

積體光學簡介

李春安
75級

去年十月間美國 I B M 公司積體光學研究部門經理林耕華博士，應邀回國至本系所作為期兩週之講演，並有系統地介紹了這門新興的學問，本文部份參照了林先生的意見，其他資料參考各相關雜誌，旨在使大家對這門具有深厚潛力的科學，有基礎性地了解。

緒論

公元 1947 年電晶體發明時，電子工業界曾經引起一次大革命，接著利用平面技術 (planar technology) 而製成之積體電路 (Integrated circuit 簡稱 I C) 之問世，使得此後之電子電路不但細密簡潔、表面化，而且運作方便價格便宜，公元 1960 年雷射之發明引起科學界在光學上又一陣騷動，近年來光學順著積體電路之趨勢而走向平面化，因而形成這門新興的學問——積體光學 (Integrated Optics，簡稱 I O)，公元 1968 年積體光學名字正式出世，早期的 I O 研究者，只是嘗試將光學系統予以濃縮化，平面化，如今所努力的目標就似 I C 一樣，想把各種光學功能集在一共同基座上，因其主要是利用薄膜之光學性質，故亦有人主張稱此門學問為“薄膜光學”。

元件及基本裝置

一般 I O 之元件包括有薄膜波導 (Thin-film waveguide) 雷射、調制器 (modulator)、耦合器 (coupler)、檢波器 (detector)、開關 (switch) 和濾波器 (filter) 等等，其製作方法有整體 (monolithic) 和混合 (hybrids) 等兩種類型，混合方法即是於基座上 (substrate) 以不同的材料製成不同的成分 (component)，其構想主要為利用各元件所需之材料特性，擇其優點而組合之，但由於此問題似乎有點不相容 (兩種材料之組合所可能發生的諸問題)，因此混合方法之發展似乎較為艱難；整體方法為將

I O 之各基本元件以同一材料製作在同一基座上，目前此方法發展較為緩慢。因為其技術較為深澳，故期待混合方法之發展對其將是有價值的，此方法之優點為細緻，設計簡化，但缺乏彈性，因為最好的波導、雷射、調制器和檢波器等，並不需均由同一種材料製成。於此首先讓我們對各元件有概括性地認識。

(1) 雷射

無疑地積體光學為雷射之運用之一，因為積體光學中所論及之因次 (dimension) 均甚小，一般薄膜之厚度僅約數微米 (μm)，故 I O 所需之雷射為積體微細之雷射，除此之外不只要能在單一模式 (Single mode) 下運作，而且還需能很容易地被耦合至波導中，因此如 He Ne 氣體雷射和以 LED 泵激 (pumped) YAG 等雷射均難以適用 (LED 泵激 YAG 雷射適合於玻璃纖維 (fiber glass))，這裏我們介紹兩種最新發展的積體雷射：GaAs 注入式雷射 (injection laser) 及薄膜波導雷射 (Thin-film waveguide laser)。

注入式雷射為利用類似傳統半導體製造技術，把適合作雷射的半導體材料直接製作於基座上，其優點為體積小、效率大，容易泵激為積體光路中理想光源之一，同時其雙異接合構造亦可作波導用，故注入式雷射之發展較屬樂觀。

薄膜波導雷射為將雷射材料製成薄膜，其理論乃是利用布拉格繞射原理 (Bragg Diffraction)，於波導兩端製作週期性光柵，藉以反射能量，造成共振腔，而達到放大效果，得以產生雷射。

(2) 薄膜波導

波導在積體光路中扮著相當重要的角色，藉著它而使光信號能達到被傳導輸送的功能，光在波導中 (薄膜內) 經由界面之全反射而形成鋸齒狀之路徑，因而使互相獨立地傳播，故每一鋸齒波可視為一模式 (mode)，此模式與所攜帶之信號、雷射之

波長、薄膜厚度和折射率等密切相關，由於波導之主要作用為有效地將光由一元件導至另一元件，故其所關心者為考慮其邊緣不規則性所引起之散射損失等耗損 (loss) 問題及波導介質之折射率問題 (關於此二者之測量方法，於此暫不加以贅述。) 此二問題與波導材料之選擇及製作方法兩者息息相關。

(3) 耦合器

耦合器之功用即是使雷射光能夠在薄膜、雷射光源、甚而玻璃纖維間自由地傳送，換句話說即是其間的連接器，在積體光路中有兩種類型之耦合過程：

(a) 內部耦合 (internal coupler)

經由不同之步驟，在同一基座上將波導耦合起來如直接耦合器 (directional coupler)，耦合波導間之能量，他如橋式膜 (bridge film) 由堆積平面波導膜，重疊輸入和輸出兩端而達到耦合之目的。

(b) 外部耦合 (external coupler):

耦合元件至元件，其方法有：

(i) 直接聚焦 (direct focus)

直接將雷射光對準聚焦在波導端點，但因薄膜厚度僅為數微米，雷射光的聚焦及對準薄膜邊緣非常困難，而且效率很低，故此方法並沒多大發展。

(ii) 楔形耦合 (tapered coupler)

此種耦合作用，是利用薄膜厚度逐漸變小，使光進行方向改變，呈一截止厚度雷射光即射出，薄膜而進入基片，用相反原理可將雷射光耦合入薄膜，理論上此種耦合效率應可達百分之百，但實際試驗所得却只有 40%。

(iii) 稜鏡耦合 (prism coupler)

此方法在實驗室最常用，因為其耦合效率甚高，一般於稜鏡，薄膜間有一空隙存在，而使耦合效率提高，以均勻空隙為例，理論上其耦合效率可達 81%，實驗上已有人達 76%，如為不均勻空隙，理論上可達 100%，實際上已有人做到 88% 之高。

(iv) 光柵耦合 (Grating coupler)

利用布拉格繞射原理，光束經光柵繞射後，若出射光適合某些條件，即可產生耦合作用，大部份進入基座中，少許反射回空間中，其耦合效率可達 71%。

(4) 調制器 (modulator) :

調制器一般可分為兩種：

(a) 直接調制器：

半導體如 LED, SLD 雷射等，可直接將訊號加在泵激電激流，而改變它們輸出光線而達成調制

作用。

(b) 外部調制器：

如 ND:YAG 雷射，由於其發光反應時間太大 (約 $230 \mu\text{sec}$)，因此無法直接調制，而必須用此外部調制法。

外部調制器又有反應型 (reactive) 和吸收型 (absorptive) 兩種區分，由於反應型可利用之材料最多，而最受重視，其所以發生作用，依賴的有以下三種效應：

(a) 電-光效應 (electrooptic effect)

(b) 聲-光效應 (acoustooptic effect)

(c) 磁-光效應 (magneto optic effect)

其中以電-光調制器發展最快，而磁-光調制器之材料因為不太透明，能量損耗大而受到限制 (此種調制器現已很少人研究)

其他基本元件尚有檢波器，濾波器等等多種。

I/O 之組成通常分為兩部份：

(a) 活性設計 (active)：包括開關、雷射、調制器、檢波器等等元件。

(b) 被動性設計 (passive)：包括稜鏡、透鏡、反射鏡、極化鏡等等基本元素。

兩種設計皆以薄膜形式做成，但做法迥異：

(a) 活性設計之做法是用單晶薄膜生長在基座上而得 (此兩種材料結構必需相配合)。

(b) 被動性設計之材料為非結晶形的物質，用兩種方法 (i) 將材料蒸發冷凝在基座上而形成薄膜 (ii) 在真空室內薄膜材料被噴在基座上，加速離子 (或電子) 撞擊它，使得原子從內部打出來，這些原子降在基座上而形成薄膜。

材料及製作方法概述

前面我們已約略提及薄膜之形成方法，此處我們將簡單地介紹薄膜材料及積體光路之製作方法：

生長單晶薄膜之典型方法為磊晶生長 (epitaxial growth) 首先我們提到的材料是柘榴石 (Garnet)

薄膜，其通式為 $R_3B_5O_{12}$ ，R 為 (Y)，鏷 (La)，鉍 (Bi) 等三價稀土離子或一些混合離子，B 可為鐵，(Ge)，鋁或這些三價離子之混合物，此類薄膜在可見光區有透明性質，故是良好的可見光區波導材料。其次是 L_1NbO_3 及 L_1TaO_3 。此材料最適合於做調制器用， L_1NbO_3 波導層之形成方法除了單生長在 L_1TaO_3 基座上之磊晶生長外，尚有由 L_1NbO_3 中放出 Li 導波層一法，詳細原理讀者可參閱有關資料。其他尚有 GaAs

及其相關化合物 $Ga_{1-x}As_x$ 系統具有很多令人感興趣而且完美的性質，在積體光學中將有很廣泛的應用，如製作波導、調制器、固態雷射等。

對被動性材料而言有利用離子撞擊之融合矽石英及利用蒸發冷凝之有機矽化物薄膜等多種，有機矽化物薄膜常見者有 VTMS (vinyltrimethylsilane) 及 HMD S (hexamethyl-disiloxane) ，此種製作方法可簡易地控制薄膜折射率及厚度等性質，且其損耗低，為導光性良好之材料。

利用 VTMS 膜而形成之雙層構造 (two-layer Structure) ，可製作薄膜稜鏡、透鏡與反射鏡等被動性元件，雙層構造為於基座上先由 ZnS 膜形成所需之圖案，而後再覆上一層 VTMS 膜，此外尚可利用雙層構造原理製作薄膜雷射和調制器等。

最新發展製作積體光路之新技術為由電子計算機控制電子束——電子蝕刻方法，電子蝕刻方法為光蝕刻方法之進一步發展，因為積體光路元件之尺度 (dimension) 微小，非電子蝕刻之精細技術不為功，通常蝕刻處理所用之薄膜有 PPS (poly phenylsiloxane) 及 PMMA (polymethylmethacrylate) 兩種護膜，此兩種作法恰為相反，一為留下圖案部

份，一為去掉圖案部份；關於計算機如何控制電子束而構成圖案於此不加以贅述。

結論

由於通訊事業是趨發達高速率、高容量的通訊系統顯得迫切的需要，因此，有人想用頻率高，可載送訊號多的光波做為載波，故發展以玻璃纖維做傳送介質的通訊系統，向一般通訊系統太貴，太大需要輸入能量較大使用較不方便，故導至積體光學線路的構想，而實驗上得知在微小的尺度下，各元件的效率仍然很大，引起了廣泛的興趣，激發了積體光學的快速發展。

電晶體，IC 發明之初，純屬於技術階段，二、三十年後的今天其發展已甚是驚人，因此雖然 IO 只有短短數年歷史，但我們深信它的前途是可觀的，有一日它將會普遍地、遍泛地被應用。

本文僅概括地介紹了積體光學中各部份元件的性質與功用，旨在使大家有了初步瞭解，對它發生興趣，再做進一步查閱資料，更或參加教授們的研究工作。