

光线与阴影：工业图像处理领域的LED照明示例

© 映美精欧洲有限公司

修改：2000年2月1日（初稿）

<http://www.theimagingsource.com>

什么，一个灯泡竟然要一千美元？你在开玩笑吧？乍一看，花差不多是一个工业相机两倍的价钱来买一个环形灯或者其他什么照明设备的确有点浪费。但仔细考虑起来，我们就能认识到从光源发出的光线是我们用于测量的一种工具。如果光线不好，图像采集后的分析工作，即便还有可能，也将变得十分困难。高效照明需要机械、光学和电子设备之间的紧密配合与协调。这就导致了它价格昂贵。你何曾见过专业摄像师使用床头灯做照明设备？

即灵活又经济

一个全新的模块化发光二极管（LED）照明系统

工业视觉的最基本的挑战之一就是其应用的复杂多样性。这就不可避免地产生出大量的照明方案。因此，标准化制造的照明设备根本不存在。映美精开始研发VarioFlash，一款基于以下四点设计理念的模块化LED照明系统：

1. 低价

只有两种模块。用于单色应用领域的红外LED模块，以及用于彩色应用领域的白LED模块。

2. 灵活

必须能将同一类型的模块用于多种不同的照明情况。

3. 频闪

无需特别或昂贵的控制元器件：所有模块都必须是频闪的。

4. 耐用

这些模块都必须能够应对最极端的工业生产环境。

图1显示的是一个VarioFlash模块，图2显示的是这些模块是如何连接在一起的。我们将在本文的后面介绍这种菊形连接。

避免干扰

使用红外发光二极管（IR-LEDs）而不是黑箱

正如我们开篇时提到的，光源发出的光线实际上是我们用于测量的一种工具，因此我们必须保证周围环境的光线不会进入到我们的照明区域。我们可以通过一下两种方法屏蔽掉这些我们不希望有的光线：

1. 我们可以在照明区域周围布置一个黑箱，这样一来该区域就只剩光源发出的光线。
2. 另一种更便宜的方法就是在相机镜头前设置一个日光滤光片，然后使用近红外发光二极管（LED）作为光源。

如使用第二种方法，我们就能很好的利用电荷耦合器件（CCD）芯片的一个特性，即相对于肉眼，CCD芯片对光谱中红色光线更为敏感。

如图3所示，CCD在红色区域的感光度远低于它的最大感光度，但CCD在该区域的绝对感光度仍大大高于VarioFlash红外模块的绝对强度。然而，相对于VarioFlash红外模块的亮度而言，这十分得高。在这里重要的一点是，如果我们使用日光滤光片，CCD就将完全不能对肉眼所能看到的光线感光。

提高性能 发光二极管的亮度能被轻松地提高20倍

如果对一个二极管加正向电压并缓慢提高电压值直至某个特定值后，电流将骤然增加。在开启模式下只能少量增加电压（额定电压），否则二极管可能被损毁。VarioFlash额定电压1.5伏，额定电流100毫安。

然而在频闪模式时，所需要的短时间冲击电流可能比额定值高很多倍，但它却不会损坏发光二极管，见图4。只要您采用VarioFlash说明书提供的参数（特别是与开启/关闭时间相关的）就不会损坏发光二极管。

上一段讨论的是电压与电流之间的非线性关系。如图5所示，电流与二极管光强之间的关系是线性的。

提高效率 发光二极管照明能做的更多

单色

由于它所发出的光都是单色的，镜头中将不会再有彩色像差的问题。

低价

使用发光二极管照明购买、维护及使用的费用都更低。

使用寿命长

在开启模式下发光二极管能运行100,000小时，而且其光强在整个使用期中都稳定。

低电压

相对与其他需要100伏电压的光源，发光二极管所要求的电压是“无害”的。

易于定制

易于根据特殊设计要求进行加工制造。

体积小

发光二极管能以很小的体积产生大量的光。

低温安静

发光二极管在工作时不产生热量、不制造噪音。

以下所有照明方法示例都非常适合采用发光二极管。而且都能用普通白色发光二极管制造。

呈现内部结构： 逆光

如果一个物体或多或少得透明，我们就应该使用一种叫做逆光的技术。逆光能呈现内部结构。图6以实例讲解了这一原理。这种方法尤其适合检测非均质区域或瑕疵。工业生产领域最具代表性的例子就是用X光照射铝板检测其中是否有空气孔。这一方法在生物和医学领域也被广泛应用。

图6（左）是以实验中的一个实例拍摄而得，该例子使用两个VarioFlash红外模块和一个临时制作的散射器¹。为了生成一片光线均匀的区域，我们使用了大张角的发光二极管。由于光锥之间相互重叠，在50毫米左右的距离上发光二极管的点状结构已无法辨认。然而，如果使用逆光，散射器就显得必是很必要了，因为照相机正对光源并看见它的结构。打个比方，散射器就是照相机看到的光源。因此把相机放置离在发光二极管模块适当的距离点上很重要，目的是让那些光锥产生一片光线均匀的区域。

图7显示的是一个实验室实例，该例中一张纸就可以用来制作散射器。

测量边缘 轮廓投影

如果我们只对目标物体的边缘轮廓感兴趣，那么轮廓投影就是最佳方法。图6（右）显示的是一个螺丝钉，其照明采用的就是轮廓投影法。轮廓投影法产生的是一副黑白图像，其中深色区域是目标物体，白色区域为背景。这样一来我们就能很容易的设定一个阈值，定义“1”为目标的像素，“0”为背景像素，从而轻松的生成一副二进制图像。

拍摄图6（右）是使用的就是前面几节讨论过的发光二极管来提供照明的（请参见图7了解相关设置的情况）。

1 请注意，散射器并不随VarioFlash模块配送。

基本方法

正面光

正面光是到目前为止最简单的照明方法。但正面照明的一个经典问题——尤其是在有关测量的应用场合——就是投影的阴影。针对这一问题，著名的一种解决方案就是使用环形灯。环形灯可以消除阴影。这听起来好像是一个建达的方法：但一如既往的，问题藏匿在了细节当中。

环形灯的基本光学机械参数——直径、照明区域及光源与目标物体的距离——导致了此类型灯具原型的多样性，因此人们很难购买到现成的环形灯。但这一问题已被VarioFlash系统解决。图8显示了一个实验室原型及其结果（右）。

通过简单的布置相机、LED模块和目标物体，两个VarioFlash系统就能轻而易举地代替环形灯。而要照亮更大的区域，我们只需扩大LED模块的环形，如图2所示。

避免反射： 漫射照明

在上一节中我们已经介绍过两个VarioFlash系统就可以代替环形灯。图9显示我们也可以只使用一个VarioFlash系统，但结果远不能让人满意。原因很简单，即目标物体表面为金属且反光，相机没有看到物体本身，相反它看到的只是光源的镜像（在LED模块情况下）。结果得到的图像就只是一片极亮的区域。

为了解决这个问题，我们需要使用漫射照明法。图10显示了一种适于照明金属物体的方法，该方法能避免图9中的反光。职业摄影师为了避免他们的作品中出现阴影也会使用这种方法。只有直接照射光线能产生阴影，而漫射照明能使其消失。

奥秘就是使用一个毛糙的面将光线反射到目标上，这样就能使光线漫射，如图10所示。用于反射光线的毛糙表面通常是凹型的，这样能使得更多的光线照集中到目标上。使用平板毛糙面将减少照射到目标上的光线，因为很多光线从需要照明的区域散射开了。

理想的漫射反射器应该是球形的。图11显示了如何使用一个有白色毛糙内壁的球形来反射光线从而产生几乎完美的漫射光。图10中的实验模型显示了一张白纸就可以被当作漫射反射器。与以前的装置（图9左）相比，区别就是在图9中目标物体制造了阴影，然而在图10（左）中阴影完全消失了。反射随阴影同时消失。

“呈现内部结构”一节中介绍了漫射器的另一个用途。但应注意的是，该节探讨的是如何生成光线均匀的区域。但光线仍然是有方向的（这是其本身属性），因此它仍将生成阴影。

划痕照明

照明亮区域与暗区域

在对图9所示的结果进行分析时，我们可能会得出一个结论、即无论如何也要避免光线直射。图12显示了该结论是错误的。图12是对图9中的设置稍作调整而得。

LED模块被逆时针旋转了几度，以使其发出光线的中心偏移至目标的左边，而所得结果出乎想象（图12右）。除金属目标中间位置的少许反射外，其它所有反射都消失了。而目标物体表面的结构清晰可见。

其实我们在日常生活中也常常不经意地用到这个方法、只不过我们从来没细想过。比如当我们在检查老唱片质量的时候，常用的方法就是把它举在灯光旁边以检测其表面是否有划痕。划痕在一片暗背景中一般都是一条条明亮的细线（或明亮背景中的暗线）。术语中将这一照明效果称为暗区域与亮区域的照明，如图13所示。

小结

- 机器视觉系统的制作应首先从照明开始。
- 特殊照明系统价格昂贵。应在照明产品的购买上设置足够的预算。如没有使用正确的照明设备，拍摄后的图像修正工作就会变得非常繁琐（和昂贵）。
- 由于发光二极管的许多优点，它正在成为有关测量的应用场合的标准。
- “照明”不仅仅只是我们日常生活中所指的“光亮”，还包括不可见光，如紫外线、红外线及X光。
- 除照明这一基本功能外，我们在工业生产中还需考虑其它因素，如机械稳定性和耐用性。

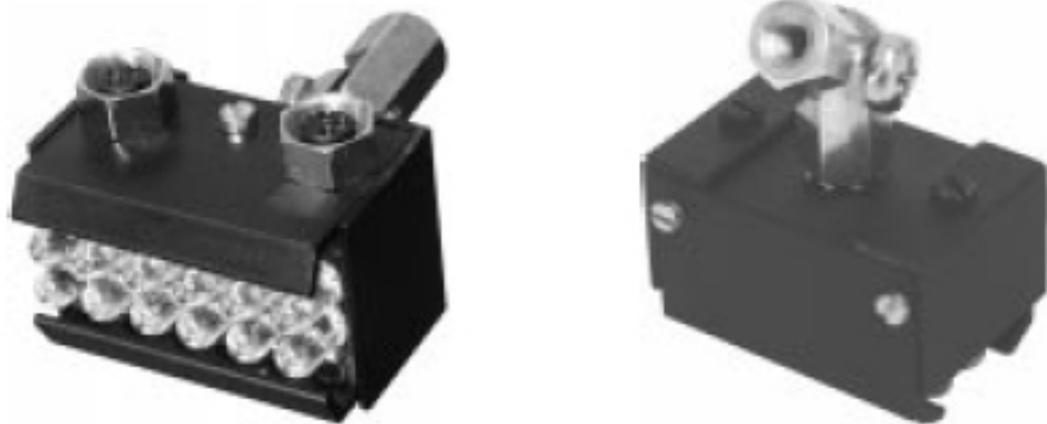


图1: VarioFlash系统可使用红外或白色发光二极管制作。这些模块体积小、耐用性好, 而且由于在它们的尾部都有螺丝固定装置, 这些模块可以被固定在几乎任何位置。

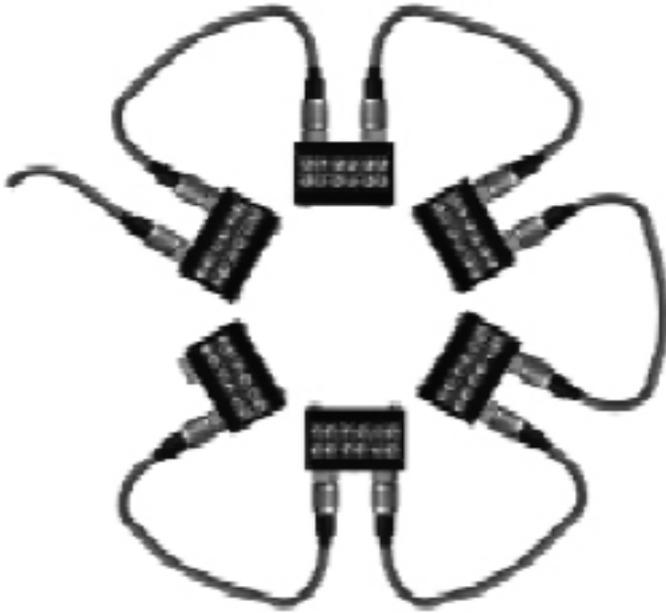


图2: VarioFlash模块之间可如所示相互连接,形如菊花。这些连接到一起的模块所受的唯一物理限制就是其数目决定于电源所提供的能量。我们还可以使用这类模块搭建起不同的照明环境。

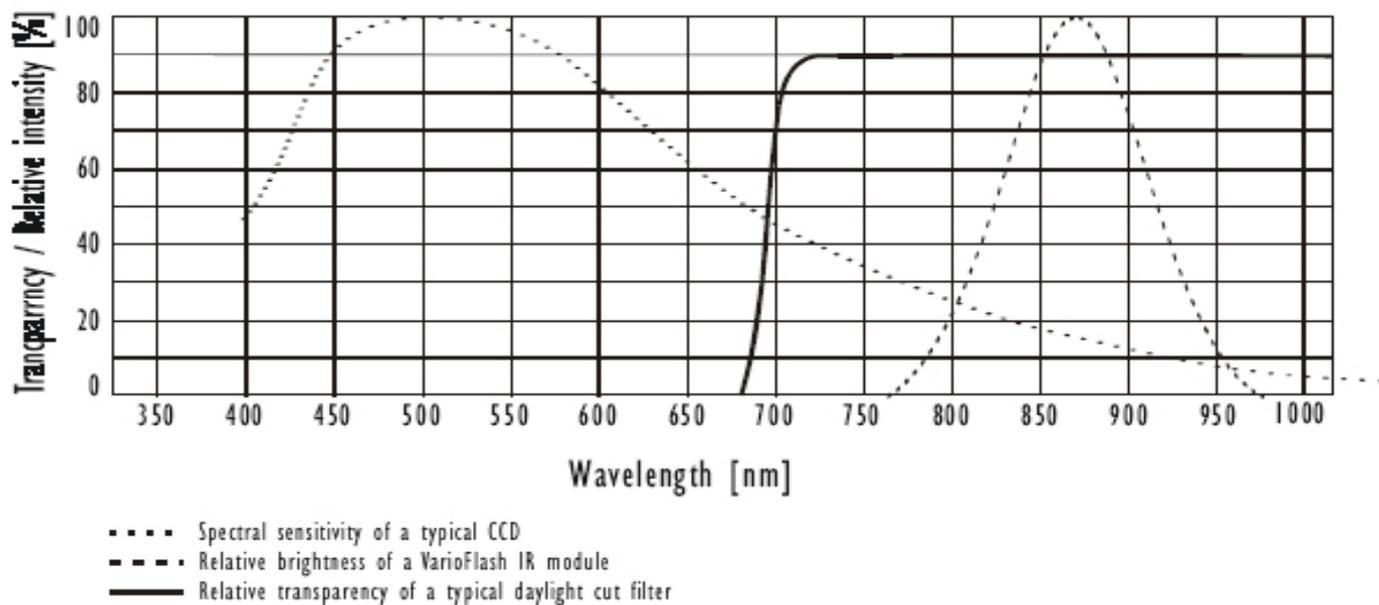


图3: CCD芯片远比肉眼对光谱中的红色敏感。尽管CCD在这一区域的感光度远低于起最大值,但其绝对值仍大大高于VarioFlash红外模块的绝对强度。但相对于VarioFlash红外模块的亮度,它十分之高。这里重要的一点是如果使用了日光滤光片, CCD就将完全无法对肉眼的可见光(400~700nm)

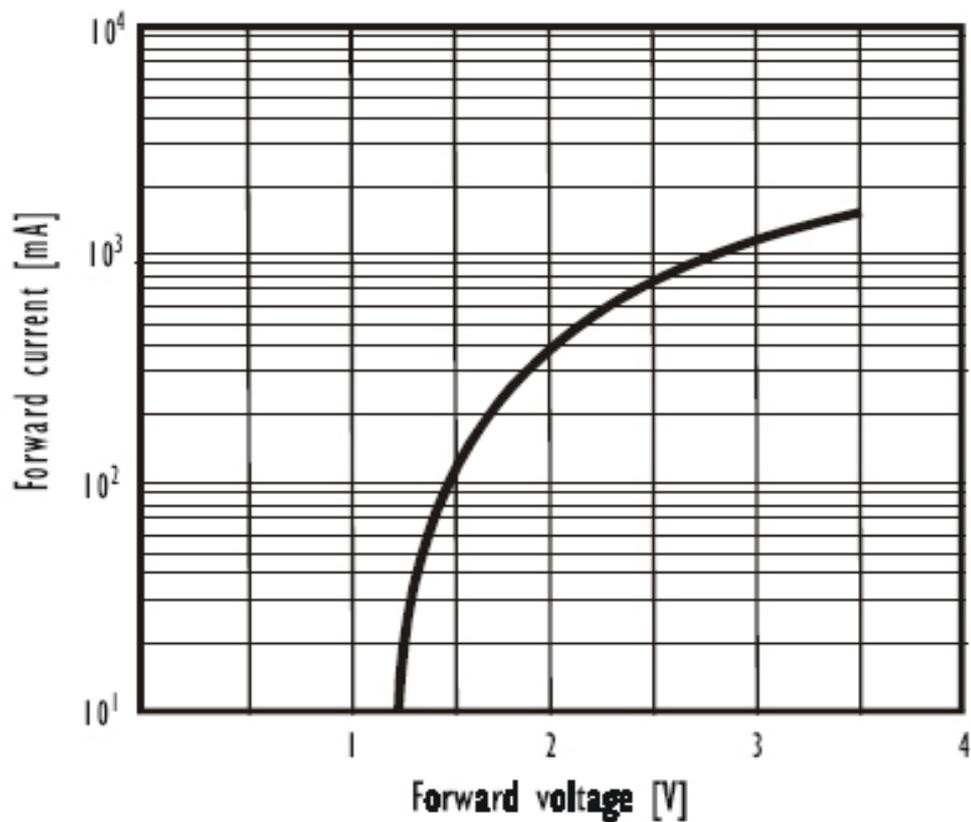


图4：如果缓慢增加一个二极管上的正向电压，当超过了阈值后电流将骤增。如果在开启模式使用 VarioFlash 模块，我们只能少许提高该电压（额定电压），否则二极管将被损毁。VarioFlash 中发光二极管的额定电压为 1.5 伏，额定电流为 100mA。

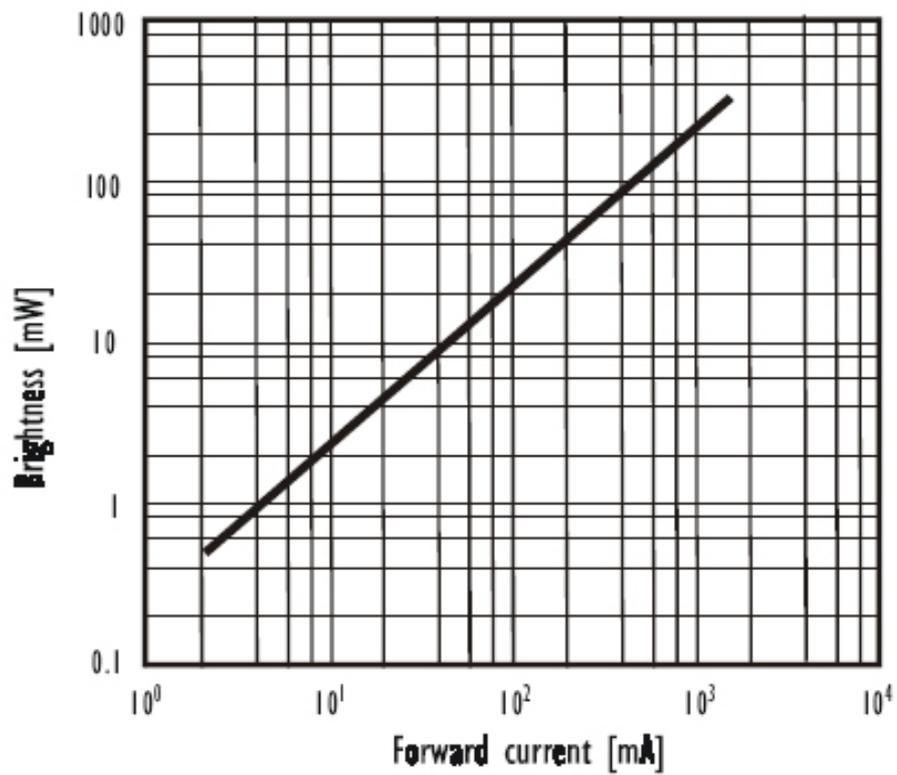


图5：此图表明LED光强与流经其电流成线性关系。

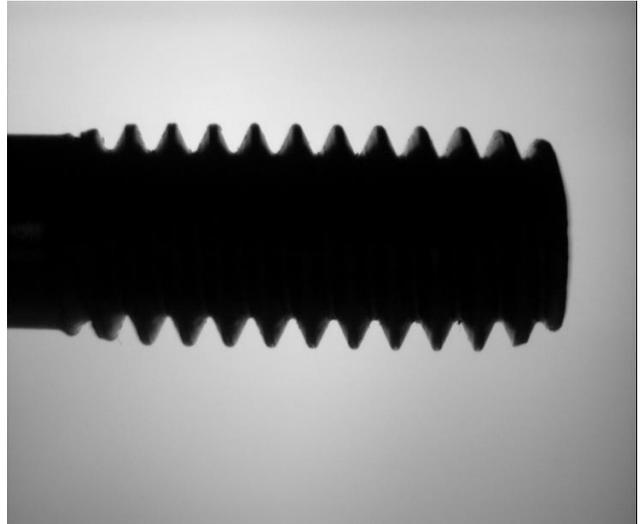


图6 左：如目标物体或多或少得有些透明（比如espresso罐的盖子），我们可以使用逆光来照亮其内部结构。这一方法尤其适用于检测非均质区域或瑕疵。 右：如果我们只对一个物体的边缘感兴趣，那么我们可以使用轮廓投影法。轮廓投影所呈像为黑白单色，其中深色区域为物体本身，浅色区域为背景。这两幅图片都是在实验室中使用VarioFlash红外模块和一个临时制作的漫射器拍摄而得。图7将说明具体设置。

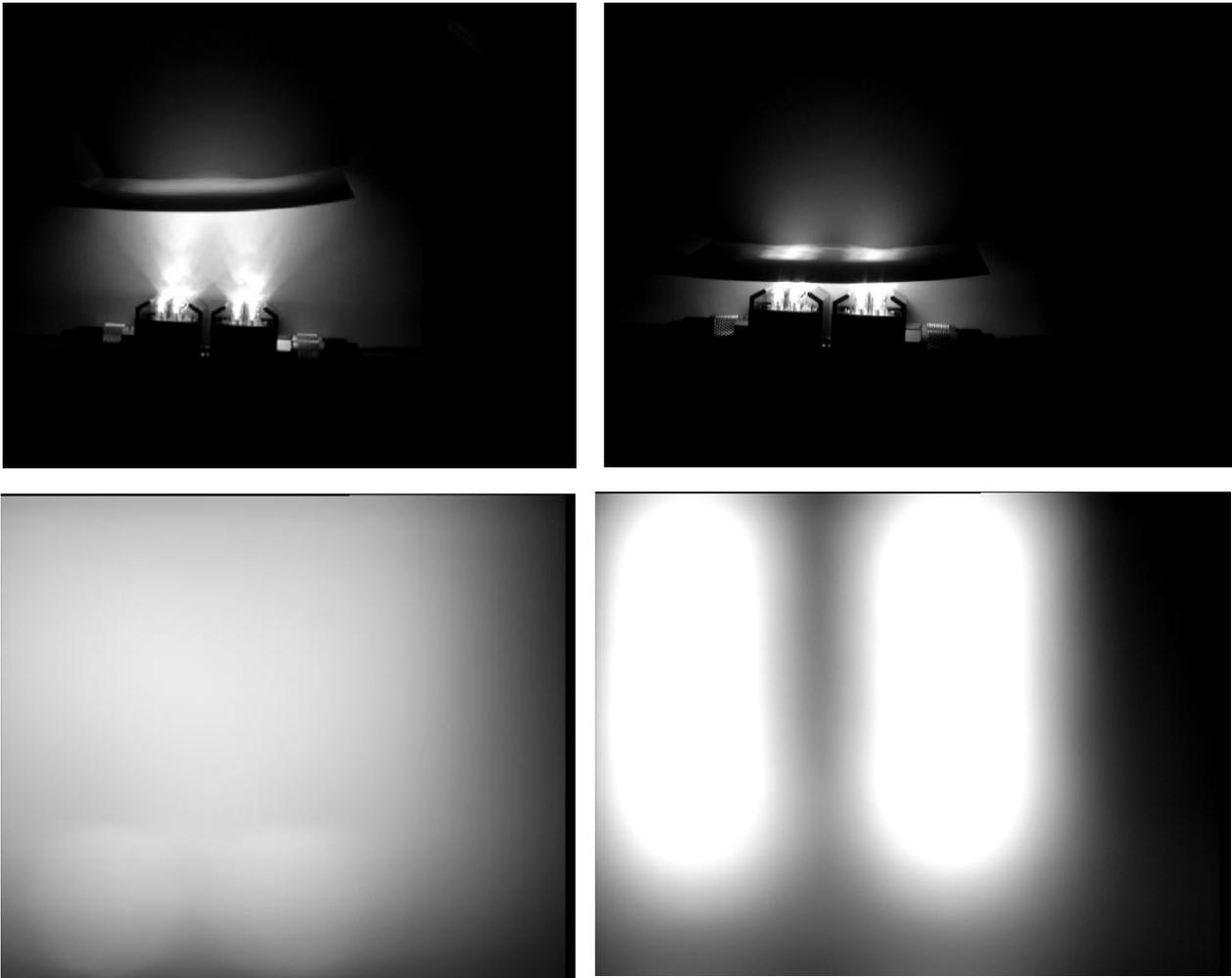


图7 左上：光源与漫射器之间的距离足够大，这样两个并排的VarioFlash可以生成一个光线均匀的区域。 右上：如果将光源与漫射器彼此靠近，就将生成两个分开的小些的光亮区域。每个都是均匀的而且更亮。



图8 左：一个简单的实验室模型显示了两个VarioFlash模块就能如此简单地产生一个与环形灯相同的效果。如果需要照亮更大的区域，只需将若干VarioFlash模块如图2一样菊形连接起来即可。
右：相机拍摄的照明区域。



图9 左：如果目标体积小，我们只需要一个VarioFlash。但如右图所示，图像远不能让人满意。原因就是目标物体表面为金属且反光。相机没有看到物体本身，相反它看到的只是光源的镜像（在LED模块情况下）。结果得到的图像就只是一片极亮的区域。而该问题的解决方法由图10示出。



图10：使用漫射光可以解决图9中所示的反射光问题。这种方法需要使用一个表面毛糙的白色反射器来照亮目标物体。在实验中我们使用的是一张纸。VarioFlash模块必须直接照射到这张白纸上，而白纸将生成漫射光从而照明金属物体。与图9相比，此方法的效果明显不同。图9中金属物体后面的阴影就是光线直射的结果之一。但在上图中这些阴影完全消失。阴影是随反射一起出现的。

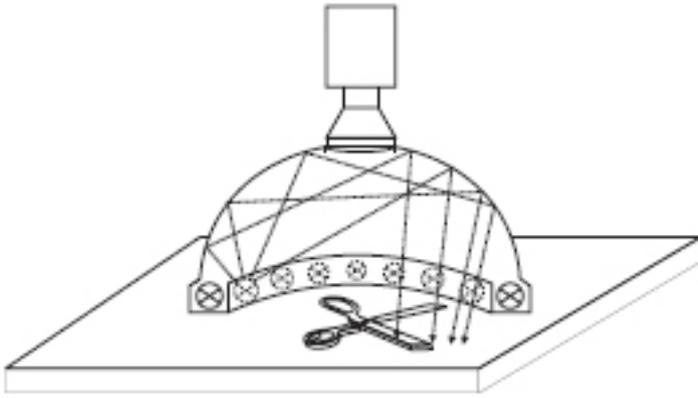


图11：使用Ulbricht球面，我们可以得到几乎完美的散射光。光线在该球形内壁反射多次后生成几乎完美的漫射光。由于其体积所限，它不可能适用于所有工业测量的应用场合，因为在这些场合里照明设备都需要被集成到机器内部。此外，采用Ulbricht球面作为照明方案也价格不菲。

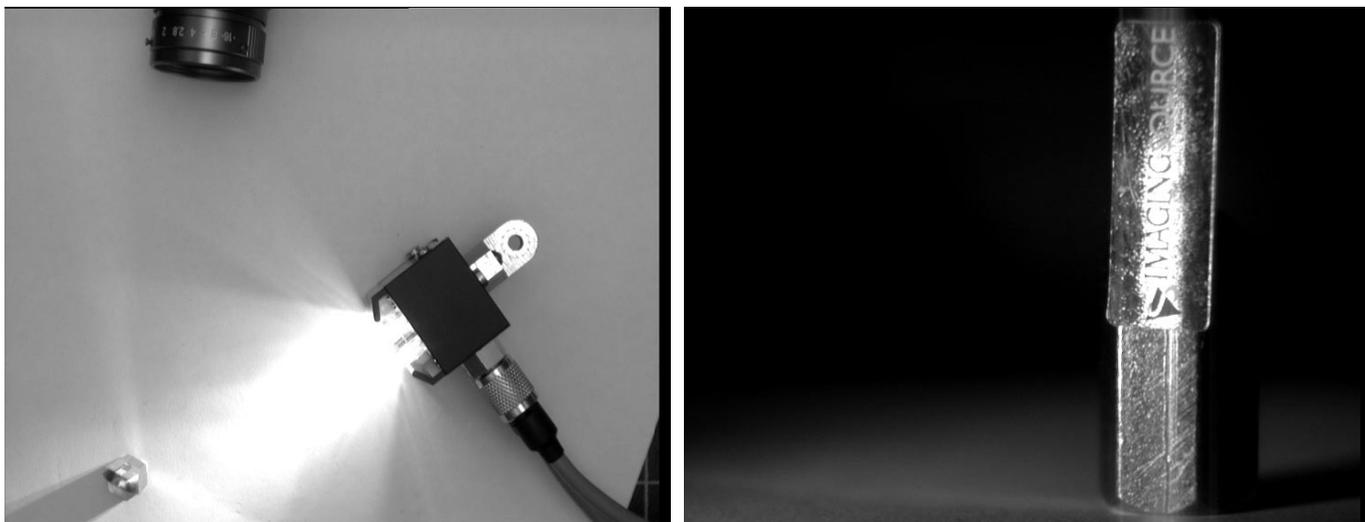


图12 左：如果对图9中的设置做少许改变，直射光就可以在在某些情况下变得可用。LED模块只需按逆时针旋转几度，这样它光线的中心就刚好落到了目标的左边。结果出乎意料：除了该金属物体中部的少许反射外，其它所有反射都消失了。而目标表面的结构则清晰可见。图13将解释这一现象。

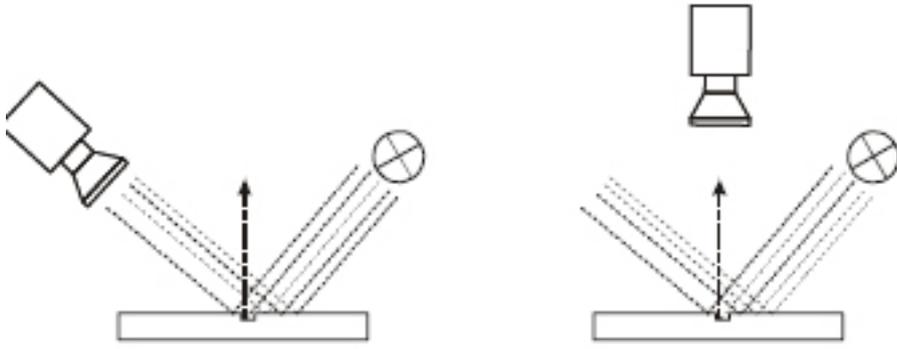


图13 左：亮域照明生成一副明亮的图像。图像中所感兴趣的部分（此例中的划痕）显示为灰暗的线。 右：暗域照明正好与之相反。