

采用激光器和 DLP® DMD 技术

目的

DLP® 数字微镜器件 [DMD] 一直在面向商业和消费应用的视频投影系统中使用。对于那些有可能采用位于可见光谱之内和/或之外的单色或相干光源的应用而言，DMD 也是一种富有吸引力的空间光调制器。

针对此类应用，必须了解 DMD 带来的一些独特优势与考虑因素，特别是在把相干或半相干光源与 DMD 一起使用的时候。当与这些光源一起使用时，不可忽视 DMD 是一种规则重复空间排列的反射镜二维阵列这一事实，同时要充分理解乃至利用其衍射效应。

本文旨在帮助读者直观地了解 DMD 的二维衍射特性，以及由此带来的优点和挑战。

理解衍射 — 一种直观的观察

单缝衍射

我们从单缝衍射开始展开讨论。我们将假设狭缝的长度远远大于狭缝的高度“a”，这样就可以不考虑沿着狭缝的尺寸。而且，我们还将假设至“屏幕”的距离“D”远大于狭缝的宽度。如果入射光是单色平面波，那么将存在某些角度，在这些角度中，来自狭缝的整体光将发生相长干涉，而其他将发生相消干涉的光则会在屏幕上产生明亮和黑暗的条带。* 下面的链接给出了一个极佳的实例：[单缝衍射](#)。

现在，我们用一个以狭缝为中心的圆柱形屏幕来取代平面屏幕，并让至屏幕的距离为“R”（半圆的半径）。于是，对于到屏幕的每一个角度我们都能够投射到狭缝的平面，（接下页）

* 如果我们将到狭缝开口平面的法线（也是到屏幕的法线）当作 0°，而把狭缝的中心作为原点，则屏幕上的光强度将与 $\left(\frac{\sin(U \sin(\theta))}{U \sin(\theta)}\right)^2$ [变量在 $\sin(\theta)$ 中的“Sinc”函数] 成正比。光强度的推导可在许多有关狭缝衍射的教科书上找到。

(续上页) 这样我们现在可以将每个至“x”的角度映射到同一条线上, 从而可由 $x = R\sin(\theta)$ 得出到原点的距离。* 为简便起见, 设 $R = 1$, 于是 $x = \sin(\theta)$ 。利用角空间的这种简单的映射, 我们发现: 当 θ 的变化范围为 $[-90^\circ$ 至 $90^\circ]$ 时, x 的变化范围为 $[-1$ 至 $1]$ 。所有超出该范围的数值都是非现实的。

条带的光强轮廓 (intensity profile) 与下式成正比:

$$\text{Sinc}^2 \left[\pi \frac{a}{\lambda} \sin(\theta) \right],$$

利用我们选择的映射可简单地将上式变为

$$\text{Sinc}^2 \left(\pi \frac{a}{\lambda} x \right).^\dagger$$

如果入射角改变从而 $\theta_i \neq 0$, 则 Sinc^2 轮廓的顶点将移动到集中在 $\theta = -\theta_i$ 。换言之, 图形将随着入射角的变化而滑动, 这样图案以入射平面波的法线为中心。

于是, 光强轮廓与下式成正比:

$$\text{Sinc}^2 \left[\pi \frac{a}{\lambda} [\sin(\theta) - \sin(\theta_i)] \right].$$

在映射空间里, 如果我们设 $x_i = \sin(\theta_i)$, 则上式变为:

$$\text{Sinc}^2 \left[\pi \frac{a}{\lambda} (x - x_i) \right].$$

为了确定进入每个向角的光量, 必须将所有进入狭缝的光都考虑在内。如前文指出的那样, 轮廓函数本身可包含任何 $-\infty \leq x \leq \infty$, 但 x 自身则被限制在 $-1 \leq x \leq 1$ 。于是我们对远场求积分:

(此处为公式) = Φ (狭缝处的总光通量)。

$$A \int_{-1}^1 \text{Sinc}^2 \left[\pi \frac{a}{\lambda} (x - x_i) \right] dx = \Phi \text{ (total flux at the slit).}$$

* 见 Harvey-Shack “Cosine space”。

† 该函数在 $k\pi = \pi \frac{a}{\lambda} x$ ($k \neq 0$) 时具有零值, 因此最小值之间的间隔为 $\Delta x = \frac{\lambda}{a}$ 。

换句话说，所有的光都将进入受限于 $\pm 90^\circ$ 的空间。这种归一化使得我们能够确定比例常数“A”，从而获得每个角度上的光强度。

多缝衍射

如果我们引入多个相同的狭缝，使得从狭缝中心至狭缝中心的距离为“d”。而且假如狭缝的数量很大，那么由于狭缝之间的相位关系的原因，光将被限制在非常窄的线（称作衍射级）上。这些衍射级位于：

$$\sin(\theta) = m \frac{\lambda}{d} \quad (\text{式中的 } m \text{ 是一个整数}^*)$$

如前文所述，改变光的入射角度将使衍射级移动以集中在法线 (principle ray)。换言之，第 0 个衍射级移动，使其位于 $\theta = -\theta_i$ 。现在，衍射级位于：

$$\sin(\theta) = m \frac{\lambda}{d} - \sin(\theta_i) \quad \text{or} \quad x = m \frac{\lambda}{d} - x_i.$$

所得到的图案的有趣的特点是：这些衍射级的相对光强包络线刚好是单缝衍射的光强轮廓。请注意这一个包络线。光仅在衍射级的位置提供，但相对光强则是利用处在衍射级位置的 Sinc^2 轮廓的高度来获得。下面的链接给出了一个极佳的实例：[多缝衍射](#)。

由于衍射级和包络线随着光入射角度的变化而移动，因此第 0 个衍射级和 Sinc^2 包络线的顶点是锁定在一起的。这意味着第 0 个衍射级所接收的能量比任何其他衍射级都要多；至于多出多少，则由相对于间隔（间距）“d”的狭缝宽度“a”来决定。

同样，必须把所有的光都考虑在内，不过由于此时衍射级是离散的，因此方程对于所有的衍射级变为：

$$A \sum_m \text{Sinc}^2 \left(\pi \frac{\lambda}{a} \left(m \frac{\lambda}{d} - x_i \right) \right) = \Phi$$

于是：

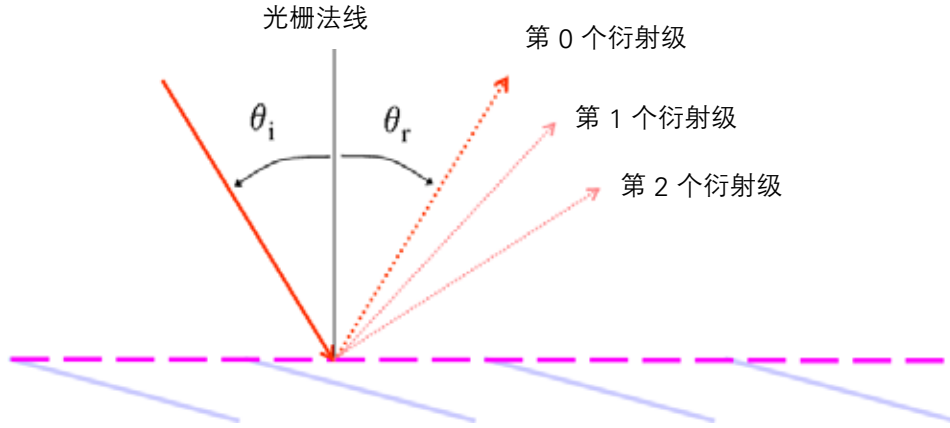
$$-1 \leq \left(m \frac{\lambda}{d} - x_i \right) \leq 1.$$

换句话说：只有那些位于实空间 $[\pm 90^\circ]$ 中的衍射级才能够接收光。

* 该整数“m”被称为衍射级的编号，可以是正数或者负数。位于某个给定“m”处的衍射级被称为“第 m 个”衍射级。

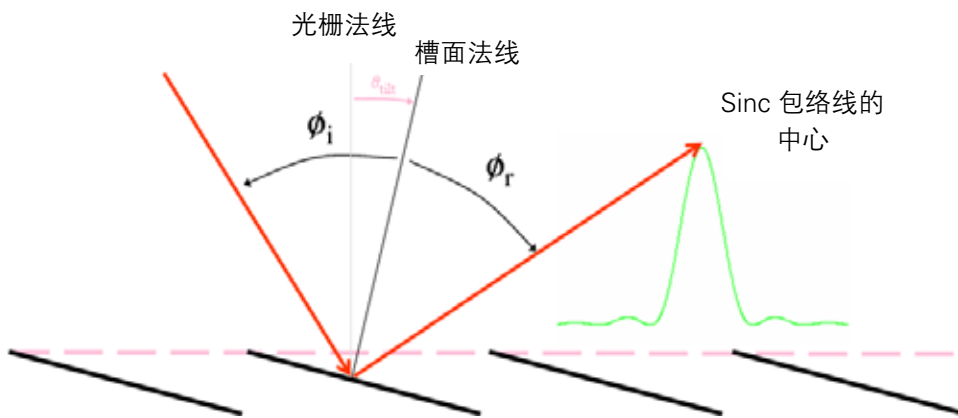
反射式衍射光栅

现在来看看反射式光栅，这里，镜面取代了狭缝。入射光（平面波）此时与反射光位于同一侧。前文的所有讨论均适用于这类光栅，但是现在我们可以增加一个光控制维度。和前面一样，衍射级的位置将由光栅节距、波长和入射角决定。第 0 个衍射级就跟在相对于光栅表面的法线的镜面反射之后 ($\theta_r = -\theta_i$)。



实例 1

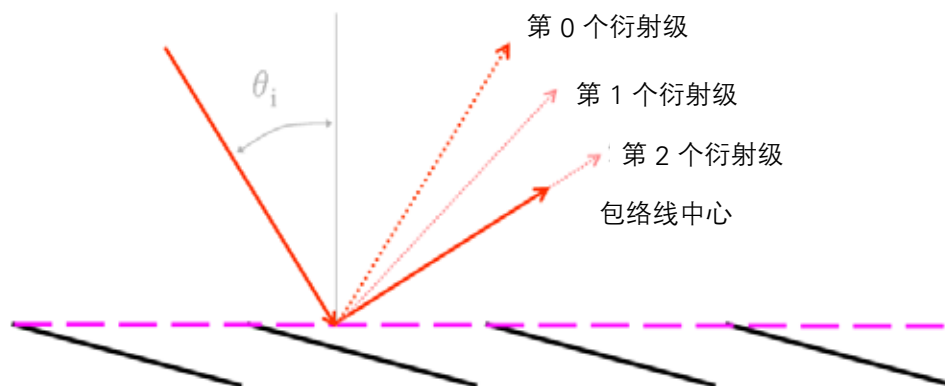
不过，现在可以利用一个与光栅法线不在同一直线上的法线来形成槽面 (groove face)。结果是： Sinc^2 包络线的中心此时与第 0 个衍射级解耦。包络线的中心现在所指的方向是来自个别槽面的镜面反射，而不是锁定至第 0 个衍射级。[即：相对于槽面法线的 ($\phi_r = -\phi_i$)]



实例 2

当通过布置入射角和槽面倾斜度以使 Sinc^2 包络线的中心（顶点）与某个衍射级对齐时，该衍射级即被称为“闪耀”。

当出现这种情形时，大多数的能量将被引导至“闪耀”衍射级中。^{*} 当包络线中心落在衍射级之间时，能量将被分配到多个衍射级中。结果是没有哪个衍射级会接收到大部分的光。这种条件常常被称作“脱离闪耀” (off-blaze)。



实例 3 - “闪耀条件” (对于第二个衍射级)

第 0 个衍射级的位置仅取决于入射角，而所有其他的衍射级则取决于入射角、光栅节距和波长，了解这一点是很重要的。与此相似，Sinc 包络线顶点的位置只取决于入射角和槽面的倾斜度，但是包络线的空值 (null) 则取决于狭缝的宽度和波长。结果是，对于所有的 $m \neq 0$ ，一个给定衍射级只针对某一种波长闪耀。

另一个非常重要但常常被遗漏的见解是：只有第 0 个衍射级（和包络线顶点）会随着入射角的变化而呈现出几何式移动。所有其他的衍射级在映射空间中与第 0 个衍射级等距。这意味着，当我们改变入射角时，如果槽面倾斜度不为 0，则非零的衍射级将相对于 Sinc 包络线的顶点而移动。因此，在“非闪耀”配置中常常可通过改变入射角以使其中的一个衍射级与 Sinc 包络线的顶点对齐，从而产生一种“闪耀”条件。

扩展至二维光栅

有了对于一维光栅衍射的充分了解，我们就能将这种了解扩展到二维。我们的考虑将限定于具有两个正交槽面系统 (orthogonal groove systems) 的光栅。假设新的外形尺寸为 a_x 和 a_y （对于面尺寸 [反射镜]）以及 d_x 和 d_y （对于光栅节距）。

* 当闪耀条件的安排使得入射光与关注的衍射级在同一直线上时，这种条件被称为“利特罗” (Littrow) 闪耀。该条件可允许将相同的光学器件兼用于所关注衍射级的输入和输出。

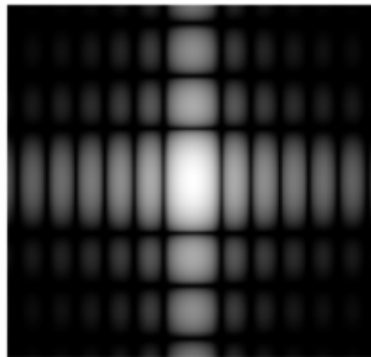
现在，衍射级不再是线，相反，由于它们在两个维度上被限制于特定的方向，所以在我们的映射空间上衍射级变成了“点”。这些衍射级位于：

$$\left[m \frac{\lambda}{d_x}, n \frac{\lambda}{d_y} \right]$$

其中 (0,0) 衍射级位于镜面反射光栅，和

$$\text{Sinc}^2 \left[\pi \frac{a_x}{\lambda} (x - x_i) \right] \text{Sinc}^2 \left[\pi \frac{a_y}{\lambda} (y - y_i) \right]$$

包络线集中于表面的镜面反射。一个说明二维（无倾斜）图案的链接如下：[二维光栅](#)。

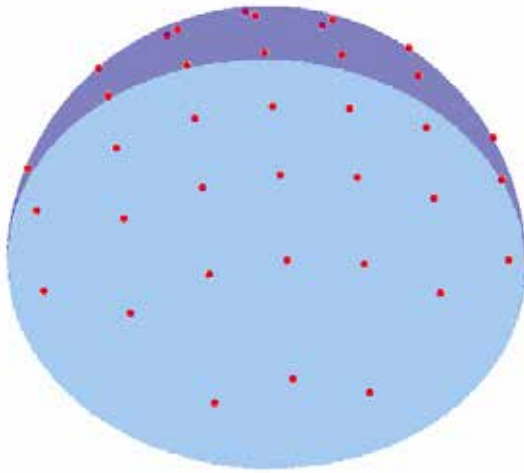


实例 4 – 2D Sinc² 包络线（灰度）

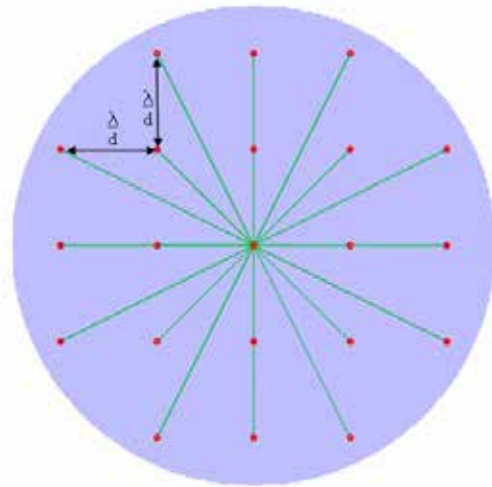
同样，所有入射到阵列上的光都必须考虑在内。由于填充因子的原因，有些光损失，但是剩余的光必须进入实空间。与在一维场合中一样，我们可实施再归一化以确定进入每个衍射级的光量（针对一组给定的几何形状、波长和入射角）。

DLP® DMD 作为一种二维光栅

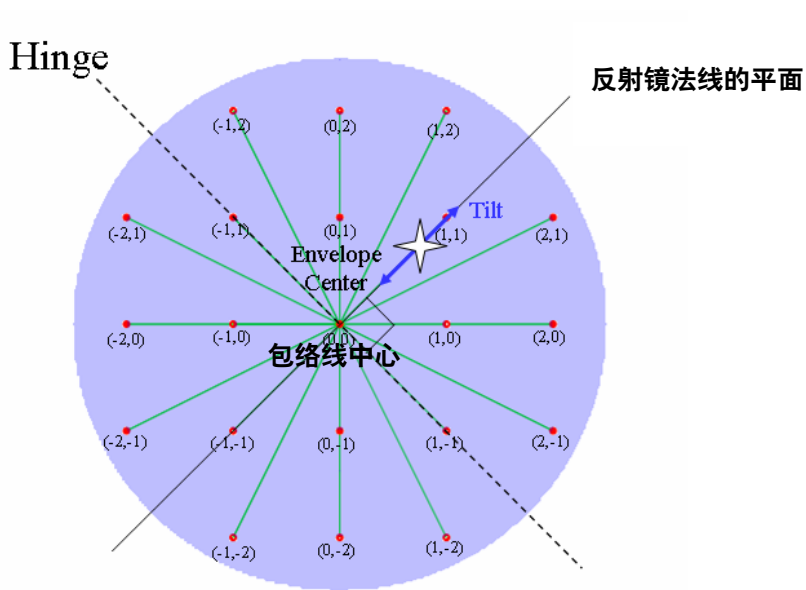
DLP® 的 DMD 采用正方形反射镜，这样一来 $a_x = a_y$ 且 $d_x = d_y$ ，因此从这里开始我们将只称“a”和“d”。此外，反射镜相对于一个斜穿像素的光轴倾斜 $\pm \theta_{\text{tilt}}$ 。结果是：只有那些可集中包络线的衍射级方才位于 $m = n$ 衍射级的线上。



实例 5 - 衍射级的二维半球视图



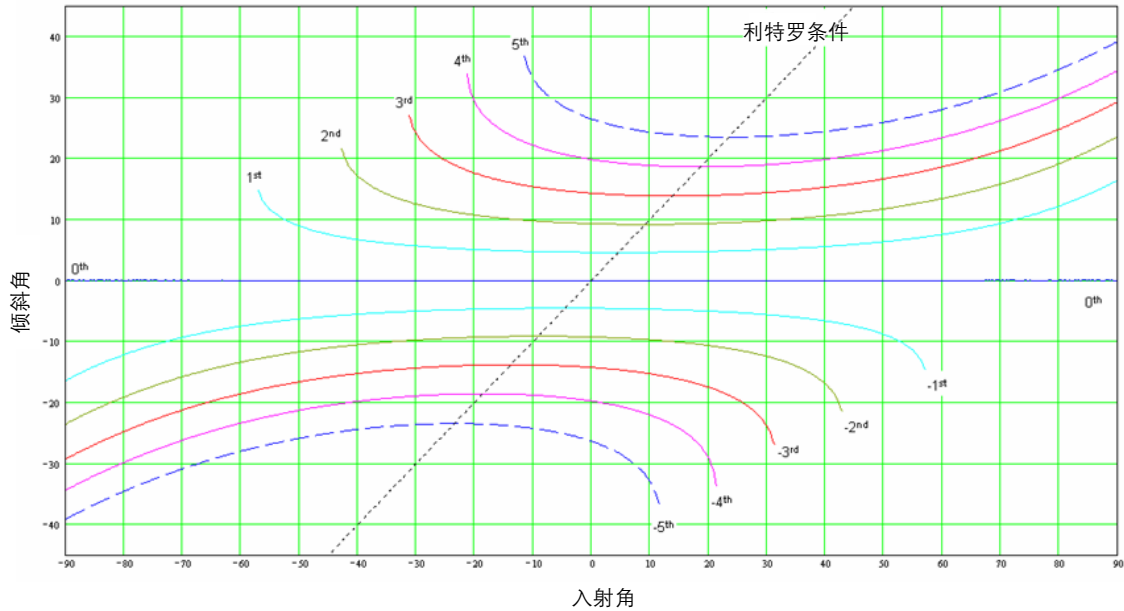
实例 6 - 从上方俯视(映射空间)



实例 7 - 编号衍射级和 DMD 包络线中心的视图

于是，就大多数应用而言，目标是通过布置几何形状以使包络线中心与一个衍射级对齐（对于感兴趣的波长）。对于 DMD，微镜间距和反射镜倾斜度是固定的。然而，同样可以改变入射角，从而在某个给定的 (n,n) 衍射级得到闪耀。在下面的实例中， (n,n) 衍射级被简称为第 n 个衍射级。下面的例子显示了入射角、倾斜角和闪耀之间的关系。

请注意沿着 $x = y$ 这条线以使包络函数依照 Sinc^4 逐渐下降。这意味着当 DMD 从导通切换至断开时，先前闪耀的衍射级的光强具有绝佳的消光比。



实例 8 – 入射角、倾斜角和闪耀之间的关系

注：在该示意图中，(n,n) 衍射级被简称为第 n 个衍射级。

请注意入射角与倾斜角相同的特殊闪耀条件（用虚斜线表示）。这被称为利特罗（Littrow）条件，它适用于入射光和出射光使用相同光学器件的场合。

优势和考虑因素

采用 DMD 和相干光会导致衍射，因此必须考虑这些影响，但是衍射在许多应用中也可提供优势。部分此类优势为：

- 在大波长 (IR):
 - 闪耀条件对于倾斜角度中的生产偏差 (production variation) 相当不敏感。
 - “导通”和“断开”状态闪耀衍射级在二维 Sinc 包络的对角线上是分开的，从而提供了从“导通”至“断开”的出色消光比。*
 - 由于光被分成离散的衍射级，因此可以很容易使光学器件仅聚集所关注的衍射级。
- 在小波长 (UV):
 - 通常可以通过轻微改变入射角 ($< \pm 2^\circ$) 来完成调谐。
- 如果入射光束是平行的，那么个别衍射级也是平行的（即：它们将保持输入光束的特性）。

* 在对角线上，二维包络与 Sinc^4 成正比，于是该线上的衍射级的光强度下降极快。

另外，在使用 DMD 和相干光时还有一些源于衍射本质的特殊考虑因素：

- 对于给定的波长和像素间距，衍射级仅由入射角固定于方向空间（反射镜的开关切换不会使其移动）。
- 衍射级的光强包络由反射镜的形状（对于 DMD 而言是正方形）决定，因而无法在不影响所有其他衍射级的情况下任意地对个别衍射级进行消光。

结论

DLP®DMD 是一种富有吸引力的空间光调制器，适用于相干光应用。我们的器件的反射性质可实现大量光能的调制，而只有很少的光能被器件所吸收。

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/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