适用于汽车显示应用的 DLP3944-Q1 0.39 英寸 4K UHD 数字微镜器件

1 特性

- 符合汽车应用标准 –
  - DMD 阵列工作温度范围 -40°C 至 105°C
- DLP3944-Q1 汽车芯片组包括：
  - DLP3944-Q1 DMD
  - DLPC431 DMD 控制器
  - DLPA3085/DLPA3082 系统管理和照明控制器
- 0.39 英寸对角线微镜阵列
  - 4K UHD (3840 × 2160) 显示分辨率为 60Hz
  - 1080p 全高清 (1920 × 1080) 显示分辨率为 240Hz
  - 4.5µm 微镜间距
  - ±14.5° 微镜倾斜度（相对于平坦表面）
  - 侧面照明
  - 与 LED 或激光照明兼容
- 高达 720MHz SubLVDS DMD 接口，可实现低功耗和低辐射
- 温度极值下 DMD 刷新率为 10kHz
- DMD 存储器单元的内置自检 (BIST)

2 应用

- 后座娱乐系统 (RSE)

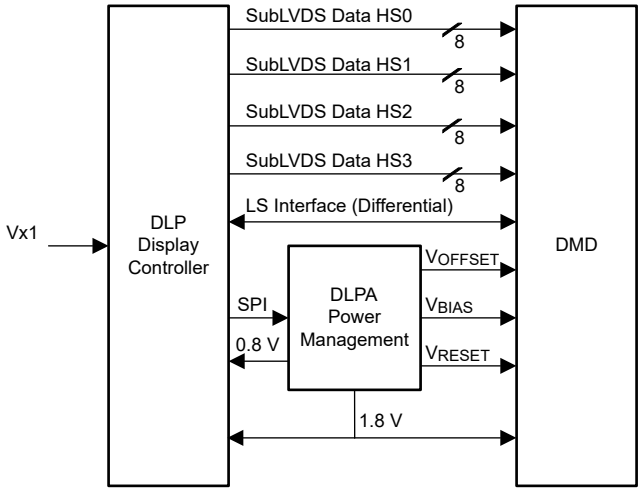
3 说明

DLP3944-Q1 数字微镜器件 (DMD) 是一款数控微机电系统 (MEMS) 空间照明调制器 (SLM)，可实现高亮度 4K UHD 显示系统。TI DLP® 产品 0.39 英寸 4K UHD 芯片组由 DMD、DLPC431 显示控制器以及 DLPA3085/DLPA3082 PMIC 和照明驱动器组成。芯片组外形紧凑，可为小巧的 4K UHD 显示提供完整的系统解决方案。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸
DLP3944-Q1	FSC (154)	18.35mm × 9.60mm

(1) 有关更多信息，请参阅数据表末尾的附录。



简化版应用

ADVANCE INFORMATION

本资源的原文使用英文撰写。 为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。 为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

ADVANCE INFORMATION

内容

1 特性 1
2 应用 1
3 说明 1
4 引脚配置和功能 3
5 规格 7
5.1 绝对最大额定值 7
5.2 存储条件 8
5.3 ESD 等级 8
5.4 建议运行条件 9
5.5 热性能信息 10
5.6 电气特性 11
5.7 开关特性 12
5.8 时序要求 12
5.9 系统安装接口负载 17
5.10 微镜阵列物理特性 18
5.11 微镜阵列光学特性 19
5.12 窗口特性 19
5.13 芯片组元件使用规格 20
6 详细说明 21
6.1 概述 21
6.2 功能方框图 21
6.3 特性说明 22
6.4 器件功能模式 22
6.5 光学接口和系统图像质量注意事项 22
6.6 微镜阵列温度计算 23
6.7 微镜功率密度计算 25
6.8 窗口孔隙照明溢出计算 26
6.9 微镜着陆打开/着陆关闭占空比 27
7 应用和实施 27
7.1 应用信息 27
7.2 典型应用 28
7.3 温度检测 29
8 电源相关建议 32
8.1 DMD 电源上电过程 33
8.2 DMD 电源断电过程 33
8.3 DMD 电源时序要求 34
9 布局 35
9.1 布局指南 35
10 器件和文档支持 36
10.1 第三方产品免责声明 36
10.2 器件支持 36
10.3 支持资源 36
10.4 商标 37
10.5 静电放电警告 37
10.6 术语表 37
11 修订历史记录 37
12 机械、封装和可订购信息 38

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 引脚配置和功能

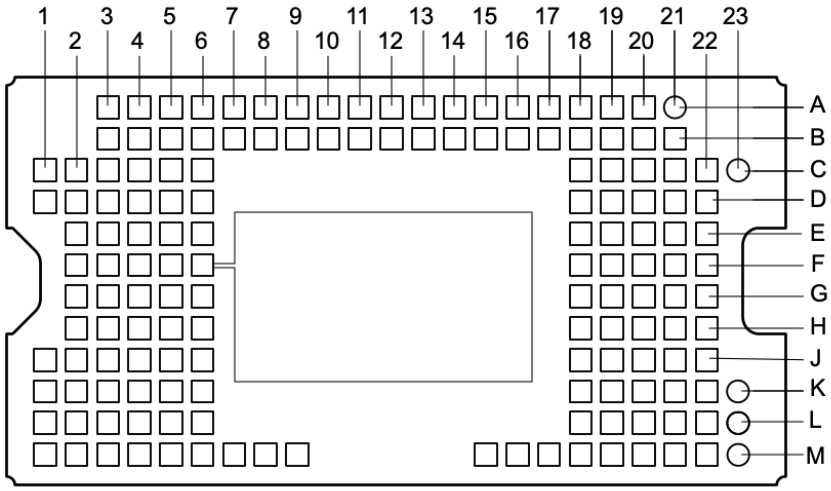


图 4-1. FSC 封装，154 引脚 LGA（底视图）

表 4-1. 引脚功能

引脚		类型(1)	说明	终端	布线长度 (mm)
名称	焊盘 ID				
D_AP(0)	C2	I	高速差分数据对通道 A0	差分 100Ω	1.123
D_AN(0)	C3	I	高速差分数据对通道 A0	差分 100Ω	1.414
D_AP(1)	D2	I	高速差分数据对通道 A1	差分 100Ω	1.212
D_AN(1)	D3	I	高速差分数据对通道 A1	差分 100Ω	1.626
D_AP(2)	C4	I	高速差分数据对通道 A2	差分 100Ω	3.011
D_AN(2)	C5	I	高速差分数据对通道 A2	差分 100Ω	3.388
D_AP(3)	D5	I	高速差分数据对通道 A3	差分 100Ω	3.682
D_AN(3)	D6	I	高速差分数据对通道 A3	差分 100Ω	3.912
D_AP(4)	G5	I	高速差分数据对通道 A4	差分 100Ω	3.542
D_AN(4)	G6	I	高速差分数据对通道 A4	差分 100Ω	3.662
D_AP(5)	E2	I	高速差分数据对通道 A5	差分 100Ω	0.972
D_AN(5)	E3	I	高速差分数据对通道 A5	差分 100Ω	1.335
D_AP(6)	E5	I	高速差分数据对通道 A6	差分 100Ω	4.520
D_AN(6)	E6	I	高速差分数据对通道 A6	差分 100Ω	4.634
D_AP(7)	H5	I	高速差分数据对通道 A7	差分 100Ω	3.200
D_AN(7)	H6	I	高速差分数据对通道 A7	差分 100Ω	3.515
DCLK_AP	F4	I	高速差分时钟 A	差分 100Ω	2.610
DCLK_AN	F5	I	高速差分时钟 A	差分 100Ω	3.068
D_BP(0)	C20	I	高速差分数据对通道 B0	差分 100Ω	2.563
D_BN(0)	C19	I	高速差分数据对通道 B0	差分 100Ω	2.636
D_BP(1)	D21	I	高速差分数据对通道 B1	差分 100Ω	2.329
D_BN(1)	D20	I	高速差分数据对通道 B1	差分 100Ω	2.487
D_BP(2)	C18	I	高速差分数据对通道 B2	差分 100Ω	4.300

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

表 4-1. 引脚功能（续）

引脚		类型[1]	说明	终端	布线长度 (mm)
名称	焊盘 ID				
D_BN(2)	D18	I	高速差分数据对通道 B2	差分 100Ω	4.569
D_BP(3)	E20	I	高速差分数据对通道 B3	差分 100Ω	3.112
D_BN(3)	E19	I	高速差分数据对通道 B3	差分 100Ω	3.485
D_BP(4)	F22	I	高速差分数据对通道 B4	差分 100Ω	1.073
D_BN(4)	F21	I	高速差分数据对通道 B4	差分 100Ω	1.239
D_BP(5)	H18	I	高速差分数据对通道 B5	差分 100Ω	4.146
D_BN(5)	G18	I	高速差分数据对通道 B5	差分 100Ω	4.330
D_BP(6)	F18	I	高速差分数据对通道 B6	差分 100Ω	4.241
D_BN(6)	E18	I	高速差分数据对通道 B6	差分 100Ω	4.494
D_BP(7)	G22	I	高速差分数据对通道 B7	差分 100Ω	0.663
D_BN(7)	G21	I	高速差分数据对通道 B7	差分 100Ω	1.054
DCLK_BP	F20	I	高速差分时钟 B	差分 100Ω	2.404
DCLK_BN	F19	I	高速差分时钟 B	差分 100Ω	2.610
D_CP(0)	G2	I	高速差分数据对通道 C0	差分 100Ω	1.052
D_CN(0)	G3	I	高速差分数据对通道 C0	差分 100Ω	1.112
D_CP(1)	M7	I	高速差分数据对通道 C1	差分 100Ω	6.519
D_CN(1)	M8	I	高速差分数据对通道 C1	差分 100Ω	6.611
D_CP(2)	H2	I	高速差分数据对通道 C2	差分 100Ω	0.921
D_CN(2)	H3	I	高速差分数据对通道 C2	差分 100Ω	1.376
D_CP(3)	M5	I	高速差分数据对通道 C3	差分 100Ω	5.196
D_CN(3)	M6	I	高速差分数据对通道 C3	差分 100Ω	5.318
D_CP(4)	K3	I	高速差分数据对通道 C4	差分 100Ω	1.579
D_CN(4)	K4	I	高速差分数据对通道 C4	差分 100Ω	1.648
D_CP(5)	M3	I	高速差分数据对通道 C5	差分 100Ω	3.414
D_CN(5)	M4	I	高速差分数据对通道 C5	差分 100Ω	3.857
D_CP(6)	L4	I	高速差分数据对通道 C6	差分 100Ω	2.460
D_CN(6)	L5	I	高速差分数据对通道 C6	差分 100Ω	2.566
D_CP(7)	K1	I	高速差分数据对通道 C7	差分 100Ω	1.114
D_CN(7)	L1	I	高速差分数据对通道 C7	差分 100Ω	1.707
DCLK_CP	K5	I	高速差分时钟 C	差分 100Ω	3.744
DCLK_CN	K6	I	高速差分时钟 C	差分 100Ω	3.883
D_DP(0)	J19	I	高速差分数据对通道 D0	差分 100Ω	4.189
D_DN(0)	J18	I	高速差分数据对通道 D0	差分 100Ω	4.435
D_DP(1)	M18	I	高速差分数据对通道 D1	差分 100Ω	6.588
D_DN(1)	M17	I	高速差分数据对通道 D1	差分 100Ω	6.867
D_DP(2)	H21	I	高速差分数据对通道 D2	差分 100Ω	1.754
D_DN(2)	H20	I	高速差分数据对通道 D2	差分 100Ω	1.936
D_DP(3)	J22	I	高速差分数据对通道 D3	差分 100Ω	1.339
D_DN(3)	J21	I	高速差分数据对通道 D3	差分 100Ω	1.634
D_DP(4)	L20	I	高速差分数据对通道 D4	差分 100Ω	3.329
D_DN(4)	L19	I	高速差分数据对通道 D4	差分 100Ω	3.436

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

表 4-1. 引脚功能（续）

引脚		类型[1]	说明	终端	布线长度 (mm)
名称	焊盘 ID				
D_DP(5)	M20	I	高速差分数据对通道 D5	差分 100Ω	3.631
D_DN(5)	M19	I	高速差分数据对通道 D5	差分 100Ω	3.738
D_DP(6)	M22	I	高速差分数据对通道 D6	差分 100Ω	2.420
D_DN(6)	M21	I	高速差分数据对通道 D6	差分 100Ω	2.573
D_DP(7)	K22	I	高速差分数据对通道 D7	差分 100Ω	1.406
D_DN(7)	K21	I	高速差分数据对通道 D7	差分 100Ω	1.881
DCLK_DP	K19	I	高速差分时钟 D	差分 100Ω	3.916
DCLK_DN	K18	I	高速差分时钟 D	差分 100Ω	4.022
TEMP_N	M2	I	温度二极管 N		1.133
TEMP_P	M1	I	温度二极管 P		1.237
LS_RDATA_D	B5	O	低速输出		2.396
LS_RDATA_C	A4	O	低速输出		2.255
LS_RDATA_B	A5	O	低速输出		2.925
LS_RDATA_A	A3	O	低速输出		2.045
LS_WDATA_N	B7	I	低速差动输入 N		5.297
LS_WDATA_P	A7	I	低速差动输入 P		5.253
LS_CLK_N	A8	I	低速差动时钟输入 N		7.225
LS_CLK_P	A9	I	低速差动时钟输入 P		6.962
DMD_DEN_ARSTZ	D1	I	异步复位低电平有效。逻辑高电平使能 DMD	17.5kΩ 下拉	0.735
VDD	A6、A10、A12、A14、A16、A18、B4、B11、B13、B15、B19、B21、C21、D22、E21、G4、J1、J4、J6、L2、M15	P	数字内核电源电压		平面
VBIAS	A20、B6	P	微镜复位信号正偏置的电源电压		平面
VRESET	B8、B17	P	微镜复位信号负偏置的电源电压		平面
VOFFSET	B9、M16	P	HVCMOS 逻辑的电源电压，升压逻辑电平		平面
VDDI	C22、E4、F2、G20、J2、L22	P	SubLVDS 接收器的电源电压		平面

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

表 4-1. 引脚功能（续）

引脚		类型(1)	说明	终端	布线长度 (mm)
名称	焊盘 ID				
VSS	A11、A13、A15、A17、A19、B3、B10、B12、B14、B16、B18、B20、C1、C6、D4、D19、E22、F3、F6、G19、H4、H19、H22、J3、J5、J20、K2、K20、L3、L6、L18、L21、M9	G	接地		平面
N/C	A21、C23、K23、L23、M23	NC	无连接引脚		不适用

(1) I = 输入，O = 输出，P = 电源，G = 接地，NC = 无连接

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 规格

5.1 绝对最大额定值

超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。“绝对最大额定值”并不表示器件在这些条件下或在“建议运行条件”以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内，器件可能不会完全正常运行，并且这可能影响器件的可靠性、功能和性能，并缩短器件寿命。

		最小值	最大值	单位
电源电压				
V_{DD}	LVCMOS 内核逻辑和低速接口 (LSIF) 的电源电压 (1)	-0.5	2.3	V
V_{DDI}	SubLVDS 接收器的电源电压(1)	-0.5	2.3	V
V_{OFFSET}	HVCMOS 和微镜电极的电源电压(1) (2)	-0.5	11	V
V_{BIAS}	微镜电极的电源电压(1)	-0.5	19	V
V_{RESET}	微镜电极的电源电压(1)	-15	0.5	V
$\lvert V_{DDI} - V_{DD} \rvert$	电源电压差值（绝对值）(3)		0.3	V
$\lvert V_{BIAS} - V_{OFFSET} \rvert$	电源电压差值（绝对值）(4)		11	V
$\lvert V_{BIAS} - V_{RESET} \rvert$	电源电压差值（绝对值）(5)		34	V
输入电压				
	其他输入的输入电压 – LSIF 和 LVCMOS	-0.5	V_{DD} + 0.5	V
	其他输入的输入电压 – SubLVDS(1) (6)	-0.5	V_{DDI} + 0.5	V
SUBLVDS 接口				
$\lvert V_{ID} \rvert$	SubLVDS 输入差分电压（绝对值）(6)		810	mV
I_{ID}	SubLVDS 输入差分电流		10	mA
时钟频率				
f_{clock}	低速接口 LS_CLK 的时钟频率	100	130	MHz
温度二极管				
I_{TEMP_DIODE}	温度二极管的最大电流源		120	µA
环境(8)				
T_{ARRAY}	工作时的温度(7)	-40	105	°C
T_{ARRAY}	未工作时的温度(7)	-40	125	°C

(1) 所有电压值均与接地端子 (V_{SS}) 相关。为了确保 DMD 正常运行，必须连接以下所需的电源：V_{DD}、V_{DDI}、V_{OFFSET}、V_{BIAS} 和 V_{RESET}。同时还需要所有的 V_{SS} 连接。
(2) V_{OFFSET} 电源电压瞬态必须处于指定的电压范围内。
(3) 如果超过 V_{DDI} 和 V_{DD} 之间的建议允许绝对电压差值，则可能导致电流消耗过大，以及器件永久受损。
(4) 如果超过 V_{BIAS} 和 V_{OFFSET} 之间的建议允许绝对电压差值，则可能导致电流消耗过大，以及器件永久受损。
(5) 如果超过 V_{BIAS} 和 V_{RESET} 之间的建议允许绝对电压差值，则可能导致电流消耗过大，以及器件永久受损。
(6) 当差分对的每个输入处于相同的电压电势时，该最大输入电压额定值适用。SubLVDS 差动输入不得超过指定的限值，否则可能会损坏内部端接电阻器。
(7) 阵列温度无法直接测量，必须根据图 6-5 中所示测试点 1 (TP1) 测量的温度进行分析计算（按照“微镜阵列温度计算”）。
(8) 请参阅 *RDP DMD 在汽车应用中的可靠性寿命估算* 应用报告 (DLPA146)，获取数字微镜器件 (DMD) 在高温条件下运行时的可靠性数据。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.2 存储条件

适用于作为元件或在系统中不运行的 DMD。

		最小值	最大值	单位
T_{DMD}	DMD 温度	-40	125	°C

5.3 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)(1)	±1000	V
		充电器件模型 (CDM)(2)	±250	V

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出：500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。
(2) JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.4 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内和电源电压下测得（除非另有说明）。

		最小值	典型值	最大值	单位
电源电压范围					
V_{DD}	LVCMOS 内核逻辑的电源电压 LPSDR 低速接口的电源电压 (1) (2)	1.71	1.8	1.95	V
V_{DDI}	SubLVDS 接收器的电源电压 (1) (2)	1.71	1.8	1.95	V
V_{OFFSET}	HVCMOS 和微镜电极的电源电压 (1) (2) (3)	9.5	10	10.5	V
V_{BIAS}	镜电极的电源电压 (1) (2)	17.5	18	18.5	V
V_{RESET}	微镜电极的电源电压 (1) (2)	-14.5	-14	-13.5	V
$\lvert V_{DDI} - VDD \rvert$	电源电压差值（绝对值）(1) (2) (4)			0.3	V
$\lvert V_{BIAS}-V_{OFFSET} \rvert$	电源电压差值（绝对值）(1) (2) (5)			10.5	V
$\lvert V_{BIAS} - V_{RESET} \rvert$	电源电压差值（绝对值）(1) (2) (6)			33	V
LPSDR 接口					
V_{IH}	高电平输入电压	0.7 x V_{DD}			V
V_{IL}	低电平输入电压			0.3 x V_{DD}	V
V_{IH}(AC)	AC 输入高电压	0.8 × V_{DD}		V_{DD} + 0.3	V
V_{IL}(AC)	AC 输入低电压	-0.3		0.2 × V_{DD}	V
V_{Hyst}	输入迟滞	0.1 × V_{DD}		0.4 × V_{DD}	V
f_{max_LS}	低速接口 LS_CLK 的时钟频率 (7)	108	120	130	MHz
DCD_{IN}	LSIF 占空比失真 (LS_CLK) (7)	44		56	%
SUBLVDS 接口					
f_{max_HS}	高速接口 DCLK 的时钟频率 (8)		600	720	MHz
DCD_{IN}	LVDS 占空比失真 (DCLK)	48		52	%
$\lvert V_{ID} \rvert$	LVDS 差分输入电压幅度 (8)	150	250	350	mV
V_{CM}	共模电压 (8)	700	900	1100	mV
$V_{SUBLVDS}$	SubLVDS 电压 (8)	525		1275	mV
Z_{IN}	内部差分端接电阻	80	100	120	Ω
温度二极管					
I_{TEMP_DIODE}	温度二极管的最大电流源			120	µA
环境					
T_{ARRAY}	长期工作时的阵列温度(9) (10) (11)	-40		105	°C
Q_{AP-ILL}	窗口孔隙照明溢出 (12) (13) (14)			80	mW/mm^2
照明					
ILL_{UV}	波长 < 410nm 时的照明功率(9) (15)			10	mW/cm^2

(1) 运行 DMD 需要以下所有电源：V_{DD}、V_{DDI}、V_{OFFSET}、V_{BIAS} 和 V_{RESET}。同时还需要所有的 V_{SS} 连接。
(2) 所有电压值均与接地引脚 (V_{SS}) 相关。
(3) V_{OFFSET} 电源电压瞬态必须处于指定的最大电压范围内。
(4) 为了防止电流过大，电源电压差值 $|V_{DDI} - V_{DD}|$ 必须小于指定的限值。
(5) 为了防止电流过大，电源电压差值 $|V_{BIAS} - V_{OFFSET}|$ 必须小于指定的限值。
(6) 为了防止电流过大，电源电压差值 $|V_{BIAS} - V_{RESET}|$ 必须小于指定的限值。
(7) LS_CLK 必须按指定方式运行，以确保复位波形命令的内部 DMD 时序。
(8) 请参阅时序要求中的 SubLVDS 时序要求。
(9) 如果 DMD 同时暴露于温度和 UV 照明的最大建议运行条件下，则会缩短器件寿命。
(10) 阵列温度无法直接测量，必须通过在图 6-5 所示的测试点 (TP1) 测量的温度以及封装热阻（使用微镜阵列温度计算）进行分析计算。
(11) 长期定义为器件的使用寿命。
(12) 适用于图 5-1 中定义的区域。
(13) DMD 的工作区域被 DMD 窗口表面内的孔隙包围，该孔隙遮挡了正常视图的 DMD 器件组件的结构。该孔隙的大小可以预测多种光学条件。照亮有源阵列外部区域的溢出光会产生散射，并对使用 DMD 的终端应用的性能产生不利影响。照明光学系统的一项设计要求是尽

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

可能减少入射到有源阵列外部的光通量。根据光学系统的特定光学架构和组装公差，有源阵列外部的溢出光量可能会导致系统性能下降。

(14) 要进行计算，请参阅窗口孔隙照明溢出计算。

(15) 如需计算，请参阅微镜功率密度计算。

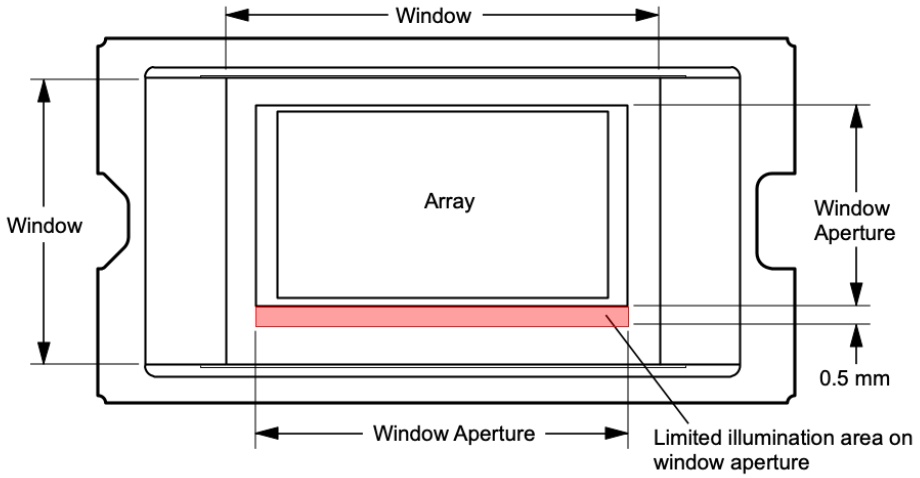


图 5-1. 照明溢出图 — 关键区域

5.5 热性能信息

热指标		DLP3944-Q1 FSC 154 引脚	单位
热阻	有源区域至测试点 1 (TP1)(1)	2.6	°C/W
	有源区域至温度检测二极管(1)	0.1	°C/W

(1) 该 DMD 可以将吸收和耗散的热量传导至封装背面。冷却系统必须能够将 DMD 保持在建议运行条件 中指定的温度范围内。该 DMD 上的总热负荷主要由工作区域吸收的入射光驱动，不过可能还会有一部分来自窗口孔隙吸收的光能和阵列的电功率耗散。光学系统应设计为尽量减少处于窗口通光孔隙之外的光能，因为该区域的任何额外热负荷都会显著降低器件的可靠性。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.6 电气特性

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）(1)

参数 (6)		测试条件 (2)	最小值	典型值	最大值	单位
电流						
I_{DD}	电源电流：V_{DD} (3) (4)	典型值			140	mA
I_{DDI}	电源电流：V_{DDI} (3) (4)	典型值			45	mA
I_{OFFSET}	电源电流：V_{OFFSET} (5)	典型值			6	mA
I_{BIAS}	电源电流：V_{BIAS} (5)	典型值			0.6	mA
I_{RESET}	电源电流：V_{RESET}	典型值			1.8	mA
POWER						
P_{DD}	电源功率耗散：V_{DD} (3) (4)	典型值			252	mW
P_{DDI}	电源功率耗散：V_{DDI} (3) (4)	典型值			81	mW
P_{OFFSET}	电源功率耗散：V_{OFFSET} (5)	典型值			60	mW
P_{BIAS}	电源功率耗散：V_{BIAS} (5)	典型值			1.08	mW
P_{RESET}	电源功率耗散：V_{RESET}	典型值			25.2	mW
P_{TOTAL}	电源功率耗散总计	典型值			419.28	mW
LPSDR 输入						
I_{IL}	低电平输入电流	V_{DD} = 1.95 V，V_I = 0V	-100			nA
I_{IH}	高电平输入电流	V_{DD} = 1.95 V，V_I = 1.95V			135	uA
LPSDR 输出						
V_{OH}	直流输出高电压 (7) (8) (9)	I_{OH} = -2mA	0.8 x V_{DD}			V
V_{OL}	直流输出低电压 (7) (8) (9)	I_{OL} = 2mA			0.2 x V_{DD}	V
电容						
C_{IN}	输入电容 LVCMOS	F = 1MHz			10	pF
C_{IN}	输入电容 SubLVDS	F = 1MHz			20	pF
C_{OUT}	输出电容	F = 1MHz			10	pF
C_{TEMP}	温度检测二极管电容	F = 1MHz			20	pF

(1) 第 5.4 节下的器件电气特性（除非另外注明）。
(2) 所有电压值均以接地引脚 (V_{SS}) 为基准。
(3) 为了防止电流过大，电源电压差值 | V_{DDI} – V_{DD} | 必须小于指定的限值。
(4) 基于非压缩命令和数据的电源功率耗散。
(5) 为了防止电流过大，电源电压差值 | V_{BIAS} – V_{OFFSET} | 必须小于指定的限值。
(6) 运行 DMD 需要连接以下所有电源：VDD、VDDI、VOFFSET、VBIAS 和 VRESET。同时还需要所有的 VSS 连接。
(7) LPSDR 规格适用于引脚 LS_CLK 和 LS_WDATA。
(8) 低速接口是 LPSDR，遵循 JEDEC 标准第 209-2F 号“低功耗双倍数据速率 (LPDDR)”JESD209-2F 中的“电气特性和交流/直流工作条件”表中的规定。
(9) LPSDR 输出规格适用于引脚 LS_RDATA_A、LS_RDATA_B、LS_RDATA_C 和 LS_RDATA_D。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.7 开关特性

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{PD}	输出传播，时钟到 Q，LS_CLK 输入的上升沿到 LS_RDATA 输出。(1)	C_L = 15pF			15	ns
	压摆率，LS_RDATA		0.3			V/ns
	输出占空比失真，LS_RDATA		40		60	%

(1) 第 5.4 节下的器件电气特性（除非另外注明）。

5.8 时序要求

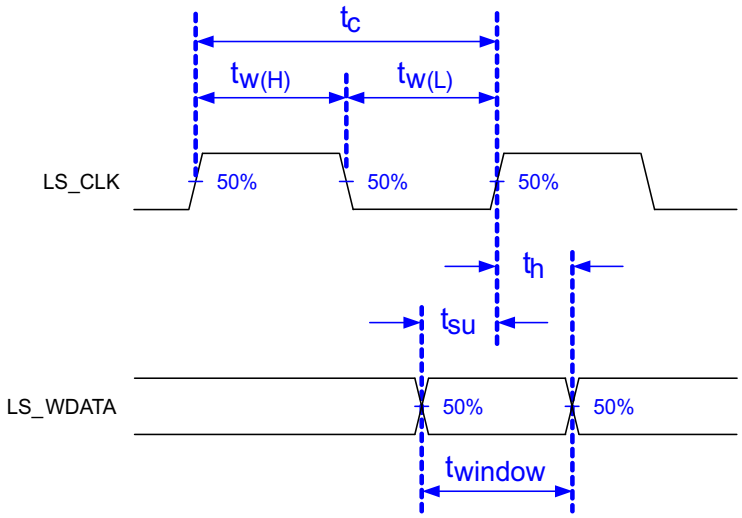
在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

			最小值	标称值	最大值	单位
LVCMOS						
LPSDR						
t_r	上升压摆率(2)	（20% 至 80%）× VDD(6)	0.25			V/ns
t_f	下降压摆率(2)	（80% 至 20%）× VDD(6)	0.25			V/ns
t_r	上升压摆率(1)	（30% 至 80%）× VDD(6)	1		3	V/ns
t_f	下降压摆率(1)	（70% 至 20%）× VDD(6)	1		3	V/ns
$t_{W(H)}$	脉冲持续时间 LS_CLK 高电平	50% 至 50% 基准点(5)	4.2			ns
$t_{W(L)}$	脉冲持续时间 LS_CLK low	50% 至 50% 基准点(5)	4.2			ns
t_{su}	建立时间	在 LS_CLK 之前 LS_WDATA 有效(5)			1.5	ns
t_h	保持时间	在 LS_CLK 之后 LS_WDATA 有效(5)			1.5	ns
SubLVDS						
t_r	上升压摆率	20% 至 80% 基准点(7)	0.7	1		V/ns
t_f	下降压摆率	80% 至 20% 基准点(7)	0.7	1		V/ns
$t_{W(H)}$	脉冲持续时间 DCLK 高电平	50% 至 50% 基准点(8)	0.7			ns
$t_{W(L)}$	脉冲持续时间 DCLK 低电平	50% 至 50% 基准点(8)	0.7			ns
t_{WINDOW}	窗口时间 (1) (3)	建立时间 + 保持时间(5)	0.25			ns
t_{su}	建立时间	HS_DATA 在 HS_CLK 之前有效 (8)			0.17	ns
t_h	保持时间	HS_DATA 在 HS_CLK 之后有效 (8)			0.17	ns
t_{POWER}	接收器上电(4)				200	ns

(1) 此规格适用于 DMD_DEN_ARSTZ 引脚。请参阅图 5-3 中的 LPSDR 输入上升和下降压摆率。
(2) 此规格适用于 LS_CLK 和 LS_WDATA 引脚。请参阅图 5-3 中的 LPSDR 输入上升和下降转换率。
(3) 窗口时间降额示例：0.5V/ns 压摆率会将窗口时间增加 0.7ns，从 3ns 增加到 3.7ns。请参阅图 5-5。
(4) 该规格仅适用于 SubLVDS 接收器时间，不考虑命令和命令后的延迟。
(5) 请参阅图 5-2。
(6) 请参阅图 5-3。
(7) 请参阅图 5-4。
(8) 请参阅图 5-6。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated



低速接口是 LPSDR，遵循 JEDEC 标准第 209-2F 号*低功耗双倍数据速率 (LPDDR)* JESD209-2F 中的“电气特性和交流/直流工作条件”表中的规定。

图 5-2. LPSDR 开关参数

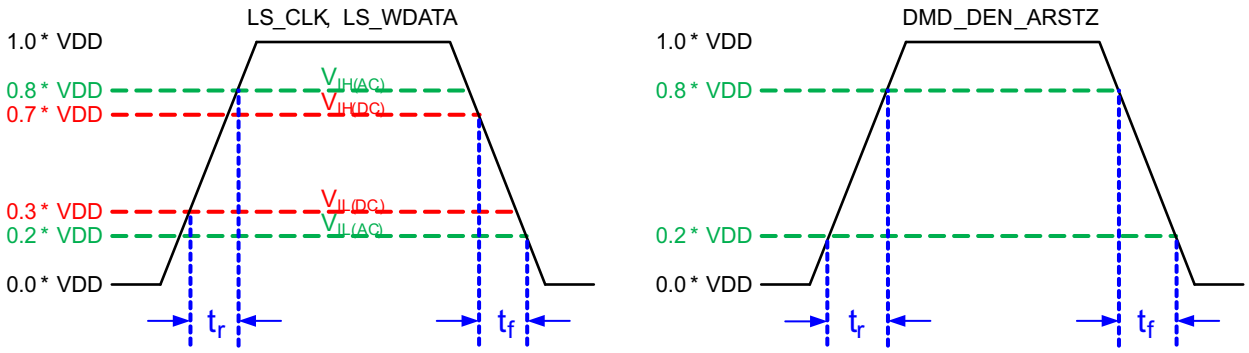


图 5-3. LPSDR 输入上升和下降压摆率

Not to Scale

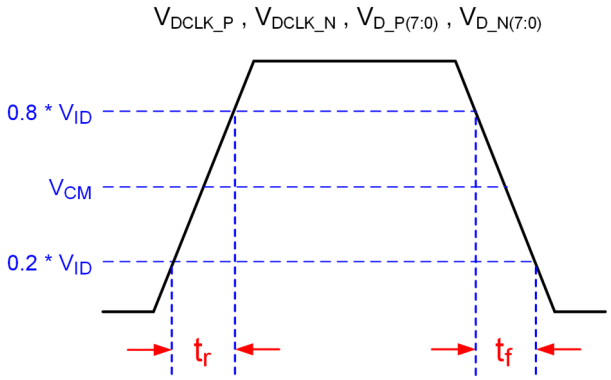


图 5-4. SubLVDS 输入上升和下降压摆率

ADVANCE INFORMATION

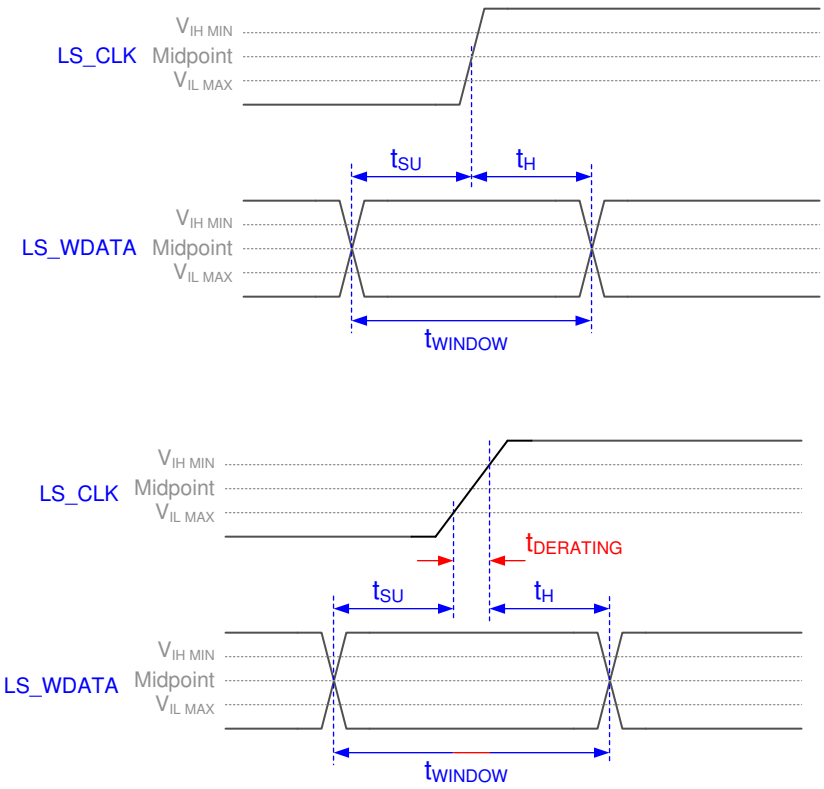


图 5-5. 窗口时间降额概念

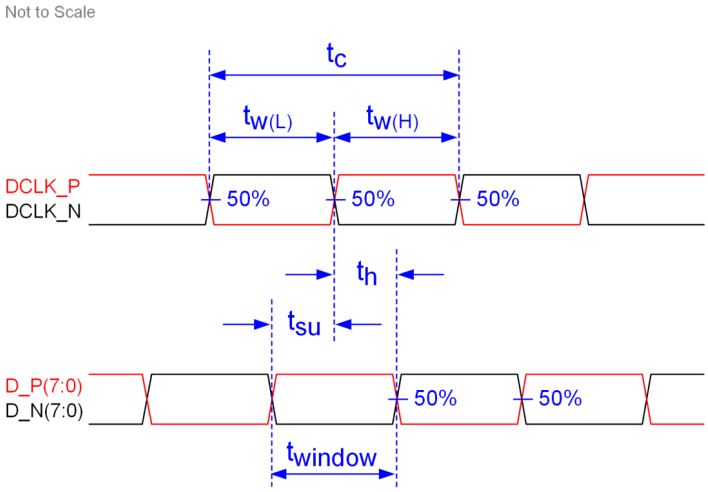
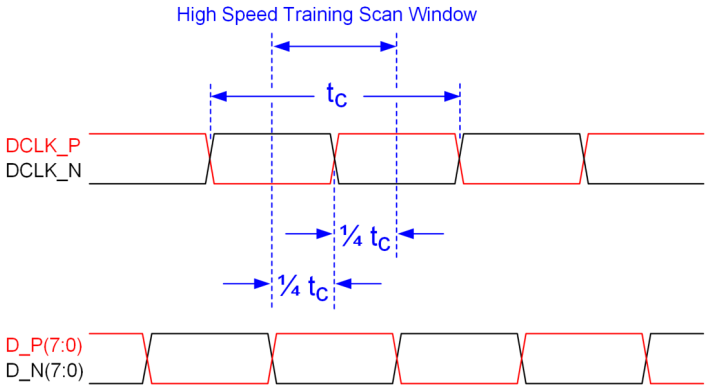


图 5-6. SubLVDS 开关参数

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated



注意：有关详细信息，请参阅节 5.8。

图 5-7. 高速训练扫描窗口

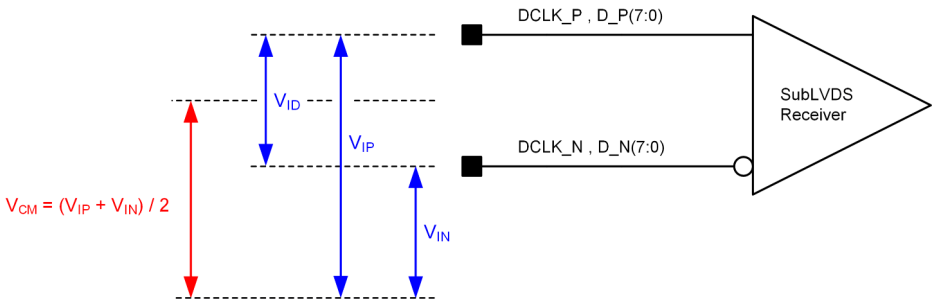


图 5-8. SubLVDS 电压参数

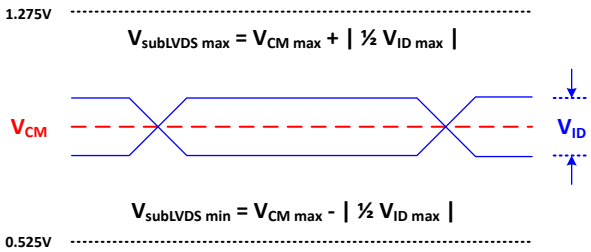


图 5-9. SubLVDS 波形参数

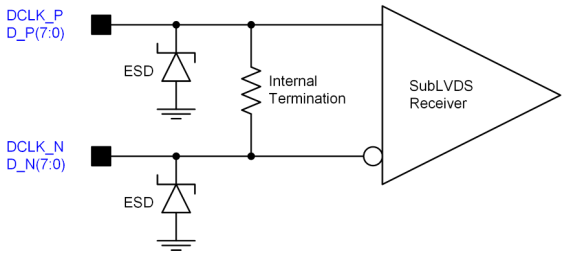


图 5-10. SubLVDS 等效输入电路

ADVANCE INFORMATION

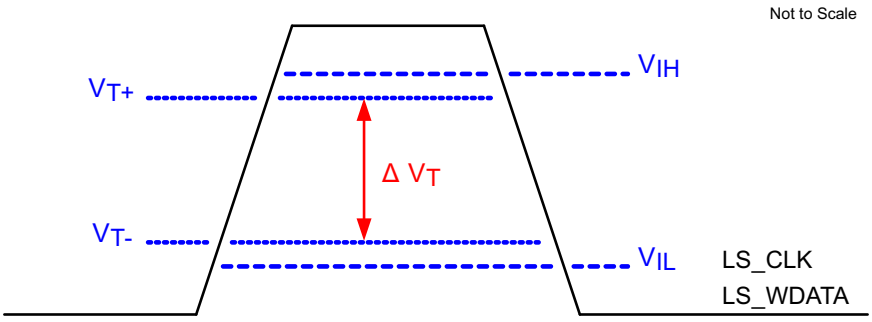


图 5-11. LPSDR 输入迟滞

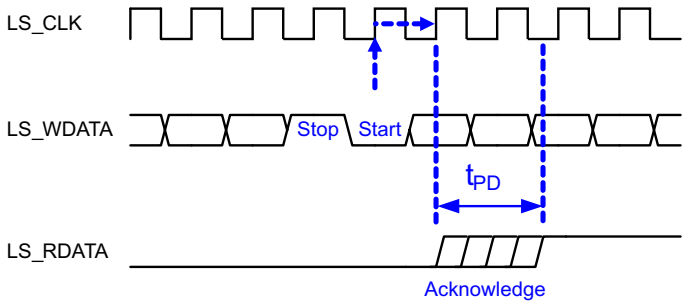
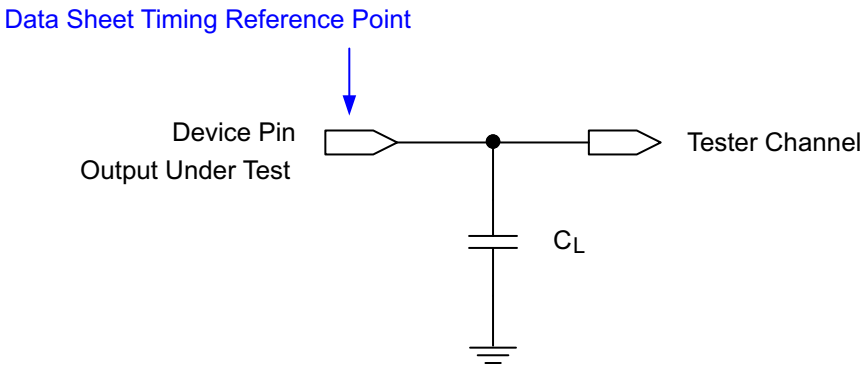


图 5-12. LPSDR 读取



有关更多信息，请参阅节 5.6。

图 5-13. 输出传播测量的测试负载电路

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.9 系统安装接口负载

参数	条件	最小值	标称值	最大值	单位
散热接口区域	每个区域内均匀分布的最大负载 (1)			50	N
电气接口区域	每个区域内均匀分布的最大负载 (1)			143	

(1) 请参阅图 5-14。

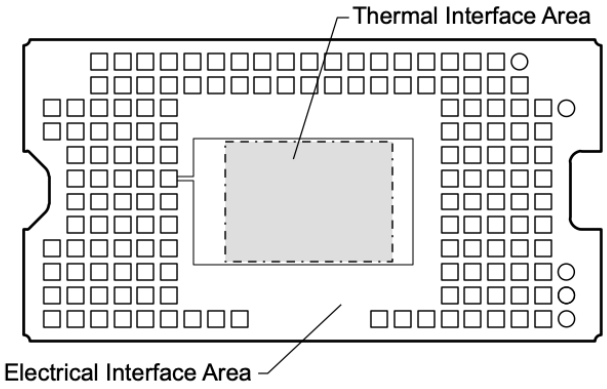


图 5-14. 系统安装接口负载

ADVANCE INFORMATION

ADVANCE INFORMATION

5.10 微镜阵列物理特性

参数说明			值	单位
M	有源列数 (1) (2)		1360	微镜
N	有源行数 (1) (2)		1536	微镜
ε	微镜间距、对角线 (1)		4.525	µm
P	微镜间距、垂直和水平 (1)		6.4	µm
	微镜有源阵列宽度(1)	(P × M) + (P / 2)	8.7072	mm
	微镜有源阵列高度(1)	(P × N) / 2 + (P / 2)	4.9184	mm
	微镜有源边框(3)	微镜池 (POM)	15	微镜数/侧

(1) 请参阅图 5-15。
(2) DMD 微镜的快速切换速度与先进的 DLP 图像处理算法相结合，使每个微镜能够在每个帧期间在屏幕上显示四个不同的像素，从而可以显示完整的 3840 x 2160 像素图像。
(3) 有源阵列周围边框的结构和质量包括一条称为*微镜池* (POM) 的部分起作用的微镜带。这些微镜在结构上和/或电气上被阻止向亮或“打开”状态倾斜，但仍需要进行电偏置以向“关闭”状态倾斜。

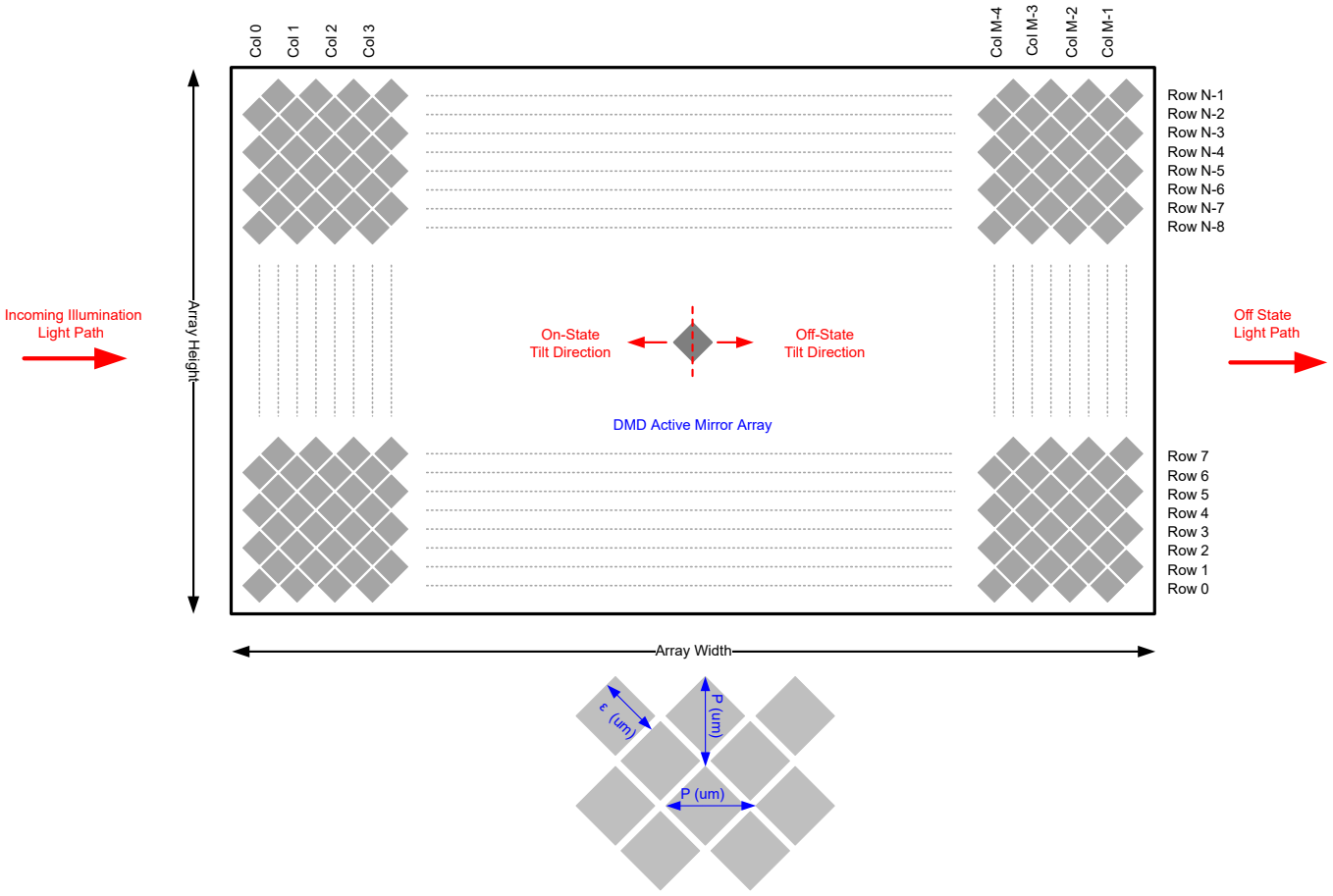


图 5-15. 微镜阵列物理特性

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.11 微镜阵列光学特性

参数		测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
微镜倾斜角		DMD 着陆状态 (1) (2) (3) (4)	13.5	14.5	15.5	度
微镜交叉时间(5)				1	3	µs
微镜开关时间(6)			6			µs
图像性能 (7)	工作区域中的亮像素 (8)	灰度 10 屏幕(9)			0	微镜
	POM 中的亮像素 (10)	灰度 10 屏幕(9)			1	
	工作区域中的暗像素 (11)	白色屏幕			4	
	相邻像素 (12)	任何屏幕			0	
	有源区域中的不稳定像素(13)	任何屏幕			0	

(1) 相对于整个微镜阵列形成的平面进行测量。
(2) 微镜阵列和封装基准之间存在额外差异。
(3) 表示位于同一器件上或位于不同器件上的任意两个单独微镜之间可能产生的变化。
(4) 对于某些应用，在整个系统光学设计中考虑微镜倾斜角的变化是至关重要的。对于某些系统光学设计，器件内的微镜倾斜角变化可能会导致从微镜阵列反射的光场出现可察觉的不均匀性。对于某些系统光学设计，器件之间的微镜倾斜角变化可能会导致色度变化、系统效率变化或系统对比度变化。
(5) 微镜标称从一个着陆状态转换到相反着陆状态所需的时间。
(6) 微镜连续转换之间的最短时间。
(7) 验收条件：使用以下投影图像测试条件评估所有 DMD 图像质量返回值：
- 测试设置去伽玛校正应该是线性的。
- 测试设置亮度、对比度应设置为标称值。
- 投影图像的对角线尺寸应至少为 20 英寸。
- 投影屏幕应具有单位增益。
- 应以至少 38 英寸的观看距离查看投影图像。
- 在所有图像质量测试期间，图像应处于焦点位置。

(8) 亮度像素定义：卡在打开位置、明显比周围像素亮的单个像素或微镜。
(9) 灰度 10 屏幕定义：屏幕的所有区域都以下列设置着色：
红色 = 10/255
绿色 = 10/255
蓝色 = 10/255
(10) POM 定义：工作区域周围处于关闭状态的微镜的矩形边框。
(11) 暗像素定义：卡在关闭位置、明显比周围像素暗的单个像素或微镜。
(12) 相邻像素定义：共享公共边界或公共点的两个或多个卡住的像素，也称为集群。
(13) 不稳定像素定义：不按加载到存储器中的参数顺序运行的单个像素或微镜。不稳定像素看起来与图像异步闪烁。

5.12 窗口特性

参数		最小值	标称值	最大值
窗口材料			Corning Eagle XG	
窗口折射率	波长 546.1 nm 处		1.5119	
窗口孔隙 (1)				
照明溢出			另请参阅第 6.5 节。	

(1) 有关窗口孔隙尺寸和位置的详细信息，请参阅机械封装 ICD。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.13 芯片组元件使用规格

DLP3944-Q1 DMD 需要与适用 DLP 芯片组的其他元件（包括那些包含或实现德州仪器 (TI) DMD 控制技术的元件）结合使用才能实现可靠运行。TI DMD 控制技术包含用于操作或控制 DLP DMD 的 TI 技术和器件。

备注

TI 对因光学系统工作条件超过上述限制而导致的图像质量伪影或 DMD 故障不承担任何责任。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6 详细说明

6.1 概述

DLP3944-Q1 数字微镜器件 (DMD) 是一款 0.39 英寸对角线空间光调制器，其中包含一个高反射铝微镜阵列。该 DMD 是一个电子输入、光学输出的微光机电系统 (MOEMS)。DMD 微镜的快速切换速度与先进的 DLP 图像处理算法相结合，使每个微镜能够在每个帧期间在屏幕上显示四个不同的像素，从而可以显示完整的 3840 × 2160 像素图像。电气接口为低压差分信号 (LVDS)。该 DMD 由 1 位 CMOS 存储单元的二维阵列组成。该阵列排列为 M 个存储单元列乘以 N 个存储单元行的网格。请参阅节 6.2。通过改变底层 CMOS 寻址电路的地址电压和微镜复位信号 (MBRST)，可以单独控制微镜的偏转（正或负）。

DLP 0.39 英寸 4K UHD 芯片组由 DLP3944-Q1 DMD、DLPC431 显示控制器以及 DLPA3085/DLPA3082 PMIC 和 LED 驱动器组成。为了确保可靠运行，DLP3944-Q1 DMD 必须始终与芯片组中指定的 DLP 显示控制器以及 PMIC 搭配使用。

6.2 功能方框图

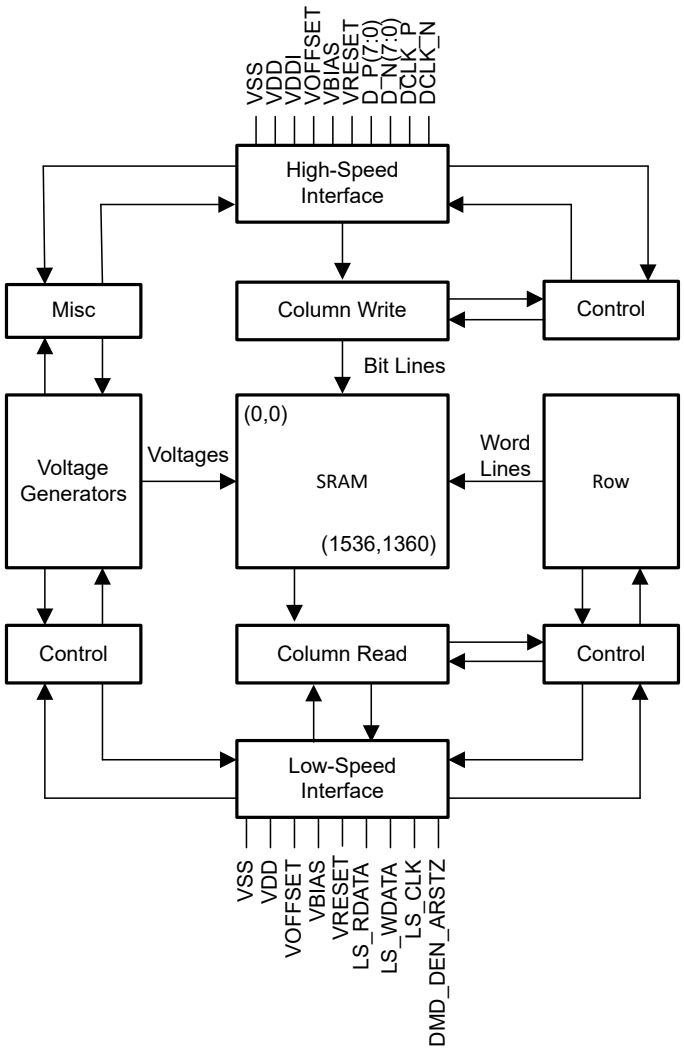


图 6-1. 功能方框图

ADVANCE INFORMATION

ADVANCE INFORMATION

6.3 特性说明

DLP3944-Q1 由二维阵列的 1 位 CMOS 存储单元组成，通过 DLPC431 的 SubLVDS 总线驱动并由 DLPA3085/DLPA3082 供电。温度检测二极管用于连续监控 DMD 阵列温度。

为了确保可靠运行，DLP3944-Q1 必须与 DLPC431 DMD 显示控制器和 DLPA3085/DLPA3082 系统管理及照明控制器搭配使用。

6.3.1 SubLVDS 数据接口

SubLVDS 信令协议旨在实现超快 DMD 数据刷新率，同时保持低功耗和低辐射。高速接口的目的是快速高效地传输像素数据，并利用高速 DDR 传输和压缩技术来节省功耗和时间。高速接口包含用于输入的差分 SubLVDS 接收器，它具有专用时钟。

通过 SubLVDS 接口，从 DLPC431 将数据加载到每个微镜下方的 SRAM 中。该接口由 16 对差动数据信号以及四个时钟对组成，通过四个独立总线 A、B、C 和 D 分别加载 SRAM 阵列的左半部分和右半部分。数据在两次切换时锁存，从而创建双倍数据速率 (DDR) 接口。SubLVDS 接口还实现了连续训练算法，以优化数据和时钟时序，从而提高接口的可靠性。

得益于高速 SubLVDS 接口，整个 210 万像素的 DMD 阵列的更新速率低于 100µs。

6.3.2 用于控制的低速接口

低速接口处理配置 DMD 和控制复位操作的指示。LS_CLK 是低速时钟，LS_WDATA 是低速数据输入。

低速接口的作用是在上电和断电过程中对 DMD 进行配置，并控制与数据加载同步的微镜复位电压电平。微镜复位电压用于控制微镜进行机械开关的时刻。低速差动接口包括两对用于写入数据和时钟的信号，以及四个单端输出信号（A、B、C 和 D）。

6.3.3 电源接口

该 DMD 需要 4 个直流电压：1.8V 电源（适用于 V_{DD} 和 V_{DDI}）、V_{OFFSET}、V_{RESET} 和 V_{BIAS}。在典型的基于 LED 的系统中，1.8V、V_{OFFSET}、V_{RESET} 和 V_{BIAS} 由 DLPA3085/DLPA3082 PMIC 和 LED 驱动器进行管理。

6.3.4 时序

此数据表提供器件引脚上的时序。在分析输出时序时，必须考虑测试仪引脚电子元件及其传输线路影响。图 5-13 展示了被测输出的等效测试负载电路。时序基准负载不能作为任何特定系统环境的精确表示，也不能描述生产测试所呈现的实际负载。系统设计人员应使用 IBIS 或其他仿真工具将时序基准负载与系统环境相关联。所述负载电容值仅用于交流时序信号的表征和测量。该负载电容值并不表示器件能够驱动的最大负载。

6.4 器件功能模式

DMD 功能模式由 DLPC431 显示控制器控制。请参阅 DLPC431 显示控制器数据表或联系 TI 应用工程师。

6.5 光学接口和系统图像质量注意事项

TI 对终端设备的光学性能不承担任何责任。要实现所需的终端设备光学性能，需要在众多元件和系统设计参数之间进行权衡。为了优化系统光学性能和图像质量，需要权衡光学系统设计参数。虽然不可能预见到每一个可以想象的应用，但投影仪图像质量和光学性能取决于是否符合以下各节中所述的光学系统工作条件。

6.5.1 数字光圈和杂散光控制

TI 建议由照明光学元件的数值孔径定义的光锥角与由投影光学元件的数值孔径定义的光锥角相同或较小。除非在照明和投影光瞳中添加了适当的孔径以阻挡来自投影透镜的平面光和杂散光，否则该角度不得超过标称器件微镜倾斜角。这种方式通常被称为“照明过驱”。DLP3944-Q1 具有与 f/2.0 数值孔径相对应的 14.5° 倾斜角。微镜倾斜角定义了 DMD 将“打开”光路与任何其他光路分开的能力，包括来自 DMD 窗口、DMD 边框结构或 DMD 附近其他系统表面（例如棱镜或透镜表面）的不良平面状态镜面反射。如果照明光学元件或投影光学元件的数值孔径角超过微镜倾斜角，则可能出现对比度下降，且显示边框或有效显示区域易产生不良伪影。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.5.2 光瞳匹配

TI 的光学和图像质量规格假定，照明光学元件的出射光瞳标称中心位于投影光学元件入射光瞳的 2° 范围内。光瞳失准会在显示边框和工作区域中产生不良伪影，这可能需要额外的系统孔隙来控制，尤其是在系统的数值孔隙超过像素倾斜角的情况下。

6.5.3 照明溢出

该器件的工作区域被 DMD 窗口表面内的孔隙包围，该孔隙遮挡了正常视图中 DMD 芯片组件的结构，并且其尺寸设计符合多种光学工作条件。照亮窗口孔隙的溢出光会因窗口孔隙开口的边缘和屏幕上可见的其他表面异常而产生伪影。将照明光学系统设计为限制入射到窗口孔隙任何位置的光通量，使其不超过工作区域中平均通量水平的约 10%。根据特定系统的光学架构，窗口孔隙上的溢出光可能必须进一步减少到建议值 10% 以下才能被接受。

6.6 微镜阵列温度计算

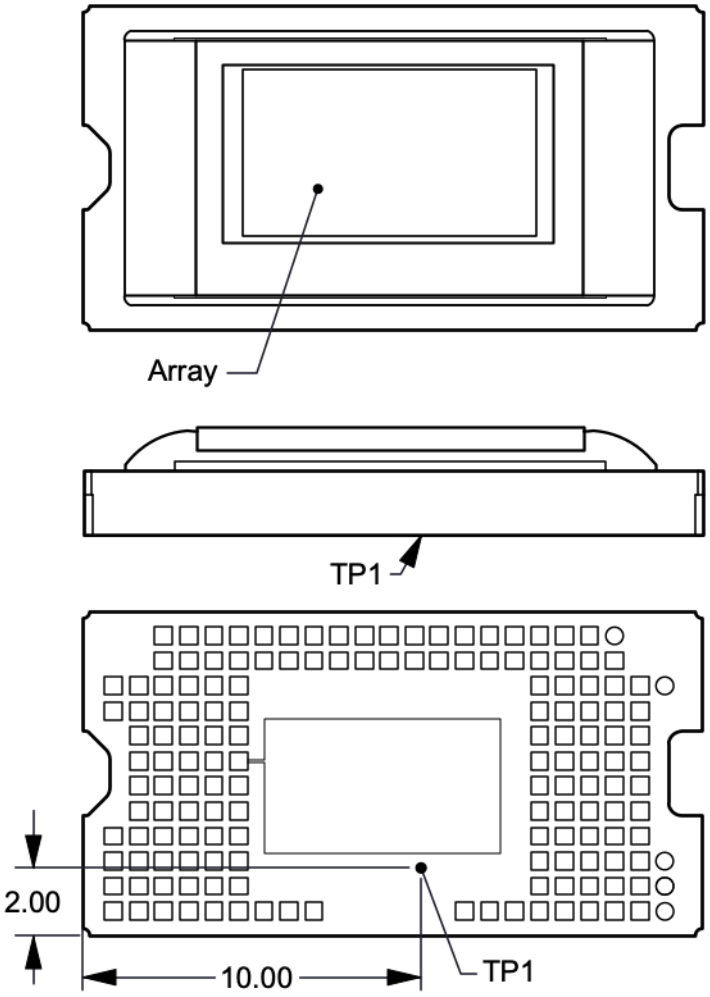


图 6-2. DMD 热测试点

有源阵列温度可以根据封装外部的热测量点、封装热阻、电功率和照明热负荷进行分析计算。以下公式展示了阵列温度与图 6-2 中的基准陶瓷温度 (TP1) 之间的关系：

$$T_{ARRAY} = T_{CERAMIC} + (Q_{ARRAY} \times R_{ARRAY\text{-}TO\text{-}CERAMIC}) \quad (1)$$

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

$$Q_{ILLUMINATION} = Q_{INCIDENT} \times \text{DMD Absorption Constant} \quad (2)$$

$$Q_{ARRAY} = Q_{ELECTRICAL} + Q_{ILLUMINATION} \quad (3)$$

其中

- T_{ARRAY} = 计算得出的阵列温度 (°C)
- $T_{CERAMIC}$ = 在图 6-2 中的 TP1 位置测得的陶瓷温度 (°C)
- $R_{ARRAY-TO-CERAMIC}$ = 阵列到热测试点 TP1 的 DMD 封装热阻 (°C/W)
- Q_{ARRAY} = DMD 阵列上的总功率（电功率 + 吸收功率）(W)
- $Q_{ELECTRICAL}$ = DMD 的额定电功率耗散 (W)
- $Q_{ILLUMINATION}$ = 吸收的照明热负荷 (W)
- $Q_{INCIDENT}$ = DMD 上的入射功率 (W)

DMD 吸收常数是有源阵列和阵列边框上的照明分布、入射角 (AOI)、系统 f 数和微镜工作状态的函数。“关闭”状态下的吸收常数高于“开启”状态下的吸收常数。针对微镜“开启”和“关闭”状态提供了用于计算吸收常数的公式。这些公式假设 AOI 为 29 度，系统光圈为 f/2.0，并考虑了光在有源阵列、POM 以及阵列边框的分布。

$$\text{DMD Absorption Constant (OFF state)} = 1.004 - 0.005235 \times (\%\ \text{of light on ActiveArray + POM}) \quad (4)$$

$$\text{DMD Absorption Constant (ON state)} = 1.004 - 0.007776 \times (\%\ \text{of light on ActiveArray + POM}) \quad (5)$$

DMD 的电功率耗散是可变的，取决于电压、数据速率和工作频率。

以下样本计算假设总入射光量的 10% 落在有源阵列和 POM 之外，并且微镜处于“关闭”状态。

1. $T_{CERAMIC}$ = 50°C (measured)
2. $Q_{INCIDENT}$ = 10W (measured)
3. DMD 吸收常数 = 1.004 – 0.005235 × 90 = 0.533
4. $Q_{ELECTRICAL}$ = 0.5 W
5. $R_{ARRAY-TO-CERAMIC}$ = 2.6°C/W
6. Q_{ARRAY} = 0.5W + (0.533 × 10W) = 5.83W
7. T_{ARRAY} = 50°C + (5.83W × 2.6°C/W) = 65.2°C

在设计 DMD 散热器解决方案时，从阵列到基准陶瓷温度的封装热阻（可使用热电偶位置 TP1 测定封装内的温升，如以下公式所示）：

$$T_{ARRAY\text{-}TO\text{-}CERAMIC} = Q_{ARRAY} \times R_{ARRAY-TO-CERAMIC} \quad (6)$$

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.6.1 使用温度检测二极管监控阵列温度

有源阵列温度可以通过温度检测二极管测量值、阵列到二极管的热阻、电功率和照明热负荷进行分析计算。以下公式提供了阵列温度与温度检测二极管之间的关系：

$$T_{ARRAY} = T_{DIODE} + (Q_{ARRAY} \times R_{ARRAY\text{-}TO\text{-}DIODE}) \quad (7)$$

$$Q_{ILLUMINATION} = (Q_{INCIDENT} \times \text{DMD Absorption Constant}) \quad (8)$$

$$Q_{ARRAY} = Q_{ELECTRICAL} + Q_{ILLUMINATION} \quad (9)$$

其中

- T_{ARRAY} = 计算得出的阵列温度 (°C)
- T_{DIODE} = 测得的温度检测二极管温度 (°C)
- $R_{ARRAY\text{-}TO\text{-}DIODE}$ = 阵列到二极管的封装热阻 (°C/W)
- Q_{ARRAY} = DMD 阵列上的总功率（电功率 + 吸收功率）(W)
  详情请参阅节 6.6。
- $Q_{ELECTRICAL}$ = DMD 的额定电功率耗散 (W)
- $Q_{ILLUMINATION}$ = 吸收的照明热负荷 (W)
- $Q_{INCIDENT}$ = DMD 上的入射功率 (W)

以下样本计算假设总入射光量的 10% 落在有源阵列和 POM 之外，并且微镜处于“关闭”状态。

1. T_{DIODE} = 55°C
2. $Q_{INCIDENT}$ = 10W (measured)
3. DMD 吸收常数 = 1.004 – 0.005235 × 90 = 0.533
4. $Q_{ELECTRICAL}$ = 0.5 W
5. $R_{ARRAY\text{-}TO\text{-}DIODE}$ = 0.1°C/W
6. Q_{ARRAY} = 0.5W + (0.533 × 10 W) = 5.83 W
7. T_{ARRAY} = 55°C + (5.83W × 0.1°C/W) = 55.6°C

6.7 微镜功率密度计算

在计算不同波长带内 DMD 上的照明光功率密度时，会使用在 DMD 上测量的总光功率、照明溢出百分比、有源阵列面积以及所需波长带内的光谱与总光谱光功率的比率。

$$ILL_{UV} = [OP_{UV\text{-}RATIO} \times Q_{INCIDENT}] \times 1000mW/W \div A_{ILL}\ (mW/cm^2) \quad (10)$$

$$A_{ILL} = A_{ARRAY} \div (1 - OV_{ILL})\ (cm^2) \quad (11)$$

其中：

- ILL_{UV} = DMD 上的 UV 照明功率密度 (mW/cm^2)
- A_{ILL} = DMD 上的照明面积 (cm^2)
- $Q_{INCIDENT}$ = DMD 上的总入射光功率 (W)（测量值）
- A_{ARRAY} = 阵列面积 (cm^2)（数据表）
- OV_{ILL} = 阵列外部 DMD 上总照度的百分比 (%)（光学模型）
- $OP_{UV\text{-}RATIO}$ = 波长 <410nm 的光功率与照明光谱中总光功率的比率（光谱测量）

照明面积因照明溢出而异。DMD 上的总照明面积包括阵列面积和阵列周围的溢出面积。光学模型用于确定阵列外部 DMD 上总照度的百分比 (OV_{ILL}) 和有源阵列上总照度的百分比。根据这些值计算出照明面积 (A_{ILL})。假设整个阵列上的照明是均匀的。

根据测量到的照明光谱，计算出相关波长带内的光功率与总光功率的比率。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

计算示例：

$Q_{INCIDENT}$ = 12.1W (measured)

A_{ARRAY} = ((8.7072mm × 4.9184mm) ÷ 100mm^2/cm^2) = 0.4283cm^2 (data sheet)

OV_{ILL} = 16.3% (optical model)

$OP_{UV\text{-}RATIO}$ = 0.00021 (spectral measurement)

A_{ILL} = 0.4283cm^2 ÷ (1 - 0.163) = 0.5117cm^2

ILL_{UV} = [0.00021 × 12.1W] × 1000mW/W ÷ 0.5117cm^2 = 4.966mW/cm^2

6.8 窗口孔隙照明溢出计算

窗口孔隙关键区域的光学溢出量无法直接测量。对于在阵列上有均匀照明的系统，应使用在 DMD 上测得的总入射光功率以及 DMD 上指定关键区域的总光功率比值来确定光学溢出量。应使用光学模型来确定窗口孔隙关键区域的光功率百分比，并估算该区域的大小。

- $Q_{AP\text{-}ILL}$ = [$Q_{INCIDENT}$ × $OP_{AP_ILL_RATIO}$] ÷ A_{AP_ILL} (W/cm^2)

其中：

- $Q_{AP\text{-}ILL}$ = 窗口孔隙照明溢出 (W/cm^2)
- $Q_{INCIDENT}$ = DMD 上的总入射光功率（瓦）（测量值）
- $OP_{AP_ILL_RATIO}$ = 窗口孔隙关键区域的光功率与 DMD 上的总光功率之比（光学模型）
- $A_{AP\text{-}ILL}$ = 窗口孔隙关键区域的大小 (cm^2)（数据表）
- OP_{CA_RATIO} = 入射光功率占窗口孔隙关键区域的百分比 (%)（光学模型）

计算示例：

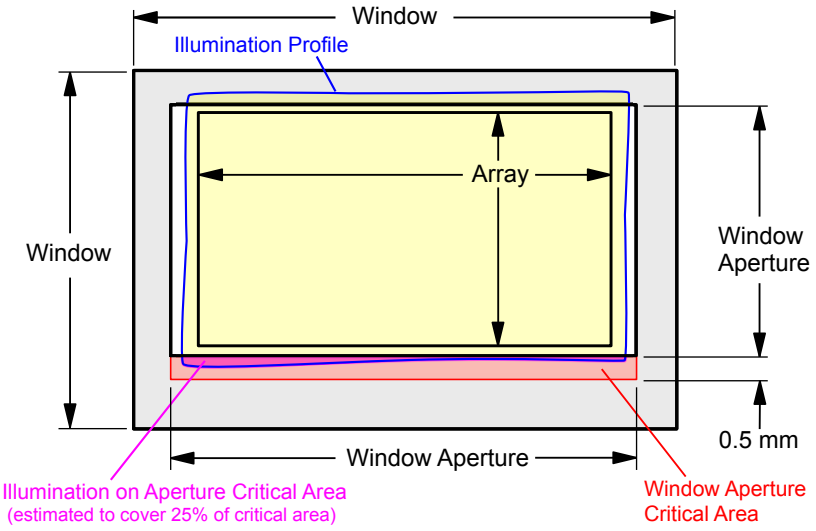


图 6-3. 窗口孔隙溢出示例

请参阅上图中的关键孔隙长度。

$Q_{INCIDENT}$ = 12.1W (measured) (12)

$OP_{AP_ILL_RATIO}$ = 0.312% (optical model) (13)

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

ADVANCE INFORMATION

OV_{CA_RATIO} = 25% (optical model) (14)

Length of the window aperture for critical area = 0.9802cm (data sheet) (15)

Width of critical area = 0.050 cm (data sheet) (16)

A_{AP-ILL} = 0.9802cm × 0.050 cm = 0.04901cm^2 (17)

Q_{AP-ILL} = (12.1W × 0.00312) ÷ (0.04901cm^2 × 0.25) = 3.08W/cm^2 (W/cm^2) (18)

6.9 微镜着陆打开/着陆关闭占空比

6.9.1 微镜着陆开/着陆关占空比的定义

微镜着陆开/着陆关占空比（着陆占空比）表示单个微镜着陆于打开状态的时长（百分比）与同一微镜着陆于关闭状态的时长之比。

例如，90/10 的着陆占空比表示基准像素在 90% 的时间内处于打开状态（在 10% 的时间内处于关闭状态）；而 10/90 表示像素在 90% 的时间内处于关闭状态。同样，50/50 表示像素在 50% 的时间内处于打开状态（在 50% 的时间内处于关闭状态）。

请注意，在评估着陆占空比时，从一种状态（打开或关闭）切换到另一种状态（关闭或打开）所花费的时间被认为可以忽略不计，因此被忽略。

由于微镜只能以一种状态或另一种状态（打开或关闭）着陆，因此两个数字（百分比）的总和始终为 100。

7 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

7.1 应用信息

DMD 是空间光调制器，可将来自光源的入射光反射到两个方向之一，主要方向是进入投影光学元件或收集光学元件。每个应用主要源自系统的光学架构和进入 DLPC431 控制器的数据格式。侧向照明 DMD 中的高倾斜度像素可提高亮度性能，并为厚度受限的应用实现更小的系统尺寸。使用 DLP3944-Q1 的典型应用包括后座娱乐系统和挡风玻璃显示系统等汽车应用。

DMD 上电和断电时序由 DLPA3085/DLPA3082 严格控制。如需了解上电和断电规格，请参阅节 8。为了确保可靠运行，DLP3944-Q1 DMD 必须始终与 DLPC431 控制器和 DLPA3085/DLPA3082 PMIC 配合使用。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

ADVANCE INFORMATION

7.2 典型应用

该芯片组由三个元件组成：DLP3944-Q1 汽车 DMD、DLPC431 和 DLPA3085/DLPA3082。DMD 是一种由微小反射镜组成的光调制器，用于生成并投射图像。DLPC431 是 DMD 的控制器；它会设定输入视频的格式，并控制 DMD 光源与 DMD 本身的时序，以显示输入视频。DLPA3085/DLPA3082 是用于 DMD 的高性能电压稳压器，用于 LED 或激光等光源的控制器，以及用于整个芯片组的管理 IC。结合使用时，DLPC431 和 DLPA3085/DLPA3082 可提供系统级监控、诊断和故障检测功能。图 7-1 是系统级方框图，展示了这些器件在 DLP 后座娱乐系统 配置中的应用，并显示了各器件的主要特性与功能。

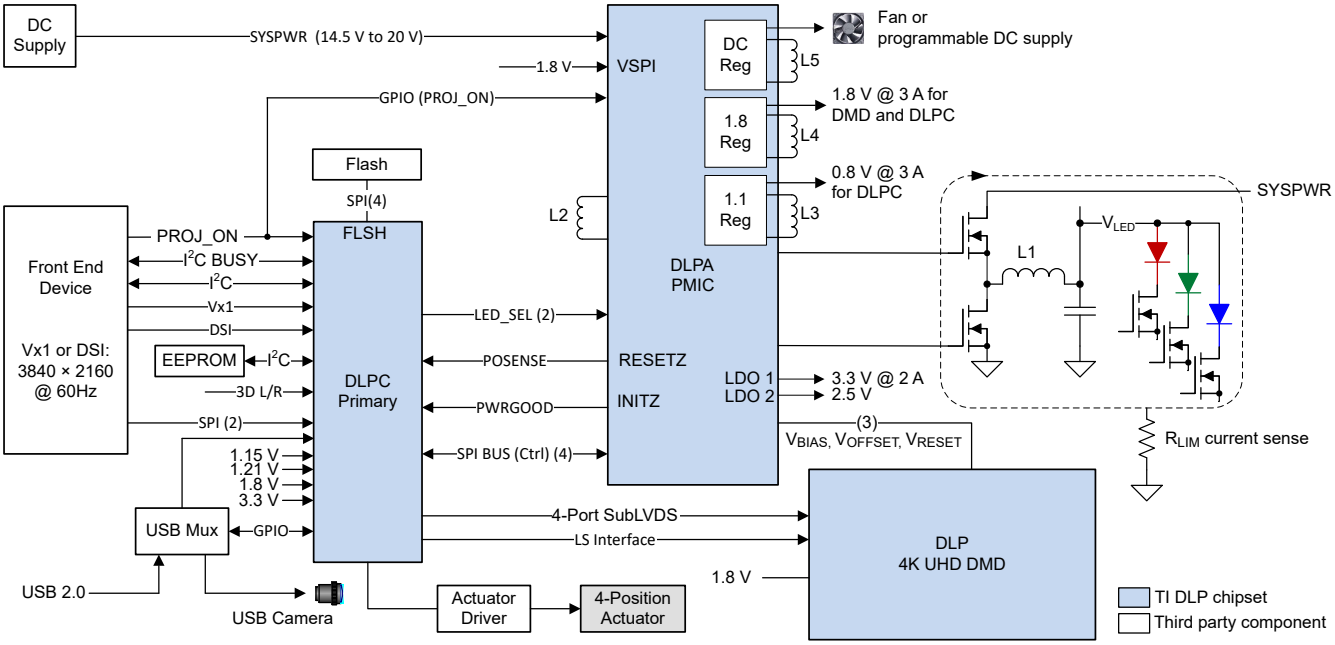


图 7-1. 后座娱乐系统 系统方框图

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

7.2.1 应用概述

图 7-1 展示了 DLP 模块的系统方框图。该系统使用 DLPC431、DLPA3085/DLPA3082 和 DLP3944-Q1 汽车 DMD。DLPC431 和 DLPA3085/DLPA3082 组合使用时，无需外部 SDRAM 和专用微处理器。该芯片组管理 LED 源照明控制、电源时序功能和系统管理功能。此外，该芯片组还支持许多系统诊断和内置的自检 (BIST) 功能。

DLPC431 是 DMD 和 DLP 模块中的光源的控制器。它接收来自主机的输入视频并同步 DMD 和光源时序，以获得所需的视频。DLPC431 会为 DMD 上显示的输入视频数据设置格式。它将这些视频片段与光源时序同步，从而创建具有灰度阴影和多种颜色（如适用）的视频。

DLPC431 接收来自车辆主机处理器的输入。主机提供命令和输入视频数据。主机命令可以通过 I2C 总线或 SPI 总线发送。未用于主机命令的总线可作为只读总线，用于诊断目的。输入视频可以通过 发送。V-by-One HS 接口。SPI 闪存存储器为 DLPC431 的 ARM 内核、所有校准数据和默认设置提供嵌入式软件。

DLPC431 的输出包括向 DLPA3085/DLPA3082 发出的配置和监控命令、对 LED 或激光驱动器的时序控制、向 DMD 发出的控制和数据信号，以及向主机处理器提供的监控和诊断信息。控制信号通过 SubLVDS 接口发送到 DMD。

DLPA3085/DLPA3082 的电源时序和监控块会正确为 DMD 上电，提供精确的 DMD 电压轨（–14V、10V 和 18V），然后在运行期间监控系统的电源轨。将这些功能集成到一个 IC 中，可显著缩短设计时间并降低设计复杂性。

DMD 是一款微机电系统 (MEMS) 器件，可接收电信号作为输入（视频数据），并产生机械输出（微镜位置）。DMD 的电气接口是一个与 DLPC431 连接的 SubLVDS 接口。机械输出是 DMD 阵列中超过 210 万个微镜的状态，这些微镜可以倾斜 ±14.5°。在投影系统中，这些微镜用作像素来显示图像。

7.2.2 参考设计

如需了解如何将 DLP3944-Q1 DMD、DLPC431 控制器和 DLPA3085/DLPA3082 连接在一起，请联系 TI 应用团队，获取有关 DLP3944-Q1 评估模块 (EVM) 的更多信息。TI 提供光学机械参考设计；如需更多信息，请通过 TI E2E™ 设计支持论坛联系 TI。

7.2.3 应用任务剖面注意事项

预计每个应用在不同温度下的任务特性或工作时间会有所不同。为了帮助评估，将来可能会提供应用报告。如需更多信息，请通过 TI E2E™ 设计支持论坛联系 TI。

7.2.4 设计要求

显示系统的其他核心元件包括光源、照明和投影光学元件的光学引擎、其他电气元件和机械部件以及软件。使用的照明类型和所需的亮度会对整个系统设计和尺寸产生重大影响。

显示系统使用 DLP3944-Q1 作为核心成像器件，并包含一个 0.39 英寸微镜阵列。DLPC431 控制器是 DMD 与系统其余部分之间的数字接口，从前端接收器获取数字输入，并通过高速接口驱动 DMD。DLPA3085/DLPA3082 PMIC 用作 DMD、控制器和 LED 照明功能的电压稳压器。

7.2.5 详细设计过程

对于完整的 DLP 系统，需要包含 DLP3944-Q1 DMD、相关光源、光学元件和必要机械部件的光学模块或光引擎。

为了确保可靠运行，DMD 必须始终与 DLPC431 显示控制器和 DLPA3085/DLPA3082 PMIC 驱动器配合使用。

7.3 温度检测

软件应用程序具有用于配置 TMP411A-Q1 以读取 DLP3944-Q1 DMD 温度传感器二极管数据的功能。可以使用这些数据在整体系统设计中整合额外的功能，例如调节照明、风扇速度等。TMP411A-Q1 与 DLPC431 控制器之间的所有通信均通过 I^2C 接口进行。TMP411A-Q1 通过节 4 中列出的引脚连接至 DMD。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

7.3.1 温度检测二极管

DMD 包含一个温度检测二极管，旨在与 TMP411-Q1 温度监控器件搭配使用。DLPC431 通过 TMP411A-Q1 监控温度检测二极管。可以根据 DMD 阵列温度调整 DMD 时序的 DLPC431 运行，因此，该连接对于确保 DMD 可靠运行至关重要。

图 7-2 显示了 DLPC431、TMP411A-Q1 和 DMD 之间的典型连接。

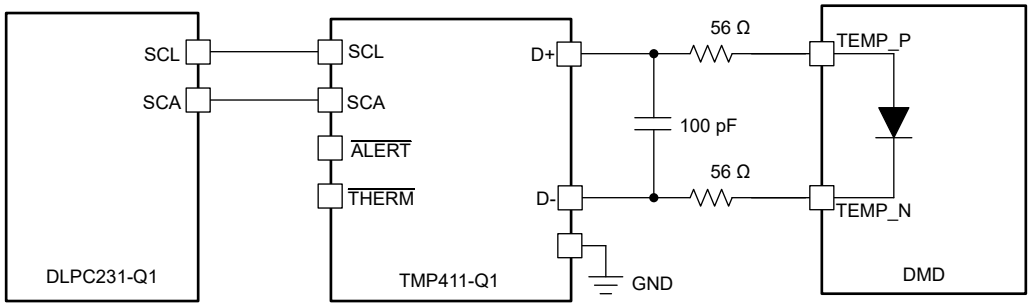


图 7-2. 温度检测二极管典型电路配置

7.3.1.1 温度检测二极管理论

温度检测二极管基于晶体管的基本电流和温度特性。通过将晶体管基极连接到集电极来形成二极管。三种不同的已知电流流过二极管，导致在每种情况下测量二极管的电压。它们的基极-发射极电压差与晶体管的绝对温度成正比。

有关温度二极管理论和测量的详细信息，请参阅 TMP411A-Q1 数据表。图 7-3 和图 7-4 说明了流经二极管的电流和电压之间的关系。

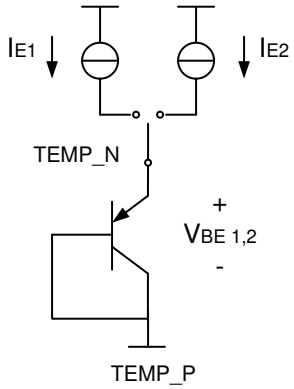


图 7-3. 温度测量理论

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

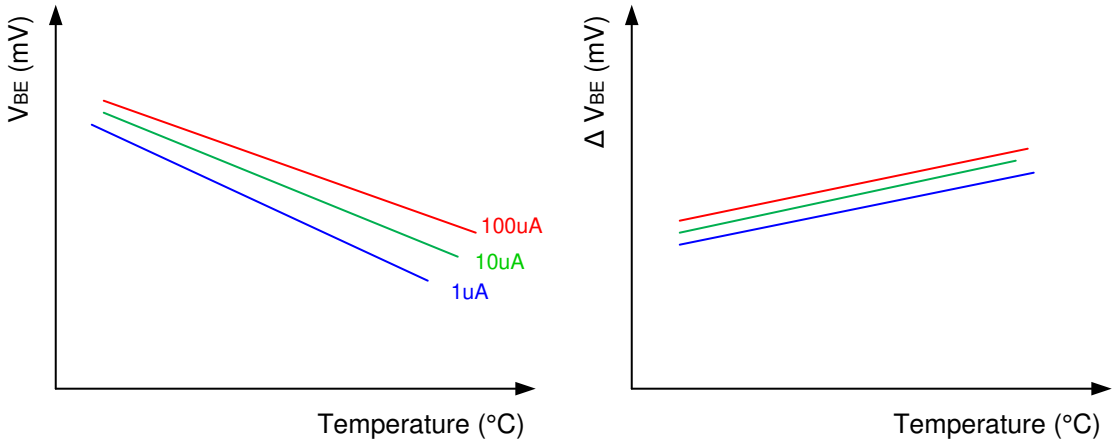


图 7-4. Δ VBE 与温度间的关系示例

ADVANCE INFORMATION

ADVANCE INFORMATION

8 电源相关建议

运行 DMD 需要以下所有电源：

- V_{SS}
- V_{BIAS}
- V_{DD}
- V_{DDI}
- V_{OFFSET}
- V_{RESET}

DMD 上电和断电时序由 DLP 显示控制器严格控制。

小心

为了确保 DMD 可靠运行，必须遵循以下电源时序要求。如果不遵循规定的上电和断电要求，则可能会影响器件的可靠性。请参阅 DMD 电源要求中的 DMD 电源时序要求。

在上电和断电操作期间，V_{BIAS}、V_{DD}、V_{DDI}、V_{OFFSET} 和 V_{RESET} 电源必须进行协调。如果未满足以下任何要求，则会导致 DMD 的可靠性和寿命显著降低。另外还必须连接公共接地 V_{SS}。

表 8-1. DMD 电源时序要求

符号	参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
t_{DELAY1} (1)	上电延迟要求	自 V_{OFFSET} 稳定至建议工作电压到 V_{BIAS} 和 V_{RESET} 上电。	2			ms
t_{DELAY3} (1)	断电延迟要求	V_{OFFSET}、V_{BIAS} 和 V_{RESET} 断电后 V_{DD} 必须保持高电平的延迟	50			us
V_{OFFSET}	电源电压电平	在上电序列延迟开始时			6	V
V_{BIAS}	电源电压电平	在上电序列延迟结束时			6	V

(1) 请参阅 DMD 电源要求。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8.1 DMD 电源上电过程

- 在上电期间，V_{DD} 和 V_{DDI} 必须始终在 DMD 上施加 V_{OFFSET}（加上 t_{DELAY1}）、V_{BIAS} 和 V_{RESET} 电压之前启动并稳定。
- 在上电期间，严格要求 V_{BIAS} 和 V_{OFFSET} 之间的电压差值必须处于建议运行条件中所示的指定限值范围内。
- 在上电期间，针对 V_{RESET} 相对于 V_{BIAS} 的时序没有要求。
- 上电期间的电源转换率非常灵活，前提是瞬态电压电平符合绝对最大额定值、建议运行条件和 DMD 电源要求中指定的要求。
- 上电期间，只有在 V_{DD} 稳定至建议运行条件 中列出的工作电压后，LVCMOS 输入引脚才能被驱动为高电平。

8.2 DMD 电源断电过程

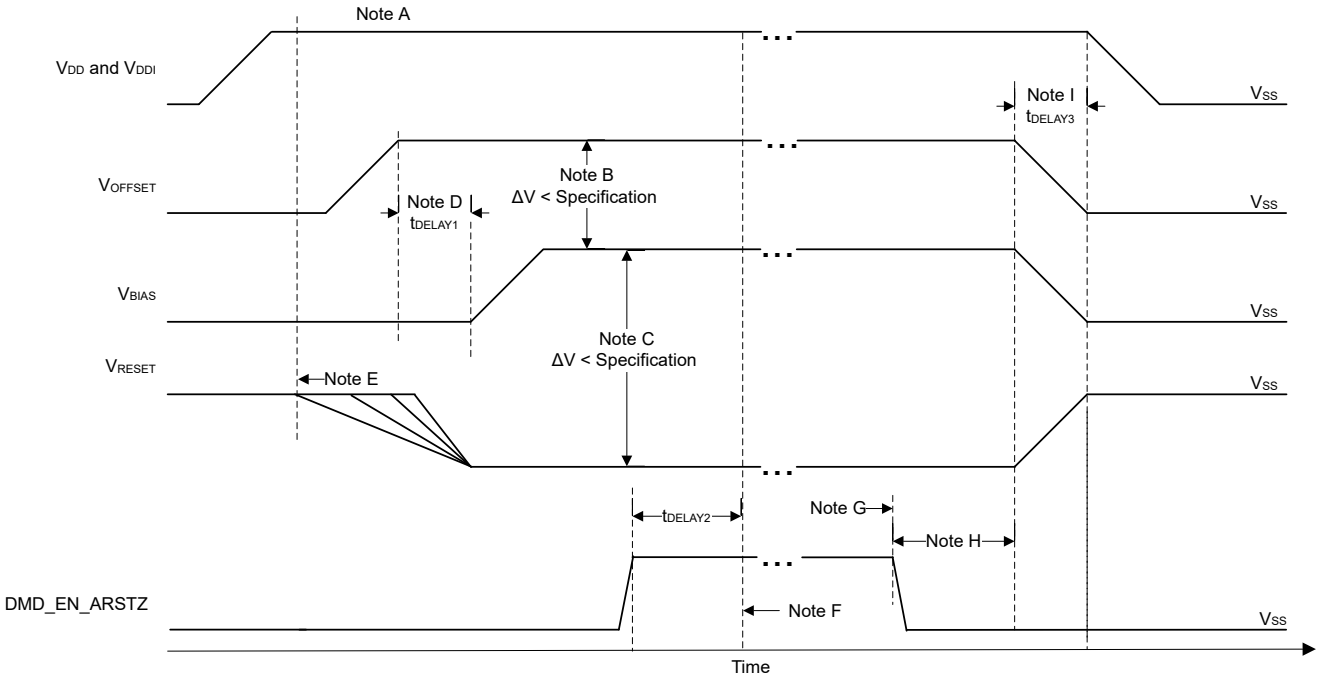
- 在断电期间，必须提供 V_{DD} 和 V_{DDI}，直到 V_{BIAS}、V_{RESET} 和 V_{OFFSET} 放电至指定的接地限制范围内。
- 在断电期间，严格要求 V_{BIAS} 和 V_{OFFSET} 之间的电压差值必须处于建议运行条件 中所示的指定限值范围内。
- 在断电期间，针对 V_{RESET} 相对于 V_{BIAS} 的时序没有要求。
- 断电期间的电源转换率非常灵活，前提是瞬态电压电平符合绝对最大额定值、建议运行条件和 DMD 电源要求中指定的要求。
- 在断电期间，LVCMOS 输入引脚电压必须小于建议运行条件 中指定的值。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

ADVANCE INFORMATION

8.3 DMD 电源时序要求



A. 请参阅 *“引脚功能”表* 中的引脚配置和功能。
B. 为了防止电流过大，电源电压差值 $|V_{OFFSET} - V_{BIAS}|$ 必须小于建议运行条件 中指定的限值。
C. 为了防止电流过大，电源电压差值 $|V_{BIAS} - V_{RESET}|$ 必须小于建议运行条件 中指定的限值。
D. 根据 t_{DELAY1} 规范，V_{BIAS} 应该在 V_{OFFSET} 上电后上电。
E. DLP 控制器软件启动全局 V_{BIAS} 命令。
F. DMD 微镜停放序列完成后，DLP 控制器软件启动硬件断电，从而激活 DMD_EN_ARSTZ 并禁用 V_{BIAS}、V_{RESET} 和 V_{OFFSET}。
G. 在断电情况下，DLP 控制器硬件执行紧急 DMD 微镜停放程序，DMD_EN_ARSTZ 变为低电平。
H. 根据 t_{DELAY3} 规格，V_{DD} 必须保持高电平，直到 V_{OFFSET}、V_{BIAS} 和 V_{RESET} 变为低电平。
I. 为了防止电流过大，电源电压差值 $|V_{DDI} - V_{DD}|$ 必须小于建议运行条件 中指定的限值。

图 8-1. DMD 电源要求

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

9 布局

9.1 布局指南

有关特定 PCB 布局和布线指南，请参阅 DLPC431 和 DLPA3085/DLPA3082 数据表。对于特定 DMD PCB 指南，请使用以下内容：

- 匹配 LS_WDATA 和 LS_CLK 信号的长度。
- 尽可能减少过孔、层变更和用于 HS 总线信号的转数。
- 最少两个 220nF 去耦电容器，靠近 V_{BIAS}。
- 最少两个 220nF 去耦电容器，靠近 V_{RESET}。
- 最少三个 4.7 µ F 去耦电容器，靠近 V_{OFFSET}。
- 最少四个 100nF 去耦电容器，靠近 V_{DDI} 和 V_{DD}。
- 温度二极管引脚：DMD 有一个内部二极管（PN 结），旨在与外部 TI TMP411A-Q1 温度检测 IC 配合使用。从 DMD 温度二极管引脚到 TMP411A-Q1 的 PCB 布线对噪声敏感。请参阅 *“TMP411 具有 N 因数和串联电阻校正的 ±1°C 远程和本地温度传感器”数据表*，获取具体布线建议。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

10 器件和文档支持

10.1 第三方产品免责声明

TI 发布的与第三方产品或服务有关的信息，不能构成与此类产品或服务或保修的适用性有关的认可，不能构成此类产品或服务单独或与任何 TI 产品或服务一起的表示或认可。

10.2 器件支持

10.2.1 器件命名规则

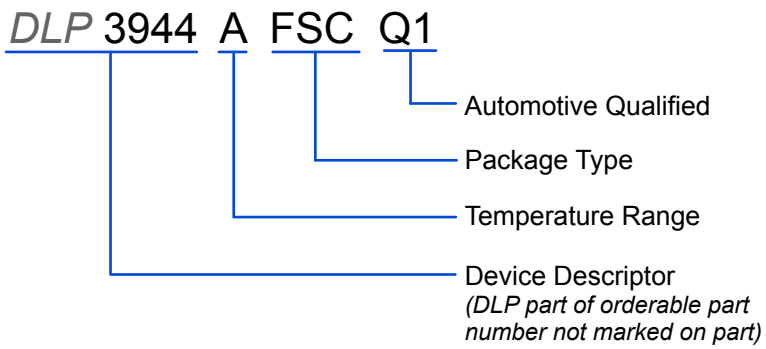


图 10-1. 器件型号说明

10.2.2 器件标识

器件标识包括人类可读的信息和二维矩阵码。图 10-2 说明了可供人类读取的信息，其中包括 GHJJJJK 3944AFSCQ1 这一清晰可辨的字符串。GHJJJJK 是批次追踪代码，3944AFSCQ1 是器件标识。

示例： GHJJJJK 3944AFSCQ1

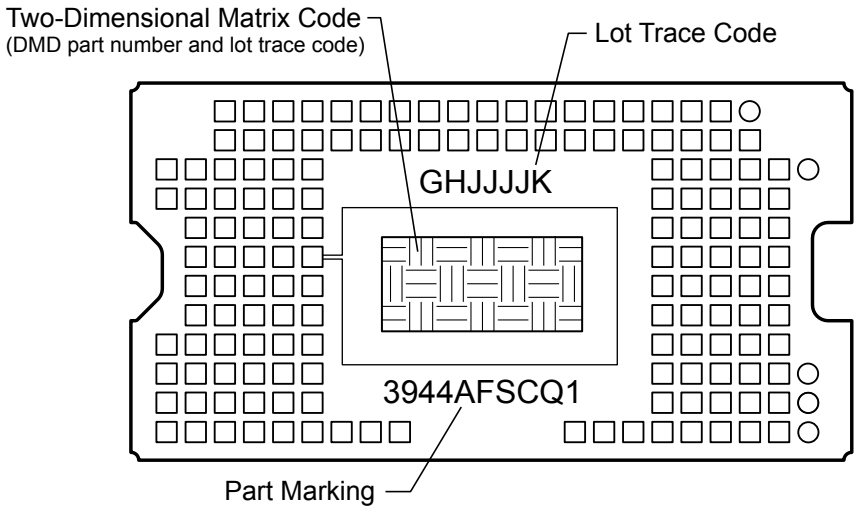


图 10-2. DMD 标识位置

10.3 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的使用条款。

10.4 商标

TI E2E™ is a trademark 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。

10.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

10.6 术语表

TI 术语表　　本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

日期	修订版本	注释
December 2025	*	初始发行版

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

12 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

ADVANCE INFORMATION

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
XDLP3944AFSCQ1	Active	Preproduction	CLGA (FSC) | 154	96 | JEDEC TRAY (5+1)	-	Call TI	Call TI	-40 to 105	

(1) Status: For more details on status, see our product life cycle.

(2) Material type: When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) RoHS values: Yes, No, RoHS Exempt. See the TI RoHS Statement for additional information and value definition.

(4) Lead finish/Ball material: Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) MSL rating/Peak reflow: The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) Part marking: There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

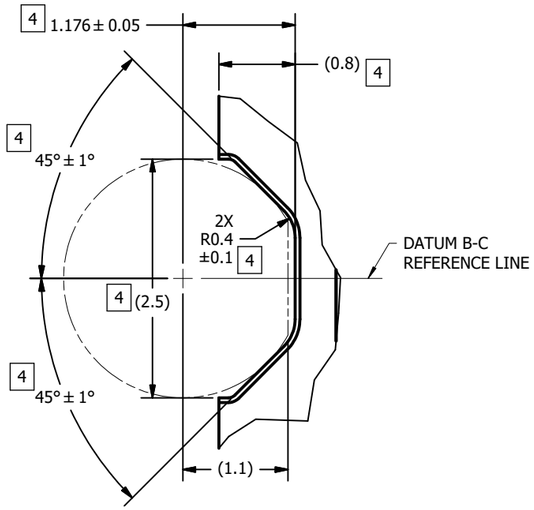
© COPYRIGHT 2025 TEXAS INSTRUMENTS
UN-PUBLISHED, ALL RIGHTS RESERVED.

REVISIONS

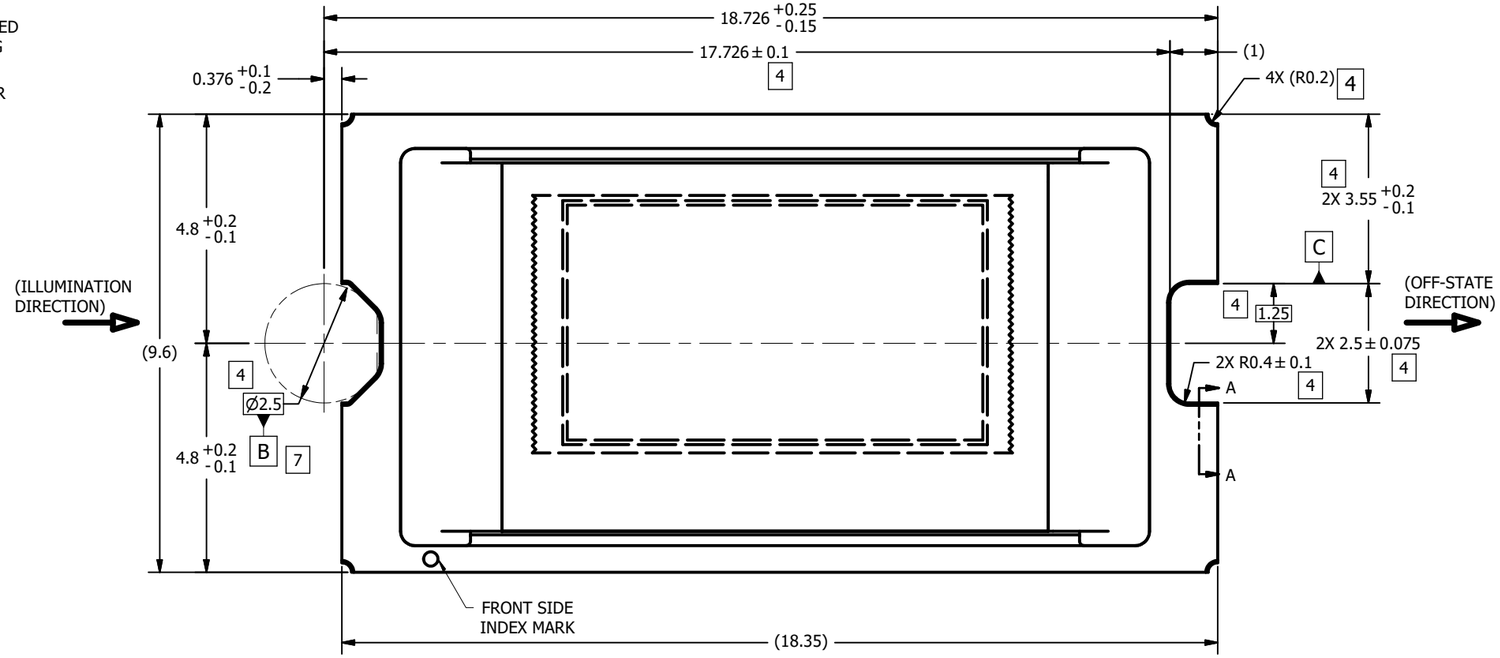
REV	DESCRIPTION	DATE	BY
A	ECO 2212373: INITIAL RELEASE	3/25/2025	JER

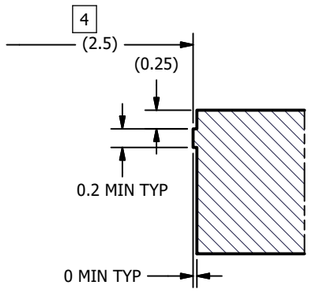
NOTES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:

1. DIE PARALLELISM TOLERANCE APPLIES TO DMD ACTIVE ARRAY ONLY.
2. ROTATION ANGLE OF DMD ACTIVE ARRAY IS A REFINEMENT OF THE LOCATION TOLERANCE AND HAS A MAXIMUM ALLOWED VALUE OF 0.6 DEGREES.
3. BOUNDARY MIRRORS SURROUNDING THE DMD ACTIVE ARRAY.
4. NOTCH DIMENSIONS ARE DEFINED BY SECOND LAYER OF CERAMIC, AS SHOWN IN SECTION A-A.
5. ENCAPSULANT TO BE CONTAINED WITHIN DIMENSIONS SHOWN IN VIEW D (SHEET 3). NO ENCAPSULANT IS ALLOWED ON TOP OF THE WINDOW.
6. ENCAPSULANT NOT TO EXCEED THE HEIGHT OF THE WINDOW.
7. SEE DETAIL B FOR "V-NOTCH" DIMENSIONS.
8. WHILE ONLY THE THREE DATUM A TARGET AREAS A1, A2, AND A3 ARE USED FOR MEASUREMENT, ALL 4 CORNERS SHOULD BE CONTACTED, INCLUDING E1, TO SUPPORT MECHANICAL LOADS.
9. SHORTING TEST PADS AND SYMBOLIZATION PAD TO EACH OTHER AND/OR TO VSS IS ACCEPTABLE.

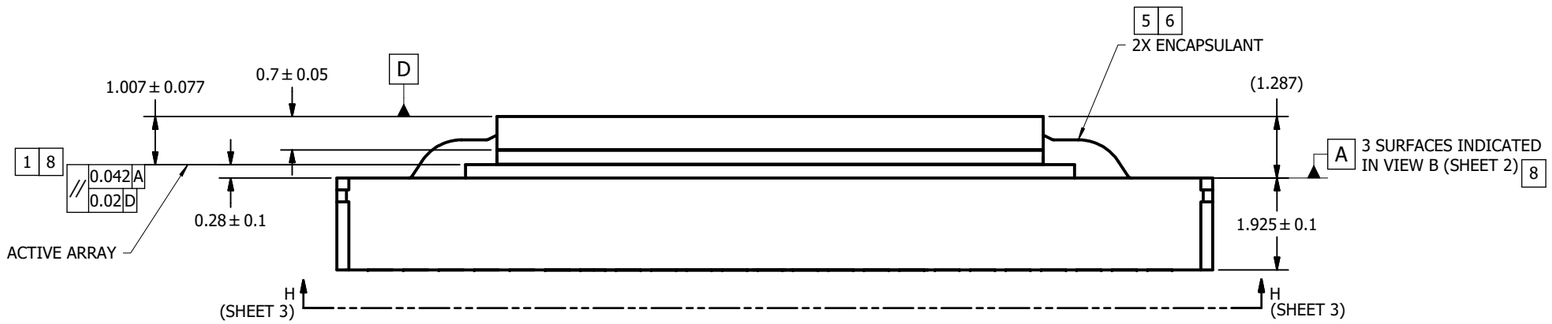


DETAIL B
V-NOTCH
SCALE 32 : 1





SECTION A-A
NOTCH OFFSETS
SCALE 25 : 1
(ROTATED 90°)



	0314DA
NEXT ASSY	USED ON
APPLICATION	

THIRD ANGLE PROJECTION

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
- DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
- TOLERANCES:
  - ANGLES ± 1°
  - 2 PLACE DECIMALS ± 0.25
  - 1 PLACE DECIMALS ± 0.50
- ~~DIMENSIONAL LIMITS APPLY BEFORE PROCESSES~~
- INTERPRET DIMENSIONS IN ACCORDANCE WITH ASME Y14.5M-1994
- ~~REMOVE ALL BURRS AND SHARP EDGES~~
- PARENTHETICAL INFORMATION FOR REFERENCE ONLY

		DATE
DRAWN	J. RANGEL	3/5/2025
ENGINEER	J. RANGEL	3/21/2025
QA/CE	P. KONRAD	3/24/2025
CM	J. McKINLEY	3/24/2025
APPROVED	P. BOWLING	3/25/2025

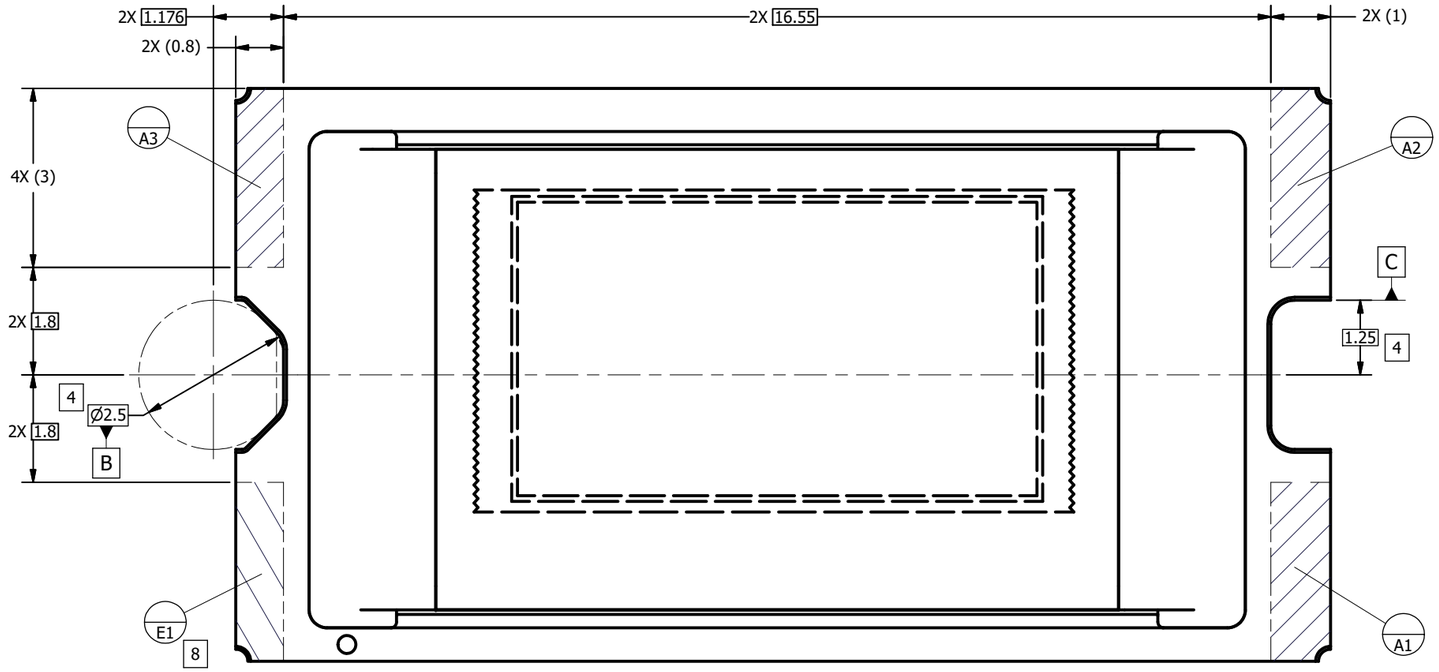
TEXAS INSTRUMENTS
Dallas Texas

TITLE: ICD, MECHANICAL, DMD, .39 AUTO SERIES 323 (FSC PACKAGE)

SIZE	DWG NO	REV
D	2519364	A

SCALE 16:1 SHEET 1 OF 5

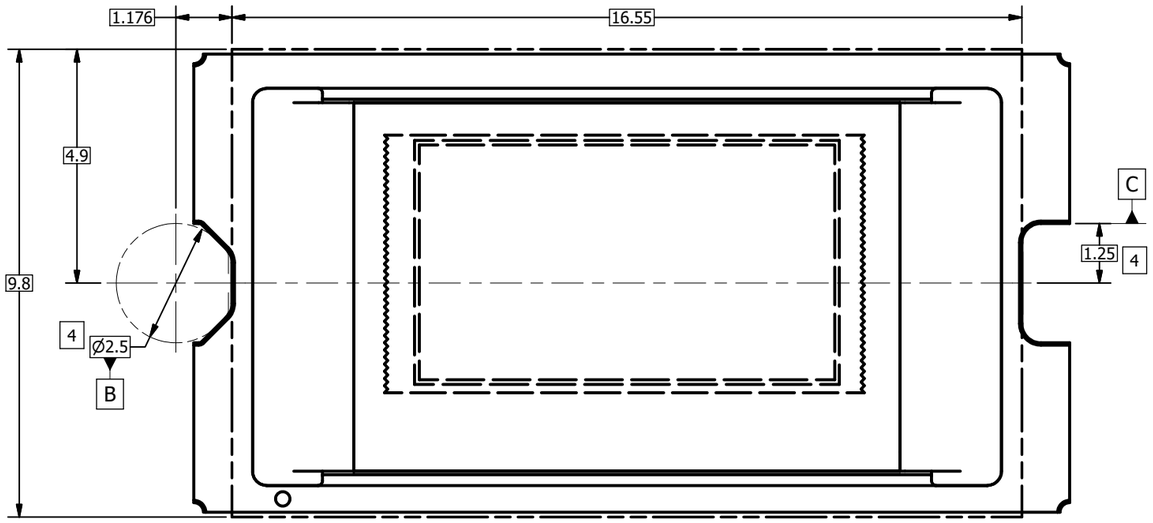
INV11-2006a



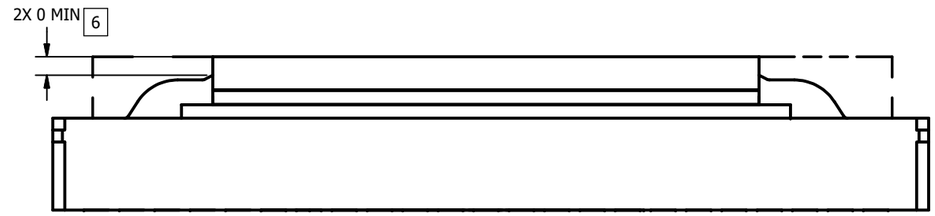
VIEW C
DATUMS A AND E
SCALE 20 : 1
(FROM SHEET 1)

TEXAS INSTRUMENTS Dallas Texas	DRAWN J. RANGEL	DATE 3/5/2025	SIZE D	DWG NO 2519364	REV A
			SCALE	SHEET 2 OF 5	

INV11-2006a



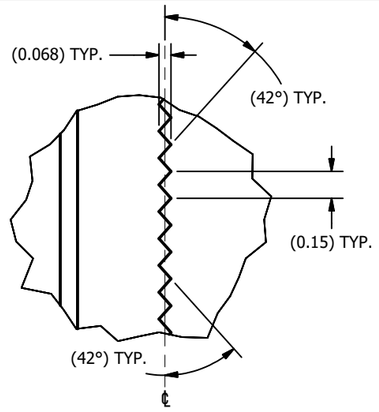
VIEW D
ENCAPSULANT MAXIMUM X/Y DIMENSIONS [5]
(FROM SHEET 1)



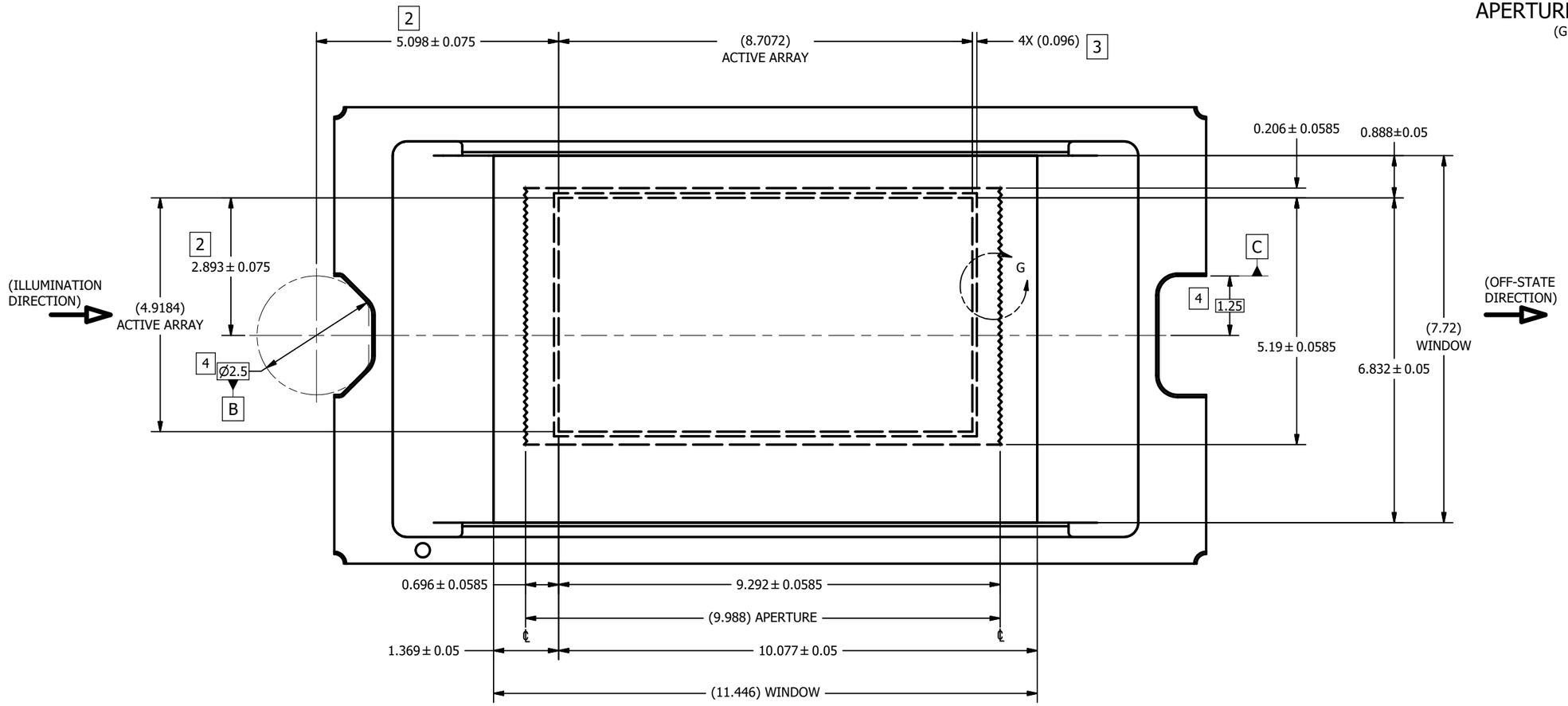
VIEW E
ENCAPSULANT MAXIMUM HEIGHT

TEXAS INSTRUMENTS Dallas Texas	DRAWN J. RANGEL	DATE 3/5/2025	SIZE D	DWG NO 2519364 / REV A
			SCALE	SHEET 3 OF 5

INV11-2006a



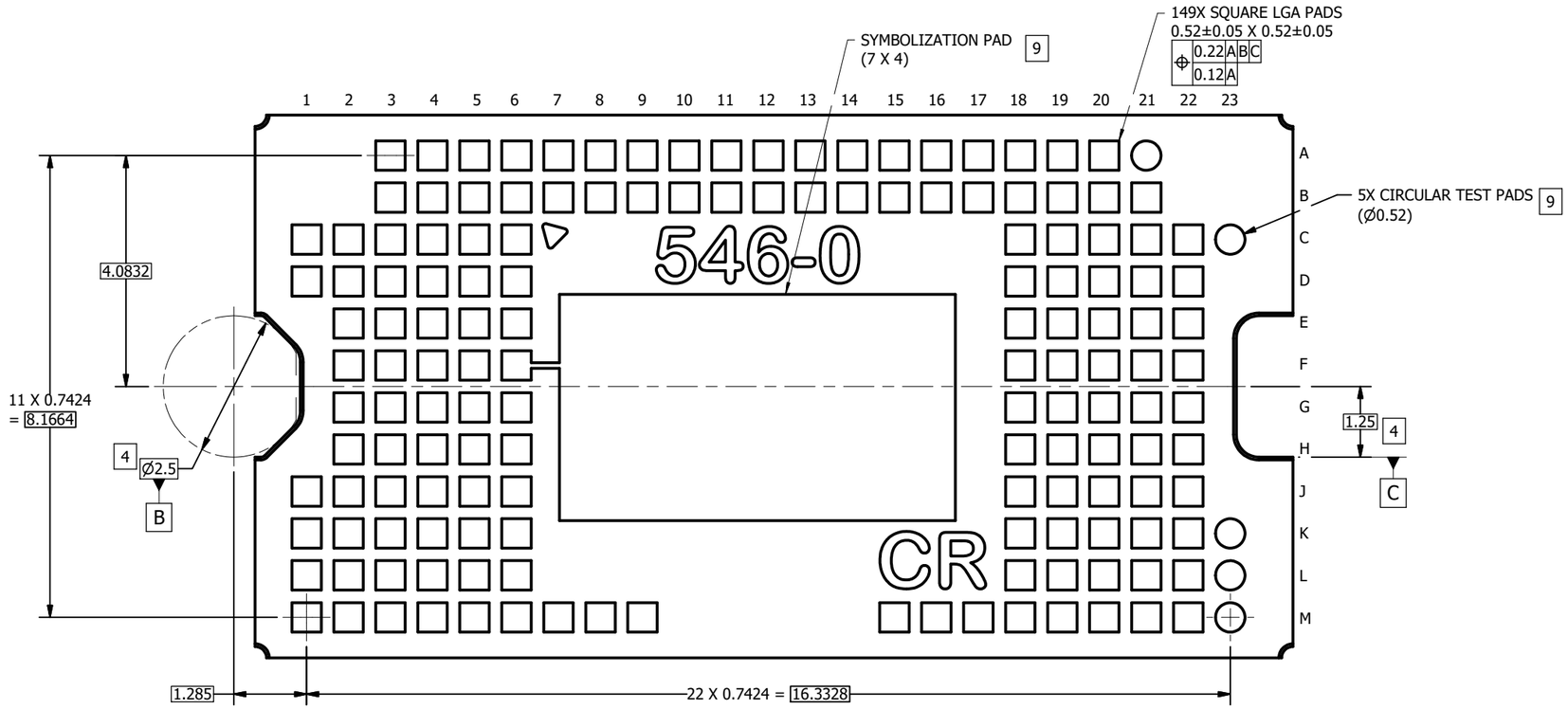
DETAIL G
APERTURE LEFT AND RIGHT EDGES
(GLASS OMITTED FOR CLARITY)
SCALE 60 : 1



VIEW F
WINDOW AND ACTIVE ARRAY
SCALE 20 : 1
(FROM SHEET 1)

TEXAS INSTRUMENTS Dallas Texas	DRAWN J. RANGEL	DATE 3/5/2025	SIZE D	DWG NO 2519364	REV A
			SCALE	SHEET 4 OF 5	

INV11-2006a



VIEW H-H
BACK SIDE METALLIZATION
SCALE 20 : 1

TEXAS INSTRUMENTS Dallas Texas	DRAWN J. RANGEL	DATE 3/5/2025	SIZE D		DWG NO 2519364	REV A
			SCALE		SHEET 5 OF 5	

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 销售条款)、TI 通用质量指南 或 ti.com 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。 除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月