

Application Note

開始使用 TI DLP® 顯示技術

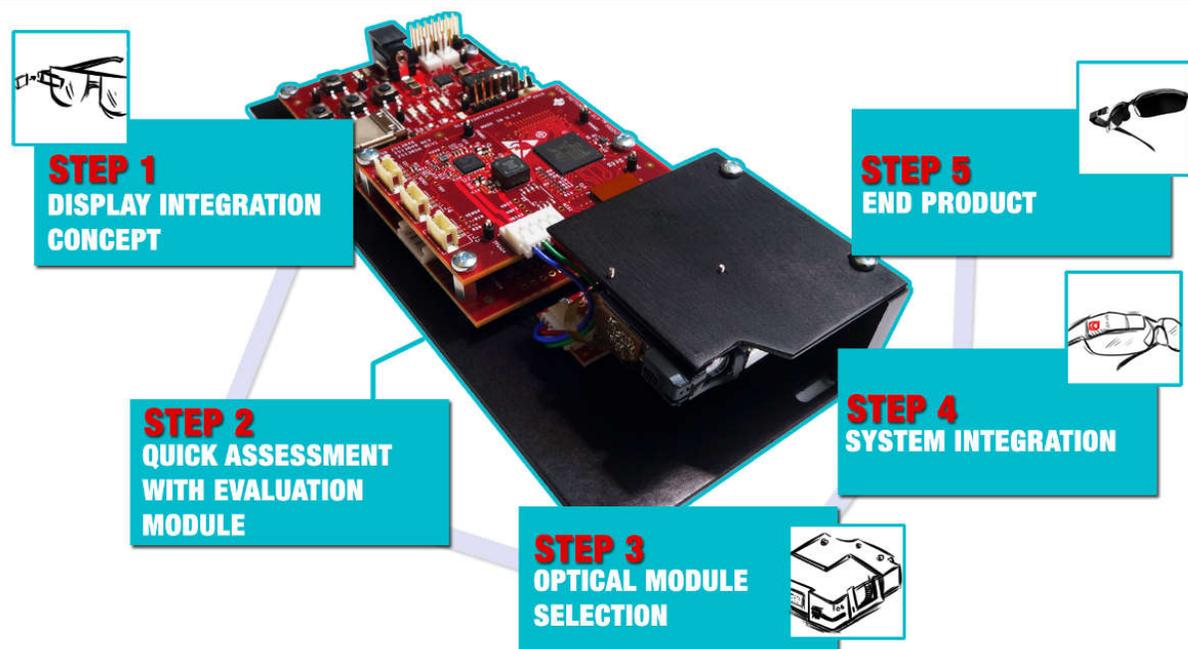


Juan Alvarez and Jesse Richuso

摘要

本應用文件是尋找重要 DLP® 顯示器產品資源的完整快速指南，適用工業、企業或個人電子應用。此文件可做為 DLP 晶片組選擇、評估、設計和製造的入門指南。不論您在 DLP 顯示系統的經驗和參與程度為何，都可從本文件中獲得助益。您可透過 [TI DLP 產品 E2E 支援論壇](#)，寄送您對本文件的回饋或意見。

DLP 顯示技術的設計與製造生態系統成熟，讓開發人員得以將顯示器應用概念快速運用在生產上，如下圖所示。



您對工業、企業和個人電子顯示器應用以外的 DLP 技術感興趣嗎？[按這裡](#)了解使用 DLP 技術的 DLP 汽車應用，[按這裡](#)了解相關光源控制應用，例如 3D 列印、3D 機器視覺和 3D 掃描。

目錄

1 介紹.....	3
2 DLP 顯示器投影優點.....	4
3 什麼是 DLP 技術？.....	6
4 DLP 顯示系統.....	7
4.1 元件零件編號識別.....	7
4.2 電子硬體.....	7
4.3 光學元件.....	10
5 選擇適當的 DLP 顯示晶片組.....	13
5.1 亮度.....	13
5.2 解析度.....	14
5.3 大小.....	14
6 如何評估所選 DLP 顯示晶片組.....	15
7 選擇適當的光學引擎.....	16
7.1 光學模組選擇.....	16
7.2 光學模組採購.....	16
8 DLP 產品供應鏈.....	17
9 開發與製造.....	17
9.1 電氣注意事項.....	17
9.2 軟體注意事項.....	17
9.3 光學注意事項.....	17
9.4 機械注意事項.....	17
9.5 散熱注意事項.....	17
9.6 製造注意事項.....	18
10 線上資源.....	18
10.1 DLP 晶片組資訊.....	18
11 常用顯示與投影詞彙.....	19
12 參考.....	21
13 修訂記錄.....	22

圖

图 3-1. 數位微鏡片裝置.....	6
图 4-1. 典型 DLP 顯示方塊圖.....	7
图 4-2. DLP 0.2 nHD (DLP2000) 晶片組評估模組 (EVM) 電子元件.....	8
图 4-3. 小型電路板設計範例.....	10
图 4-4. DLP Pico 0.23 1080p (DLP230NP) 顯示器光學引擎.....	10
图 4-5. 0.2 WVGA (DLP2010) 光學模組範例.....	11
图 5-1. 最低目標解析度.....	14
图 6-1. .33 1080p (DLP3310) EVM PC 工具 DLP IntelliBright 演算法畫面.....	15
图 11-1. 垂直梯形校正.....	19
图 11-2. 投影影像上的偏移效果.....	20
图 11-3. 投射比圖.....	20

表

表 1-1. 優先排列輔助.....	3
表 2-1. DLP 投影優點.....	4
表 2-2. DLP 技術優點.....	5
表 4-1. DLP 顯示晶片組命名方式.....	7
表 4-2. 電子元件.....	9
表 4-3. 光學模組中所含的光學元件.....	12
表 5-1. 可用資源.....	13
表 7-1. 光學模組規格表範例.....	16
表 10-1. 可用資源.....	18
表 10-2. 常用資源.....	19
表 11-1. 常用顯示與投影詞彙.....	19

註冊商標

LightCrafter™, DLP IntelliBright™, and DLP Composer™ are trademarks of Texas Instruments.

DLP® is a registered trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 介紹

DLP® 顯示產品被運用在各種傳統配件投影機和新興顯示設備上。其中包含智慧型手機和平面電腦中的嵌入式投影機、互動式觸面控制運算、無屏雷射電視、擴增實境眼鏡、數位看板、投影映射、大型場地及電影院。DLP 顯示技術包含兩個產品系列，DLP Pico™ 晶片組和 DLP 標準晶片組。DLP Pico 晶片組提供多樣化的顯示功能，並可由超行動裝置在幾乎所有表面上產生影像。非常適合任何需要高對比、小尺寸和低功率顯示器的應用。DLP 標準晶片組可為需要大螢幕明亮顯示及高解析度的系統，提供令人驚豔的影像。

為了協助您瀏覽此文件，我們提供了表 1-1，可協助您將感興趣的章節列為優先。

表 1-1. 優先排列輔助

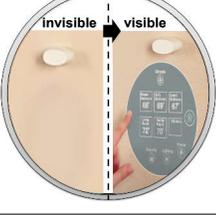
我是...	電機工程師	光學工程師	軟體工程師	系統工程師	產品系列經理
剛開始接觸 DLP 技術	<ul style="list-style-type: none"> DLP 顯示器投影優點 什麼是 DLP 技術？ 				
選擇 DLP 晶片組	<ul style="list-style-type: none"> 什麼是 DLP 顯示電子系統？ 如何選擇適當的 DLP 顯示晶片組 	<ul style="list-style-type: none"> 什麼是顯示光學系統？ 如何選擇適當的 DLP 顯示晶片組 	<ul style="list-style-type: none"> 什麼是 DLP 顯示電子系統？ 如何選擇適當的 DLP 顯示晶片組 	<ul style="list-style-type: none"> 什麼是 DLP 顯示電子和光學系統？ 如何選擇適當的 DLP 顯示晶片組 	<ul style="list-style-type: none"> 如何選擇適當的 DLP 顯示晶片組
評估 DLP 晶片組	<ul style="list-style-type: none"> 晶片組評估 				
開發與製造	<ul style="list-style-type: none"> 設計與生產 				

在顯示應用的開發過程中，請參閱表 1-1。如需 DLP Pico 技術的快速參考指南，請參閱開始使用 DLP Pico 技術。

2 DLP 顯示器投影優點

表 2-1 說明 DLP 投影在幾乎所有顯示器應用上的重要優點。

表 2-1. DLP 投影優點

優點		說明
• 優異的影像品質		在全球 10 個電影院中有 9 個使用相同顯示技術的情況下 (根據 PMA 研究), DLP 晶片組可提供色彩飽和且高對比的顯示結果。顯示器系統性能可依光學引擎有所不同。
高 對比度		DLP 技術的反射技術可提供高對比效果, 因斷態透鏡會從投射光學元件反射光線, 在顯示表面上產生非常黑的像素。
自由曲面顯示		由於其投影本質和高對比度, 可實現幾乎任何大小的顯示。顯示表面不會出現黑色像素 (在這些區域可有效提供透明背景)。
可在幾乎任何表面上顯示		可在幾乎任何表面上顯示投影。可使用影像扭曲, 對不規則形顯示表面進行幾何補償。
小尺寸, 大影像		與顯示影像相比, 採用 DLP 技術光學架構和像素設計的裝置體積非常精巧。
需要時才看得到		您可依需求開啟和關閉 DLP 投影顯示器。關閉時顯示畫面將消失。

客戶可造訪 [DLP 產品訊息與圖示指南文件](#) (需要登入 myTI), 了解如何以 DLP 技術發展相關功能。

造訪網站時 [表 2-2](#) 中依應用列出 DLP 技術優點。

表 2-2. DLP 技術優點

網站	應用示例
<p>DLP Pico 晶片組應用</p>	<p>Pico 投影機、企業攜帶式投影機、85 吋以下的雷射電視、智慧居家顯示器、工業顯示器 (DLP 看板、人形裝置、商業電競)、虛擬實境/擴增實境眼鏡、智慧型手機與平板電腦 (行動配件) 等。</p> 
<p>DLP 標準晶片組應用</p>	<p>85 吋以上的雷射電視、智慧型投影機、數位看板、企業投影機、大型場地與電影院。</p> 

3 什麼是 DLP 技術？

有些開發人員詢問 **DLP** 的全名為何。這三個字母組合並沒有任何含意。DLP 技術是由 DMD 推出的技術之註冊商標品牌名稱。造訪 [德州儀器 DLP® 品牌與標誌指南](#) 以獲得更多資訊。

德州儀器 DLP 技術是一種快速切換微機電系統 (MEMS) 技術，透過數位微型反射鏡元件 (DMD) [圖 1-1](#) 進行光線調變。DMD 的解析度與尺寸各有不同，可容納超過 8 百萬個微鏡。每個微鏡都代表顯示器上的一個或多個像素。您可透過色序照明訊號獨立控制和同步微鏡，在幾乎所有表面上都可創造出色的影像。在部分情況下，光學引擎中的 DLP 晶片、專利演算法和光學致動器速度組合可增加像素密度，並提供最小 $2.7\ \mu\text{m}$ ($2.7\ \mu\text{m}$ ：使用四向致動器的 $5.4\ \mu\text{m}$ TRP 像素節點) 的有效像素尺寸。

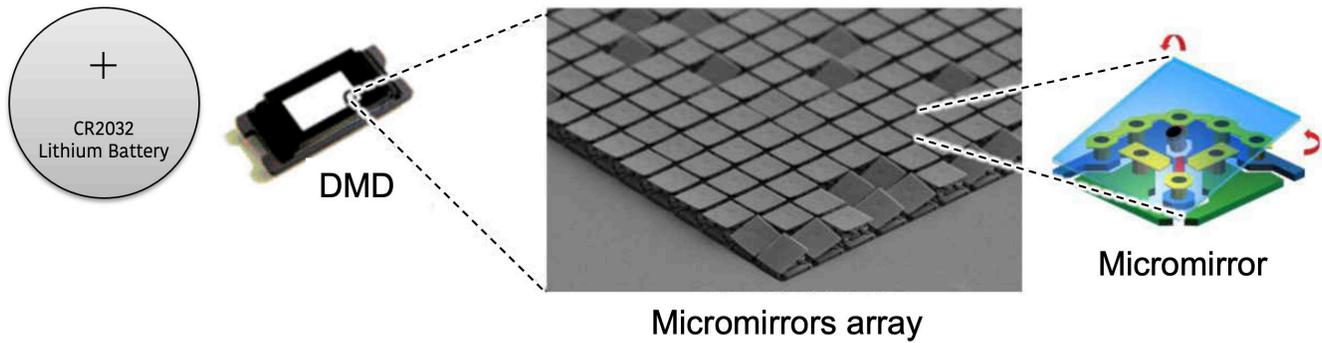


图 3-1. 數位微鏡片裝置

這支影片說明 DLP 技術如何創造出色影像。

4 DLP 顯示系統

顯示系統以影像輸入訊號產生出色的投影影像。顯示系統運作需要三個主要元件：DMD、DLP 顯示控制器和電源管理積體電路 (PMIC)。圖 1-1 說明 LED DLP 顯示系統的典型方塊圖。您也可[按這裡](#)觀看影片，內容詳細說明 DLP 顯示系統的方塊圖。

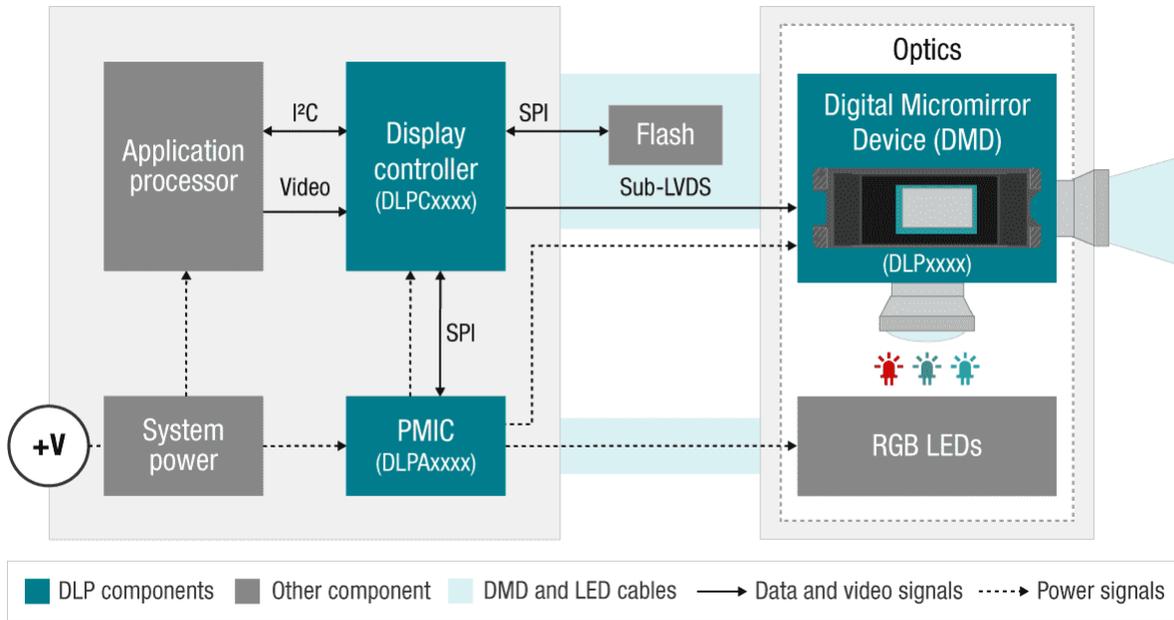


圖 4-1. 典型 DLP 顯示方塊圖

顯示系統需兩個主要連接：電源和資料。DLP PMIC 需要電源供應。數位影片資料 (包含 24 位元 RGB、DSI 或 Vx1) 則必須提供至 DLP 顯示控制器晶片。媒體處理器可接受 HDMI 等外部來源並處理線上串流內容，再將數位影片資料傳送給 DLP 顯示控制器。或者，產品的應用處理器 (例如智慧型手機或平板電腦中的處理器) 也可將數位影像資料傳送到 DLP 顯示控制器。

4.1 元件零件編號識別

表 4-1 可提供 DLP 顯示晶片組零件編號命名方式的通用指南。

表 4-1. DLP 顯示晶片組命名方式

元件	零件編號說明
DMD	DMD 零件編號開頭為 DLP ，後面兩個數字代表主動陣列對角線 (單位英寸)。再後面的數字則依各元件而有所不同。 例: DLP4710 ，DLP DMD 具 0.47 吋對角線
顯示控制器	DLP 顯示控制器開頭字母為 DLPC 接著是依各元件而不同的其他數字。 例: DLPC3439 ，DLP Pico 0.47 1080p 顯示控制器
PMIC	DLP PMIC 元件開頭為 DLPA ，接著是依各元件而不同的其他數字。 例: DLPA2000 ，DLP Pico PMIC，支援最高 200mA LED 驅動電流

顯示系統可分為電子和光學模組硬體。

4.2 電子硬體

顯示系統的電子部分以影片輸入訊號開始，例如 12/16/18/24 位元 RGB (紅、綠、藍) 平行、DSI、FPD-Link 或 Vx1 介面，通常由應用或媒體處理器驅動。電子部分的輸出包括通常使用低電壓差動訊號 (LVDS) 或 Sub-LVDS 的 DMD 視訊訊號、照明驅動和電源。圖 1-1 說明電子硬體的範例。

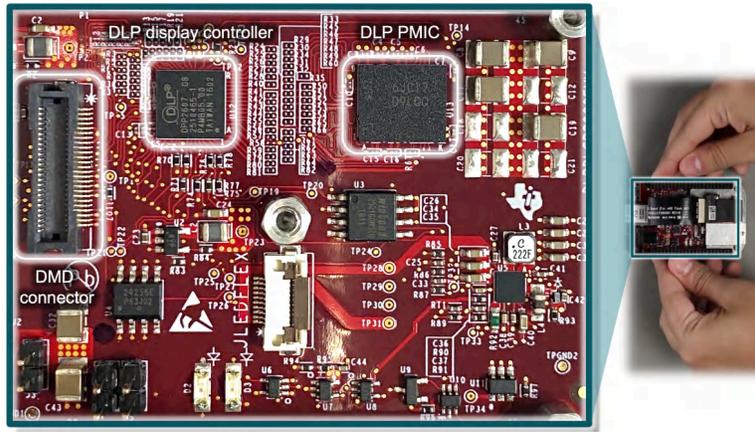


图 4-2. DLP 0.2 nHD (DLP2000) 晶片組評估模組 (EVM) 電子元件

表 4-2 包含顯示系統電子部分元件。

表 4-2. 電子元件

元件	說明
應用處理器	應用處理器的功能是将視訊訊號傳送到 DLP 顯示系統以及內部積體電路 (I2C) 介面，以提供命令和控制功能。任何可處理影片的處理器應該都能應付此任務。
顯示控制器	<p>DLP 顯示控制器是 DMD 和系統其他部分間的數位介面。控制器從應用處理器中獲得數位輸入，並透過高速介面驅動 DMD。DLP 控制器也可產生 DMD 上顯示影像所需的必要訊號 (資料、協定、時序)。</p> <p>每個顯示控制器都有提供軟體使用者指南，詳細說明其支援的所有影片處理功能 (視所選 DLP 晶片組有所不同)。若要查看 .47 1080p DLP Pico 晶片組 (DLPA4710) 的軟體程式設計人員指南範例，請參閱 DLPC3439 軟體程式設計人員指南範例。</p> <p>視訊訊號輸入</p> <ul style="list-style-type: none"> 影片介面。 DLP 顯示控制器可支援各種影片介面輸入。8/16/18/24 位元 RGB 平行介面在 DLP 代表產品中最高為常見。在某些情況下，超可攜和嵌入式應用及 4K 解析度 Vx1 可支援 DSI。而在少數情形中，影片介面輸入會來自可編程邏輯閘陣列 (FPGA) <p>(此情況下可能支援 FPD-Link)。</p> <ul style="list-style-type: none"> I2C 可用來命令或控制顯示控制器，通常連接自應用處理器 PROJ_ON 訊號則用來開啟/關閉/重設顯示系統 <p>DMD 訊號輸出</p> <ul style="list-style-type: none"> DMD 影片介面。 視晶片組而定，顯示控制器通常會將 Sub-LVDS 或 LVDS 訊號輸出至 DMD。 序列周邊介面 (SPI)。 命令和控制與 DLP PMIC (若支援) 的通訊 <p>顯示控制器支援可協助顯示影像品質最佳化的影像處理，包含資料壓縮。如果需要精確的像素到像素映射 (通常用於結構化照明應用，請在 這裡 進一步了解)，則應使用 DLP Light Control 晶片組。</p> <p>影像處理功能視晶片組而定，可能包含 適用於 DLPC343x 控制器的 TI DLP® IntelliBright™ 演算法、DLP BrilliantColor™ 技術、影像梯形校正、影像扭曲、影像混合、訊框率轉換、3D 顯示整合支援 等。</p> <p>有些系統在將輸入資料送至 DMD 前必須透過雙控制器進行格式化。</p> <p>DMD 和相關控制器在系統設計中必須搭配使用，才能確保可靠運作。</p>
FPGA	<p>有些晶片組的技術可由單一 DMD 微鏡在布幕上產生兩個或四個像素影像。透過結合專用影像處理和光學致動器來實現目的。致動器屬於光學機械元件，位於 DMD 和投影透鏡間的光學路徑，能夠稍微改變投影光束的方向。雙向致動器可將光線導入兩個離散方向，四向致動器則可將光線導向四個離散方向。專用影像處理可將影片資料 (來自客戶的應用處理器) 轉為兩個或四個資料 sub-frame。這些資料 sub-frame 會顯示在 DMD 上，並與致動器的方向狀態同步。若為採用此技術的晶片組，影像處理會在 FPGA 執行，位於客戶應用處理器和 DLP 控制器間的資料路徑。此 FPGA 設計的資料接收方式與 DLP 控制器相同，可產生 sub-frame 和致動器控制訊號：</p> <ul style="list-style-type: none"> 來自應用處理器的 影片介面輸入。通常為 RGB 並行、平板顯示鏈路 (FPD-Link) 或 Vx1 介面。 影片介面輸出與 I2C 連接至顯示控制器。 致動器輸出驅動資料 (DAC_DATA 與 DAC_CLK) 負責驅動與影片子訊框同步的致動器波形。
PMIC、LED 驅動和馬達驅動器	<p>在多數情況下，DLP PMIC 負責將輸入電源提供給 DLP 顯示控制器、DMD 和 LED 照明元件。PMIC 負責提供與 DLP 晶片組相關的核心電壓以及 DMD 電源時序，以確保運作正常。</p> <p>此外也提供其他監控與投影功能，並依影像色彩內容進行動態 LED 控制 (例如 適用於 DLPC343x 控制器的 TI DLP® IntelliBright™ 演算法)。將電源供應和 LED 驅動器電路整合在小型 IC 不僅可實現精巧的電子元件設計，也可減少產品設計循環時間。</p> <p>有色輪的系統也需馬達驅動器。此功能可為螢光粉雷射照明應用提供色輪馬達驅動控制，並為切換穩壓器和可調整線性穩壓器提供客戶設計周邊設備。藉由提供三個風扇驅動器和一個三相反電動勢 (BEMF) 來支援兩種周邊設備：用於色輪的馬達驅動器或控制器。</p>
快閃記憶體	應用特定配置會儲存在快閃記憶體中。此元件通常位於電子基板或 DMD 軟板上。

DLP Pico DMD 提供的 DLP 顯示控制器和 PMIC 非常小巧，可供極為精巧的顯示產品使用。圖 1-1 說明範例印刷電路板設計雙側 (僅為估算) 與 DLPA2000PMIC 和 DLPC3430 控制裝置，可驅動 0.2 WVGA (DLP2010) DMD。

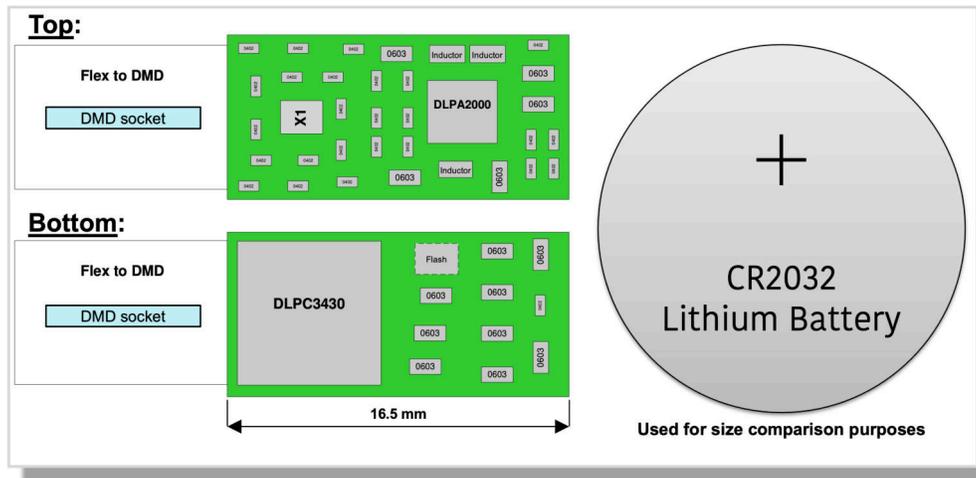


图 4-3. 小型电路板设计范例

4.3 光學元件

DMD 與其相關電子元件 (照明光源、光學引擎和必要機械元件) 都整合在精巧堅固的總成中，稱為光學模組或光引擎 (圖 1-1)。光學模組是系統的核心顯示元件。光學模組依應用和需求可有各種尺寸。一般來說，亮度越高，光學模組尺寸就越大，因為需使用較大型的照明光源、光學元件、DMD 和散熱器與風扇等散熱管理元件。

顯示硬體系統的光學部分將電子訊號送入光學模組機殼，機殼中包含產生投影影像所需的所有元件。DLP Pico 晶片組的光學模組一般資訊在[這裡](#)，DLP 標準晶片組的光學模組一般資訊則在[這裡](#)。

DMD 透過撓性導線或板對板連接器連接到 DLP Pico 控制器。光學模組中的 LED 則以導線連接到 DLP PMIC (LED 驅動器)。系統电路板、風扇、散熱器、機械零件、開關及其他零件，都可整合在光學模組周邊精巧穩固的最終產品中。

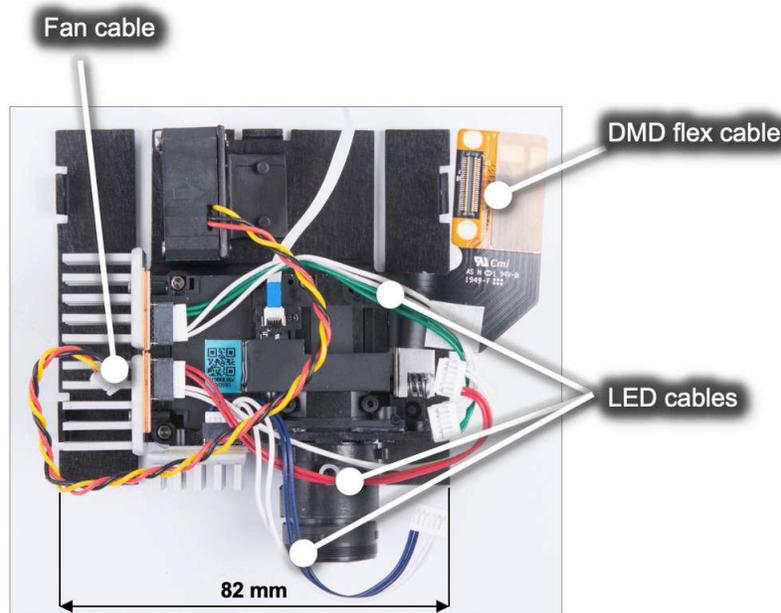


图 4-4. DLP Pico 0.23 1080p (DLP230NP) 顯示器光學引擎

圖 1-1 說明可納入光學模組的光學元件。按[這裡](#)觀賞有光學模組參考設計範例 (0.23 qHD DMD ; DLP230GP) 的影片。請記得，範例中光學模組的細節對公司打算採購已量產的光學引擎來說可能不完全適用。若要閱讀詳細解

說如何指定光學模組的應用說明，請參閱 *TI DLP® Pico™ 系統設計：光學模組規格*。另外請按[這裡](#)搜尋可供購買的
量產光學模組。圖 1-1 顯示了 *DLP2010 DMD 光學引擎參考設計* 中的光學模組設計範例。

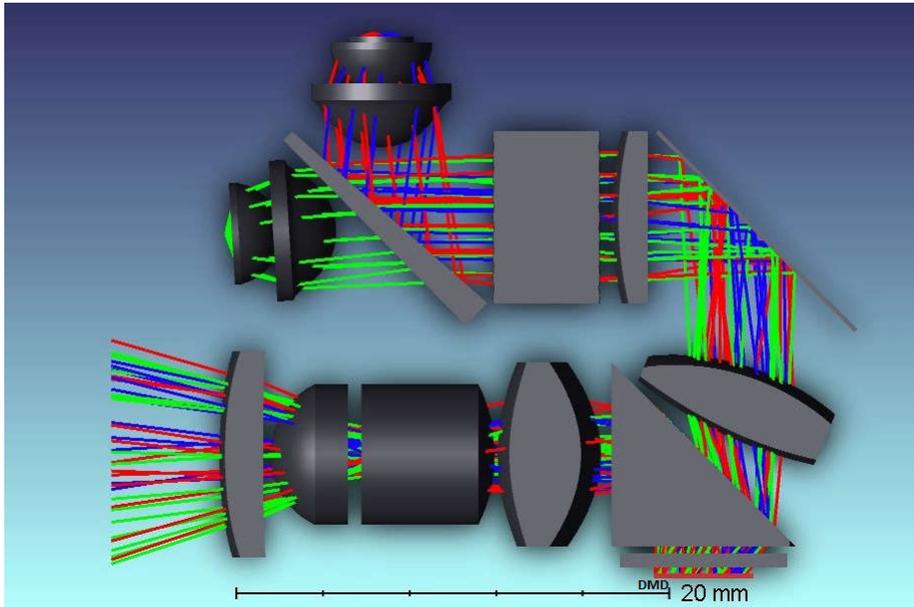


图 4-5. 0.2 WVGA (DLP2010) 光學模組範例

表 4-3. 光學模組中所含的光學元件

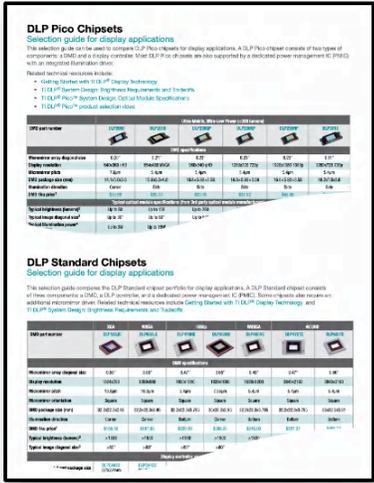
元件	說明
DMD	數位微鏡裝置是包含主動數位微鏡陣列的元件，可創造彩色平面，進而讓投影影像與照明光源結合。每個 DMD 都有以下獨特特性： <ul style="list-style-type: none"> • 主動陣列，包含成像元件的對角尺寸和像素數 • 像素架構，包含 (a) 相對於平坦表面的旋轉角度，包含 12° 和較新的 17° 微鏡傾斜；(b) 微鏡形狀，包含方形與菱形像素；(c) 像素尺寸，包含 7.6 μm 或 5.4 μm；(d) 照明方向，包含側邊、底部和斜角入射照明。 • 影像介面，視晶片組而定，由顯示控制器提供的訊號可提供更新主動陣列所需的影片資料輸入，包含 sub-LVDS 或 LVDS 介面。
DMD 安裝機制	DMD 安裝包含幾個需求：(a) DMD 的主動陣列相對於應用光軸正確放置，(b) DMD 和光學元件機箱之間的防塵密封，(c) 可靠的電氣連接，以及 (d) 適當的熱管理。若要了解有關各種 DLP 晶片組的安裝概念的詳細資訊，請參閱 DLP® 進階光學控制 DMD 的安裝硬體和快速參考指南 。
DMD 軟板	用來在 DMD 和顯示控制器間傳輸電子訊號的導線。
照明光源 (色彩機制)	DLP 技術適用各種照明光源。目前廣為使用的照明光源是 RGB LED 和雷射磷光體。 RGB LED 照明 。此照明機制使用紅、綠和藍色 LED，並幾單色平面重整速率顯示。在部分情況下會使用第四個 LED 增加亮度，但亮度增加會對電源效率造成很大的負面影響。3 通道架構可支援超過 20 流明/瓦特 (lm/W) 的亮度效率，4 通道架構可支援低於 10 lm/W 的亮度效率。 雷射螢光粉照明 。此照明方式使用單一藍雷射源，搭配一個或兩個螢光粉色輪漫射，以提供 RGB 光源。部分實作方式會增加紅色或綠色通道加強色彩效能。 RGB 雷射照明 。此照明方法使用紅、綠和藍色雷射源。這種實作方式通常採用去斑光學元件來提升影像品質，但並非必要。
光學致動器 (若有需要)	DMD 的高速允許使用光學致動器。使用符合 TI 規格的 2 向和 4 向致動器可提升畫面解析度，並維持 5.4 μm 像素節點的光學優點。 2 向致動器 ，DLP Pico 0.33 1080p (DLP3310) 等產品使用 2 向致動器來使 DMD 主動陣列的畫面解析度加倍。 4 向致動器 ，DLP 標準 0.47 4K (DLP471TE) 等產品使用 4 向致動器來 DMD 主動陣列的畫面解析度增為四倍。
勻光器	勻光器的功能是使光源的強度剖面更一致。通常會因此使用蠅眼鏡或積分柱。光學元件位於照明光源和 DMD 間。
投影透鏡	投影透鏡的目的是將來自 DMD 的影像放大至顯示表面。此外也會決定 投射比 ，定義是投影透鏡和顯示表面間的距離除以顯示影像寬度。另外也決定投影透鏡相對於顯示表面的 影像仰角 。觀看此 影片 進一步了解投射比和影像仰角。
照明投影介面	此光學元件負責 DMD 與投影透鏡間的介面。幾個選項包含場鏡、非遠心、全內反射 (TIR) 稜鏡和反向 TIR (RTIR) 稜鏡。
散熱管理	為確保光學模組運作正常，請務必考慮 DMD 和照明光源的散熱管理。觀賞此 影片 ，了解適合小型投影智慧型顯示器的散熱管理創新範例。

觀賞此[影片](#)進一步了解常見投影透鏡規格，包含投射比定義、投影仰角定義和遠心與非遠心架構比較。

5 選擇適當的 DLP 顯示晶片組

在選擇適當晶片組時應考量幾個因素。為快速開始使用，我們提供相關資源供您運用，如表 5-1 中所示。

表 5-1. 可用資源

資源	例
若要獲得目前所有可用的 DLP 顯示晶片組比較，請參閱 德州儀器 DLP® 顯示和投影晶片組選擇指南 。	
觀賞此影片，獲得如何為應用選擇適當晶片組的通用概念。	

以下條件判斷器可協助您選擇顯示應用所需的 DLP 晶片組：

產品系列概述： DLP 顯示產品系列廣泛，範圍從支援 50 lm 的 nHD 解析度到支援 10,000 lm 以上的 4K 解析度。常見產品可分為兩種：

- **DLP 標準晶片組。** 這些產品是針對亮度與解析度需求較高的大型顯示器而設計，解析度可從 0.55 XGA (DLP550JE) 到 0.66 4K UHD (DLP660TE)。這些晶片組又可稱為企業型與劇院型顯示器 (ECD) 晶片組。
- **DLP Pico 晶片組。** DLP Pico 產品擁有 0.16 吋到 0.47 吋鏡片陣列，是專為小型應用而設計。從 QnHD (DLP160AP) 至 4K UHD (DLP472TP) 解析度，DLP 微型顯示可為幾乎所有表面帶來鮮豔且清晰的影像。

5.1 亮度

亮度要求 (以流明為單位) 會因許多因素而有所不同，包含影像大小、周遭光線和尼特。亮度要求會影響 DMD 主動陣列的對角大小。您可閱讀 [適用於 DLPC343x 控制器的 TI DLP® IntelliBright™ 演算法](#) 或觀賞此影片，進一步了解如何選擇適合您應用的適當亮度。

- **亮度與功耗，** 一般來說投影模組越亮，功耗就越高 (主要受照明功率影響)。嵌入式應用的目標功率通常為 1 至 2 W，配件投影機則可從數瓦特到數十瓦特。若為 LED 照明光源，效率通常非呈線性，意即將送至 LED 的功率加倍，亮度增加會低於兩倍。尋找適當亮度與功耗平衡是非常重要的。
- **亮度與尺寸，** 光學模組尺寸差異很大，範圍可從嵌入式智慧型手機或平面電腦應用中的數立方公分，到高亮度配件投影機的數百立方公分。具較高亮度能力的投影模組通常尺寸也較大。可能需使用較大照明光源、光學元件和 DLP DMD，以提供較高亮度。照明光源產生的功率與熱會隨亮度而增加。若需散熱器或風扇，熱消耗要求也會增加尺寸。小巧、低功率的 DLP Pico 系統尺寸主要受光學模組尺寸影響，大型、高亮度 DLP 顯示系統除了受光學模組尺寸影響外，也會受熱解決方案影響。

5.2 解析度

視應用而定，您需要最低解析度以在顯示器上實現優異的影像品質。圖 1-1 為您提供通用概念，依觀賞距離、影像大小和內容類型，讓您了解所需的解析度。

Image Diagonal (inches)	Minimum Required Resolution (horizontal pixels)		
	Good	Better	Best
200	1230	1846	2460
160	1200	1802	2402
120	1158	1736	2314
100	1122	1684	2248
80	1076	1614	2154
70	1046	1568	2090
60	1006	1510	2014
50	956	1436	1914
40	890	1334	1780
30	798	1196	1594
25	734	1102	1470
20	660	988	1318
15	560	842	1122
10	432	648	864
Image Quality	Good	Better	Best

Assumptions

- Throw ratio: 1.2:1
- Aspect ratio: 16:9
- Viewing distance: 2' behind projection lens
- Pixels per degree requirements
 - Good: 30 pixels per degree
 - Better: 45 pixels per degree
 - Best: 60 pixels per degree

Target Resolutions
4K UHD (3840x2160)
1080p FHD (1920x1080)
720p HD (1280x720)
qHD (960x540)
WVGA (854x480)
nHD (640x360)

圖 5-1. 最低目標解析度

5.3 大小

您可能有非常嚴格的終端產品尺寸需求。光學模組的尺寸決定了產品的整體實際大小，並受以下幾個考量影響：

1. 如前所述的亮度等級
2. 照明來源
3. 光圈值，光學系統焦距除以入射光瞳 (有效光圈)。
4. 投射比或放大率，投射比越小，光學模組就越大，因需要鏡頭和鏡片等較大型的光學元件。
5. 熱管理

6 如何評估所選 DLP 顯示晶片組

為您的應用選擇適當晶片組後，您可購買 DLP 顯示 LightCrafter™ 評估模組 (EVM)。EVM 有幾項重要功能，可協助您做出晶片組、亮度等級和軟體配置設定的最終選擇。

- **影像品質評估。**此工具提供您指定亮度等級的光學模組。請記得，您可能會在市場中找到廣告宣稱具特定亮度的投影機，您應自行測量這些投影機的亮度，以驗證個別產品的量測值。
- **修改晶片組軟體參數。**多數 EVM 可搭配 PC Windows 軟體套件使用，以進行測試圖像/影像、色溫、梯形失真、DLP IntelliBright™ 演算法和 RGB LED 電流修正等顯示變更。PC 工具也可更新 EVM 的韌體。

圖 1-1 顯示了螢幕擷取範例。

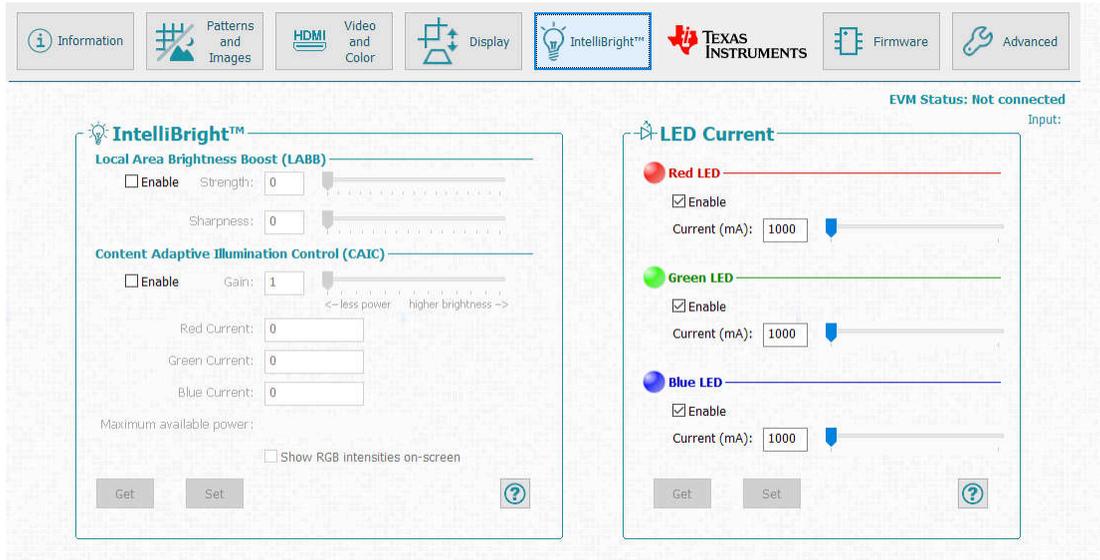


圖 6-1. .33 1080p (DLP3310) EVM PC 工具 DLP IntelliBright 演算法畫面

在某些情況下，EVM 可連接至單片式嵌入式系統版 (SBC)，不需透過 PC 軟體即可進行顯示器自訂。0.2nHD (DLP2000) 和 0.23 1080p (DLP230NP) DLP Pico 晶片組便是如此。

- **I2C 通訊。**在所有情況下，I2C 可用來命令/控制晶片組，即可實現晶片組軟體使用者指南中所寫的各种軟體功能。I2C 通訊可透過所有 EVM 直接執行。但每個 EVM 在執行方式上都有其獨特需求。
- **DLP Pico 韌體選擇器。**針對 DLP Pico 產品，您可[下載](#)各種韌體選項，這些選項會依晶片組、PMIC、顯示控制器接腳映射和應用設定檔而有所不同。
- **光學模組選項。**您可能想尋找特定晶片組產品的各種光學模組選擇，包含亮度等級、投射比、對比和光學設計。我們的[光學模組搜尋工具](#)可協助您在目前市場上可用光學模組中進行選擇。您可聯絡光學模組製造商進一步了解模組。在少見的情況下，生產光學模組可直接連接至 DLP EVM。光學模組製造商需提供您它們自己的評估工具，或給您連接至 TI EVM 的相關指示。請注意 EVM 的額定值適合特定 LED 電流驅動，需與所需光學模組相符。

7 選擇適當的光學引擎

7.1 光學模組選擇

光學模組選擇眾多。您必須清楚了解需指定的光學模組。您可以閱讀 *TI DLP®Pico™ 系統設計：光學模組規格*，了解光學模組規格和其他相關系統設計考量。決定符合需求的光學模組規格後，您應該將該規格記下，與候選光學模組製造商分享。下方範例中使用的所有詞彙都會在應用文件中詳細說明。

表 7-1. 光學模組規格表範例

技術規格	優先排序	目標方	邊界 (最小/最大)	例
說明	提供應用概略說明和 必備光學模組規格/功能。			
亮度 (lumen)				> 30 流明
解析度 (x 乘 y 像素)				854 × 480
大小 (x-y-z 尺寸，單位為 mm) - 注意 是否有其中一個尺寸具較高優先順序				25 mm × 25 mm × 6 mm (減少厚度)
功耗 (瓦特)				< 1.5 W
投射比				1.0 - 1.5
偏移 (通常為 0% 或 100-120%)				100%
選用規格				
亮度均勻度				> 70%
對比度 (全開、全關)				> 500:1
對比度 (棋盤格圖案)				> 200:1
光學縮放 (註記為需要或不需要)				不需要
長焦深 (註記為需要或不需要)				不需要
對焦方法 (例如手動、電動、自動對焦)				電動

7.2 光學模組採購

採購光學模組的方式有幾種。最快速的方法是向光學模組製造商購買已量產的光學模組。在某些情況下，您可能會想對光學模組進行部分修改。您可與光學模組製造商合作，依需求進行目錄光學模組客製；光學模組製造商可能需要一些商業條款和條件才能為您提供支援，因可能牽涉到光學元件模具。若貴公司具光學專業，您可自行設計光學模組並另外尋找公司進行製造，或在內部自行製造。此外，您也可聯絡第三方光學引擎設計業者為您設計光學模組，再由設計業者或光學模組製造商進行製造。

在部分情況下，DMD 會提供光學模組設計指南，可協助您了解該晶片組的要求。

8 DLP 產品供應鏈

與硬體電子裝置與光學元件相同，以下是常用的供應鏈安排：

- 德州儀器設計並提供 DLP 晶片組 (DMD、控制器和 PMIC)。
- 光學模組製造商 (OMM) 設計光學系統並提供整個光學機殼，包含 DMD、光源、撓性纜線和散熱器 (在部分情況下)。
- 系統整合商設計電子元件和外殼並提供最終產品，包含光學模組與 DLP 晶片組。

在部分情況下，系統整合商也會設計和提供光學模組。

9 開發與製造

我們的專家整理了一個清單，可協助您進行開發與提升顯示應用。

9.1 電氣注意事項

- 請勿超出建議操作條件
- 使用 DLP Composer™ 軟體選擇快閃裝置記憶體大小，打造類似產品中所需韌體的範例韌體。
- 根據所需 LED 電壓與電流，選擇最適合在您產品中使用的 DLP PMIC。
- 閱讀所有適用的使用者指南和電子應用文件，並遵循關於 DLP 晶片組的指示
- 在使用 DLP 晶片組設計 PCB 時使用 TI 參考電路圖和配置指南

9.2 軟體注意事項

- 視產品需要，使用 DLP Composer 軟體配置儲存在快閃裝置中的 DLP 晶片組韌體
- 使用 DLP 晶片組軟體程式設計人員指南，了解可輸入的 I2C (或 USB) 指令，以控制 DLP 晶片組。
- 考慮執行以下整合在多數 DLP 顯示控制器中的影像控制功能：
 - 1D 梯形校正，針對未與觀賞表面垂直的投影引擎進行影像幾何垂直補償。
 - 適用 DLPC343x 系列、CAIC 與 LABB 的 DLP IntelliBright™ 演算法，在相同功率下亮度可增加最高 50%，或在不降低亮度的情況下減少 50% 功率。
 - DLPC654x and DLPC754x 系列的影像扭曲與 DynamicBlack，補償不規則觀賞表面的影像並強化對比度能力。

9.3 光學注意事項

- 降低過度照明以減少 DMD 上的熱負載並增加光輸出。
- 因溫度或光學問題，可能需要使用光吸收材料減少或去除暗場光。
- 透過維持照明光瞳分離和投影光束，適當管理與投影光學元件對比的斷態光。受 DMD 像素架構、照明角度與光圈值影響。
- TIR 或反向 TIR 稜鏡在分離遠心鏡頭系統中照明與投影光時非常有效。注意折射率和射線角，以獲得合適的光徑傳輸。
- 在非遠心鏡頭系統中，確保光射線角度不超過 DMD 最大射線角。在入射角較高時，DMD 窗口中的傳輸會減少，但光線也會在 DMD 開口中產生漸暈。這種情況下可能會造成影片均勻度不佳。
- 視亮度程度而定，注意光使用的學材料，例如玻璃與塑膠。有些塑膠材料無法維持高通量密度，或在高溫下光學效率和/或影像品質會降低。

9.4 機械注意事項

- 請勿超出機械安裝建議
- DMD 產品規格書定義了熱與電介面區，以及可施加在這些區域上的最大負載 (力)。若超過最大負載可能會造成 DMD 受損
- 安裝 DMD 時施加的負載可透過設計控制或透過組裝過程控制。
 - 透過設計控制是利用設計特性，防止 DMD 上的負載超出最大值。通常會使用肩式螺絲和彈簧元件 (板片彈簧或螺旋彈簧) 達成
 - 透過組裝控制則是利用組裝過程確保 DMD 上的負載不超出限制。通常會運用程序和螺絲扭力達成
 - 透過設計控制是最穩固的設計

9.5 散熱注意事項

- 設計使其盡可能冷卻
- 設計讓產品在 DMD 運作時滿足建議操作條件。絕對最大值可做為短期壽命試驗與非長期操作的指南
- 儲存條件適用非運作狀態下的 DMD。其中包含安裝 DMD 前後的時間。

- 設計冷卻功能以了解 DMD 將使用的完成溫度範圍。協助在極端周遭環境下的 DMD 溫度要求，加快冷卻風扇速度或減少光學功率
- 在零件設計定案、開始使用工具前利用熱模型試驗進行早期熱測試，以在不影響排程或工具成本的情況下，進行能夠提升熱性能的簡單變更。
- 隨設計成熟精進熱模型試驗，並進行更多測試。
- DMD 產品規格書有定義在執行熱測試時應使用的熱測試點位置。
- DMD 產品規格書中的 T_ARRAY 規格是從指定溫度測試點計算得到的陣列溫度。產品規格書中有提供計算範例。
- DMD 熱測試應在裝置機殼中執行。單獨開放式光學模組熱測試的氣流與冷卻特性十分不同，因此得到的溫度會與有機殼的裝置不一樣。

9.6 製造注意事項

- 組裝期間切勿熱插拔 DMD
- 請遵循開機與關機要求
- 請勿將機械安裝硬體鎖太緊
- 為避免應力集中與在 DMD 上施加不平衡負載，在最終鎖緊前請先不要轉緊安裝螺絲。
- 進行光學校準時請使用低功率照明，避免 DMD 光圈或膠合線過熱
- 組裝 (照明校準、特性分析/測試、預燒)、儲存和操作期間，應隨時符合 DMD 溫度要求
- 即使只短暫超過 DMD 窗口溫度 (例如進行照明校準時)，都可能對 DMD 造成在製造過程中不會被偵測到的永久損害。

10 線上資源

此章節提供參考，協助您快速辨識所選晶片組的可用資源。

10.1 DLP 晶片組資訊

辨識各晶片組相關所有資源的最佳方式，即造訪相關 DMD、控制器和 PMIC 的產品頁面。在這些頁面中，您可找到如 [表 10-1](#) 中所示的資訊。

表 10-1. 可用資源

元件	資源
DMD	資料表 產品詳細資料 <ul style="list-style-type: none"> • 產品規格書重點 • 包裝 技術文件 <ul style="list-style-type: none"> • 應用特定技術文件與白皮書 • 安裝與電子互連資訊 • 光學參考設計範例 • DMD 光學效率 設計與開發 <ul style="list-style-type: none"> • 晶片組評估模組 (EVM) 資訊 • 顯示系統參考設計
顯示控制器	資料表 軟體程式設計師指南 影像校準 PCB 設計需求 IntelliBright 演算法 晶片組 EVM 資訊 即時色彩管理參考設計 IBIS 模型 韌體選擇器
PMIC	資料表 PCB 設計需求

表 10-2. 常用資源

資源	說明
DLP Pico 顯示器入門網站	協助學習、選擇、評估和開發 DLP Pico 顯示應用的快速入門內容
產品選擇文件	
產品選擇影片	說明如何根據幾個參數選擇適當 DLP 顯示晶片組的訓練
德州儀器 DLP® 顯示和投影晶片組選擇指南	包含所有可供量產的 DLP 顯示晶片組
亮度取捨 DLP 系統設計：亮度要求與取捨及影片	提供如何為您的應用選擇適當亮度等級 (流明) 的指南
光學模組選擇文件	
常見投影透鏡規格影片	說明投影系統執行方式的影片，和提供光學引擎指定指南的應用文件。
OMM 搜尋工具	供應全球且已可量產的全方位光學模組
設計資源	
DLP 產品的 E2E 論壇	可詢問專家問題和檢閱可能已解決技術問題的論壇
PCB 設計需求：DLP® 標準 TRP 數位微型反射鏡元件的 PCB 設計需求和 TI DLP Pico TRP 數位微型反射鏡元件的 PCB 設計需求 TRP 晶片組 (需登入 myTI)	如何為顯示控制器與 DMD 介面配置電子元件的電子建議

11 常用顯示與投影詞彙

表 11-1 提供常用顯示與投影詞彙。

表 11-1. 常用顯示與投影詞彙

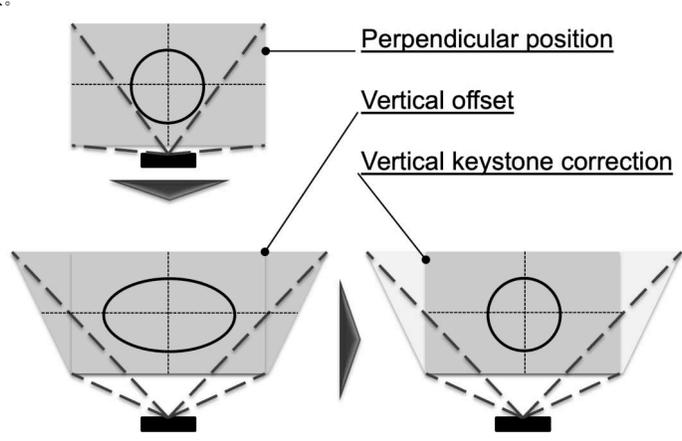
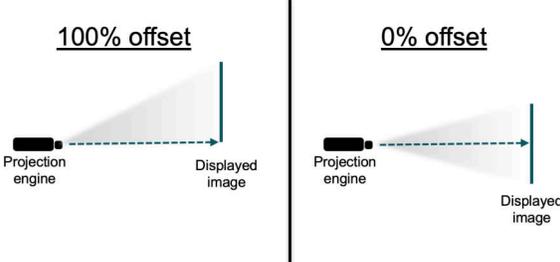
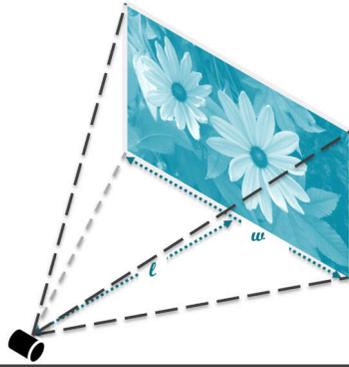
詞彙	說明
亮度	亮度是測量人眼在給定場景下接收光線多寡的方式。此為光量 (光子數) 與其在色譜 (光子能量) 中的傳遞，以及人眼在可見光譜 (黃綠色區最敏感，藍和紅色區最不敏感) 中不同敏感度的函數。國系單位制 (SI) 將流明指定為亮度的測量單位
流明	DLP 投影機規格通常以其投影影像中可傳遞的流明數表示。亮度 (流明) 決定投影機在給定周遭光線環境下仍可視的布幕大小。亮度越高，可顯示的影像就越大。運用 DLP 顯示技術的終端產品流明數範圍廣泛，從智慧型手機和平板電腦的 20-30 流明到數位戲院投影機的 50,000 流明都有。
對比	顯示影像品質大幅受到觀賞影像亮度與最暗區域間差異影響。此差異可透過對比度量，也就是影像最亮區域與最暗區域間的比例。DLP 系統的對比度規格以系統性能為基礎，而觀賞體驗也受周遭光線顯著影響。布幕上的周遭光線越多，影像的觀賞對比就越低。系統對比和周遭光線可決定影像的真實觀賞對比。必須特別注意光學設計和光學模組中使用的光學品質，才能得到最大對比度。
解析度	影像中的細節程度由組成顯示影像的像素數決定。在 DLP 系統中為 DMD 內鏡片數的函式，可代表顯示影像中一個或多個像素。解析度式可顯示的像素數。顯示的細節程度不僅受投影機系統解析度影響，也受來源內容解析度影響。若來源內容解析度與投影機系統解析度不符，來源內容會由控制器進行映射，以獲得最大顯示解析度。DLP 顯示器解析度範圍可從 640 × 360 (nHD) 到 3840 × 2160 (4K UHD)。
梯形失真	<p>若投影系統光軸與成像布幕不垂直，影像會出現幾何失真。因到布幕上方和下方的距離不同而產生的其中一種失真稱為梯形失真。產生的影像從上到下會出現不同寬度，使影像出現拱心石 (使用在拱形建築架構上方) 的形狀。只要使投影軸與布幕垂直便可避免此失真情況。但有時仍無法避免。梯形失真可透過光學 (非常困難，費用過高且無法調整) 或影像處理方式修正。DLP 控制器透過在布幕上產生矩形影像的方式，將輸入影像重新映射在 DMD 陣列上，以提供梯形校正。梯形校正功能常會搭配系統中的加速度計使用，以在投影機上下傾斜時自動調整影像。</p>  <p style="text-align: center;">Perpendicular position Vertical offset Vertical keystone correction</p>

图 11-1. 垂直梯形校正

表 11-1. 常用顯示與投影詞彙 (續)

詞彙	說明
彩色色序法顯示器	DLP DMD 由微鏡所組成。這些微鏡只會反射照亮它們的光線。那麼 DMD 晶片如何重新產生完整色彩影像？秘密就在人眼的運作方式。人類的視網膜和頭腦對射在 3 種視錐體 (對紅色敏感、對綠色敏感和對藍色敏感) 上的光量進行短暫的平均時間差反應，將接收到的色彩進行合成。由於人眼持續在 1/50 秒左右的時間內將設在視網膜上的光線平均分配，因此可透過適當速率依序以紅、綠、藍影像照亮人眼，以讓觀賞者接收完整色彩影像的印象。執行的方式是透過 DLP 光學模組依序將紅、綠、藍光源開啟和關閉，例如在紅色影像後接著出現綠色影像，再出現藍色影像。
前投影/後投影和布幕	DLP 顯示器系統使用光學系統，產生顯示在 DMD 上像素圖型的真實影像。為讓觀賞者能看到投影影像，必須將光線散布在與影像焦點平面相同位置的表面上。此功能由布幕提供，布幕可以是特別經過最佳化的板材，或只是牆壁、地板或台面，任何平滑且可以光成色的表面都可產生出色影像。在前投影系統中，布幕必須為反射表面。後投影系統則需半透明的散色布幕。但在兩種系統中，觀賞者都需將眼睛焦點放在布幕上，才能看到投影影像。有些顯示器系統是透過產生虛擬影像來運作。例如近眼顯示器和抬頭顯示器創造的影像必須在光線通過眼鏡射到視網膜時才會成像。
補償	<p>許多 DLP 投影機中的 DMD 會偏移到投影透鏡光軸下方位置，以將影片移到水平平面上方。此方式在投影機放在桌上時非常實用，可避免裁切投影影像底部。這種偏移也可避免投影機傾斜時產生的影像失真。</p>  <p style="text-align: center;">图 11-2. 投影影像上的偏移效果</p>
投射比	<p>在許多投影應用中，投影機與觀賞布幕間的配置位置非常重要。投影機投射比決定投影機放置位置必須多遠，才能產生特定畫面大小。投影影像寬度 (W) 和鏡頭到布幕中心距離 (D) 兩者間的關係稱為投射比 (T)。</p> <p>常見投射比參考：標準投射：投射比 >1；短焦 (ST)：1 > 投射比 > 0.4；超短焦 (UST)：投射比 < 0.4。</p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\text{Throw ratio} = \frac{l}{w}$ <p style="text-align: center;"> l distance from the lens to the image w horizontal width of the image </p> </div> <p style="text-align: center;">图 11-3. 投射比圖</p>
光圈值	<p>投影影像的相對亮度是照明系統亮度和鏡頭光圈的函數，即鏡頭開啟寬度 (D) 與鏡頭焦距 (f) (決定投影影像大小) 間的關係。這個值稱為光圈值 (N)。N = f/D。兩個鏡頭的相對亮度 (rb) 則是其光圈值平方的函數。rb = (N₂ / N₁)²。例如 N₁=2 的鏡頭比 N₂=4 鏡頭亮 4 倍。光圈值使系統必須在亮度與體積 (尺寸) 間做取捨。光圈值較高 (N=2.4) 的系統較為輕薄，但與光圈值較低 (N=1.7) 的系統相比可能需犧牲亮度，視其光展度 (通常適用 LED 系統) 而定。</p>
DLP 晶片組命名方式	<p>通常會依主動陣列對角線、解析度和產品組合來命名 DLP 晶片組，如下所示：</p> <p>[陣列對角線 (單位英寸)] [解析度] DLP [標準或 Pico] 晶片組</p> <p>例：</p> <p>0.47 1080p DLP Pico 晶片組指的是 0.47 英寸對角線主動陣列並支援 1080p 畫面解析度的 DLP Pico 晶片組。</p> <p>表 4-1 為 DMD、DLP 顯示控制器和 DLP PMIC 提供 DLP 晶片組零件編號命名方式的概略說明。</p>

12 參考

- 德州儀器：[DLP 產品訊息與圖示指南](#)
- 德州儀器：[DLPC3439 軟體程式設計人員指南範例](#)
- 德州儀器：[TI DLP® Pico™ 系統設計：光學模組規格](#)
- 德州儀器：[DLP® 進階光學控制 DMD 的安裝硬體和快速參考指南](#)
- 德州儀器：[德州儀器 DLP® 顯示和投影晶片組選擇指南](#)
- 德州儀器：[適用於 DLPC343x 控制器的 TI DLP® IntelliBright™ 演算法](#)
- 德州儀器：[DLP 系統設計：亮度要求與取舍](#)
- 德州儀器：[DLP® 標準 TRP 數位微型反射鏡元件的 PCB 設計需求](#)
- 德州儀器：[TI DLP Pico TRP 數位微型反射鏡元件的 PCB 設計需求](#)

13 修訂記錄

Changes from Revision G (May 2023) to Revision H (April 2024) Page

- 將 0.2 吋更新為 0.16 吋 13
- 將從 nHD (DLP2000) 至 4K UHD (DLP471TP) 解析度更新為從 QnHD (DLP160AP) 至 4K UHD (DLP472TP) 解析度 13

Changes from Revision F (August 2022) to Revision G (May 2023) Page

- 刪除重複的表格 4
- 更新 DLP 系統方塊圖影片超連結 7
- 更新 TI DLP® Pico™ 產品選擇影片超連結 13
- 更新產品選擇影片超連結 18

Changes from Revision E (August 2021) to Revision F (August 2022) Page

- 更新了整份文件中表格、數字和交互參考的編號格式。 3
- 更新 DLP 顯示器投影優點主題 4
- 更新什麼是 DLP 技術主題 6
- 更新節 4 7

重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated