

激光散斑抑制白皮书

Laser Speckle Suppression White Paper

激光图形化解决方案供应商

编写者 | 高文宏

目录

一、 什么是散斑现象	1
二、 散斑分类	2
三、 散斑评价标准	4
四、 影响散斑对比度因素	6
(一) F 值	6
(二) 偏振性	6
(三) 波长带宽	7
(四) 环境亮度	7
(五) 图像类型	8
五、 散斑抑制方法	9
(一) 破坏时间相干性降低散斑	9
(二) 破坏激光空间相干性消除散斑	10
(三) 相位叠加消除散斑	11
(四) 降低入射激光偏振性抑制散斑	11
(五) 多种降低散斑方法相结合	11
六、 复合散斑抑制方案	13
七、 应用案例	15
(一) 机器视觉领域	15
(二) 视觉检测领域	16
(三) 精密曝光领域	16
(四) 激光显示领域	17
(五) 激光照明领域	17

八、 产品规格型号	19
参考文献	21



一、什么是散斑现象

早在 60 年代，在激光投入使用时，人们就惊奇地发现散斑现象^[1]。当以激光为照明光源，照射粗糙表面(如显示屏幕,墙壁，打印纸)，人们看到的是具有很多颗粒状，无规律排列，分布于空间的图案。这种非均匀的图案被称之为散斑。散斑现象是由于激光的相干性及显示介质表面的粗糙导致^[2]。假设 CCD 相机具有足够的分辨率，在 CCD 传感器上接收到的图像，一像素和相邻另外一像素上受到的曝光强度不等，图像为明暗随机分布的散斑图像，如图 1.1 所示。



图 1 散斑图像^[26]

将 CCD 相机沿光轴移动，每移动一次获得一个散斑图像，基于多个散斑图像建立三维结构，形成散斑的立体图像，如图 1 所示，散斑沿光轴方向尺寸变化且连续，因此人们在看到散斑时，在空间三个维度上均随机变化，微小的移动，均会感知散斑图像的改变。

二、散斑分类

基于散斑的成像原理，散斑图像可以分为两种：客观散斑和主观散斑^[1]。客观散斑是指一束激光经粗糙表面反射后，直接散射到成像面如图 2(a)所示。那些从粗糙表面上不同点反射的光线在成像面上同一点发生干涉。干涉相消占多数时该点为暗，干涉相长占多数时，该点为明。因此形成散斑。客观散斑大小可以根据如下公式计算：

$$S_{obj} = \lambda \frac{d}{a}; \quad (2-1)$$

a 为粗糙表面（屏幕）上，激光照射并发生反射区域的直径， d 为粗糙表面（屏幕）到成像面距离。

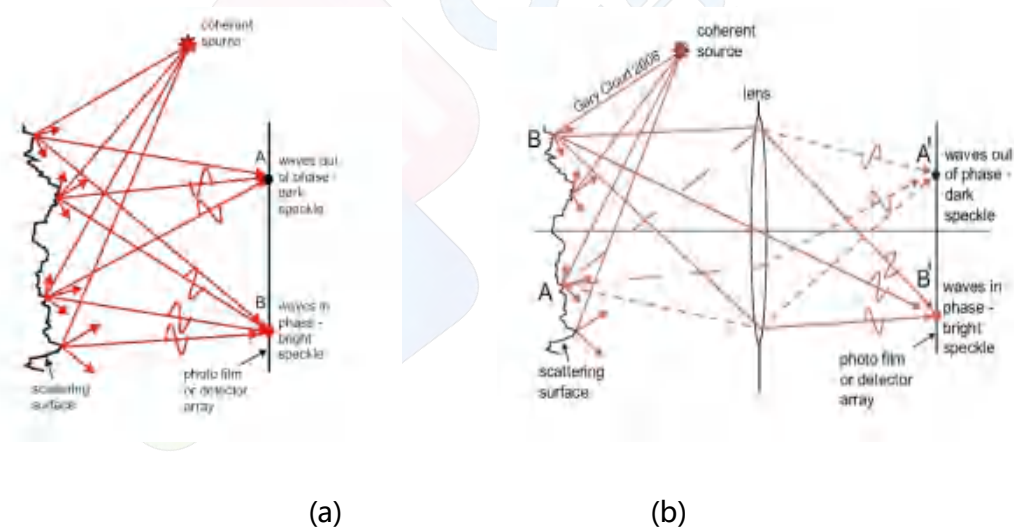


图 2 客观散斑(a)和主观散斑(b)^[27]

主观散斑是指一束激光经粗糙表面反射后，由于粗糙表面形成多束散射光，散射光经透镜汇聚到视网膜或者 CCD 传感器成像如图 2(b)所示。此时，经粗糙表面某点反射的多束光线经透镜汇聚后，成像在视网膜或 CCD 传感器对应的一

点上。此过程中，被透镜汇聚的每束光线经过了不同的传播路径，在视网膜或 CCD 传感器某点上发生干涉。由于他们的相位均不相同，形成了随机分布的亮区域和暗区域。主观散斑尺寸大小为：

$$S_{sub} = \lambda \frac{f}{a} = \lambda F / \# \quad (2-2)$$

a 是透镜光圈孔径， f 是透镜焦距， $F/\#$ 是透镜光圈 f 值。由于人眼晶状体汇聚作用，人眼所看到的散斑图像均为主观散斑。



三、散斑评价标准

根据 Goodman^[1]推导, 激光光源在单波长, 线性偏振, 没有任何干扰的理想情况下, 一幅静态散斑图像所有像素灰度值的标准方差等于它们的平均值。因此把图像的所有像素灰度值的标准方差和平均值比值作为散斑的评价标准, 即散斑对比度。把散斑对比度为 1 的散斑图像称为 “fully developed”

$$\sigma_{I_{RI}} = E(I_{RI}) \quad (3-1)$$

I_{RI} 为光强分布。

当利用某种方法抑制散斑时, 如旋转的散射体, 振动屏幕等方法, 人眼或 CCD 相机接收到的图像上, 所有像素灰度值的标准方差将小于平均值, 散斑对比度值下降, 因此利用散斑对比度 C 量化散斑图像和评价散斑抑制方法

$$Cr = \frac{\sigma}{\langle I \rangle} = \frac{\sqrt{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}}{\langle I \rangle} \quad (3-2)$$

通常用散斑对比度作为激光散斑严重程度的评价指标。



图 3 散斑对比度分别为 70.7%, 31.7%, 14.1%, 2.8%

对于人眼所能接受的最小散斑对比值, 现在还没有统一的标准。Stupp 和 Brennesholtz^[3]认为当散斑对比度小于 2%, 人眼是识别不出来的。Wang^[4]根

据人眼对光强变化 4%无法识别的假设，认为最小散斑对比度为 4%。然后 Goldenberg^[6]和 Trisnadi^[5]分别认为最小散斑对比应小于 6%和 8%。Yun Mi Lee 通过人眼测试，当散斑对比度在 3.4%^[7]以下时，无论在明亮或暗的环境下，人眼是无法分辨出来的。而绝大部分论文采用的标准为 4%。



四、影响散斑对比度因素

（一）F 值

激光投影中影响散斑对比度因素之一是探测器或观察者的 F 值^[8]。采用变化光圈孔径调整 F 值，测量散斑对比度变化。得到 F 值同散斑对比度的关系如下图所示。散斑对比度随 F 值增加而增加。F 值达到一定值后，趋于常数。

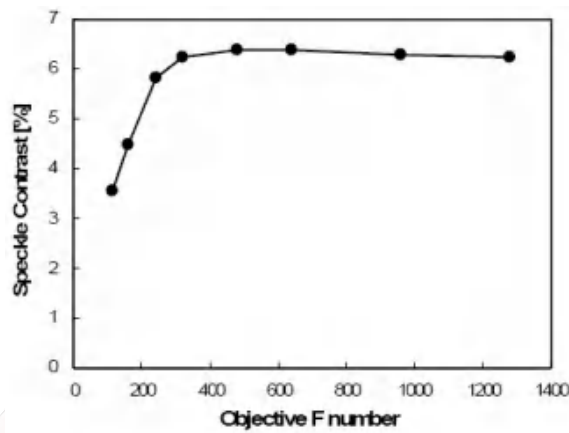


图 4 激光显示中 F 值同散斑对比度之间的关系

而人眼的瞳孔大小为 3mm 左右（或 1.5mm^[9]），观察者距离激光电视 2 到 10m。因此 F 值一般为 700 到 3000 之间。此时散斑对度处于最高值。因此在测量散斑是，采用高 F 值，获得同人眼相同效果。

（二）偏振性

假设 I_1 和 I_2 是两个垂直偏振态方向上的光强,那么偏振度 $P=(I_1-I_2)/(I_1+I_2)$ 。激光是一种典型的线偏振光源, P 为 1。当散射后, 偏振度降低导致散斑对比降低。偏振度与散斑对比度关系如下:

$$C = \sqrt{\frac{1 - p^2}{2}} \quad (4-1)$$

当激光经粗糙屏幕反射后，激光成为一个非偏振光或部分偏振光，P 值接近或等于 0，因此散斑对比度为 $2^{-1/2}$ 。因此，在没有散斑消除机制的情况下，屏幕上的散斑为 70.7%。而激光器必须经过偏振片退偏，保证入射激光为线偏振。

(三) 波长带宽

根据公式 2-6^[10]可知，激光波长带宽同散斑对比度成反比。及激光波长范围越大，则散斑对比度越小。散斑效果越不明显。

$$C = \left[1 + 2\pi^2 n^2 \left(\frac{\delta_\lambda}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{\delta_v}{\lambda} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{4}} \quad (4-2)$$

其中 δ_λ 是激光波长带宽， $\bar{\lambda}$ 是平均波长， δ_v 是在体散射中传播路径标准偏差。

(四) 环境亮度

由于散斑对比度是标准方差同平均值的比，因此散斑对比度随环境平均亮度增加而降低^[10]。因此散斑测量过程中，在暗室进行。

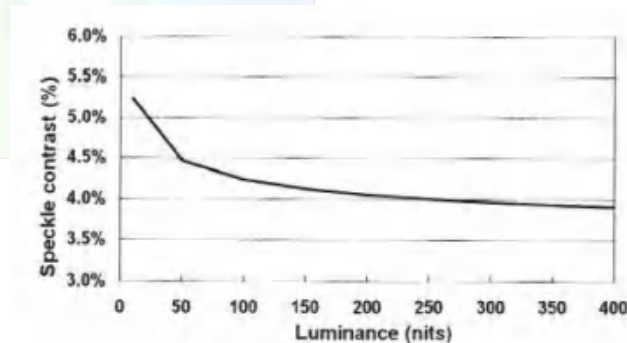


图 5 环境亮度与散斑对比度关系(采用 532nm 绿色激光，相干长度为 3mm，利用 LCoS 图像调制，图像为 1024×1024 像素，曝光时间与人眼积分时间相同，为 50ms。屏幕为普通打印白纸。CCD 距离屏幕 2m。

(五) 图像类型

一般，人眼对动态图像分辨能力小于静态图像。因此在静态图像上，人眼对散斑对比度要求会更高。经试验测量，在 350nits 环境下，静态图像散斑对比度要小于 3%。而动态散斑对比度 3.3%即可接受^[10]。因此散斑测量中，采用静态图像。

4.6 其他因素

如果散斑尺寸小于 CCD 传感器或人眼最小分辨率，则传感器或人眼不能正确记录散斑特性，因此缩小散斑尺寸也是减弱散斑影响的方法之一。但散斑尺寸也是影响正确评价散斑对比度的一个因素。



五、散斑抑制方法

自60年代早期激光被发明以来，很多科学家热衷于激光散斑的研究^[11, 12, 13]。在过去40年消除散斑的研究中，形成了很多降低散斑的方法。目前大致可以分为四大类：1)是通过控制激光光源的时间相干性来降低散斑，如长距离光纤耦合输出，光路中增加不同厚度的介质，或通过温控变化激光波长等方法；2)是通过控制激光光源的空间相干性来降低散斑；如变化激光入射角，变化偏振性，激光阵列等方法；3)相位叠加的方法消除激光散斑^[12]，例如Sony公司GLV系统中，通过振动具有Hadamard矩阵的漫射体，三星公司SOM系统中具有静态Barker码的漫射体，及LG公司的旋转随机散射体或者振动屏幕；4)降低光束偏振性抑制散斑。

（一）破坏时间相干性降低散斑

根据Nicholas George^[13]和Goodman^[12]可知，散斑随机分布于屏幕前方。如果通过某种调制，如震动屏幕或旋转散射片，使得散斑快速运动起来，由于人眼对光的积分效应，人眼是看不到散斑的存在。这种随时间变化的散斑现象称为动态散斑。这种变化归结为两种基本形式：“沸腾”（散斑图样整体表现为无规运动）和“冷结”（散斑图样整体表现为按某种规律运动）散斑^[13]。这种控制激光时间相干性消除散斑的方法可以通过变化激光波长(或者频率)、宽带光源或脉冲光源，运动散射体等方法来实现。

而变化激光波长(或频率)可以有效降低散斑，并且没有光能损失，系统最为简单。然而这种同时单独控制多个不同波长的半导体激光器并不是件容易的事，

并且造价昂贵。

采用单个宽带激光作为光源照射屏幕时，假设波长带宽为 $\Delta\lambda$ ，散斑对比度降低比率为 $(\Delta\lambda/\delta\lambda)^{-1/2}$ 。而采用脉冲激光散斑对比度降低为 $(\Delta\lambda/\delta\lambda)^{-1/2}$ 。其中 $\Delta\lambda=\lambda^2/c\Delta\tau$ ， c 为光在介质中传播速度， $\Delta\tau$ 为脉冲带宽。

(二) 破坏激光空间相干性消除散斑

控制激光光束空间相干性是调整激光光束基元光波的空间相位分布，从而改变了散斑的空间分布，在空间上将多个散斑图像相叠加，得到一个光能分布均匀的图像。目前主要采用激光阵列及角度入射，下面将分别阐述。

如果两束具有不同波长，经屏幕反射后相位差不为零，他们就是非相干光。假设屏幕表面轮廓最大高度 R_y ，那么两束光波长差应 $\delta\lambda=\lambda^2/2R_y$ 。如果有 N_y 个激光光源，且他们之间的波长差为满足 $\delta\lambda$ ，那么散斑降低比例 $N_y^{-1/2}$ 。为一束日本Sony公司研发了这种通过控制相互干扰温度激光阵列^[26]实现散斑消除。试验结果显示，中心波长640nm激光阵列，波长范围增加4nm，散斑对比度从20%降低到5%。结合转动散射体，散斑对比度达2%。这个散斑消除方法造价昂贵，并且必须和旋转散射体相结合，给系统带来不可靠性，仍旧很难小型化。

相对于激光阵列，入射角度调制要简单的多。假设一束激光经投影透镜照射屏幕成形一个像素，入射角的立体角为 Ω_{proj} ，而观察者瞳孔到屏幕上的这个像素立体角为 Ω_{det} 。根据Trisnadi^[13]可知，由于入射角度的变化，每个像素为非相干，因此在人眼积分时间内，图像的散斑对比度为 $(\Omega_{\text{proj}}/\Omega_{\text{det}})^{-1/2}$ 。而在激光显示中， $\Omega_{\text{proj}}/\Omega_{\text{det}}$ 一般在7左右，因此降低比率十分有限。

(三) 相位叠加消除散斑

通过相位调制产生 N 个不相干图像，散斑对比度降低比率为 $N^{-1/2}$ ^[15]。此方法具有代表性的是 Trisnadi 的 Hadamard 矩阵^[5,16,17]。布朗运动屏消除散斑方法^[21]。其它利用光学元件分束，调制相位叠加的方法也有报道^[18,19,20]。

调制相位分布的另一个方向是采用二进制码刻蚀散射体，利用行扫描过程调制相位，实现静态消除散斑。代表性的是 Sumsung 公司的 Barker^[20,22]码消除散斑（见本论文第四章），该方法降低散斑对比度从 43% 到 17.1%。虽然降低比例有限，但是为我们提供了一个消除散斑的新思路。

(四) 降低入射激光偏振性抑制散斑

激光具有很高的偏振性，而偏振性同样影响散斑对度^[23]。根据 Goodman 推导，激光偏振度同散斑对比度关系如下公式^[23]：

$$c = \sqrt{\frac{1 + d_{pol}^2}{2}} \quad \text{其中 } d_{pol} \text{ 为光束偏振度}$$

线偏振激光光束照射具有波长相当的粗糙表面时，若不改变激光偏振性，散斑对比度为 1。由于屏幕的退偏作用，散斑对比度小于 1。当 d_{pol} 取最小值 0 时，散斑对比度降为 $c = 1 / \sqrt{2}$ 。因此采用强退偏作用的屏幕在一定程度上可以抑制散斑，最降低比率只有 70%。

(五) 多种降低散斑方法相结合

根据如上介绍，各种散斑消除方法有各自的优缺点每一种散斑抑制方法对散斑的抑制效果有限，因此采用复合方法消除散斑是一种有效降低散斑的方法；

根据Goodman^[23]和Trisnadi^[13], 采用多个散斑消除方法时, 每种散斑抑制方法相互独立, 具有非相关性, 则最终散斑对比度为各个对比度的乘积。

$$C = C_1 \times C_2 \dots \times C_n$$

如何实现散斑抑制, 同时不影响光效率和光学扩展量, 或破坏激光的单色性, 是散斑抑制方案制定时需要考虑的关键问题。由于每一种激光应用是利用激光的某一特性, 在激光散斑抑制时, 需要避免对该特性的影响, 因此每一种应用中激光散斑抑制的方案均会有不同, 需要根据光路设计制定散斑抑制方案。



六、复合散斑抑制方案

散斑抑制模组内置光学系统和高频运动散射片，NA0.22 光纤输出光束可直接耦合到该模组，在散斑模块内进行 100kHz 高频相位调制，偏振态转换以及时间相干性调制，再次耦合到输出光纤，实现光纤输出。同时内部设置了功率反馈，可以实现监控输入功率和输出功率的波动，与激光光源同步调制，实现功率稳定输出，实现了光束的“稳压”功能。



图 6 激光散斑抑制模组

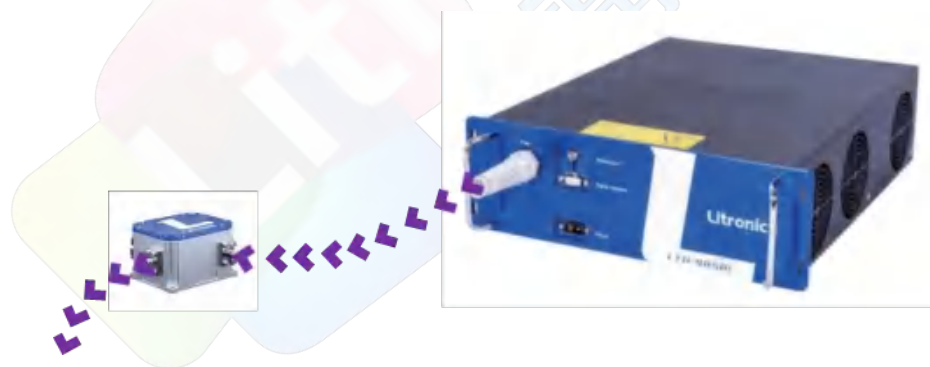


图 7 激光散斑抑制模组系统组装

为了进一步降低散斑，可以定制宽光谱激光光源，以 405nm 为例，光谱带宽到 6nm ($1/e^2$)，可由有效的降低散斑。

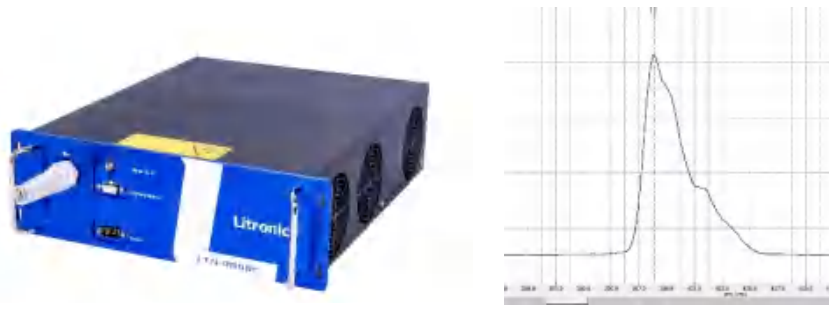


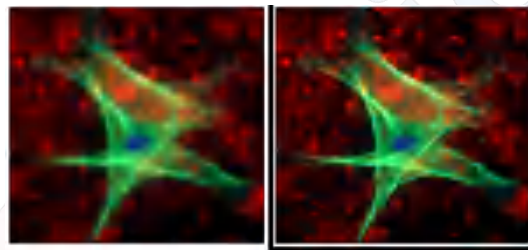
图 8 低散斑激光光源

散斑抑制效果明显，散斑对比度小于 4%；一体化设计，插光纤即用；可监控和反馈激光输出光功率，动态调节驱动，输出光功率波动小于 1%；相位变化频率大于 100kHz，满足显微，检测，滚动曝光等多种快速应用场景；输出功率及波长可定制。

七、应用案例

（一）机器视觉领域

在激光照明领域，利用激光的单色性和高光束质量，用激光作为照明光源，实现显微观测或远距离照明，但由于激光的相干性，导致散斑图形或灰尘颗粒图像叠加在被测物表面，或经过光纤输出后在被照明物表面形成散斑图像，掩盖了观测图形信息；以激光为照明光源的显微系统中，低散斑激光光源可以使输出图像更加清晰，在单一波长下呈现更多信息。

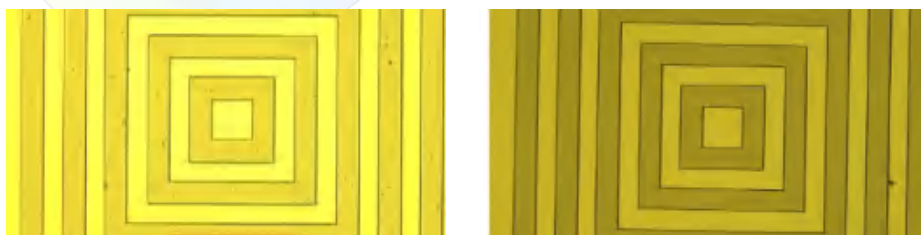


传统激光光源

低散斑激光光源

图 9 激光散斑对显微镜的影响

有效消除了光学系统中光学元件上微小缺陷或灰尘导致的图像缺陷。



有缺陷图案

无散斑下图案

图 10 激光散斑对显微图像的影响

（二）视觉检测领域

在线激光轮廓仪或结构光检测上，利用激光高光束质量和窄线宽特性，实现极窄线激光实现 3D 轮廓检测。激光经过鲍威尔棱镜整形为线激光，照射到被检测物表面，经过被检测物表面反射后，萨姆镜头汇聚到 CCD 传感器上，获得线激光的图像。为了提高检测精度，线激光通常较细，且高斯分布，由于激光的散斑现象，导致线激光断断续续，同时破坏了高斯分布，导致无法高精度检测。本技术方案，在一定程度上消除了激光散斑现象，提高了检测精度。



有散斑的线激光



低散斑的线激光

图 11 激光散斑对线激光轮廓仪的影响

（三）精密曝光领域

在精密曝光领域，利用激光的高光束质量，实现高精度、高效率的曝光。采用 405nm, 378nm 或 355nm 激光为照明光源，经激光光源经过整形后，照射到掩模版或 DLP 芯片上，再利用透镜投影到曝光面。为了提高曝光精度，通常照明光源 NA 值较小，激光照射到掩模版或 DLP 上的灰尘颗粒时，形成干涉散斑形象，与灰尘颗粒图形叠加，导致灰尘颗粒边界锐利，形成明显的缺陷图像；同时激光散斑现象在曝光面上与曝光图像重叠，导致部分线条断线或过曝光，影响了曝光精度。

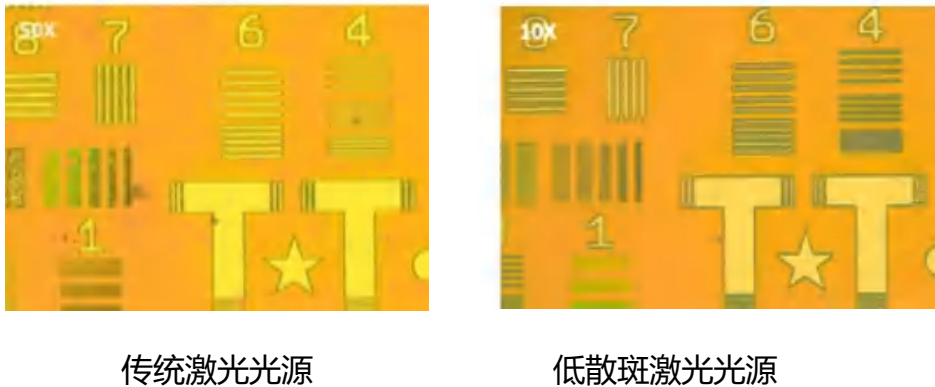


图 12 散斑对精密曝光的影响

(四) 激光显示领域

在激光显示上，利用RGB激光的广色域，长寿命和高亮度特性，将激光光源作为照明光源，经过光束整形后照射到DLP或LCoS芯片上，然后再经过镜头投影到屏幕上。由于激光的相干性导致经屏幕反射后，在视网膜上的图形具有散斑现象，高F/#数投影系统中散斑尤为明显，通常观看者感受到屏幕前“闪烁”的颗粒感，散斑现象影响图像解析度，同时导致观看者眩晕感，因此需要散斑的抑制。

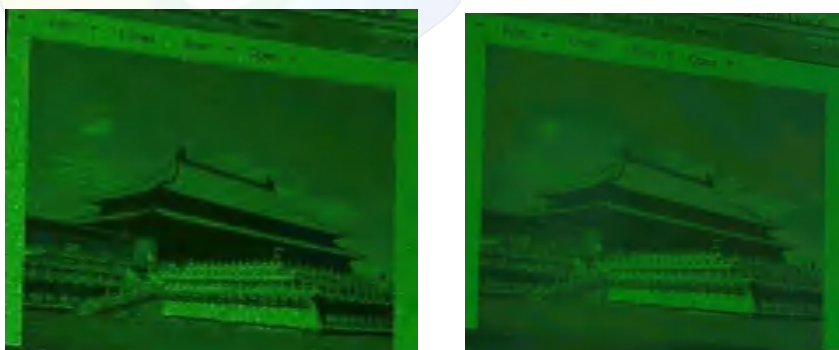
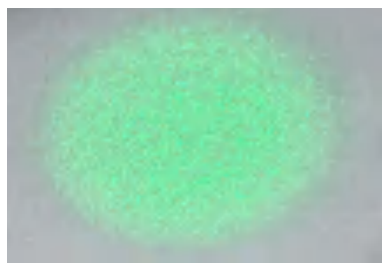


图 13 散斑对激光显示的影响

(五) 激光照明领域

在激光医疗或激光探照设备中，低散斑激光光源可以有效抑制散斑现象，照度更加均匀，避免治疗过程中激光灼伤现象，探测图像更加清晰。



传统激光光源



低散斑激光光源

图 14 激光散斑对照明的影响

八、产品规格型号

产品 Product	消散斑激光模组 Laser Despeckle Module	低散斑激光光源 Low-speckle Laser Source
工作波长 Operating Wavelength	375nm/405nm/455nm/525nm/803nm (可定制)(Customizable)	402nm,波长带宽 6nm@1/e ² 402 nm,wavelength bandwidth of 6nm(@1/e ²)
输出功率 Output Power		10w,波动<1% 10w with fluctuation <1%
光纤 Fiber Parameter	SMA905(可定制),Mar NA0.22,多模/单模, 输出光纤直径大于输入直径 Multimode/Single mode,the output fiber diameter is greater than the input fiber diameter	SMA905(可定制),Max NA0.22 SMA905(customizable),Maximum NA 0.22
外形尺寸 Dimensions	109mm*53mm*108mm	377.7mm*290mm*102mm
重量 Weight	0.625kg	5.8KG
散热 Cooling System		TEC+风冷 TEC+Air Cooling
驱动电压/功耗 Driving Voltage/Electrical Power	12V/2A 电源输入接口 12V/2A Power Input Interface	24V
I/O		D-sub
报警信息 Alarm		过温&过压 Over-Temperature &Over-Voltage Protection
工作温度/湿度 Operating Temperature/Humidity		+10℃~+30℃,<70%RH
振动 Vibration	低(取决于机械安装件) Low(Depending on mechanical mounting)	
光效率 Optical Efficiency	大于 80%@输入光纤直径 375μm,输出光纤 直径 400μm Greater than 80% @ Input fiber diameter 375μm, Output fiber diameter 400μm	

功率反馈 Power Feedback	DA 值(DA Value)
工作频率 Frequency	Max 100kHz
电功耗 Power Consumption	<5W
其他功能 Additional Features	功率反馈/自动调节风扇转速 Power Feedback/Automatic Fan Speed Regulation



参考文献

- [1] Goodman. J.W, "Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications" , Ben Roberts & Company, Colorado, 359-362 (2006).
- [2] H.Y. Luo, Ph.D. thesis, Colloidal processing of PMN–PT thick films for piezoelectric sensor applications, Drexel University, 2005.
- [3] Stupp, E. H., Brennessoltz, M.S., Projection displays[J] wiley&Sons, Chichester, West Susses, England 1999.
- [4] Wang, L., Tschudi, T., Halldorsson, T., and Petursson, P.R., Speckle reduction in laser projection Systems by diffractive optical elements[J], Applied Optics, 37, 1770-1775 1998.
- [5] J. I. Trisnadi, C. B. Carlisle, and R. Monteverde "Overview and applications of grating light valve based optical write engines for high-speed digital imaging," Proc. SPIE. 5348, 52–64 (2004). Gary Cloud, Optical Methods in Experimental Mechanics[J], 2007, Society for Experimental Mechanics, 16-19.
- [6] Rear Projection Screens for light Valve Projections Systems" Goldenberg, et al., SPIE vol. 3013, pp. 49-59, 1997.
- [7] Yun Mi Lee, Dong UK Lee, Jong Myoung Park, a study on the relationships between human perception and physical[P], SID, 2008, Seocho-gu, Seoul 1347-1350.
- [8] Li Xia, Hao Li, Liu weiqi, Speckle reduction in laser display[J], Chinese

Journal of Liquid Crystals and displays, 2007, 22-3,311-324.

- [9] Mingjie Sun, Zukan Lu, Speckle suppression with a rotating light pipe[J], Optics Engineer, 2010, 49(2), 024202-1-6.
- [10] Falko Riechert, Felix Glöckler, and Uli Lemmer, "Method to determine the speckle characteristics of front projection screens," Appl. Opt. 48, 1316-1321 (2009).
- [11] Talmadge HG. Physical Principles of Display classifications. Washington: Washington Spartan Books, Inc.,1963.
- [12] J. W. Goodman, Laser Speckle and Related Phenomena, J. C. Dainty, 9–75 (1984).
- [13] J.I. Trisnadi, "Speckle contrast reduction in laser projection displays" , Proc. SPIE. 4657, 131-137(2002), Projection Displays VIII.
- [14] Nicholas George and Atul Jain, "Space and Wavelength Dependence of Speckle Intensity," Appl. Phys. 4, 201–212 (1974).
- [15] Ha W, Lee S, " Speckle Reduction in Near-field Image of Multimode Fiber with a Piezoelectric Transducer" J. Optical Society of Korea,12-3(2008).
- [16] Trisnadi, J. I. "Display apparatus for displaying two-dimensional image, forms phase modulated wavefront that produces multiple . speckle patterns as line image is scanned over display screen" P.us(2003)

- [17] J.I.Trisnadi, "Hadamard speckle contrast reduction" , J. Opt. Lett. 29-1, 11-13 (2004).
- [18] Lin, H. B. "Speckle mechanism in holographic optical imaging" J.Optics Express, 15-25(2007).
- [19] Yurlov V, Lapchuk A, Yun S, Song J, Yeo I, Yang H, An S, "Speckle suppression in scanning laser displays: aberration and defocusing of the projection system" J.Applied Optics. 48-1, 80-90(2009).
- [20] Victor Yurlov, Anatoly Lapchuk, Sangkyeong Yun and Jonghyeong Song, "Speckle suppression in scanning laser display," J. Applied Optics, 47-1, 179.187 (2008).
- [21] Falko Riechert, Georg Bastian, Uli Lemmer. "Laser speckle reduction via colloidal-isppersion-filled projection screens" . Journal of Applied Optics. 48. 3742-3749(2009).
- [22] Sang Kyeong Yun et al, "Spatial Optical Modulator. (SOM) : high density diffractive laser projection display," . Proc SPIE 6487(2007).
- [23] Goodman. J.W, "Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications" , Ben Roberts & Company, Colorado, 359-362 (2006).
- [24] Falko Riechert, Georg Bastian, Uli Lemmer. "Laser speckle reduction via colloidal-isppersion-filled projection screens" . Journal of Applied Optics. 48. 3742-3749(2009).
- [25] A. Furukawa, N. Ohse, Y. Sato, D. Imanishi, K. Wakabayashi, S. Ito,

K.Tamamura,andS. Hirata, "Effective speckle reduction in laser projection displays," Proc. SPIE 6911, 69110T (2008).

[26] D. Gabor, "Laser speckle and its elimination" IBM J. Res. Dev. 14, 509-514 (1970).

[27] Gary cloud, "Demonstrations of Laser Speckle Phenomena" J. Experimental technique. Am (2006).



公司成立于2016年，位于江苏省苏州市高新区科技城，从事激光图形化部件级产品研发和生产。公司由国家万人计划创业领军人才联合创立，50+人技术团队，11年光机电研发经验，在激光散斑抑制、光源集成和整形，高精度曝光镜头设计装调，DLP/LCoS/CMOS芯片开发拥有120+知识产权，产品用于激光直写，类半导体光刻，增材制造，3D机械视觉，激光影院，生物医疗等领域。公司以“提供激光应用关键部件，与客户一起为社会创造价值”为使命，持续开展激光图形化应用研发，为行业发展贡献力量。

江苏镭创高科光电科技有限公司 苏州 | 北京 | 深圳

苏州高新区科技城五台山路科技工业坊C区1号楼401,402室

0512-68237866

wenhong.gao@litronics.cn

<http://www.litronics.cn>

