

# 微機電雷射掃描微投影技術

## Laser Scan Pico-Projector with MEMS Scanning Mirror

洪昌黎、高誌駿

Andrew Hung, Ryan Kao

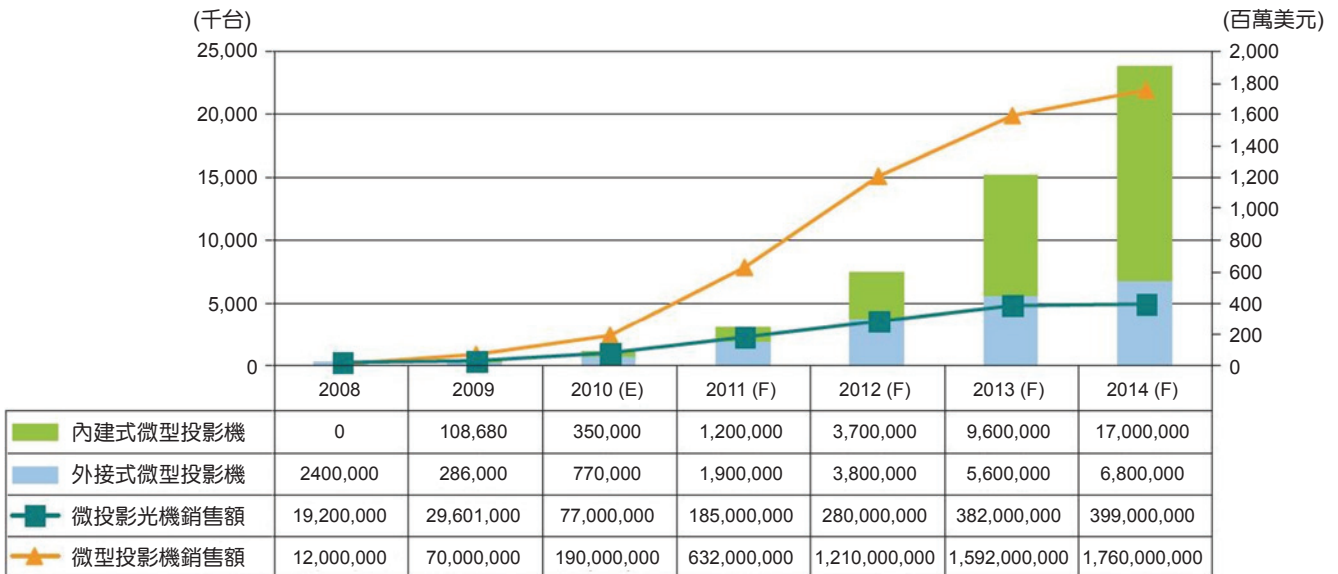
本文介紹微投影三種主要技術發展概況，並針對雷射掃描投影技術與微機電掃描晶片 (MEMS scanning mirror) 的投影原理與技術特性做說明介紹。由於微機電掃描晶片以類比方式將混成單一光束的紅、藍、綠光雷射掃描成一二維畫面，畫面中每一畫素色彩則透過同步高速調變紅、藍、綠光雷射輸出功率合成，具備高光學效率、低功耗、色域廣以及無需對焦等特性，加上反射鏡面簡諧運動掃描導致的亮度均勻性、雷射入射導致的影像幾何變形均可透過韌體運算補償修正，因此投影光機所需零件最簡化，具備體積縮小、低成本等優勢，符合內建式微投影應用的要求。

In this article, we introduce the three primary pico-projector technologies and focus on discussing the working principle and features of laser scan projection display with MEMS scanning mirror. The MEMS scanning mirror scans RGB laser beams aligned into a single spot into a two-dimensional image area to form an image. Each pixel color is formed by modulating the RGB lasers simultaneously that leads to high optical efficiency, lower power consumption, wide color gamut and focus free operation. The geometrical distortion and brightness uniformity due to laser incident angle and sinusoidal motion of the scanning mirror may be compensated and corrected through firmware computation without additional optical components. Therefore, the light engine requires the least components and is inherently small and low cost, and is best suited for embedded projection application.

### 一、市場趨勢

隨著智慧型手機與平板電腦的快速成長，除加深了消費者對行動裝置的重視與依賴，更改變了消費者對行動裝置使用的習慣。各家行動裝置廠商為了增加競爭力，除追求體積的輕薄短小外，無不想盡辦法增進產品功能，滿足消費者對行動裝置一機多用的需求，也造就了行動裝置嵌入微投影模組的發展與想像空間。自 2008 年以來市場上已有相當

多廠商開發出微投影機產品，Samsung、Fujitsu、Nikon 與 Sony 等行動裝置一線廠商，已開始陸續於手機、NB、DSC 與 DV 中內建微投影裝置，現階段受限於技術成熟度、價格瓶頸以及應用典範，微投影應用仍未達普及階段。即便如此，投入微投影產業鏈的廠商仍是有增無減，市場調查機構也預測嵌入式微投影模組市場規模在 2013 年將開始超過外接式，並邁向高成長的階段<sup>(1)</sup>。2008 – 2014 年微型投影機市場規模預估如圖 1 所示。



Source : PMA ; 各廠商 ; 拓璞產業研究所整理 , 2010/09 。

圖 1. 2008—2014 年微型投影機市場規模預估。

行動投影機就裝置體積與投影亮度區分可分為微投影機 (pico-projector) 與口袋型投影機 (pocket projector 或 mini-projector) 兩大類，前者的投影亮度從一開始的 10 流明以下演進到目前的 15—20 流明，解析度從 VGA，提升為 WVGA 甚至於 SVGA 的水準，但因需考慮小型手持式裝置表面溫度安規要求，投影光學效率未提升下，最大輸出亮度仍受到限制。口袋型投影機則因其體積大，在增加光源

功率並透過風扇主動散熱情況下，投影亮度已可達到 50—200 流明，例如圖 2 中 Optoma 的 PK 301 以及 3M 的 MPro 180 兩類產品。然其體積約為微型投影機三倍以上，價格也較為昂貴，其市場定位與內建式應用並不相同。

微投影技術的應用不應僅侷限在單純為影像輸出放大裝置的概念，而是一種可以改變使用介面與資訊分享方式的創新。例如 Apple 近期申請的

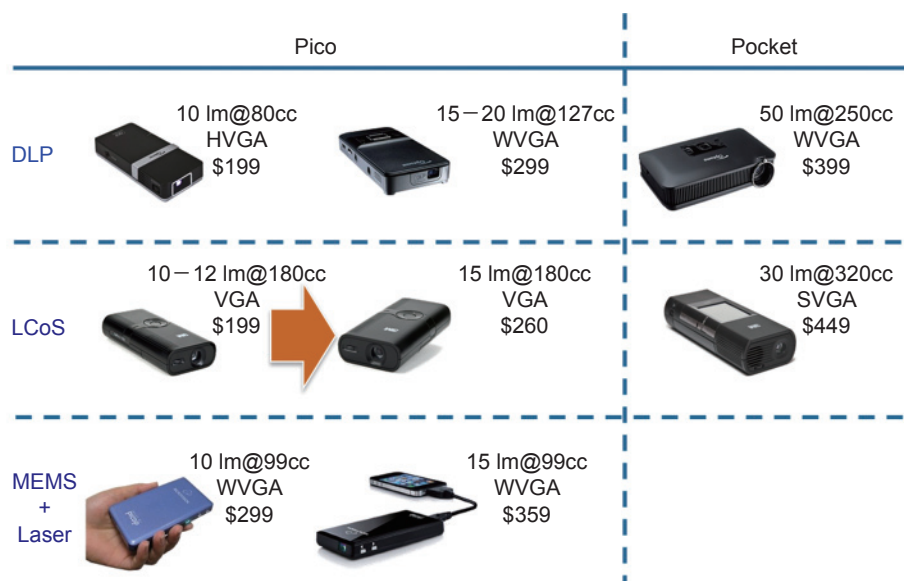


圖 2. 市場上三大主要技術之行動投影機。

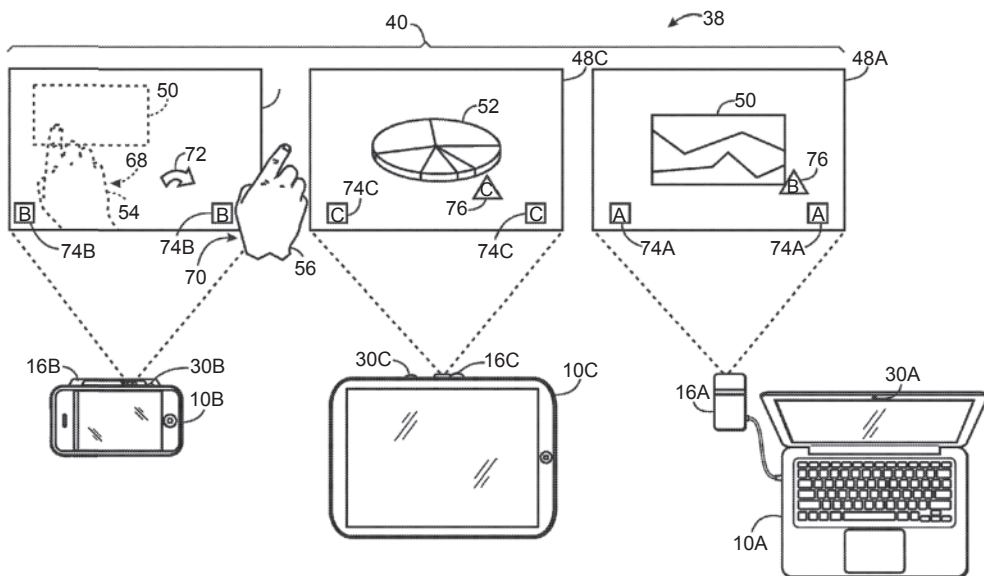


圖 3. Apple 申請的微投影應用專利實施例圖示，資料來源：Apple 2010 年 2 月申請的 Projected Display Shared Workspaces 專利圖示。

微投影專利<sup>(2)</sup> 即揭露了透過不同裝置的內嵌或外接微投影裝置，結合攝影鏡頭擷取使用者手勢動作，達成分享工作環境與內容互動的功能，應用涵蓋 iPhone、iPad 與 MacBook 系列產品。市場雖然不斷傳聞 iPhone 將加入微投影功能，即使如前述微投影技術與價格在 2011 年仍未達成熟，此期待一年內可能很不易實現，但也揭示了 Apple 在微投影人性化應用與殺手級應用的布局，參考圖 3 所示，2-3 年內實現的可能性則沒有微投影廠商會忽視。

## 二、微投影技術

### 1. DLP、LCoS、微機電掃描鏡

目前微投影主要有三種技術：LCoS (liquid crystal on silicon)、DLP (digital light processing) 與需搭配雷射光源的微機電掃描鏡 (MEMS scanning mirror)。其中 LCoS 與 DLP 微投影技術衍生自傳統投影技術，開發歷程已久。DLP 的單片面板架構已普遍應用於辦公室與家庭劇院投影機。LCoS 在高階家庭劇院投影機則採三片面板的架構，呈現出高畫質的效果，仍有日系廠商採用，但其三片式光機系統極為複雜，未能在主流市場具備競爭力。

目前著墨於微投影的 LCoS 面板陣營主要有四家公司—Micron、OminiVision、Syndiant 與國內的奇景光電 (Himax)。DLP 則於 1987 年由德州儀器

(Texas Instruments) 發明，其以 MEMS 技術開發的 DMD (digital micromirror device) 微反射鏡陣列晶片為核心，歷經長時間研發，於 2001 年開始商品化，以往雖有國外新創公司投入開發，但均未能成功商品化。DLP 與 LCoS 兩種技術可搭配 LED 與雷射光源，微機電掃描鏡技術則因綠光雷射發展與成熟度較晚，迄今僅有美國的 MicroVision 搭配 Osram 的合成綠光模組與紅、藍光雷射二極體，於 2009 年底正式商品化外接式雷射微投影機。

DLP 技術的影像成像透過控制 DMD 晶片上以陣列排列的微鏡面的反射位置，將光源以紅、藍、綠方式循序經過鏡頭調整焦距成像於特定距離，若採用 LED 光源則需要紅、藍、綠三色 LED。DMD 晶片也採 MEMS 技術製造，每一微鏡面對應到影像中的一個畫素，因此影像解析度的提高必須在晶片上大幅增加微反射鏡的數量，以 720P 解析度而言需要近百萬個微反射鏡。LCoS 的成像原理與 DLP 相似，主要差異在於透過控制液晶來改變光線的反射程度，因此光線必須先經過偏極化處理才能由液晶控制，主要元件除 LCoS 面板外，尚需偏極化分光鏡 (polarization beam splitter, PBS)，也會影響光學效率。

微機電掃描鏡技術則是搭配紅、藍、綠雷射光源經過準直並混成單一光束後，投射至 MEMS 製程製作的反射鏡面，鏡面進行水平與垂直擺動，將光束反射掃描成二維畫面，透過同時調變紅、

藍、綠光雷射強弱而混成個別畫素所需要的色彩。除 MicroVision 外，目前有先進微系統科技 (Opus Microsystems)、Konica Minolta、Nippon Signal、Panasonic、bTendo、Maradin、Lemoptix 等多家公司投入開發。微機電掃描鏡晶片本身僅有一可來回擺動的反射鏡面，如為二維晶片則鏡面可同時沿水平與垂直軸擺動，一維晶片則鏡面僅能沿單一擺動軸運動。鏡面的驅動透過微機電技術主要可分為靜電 (electrostatic)、電磁 (electromagnetic) 及壓電 (piezoelectric) 等三種方式。此技術特殊之處在其在成像上需搭配可高速調變的紅、藍、綠光雷射，影像中每一畫素均需藉由控制紅、藍、綠光的強弱以混成所需色彩，因此光源消耗能量與影像內容相關，光利用效率遠較傳統 DLP 與 LCoS 照明式投影系統高，且雷射準直後平行傳播的特性 (圖 4 藍線)<sup>(3)</sup> 使得影像具備無需對焦的特點。

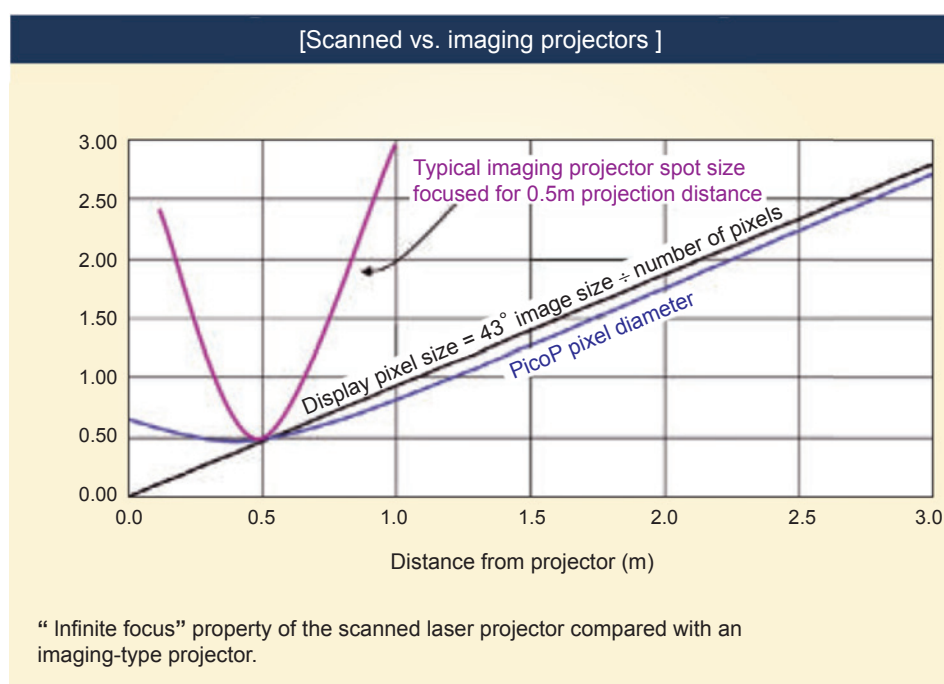
## 2. DMD 與微機電掃描鏡

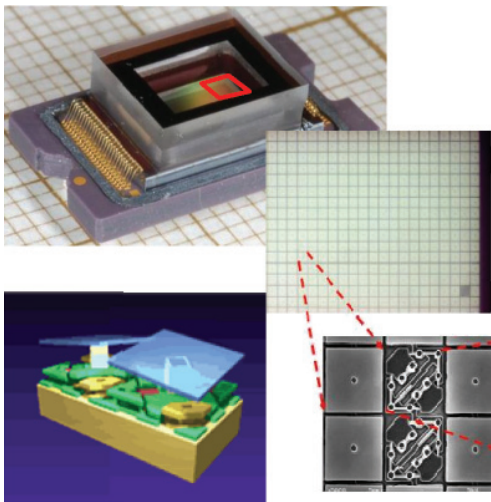
圖 5 說明 DLP 的 DMD 與微機電掃描鏡的差異。圖示左側的 DMD 晶片是由微鏡面陣列所構成，由放大圖示部分可以看出其鏡面陣列以及鏡面移除後之下方微結構，每個小鏡面間距為 7.56  $\mu\text{m}$ ，鏡面可由下方靜電電極驅動，快速變換不同

方向的  $\pm 12$  度固定角度位置，因此稱之為數位式微鏡面 (digital micro-mirror device)。以 720P 解析度 (1280  $\times$  720) 而言，微鏡面需要達到近百萬個的水準，且不容許任一損壞的微鏡面以免造成亮點或暗點，晶片尺寸隨影像解析度提升而等比放大，因此其製造工藝要求高，生產成本不易降低。

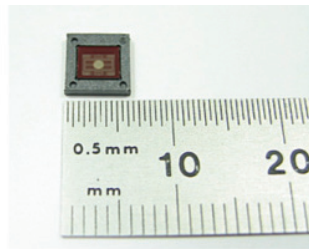
圖 5 右側上方照片為先進微系統科技的二維微機電掃描鏡，封裝後尺寸為 6 mm，結構示意圖類似右側下方圖示，晶片僅在中間有一面直徑約為 1 mm 的反射鏡，透過微結構設計而形成縱軸與橫軸支撐，鏡面周遭並配置梳狀電極，在投影成像上可透過梳狀電極的靜電力將鏡面做水平與垂直的來回擺動，進而將入射光束反射掃描成一二維畫面。即使提高影像解析度，仍僅需單一鏡面，但透過提高水平掃描速度達成畫面更新率內更多的水平條數，每一水平掃描線上透過更高速的雷射調變可呈現更多畫素，因此增加解析度晶片面積無需等比增加，成本上可比 DMD 便宜許多，光機模組體積或厚度也無需明顯增加。以 WVGA 解析度而言，水平掃描速度約為 18 kHz，720P 解析度則需約 24 kHz，目前的技術水準已可達成，因此雷射掃描技術在高解析度影像上的性價比遠超過其他技術。

圖 4. MEMS 掃描投影運用雷射光束傳播特性曲線達成無須對焦，資料來源：Scanned Laser Pico-Projectors, Optics & Photonics News, May 2009。

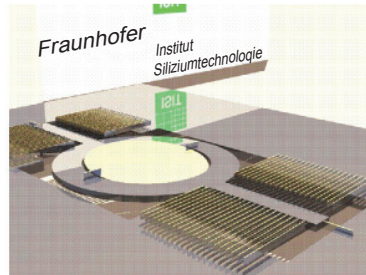




Source: TI website



Opus Microsystems' 2D MEMS Scanning Mirror



Source: Opus Microsystems and Fraunhofer ISIT

圖 5. DMD 與微機電掃描鏡比較。

### 三、雷射掃描投影原理

微機電掃描鏡在微投影架構中負責的是將紅、藍、綠雷射混光後的光束掃描成一二維畫面，圖 6 說明其成像原理。光源端的紅、綠、藍雷射二極體前方各需要一準直鏡片，修正各別光束達成如圖 4 所示的傳播曲線，三道光束可透過鍍膜濾鏡或是稜鏡等習知技術混成單一光束後，投射於微機電掃描鏡上反射掃描成一二維畫面。畫面中的畫素則藉由各別雷射強弱的控制而產生所需色彩，因此只有白光才需要雷射輸出於最大額定功率，影像中黑色部分則將雷射輸出調至最低甚至關閉，除影像對比度可超過 3000:1 外，一般彩色影像內容則僅需

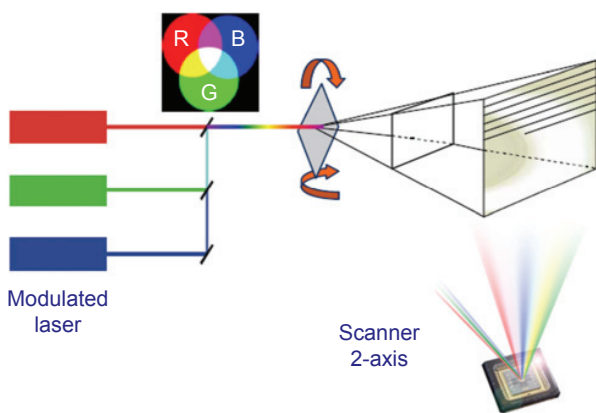


圖 6. 微機電掃描鏡配合紅、藍、綠雷射成像原理。

40%—70% 左右的耗電量，在耗電量上較傳統投影技術有明顯的優勢。

由於 MEMS 鏡面水平來回擺動為簡諧運動，雷射最高調變速度位於影像中心，WVGA 解析度影像約需 50 MHz，另外雷射光束因 MEMS 擺動至兩側時速度漸慢，未作亮度修正時畫面兩端亮度會逐漸變亮。圖 7 為雷射掃描影像亮度與水平畫素位置關係<sup>(4)</sup>，圖中以 800 畫素為例，畫面兩端亮度會達到中央的 5 倍，因此必須針對亮度均勻化進行修正，修正方式可由控制雷射點亮時間，或者由調低雷射輸出功率達成。

此畫面兩端變亮的特性與採用 LED 為光源的 DLP 及 LCoS 技術特性相反，由於 LED 為點光源，因此影像畫面容易形成中央較亮角落偏暗類似

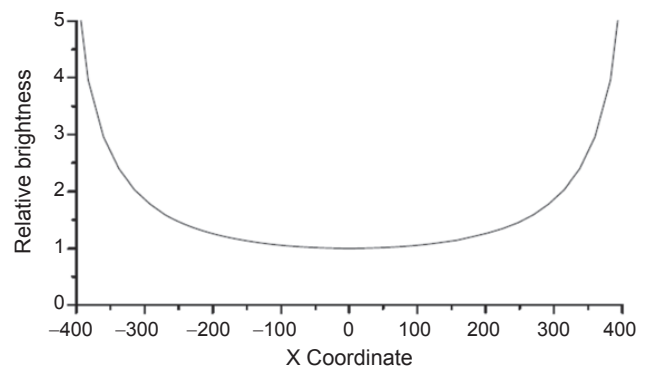


圖 7. 雷射掃描影像亮度與水平畫素位置關係。

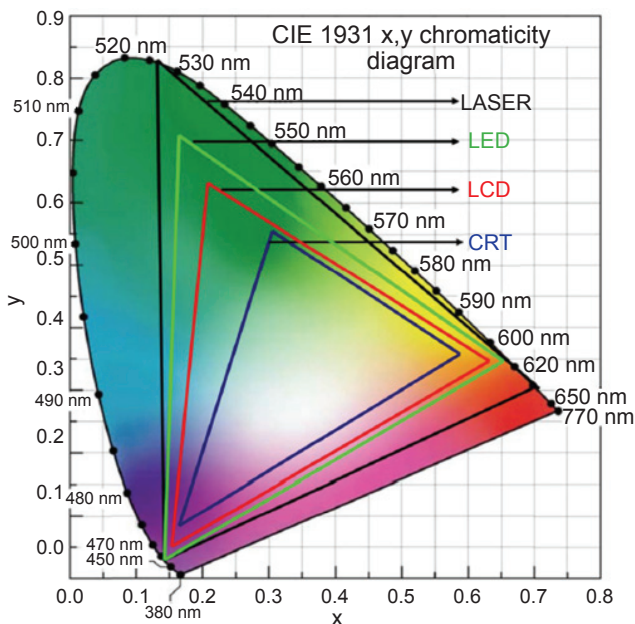


圖 8. 不同顯示技術於 CIE1931 色度圖的色域表現。

手電筒的效果，因此又稱為 **flashlight effect**，此部分需要特殊設計的光學元件進行補償，由於微投影光機體積小，元件設計與製造上頗具挑戰性。而 MEMS 技術則完全可由電子控制訊號處理，可不增加光學元件達成畫面亮度均勻一致。

#### 四、雷射光源

投影光源採用雷射的優勢除無需對焦外，另外可提供更廣的色域與更鮮明的色彩，圖 8 為各種不同顯示技術於 CIE 1931 色度圖的色域表現，圖中代表著所有人眼可見的顏色，邊緣則為各種光的波長或顏色。圖中三角形的三個頂點為光源的三個主要組成顏色，涵蓋面積越大表示色域越廣。雷射由於屬於單一波長光源，因此座落於 CIE1931 圖的外緣，目前微投影使用的雷射波長紅光為 635—

640 nm、藍光 440—445 nm、綠光 520—530 nm，色域為圖中所有顯示技術中最廣者，因此可提供最鮮明的色彩表現。

#### 1. 綠光雷射二極體

在 2010 年底前，綠光雷射僅能以紅外光雷射經過倍頻的方式產生，此種雷射又稱為合成綠光雷射 (**synthetic green laser**)，如圖 9 所示之 **Green Laser module**，要達到高速調變需要特殊的設計。目前 **MicroVision** 生產的雷射微投影機，採用的是德國 **Osram** 開發的合成綠光雷射模組，2010 年之前美國 **Corning** 亦開發出綠光雷射模組，但倍頻雷射除體積大、控制功能複雜外，生產成本過高是一直無法解決的問題。日本 **Nichia** 於 2010 年 8 月開發出綠光雷射二極體，導致 **Corning** 放棄其合成綠光模組的生產與開發計畫，**Osram** 亦於 2011 年下半年開始提供綠光雷射的樣品，並計畫於 2012 年開始投產。這些公司先後推出直接發光的綠光雷射二極體後，使得採用雷射光源的微掃描投影技術，在成本與體積上能大幅提升競爭力，也開始邁向新的商品化發展階段。

#### 2. 雷射光斑

採用雷射為投影光源雖然有許多好處，但有個先天的問題影響影像品質—雷射光斑 (**speckle**)。光斑發生的原因是雷射具備高同調性 (**coherence**)，當雷射投射至任意粗糙面例如牆面或投影螢幕時，反射光之間及與入射光之間產生不規則的干涉，如圖 10(b) 所示，使得光點看起來周遭並非平滑乾淨，如圖 10(a) 所示，因此投影成像時影像表面會形成類似顆粒狀的雜訊，其量測以反射光的強弱對比度為標準。以目前雷射投影的光源而言，合成綠光因為倍頻的需要，其波長範圍僅在 0.2 nm 內，因此

圖 9. 微投影用綠光雷射。



Osram Green Laser Module



Corning G-1000 Green Laser Module



Osram Green Laser Diode

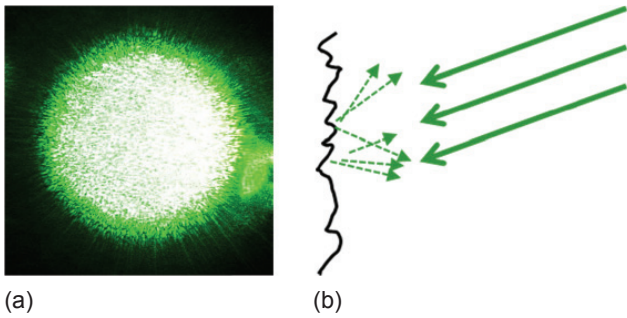


圖 10. 雷射光斑，資料來源：Wikipedia。

其光斑的效應在視覺上最為嚴重，其次為紅光雷射二極體，綠光雷射二極體的光斑效應視覺上較紅光為低，藍光雷射則視覺上幾乎看不到光斑的現象。

### 3. 雷射光斑抑制

同調性為雷射光主要的特性，在光源無法改變同調性的狀況下，光斑抑制的原理為產生多個獨立的光斑圖案，利用人眼視覺暫留的特性，將不同光斑圖案透過均勻化而達成抑制光斑的效果。目前對於光斑的抑制主要可透過時間 (temporal) 與空間 (spatial) 等兩種方式產生不同光斑圖案。圖 11 左側利用雷射驅動訊號上增加高頻震盪調變，在時間上產生不同光斑圖案，另外也可能產生雷射 mode hopping 現象，瞬間改變雷射特性，達成雙重抑制光斑的效果<sup>(5)</sup>。圖 11 右側則利用繞射光

學元件 (DOE)，改變雷射光束幾何形狀，在空間上 (spatial) 產生多重光斑圖案，達到抑制光斑的效果<sup>(6)</sup>。在微投影上因空間、功耗與價格限制，雷射光斑的抑制技術目前仍未成熟，有待眾多廠商開發出更多有效的解決方案。

## 五、光學效率

表 1 列出不同微投影技術所需光機零件以及其光學效率比較，其中採用 LED 光源的 LCoS 技術所需光學元件最多，除與 DLP 相同的 LED 光源聚光鏡 (condenser lens)、光源整形的 Fresnel lens 或 fly eye lens 外，尚需 PCS (polarization conversion system) 以及偏極化分光鏡 PBS，因此其光學效率最低。根據工研院的分析資料指出，搭配雷射光源的微機電掃描鏡技術光學效率為其他兩種技術的 3 倍以上，其所需元件少，無需投影鏡頭，極適合光機體積的微型化，因此吸引眾多公司投入此技術的開發。

## 六、MEMS微掃描晶片

### 1. 一維與二維微機電掃描鏡

運用於微投影的微機電掃描鏡可分為單軸 (1 dimensional) 與雙軸 (2 dimensional) 兩種架構，雙

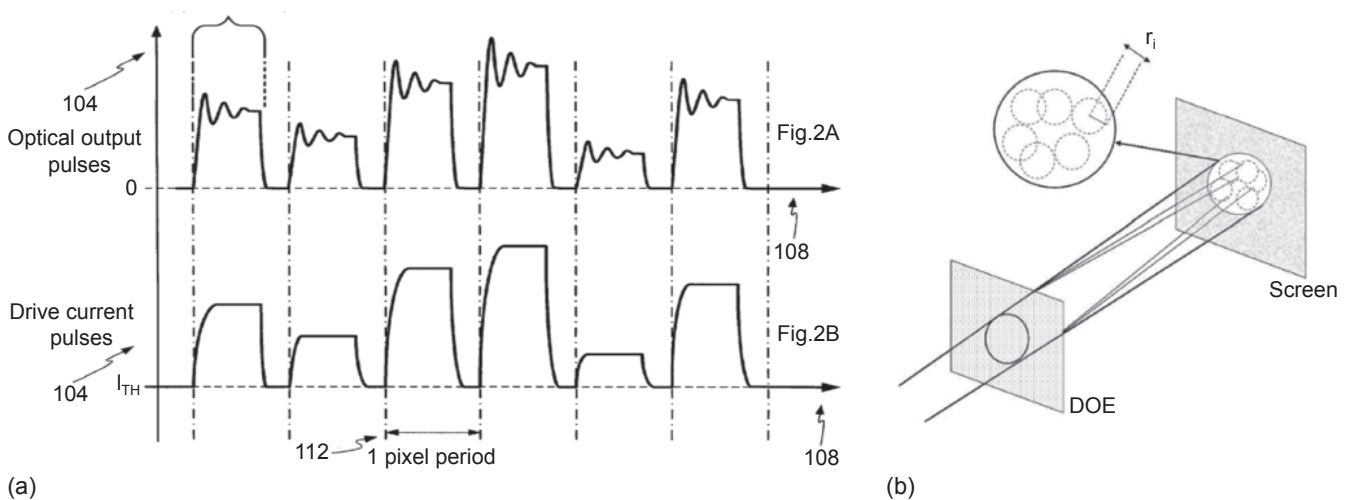


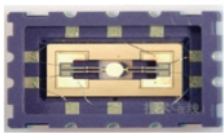
圖 11. 雷射光斑抑制技術範例，(a) 資料來源：Mindspeed 專利，(b) 資料來源：Speckle reduction in laser projection systems by diffractive optical elements, L. Wang *et. al.*, 1998。

表 1.  
微投影技術光機零件  
與光學效率比較。

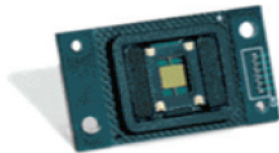
Technology	LCoS (Panel)	DLP (panel)	MEMS Scanner
Light source	RGB LED or Lasers	RGB LED or Lasers	RGB Lasers
Light source optics	Condenser lens 60%	Condenser lens 60%	Laser collimators 90%
Light shaping	Fresnel lens 90%	Fly eye lens 90%	De-speckle DOE 90%
PCS	✓		
Dichroic filter	✓	✓	✓
PBS	✓		
Projection lens	✓	✓	
Panel/MEMS	LCoS Panel	DMD chip	MEMS scanner
Focus mechanism	✓	✓	
Efficiency <sup>1</sup>	~12%	~18%	~64%

Note: Optical efficiency data from Microsystems Technology Center, ITRI, 2010.11

### 1D Scanning Mirrors



Brother  
piezoelectric



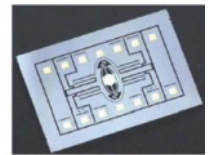
Nippon signal  
electromagnetic



MicroVision  
electromagnetic



Opus  
electrostatic



Samsung  
electrostatic

圖 12. 微機電掃描鏡範例。

軸晶片在設計上較單軸複雜許多，若採用單軸的微掃描鏡，形成二維畫面需要兩顆晶片，一顆負責水平掃描，另一顆則負責垂直掃描。目前開發 1D 單軸晶片的有 Brother、Nippon Signal 與 bTendo 等公司，開發 2D 雙軸晶片的有 MicroVision、Opus、Konica Minolta 與 Samsung 等。圖 12 為單軸與雙軸微機電掃描鏡的照片，其中壓電 (piezoelectric) 與靜電 (electrostatic) 兩種驅動方式的晶片可採用 IC 封裝方式，電磁驅動則需在封裝時加上永久磁鐵，因此其除了晶圓製程需要電鍍線圈外，封裝供應鏈相對也較為複雜。

採用兩顆 1D 單軸晶片的架構，除了兩顆晶片成本較高且體積不易縮小外，掃描鏡反射兩次所造成的光效率損失以及組裝校準的困難度與工時的增加，都不利其光機微縮。圖 13 為日本 Nippon Signal 公司開發的兩顆單軸微掃描鏡的掃描模組<sup>(7)</sup>，其厚度與體積遠較單顆雙軸微掃描鏡片大。

## 2. 影像幾何變形

雷射光束經過微機電掃描鏡反射後，自反射鏡面到螢幕中央與角落距離並不相同，加上入射角的關係，投出影像的幾何形狀會有變形的問題。採用雙軸晶片的架構變形為枕狀 (pincushion)

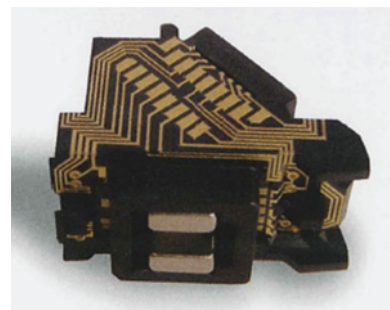


圖 13. 日本 Nippon Signal 公司兩顆單軸微掃描鏡的掃描模組，資料來源：Nippon Signal website。

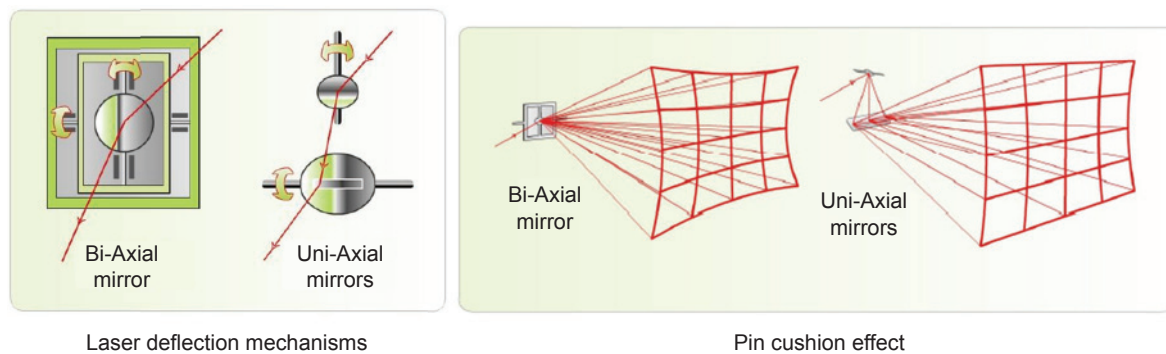


圖 14. 日本 Nippon Signal 公司兩顆單軸微掃描鏡的掃描模組<sup>(8)</sup>。

distortion)，採用兩顆單軸微掃描晶片的架構變形則僅在畫面垂直方向，如圖 14 所示。影像幾何變形可透過非球面鏡或韌體修正，目前國內工研院已展示韌體修正單顆微掃描鏡的枕狀變形為近乎矩形的技術，國外如 LG 亦在 2010 年 SID (Society for Information Display) 中發表論文<sup>(4)</sup>，以韌體進行座標轉換的方式，達成幾何變形的修正。

### 3. 靜電力與電磁力驅動比較

微機電掃描鏡依驅動原理 (actuation) 的不同，可分為靜電 (electrostatic)、壓電 (piezoelectric) 以及電磁力 (electromagnetic) 驅動，靜電驅動與電磁驅動微掃描鏡的比較如表 2 所列。電磁驅動的優勢主要在設計較單純、增加外加磁鐵磁性可有效增加驅動力以及控制方式較為簡單，主要缺點則在需要電鍍線圈的晶圓製程，與 CMOS 製程並不相容，另外測試與封裝上需要有磁鐵，封裝後 MEMS 體

積也較大。而靜電力驅動的優勢在於其製程可與 CMOS 相容，封裝可採用類似 CMOS 影像感測器的封裝以及半導體測試供應鏈，封裝後 MEMS 體積小，因為可運用半導體供應鏈，因此大量生產成本較低。而壓電驅動則需要特殊晶圓製程以沉積或塗佈壓電薄膜，並非 CMOS 相容製程。靜電驅動與電磁驅動微掃描鏡的比較如表 2 所列。

## 七、微機電雷射掃描投影系統架構

在 MEMS 雷射掃描投影的系統架構上，主要關鍵元件除微機電掃描鏡晶片與雷射光源外，與其他顯示技術相似，需要一專屬的掃描投影控制 IC (scan display controller IC)，雷射光源部分需要雷射驅動 IC (laser diode driver) 以及雷射功率偵測 sensor。以靜電驅動的微機電掃描鏡而言，需要一升壓元件或線路 (horizontal & vertical driver) 以提

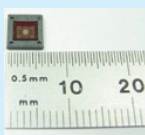

Company	Opus	MicroVision
Actuation	Electrostatic / Capacitive	Electromagnetic
Architecture	1 × 2D MEMS	1 × 2D MEMS
Package	IC standard 	Special with magnets 
Feature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design is sophisticated</li> <li>• Si electrodes are CMOS</li> <li>• foundry compatible</li> <li>• Simple, low cost IC package</li> <li>• Semiconductor supply chain</li> <li>• High voltage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design is simpler</li> <li>• Coil plating, not CMOS foundry</li> <li>• compatible</li> <li>• Complex package with strong magnets</li> <li>• Dedicated WLT equipment</li> </ul>

表 2. 靜電驅動與電磁驅動微掃描鏡比較。

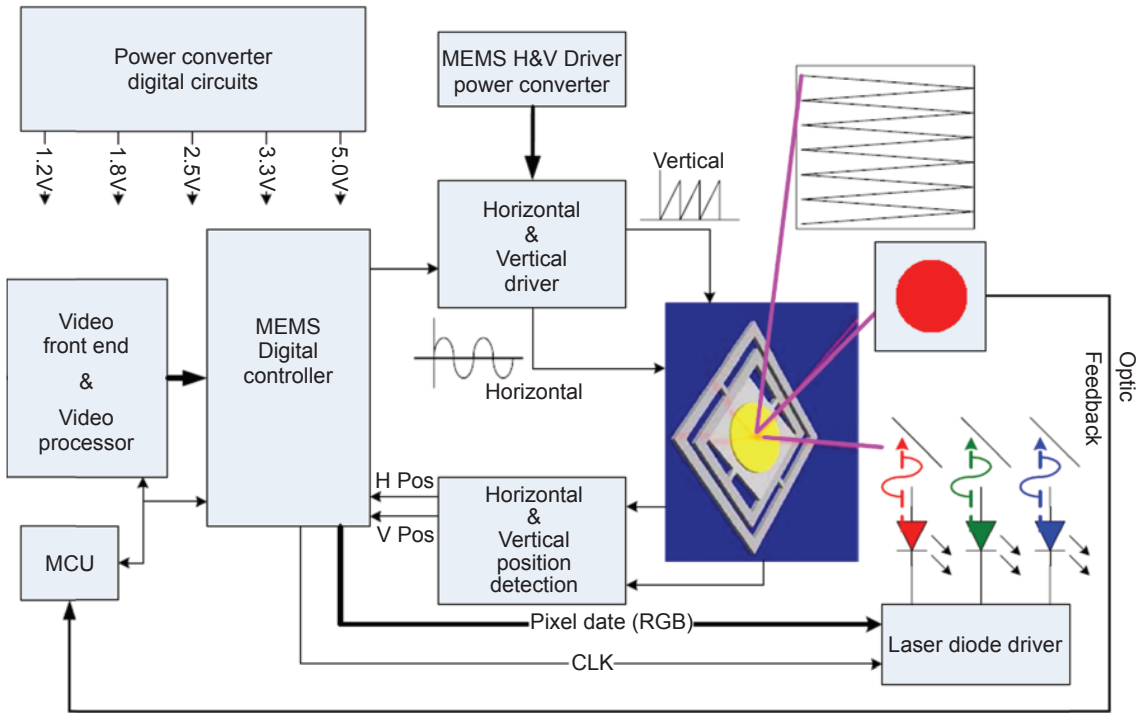


圖 15. MEMS 雷射掃描投影系統架構<sup>(9)</sup>。

供足夠的驅動電壓控制 MEMS 水平與垂直掃描。電磁式微機電掃描鏡則需要 IC 或線路提供電流驅動 MEMS。

掃描投影控制 IC 除處理影像輸入訊號外，功能包含控制 MEMS 晶片的掃描運動使光束投射位置與影像內容同步，此外需控制雷射驅動 IC 控制紅、藍、綠雷射針對每一畫素進行色彩混光，同時透過雷射功率偵測 sensor 量測各別雷射輸出的功率，對雷射輸出進行回授控制以維持影像的白平衡。畫面亮度均勻性以及修正畫面幾何變形等影像品質等亦透過控制 IC 的運算處理。圖 15 說明 MEMS 雷射掃描投影系統硬體架構以及相關元件關係。

## 八、結語

雷射掃描投影技術起源於 1960 年代的德國，掃描元件的微型化直到 1980 年代 IBM 透過微機電技術發明矽基微掃描鏡才開始發展，高速可直接調變的綠光雷射則一直到 2009 年才正式商品化，而綠光雷射二極體將於 2012 年正式量產，整體投影效率可望得以開始快速發展。目前投入雷射光源開發的有歐洲的 Osram、Epicrystal，日本 Nichia、Mitsubishi、Rohm、Hitachi、Sony 等，美國則有

Opnext 與 Sora 等公司，在雷射驅動 IC 與電源管理 IC 上則有 Maxim、Intersil、Mindspeed 等類比 IC 大廠，產業環境發展迅速成熟中。

綜合上述的分析，微型雷射掃描投影技術具備高光效率、低功耗、光機架構單純、無需對焦、廣色域等特點，均符合內建式微投影的需求。而內建式微投影的應用，不應僅僅被視為一種影像輸出技術，在結合影像辨識功能與應用軟體整合後，其具備改善人類使用介面與溝通方式的可能性，市場充滿無限商機，值得國內業者積極投入開發。

## 參考文獻

1. 無所不在的投影顯示新世界, 拓樸產業研究所 (2010).
2. US2011/0197147 Projected Display Shared Workspaces.
3. Scanned Laser Pico-Projectors, Optics & Photonics News, May 2009.
4. J. H. Seo, Y. Kim, J. H. Choi, and J. Kwon, Proc. of SID 2010.
5. US2009/0175302 Method and Apparatus for Reducing Optical Signal Speckle.
6. L. Wang, T. Tschudi, T. Halldorsson, and P. R. Petursson, *Appl. Opt.*, **37** (10), 1770 (1998).
7. Nippon Signal website: <http://www.signal.co.jp/vbc/mems/index.html>
8. bTendo website: <http://www.btendo.com>
9. Intersil website: <http://www.intersil.com>



洪昌黎先生為美國史丹佛大學機械工程博士，現任先進微系統科技股份有限公司總經理。

Andrew Hung received his Ph.D. in mechanical engineering from Stanford University, USA. He is currently the president of Opus Microsystems Corporation.



高誌駿先生畢業於文化大學資訊管理學系，現任先進微系統科技股份有限公司產品經理。

Ryan Kao received his BS degree in MIS from Chinese Culture University. He is currently the product manager of Opus Microsystems Corporation.