

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

積體化微稜鏡在鈮酸鋰光波導元件之應用研究(3/3)

Application of Integrated Microprism on Lithium Niobate Waveguide Devices (3/3)

計畫編號：NSC 90-2215-E-002-018

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：王維新 國立台灣大學光電工程研究所

一、中文摘要

本計畫之目的是將高傳輸率的大角度 Y 形光波導應用到馬赫任德干涉器，以縮短整個元件的長度。大角度光波導係採用退火式質子交換法製作，特點是採用本實驗室最近發表的簡式同調多段耦合彎曲波導結構。每一彎曲小段先轉 2° ，結果顯示 Y 形張角可在短距離內達到 12° ，使得後續製作之馬赫任德干涉器長度可以大幅縮短。因此採用本項成果可提高元件在基板上的密度，這對光電元件之積體化設計與製造，極有助益。

關鍵詞：鈮酸鋰，大角度 Y 形光波導，退火式質子交換，馬赫任德干涉器

Abstract

The purpose of this work is to improve the design of wide-angle Y-branch optical waveguide such that the total length of a Mach-Zehnder interferometer can be reduced. The annealed proton exchange (APE) waveguide with a simplified coherently-coupled multi-sectional bending structure is used for the

Y-branch waveguide. The guided light can be turned at an angle of 2° at each corner. Experimental results show that substantial reduction in device length yet with high transmission efficiency has been obtained. The Y-branch angle can be extended to as large as 12° . These results are useful for the design and fabrication of the integrated optical waveguide devices.

Keywords: Lithium niobate, wide-angle Y-branch waveguide, annealed proton exchange, and Mach-Zehnder interferometer

二、計畫緣由與目的

Y 形光波導是光纖通信網路中常用的元件，其扮演的角色通常是功率分離器、極化分離器，亦可應用在馬赫任德干涉器等。為了減少光損耗，Y 形光波導的張角通常限制在小於 1° 左右。如此則元件變得很狹長，浪費許多可作其他用途的面積，同時也使元

件積體化密度變低。因此製作低損耗的大角度 Y 形光波導極具關鍵性。

本計畫是之目的是將本實驗室從前研發之大角度 Y 形光波導應用在馬赫任德干涉器之製作上，以縮短其整體長度。大角度彎曲係採用微稜鏡之原理製作。鈦酸鋰微積體化微稜鏡有高折射率和低折射率兩種，高折射率微稜鏡是利用質子交換法製作，面積小，但損耗大。低折射率微稜鏡則是通常利用基板來代替，因其折射率低於光波導之折射率，如此則只需設計波導圖形即等於製作微稜鏡，面積稍大但損耗則較小。在本研究中發現若將同調耦合多段彎曲結構應用在退火式質子交換波導，其功能就如同在波導轉彎處放置一連串的基板微稜鏡使光做每次約 $1\sim 2^\circ$ 的多次轉彎，因此整個波導結構之傳輸損耗可以變得很小。若再配合本實驗室最近發表的簡式同調多段耦合彎曲波導結構，則在縮短長度和增加傳輸率會同時有大幅改善，Y 形張角更可大到 12° ，因此後續製作的馬赫任德干涉器可縮短長度。利用本項成果可提高積體光學元件在基板上的密度，這對積體光學元件之設計與製造上極有助益。

本計畫所用之簡式同調耦合多段彎曲波導原理說明如圖一(a)所示。當光經過一小段耦合長度的距離後，輻射模態會耦合回導光模態而增加傳輸率。同時光場的等相位面會垂直於下一小段波導。此機制就如同稜鏡使外側光場減速，而讓內側光場加速趕上，使光場的行進方向平行於下一小段波導的方向。因此多段彎曲結構，只要在適當的長度設計下，每一小段彎曲波導結構，可視為是一個基板微

稜鏡，而整個結構則如同由許多基板微稜鏡組成的。但一般利用質子交換法製成的高折射率微稜鏡則需要兩次微影技術，且第二次的曝光需仰賴精準的光罩對準技術才能將波導正確放入微稜鏡中，製作過程較為複雜。本研究所提之簡式同調多段彎曲波導結構，只需要做一次微影技術，且沒有微稜鏡和波導的對準問題，製程比用質子交換法製造微稜鏡容易得多，應用在大角度的 Y 形分差結構和馬赫任德干涉器更是適合。

三、結果與討論

本研究所提之多段彎曲結構是根據同調耦合原理簡化而設計的。同調耦合原理係由 Taylor 和 Johnson [2]-[5] 所提出的。當波導每次轉一固定角度，且每一段波導長度一樣，在經過第一彎曲時，光的等相位面會出現振盪現象。此種振盪現象係由導光模態和在轉角處所激發出之輻射模態有不同的傳播常數所造成。經過一段適當的距離後，兩者會產生建設性干涉使得傳輸率達到最大，且光的等相位面會垂直於下一小段彎曲波導，即相當於是垂直入射，所以光在此段波導中不會振盪的，因而對傳輸率亦不會造成影響。而根據此原理組成之多段彎曲波導如圖一(a)所示。所謂適當長度即 Taylor 所提出的同調耦合長度如下式：

$$L_c = 2m\lambda / (N_{eff} - N_{eff,R}) \quad (1)$$

式中 λ 為操作波長， N_{eff} 為基本模態的等效折射率， $N_{eff,R}$ 為輻射模態的等效加權平均折射率。本計畫則利用簡式

同調耦合之彎曲結構如圖一(b)所示[6][7]，即將光相位不會振盪的波導分段省略，而直接下一小段彎曲波導，所以會有大約相同的傳輸率但長度卻只有原結構的一半，適合積體化的應用。但如應用到 Y 形光波導，則尚須考慮第一段分岔之長度。因為此段係由基本導光模態變成第一導光模態，所以長度也較同調耦合長度長。就不同長度而言，傳輸率會有差別。根據模擬，當此段長度為 $160\mu\text{m}$ 時，會有最大傳輸率 84%。利用此結構，本計畫提出的大角度 Y 形光波導如圖二所示，大角度馬赫任德干涉器如圖三所示。製作流程則是利用微影技術將波導圖案轉移至晶片上。再將金屬鈦鍍上去作為質子交換遮罩。質子交換過程為 190°C ，1 小時，接著利用硫酸將金屬鈦祛除，並進行高溫退火： 360°C ，2.5 小時。再經過拋光，即可量測。

量測裝置使用氬氫雷射(波長為 $0.6328\mu\text{m}$)作為光源。測量結果顯示，當 Y 形光波導張角為 6° 時，傳輸率為 74%。傳統 Y 形光波導，張角最高僅可達 1° 。進一步增加時，傳輸率將低於 50%。兩者相比較，本計畫在傳輸率有很大改進，可有效提昇大角度 Y 形光波導的應用。就馬赫任德干涉器而言，傳輸率可達 50%。就相同角度而言，傳統馬赫任德干涉器的傳輸率幾接近於 0，改善效果極為明顯。

四、計畫成果自評

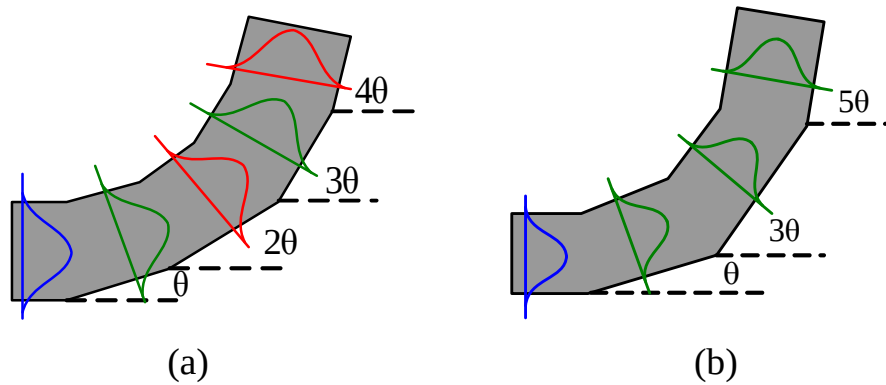
本研究結果已圓滿達成原計畫的預期目標，完成製作大角度馬赫任德干涉器，改良傳統馬赫任德干涉器在大角

度時傳輸率損耗甚高之缺失，且設計、製作容易。而提出的大角度 Y 形光波導將可用於其他具有 Y 形結構的元件如：耦合器、功率分離器等，具有商業應用價值。本計畫有效提升光波導結構的製作技術，提供未來在製作光通訊元件時更多和更佳的选择，成效屬優良。

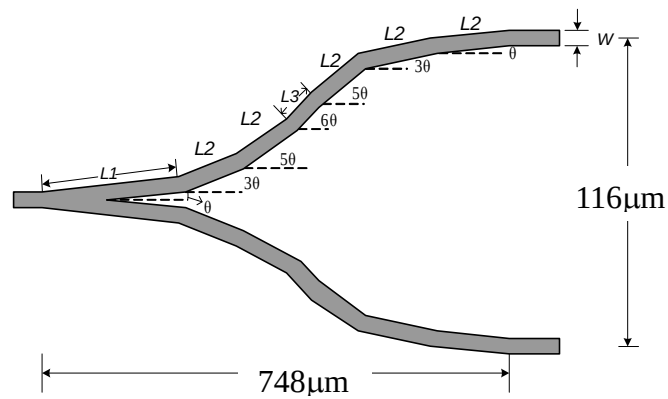
五、參考文獻

- [1] J. M. Hsu and C. T. Lee, "Systematic design of novel wide-angle low-loss symmetric Y-junction waveguides," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 34, no. 4, pp. 673-679, 1998.
- [2] H. F. Taylor, "Power loss at directional change in dielectric waveguides," *Appl. Opt.*, vol.13, pp.642-647, 1977.
- [3] H. F. Taylor, "Losses at corner bends in dielectric waveguides," *Appl. Opt.*, vol.16, pp.711-716, 1977.
- [4] L. M. Johnson, and D. Yap, "Theoretical analysis of coherently coupled waveguide bends," *Appl. Opt.*, vol.23, pp.2988-2990, 1984.
- [5] L. M. Johnson and F. J. Leonberger, "Low-loss LiNbO_3 waveguide bends with coherent coupling," *Opt. Soc. Am.*, vol.8, pp.111-113, 1983.
- [6] 蘇振嘉, "同調耦合型彎曲波導之研製," 國立台灣大學電機工程學研究所碩士論文, 2001.
- [7] J. J. Su and W. S. Wang, "Novel coherently-coupled multi-sectional

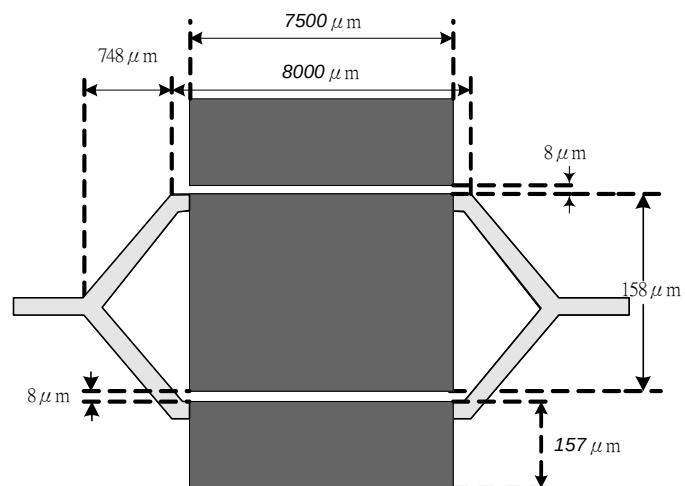
bending optical waveguide,” *Photo. Tech. Letts.*, pp.1112-1114, 2002.



圖一 同調耦合多段式彎曲結構(a)傳統的(b)本計畫的簡式結構



圖二 本計畫提出的大角度 Y 形光波導



圖三 本計畫提出的大角度馬赫任德干涉器，前後兩端係採用本計畫

提出的大角度 Y 形光波導結構