

光電基板材料

李文欽

工研院工業材料研究所

電子有機組 高頻寬頻光電材料計劃 研究員

摘要

光通訊除了在長距離通訊及區域網路上的應用之外，短距離光通訊的需求也逐漸浮現，主要是為了解決傳統金屬導線的訊號傳遞速率無法跟上處理器日益增加之時脈的問題。於是將光波導及光學元件整合在傳統 PCB 中即成了光電基板的雛形，其中高分子光波導材料的應用將是光電基板能否成功的要素。本篇文章目的在於介紹基板中以光傳輸訊號的技術發展，並分析高分子光波導材料在其中扮演的角色及重要性。

關鍵詞

光電基板(Electrical Optical Circuit Board; EOCB)、高分子(Polymer)、光波導(Waveguide)、光連接(Optical Interconnection)

前言

電子相關產業經歷二十多年的發展，已使得通訊或電腦的速度獲得革命性的提升，這都要歸功於半導體材料、製程及電路設計不斷精進所致。然而目前電子元件的發展已經遇到了瓶頸，受限於電子的物理特性，頻寬的不足，已成為目前電腦或通訊產品製造最主要的問題。以電子來傳遞訊號，在訊息的傳遞及切換速率上有其

物理極限；相較之下，以光來傳遞訊號不但頻寬非常寬廣，傳輸損失也非常低且沒有電磁干擾的問題。光訊號傳輸除了傳輸速率可以達到每秒 10Gbits 以上之外，亦可以不需執行訊號偏斜、反射或串音的檢測。

金屬導線的傳導速率是由它本身的電阻、電容及電感所掌控。在低頻時，連續阻抗及電路板上的分流電容決定了電壓高低的轉換時間，進而支配了訊號的傳遞行為。在現今的高頻

電路板上，金屬導線的連續電感變成比電阻還重要的決定因子，並同樣地也限制了電路傳遞脈衝的速率。簡單的基本運算是訊號傳遞速率和導線的截面成正比，但隨著長度的平方比而降低，所以一個細線寬且長的線路在傳遞訊號時會較慢。轉換時間(Transition-time)的限制可利用驅動加強的方式來改善，但這並不是個好方法；它會增加雜訊、提高需電量，且使得原本存在的散熱問題更加嚴重。當然我們可以選擇將線路作寬，但是同時它也將佔去大部分的基板空間。

以光傳遞訊號將不需面臨這些限制。光通訊最大的問題是光傳遞介質的吸光特性及若干因素造成的光衰減，但對於在基板上的距離而言此問題可以忽略。雖然光通訊已經成功應用在長距離通訊及區域網路上，一直以來卻遲遲不見電腦工程師將光學元件及連接器設計到電腦系統中，這主要是因為技術及成本的考量。在早期電路

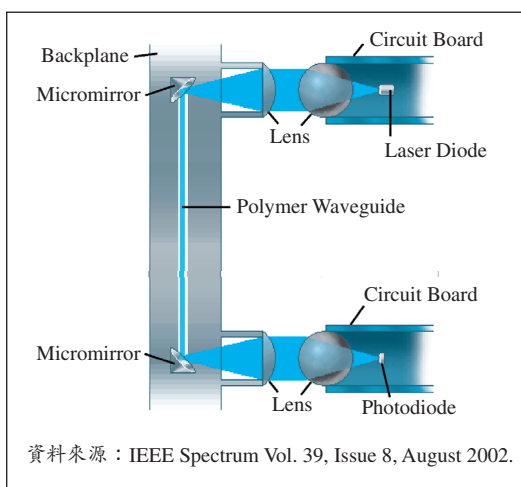
板上導入光連結設計，將比原本的設計增加10到100倍的成本，這不單只反應光電模組的昂貴價格，組裝時的高複雜性也大大提高了整體成本。光電元件組裝時的困難性遠比IC晶片要難上許多，這是因為光電模組必須和光波導或是其他光通路精確對位，且誤差需在 $1\mu\text{m}$ 以內，故需要以人工方式定位，而無法使用自動組裝系統。

技術的發展日新月異，現今情況有了相當大的轉變。光電元件隨著量產規模的擴大，價格逐日下降；可SMT(Surface Mount Technology)組裝的光學元件設計亦出現在市場上；再加上有機光波導材料技術日漸成熟，以及電子導線的製作成本隨著高速、高密度的要求而日益昂貴，在未來十年之內，平面電路基板極有可能全面導入光通訊技術。

光傳輸在電腦中的應用

光傳輸通路大致是由光發射模組、光傳導通道及光接收模組所構成。如果建構在背板中，可以提高基板和基板間的訊號傳遞速率；如果進一步建構在母板上可以提高微處理器間傳遞訊號的頻寬。圖一和圖二分別是光傳輸在背板及微處理器間應用的例子。光傳輸在背板上的應用是較早期研發的項目，因涉及的技術門檻較低，目前已有相關樣品或產品問世。若要在PCB上的微處理器間建構光傳輸通路，訊號傳遞的性能是首要滿足

► 圖一
光傳輸在背板上的應用



的項目。現今以光傳輸訊號在性能上是無庸置疑的，目前要面臨的課題是如何降低元件及封裝的成本，以及縮小整個光傳輸模組的體積。目前的研究主要集中在4個領域，分別是光電轉換發光元件、光訊號的傳輸途徑、它們如何配置在PCB上、最後是如何將發光元件及光偵測器整合在IC上。

一、光電轉換發光元件

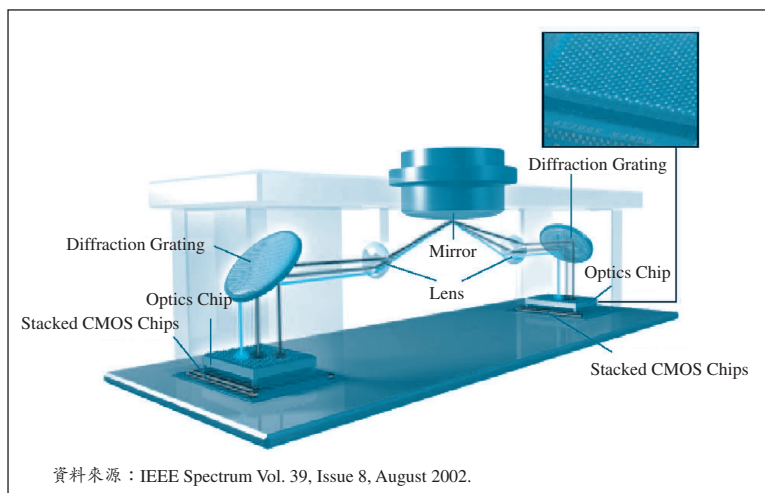
供光電轉換用之發光元件是建構光傳輸的首要條件，以目前用在長距離通訊的邊射型雷射二極體(Edge-emitting Laser Diodes)並無法大量使用在基板的短距離光傳輸的建構上。主要原因除了價格因素的考量之外，其需要集光透鏡來將光投射進入光通道的特性，會使得整個模組的體積大增。近年來，垂直共振腔面射型雷射(Vertical Cavity Surface-emitting Laser; VCSEL)的迅速發展，為短距離光傳輸敲開了一扇大門，其相對低的價格及可減少模組體積的垂直面射特性，適時提供建構PCB中光傳輸所需的光電轉換發光元件。和邊射型雷射二極體相比，VCSEL因具有不需製造邊射構造及構造缺陷可以在晶圓階段事先檢測出的優點，所以非常適合大量生產，成本可以降到400~500日圓左右。且其所發射光呈現一個小發射角的圓，不需要使用到聚焦透鏡，可減小發射模組的體積。

此外隨著 Ethernet的發展，VCSEL的製造商亦努力提升VCSEL的性能並降低其製作成本，以作為10Gbit/s Ethernet收發模組的光源（如圖三）。這樣的趨勢發展使基板中光傳輸技術對於發光元件的需求獲得強而有力的支持。

二、光訊號的傳輸途徑

微處理器間光訊號的傳輸途徑主要有三種類型，即光纖(Optical Fiber)、光波導(Optical Waveguide)和自由空間(Free Space)傳輸。NEC曾發表以光纖連接2顆IC的光傳輸系統模型，如圖四所示。其中IC電閘是和4個包圍著的光電轉換模組，以BGA(Ball Grid Array)方式封裝，並透過連接不同光電轉換模組的光纖來傳遞訊號。此模型的光電模組各有4個850nm VCSEL及光偵測器，所組成的4個光通路各自可傳輸3.125Gbit/s的訊號。然而以光纖傳

▼圖二 光傳輸在微處理器間的應用



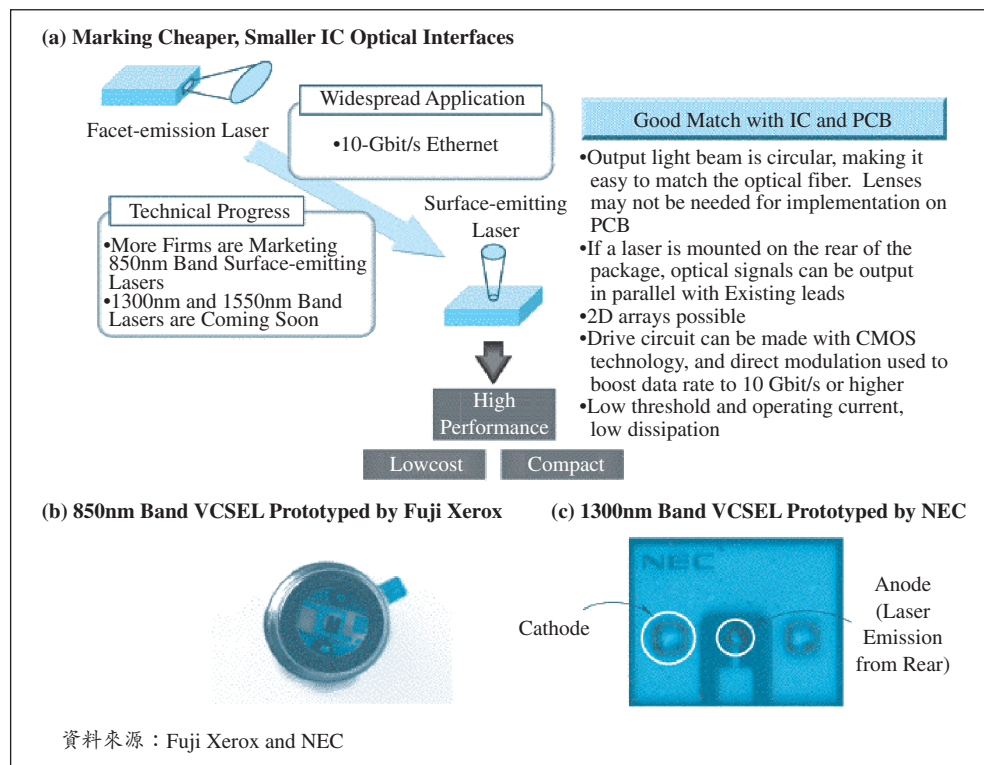
輸訊號會面臨IC封裝時無法直接用元件自動安裝設備；光纖改用插頭在IC封裝後插上則需用到人工方式，製造成本會上揚。而且將來面臨更多通路、更高密度封裝時，過多的光纖線路及接頭將會降低系統操作的穩定性。

利用空氣作為光傳輸的通道即為自由空間(Free Space)傳輸名稱的由來，其光傳輸通路是由反射鏡、透鏡及衍射光柵(Diffraction Grating)所組成。圖二所示即為自由空間傳輸的一個例子，其 2-D Array的VCSEL光束經由微透鏡聚焦，再經衍射光柵改變方向傳輸。此傳輸通路具有可高度集積的特性，且通路間不會有串音(Crosstalk)的問題。不過在實用性上，此技

術被視為較長遠的將來才會考慮的技術。原因是其校準對位的精度要求相當高，且光傳輸易受環境中灰塵的影響，可能需要特別封裝保護。

平面光波導迴路目前廣泛用在WDM(Waveguide Division Multiplex)元件的AWG(Arrayed Waveguide Grating)晶片上，因其使用石英等無機材質，製程成本相當昂貴。為了降低光波導迴路的成本，有機光波導材料如Polyimide或Epoxy遂成為科學家感興趣的研究標的。雖然有機光波導的光損失從0.1到好幾個dB/cm，可是在PCB中進行短距離傳輸是可接受的。此外有機光波導可製成薄膜後再和PCB壓合，在製程成本的降低上非常具有優勢。

► 圖三
VCSEL的發展近況

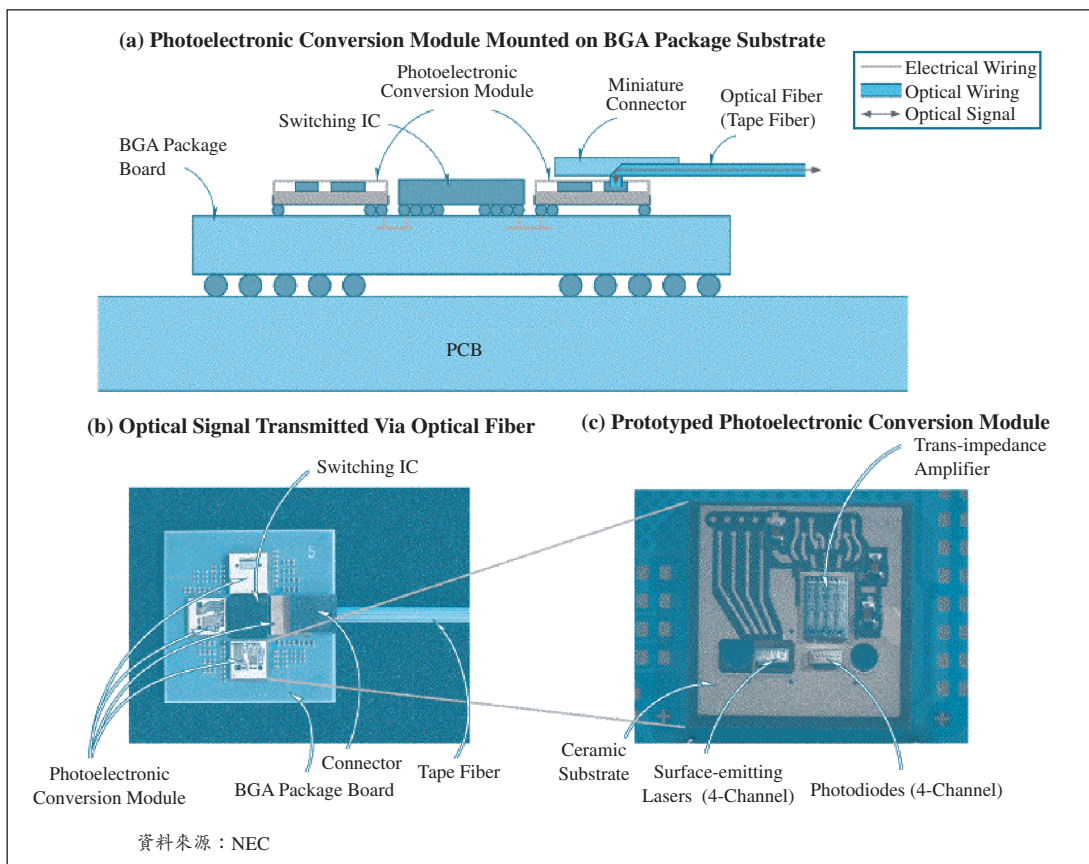


圖一是高分子光波導在背板中使用的例子，其設計者Daimler Chrysler研究單位聲稱，此光波導傳輸在背板中比光纖傳輸更易於整合，並於實驗室中持續進行單一通道可傳輸10Gb/s的研究。有機光波導材料近年來因應光通訊設備的降低成本策略，而逐步累積了相當多的研究成果，下節將會對有機光波導材料及製程作一詳細介紹。

三、光傳輸模組及通道在PCB上的封裝

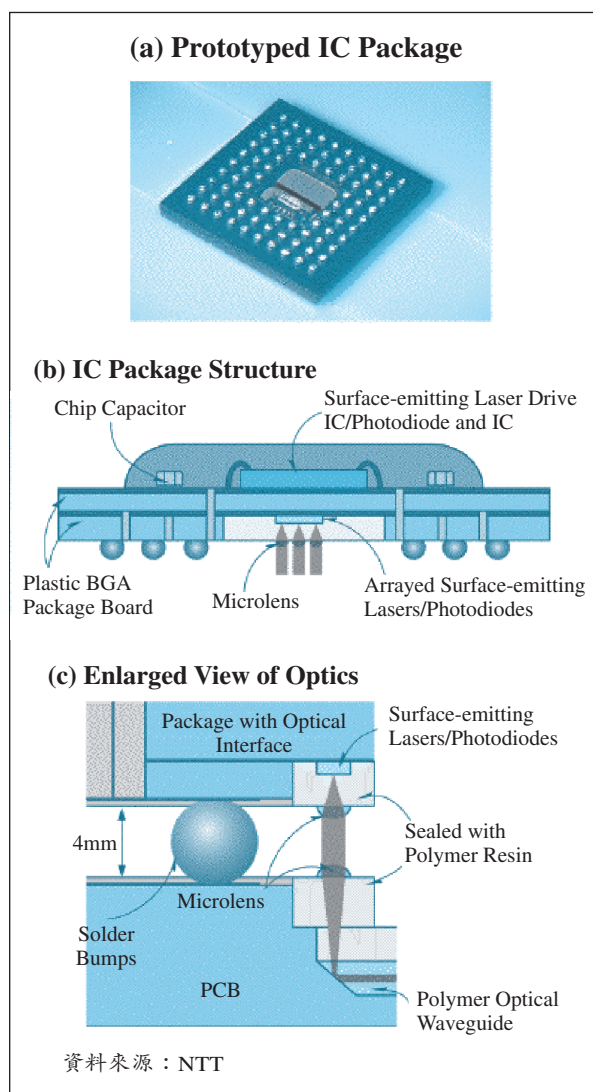
封裝成本一直都佔整體成本相當

高的比重，也因此業界不斷在研究新的方法可以將 IC 光 I/O 功能及和 PCB 相接的插腳整合成最有效率且低成本的封裝製程。其最終目標是希望能設計出具有物理性高精密對位構造的元件，以被動校準方式自動組裝，進而降低構裝的成本。為此，NTT發展了一個具有光I/O介面的IC，可以傳統SMT(Surface Mount Technology)方式組裝，其IC設計如圖五。此IC可利用現有的自動組裝設備及Solder Reflow製程，IC及PCB上的微透鏡設計可以提高組裝時的誤差忍受性到 $\pm 50\mu\text{m}$ 。目前市面上的自動組裝系統之對位精

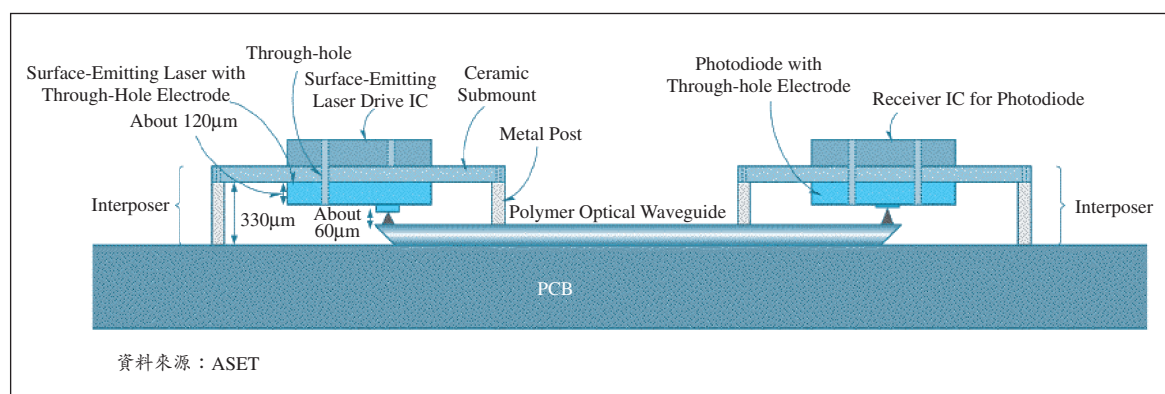


◀ 圖四
以光纖作為
光傳輸通路
的設計

►圖五
可 SMT
封裝的光
電模組設
計



►圖六
不需使用
透鏡的光
電模組封
裝方法



度正以穩健的時程在改進中，公差在 $\pm 50\mu\text{m}$ 的系統已在市場上提供，相信未來光電基板在IC封裝上的成本可以降到可接受的合理價位。

此外，為了更簡化封裝程序，日本ASET(Association of Super-Advanced Electronics Technologies)協會進一步開發了不需透鏡的光傳輸方式，如圖六所示。他們將VCSEL和光波導的距離縮小到 $60\mu\text{m}$ 以下，並利用 Index Marker方法使元件和光波導可以被動校準對位，對位精度目前可達 $\pm 5\mu\text{m}$ 。

在光波導的建構方法上，德國的 Fraunhofer IZM(Institut Zuverlässigkeit and Mikrointegration)研究單位提出了相當完整的建構方案。他們發表了 EOCB(Electrical Optical Circuit Board)光電基板的概念，如圖七所示。此概念是將一層導光層和上下PCB作壓合，利用VCSEL作光源，且各驅動元件以SMT方式組裝，其導電部位是作為供應電源之用。EOCB被定位為同時具有光和電連接功能的載板(Carrier)，

可用在模組或是基板中。其基本概念建立在目前PCB製程的量產技術，在符合壓合、電鍍、穿孔佈線和表面最終處理等若干程序下，加入光電元件及光波導到PCB系統中，可以確保產品的量產性並同時滿足高速互連的需求。VCSEL和光波導接合是透過事先挖好的凹槽對位，如圖八所示。

四、在 IC 上整合收發光元件

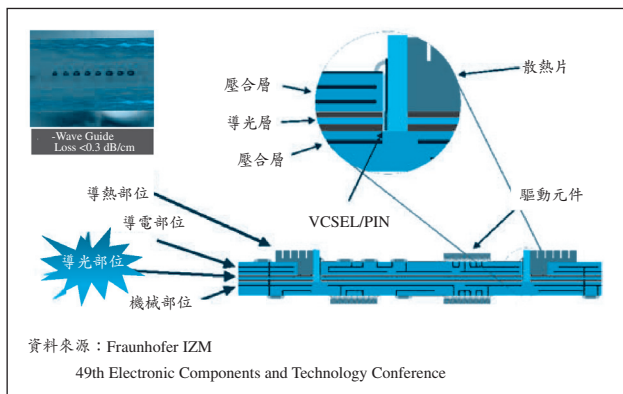
業界目前也在努力將收發光元件整合在矽晶片上，以徹底解決封裝的

問題並提高資料傳輸速率及縮小產品體積。目前的困難是如何將以GaAs及InP材料作為基材的光學元件同時製作在矽基材上。目前的發展是美國Motorola公司正持續開發以矽晶圓為基板的GaAs元件製作技術；而Oki Electric公司則是採用矽和InP不同基材直接貼合的方式整合IC和發光元件，因為同是在晶圓階段貼合，更適合量產及Free-chip Mounting。

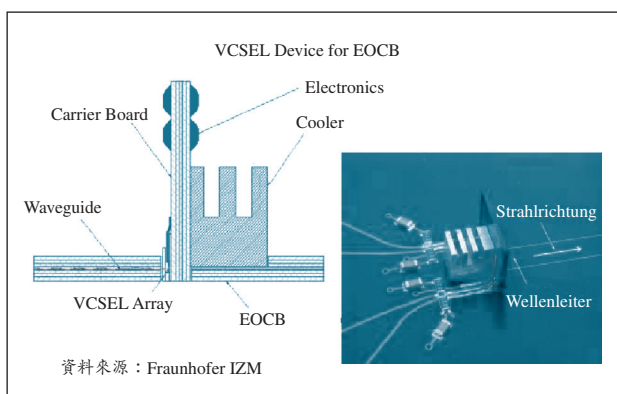
有機光波導材料及製程

以有機光波導作為光傳輸通路，具有低封裝成本的優勢。IZM研究所即是以有機光波導材料製作光傳輸通路，並稱之為導光層(OptoFoil)，圖九是導光層導入光時的照片。

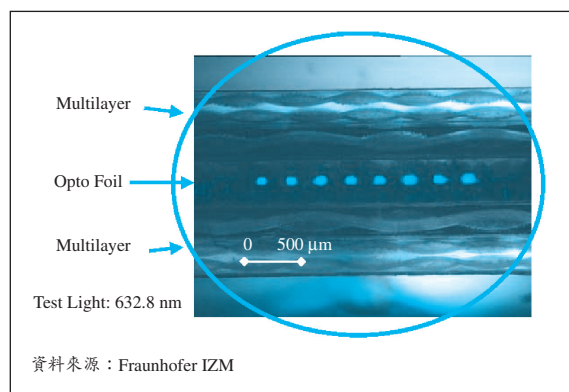
此導光層是IZM光電基板的核心部分，它是由Cladding/Core/Cladding三層材料組合而成的薄片，除了具有導光特性之外，它必須可和PCB作壓合，並



▲圖七 EOCB光電基板設計概念



▲圖八 VCSEL和光波導接合方法



▲圖九 導光層導入光時的照片

提供組裝時的緩衝效果。為了符合壓合製程，高分子材料成了首要的選擇。此材料除了在VCSEL波長需有良好的傳輸特性之外，光波導的製作方法及長時可靠性等都是選擇材料時的依據。表一所列是過去二十年來全球各公司所發展的新型光學級高分子材料及其特性，大多數的材料都已實際被製成光學元件而證實其性能。表中所列大致可分為五個族群，分別是①Deuterated and Halogenated Polyacrylates、②Fluorinated Polyimides、③Perfluorocyclobutane(PFCB) Polymers、④Other Highly Fluorinated Polymers (CYTOP, Teflon AF etc.)及⑤Nonlinear Optical Polymers。第五個族群主要是用在光通訊主動元件的開發上，在本文中並不深入介紹，其他四個族群將分別介紹如下。

一、Deuterated and Halogenated Polyacrylates

Acrylic（壓克力）高分子是一個常被研究的高分子系統。由於其單體種類繁多，有含鹵素的也有特殊官能基結構的，所以在折射率或其他性質的微調上相當具有彈性。Acrylic 雙鍵因具有高感光性，使得加工性大為提升。其作為波導材料時可同時當負型光阻使用，簡化元件製程。Polyacrylate系統具有非常低的雙折射性，但是另一方面它的熱性質不佳(Low Tg

and Td)，無法配合大部份製程的操作溫度。近年來最常被用來作光波導材料的Acrylate 高分子有Fluoroalkyl Acrylates和Fluoroalkyl Methacrylates，而 α -fluoroacrylates 雖然聚合活性及Tg都較高，但是因單體合成困難，較少有人研究。

1. Diacrylate 單體或寡聚物

Allied Signal早期發展了一系列的氟化Polyacrylates，作法是將雙官能基單體或寡聚物先塗佈在基板上再聚成高分子膜，圖十是一些相關單體結構。除此之外，Allied Signal亦將其他如醚基、酯基等官能基導入到主鏈中，使得這些共聚合高分子的物性得到很好的調變性（RI 在1.3~1.6之間），光學損耗亦有0.2 dB/cm (1.55 μ m)的表現。Acrylate 高分子生成交聯的結構除了利用Diacrylate 單體之外，亦可以在單官能基的 Acrylate中加入Diacrylate 交聯劑來達成，例如Ethyleneglycol-dimethacrylate。圖十一是使用Diacrylate 交聯劑的共聚合高分子系統實例，其中有包含Tetrachloroethylacrylate (TeCEA)和Pentafluorophenylacrylate (PFPA)單體的共聚物，及包含TeCEA和Pentafluorophenylmethacrylate (PFPPMA)單體的共聚物。

2. 自發性交聯官能基的導入

藉由導入可反應的官能基亦可使Acrylate 高分子產生交聯的結構，圖十二是這個系統的例子。藉由導入一OH和COOH 基，可以在高溫時進行酯化

表一 全球各公司所發展的新型光學級高分子材料及其特性

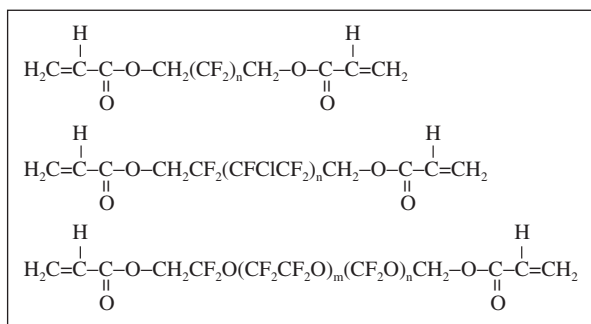
Company	Polymer Type	Patterning Techniques	Propagation Loss Single-mode Waveguide [dB/cm] (Wavelength, [nm])	Other Properties (Wavelength, [nm])
Optical Crosslinks (Formerly DuPont and Polymer Photonics Corning (Formerly Allied Signal)	Acrylate (Polyguide)	Diffusion	0.18 (800) 0.2 (1300) 0.6 (1550)	Laminated Sheets Excimer-laser Machinable
	Acrylate	Photoexposure/ Wet Etch, RIE, Laser Ablation	0.02 (840) 0.3 (1300) 0.8 (1550)	Birefringence: 0.0002(1550) Crosslinked, Tg: 25°C Environmentally Stable
	Halogenated Acrylate	Photoexposure/ Wet Etch, RIE, Laser Ablation	0.01 (840) 0.06 (1300) 0.2 (1550)	Birefringence: 0.000001(1550) Crosslinked, Tg: -50°C Environmentally Stable
NTT	Halogenated Acrylate	RIE	0.02 (830) 0.07 (1310) 1.7 (1550)	Birefringence: 0.000006(1310) Tg: 110°C
	Deuterated Polysiloxane	RIE	0.17 (1310) 0.43 (1550)	Environmentally Stable
	Fluorinated Polyimide	RIE	TE: 0.3, TM: 0.7 (1310)	PDL: 0.4 dB/cm (1310) Environmentally Stable
Amoco	Fluorinated Polyimide (Ultradel)	Photoexposure/ Wet Etch	0.4 (1300) 1.0 (1550)	Birefringence: 0.025, Crosslinked, Thermally Stable
General Electric	Polyetherimide (Ultem)	RIE, Laser Ablation	0.24 (830)	Thermally Stable
Hitachi	Fluorinated Polyimide	Photoexposure/ Wet Etch	TE: 0.5, TM: 0.6 (1300)	Birefringence: 0.009 (1300), PDL: 0.1 dB/cm (1300), Tg: 310°C, Thermally stable
Dow Chemical	Perfluor Ocyelobutane (XU 35121)	Photoexposure/ Wet Etch	0.25 (1300) 0.25 (1550)	Tg: 400°C
	Benzocyclobutene (Cyclotene)	RIE	0.8 (1300) 1.5 (1550)	Tg: >350°C
Asahi Glass	Perfluorovinyl Ether Cyclopolymer (CYTOP)			n = 1.31 (AF 1600) Tg: 108°C
DuPont	Tetrafluoroethylene and Perfluorovinyl Ether Copolymer (Teflon AF)			n = 1.34 N = 1.29 (AF 2400)
JDS Uniphase (Formerly Akzo Nobel) Telephotonics	Polycarbonate (BeamBox) (OASIC)	RIE	0.6 (1550)	Thermally Stable
Gemfire	(Gemfire)	Photoexposure/ Wet Etch, RIE, Laser Ablation	<0.01 (840) 0.03 (1300) 0.1 (1550)	Environmentally Stable
	(Gemfire)	Photoexposure/ Wet Etch	1.0 (1550)	Birefringence: 0.0002 (1550) Crosslinked
K-JIST	Fluorinated Poly(Arylene Ether Sulfide) (FPAESI)	RIE	TE: 0.42, TM: 0.4 (1550)	Birefringence: 0.0003 (1550) PDL: 0.02 dB/cm (1550) Crosslinked, Thermally Stable
Redfern	Inorganic Polymer Glass (IPG)	RIE		Environmentally Stable
Hoechst Celanese	PMMA Copolymer (P2ANS)	Photobleaching	1.0 (1300)	NLO Polymer
Pacific Wave	Polycarbonate with CLD-1 Chromophore (PC-CLD-1)	RIE	1.8 (1550)	NLO Polymer, $r_{33} = 70$ pm/V (1310), Pigtail loss = 1.5 dB/Facet
Lumera	Polyurethane with FTC Chromophore (PU-FTC)	RIE	2.0 (1330)	NLO Polymer, $r_{33} = 25$ pm/V (1300), Pigtail Loss = 5 dB/Facet
Ipitek	Poly(Methylmethacrylate) with CLD-1 Chromophore (PMMA-CLD-1)	RIE	5.0 (1300)	NLO Polymer, $r_{33} = 60$ pm/V (1300), Pigtail Loss = 3.5 dB/Facet

資料來源：Adv. Mater. 2002, 14, No. 19

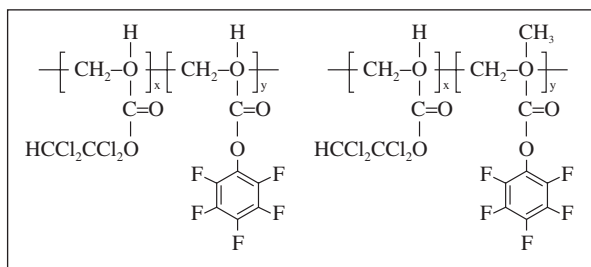
反應而在主鏈間生成交聯結構，不過由於C-H 比例相對比C-F 高甚多，故光損耗值相對較高(2dB/cm, 1.55μm)。

二、Fluorinated Polyimides

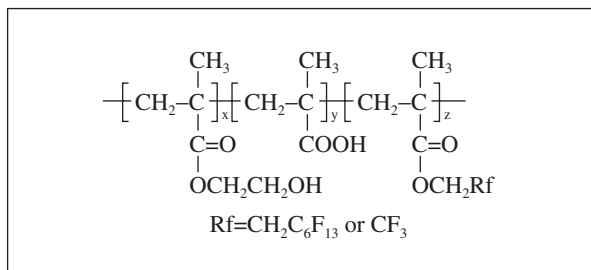
作為光波導材料而言，Polyimide



▲圖十 氟化Diacrylate 單體

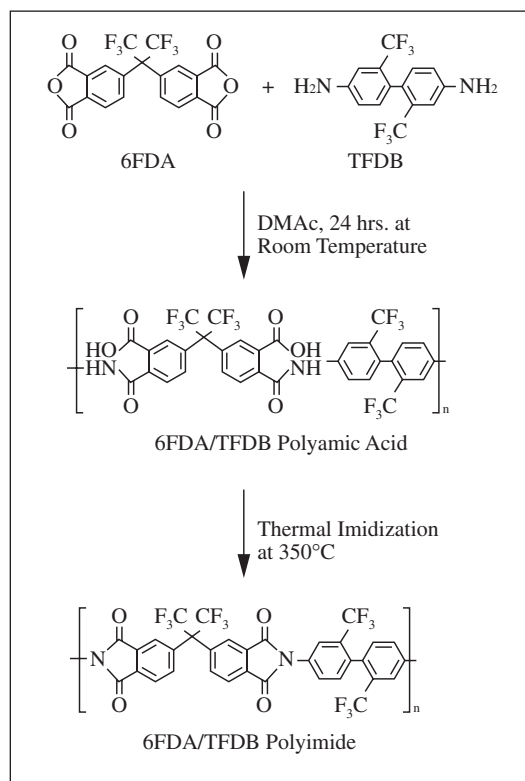


▲圖十一 使用Diacrylate交聯劑的氟化Acrylate共聚物



▲圖十二 含自發性交聯官能基的Acrylate共聚物

(聚醯亞胺) 不論是在院校或是工業界都是重要的研究對象，圖十三是典型的Polyimide 結構以及合成方法。由於它們絕佳的熱安定性以及化學、機械性質，豐富多變的結構特性及薄膜加工性，使得該材料廣泛應用在航太、電子及光學工業上。作為光波導材料必須具有折射率調變性，而Polyimide 可藉由共聚合的方法，利用不同比例的單體來微調材料的折射率。圖十四即是Hitachi Chemical及NTT根據此法開發的共聚合高分子，其他許多吸引業界注目的Polyimide 系統亦列舉於圖十五中。Polyimide 在使用上最大的問



▲圖十三 傳統Polyimide 高分子合成方法

題是雙折射性太高($n_{TE}-n_{TM}>0.008$)，解決的辦法除了藉由結構上的改變，降低苯環的比例，亦可在高溫進行 Polyimide 膜的回火烘烤，以打亂高分子主鏈的規則性排列。

三、Perfluorocyclobutane (PFCB) Polymers

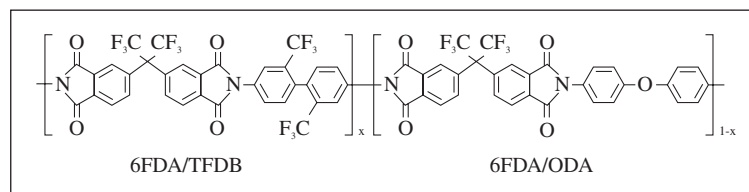
Perfluorocyclobutane(PFCB)高分子是由含2個末端雙鍵官能基的單體進行環化加成聚合而成，見圖十六。這類型的高分子系統是由Dow Chemical 在1990 年代開發出來，並陸續發表了許多相關研究成果。PFCB 具有高 T_g 及光學透明性，不過相關的單體或高分子並未商業化。圖十七的結

構原先是開發作光導體元件的材料，後來改用在光波導元件開發上，不過因折射率無法調變(1.487~1.49)，只能用作核心(Cores)或是包覆層(Cladding)。以PFCB 高分子製作的光波導，其光損耗小於 0.25 dB/cm (1.515~1.565 μm)。

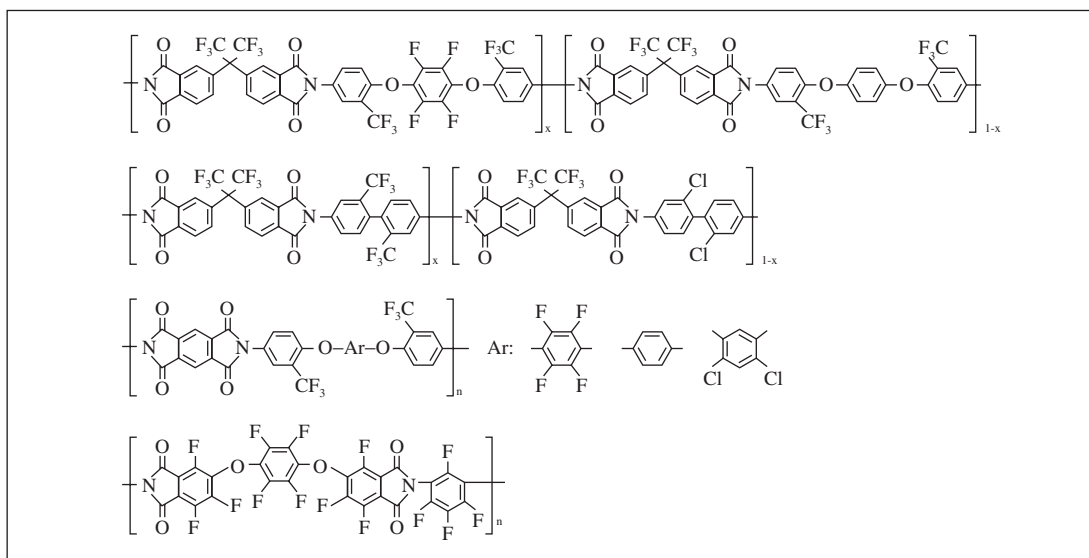
四、Other Highly Fluorinated Polymers (CYTOP, Teflon AF etc.)

1. Cytop

Cytop (圖十八) 是一種非晶型氟



▲圖十四 可微調折射率的Copolyimide 高分子



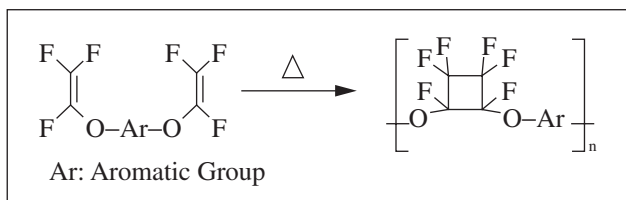
▲圖十五 一些部份或完全氟化的Polyimide 高分子

化高分子，由Asahi Glass Company在1988年利用Perfluorodiene 單體以特殊的環化聚合法製成。該公司已將此材料製成多模塑膠光纖(Lucina TM)，應用在短距離的光通訊系統中，例如LANs (850nm)或是SANs (1300nm)。就化學特性來說，Cytop具有C-F、C-C、C-O鍵結，所以在通訊波長的吸收很低，同時亦具有良好的穩定性及耐化

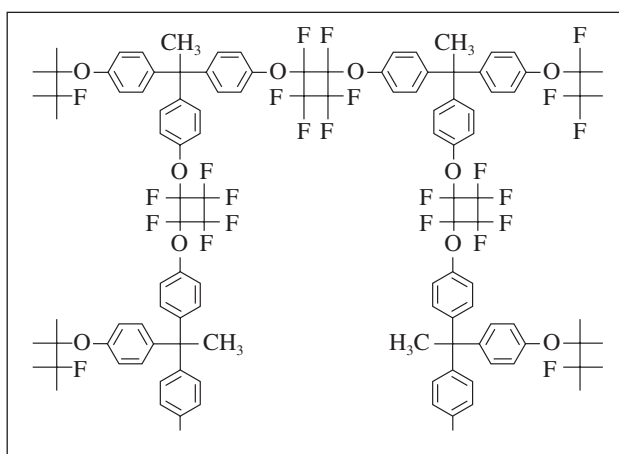
學特性。此材料可溶在含氟溶劑中，故可以旋轉塗佈製備，可惜的是折射率無法調變。Cytop的一些主要性質列在表二中。雖然Lucina TM光纖已證實Cytop材料的實用性，可是由於折射率缺乏調變性，此材料並未用在光波導元件的製作上，表二中Stress Optical Coefficient(SOC)是指材料被拉伸後不同方向上折射率的改變差異，SOC 愈低表示材料由應力造成的雙折射性愈小。

2. Teflon AF

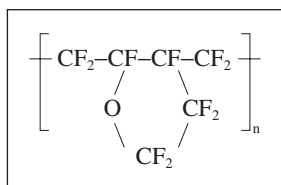
DuPont 開發的Teflon AF高分子(圖十九)是由2,2-bistrifluoromethyl-4,5-difluoro-1,3-dioxole(PDD)及Tetrafluoroethylene (TFE)共聚合而成。此高分子的T_g隨PDD和TFE比例不同，可由80°C(20%/PDD)變化到335°C(100%PDD)。DuPont推出2種商業化的材料分別是Teflon AF1600 (65mol% PDD, T_g=160°C)和 Teflon AF2400 (87mol%PDD, T_g=240°C)，它們的特徵是具有非結晶性、絕佳的光傳輸性(從UV 到2μm波長)、最低的介電常數且可以微調T_g 和折射率。表三列出部



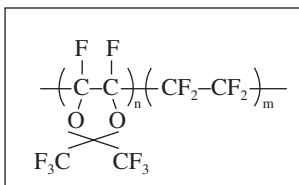
▲圖十六 PFCB高分子的合成方法



▲圖十七 可交聯的PFCB高分子



▲圖十八 Cytop的化學結構



▲圖十九 Teflon AF的化學結構

表二 Cytop的典型特性

T _g	108°C
n _D	1.34
Abbe Number	90
Thermal Conductivity	0.11 W/mK
Water Absorption	<0.01%
SOC (Brewster)	6.4

份Teflon AF 的光學性質，其他特性則列舉於表四中。由於Teflon AF絕佳的光學性質及可加工性，Mitsubishi Rayon 公司遂將此材料製成耐高溫塑膠光纖，並以ESKA的名稱販售。此外在光波導系統的應用也有許多機會，例如以Teflon AF作包覆層等。不過該材料使用上仍有幾點限制，第一是其接著性差，基板需要先上一層接著劑才能改善塗佈效果；第二是廠商提供的產品太少，折射率的選擇有限。

目前光學級高分子材料都已經符合短距離傳輸的性能要求，然而在光波導的製作方法上卻存在著量產性的差異。光波導的製作方法主要可歸類

為三種，即光罩輔助法、直接定義法及模具輔助法。表一所列之Diffusion、Wet Etch及RIE是屬於光罩輔助法；Laser Ablation及Photobleaching是屬於直接定義法；模具輔助法則涵蓋Embossing及 Microcontact Printing等製法，並未列於表中。各種光波導的製作方法簡單說明如下：

1. 光罩輔助法

光罩輔助法又可分為光阻輔助及直接成像兩種，由圖廿可得到初步的說明。光阻輔助是要透過光阻曝光顯影後再蝕刻出光波導圖樣；直接成像法則利用感光性高分子材料當Core層，透過光罩曝光即可製作出所需圖

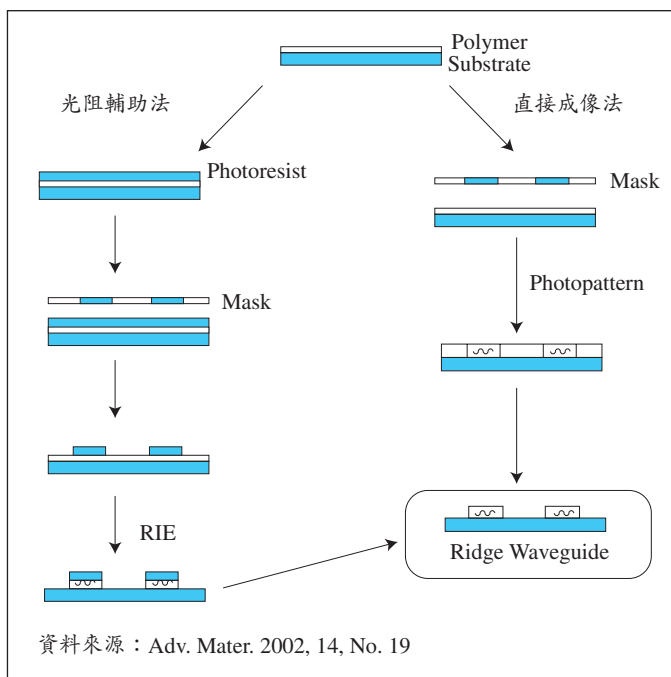
表三 Teflon AF樹脂主要光學性質

Grade	n_D	Abbe No.	$dn/dT(^{\circ}C^{-1})$		SOC (Brewster)
			$T < T_g$	$T > T_g$	
1600	1.31	92	-7.7×10^{-5}	-3.29×10^{-4}	4.5
2400	1.29	113	-7.8×10^{-5}	-3.78×10^{-4}	

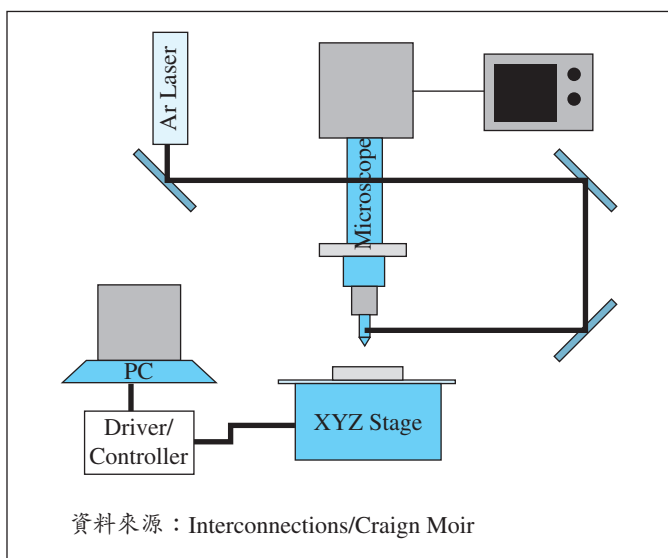
表四 Teflon AF樹脂的技術資料

Property	ASTM Test	Unit	Value
Tensile Modulus	D638	MPa	950-2150
Elongation at Break	D638	%	3-40
Tensile Strength	D638	MPa	25-27
Water Absorption	D570	%	<0.01
Dielectric Constant	D150	-	1.89-1.93
Linear TEC	E831	ppm/ $^{\circ}C$	80-100
Thermal Conductivity (T)<150 $^{\circ}C$		W/mK	<0.10
Thermal Stability		$^{\circ}C$	360

樣。Wet Etch及RIE是目前最常見的光波導製作方法，其相關材料皆需要藉由光阻的輔助才能成像；而光致擴散



▲圖廿 以光罩輔助法製作光波導



▲圖廿一 以雷射製作光波導圖案

法(Diffusion)是直接成像法的代表，相關材料早期是由Dupont所研發，其商品名為Polyguide，曾參與美國DARPA（美國國防部高等研究計劃局）支持的光電模組開發計劃(HP, AMP, DuPont, SDI, and USC)，目前由新公司Optical Crosslinks推廣中。

2. 直接定義法

直接定義法是指利用雷射或是電子束直接在高分子材料表面照射以定義出光波導，見圖廿一。雷射可用於大面積基板的製作（尤其是大面積光罩成本太高時），但是無法製作複雜的圖案；電子束則可以製作高解析超細線寬（奈米級）圖案，不過設備製程較為昂貴。

3. 模具輔助法

模具輔助法則涵蓋凸版壓合法(Embossing)及微接觸轉印(Microcontact Printing)等製法。其中微接觸轉印是最近發表的方法，先利用Poly (Methylsiloxane) (PDMS)製作出光波導形狀的高分子模具，再吸附Core材料轉印到Cladding層上，目前相關實用性資料闕如。凸版壓合法則是透過製造精密的金屬模具，在高於材料T_g點的溫度和Cladding材料進行壓合以製作出波導形狀，再將高折射率Core材料填入，加熱或照光聚合後形成光波導，最後再和另一個Cladding層壓合。此製程相當適合大量低價格產品製作。

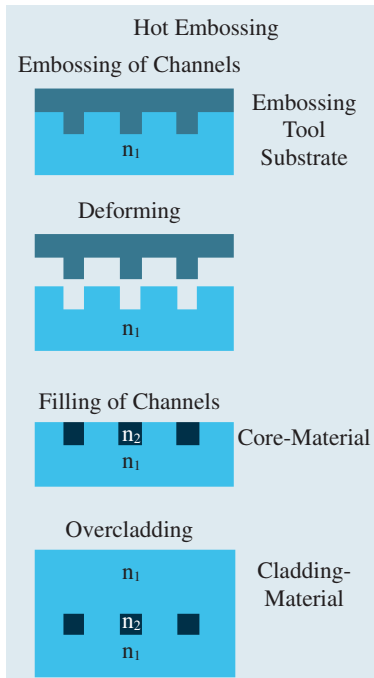
若能降低精密模具的製造成本，再配合適當的高分子光波導材料，凸

版壓合法可說是最具低成本量產實力的光波導製作法，德國IZM研究單位即是以此法製作EOCB光電基板中的導光層。他們利用鎳(Nickel)製作模具，選用Cycloolefine Copolymer(COC)作為Cladding材料，透過Hot Embossing製作出所需的光波導形狀，相關製程可參考示意圖廿二，結果則呈現於圖廿三中。由圖廿三中可看出此法可製作出直線、彎曲及分叉的圖形，而且壓完後通道表面非常光滑，這對於光傳輸損失的控制是非常重要的。

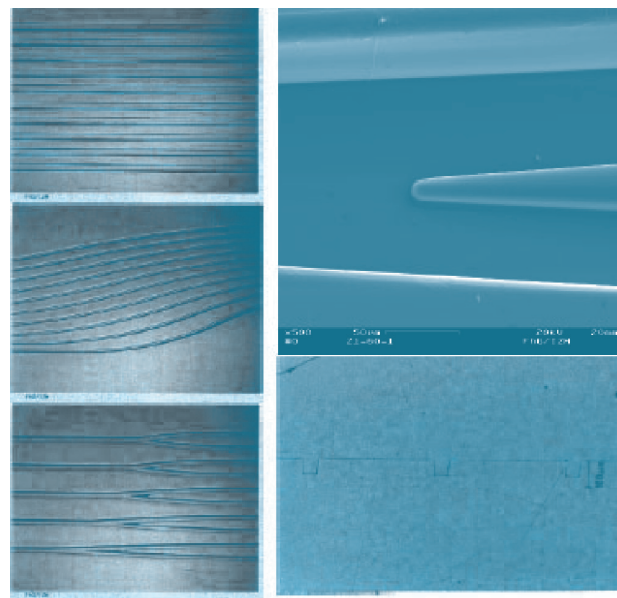
另外，一個深具量產實力的EOCB導光層製作材料是Optical Crosslinks的Polyguide。由於不需要經

過光阻微影、成像、蝕刻等製程，在光波導製作的量產性上具有相當大的優勢。Optical Crosslinks公司即根據其材料特性，發表了以Polyguide大量生產光波導元件的概念（請參考圖廿四），從整捲的Polyguide薄膜上線到第一次曝光、Cladding壓合、第二次曝光及最終加熱交聯都是連續性的製程，除了可大量製造光波導元件，也有可能用來大量生產EOCB基板中的導光箔片。

光波導材料的選擇是光電基板概念能否成功商業化的關鍵，對於高分子材料而言，除了光傳輸特性及長時間穩定性之外，光波導的製作方式可能是影響材料選擇最重要的因素。



▲圖廿二 以凸版壓合法製作光波導圖案



資料來源：Fraunhofer IZM

▲圖廿三 以SEM觀察凸版壓合法所製作的光波導形狀，右下角光波導截面大小是60μm×60μm

光電基板構裝方法

由於單一材料無法同時滿足各種光電元件的特性需求，在光電基板封裝時必須同時考慮將不同基材的光電元件和光波導整合構裝在一起。整合的方法有很多，以下說明的例子是以Flip-chip及Solder技術在內藏光波導PCB上搭配應用的簡例，示於圖廿

五。不過因Solder Bump Flip Chip技術自IBM起頭發展至今已40多年，相關技術文章非常豐富，在本文中不再贅述，本節將只說明光電元件和光波導對位的方法。

在基板上傳輸光訊號使用多模(Multi-mode)傳輸是較為適當的，這是著眼於傳輸距離短且對位的可忍受公差較大（好幾個 μm ），可以提高封裝

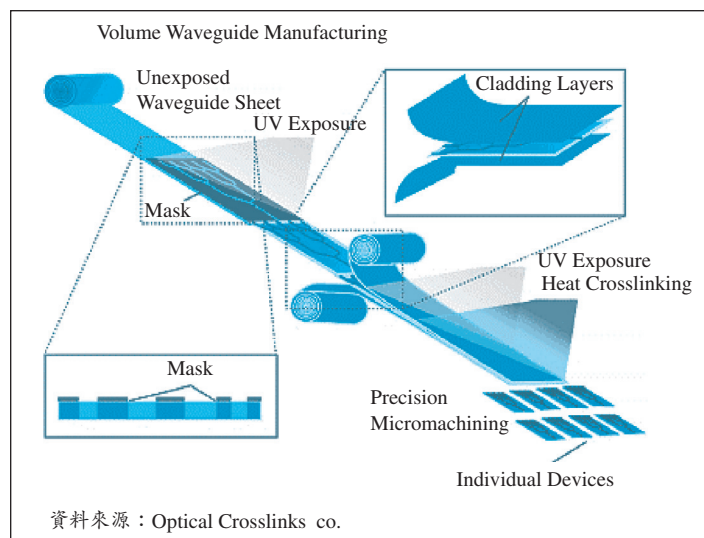
製程的彈性。對位的方式可區分為主動對位及被動對位，茲分別說明如下：

1.主動對位封裝

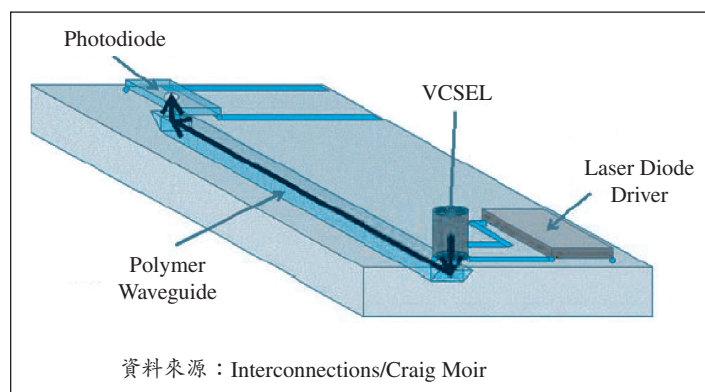
以圖廿六的例子說明，如果要對準光偵測器和光通道，需事先將光導入光通道中，並不斷移動光偵測器直到所收到的光訊號是最強的才能定位封裝。此方法較為耗時而且需要開發專用的自動對位設備。

2.自主對位封裝

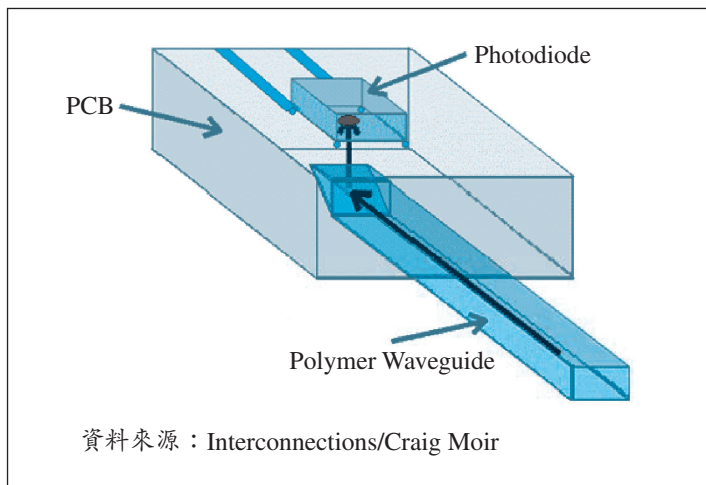
若在基板及IC載板上製作特殊結構，可以利用Solder Reflow的過程產生之回復力(Restoring Force)及位移，使IC停留在設計好的位置。中止柱的設計如圖廿七所示。此方法也許需要增加Solder設計



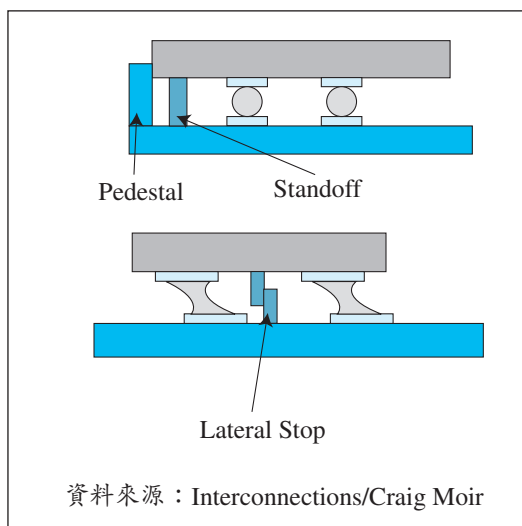
▲圖廿四 以Polyguide大量生產光波導元件的概念



▲圖廿五 光電基板構裝簡例



▲圖廿六 PD主動對位封裝方法



▲圖廿七 利用中止柱協助對位封裝

的複雜性，但卻可以有不錯的對位效果，且封裝所需時間較短，也不需使用特別設計的封裝設備。

未來展望

在IC間以光傳輸訊號何時能達到經濟效益是相當具有爭議性的問題，可以預期的是當CPU的時脈達到10GHz

時，微處理器和記憶體間或是多枚微處理器間的電子訊號傳遞速率瓶頸，將可能使CPU的高速時脈不再具有顯著的效益。雖然目前 Intel認為銅導線仍然有一些機會可以繼續提高資料傳遞速率，例如縮短電子訊號傳遞的距離或是增加IC的插腳，但這並不是沒有極限的做法。未來也許銅導線能夠被Intel提

升到10GHz或20GHz，誰也說不得準，可是各廠商卻沒有人敢忽視以光傳遞訊號的研究。

隨著光電元件、光波導材料及相關封裝技術陸續到位，PCB上IC間光傳輸通訊的商業化將指日可待。在這之前，標準的制定是相當迫切的。雖然10 Gbits/s光電模組的標準化規格 (Multi-Source Agreement (MSA) World Standard)已經由美國的Agere Systems公司主導和其他八家光電元件製造商所制定，然而有待制定標準的介面仍然很多，例如光電基板中光波導的製造標準、光學元件的對位封裝方法及基板和背板間光通道的連結方式都是尚待努力的目標。唯有精確的定義出各介面的連結標準，才能吸引製造廠商一起投入這個市場，以加速在商用電子設備中建構光傳輸連結的技術早日實現。目前國內廠商在此領域的耕耘仍相當薄弱，也許是私下研發而尚

未浮出檯面，但是以國內生產主機板及PCB的能量，如果未能及早在此領域佈局甚至參與標準的制定，將來支付權利金的包袱可能相當沉重，並進而削弱相關產品之競爭力。為了確保未來產品的競爭優勢，相關廠商應密切注意光互連技術發展動向，並及早佈局光電基板封裝製程及材料專利，相信機會總會是降臨在隨時有充分準備的先驅者身上。

結論

基板中以光傳輸訊號的概念藉由新的元件封裝技術，以及高分子光波

導材料的應用，已經獲得實現。EOCB基板更同時考慮到量產性而與現有PCB製程作結合，使得光通訊技術應用到電腦產業的時程進一步縮短。現階段的努力除了要建立光電基板的光學檢測系統，以及模擬軟體以協助光電系統的設計製作之外，也要深入探討高分子光波導材料的選擇依據。從早期重視材料的光學性質及穩定性，到目前加工方法的重要性日益浮現，如何從眾多選擇中找到和光電基板完美搭配的材料及加工方式，需要製程工程師和材料科學家的共同攜手合作，方能成功。