

第一章 緒論

微機電系統技術起源於 1960 年代對積體電路的研究，其發展的理念在於如何將電子電路微小化，科技人員改善傳統加工技術及應用半導體製程，試圖將各種機械元件微小化，進而產生微機電系統技術。

1.1 微機電系統簡介

微機電系統的定義為應用微米($\mu\text{m}, 10^{-6}\text{m}$)或奈米($\text{nm}, 10^{-9}\text{m}$)加工技術研製微細元件及組件，並整合微電子電路與微控制器，而達到某種功用的系統。就精度而言，微機電系統的定義又可為⁽¹⁾：

- (1) 微機電系統本身的尺寸大小在微米(μm)範圍;
- (2) 微機電系統是能達到微米以內的運動精度的機械，但機械本身的大小沒有限制。

微機電系統的名稱概分為三大類：第一大類以美國為主的 Micro-Electro-Mechanical System (MEMS)；第二大類則以歐洲為主的 Micro-Systems Technology (MST)；第三大類為日本自成一個體系之 Micromachines。在二十一世紀微機電系統，大致朝向以下三個應用領域發展⁽²⁾：

- (1) 光學微機電系統(Optical MEMS)：應用於光電影像、資料與資訊存取、…等。此外，微機電製程技術能將光學元件體積縮小而具有高精

度與高光學品質的特性，現今網路苛求寬頻與高速傳輸速度，光纖通訊因而孕育而生，微機電系統製程技術可提供光纖通訊所需之各種光學元件或系統，如光開關、濾波器、連接器、…等；

- (2) 生物微機電系統(Bio-MEMS)：隨著生活品質提昇對健康保健的重視，生物與醫學科學更為重要，微機電系統製程技術所製作為生醫元件，如生醫感測器、生醫與電子介面元件、…等，能減少費時且繁瑣的檢驗、抽樣樣品數少、低成本、高效率檢驗能力、…等優點；
- (3) 射頻微機電系統(RF MEMS)：RF 通訊主要的朝向陣列天線與 RF 端的兩大方向發展，微機電系統製程技術可提供 RF 通訊所需之各種相關元件，如天線、電感、…等的製作。再者，無線通訊的昌盛，生活中常見的是手機的體積與天線縮小明顯的例子。

目前微機電系統領域的微製造技術包括：整合蝕刻及薄膜技術的矽基微細加工、深光刻電鑄模造技術(LIGA)及微機械加工技術等三類技術，如表 1-1⁽³⁾所示。矽基微細加工的對象以矽質材料為主，其製程整合薄膜、曝光、顯影、蝕刻等半導體製程技術。目前 MEMS 領域中的微感測器，大多是由半導體微電子 IC 製程技術所衍生的矽基微細加工技術製造而成。在矽基板上形成微感測器、致動器或其他系統元件時，可以積體化(integration)的方式將電路製作在同一晶片上，以減少訊號干擾達到最佳的相容性。然而，在 MEMS 應用技術中，微元件除了強調特有的結構性能(如光學性質

表 1-1 微機電系統領域中微製造技術分類表⁽³⁾

矽基微細加工	蝕刻技術	化學蝕刻技術	濕式	浸漬式 漬著式
			乾式	電漿蝕刻 反應性離子蝕刻 濺散蝕刻 離子束蝕刻
	光蝕刻技術			
	薄膜技術	積體電路技術、基體微細加工、表面微細加工、接合技術、 高深寬比製程		
深蝕光刻電鑄模造技術	X-ray 光刻術、紫外線光刻術、雷射光刻術、電子束光刻術、離子束光刻術			
微機械精密加工	切削加工	微切削加工、微鑽孔加工、微銑削加工、微輪磨加工		
	非切削加工	微電鍍成型、微壓模成型、微射出成型		
	特殊加工	微放電加工、雷射及離子束加工、原子力顯微加工術		

、導電性、導熱性)外，為了支援結構強度或增加元件的電、磁致動特性，結構體必須朝著高深寬比(high aspect ratio)，致使微系統 LIGA 製程技術日益受到重視。LIGA 製程結合了光刻術、電鍍鑄模技術、以及高分子微成型的大量翻造技術，可應用於微致動器、微熱交換器、微幫浦、微感測器、微光學系統等元件開發，達到大量製造生產(批次量產)的商品化目的。

LIGA 技術與傳統微機械加工(其包含有：微切削加工、微鑽孔加工、微銑削加工、微電鍍成型、微壓模成型、微射出成型微放電加工、雷射及離子束加工、原子力顯微加工術等)相較之下，微機械加工所加工生產的微零件之尺寸較大，易於生產 3D 複雜之微零件之優點，但不易大量製造生產(批次量產)且須配合組裝技術方與 IC 電路整合，此為其缺點，而 LIGA 技術與 IC 電路整合性良好且易於大量製造生產(批次量產)等優點。

此三類技術雖各具其優缺點與技術限制，其選用原則需考慮微零組件製造特性，而選用適當的製造技術，或複合使用之，方能完成更具完整且複雜的 3D 形狀發展規模的微系統。

Casio 於西元 2002 年發表世界上最薄之 Exilin CCD 數位相機⁽⁴⁾ (如名片般大小，約 1.1cm 厚度，85 公克重)，其關鍵技術有二：一為採用 HCLi (Hyper CCD-Lens integration)與非球面鏡頭技術，將鏡頭模組化，體積亦大大縮小；另一為多晶片模組(multi chip module, MCM)即將 CPU、ASIC、SDRAM、FLASH 等晶片整合成為模組化晶片，較以往機板面積縮減

70%，故採用微機電系統技術之好處在於可將元件或系統整合為模組化晶片、體積大為縮小、重量減輕、易於複製進而降低成本、…等。

隨著科技的進步，產品不斷往多功能整合，促使製造技術朝向精密化、細微化、及高密度化演進，因而衍生出次世代產業需求之「微機電系統」技術。此技術可整合光、機、電、控制、化學等多重科技，將微感測器(microsensor)、微致動器(microactuator)、微處理器等元件模組化於單一晶片(chip)上，提高微機電系統的應用性與附加價值。輕如毫髮的微型機電系統體積雖小，卻大大好用，已用在光電影像、生化醫療、資訊儲存、與精密機械等應用領域扮演重要角色，因此微機電系統技術已被科技界公認為二十一世紀高科技產業的重要技術指標。

1.2 微光機電系統

傳統光學系統中，若使用微機電製程技術製成微光學元件所組成的系統，即為微光機電系統。而微光機電系統的名稱有：Optical MEMS、Micro Opto Electro Mechanical Systems (MOEMS)、Micro Opto Mechanical Systems (MOMS)等⁽²⁾。

傳統的光學元件相較於以微機電製程技術所製作之微光學元件而言，有體積龐大、單一功能、量產時品質不易控制、…等缺點；微光機電元件，不但體積在數 mm 以下、量產時品質易控制外，將多個元件微小化且整合於單一系統內，使其具有多功能性、高品質、高附加價值、低成本之優點，故極佳之發展潛力。如圖 1-1，即為美國加州大學洛杉磯分校，在微光機電系統的元件研究成果，此微光機電系統整合雷射、微致動器、微透鏡…等元件，但仍未超過 1cm^2 ，此系統可應用於 DVD 讀寫頭⁽⁵⁾。

Texas Instruments 已成功將微機電系統技術，運用於其產品中，並上市銷售。市面上 DLP (Digital Light Processing) 投影機，其投影像素構件 DMD (Digital Micromirror Device structure)，實際體積大小，如圖 1-2 所示⁽⁶⁾。又由圖 1-3⁽⁶⁾中可以清楚得知此 DMD 結構，除最底部的 CMOS 控制電路外，圖 1-4 所示⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾其上之各層結構層，是以微機電製程技術一一建構完成。Horenstein 等人⁽⁷⁾對投影像素構件 DMD 進行探討之。

貝爾實驗室(Bell Labs)發表注重實用性與應用微機電系統技術所製作

之光開關元件，並預期將廣泛應用於網路連線通訊中，如圖 1-5 所示⁽⁸⁾。
其驅動方式是以靜電力驅動，使微反射鏡作動。

微光機電系統技術應用於光纖通訊，提供光主動元件與光被動元件之間，或光被動元件與光被動元件之間的微米級精密定位精度，如一光纖與另一光纖耦合時，能達到微米級定位精度；再者，微光機電系統技術能將光主動元件與光被動元件，或光被動元件與光被動元件微小化亦將其整合於單一晶片中之製造技術，產品更可以符合低插入損失、低成本、高可靠度、…等優點。

從種種光學微機電的運用，無論是在學術研究或是商業用途，均為人們帶來更多的方便、更好的生活品質。以 Casio 之 Exilin CCD 數位相機與 Texas Instruments 之投影像素構件 DMD 投影機為例，不僅僅只有技術進步、新產品發表與市場佔有率而已，更深一層的意義在消費者將以同樣價格買到更好的物品與人類文明的大躍進。

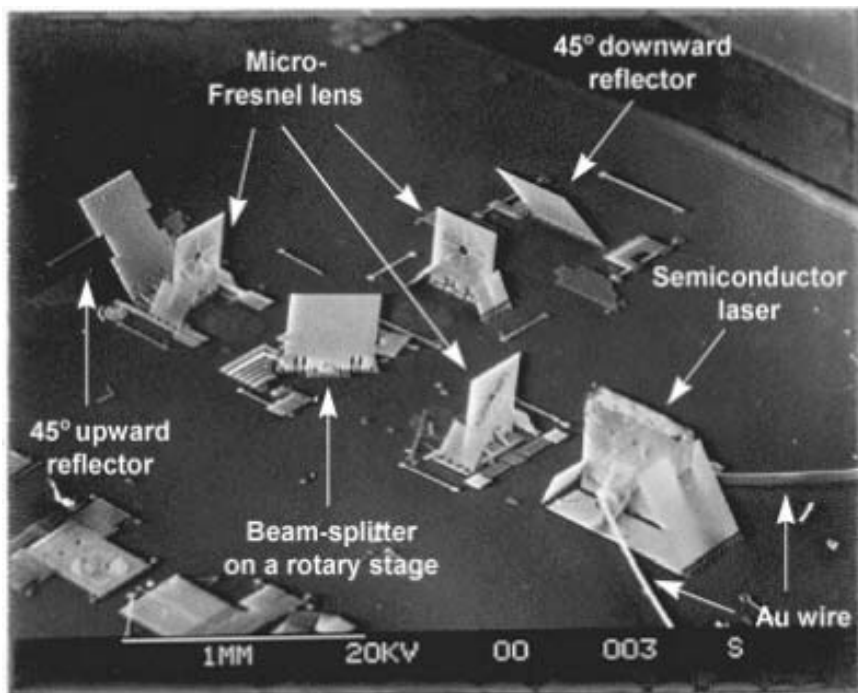


圖 1-1 微光學元件系統⁽⁵⁾

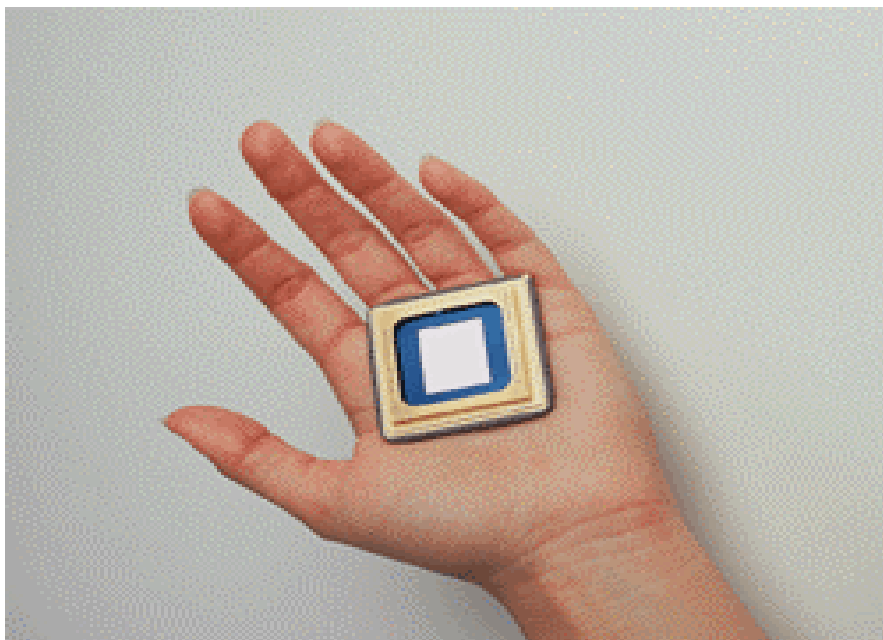


圖 1-2 DMD 實際大小⁽⁶⁾

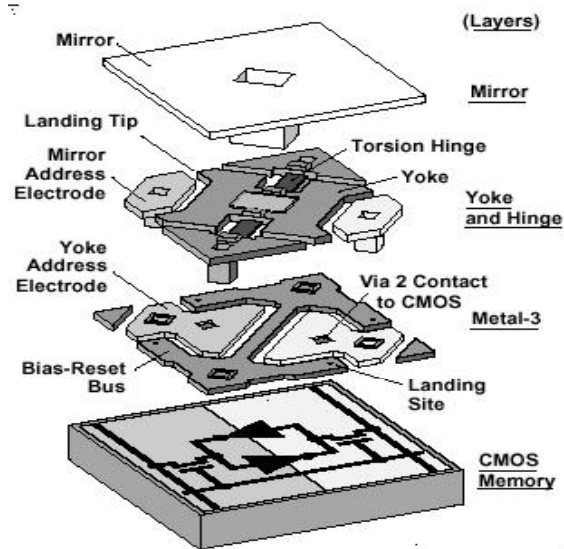


圖 1-3 DMD 微光學元件分解圖⁽⁶⁾

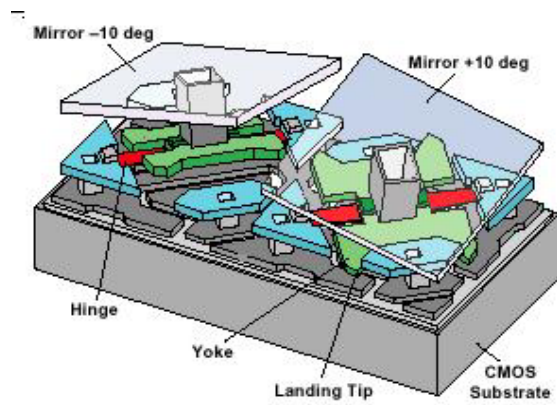


圖 1-4 DMD 微光學元件組合圖⁽⁶⁾⁽⁷⁾

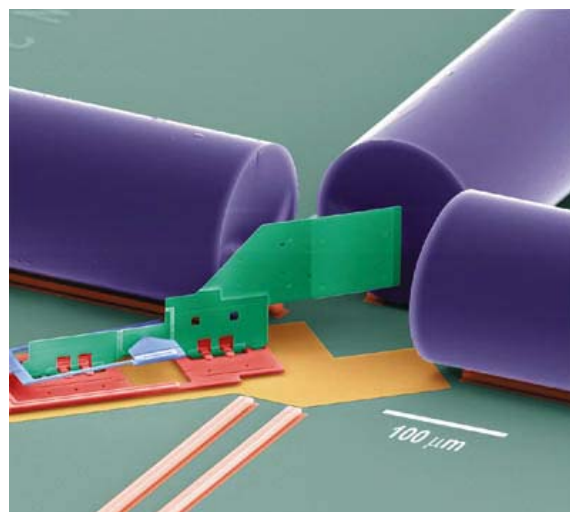


圖 1-5 貝爾實驗室所製之光開關⁽⁸⁾

1.3 光纖通訊

中國西周定都於鎬，在驪山附近建造烽火台防禦外敵入侵，外敵襲擊時，為利於支援軍隊前來作戰，便以晝點狼煙，夜點火方式，告知戰情。這是最古老的光通訊方式之一。

現代的光纖通訊原理示意圖，如圖 1-6 所示⁽⁹⁾，電訊號由左邊輸入，經光轉換器(Light source transducer)轉換成光訊號，透過光纖傳達至另一端，再由右邊的光轉換器(Light detector transducer)轉換成電訊號，而完成通訊的任務，屬於一對一的通訊。若需要將同一輸入端的訊號，傳到不同的輸出端，則需要靠光開關(optical switch)，將光訊號切換至另一光纖，故光開關在光纖通訊佔極為重要的席位。

光纖相較於同軸電纜(coaxial cable)的優點，由表 1-2⁽⁹⁾得知。光纖無論在體積、重量、頻寬、保密性、中繼站數目、干擾、傳輸損耗量方面，皆優於同軸電纜。光纖的尺寸極小、精確性高，以微機電製程製作其相關元件，幾乎可以合乎其要求。

隨著「光纖到家」、「光纖到桌」的寬頻網路市場需求，全球都將焦點集中在光纖通訊市場上，光纖通訊所需之零組件、設備，皆備受重視，其中又以光耦合器中的波長多工器(**W**avelength **D**ivision **M**ultiplexing, WDM)之高密度波長多工器 (**D**ense **W**avelength **D**ivision **M**ultiplexing, DWDM)為廣為人知，其原理可以彩虹原理(rainbow principle)比喻，即將眾多的光訊

號耦合於一光纖中，經光纖傳遞至接收端後，再將欲下路(drop)之光訊號下載或欲上路(add)之光訊號上傳，利用此技術單一光纖可同時傳送大量的光訊號，不但效益大為提昇並節省光纖架設成本。

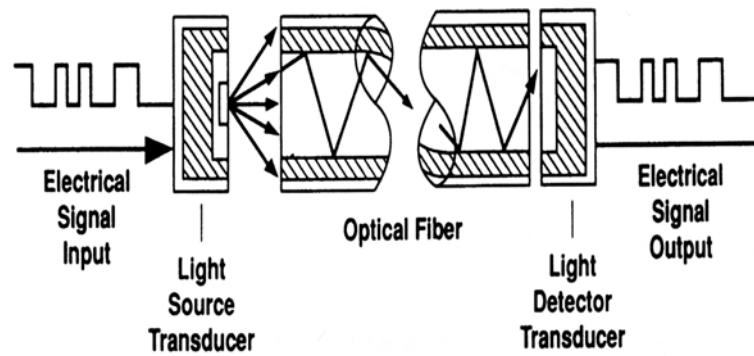


圖 1-6 光纖通訊(E-O-E)原理示意圖⁽⁹⁾

表 1-2 光纖與同軸電纜之比較⁽⁹⁾

類別	光纖	同軸電纜
體積、重量	小、輕	大、重
頻寬	~GHz	~600MHz
保密性	極高	低
中繼站數目	少	多
干擾	不易受干擾	易受干擾
傳輸損耗量	低	高