

光電基板簡介

駱韋仲* 傅煥鈞** 陳有志** 沈里正*** 張香鈺**
工研院電子所工業研究所
構裝製程技術組 *經理 **副工程師 ***工程師

摘要

本文主要簡介光電基板之發展緣由及其系統之需求，並以製程技術分類，做光波導製作及其材料的介紹，工研院電子所在此領域已完成感光性及非感光製程光電軟膜與高分子光波導製程開發，以及該光電軟膜的製作與後續壓合測試，傳輸損耗可達0.2~0.5dB/cm，並以自行開發之量測架構將光源引出做定量之插入損失量測。量測環境之建置主要針對製作完成之光波導迴路，量測其損耗，藉以驗證製程之優劣及架構之可行性，並提供量測光源及 VCSEL量測環境軟硬體建置，及量測方式技術之建立，目前光源主要以850nm為主。

關鍵詞

光電基板(Electro-Optical Circuit Board; EOCB)、高分子光波導(Polymeric Waveguide)、損耗(Optical Loss)、面射型雷射(VCSEL)、微影製程(Photo-lithography)

前言

針對資訊及通訊需求的持續成長，也因此造就了電腦及資訊網路的快速發展，更引發了寬頻通訊加入生活的可能性。在多項實際應用領域上，如寬頻視訊會議、電信工程等，可以隨時隨地的取用及傳輸的功能，已成為現代個人及商業交換訊息的標

準需求。這意味著未來資訊網路的用戶端必須具備遠高於現今的傳輸速率能力，提供真正有效率且高傳輸速率的雙向服務。也因此用戶端的高傳輸速率必定會導致系統端的負荷急遽增加，甚至需要全新的科技來進行跳躍式發展。幸運的是，目前遠距離光纖通訊的發展一日千里，可預見的未來數年內，數個Tbit/s 的傳輸速

率將藉由分光技術，例如高密度分波多工器(Dense Wavelength Division Multiplex; DWDM)，來進行單模光纖的傳輸。傳輸如此高的資料需要多項其他相互搭配的次系統來協助完成，例如高效能的開關、路由器、伺服器等等，而這些系統的最基本要求則是若使用電性連接技術時必須能越高越好，甚至有可能挑戰目前電性連接物理特性的極限。也因此若僅考慮連接技術特性時，利用光來進行傳輸將是較有效率的解決方案，而目前光傳輸確實可數倍於電連接技術。電腦及伺服器的心臟－微處理器的發展快速且驚人，目前商品化的產品其時脈早已超過3GHz，英特爾更於此波需求中推出800 MHz System Bus之產品，另藉由半導體製程技術及設備的創新發展，未來低於100 奈米的閘極寬度量產技術必將於一年內實現，也因此時脈的增加亦將持續發生於未來數年內，英特爾期望利用EUV技術於2005~2006 年內可達10GHz。問題是，就算理論上時脈能持續提昇，其效能終究必須與周邊頻寬相互搭配，才可能真正發揮出來。依此推論，提昇周邊頻寬的需求，將在未來扮演極為重要的角色，而未來真正的挑戰，將來自如何將高速訊號(GHz)取出，並傳送至構裝系統或鄰近元件，也因此工研院電子所正積極進行高速傳輸匯流排之設計及製程整合方案，以期能在挑戰來臨時提供國內業界解決之方案。

光基板技術發展簡述

通訊系統包含實體層、資料連接層、網路層、傳輸層以及最終的應用層等產業，而其基本架構包含光的傳輸、局端及用戶端之光訊號收發及放大，以及光訊號與電訊號的轉換。光纖傳輸的最大優點在於不受電磁感應干擾，可以架設於工廠內、鐵路沿線甚至高壓電力電纜附近；近年來由於網際網路的大量使用，明顯使得資料傳輸的需求大增，而未來越來越多用戶端的影音資料的傳輸，必須尋求有效率的解決方案，光通訊為目前資料傳輸解決方案的最適用新技術，而具備光傳輸之光電整合基板則可提供最佳的解決方式。

根據BPA國際顧問公司分析，光基板(Optical Backplanes)可分成三個世代，亦即接續型光纖連接技術、軟質基板光傳接技術以及混層式光電連接技術，茲分述如下。

(1) 接續型光纖連接技術（第一世代）：發展於90年代初期，主要使用分離式光纖及光纖連接器來進行模組與模組間或模組與元件間的互聯，為目前大型主機所廣泛使用。由於構造簡便且使用者眾，因此可提供價格相對較低廉的點對點光傳接。

(2) 軟質基板光傳接技術（第二世代）：發展於90 年代中期，利用軟質基板進行類似排線的光纖分佈，同樣地，此技術可應用如前述相同的連接

器，進行點對點的傳接。

(3) 混層式光電連接技術（第三世代）：依照埋入式材料及架構的特性，約略可再區分成以下四種技術：表面型高分子光波導、埋入式高分子光波導、埋入式光纖技術、埋入式光波導玻璃。與前兩世代最大的區別，在於此技術可提供多迴路的光波導，且可直接與主動及被動元件進行連接。

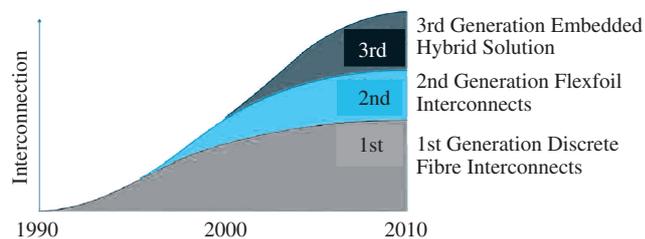
目前這三種技術均各自佔有一席之地，以世代一、二而言，可提供價格較低、構造簡單之點對點的連接，但受限於功能及高密度擴充性且仍需較多的光連接器，因此埋入式光波導基板技術，先天性具備高密度多迴路、高整合、量產性等多項優點，成為近來光基板最受矚目的技術。另一方面，由於高密度波長分波多工器(DWDM)、光學開關等技術的開發應用，以及光學連接技術之放大效益、傳接系統之可長距離傳輸的優點，再加上表面型雷射二極體(VCSEL)的快速研發與可量產性，將成為光電基板未來成長及廣泛應用的主要驅動力。

光電基板

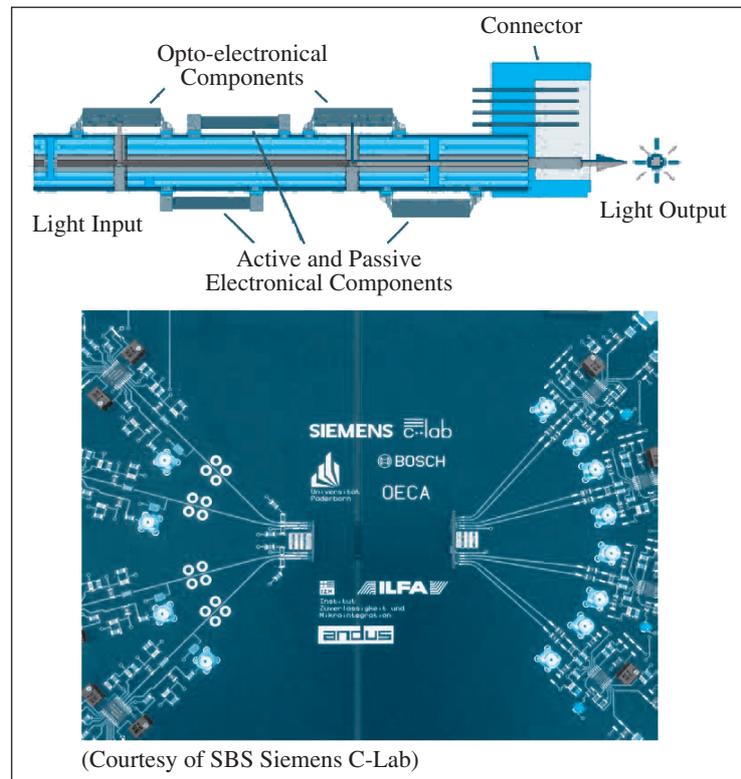
光電基板(Electro-Optical Circuit Board; EOCB)的基本概念，簡單來說，就是將目前發展非常成熟的印刷電路板加上一層導光層，也因此使得電路板的使用，除了現有的電連接技術，延伸至光傳輸領域。此導光層與

原有系統的聯結必須考量與電路板現有製程與材料的匹配性，同時必須考量的是在系統進行主被動元件組裝時，其對導光層的影響必須降到最低。如圖二所示，光電基板包含光電載板、光電元件與驅動元件。

若以製程來區分的話，導光層之



▲圖一 光連接技術發展趨勢

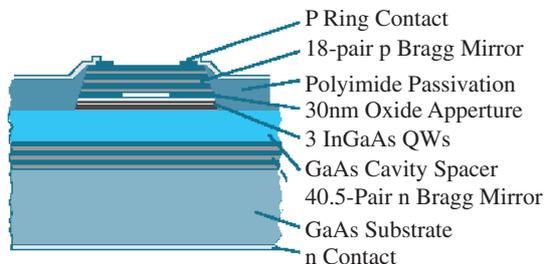


▲圖二 光電基板示意及雛形圖(2-6)

製作可區分為內層堆疊與外加延伸兩種主要方式，以圖中之導光層為例子，即為標準的內層堆疊方式，其製作方法可延用電路板生產中最基本的壓合技術來進行內層導光基板製作，後續再進行系統的表面組裝，將電訊號與光訊號連結。由於表面組裝技術之元件取放流程精度並無法達成現有光電元件組裝所要求的精度，因此一開始設計光電基板時，就必須將其元件位移偏差進行審慎的評估與考量，另一方面，由於光電元件位於系統基板之表面位置，光耦合的設計將是決定此導光層是否發揮應有效益的主要關鍵，若能考慮此兩大重點方能得到系統所需的低光學損耗及機構強韌的規範。以下將針對光電基板主要元件及導光層製程進行簡要的說明。

光源

目前系統中選用的光源為面射型雷射，顧名思義，面射型雷射光發射方向與晶片表面垂直，也因此其生產方式可依圖三所示之架構排列，進行單層製程及後續製程整合堆疊之程

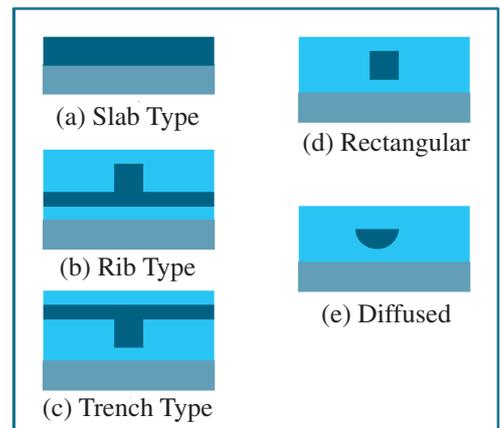


▲圖三 面射型雷射架構示意圖(2-6)

序，此與目前半導體製程開發模式十分近似，藉由半導體微影製程之精細度，其產生的製程誤差亦可控制在微米以下。雖然面射型雷射已具備長波長範圍(1310 & 1550 nm)，目前最主要的應用仍以波長為850nm 之面射型雷射為主，其主要的原因在於具備高量產性、易量測性、光電構裝之簡易性及調變後可高達10GHz 頻寬。

導光層製程技術

光波導(Optical Waveguide)的結構與光纖類似，均需由具有較高折射率之纖核(Core)與較低折射率之纖殼(Cladding)所組成。一般光纖主要用於長距離傳輸，結構是由不同折射率之纖核、纖殼所構成的同心圓；而光波導主要應用在光通訊元件及光電基板的短距離傳輸上，其結構種類較多，基本上可分為Slab Type、Rib Type、Trench Type、Rectangular、Diffused等五種，可參考圖四。要得到精確的光



▲圖四 光波導結構

波導纖核與纖殼所需之結構，需仰賴光波導的製程技術，下面就目前有機光波導製程技術加以說明：

1. 微影蝕刻法(Photolithography)

此方法與半導體的黃光製程相同。先在基板上旋佈一低折射率之下層Cladding，再於其上塗佈當作Core材料的高折射率層，並將此層以曝光顯影方式定義出光波導Core的尺寸大小，最後再於其上塗佈將與下層Cladding 相同材料的上層Cladding，即完成整個光波導製程步驟。此方法和半導體製程相容性高，而且設備相當成熟，但要取得能夠以微影蝕刻法定義之Core材料則是此法的關鍵。

2. 微影加反應離子蝕刻法(Photolithography + RIE)

此種方法可以解決前述因無法取得能以微影蝕刻法定義之Core材料的問題。其主要是利用RIE(Reactive Ion Etching)的非等向性蝕刻，透過已定義出之金屬或光阻遮罩來做出Core之形狀。因所蝕刻出來的線路圖具有垂直性，所以尺寸能夠精確控制，是目前應用最多的有機光波導製造技術。

3. 壓模法(Molding)

壓模法是先利用金屬模具製作出精密的線路模具，再利用此模具將光波導結構在有機材料上壓模而製作出光波導結構。此種方法具有大量快速製造光波導的優點，但製作技術的關鍵在於如何先做出精密的壓模模具。

4. 局部反應法(Localized Reaction)

這是利用聚合單體在使用紫外線曝光後產生聚合反應，使曝光區域與周圍未曝光區域產生折射率差別來製作出光波導。此方法缺點為製程中不易對高分子單體進行完全的照光聚合，反應程度很難控制，因此折射率可能無法呈現一穩定之值而使製程再現性不佳，如此將無法製造出可靠的光波導。

5. 電子束寫入法(Electron Beam Writing)

此種方法是利用高能量的電子束直接射入低折射率的Cladding中，因有機光波導材料的分子結構會受高能量電子束照射而產生結構改變，使得其折射率增加而形成高折射率的Core部分，此種作法可簡化光波導製程，是很被看好的技術。

要得到好的光波導，除正確的系統設計及材料選用外，製程技術也是極重要的一環，因不良的製程技術所造成光波導結構的缺陷，如粗糙度太大、表面不平整、氣泡、孔洞、彎曲等，都會使其在傳送光訊號時損失增大，所以追求理想的光波導製程技術是達到完美光訊號傳輸的要件之一。

雖然上述有多種光波導成型方法，但如何選擇適當的光波導製程放入印刷電路板中，同時與FR4材料相匹配之製程可加工性且兼顧可靠性需求，將是完成光電基板之重要課題。以現有電路板材料特性而言，高分子材料由於具備本質上的材料匹配性，

將是生產光導波路最適合且具備量產性的最佳選擇，故以下將針對三種適合用於印刷電路板加工的高分子光波導製程成型方法，進行簡略的描述。

1. 鑄模熱壓製程

此製程首先需針對所需導光層的圖案進行壓模的製作，一般而言，最常選用金屬鎳作為此模具的金屬層，而利用深紫外光微影製程及電鑄技術進行電鑄壓模的圖形製作，則因為表面粗糙度可達到10 奈米左右，已成為目前極受重視的製程方式。接下來，熱壓合製程製作方法之原理描述，如圖五所示，藉由溫度的升高及加壓，可將電鑄模板的圖形轉印在熱可塑性的高分子材料上，再藉由脫模即可很容易的獲得所需要的光波導凹槽，此凹槽後續將進行光波導材料的填入，最終再於頂端覆蓋一層覆面保護層，

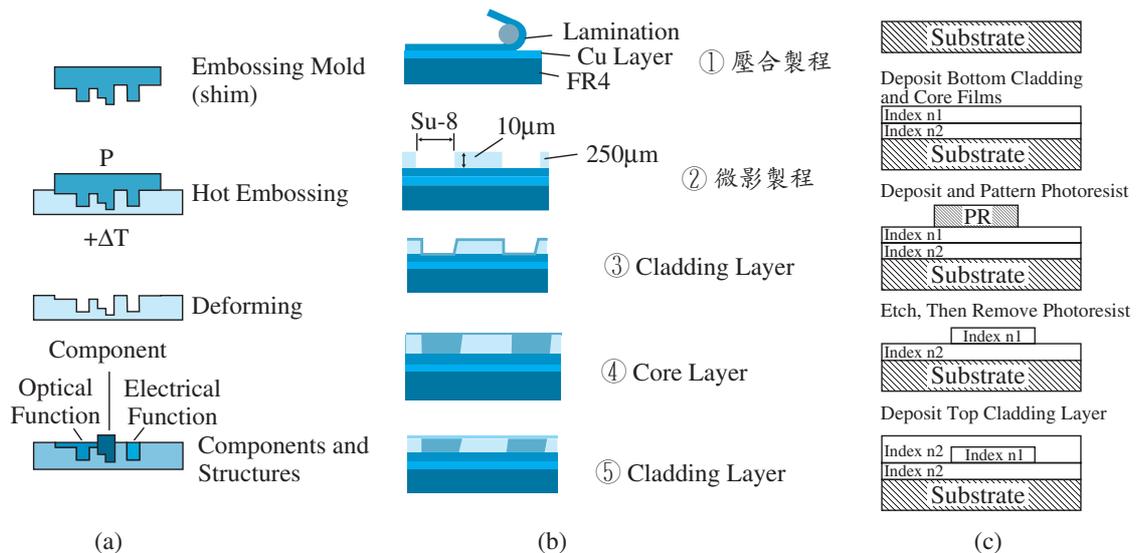
即可完成導光層之製作。

2. 壓膜製程

此製程直接於印刷電路板上進行底層的壓合塗佈，其次，藉由旋轉塗佈感光性高分子材料及光微影製程，獲得所需要的光波導凹槽，此凹槽後續將進行光波導材料的填入，最終再於頂端覆蓋一層覆面保護層，即可完成導光層之製作。

3. 乾蝕刻製程

此製程與前述兩者不同之處，在於直接進行底層及光波導層的塗佈，完成烘烤定型後，進行光阻劑的塗佈、顯影，以達成所需光波導圖案，其次，利用此光阻劑進行蝕刻時之遮障，完成所需光波導之圖案，最終如同上述再於頂端覆蓋一層覆面保護層，即完成導光層之製作。



▲圖五 導光層(a)鑄模熱壓、(b)壓膜、(c)乾蝕刻⁽²⁻⁴⁾

量測技術

一、Index Measurement

材料的折射率大小對於光波導是否能夠導光是一個很重要的決定因素。藉由量測光波導材料之折射率，能夠使我們瞭解材料在經過製程前後之折射率變化，對於光波導材料之選擇以及製程之調整有相當大的幫助。

量測折射率的儀器有很多，如橢圓光學測厚儀(Ellipsometer)、n & k薄膜測厚儀(n & k Thin Film Measurement System)等等，在這裡我們所使用的是MetriCon Model 2010之稜鏡耦合儀(Prism Coupler)，在折射率之量測解析度可達 ± 0.0005 ，精度可達 ± 0.001 。它的原理是藉由量測光在哪些特定的角度下違反全反射定律，並藉由這些角度來計算待測物之厚度與折射率。

二、Reliability Test

在材料可靠性測試方面，我們做了UV 曝光測試、材料高溫測試、恆溫恆濕測試，分別敘述如下：

(a) UV曝光測試

由於我們想瞭解光波導製作完成後，是否會因為UV 光之照射，使得材料結構或是折射率改變，因而影響光波導導光效果，所以使用

強度 $8.75\text{mW}/\text{cm}^2$ 之紫外光源照射光波導5分鐘及10分鐘，量測光波導之Total Loss，觀察是否有明顯之變化。目前工研院電子所已測得照光後損耗變異相當小的結果，如表一，符合未來製程之所需。

(b) 恆溫恆濕材料測試

光波導在後段製程，有可能會經過高溫之製程，因此光波導材料溫度之效應需要經過確認，並觀察折射率之相對變化，瞭解材料是否能夠經得起製程溫度變異。在此我們將波導材料置於溫度 85°C 以及相對濕度85%之環境中持續168小時，觀察光波導材料是否能夠通過可靠度測試，在此我們發現材料組合的變異約略小於4%。

三、Loss Measurement

影響光波導傳輸的因素有很多，如材料內之雜質、材料吸收、不均勻的硬化過程、表面粗糙度、氣泡包覆，以及端面處理情況等等。藉由量測光波導之損失特性，可以使我們對材料以及製程有更進一步的瞭解或改善。

表一 材料光裂化測試

Sample ID	Initial Loss[dB] @850 nm	UV 5 Min. Loss[dB] @850 nm	UV 10 Min. Loss[dB] @850 nm	Note
A	1.5	2.5	2.9	5 cm
B	1.6	2.5	2.7	5 cm
電子所	1.4	1.7	1.7	10 cm

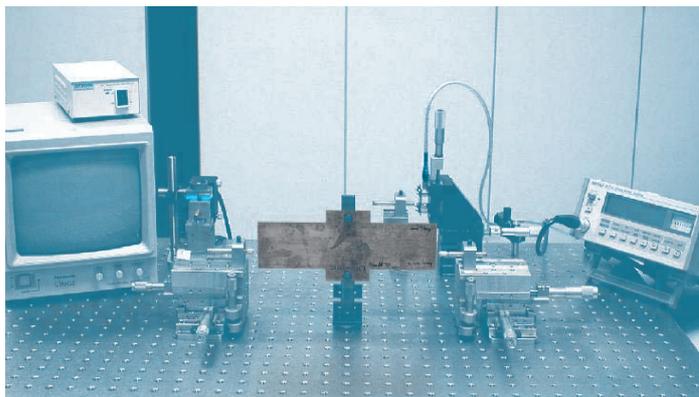
量測插入損失(Insertion Loss)所使用到的主要量測儀器包含光功率計(Power Meter)、光感測器、光源，以及對位機構。光功率計必須配合光源之強度來選擇適當之靈敏度；光感測器則必須配合光源之波長來選擇。光源則必須量測其光輸出強度之穩定性，因為在量測時，若光源強度不穩定將造成量測上之誤差。在對位機構上，為求較高的位置精確度，一般均使用三軸或六軸電控平台，因為目前步進馬達解析度可小於 $0.1\mu\text{m}/\text{Pulse}$ ；針對平移三軸或旋轉軸方面，當然若考量經費因素則選擇手動旋轉軸。

以單模光纖將光耦合進入光波導來量測插入損失，會受到光波導端面粗糙度以及耦合效率的影響，所以可以使用Cut-back的方式來量測光波導的波傳損失(Transmission Loss)，這樣就能夠消除端面以及光耦合的變異。主要量測架構為使用單模光纖將光源引

出，並經由對位機構導入光波導中，以IR CCD觀察導光情形並輔助對位，再以光感測器收光，量測輸入以及輸出光強度，計算插入損失。接著再將試片以晶元切割機台裁去一固定長度，再做一次插入損失之量測，重複幾次後可繪製長度-插入損失之圖表，並可從圖表上看出此光波導每單位長度之波傳損失。

有關量測與驗證部分，主要量測的項目包括：(1)Total Loss、(2)Attenuation、(3)Transmission Rate。圖六為損耗量測系統基本架構，圖中右方為光源及微動對位平台，左方設置光偵測器及微動對位平台，中間部分則為光波導載台(Waveguide Golder)。量測前提是必須透過微動平台，準確地將光源耦合進入待測光波導之一端，並將光偵測器對準光波導之另一端。由於必須同時對準兩端，才能控制量測誤差，難度相當高，因此，一般多

採用的方式是以手動或自動控制掃描方式，取多次量測之最大收光值作為該波導光損耗之量測值。其中，Total Loss包含耦合損耗(Insertion/Coupling Loss)及光波導傳輸衰減(Attenuation)，可由光源與偵測值之差求得。光波導傳輸衰減量測，則可藉由Cut-back方式，在統計假設



資料提供：C-Lab. Germany

▲圖六 損耗量測系統基本架構

每一個端面/介面損耗(Insertion/Coupling Loss)均相同的情形下，利用不同長度差的Total Loss相減可得。亦即

$$\text{Loss}_A = \text{InsertionLoss}_1 + \text{Attenuation} \times \text{Length}_A + \text{InsertionLoss}_2 \quad (1)$$

$$\text{Loss}_B = \text{InsertionLoss}_1 + \text{Attenuation} \times \text{Length}_B + \text{InsertionLoss}_2 \quad (2)$$

(1)-(2)即可得

$$\text{Loss}_A - \text{Loss}_B = \text{Attenuation} \times (\text{Length}_A - \text{Length}_B) \quad (3)$$

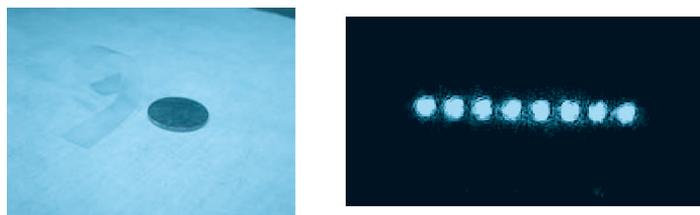
目前針對傳輸頻寬之確認，主要是依據Eye-pattern的方式進行驗證，以此項光電基板雛型進行驗證，國際上目前最先進傳輸頻寬可超過3 Gbit/s。

國際有關光電整合式基板(Electronic and Optical Printed Circuit Board; EOPCB)之研究主要分佈於美國、日本及歐洲三大群聚。其中，美國主要以航太及軍事應用為主，企圖以光電整合的解決方案，降低系統設計與製造成本，並提升其可靠性；日本則以NTT為首，企圖藉由其在長途通訊(Telecommunication)之技術優勢與經驗，轉投入短距離

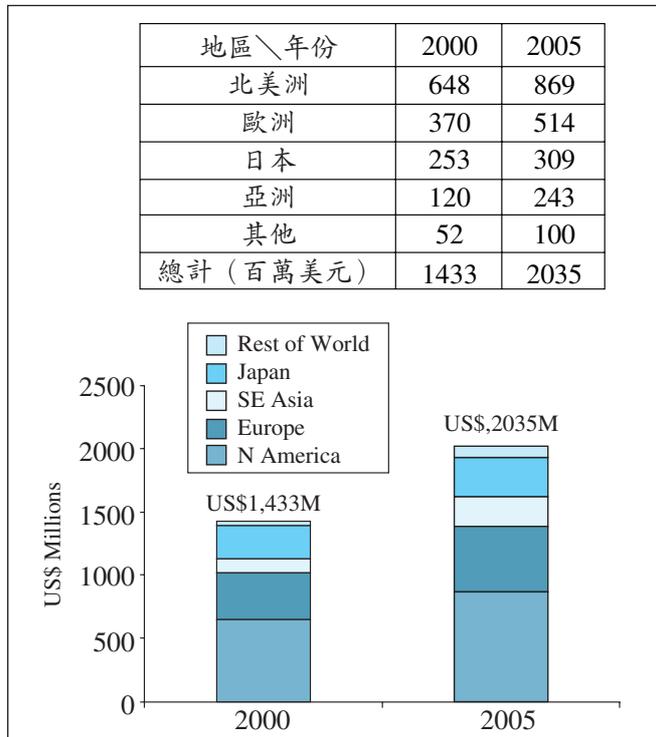
之數據資料通訊(Data-communication)應用；在歐洲方面，主要以德國為主，其研究方向係以提升PCB傳輸效能為切入點，希望結合PCB的成本優勢、電子元件的高速運算，以及光訊號的高傳輸頻寬等特性，藉以大幅提升系統效能並同時控制成本。工研院電子所於89年開始投入人力進行光電整合式基板技術評估，並與歐、美、日等主要研究團隊，如IZM、C-Lab、UT Austin、NTT、Toppan等公司或機構建立技術交流及國際合作，目前已成功進行軟性膜製作如圖七，並進行壓合製程。

市場潛力分析

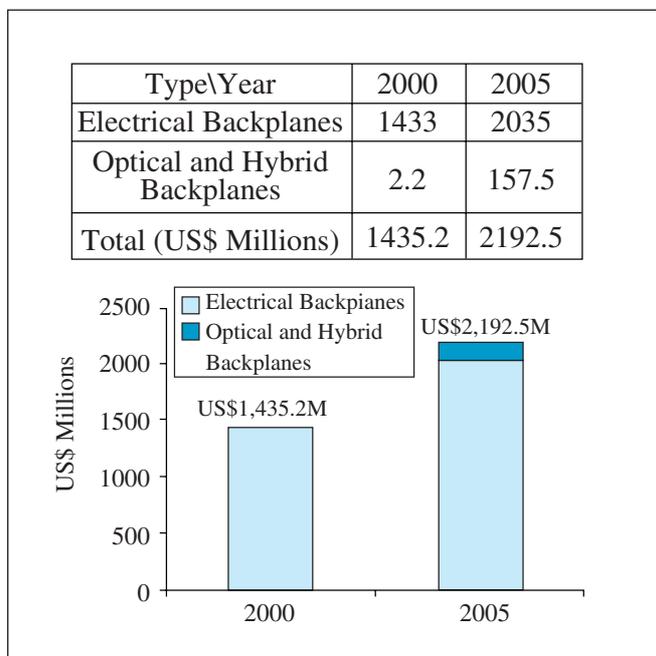
目前PCB的產品結構可概分為資訊、消費性、通訊與汽車等四大類。2000年全球總產值超過新台幣1兆元，預估2005年將達到新台幣1兆7千萬的規模。產品分佈以北美地區為最高，西歐次之，而大部分之產品應用，與資訊及通訊相關。造成2001年產值下降的主要因素為佔最大產值之資訊板由於製造所需的資金與技術障礙低，同時產品週期已進入成熟期，引發生



▲圖七 可撓性軟性膜及導光量測圖



▲圖八 背板市場產值 (資料來源：BPA)



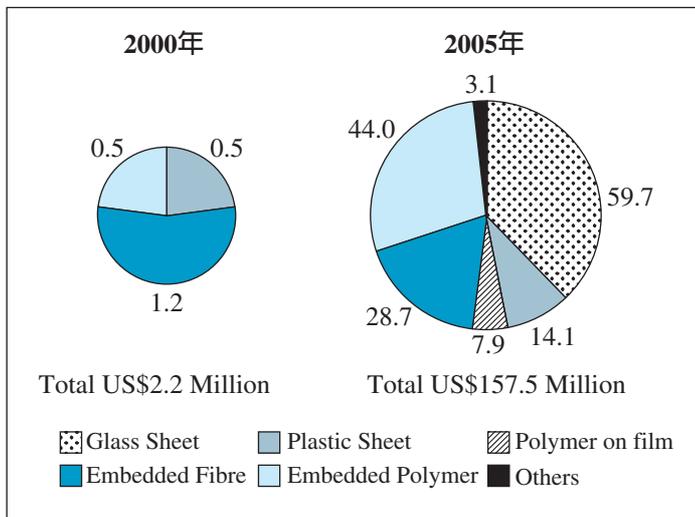
▲圖九 混層光電連接技術產值 (資料來源：BPA)

產過剩導致市場上進行削價競爭，因而整體成長趨緩。但在通訊領域上，不僅成長率高，同時亦佔有越來越大的產值，顯示未來通訊產品將佔有更重要的地位。

以應用於背板之市場來看，如圖八，目前產值為新台幣480億元，預估五年後2005年產值可達新台幣700億元，市場集中性仍以北美地區為主，歐洲次之，日本則佔第三位。而大部分之產品應用，超過74%仍與資訊及通訊相關。

第三世代混層光電連接技術為例，如圖九。雖然目前技術仍舊持續發展中，佔有率也僅佔背板市場之總產值1%，但根據BPA公司的預測，在2005年時，其市場佔有率將提昇至2005年之7.7%產值。

依據圖十BPA預測光電基板的发展，雖然技術領域眾多，但將以高分子光波導、玻璃態光波導兩種為主要埋入式光電基板之技術，也因此可作為未來投入相關產業研發及生產之先期指標。



▲圖十 光電基板技術材料分類 (資料來源: BPA)

結論

面對全球化之競爭，印刷電路板產業正處於關鍵轉型期，國內業者為開拓市場、降低成本，亦積極前往彼岸進行投資，於上海、武漢等地建立研發能量與基地，同時，國內廠商於台灣的投資對高附加價值產品研發及產能的比重，正快速地逐年提昇，光電基板即是目前工研院電子所積極評估及研發的重點技術級產品，未來希望藉由國內業者與工研院加強研發為高附加價值產品，以提升我國印刷電路板產業水準，若再加上國內業者擅長的大量製造及生產管理技術，進而帶動國外業者在台對此一先進新興產業的投資研發及量產。

另外，由於通訊商機誘人，目前全球已有日本電信電話公司(NTT)、西

門子(Siemens)、戴姆勒克萊斯勒(Daimler Chrysler)、PPC、朗訊科技(Lucent)、三星、NEC、全錄太克(Fuji Xerox)、日立化成(Hitachi Chemicals)等電信、通訊設備、材料廠商已相繼投入此市場，未來不論是光纖到家或光纖到桌均亟需大量的資訊傳輸，目前日本電信電話公司等各大公司均預測以多模態方式來提供服務，亦即是雷射二極體、光收發模組等元件已列入光通

訊主要規格，並將會整合現有硬體提供強大的跨平台功能而並存。如前所述，印刷電路板產業因高速訊號傳送之構裝系統，極有可能成為後續通訊基礎建設下的受益者，同時將隨著人類對寬頻需求提高，我們預期高附加價值的光電基板需求的成長空間將持續擴大。

參考文獻

1. J. Tatum, Fiberoptic products news, 2000, 6
2. K. Schmieder, et al. ECTC2000, 749
3. D. Krabe, et al. ECTC2000, 970
4. F. Mederer, et al. ECTC2001
5. T. Suzuki, et al. ECTC2003, 1153
6. H. Schhoeder, et al. ECTC2003, 1053
7. BPA international report 2001