

DMD 101

数字微镜器件 (DMD) 技术介绍

Benjamin Lee

摘要

本文说明了数字微镜器件 (DMD) 阵列的基本结构和工作原理。

1 概述

本文的内容涵盖了 DMD 器件的基本结构和工作原理。DMD 是光机械和电子机械元素的一种独特组合。本文开头部分为读者介绍了单个像素的工作原理，并以此为基础全面了解构成 DMD 的整个像素阵列。

2 微镜 (像素)

DMD 像素 (反射微镜) 既是一个光机械元件器件, 也是一个电子机械元件

2.1 双稳态操作 ($\pm 12^\circ$)

DMD 微镜是一种微机械电子器件, 因为其有两种稳定的微镜状态 (对于大多数现用的 DMD 而言为 $+12^\circ$ 和 -12°), 此类状态由运行期间微镜的几何结构和静电特性所决定。

DMD 微镜是一种光机械器件, 因为这两个位置决定了光反射偏转的方向。特别地, DMD 是一种空间光调制器。按照惯例, 正 (+) 状态向照明方向倾斜, 被称为“打开”状态。类似地, 负 (-) 状态则向远离照明的方向倾斜, 被称为“关闭”状态。图 1 示出了两个像素, 一个像素位于打开状态, 而另一个像素则处于关闭状态。这些是微镜仅有的两种稳定运行状态。

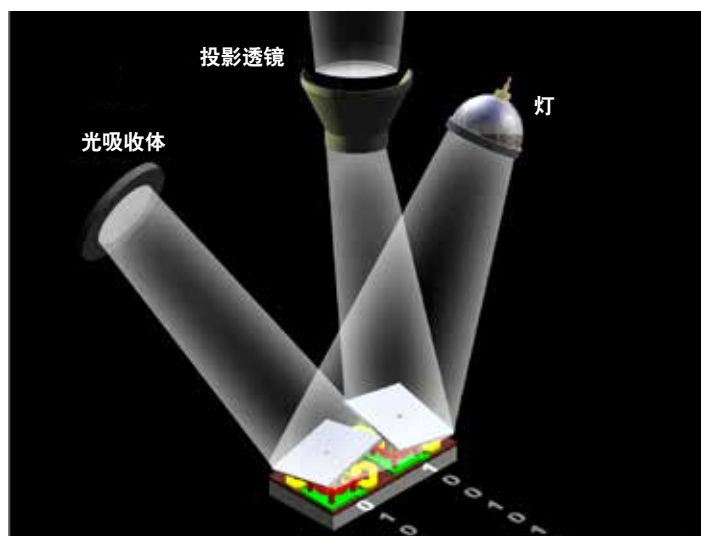


图 1: 处于打开和关闭状态的像素

2.2 机械方面

从机械的角度而言，像素是微镜面经由一个过孔连接至暗藏在下方的扭转铰链组成的。如图 2 中所示，微镜面的下端可与弹片接触。该图示出了一个处于未通电状态的微镜。图中所示的两个电极用于将微镜保持在两个运行位置上（ $+12^\circ$ 和 -12° ）。

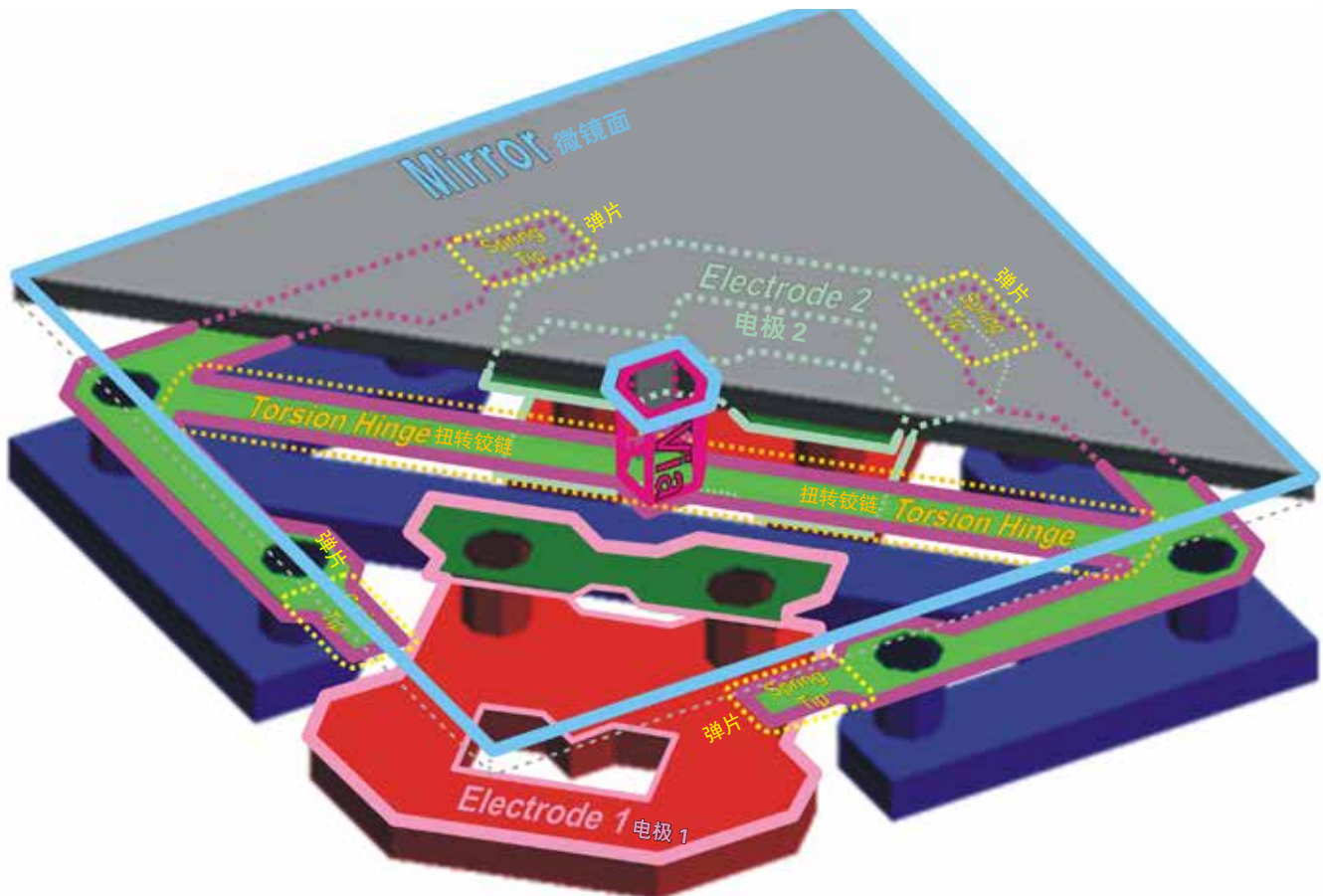


图 2：像素（标明了包含的部件）

2.3 电气方面

2.3.1 双 CMOS 存储器

在每个微镜的下方是一个由双 CMOS 存储元件形成的存储单元，如图 3 所示。两个存储元件的状态不是独立的，而是始终互补。如果一个存储元件为逻辑 1，则另一个存储元件为逻辑 0，反之亦然。像素存储单元的状态对于微镜的机械位置是有影响的，然而，改变存储单元内容并不会自动地改变微镜的机械状态。

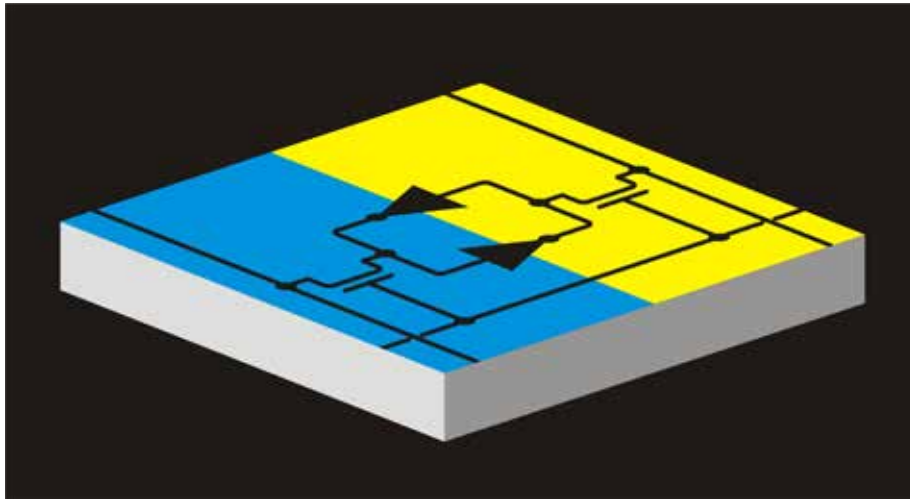


图 3：双 CMOS 像素存储器

2.3.2 存储器状态与微镜状态

尽管双 CMOS 存储单元的状态对决定微镜的状态有所影响，但它并不是唯一的影响因素。一旦微镜处于某种稳定状态当中，那么改变存储单元的状态将不会马上导致微镜翻转至另一种状态。于是，存储器状态与微镜状态并非直接地相互关联。

2.3.3 微镜定时脉冲 – 将存储器状态转换为微镜状态

为了把 CMOS 存储器的状态转换为微镜的机械位置，微镜必须接收一个“微镜定时脉冲”（以前称为“复位”）。该微镜定时脉冲短暂地释放微镜，并随后根据下方 CMOS 存储器的状态重新使其落位。因此在微镜定时脉冲操作期间重要的一点是：不要向存储单元写入信息。DMD 的规格书规定了在出现微镜定时脉冲 (Mirror Clocking Pulse) 之前和之后不能将数据装入微镜 CMOS 存储器的时间。

这允许对微镜组的存储器进行预加载，然后利用一个微镜定时脉冲同时改变其机械位置。

2.3.4 上电和断电

当 DMD “上电”或“断电”时，需要执行规定的操作以确保微镜的正确运作。这些操作在上电期间使微镜落位，而在断电期间将其释放。各种 DLP 控制器和 DMD 规格书说明了具体的细节。

3 DMD 阵列操作

DMD 是由一个个微镜组成的阵列，该阵列的尺寸由特定 DMD 的分辨率决定。以一个具有 XGA 分辨率的 DMD 为例：1024 列 x 768 行。



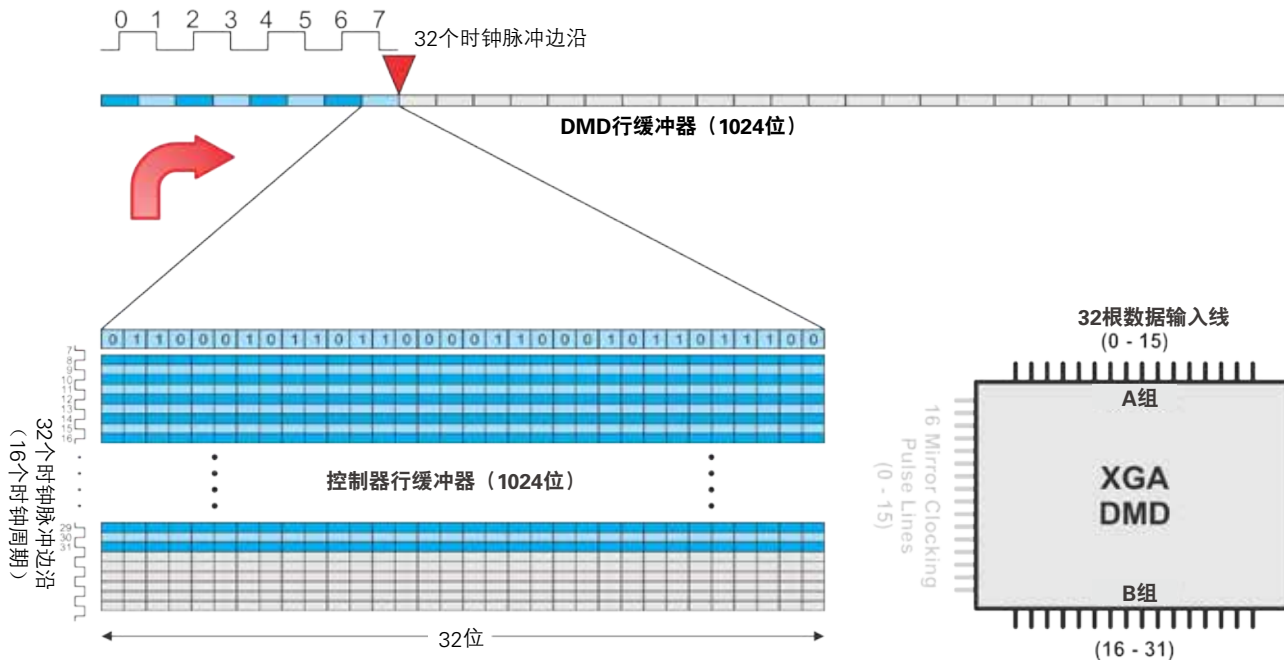
CMOS 存储器阵列包括 768 行（长度各为 1024 个像素）。1 = 打开，0 = 关闭。
 可对每行进行随机寻址或顺序寻址（自动计数器）。

图 4: DMD 阵列

DMD 存储器按行加载。即使某行中只有一个像素需要变更，也必须加载整行。

3.1 行加载

行加载是通过一个 16 位或 32 位并行总线来完成的。目前的 2xLVDS XGA A 类器件采用一个 32 位宽的总线。该数据在数据时钟的上升沿和下降沿上加载（被称为双重数据速率 [DDR]）。对于 XGA 分辨率的器件，在 32 位宽总线上需要 32 个时钟脉冲边沿（16 个时钟周期）以加载一个完整行的 1024 个位。图 5 示出了行加载。注：2xLVDS 1080p A 类器件采用两根 32 位宽的总线。



对于2xLVDS XGA A 类DMD，在32个时钟脉冲边沿上，每个时钟周期加载32位行数据（每行1024位）。

图 5：行加载

3.2 行寻址

可对行进行顺序寻址（利用自动计数器）或随机寻址（按照行地址）。注：2xLVDS 1080p A 类器件采用两根 32 位宽的总线。

3.2.1 顺序模式（自动计数器）

顺序寻址意味着：加载完行 (n) 后时，DMD 内部将行地址指针指向 (n + 1)。

注：当加载最后一行时，行地址指针并不自动复位至零。必须发布一条明确的命令以把行指针设定至零。

该模式适合于每次加载图像时大部分内容都需要改变的情况。此外，其并不要求用户保持对行地址指针的跟踪。

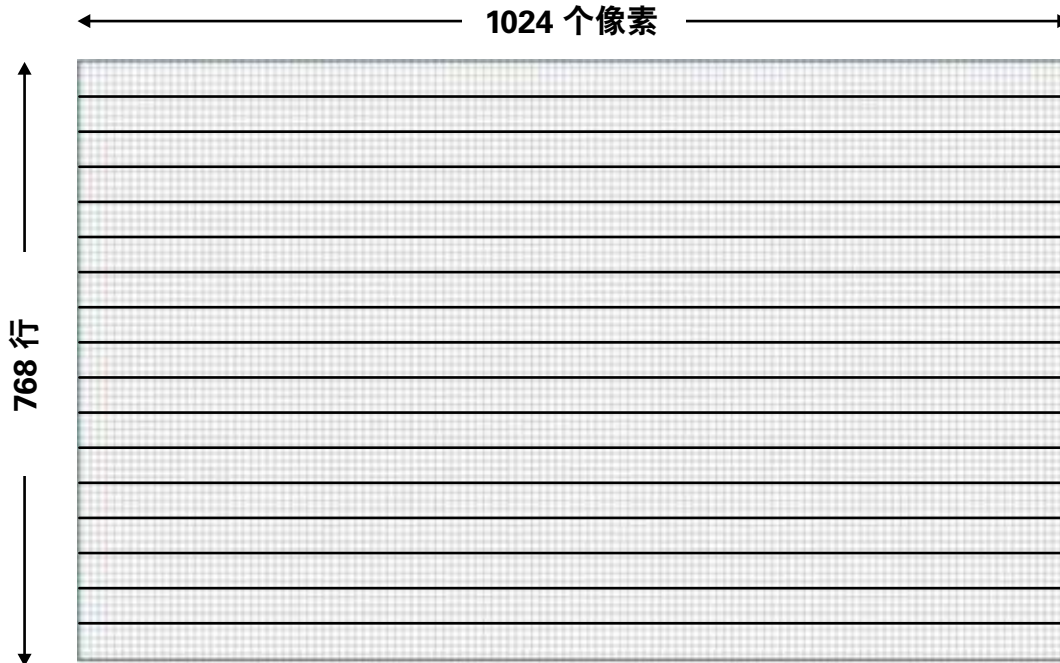
3.2.2 随机模式

随机寻址意味着，当提供行数据时还必须提供一个行地址 (n)。DMD 随后将把行数据加载至行地址所指定的行 (n)。

当预期图像中的数据将只在一个行子集中改变时，该模式是适用的。不过，其确实要求用户保持对行地址指针的跟踪并在每行加载期间提供行地址。

4 块操作

为方便微镜定时脉冲和快速清除数据，DMD 被分成了若干“块”(block)。2xLVDS XGA A 类器件被分成 16 个块（各有 48 行）。图 6 示出了这些块。注：2xLVDS 1080p A 类器件被分成 15 个块（各有 72 行）。



XGA 阵列被分成 16 个块（各有 48 行）。

图 6: DMD 块

4.1 微镜定时脉冲

前文中曾指出：给 CMOS 存储器加载并不会导致微镜改变其机械状态，而为了让微镜的机械状态符合加载后的存储器内容，则必须施加一个“微镜定时脉冲”。

一个微镜定时脉冲被发送至一个块。这个块中存储器内容已被改变的微镜偏转至相反的机械位置，而那些存储器内容并未改变的微镜将保持在相同的机械位置。此类操作被分别称为“交叉”转移(“cross-over” transitions)和“同侧”转移 (“same-side” transitions)。

注：虽然在一个正承受微镜定时脉冲的块中不能对存储器进行加载，但是在未承受微镜定时脉冲的块中则可以对存储器加载。然而，在一个微镜定时脉冲被发送至一个块之后到可以把新的数据加载至这个块之前必须经历一段最小时间。该等待时间被称为“微镜稳定时间”。

DMD 具有 16 根微镜定时脉冲输入线；如图 7 所示，每个块使用一根输入线。

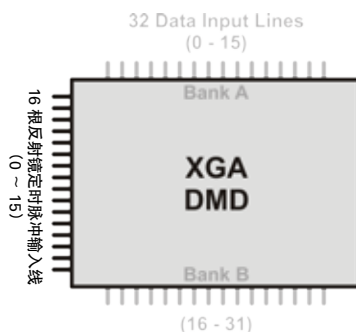


图 7: DMD 反射镜定时脉冲输入线

有 4 种微镜定时脉冲模式，这些模式决定了当一个微镜定时脉冲发出后哪些块将接收到：

- 单块模式 (Single block mode)
- 双块模式 (Dual block mode)
- 四块模式 (Quad block mode)
- 全局模式 (Global mode)

4.1.1 单块模式

在单块模式中，可对单个块进行加载和发送一个微镜定时脉冲。在对一个块的存储器加载完之后，向其发送一个微镜定时脉冲，以把该信息转换至微镜的机械状态（即：显示数据）。能够以任意次序向这些块发送一个微镜定时脉冲。

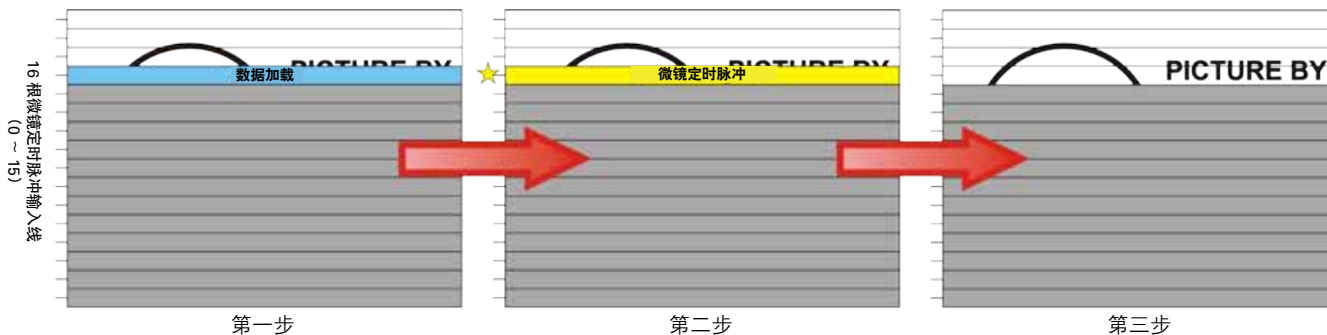


图 8: 单块反射镜定时脉冲

4.1.2 双块模式

在双块模式中，微镜定时脉冲块按以下方式配对：（0-1）、（2-3）、（4-5）...（14-15）。在加载了数据之后，可向一对脉冲块发送一个微镜定时脉冲，以把该信息转换至微镜的机械状态。能够以任意次序向这些脉冲块对发送一个微镜定时脉冲。

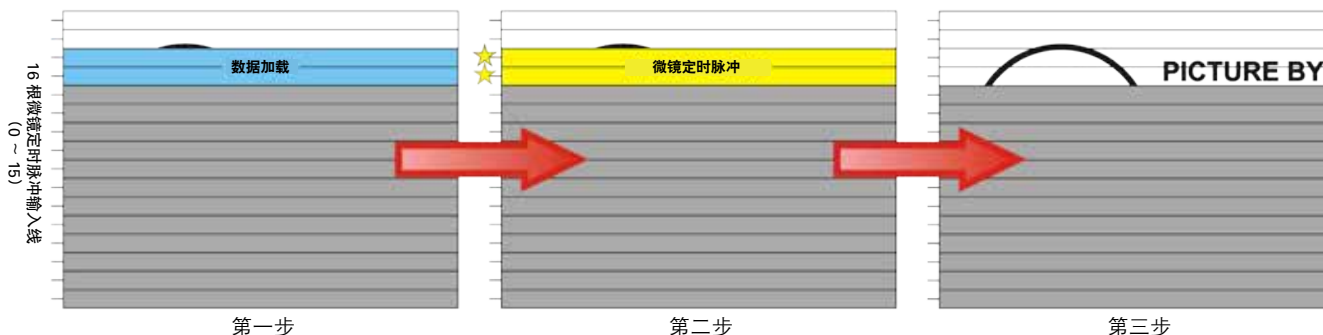


图 9：双块反射镜定时脉冲

4.1.3 四块模式

在四块模式中，反射镜定时脉冲块按以下方式分组（四个块归成一组）：（0-3）、（4-7）、（8-11）和（12-15）。在对一个四块组加载之后，可向其发送一个微镜定时脉冲，以把该信息转换至微镜的机械状态。能够以任意次序向每个四块组发送一个微镜定时脉冲。

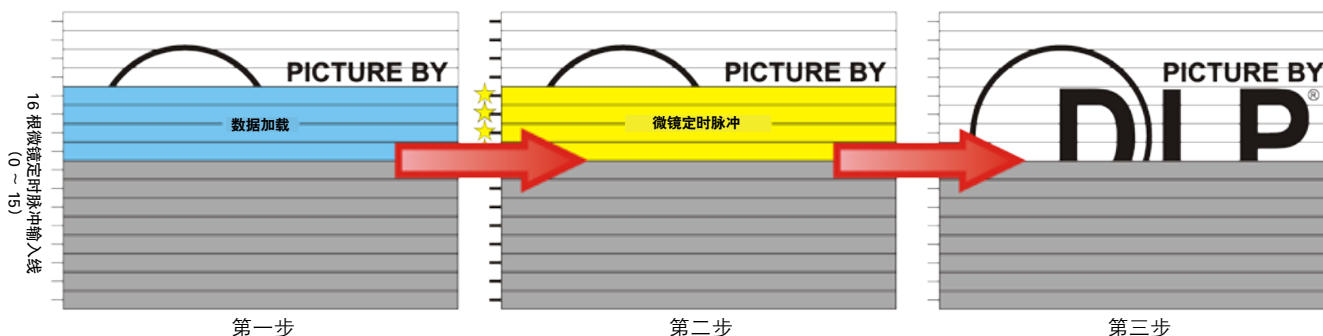


图 10：四块反射镜定时脉冲

4.1.4 全局模式

在全局模式中，所有的微镜定时脉冲块分组在一起。因此，在发送一个全局微镜定时脉冲之前必须将需要的数据装入整个 DMD，以把该信息转换至微镜的机械状态。

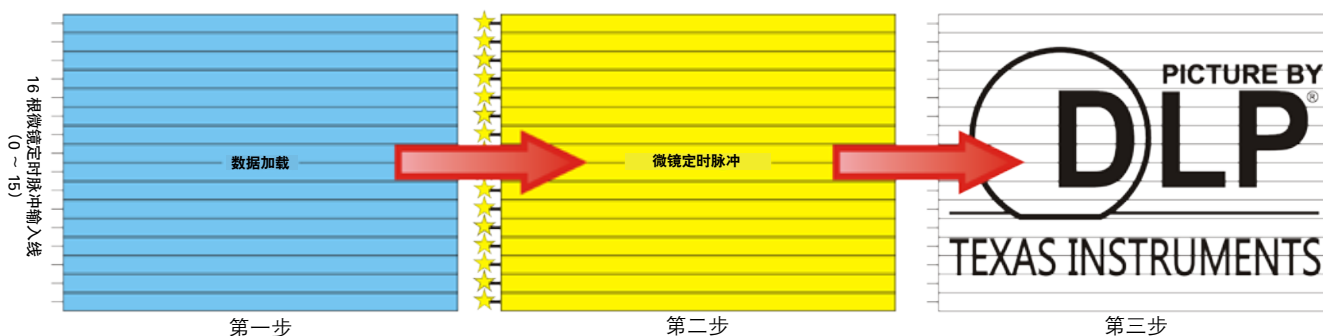


图 11：全局反射镜定时脉冲

4.2 块清零 (Block Clear)

虽然可通过给一个块加载全“0” (all zeros) 来完成存储器的“清零”，但可以发布一个被称为“块清零”的特殊块函数。对 48 行实施加载将需要 48×16 (768) 个时钟周期，但是一个块清零命令导致 DMD 在指定的块中全部加载“0”。对于 2xLVDS XGA A 类 DMD，执行一个块清零命令所需的时间与一项行加载操作相同。于是，在加载一行数据所花费的时间里（16 个时钟周期）可以给一个完整的块加载“0”。因此，清除整个 XGA DMD 存储器可能比给单个块加载所需的时间要少（比使用行加载来装入“0”要快 48 倍）。该函数适用于那些在连续照明光源下希望能短时间显示的场合。

注： 2xLVDS 1080p A 类器件需要在块清零命令后运行两个空操作的 (No Operation [NoOp]) 行周期，以完成一个块的清零（比采用行加载要快 24 倍）。

块清零命令（包括任何后续的 NoOp）和行加载操作不能同时执行，即使该行并不在即将清零的块当中。

4.3 分阶段操作 (phased operation)

4.3.1 动机

在有些应用中，需要短暂地显示一幅给定的图像（二进制帧）。

如果使用一个全局微镜定时脉冲，那么阵列不能开始加载数据，甚至执行块清零命令，需等到满足微镜稳定时间为止。

在某些块的微镜稳定时间内加载其他块的数据，能够实现较短的有效显示时间。这可以在 DMD 的的块之间以一种级联的方式进行，直到简短地显示了整幅图像为止。结果是允许微镜稳定时间发生在其他块数据加载时。这实际上将微镜稳定时间从显示一个二进制帧所需的时间中去掉了。

此项操作类似于新式 SLR 相机中焦点平面快门的工作原理（其旨在实现很高的快门速度）。

注： 在 2xLVDS XGA A 类器件（时钟频率为 400 MHz）中，一个块的加载时间短于所需的微镜稳定时间。因此在实际情况中，在完成初始块的清零工作之前能加载两个连续块。这是在下面的说明中所运用的实例。

4.3.2 它是怎样完成的

分阶段操作采用两种块操作（“微镜定时脉冲”和“块清零”）来实现简短的有效显示时间。

图 12 中示出了针对一个 2xLVDS XGA A 类器件（时钟频率为 400 MHz）的分阶段反射镜定时脉冲操作的几个步骤。

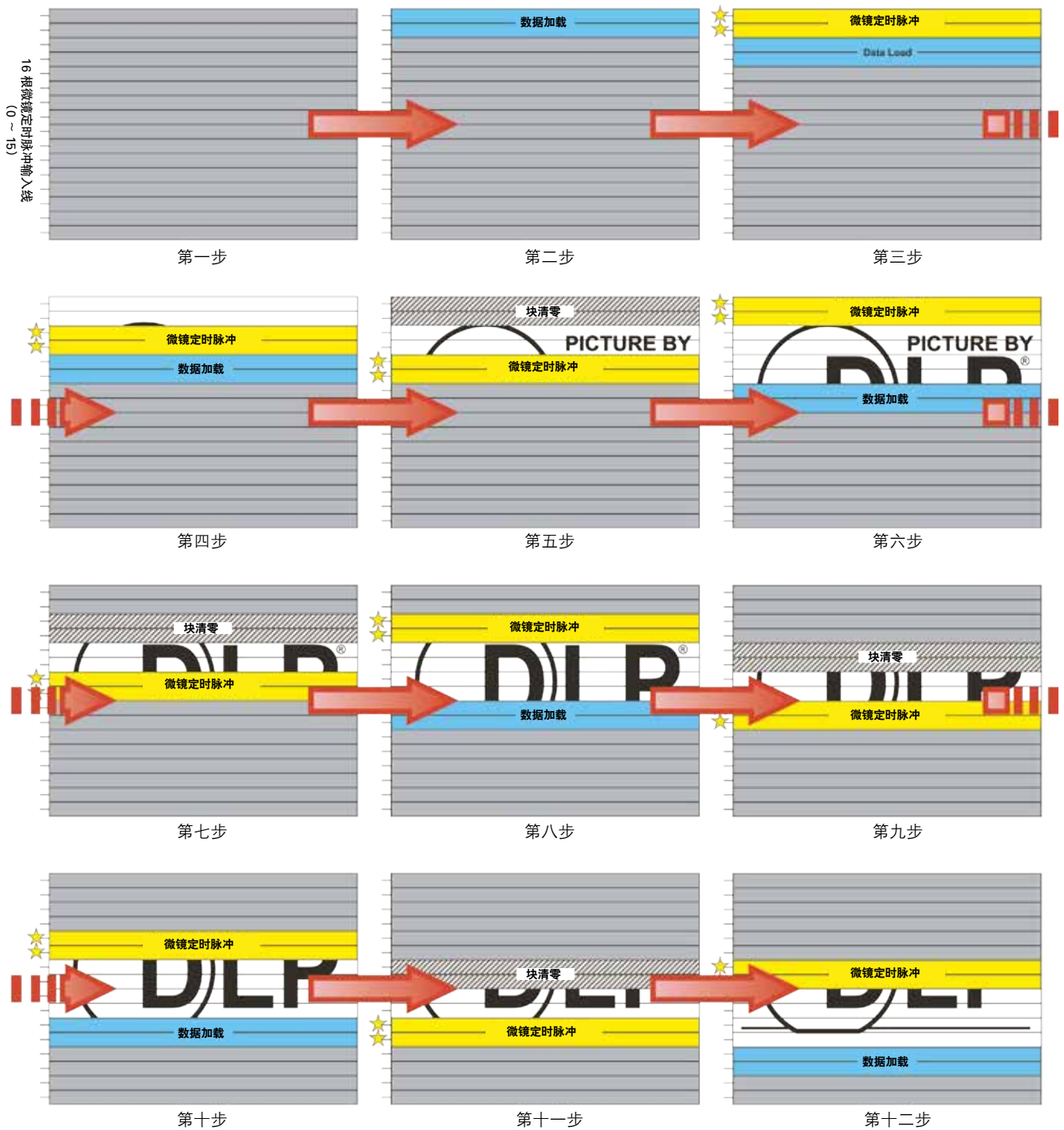


图 12: 分阶段微镜定时脉冲操作步骤

在该序列中，一个含有两个显示块的“窗口”在 DMD 表面从上至下浮现。图像的有效显示时间就是加载两个块所需的时间。当到达 DMD 的底端时，下一帧的数据能够立即开始加载，因为位于 DMD 顶端的块已经满足了反射镜稳定时间。注：整幅图像并不是同时显示的；因此，需要充足的曝光时间以完成图像的整合。

重要声明

德州仪器(TI)及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准,对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改,并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息,并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内,且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定,否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险,客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息,不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可,或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分,仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时,如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分,则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权,且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意,尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供,但他们将独力负责满足与其产品及其在其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意,他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识,可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中,为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此,此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备)的授权许可,除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意,对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用,其风险由客户单独承担,并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品,这些产品主要用于汽车。在任何情况下,因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio 通信与电信 www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers 计算机及周边 www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters 消费电子 www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com 能源 www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp 工业应用 www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers 医疗电子 www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface 安防应用 www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic 汽车电子 www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power 视频和影像 www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity 德州仪器在线技术支持社区 www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道1568号, 中建大厦32楼邮政编码: 200122
Copyright © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司