

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

大角度光極化分離器之研製(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2215-E-002-009-

執行期間：92年08月01日至93年10月31日

執行單位：國立臺灣大學電子工程學研究所

計畫主持人：王維新

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 6 月 10 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

大角度光極化分離器之研製(2/3)

Design and Fabrication of Wide-Angle Polarization Splitter (2/3)

計畫編號：NSC 92-2215-E-002-009

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：王維新 國立台灣大學電子工程學研究所

一、中文摘要

本計畫採用鋅鎳擴散式鋰酸鋳光波導技術，成功製作出一非對稱式 Y 形結構可適用在 $1.55\mu\text{m}$ 波長光源的大角度光極化分離器；並且利用對稱式 Y 形分岔結構，分別成功製作出適用在 $1.55\mu\text{m}$ 及 $0.6328\mu\text{m}$ 兩種波長光源之大角度光功率分離器。在光極化分離器部份，亦即藉由控制鋅鎳波導製程條件來單導特定極化方向的光，將輸入訊號中不同極化方向的光分開。本計畫內容除了延續以往之研究成果外，並將本實驗室提出的簡式同調耦合型彎曲結構應用在元件製作上，使得兩分支光波導距離可達到 $195\mu\text{m}$ 。此外，本計畫也首次利用鋅鎳波導配合簡式同調耦合彎曲結構製作大角度光功率分離器，不僅使元件擁有高傳輸率，更大幅減小元件所佔面積，符合現今對元件高度積體化之需求。

關鍵詞：鋰酸鋳，簡式同調耦合型彎曲結構，大角度光極化分離器，大角度光功率分離器

Abstract

Wide-angle optical polarization splitter, operating at $1.55\mu\text{m}$ wavelength, with an asymmetric Y-branch waveguide made by Zn and Ni co-diffusion LiNbO_3 is successfully fabricated. For comparison, optical power splitters based on symmetric Y-branch operating at both $1.55\mu\text{m}$ and $0.6328\mu\text{m}$ are also fabricated. The measured results show high transmission efficiencies can be obtained. In particular, the process-dependent guiding property of Zn/Ni co-diffusion LiNbO_3 waveguides and simplified coherently-coupled waveguide segments are utilized for polarization splitting and wide-angle bending, respectively. Those are the first demonstration of both wide-angle polarization and efficient power splitting using Zn/Ni co-diffusion LiNbO_3 waveguide. Experimental results show flexible control of waveguide polarization properties is possible and significant reduction of the device length for high packaging density becomes feasible.

Keywords: Lithium niobate, simplified coherently-coupled segment, wide angle polarization splitter, wide-angle power splitter

二、計畫緣由與目的

光極化分離器在積體光學元件中，扮演一個非常重要的角色。其主要功能為將輸入訊號中不同極化方向的光分開，以避免極化色散的問題。本實驗室投入許多心力在光極化分離器方面的研究，以往曾使用鋅鎳擴散式鋇酸鋰光波導製作出光極化分離器，順利改善鋅鎳擴散式光波導光場侷限性不佳、輸出光場場形不完整之缺點。但由於其分岔角度不大，若欲與光纖進行連接，元件將變得很長，使得同一晶片上元件密度變低。因此本實驗室近年來改變傳統同調耦合彎曲結構[1]-[4]，提出簡式同調耦合彎曲結構[5]，並藉此製作出大角度光極化分離器。其中普極化分支的直波導以鋅鎳擴散製成，非普極化分支的彎曲光波導則以退火式質子交換法製作。但由於鋅鎳擴散式光波導有著上述之缺點，因此本計畫之目的即是利用鋅鎳擴散式鋇酸鋰光波導，配合簡式同調耦合彎曲結構，製作大角度光極化分離器，期能獲得較佳之光場侷限性及輸出模態場形，並同時縮短以往鋅鎳擴散式光極化分離器之整體長度。

由於其結構屬於非對稱式 Y 形分岔結構(如圖一所示)，此種結構將會提高兩分支光波導之輸出不均勻率。因此本計畫另一目的即是製作鋅鎳擴散對稱式大角度 Y 形分岔光波導(如圖二所示)，相信未來若應用在光極化分離器之製作上，將可以解決兩分支光波導輸出不均勻之問題，且元件在相同長度下，分岔角度也會較大。

三、元件設計

圖一所示為本計畫提出之大角度光極化分離器結構設計圖。其中非普極化光的分支使用簡式同調耦合型彎曲結構來製作。前段之 Y 形分岔光極化分離器的原理乃基於 Yajima 提出的模態檢選效應[6]，即輸入端有不同模態進入時，在分岔的部份會選擇傳播常數較相近的分支模態繼續傳播。由於鋅鎳擴散式光波導可藉由改變製程條件來單導特定極化方向的光，因此能製作出 Y 形分岔光極化分離器。圖中， L_I 用於模態篩選效應， L_C 為同調耦合長度， L_B 為反轉緩衝長度， W 為波導寬度。轉彎角度包括兩部份，前端用於模態篩選效應，設計角度為 0.5° ，之後轉彎角度依序為 3° 、 4° 、 3° 、 1° 。將設計好的彎曲光波導部份與直波導作整合，即完成光極化分離器之設計。

圖二所示為本計畫提出之大角度光功率分離器結構設計圖。其結構為一對稱式 Y 形分岔光波導，主要分成前段的分岔部份及後段的彎曲部份(即簡式同調耦合彎曲結構)， L_Y 為分岔長度， L_C 為同調耦合長度， L_B 為反轉緩衝長度， W 為波導寬度。由於光在分岔部份所面對的並不是單純的彎曲結構，而是一個分光的結構，所以它的傳播行為不再是由同調耦合效應所描述。因此除了找到適合的同調耦合長度之外，還必須設計適當的第一段分岔長度，才能製作出理想的光功率分離器。

圖五為其輸出光場圖。

四、實驗結果與討論

本計畫提出之大角度光極化分離器元件架構，主要分為三部份：第一部份為輸入端，同時導通 TE/TM 光；第二部份為 TE 輸出分支，單導 TE 極化光；第三部份為 TM 輸出分支，單導 TM 極化光。首先以直波導作條件測試，找出極化單導之製程條件，結果如表一所示。有關光極化分離器之製程步驟如圖三所示，過程中經過兩次曝光顯影及高溫擴散。首先製作輸入端及 TE 分支，並使用熔點較高的鉻作為對準金屬，以利於 TM 分支的製作。經由實驗順利找出最佳的元件參數如表二所示。最後對光極化分離器進行特性量測，其輸出光場場形如圖四所示，由圖中可發現其光場侷限性佳，輸出模態也很完整。在訊熄比方面，TM 方向為 19.72dB，TE 方向為 22.74dB，這是目前在 1.55 μm 波長下所得到非常好的結果。

在大角度光功率分離器部份，表三所示為分別在 1.55 μm 及 0.6328 μm 波長下，最適用於元件的光波導製程條件。接下來分別針對兩種波長，找出適當的同調耦合長度，進而應用在光功率分離器之製作。最後以模擬方式搭配實驗找出適當的第一段分岔長度，即完成元件參數之尋找。本計畫分別製作之大角度光功率分離器在兩種波長下之元件參數如表四所示。經由光功率量測，與相同製程條件之直波導傳輸功率相較之下，其傳輸率在 1.55 μm 及 0.6328 μm 波長下分別可達 84.61% 及 86.35%。而兩分支光波導輸出不均勻率分別僅 0.23dB 及 0.3dB。

五、計畫成果自評

本計畫利用鋅鎳擴散式鋰酸鋰光波導，配合簡式同調耦合彎曲結構，成功製作出適用在 1.55 μm 波長的大角度光極化分離器。其不僅光場侷限性佳，輸出場形完整，而且兩分支光波導距離達到 195 μm ，更擁有實用階段之極化分離訊熄比。另外本計畫也分別成功製作出適用在 1.55 μm 及 0.6328 μm 兩種波長之對稱式大角度光功率分離器。其不僅擁有高傳輸率，更大幅縮短元件整體長度。本研究結果有效提升光波導結構之製程技術，且設計簡單，具有商業應用價值。

六、參考文獻

- [1] L. M. Johnson, and D. Yap, "Theoretical Analysis of Coherently Coupled Waveguide Bends," *Appl. Opt.*, vol.23, pp.2988-2990, 1984.
- [2] L. M. Johnson and F. J. Leonberger, "Low-loss LiNbO₃ Waveguide Bends with Coherent Coupling," *Opt. Soc. Am.*, vol.8, pp.111-113, 1983.
- [3] H. F. Taylor, "Power Loss at Directional Change in Dielectric Waveguides," *Appl. Opt.*, vol.13, pp.642-647, 1974.
- [4] H. F. Taylor, "Losses at Corner Bends in Dielectric Waveguides," *Appl. Opt.*, vol.16, pp.711-716, 1977.
- [5] J. J. Su and W. S. Wang, "Novel Coherently-coupled Multi-sectional Bending Optical Waveguide," *IEEE Photo. Tech. Letts.*, vol.14, pp.1112-1114, 2002.
- [6] H. Yajima, "Dielectric Thin-film Optical Branching Waveguide," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 22, no. 12, pp. 647-649, June 1973

表一 單導極化光波導之製程條件

極化	波導寬度	鋅/鎳厚度	擴散溫度	擴散時間
TE/TM	8 μm	1900/200 \AA	950	100min
TM	8 μm	650/200 \AA	850	90min
TE	8 μm	460/200 \AA	950	100min

表二 大角度光極化分離器之元件參數

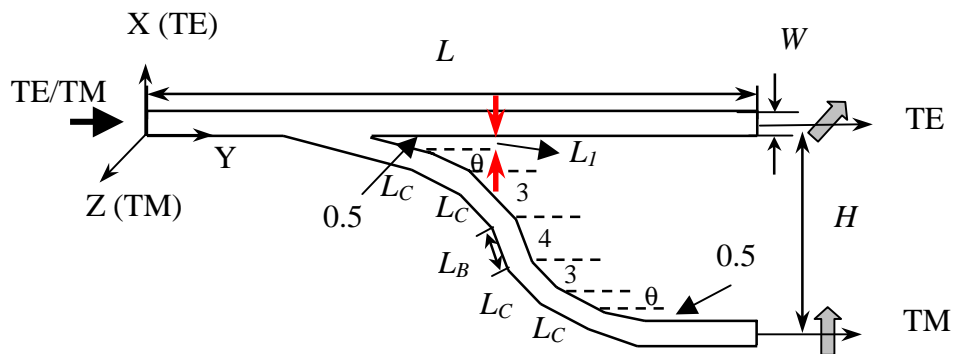
L_I	同調耦合長度 (L_C)	反轉緩衝長度 (L_B)	兩分支光波導距離 (H)	元件總長度 (L)
35 μm	350 μm	1000 μm	195 μm	15000 μm

表三 兩種波長下，光波導製程條件之比較

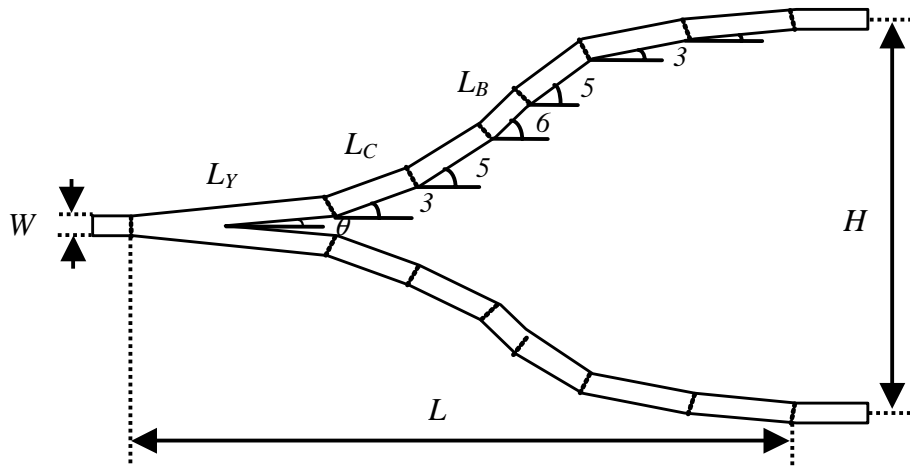
波長	波導寬度	鋅金屬厚度	鎳金屬厚度	擴散溫度	擴散時間
1.55 μm	9 μm	720 \AA	180 \AA	850 $^{\circ}\text{C}$	90 min
0.6328 μm	4 μm	720 \AA	180 \AA	800 $^{\circ}\text{C}$	60 min

表四 不同波長下，大角度光功率分離器之元件參數

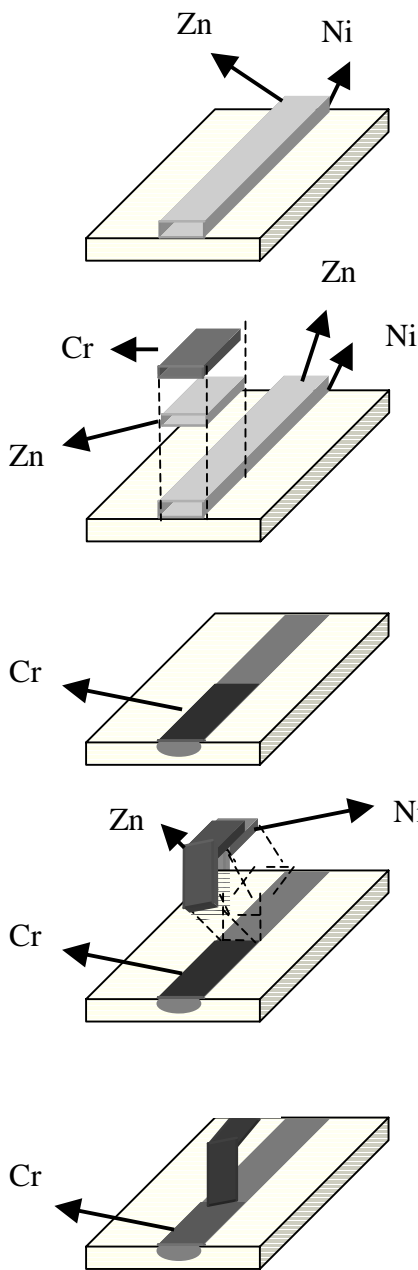
	分岔長度	同調耦合 長度(L_C)	反轉緩衝 長度(L_B)	兩分支光波導 距離(H)	元件 總長度(L)	彎曲波導 最大轉角
1.55 μm	870 μm	350 μm	50 μm	125 μm	2669 μm	6 ($=0.5^{\circ}$)
0.6328 μm	280 μm	140 μm	50 μm	103 μm	1028 μm	6 ($=1^{\circ}$)



圖一 大角度光極化分離器結構設計圖



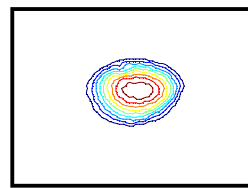
圖二 大角度光功率分離器結構設計圖



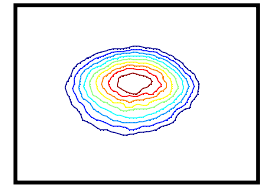
圖三 光極化分離器之製程步驟



(a)

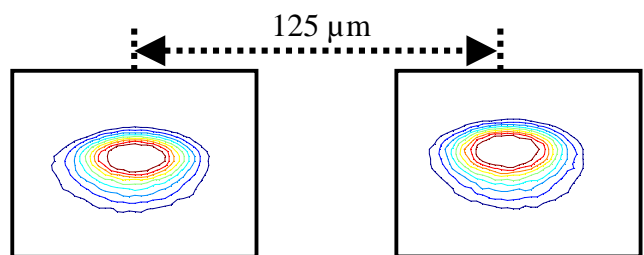


(b)

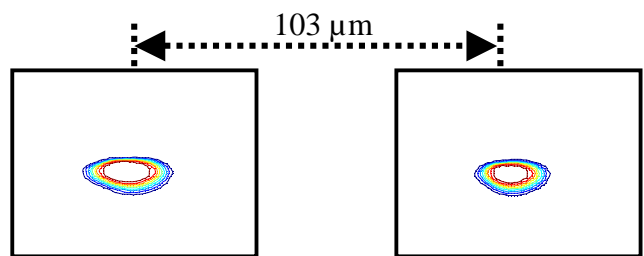


(c)

圖四 光極化分離器輸出光場圖 (a)光場全圖 (b)TM 分支(c)TE 分支



(a)



(b)

圖五 光功率分離器輸出光場圖 (a) 1.55 μm (b) 0.6328 μm