

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

鈮酸鋰光波導元件人才培育計畫

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2622-E-002-023-CC3

執行期間：91年06月01日至92年05月31日

執行單位：國立臺灣大學電機工程學系暨研究所

計畫主持人：王維新

計畫參與人員：倪其鈺、王統弘

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 92 年 7 月 31 日

國科會補助提升產業技術及人才培育研究計畫成果精簡報告

學門領域：光電學門

計畫名稱：銻酸鋰光波導元件人才培育計畫

計畫編號：NSC91-2622-E-002-023-CC3

執行期間：91年6月1日至92年5月31日

執行單位：國立台灣大學電機工程學系

主持人：王維新

參與學生：倪其鈺、王統弘

姓名	年級 (大學部、碩士班、博士班)	已發表論文或已申請之專利 (含大學部專題研究論文、碩博士論文)	工作內容
倪其鈺	碩士班	大角度同調耦合 Y-形分岔光波導的研究	1.三種基本光波導之製程實習 2.光學量測之實習 3.彙整重點成果
王統弘	碩士班	簡式同調耦合光功率分離器之研製	1.製作三種基本光波導製程講義及光學量測訓練用課程講義 2.協助拍攝和編輯光波導製程以及光學量測教學光碟 3.收集研究用之相關資料

合作企業簡介

合作企業名稱：格致科技股份有限公司

計畫聯絡人：陳善明

資本額：壹千萬

產品簡介：光電儀器、產品、醫療器材之研究、開發、測試、銷售

電話：(03) 553-9500

研究摘要：

由於積體光學逐漸成為現今光通訊網路中相當重要的概念，本計畫之目的在將積體光學之重點技術製作成訓練用的講義和影片。訓練內容包含四個部分，分別為光波導製程技術、光波導量測技術、光調變器基本原理和實作及濕式蝕刻技術。

藉由實作與基本原理的配合，本計畫的執行成果提供了一種相當方便且實際的技術移轉方式，並且也充分驗證了學術研究與產業實務結合的可行性。藉由積體光學的基本訓練將有助於光通訊元件的發展。

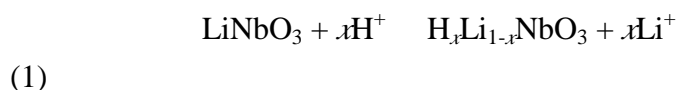
人才培育成果說明：

經過本計畫的執行，在光波導製程技術轉移的部分，已授予研究人員完整的製程訓練，其中包含了三種不同型式光波導的製作方式和經驗傳承。三種光波導分別為鈦擴散光波導、質子交換光波導、和脊形結構光波導。在光學量測的部分，受訓人員已能獨立操作各項量測設備，並且解讀量測到的光場場型所代表的物理意義及導光特性。在光調變器的部分，受訓人員對於整個光調變器的基本原理、設計模擬、和實作皆已具備相當程度的認識與瞭解，並且能製作出一調變電壓僅需 5V 的光開關。

技術研發成果說明：

基本光波導的製程訓練包含鈦擴散、質子交換、和脊形導等三種光波導。首先就鈦擴散光波導作一說明。鈦擴散光波導係利用鈦為擴散源所製成的光波導，其所產生的折射率差約為 10^{-2} 至 10^{-3} 左右，並且同時增加普極化及非普極化折射率，因此能導通兩個極化方向的光。其好處為低傳播損耗(約 0.2dB/cm)，並且鈮酸鋰原本的電光係數通常不會降低，同時鈦擴散光波導的折射率模型已建立完整，因此為元件設計提供一個可靠的參考。一般而言，鈦擴散光波導的製程溫度通常在 1000°C 以上，並且擴散時間亦不短，因此必須藉由特殊的製程處理來抑制鋰離子外擴散的情況發生，以確保通道式光波導的導光特性不會被鋰離子外擴散所形成的平面式光波導所影響。

接著說明質子交換光波導。利用酸源中的氫離子置換部分鈮酸鋰中的鋰離子而形成的光波導，稱為質子交換光波導，其化學反應式為：



其中 x 值與所使用的酸源有關，酸性愈強的酸源所對應的 x 值愈接近 1，然

而這也代表鈮酸鋰晶格的破壞愈嚴重。一般常用的酸源為苯甲酸、磷酸及焦磷酸，其中又以苯甲酸最常被使用。一般而言，質子交換光波導具有以下幾種特性：

1. 非普極化方向折射率差大，可達 0.12 左右，且呈階梯狀分佈。
2. 折射率變化為非等向性，因此只能導單極化光，在元件設計時不需要考慮兩種極化光之交互作用所可能產生的問題。
3. 折射率分佈不穩定。
4. 製程溫度遠低於金屬擴散式光波導。一般而言，交換溫度大約在 200°C 附近，因此沒有鋰離子外擴散的問題。
5. 比鈦擴散光波導擁有較佳的抗光折效應，因此適合應用於非線性元件。
6. 光傳播損耗大。
7. 電光係數及非線性係數下降。

為了改善質子交換的缺點，必須在完成質子交換後再進行高溫退火。在適當的條件選擇下，將可以使電光係數回復至 95% 以上，傳播損耗降低為 0.3dB/cm，而且表面非普極化方向的折射率差仍可達 0.02。

最後說明脊形結構光波導：一般而言，相較於平面式的通道調變器，脊形結構可以使光場更加集中，因此顯出較高的調變效率，增加高頻操作的可能性。此外，脊形結構光波導尚有多項優點，歸納如下：

1. 改善光波與微波間相位速度不匹配的問題：因為微波所見到的等效折射率會略大於光波所見到的折射率，所以在製作高頻元件時會有問題。脊形結構是降低微波所見折射率的一種方法，它不但改善了相位速度不匹配的問題，更有增大操作頻寬，降低電壓的好處。
2. 抑制相鄰光波導之間的耦合：將光波導製作於脊形結構上，可以提升導光區域與非導光區域之間的折射率差，如此一來將使得光場更加集中於導光區域，兩波導間的耦合大幅下降，可減少波導之間所需要的間隔，由於光波導之間的距離下降，在同樣的面積內可容納更多的波導。
3. 增加光場與外加電場之間的重疊積分：對於利用外加電場來產生電光調變的元件如：調變器、開關或是模態轉換器等，採用脊形結構可以增加電場與光場之間的重疊積分，而降低操作電壓。
4. 大角度轉彎：基於 Snell 定律，如果讓光在鈮酸鋰光波導行進路徑上產生一由高到低的折射率變化，將可使光產生大角度彎曲。脊形側壁（鈮酸鋰與空氣的介面），便是上述原理的一種達成方法。

說明完三種光波導的特色之後，接著進入本計畫的另一個主題，光學量測：一旦光波導製作完成，接下來的工作便是量測成品的各種特性，以確定使用的製程條件是否能滿足元件設計需求。本計畫中所著重的特性量測包含了光波導之導光效率以及光場場型兩部分。由於光在光波導中傳播時，會遭遇到散射、吸收、以及輻射等各種能量損耗，因此必須設計適當的波導形狀，配合良好的製程品質管制，才能製作出低傳播損耗的成品，導光效率的量測便提供了元件設計者關於傳播損耗的資訊。而光場場型的量測，則可以獲悉光波在波導中傳播的情形是否如理論預期，亦能夠作為設計者改善製程條件的指標。

最後要說明濕式蝕刻：由於經過質子交換的區域會發生區域反轉，使得自發性極化方向由+C 反轉為-C，欲辨別這兩個極化方向，僅須以氫氟酸測試之，因為氫氟酸只會蝕刻發生反轉的-C 區而不會蝕刻+C 區，所以質子交換深度與時間的關係可以使用氫氟酸對質子交換區進行濕式蝕刻求得，

技術特點說明：

傳統的光學系統，大致上係由光源、光調變器、光開關、光偵測器等諸多光學元件架設在光學桌上所組成，而光訊號的傳播媒介通常為空氣。由於整個系統的體積大、成本高，並且容易受到外界環境因素的擾動，因此實用性乃是一大問題。

積體光學則是用於克服上述難題的解決方案。簡單來說，積體光學的理念便是將各個龐大的傳統光學元件縮小整合於單一晶片上，不再需要仰賴笨重的光學桌來克服外在環境的機械性影響，也不需要擔心光路校準的問題。除此之外，積體光學元件尚具有操作速度快、功率消耗低，以及沒有電磁干擾問題等優點。如今隨著光纖網路通訊的蓬勃發展以及半導體元件製程技術的進步，積體光學元件的設計及製作已成為相當熱門的研究主題。

可利用之產業及可開發之產品：

本計畫所彙整的光波導製程講義及教學光碟，將可用於培育更多積體光學製程人才，有助於厚植光通訊產業對於製作積體光學元件的實力。此外，由於鈮酸鋰晶體本身具備優異的電光效應及其他非線性效應，因此在現今光通訊網路資料流量日益增大、傳輸速率日益提升的趨勢下，使用鈮酸鋰為基材所製造的光調變器、光開關等元件將可以充分地展現其優勢。

推廣及運用的價值：

積體光學元件的研究，最直接受益的產業便是光通訊網路。正如電子元件的積體化帶動了整個電子產業起飛，不論是個人電腦或是其他消費性電子產品皆少不了積體電路晶片組的存在；同樣地，光學元件的積體化配合現今滿佈於世界各

地的光纖網路，將能創造無限商機，屆時亦將如積體電路一般，融入我們的生活中，全光通訊網路指日可待。