric –Branches for Variable Power Splitting” *IEEE Journal Of Quantum Electronics*, Vol. 35, No. 7, pp. 1092-1096.
- [4] M. H. Hu, J. Z. Huang, R. Scarmozzino, M. Levy, and R. M. Osgood, February 1997, “A Low-Loss and Compact Waveguide Y-Branch Using Refractive-Index Tapering” *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 9, No. 2, pp. 203-205.
- [5] SDavide Castaldini, Paolo Bassi, Sorin Tascu, Pierre Aschieri, Marc P. De Micheli, and Pascal Baldi, June 2007, “soft-Proton-Exchange Tapers for Low Insertion-Loss LiNbO<sub>3</sub> Devices” *Journal Of Lightwave Technology*, Vol. 25, No. 6, pp. 1588-1593.
- [6] Z. Weissman and A. Hardy, July 1992, “2-D Mode Tapering Via Tapered Channel Waveguide Segmentation” *Electronics Letters*, Vol. 28, No. 16, pp. 1514-1515.