应用指南
ANC202306004

2A 以上 LED 闪光曝光量已接近典型氙气体闪光灯

LED 布光闪光实验与讨论

作者：谭磊

圣邦微电子（北京）股份有限公司

2023 年 6 月 21 日

商标

SGMICRO 是圣邦微电子（北京）股份有限公司的商标。本文档中的所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2023 圣邦微电子（北京）股份有限公司 版权所有。

未经 SGMICRO 事先书面许可，任何单位或个人不得摘抄、复制或改编本文档的部分或全部内容。欲了解更多关于 SGMICRO 的信息，请访问网站 www.sg-micro.com。

摘要

手机拍照的简便性促进了拍摄普及，拍摄应用的普及反过来促进了有关技术和产品的进化发展。为拍摄布光/闪光的关联技术受到日益关注，成为改善用户感受和产品差异化研究的一个重要方向。本文介绍了一组对比实验视图为布光闪光设计提供帮助。

本文所述实验在圣邦微电子公司北京实验室由谭磊、高晓英完成；田怀山在圣邦微电子公司深圳实验室完成了电池电流冲击和背光面闪验证实验。本组实验以拍摄效果对比来为产品设计选择提供参考 [1)]。本文经王明和审阅校对。

[1)] 拍照闪光灯的性能评价有多个标准体系，如 GB/T10072，GB/T17558，ISO1230，ISO2827 和 JB/T7474.1；这些体系包括对曝光量、闪光指数、闪光特性曲线、持续时间、峰值照度、照射角、曝光均匀性、表征色彩、光谱分布、显色指数、相关色温的定义和评价体系约定。

目录

1 实验环境搭建.....3
2 氙灯闪光与 LED 闪光的差距.....3
3 LED 闪光灯越亮越好.....4
4 加大 LED 闪光灯电流的瓶颈.....5
5 其它影响闪光灯拍摄效果的因素.....8
6 PS[9]解决问题还是要双色温改善.....10
7 设置布光闪光电流.....12
8 柔光前闪和多灯.....13
9 屏幕布光闪光和柔光布光闪光.....14
10 闪光时序控制是关键.....15
11 利用转角光导散布.....16

1 实验环境搭建

为开展这组实验搭建一个暗室和拍摄场景，如图 1 所示。这个暗室有照明（照明为冷色温 LED 灯）时，拍摄对象中心位置的照度为 100lux，闭光时为 0lux。利用这个拍摄现场做不同亮度、不同光色和不同布光闪光方式的效果对照。1 个灵敏度为 10μA/lm 光电管被安放在中心位置，用来对比使用氙灯闪光和 LED 闪光测量的照度和曝光量。对比的氙气闪光灯的闪光指数为 GN60[2)]，有光束成型和变焦能力。对比用手机像机原配为双色温 LED 闪光灯。

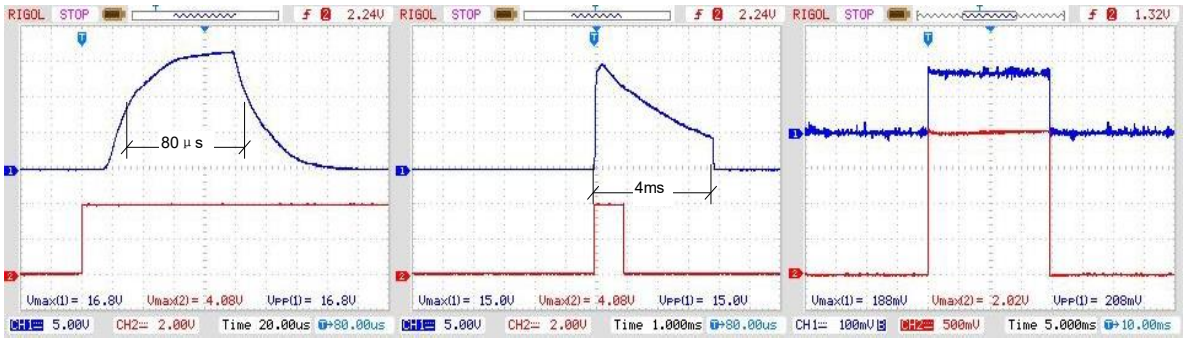
图 1 实验暗室的场景

2 氙灯闪光与 LED 闪光的差距

氙灯亮度高、光谱更接近日光，但储能电容的尺寸大，无法满足手机外形设计的要求，不能连续或者快速照明方便预览。氙灯内置对手机来讲很困难，而只可能作为辅助的外置配件使用（包括使氙灯处于连续发光的布光灯，因其发热和驱动复杂，也只适合做成附件）。尽管氙闪光灯不适合手机，但它是被广泛认知的典型设备，可以作为对比的标杆。图 2 是氙灯闪光和 LED 闪光对比实验的光电流波形和图像。

测量结果显示 GN60 的氙气闪光照射量大约是 2A 冷色温 LED 闪光 20ms 照射量的 8.4 倍。也就是说，以照射量看大电流 LED 闪光灯的能力已接近典型的氙气闪光的水平。由于氙气闪光的瞬时照度要比 LED 大得多，相同曝光量中图像传感器暗电流噪声的影响小很多。就这点而言，氙气闪光也优于 LED 闪光。

[2)] 闪光指数指以感光度为 ISO100 的胶片为参考，对不同距离的目标拍照取得标准曝光量所需要的光圈分数与距离的乘积。光圈分数即该光圈相当于标准光圈的几分之一，越大对应通光孔径越小。闪光指数 GN 值越大的闪光灯越亮。



GN60 氙气闪光最低设置照度波形　　GN60 氙气闪光最高设置照度波形　　2A 冷色 LED 闪光照度波形

采用手机相机内置 LED 闪光布光　　内置 LED 外加 2A 冷色 LED 闪光布光　　内置 LED 外加低设置氙气闪光布光

图 2 氙气闪光和 LED 闪光照度波形和图像对比

（用来对比的相机未按附加的闪光色温做修正，使右侧两幅图像偏蓝。）

3 LED 闪光灯越亮越好

单从保证曝光量来看肯定是越亮越好。如果能把要拍摄的环境照亮到跟正常环境光亮一样，以正常环境设计优化的相机一定效果最好。拍摄时对所拍摄对象的照射来自不同的光源，并不是只有闪光灯。有时需要控制闪光灯照射成份的比例。图 3 是拍摄一盆绿植现场布光的例子。从远处的背景可以看到，它是在日间敞亮的室内环境搭建拍摄的；拍摄时如果要加入闪光灯照射的元素，则这部分照射需要以合并照射的效果决定。

图 3 闪光是拍摄布光需要控制的照度的一部分

（http://img.blog.163.com/photo/8zcjwb0yXsuZYgTVHVp1Jw==/5756444748709660011.jpg）

在具体的拍摄场景中闪光灯的照度不是越强越好，但从闪光灯的能力讲，肯定是越强越好。闪光布光的效果受到众多因素的影响，例如光源反光影像的影响和闪光光源随距离快速衰减导致远近亮度快速变化的影响 [3]，单靠提高照度改善拍摄效果可能带来其它问题。这些负面效果限制了加大闪光电流。

4 加大 LED 闪光灯电流的瓶颈

制约加大电流的因素包括 LED 能力、驱动电路能力、电池输出能力、散热结构和闪光过程的控制。白光 LED 中二极管材料可以承受高温 [4]，制约 LED 的因素是荧光材料的热荧光淬灭 [5]和光学封料的热稳定性 [6]。通过对恒流驱动时 LED 正向压降的细微变化拟合分析测量了 LED 的温度建立过程，证实了晶体自己的升温和晶体到封装体的热转移存在较大时间差。图 4 是对一种 500mA 白光 LED 测量时采集的波形，其晶体升温的时间常数是 350ms，对封装体传导的时间常数是 1.7s；波形中更长时间的变化是封装体到其它热容的平衡过程（如 PCB 和周围气氛）。这个实验说明如果闪光时间足够短，例如<100ms，瞬时功率对荧光材料没有影响。

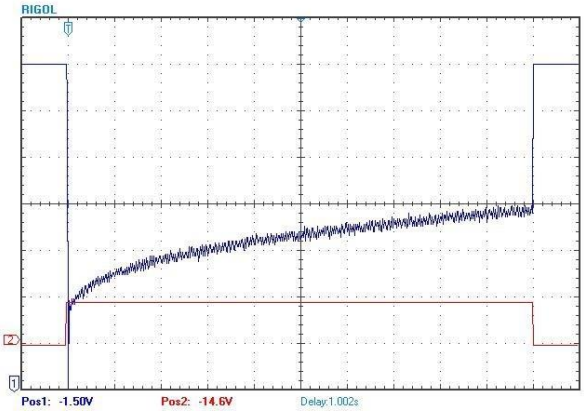


图 4 分析热过程时采集的恒流驱动 LED 正向压降变化

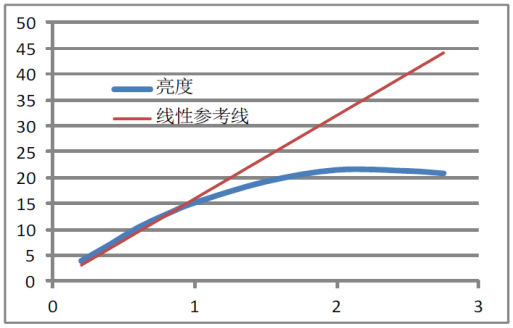
[3] 即近距离的点过亮，使图片中近处的像出现耀斑的现象。

[4] MgGaN 或 InGaN 制备时的温度最低得>400℃。

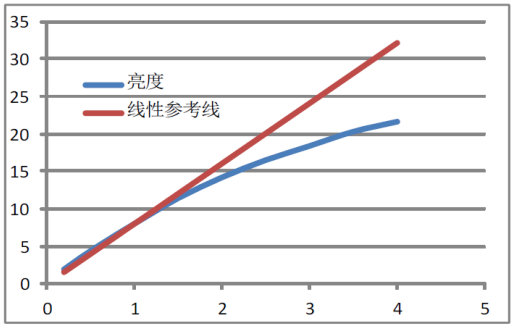
[5] 广泛采用的 YAG:Ce 材料荧光淬灭温度范围 90℃~120℃；超过该温度后荧光发射开始降低。

[6] 常用光学封料的固化温度为 200℃。

进一步利用低占空比短脉冲驱动测量了不同电流时LED 的发光与驱动电流的关系，这时可排除发热的影响。图 5 是对一种 1A 规格和一种 2A 规格 LED 闪光灯的测试；该 1A 规格的 LED 闪光灯为 2015 年的产品，2A 规格为 2016 年 下半年的新产品，封装均为 1.7×2.1×0.7（mm）。测试显示该 1A 产品不宜提高电流使用，而 2A 规格的产品可提高到 3A 以上使用。

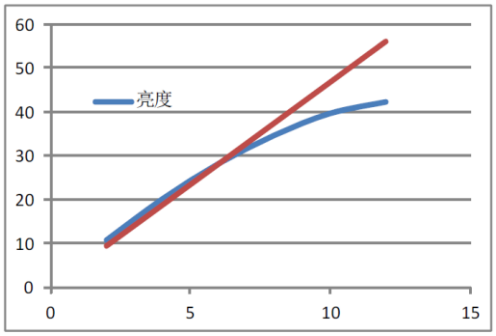


1A 规格 LED 以 1%占空比 1kHz 重复在不同电流的亮度

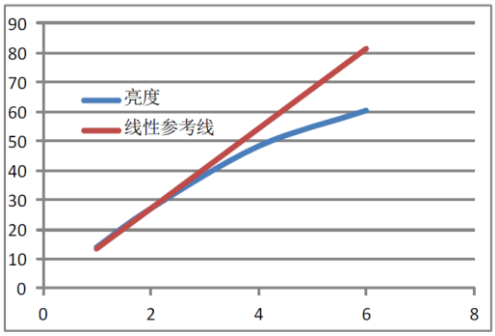


2A 规格 LED 以 1%占空比 1kHz 重复在不同电流的亮度

图 5 驱动电流与发光的关系



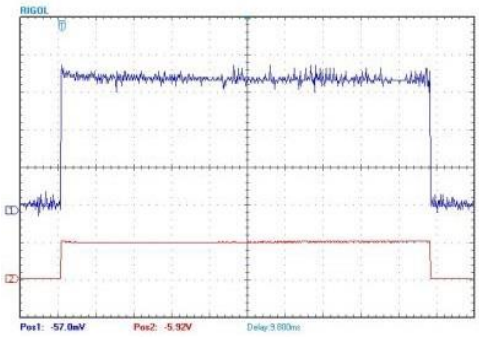
1A 规格 LED 以 1A 1kHz 驱动在不同占空比(%)的亮度



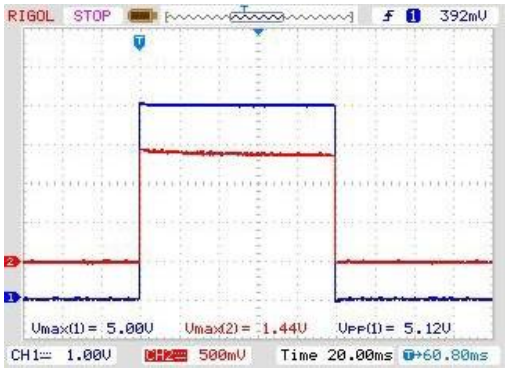
2A 规格 LED 以 1A 1kHz 驱动在不同占空比(%)的亮度

图 6 不同发热与发光的关系

进一步在电流与发光都能保持线性的 1A 驱动电流下利用不同的占空比来代表发热，测试这 2 种 LED 发热对亮度的影响，见图 6。显见实验用的相同封装的 LED，无论是 1A 规格还是 2A 规格，受热影响表现接近。图 7 是 2A 规格 LED 在 20ms 和 100ms 输出（因发热导致）发光衰减波形。



2A 规格 LED 以 1A 驱动 20ms 内的亮度衰落



2A 规格 LED 以 1A 驱动 100ms 内的亮度衰落

图 7 驱动期间的光衰

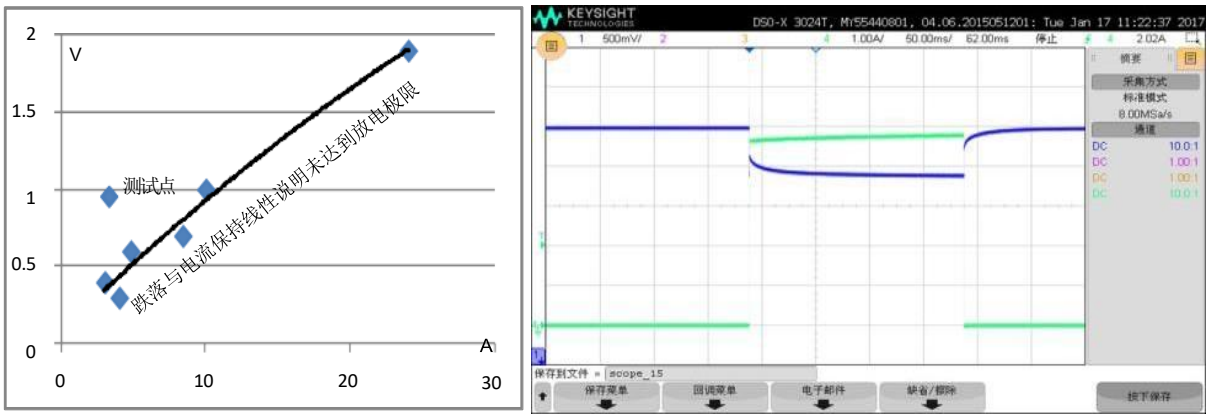


图 8 利用 3000mAh 电池室温测量脉冲放电时的电压跌落

图 8 是电池瞬态放电电流-跌落的曲线和一组电压电流波形。测试显示电池的瞬时电荷释放能力一直到受测试设备条件限制的 8C 均可维持正常（超出其放电能力时电池内阻突增。除内阻变化外，过大脉冲电流加速老化和放气的情况未做试验；这部分特性依赖于电池工艺控制，不适合简单试验评估）。SGM37895 系列均支持 2 路各 2A，最大可并联提供 4 路共 8A 驱动能力；自动旁路升压电路 SGM41280 提供 4.5A 输出的电池电压调理能力，保证输出不受电池电压瞬时跌落影响。综合 LED、电池和驱动的供应条件看，开发大电流闪光产品条件齐备；分开 4 通道共 4A 条件综合最为成熟（电池老化、散热和 3:1 冷暖配置）。散热是关键，需要减少脉冲持续时间减少发热。

手机像机在拍照前处于连续图像采集和预览中；通常以 30fps 帧速率不断更新。可从预览图像中获取闪光灯设置需要的大多数参数。由于不同拍摄对象闪光布光效果不同，并不能仅依靠其它光源来确定有闪光拍摄时的参数 [7]，启用 LED 使照射出现增量或者减量测算布光效果是必要。图 9 是图像传感器的曝光控制模式之一，在这个模式中闪光仅在所有像素行都在曝光中时启动，可以有效降低 LED 发热。可以在断续曝光期间随时调节 LED 电流。

[7] 图像采集需要完成的工作包括暗电流校正 BLC、自动聚焦 AFC、（自动）增益控制(A)GC、（自动）曝光(A)EC 和（自动）白平衡(A)WB。其中 EC 和 GC 都是对曝光量的控制，一般先通过调整曝光时间做 EC，如果 EC 不足以调整时利用对像素信号放大器增益调整使其落入 ADC 量化的范围。由于闪光布光亮度的增加是可利用预知的闪光参数测算的，只有 AWB 受拍摄对象形状/距离影响大，需要在闪光布光启动时完成。通常 EC 控制采用 19b 计数器，8 倍模拟增益实现>66dB 的曝光动态范围。通常采用 12b 分辨率 ADC，可为 JPEG 标准另提供 8 倍数字增益。

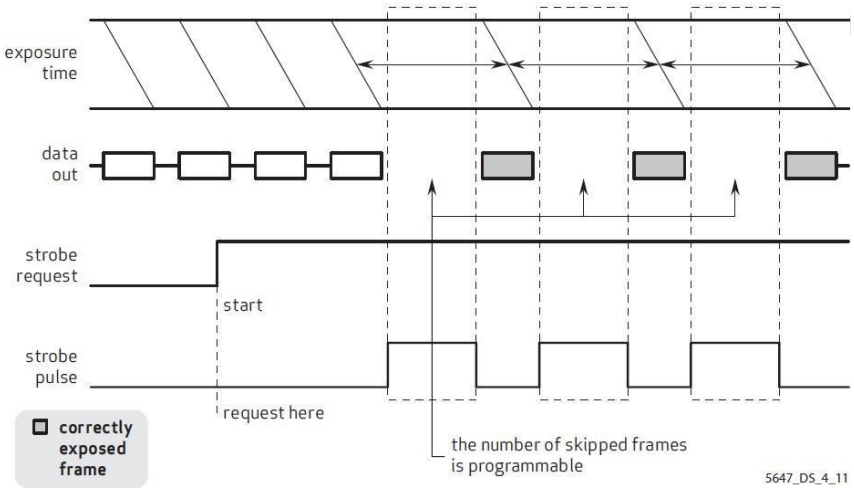


图 9 跟随曝光时间窗口启动的曝光控制

（示意图参考 20OV5647 绘制，OminiVision Technologies 公司 2009 年产品。）

5 其它影响闪光灯拍摄效果的因素

图 10 中的照片和它们的亮度直方图用来说明闪光布光的效果以及影响布光效果的因素。右上照片是在昏暗环境拍摄的，大量细节被压缩到直方图中低亮度的灰白区域。左上是启用闪光拍摄的照片，左下是对其像素亮度调整、放大灰暗细节后的图像。近处对光源反射产生的耀斑压制 [8]使传感器对其它亮度解析变差，把远处的图像压制到了噪声水平。提高闪光亮度不能改善压制，只能通过拉远距离（需要提高闪光亮度）或采用面闪减少随距离衰减改善。图 11 是拉开距离拍摄对耀斑压制效果改善的实例。图 12 是同一场景采用更大亮度闪光拍照的效果实例。

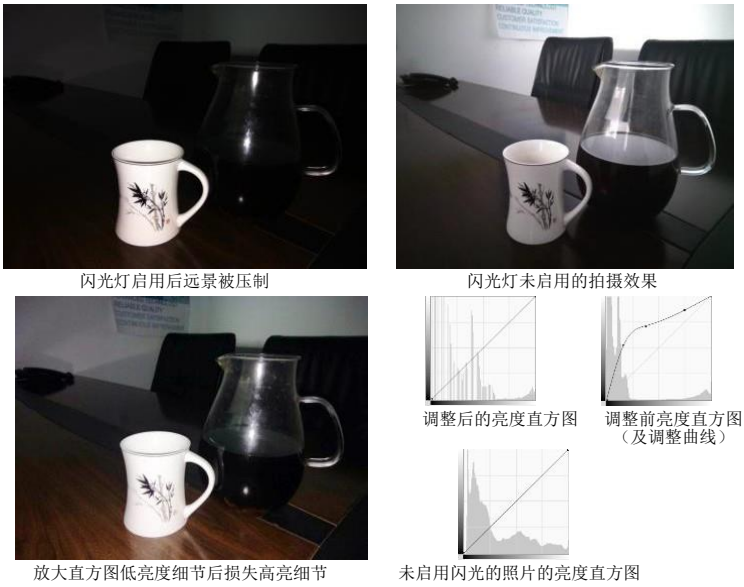


图 10 闪光光源镜像和照度随物距快速衰减压制远景示意

[8] 耀斑压制即图像采集系统为了照顾高亮的局部也能落入 ADC 的动态范围、降低曝光量时使低亮局部信号过低，损失了低亮部分细节的情况。

远离拍摄减少耀斑现象

就近拍摄时耀斑压制显著　　远离拍摄图片中的局部与近摄的对照

图 11 远离拍摄改善耀斑压制效果

图 12 不同亮度闪光灯拍摄的效果差异

6 PS[9]解决问题还是要双色温改善

冷色 原图 暖色

图 13 利用图像处理调节图像色调的

图 13 显示了一幅照片调整不同分色像素直方图得到冷暖色调图像的示意。相关色温 CCT 是描述光源照明特性方法之一[10]。CCT 指某个光源在明视亮度[11]下看起来跟特定温度的白炽灯照射的效果相似，该灯丝温度即 CCT。物体被加热到高温时的发光包括两个部分，其中一部分仅仅与温度相关，是原子热运动有关的、稳定的本征特性。这部分跟材料成分无关，被称为黑体辐射[12]。黑体辐射这种材料无关特性使其适用于计量比对。较低 CCT 的光照环境中红色分量较多，景物看起来的色调称暖色；蓝色分量大的色调即冷色。直接对照片不同颜色分量像素的亮度调整、调整不同颜色间的关系[13]，与调节拍摄时照明色调取得的效果一致，比调节照明更灵活。

采用单冷白色 LED 拍照时，蓝色分量幅度大。按照日光光谱配置的各分量量化动态范围，这时无法照顾另外分量的幅度，压制了其量化细节。采用双色温 LED 闪光布光，则可以保证不同分量信号的幅度都在合适的范围内。只有获取的原始数据较好地包括了不同分量的细节后，对直方图的调节才可以保证良好复现和修饰。双色温闪光的目的是保证各分量都能获取到最多细节，改善色分量压制。

[9] PS 是从一款被广泛认知的图像处理软件的名称衍生出来的一个词，指图像数据后处理。

[10] 照明用特性侧重光源照明时产生的视觉感受，是带入视觉影响的描述。与之对照是基于光谱的分量描述。除了 CCT 外，对照明的描述还包括显色性（色纯度和色明度）的描述。

[11] 明视即室内光的照度范围。视觉在不同亮度时对颜色的感觉不同，描述色温需要约定照度。

[12] 与黑体辐射对照的是跟材料有关的、具有特定波长的辐射，即特征辐射。

[13] 黑白照片或黑白电影上色即根据亮度信息增加其它颜色分量完成的。

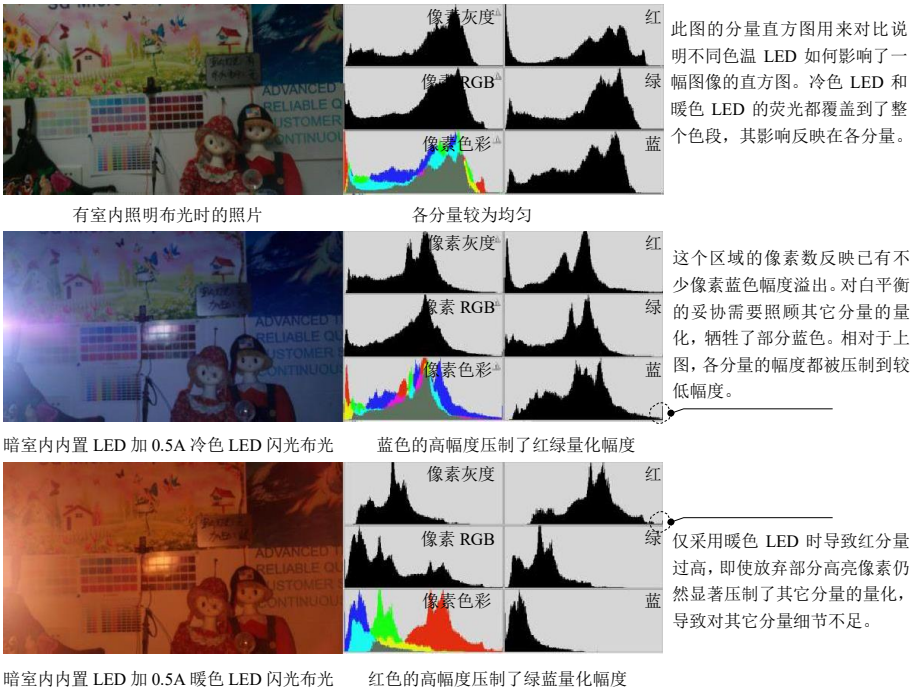


图 14 冷光闪光和暖光闪光对其它分量的压制（1.2 米远拍摄）

一幅图像的分量和亮度直方图是由拍摄景物和照明共同决定的。对机器视觉和供人观察使用的图像获取都要求尽可能获得更多的细节，即各分量直方图最好都在较高亮度的范围内分布。供人使用的图像在复现时（显示和打印）还需要进一步保证在约定的正常观察条件下，复现尽可能接近直视的效果。甚至在直视和拍摄照明条件不好时，也要争取复现出相当于良好照明条件的直视效果。

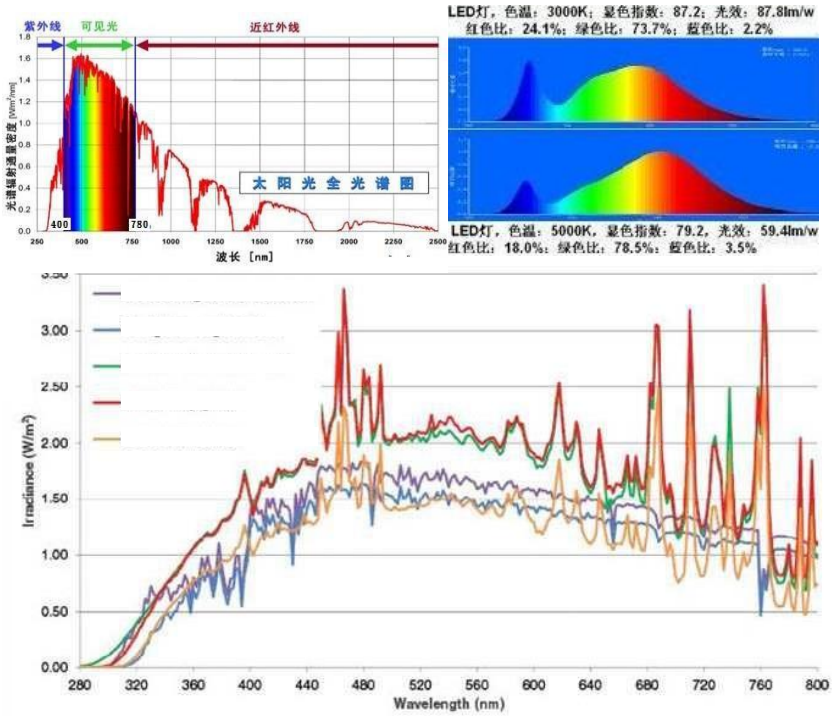


图 15 光谱对比说明 LED 不能复现阳光光谱
（下面的谱线引用 Q-LAB 公司产品介绍）

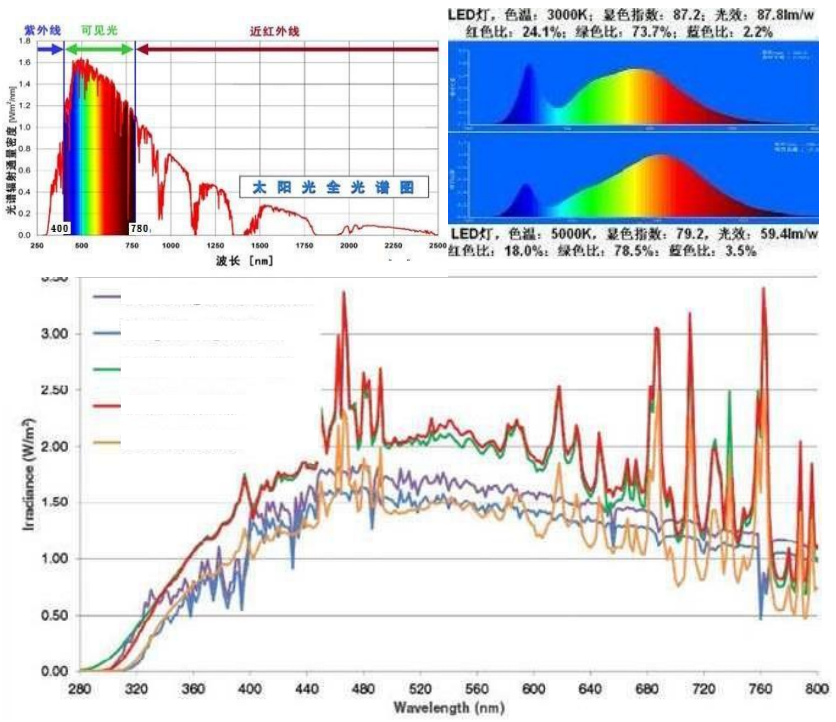


图 15 引用的光谱包括了日光光谱、氙灯光谱和冷/暖色 LED 的光谱。LED 的白光和 CCT 色温与日光光谱覆盖存在较大差异，两种 LED 都在品蓝到浅蓝范围内功率过低。LED 以 RGB 裸视刺激等效测定其 CCT，对灰板的裸视刺激不能反映多色彩感受。双色温 LED 的电流比例仅需以灰板测试确定 3 分量幅度平衡，色彩复现和标准化以多色彩调整实现。

7 设置布光闪光电流

讨论布光电流设置时限排除双色温配置电流匹配的设置；如前所述，双色温的电流匹配以白平衡灰板测试为依据，使 RGB 三色输出直方图匹配即可。LED 光输出与电流的关系稳定、线性，只要维持比例，在不同电流大小时不需要改变这个比例。除非加大距离和采用面光源布光，电流大小不能改善耀斑压制（加大距离意味着需要更大强度布光），距离和光源几何形状确定后需要评估耀斑压制的程度决定布光的增加值。黑背景水平（BL，即脚注 7 所说的暗电流校正）决定了那些部分的数据是有效的；对低于这个亮度部分耀斑压制不必考虑。最后还需要考虑散热限制能使用的电流和持续时间。

LED 闪光布光通过测试闪光（预闪或短时间停止布光），在原有光照基础上使曝光量增量/减量确定拍摄需要的布光闪光电流设置。一般步骤如下：

1) 预览期间自动或手动确定主要目标区域，获取这些区域的分量参数分布。这期间可能已打开手电模式做布光照明。

2) 以较小电流闪光或暂停布光获取曝光增量/减量的图像，根据这次照明变化在主要区域导致

的曝光增量/减量判断耀斑压制的程度以及曝光水平与黑背景的关系，在耀斑压制可接受的范围内尽可能提供较大曝光量，然后根据曝光量要求控制曝光时间。由于曝光时间过长容易因位移出现不稳定，在耀斑压制许可的范围内应尽可能用大电流、短时间曝光。

3) 单冷色 LED 布光闪光时，需要结合原有光照考虑增量部分的偏色对其它颜色分量的压制。这与布光目标矛盾，即原有光照越强越可以用较强闪光，越弱越要用弱闪光（双色温则没有这个问题）。如果原有光照已接近黑背景水平，即原有光照没有贡献时，单冷 LED 布光闪光的设置跟双色温 LED 一样，只要耀斑压制和散热许可、越大越好。

8 柔光前闪和多灯

图 16 柔光前闪的宣传图片（采集自互联网）

柔光前闪试图减轻预览时点光源的刺眼程度和在闪光时的炫目感。图16是两种柔光方案的示意；相对于直接注视LED 灯，这种柔化减轻了刺眼程度。

图 17 环闪布光效果（采集自互联网）

（http://bbs.photofans.cn/home.php?do=blog&id=35546&mod=space&uid=194295）

环闪利用光源散布改善耀斑压制，提高照射均匀性和消除反射影像，同时也提高了 LED 的散热能力。环闪的效果取决于相对尺度。相对于环的尺度，较短距离效果显著。环闪散热能力使得可使用更大功率 LED。环闪是线-面布局的一种，这种线-面布局对改善布光闪光效果显著。

9 屏幕布光闪光和柔光布光闪光

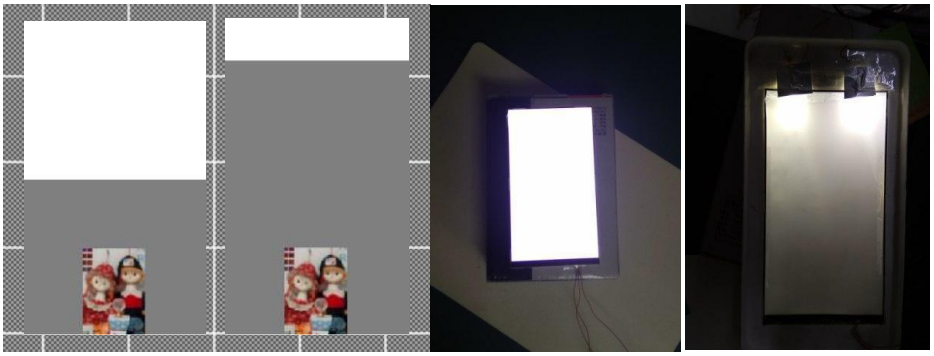


图 18 用于对比试验的屏幕布光图案和屏幕

（左侧图案布光方案专利和右侧使用的低截面转角光导专利均申请已登记）

外加 500mA 冷色 LED 的效果

2p6s 背光冷色 LED 125mA 全屏布光效果　　2p 1A 冷色 LED 沿边沿注入背光导光板效果

图 19 外置 LED、利用背光和向导光板注入闪光拍摄效果对比

屏幕布光的面光源化减轻刺眼效果优于白膜或沙化散射效果。图 18 左边是利用画面分屏布光的示意；分屏在预览时可以控制图案中亮白的区域，在预览画面和亮白区域之间增加灰黑区减缓亮度突兀变化。图 18 右侧分别是屏幕全部白亮背光布光照片和在背光组件上端利用低高度转角镜注入 LED 闪光的照片。图 19 右上角是柔光补光概念的推广图片，这幅图片有辅助布光，跟实际效果相去甚远。被这幅图片部分遮挡的图片是利用柔光布光照射拍摄的对比照片，其左侧是利用接近全白的画面的背光做布光的对比照片，可见背光布光亮度显著高于柔光布光。图 19 的其余 3 幅图片是外加 500mA 闪光、125mA 背光闪光和导光板边沿注入 2 路 0.5A 闪光的拍摄效果对照。显然边沿注入效果最好。

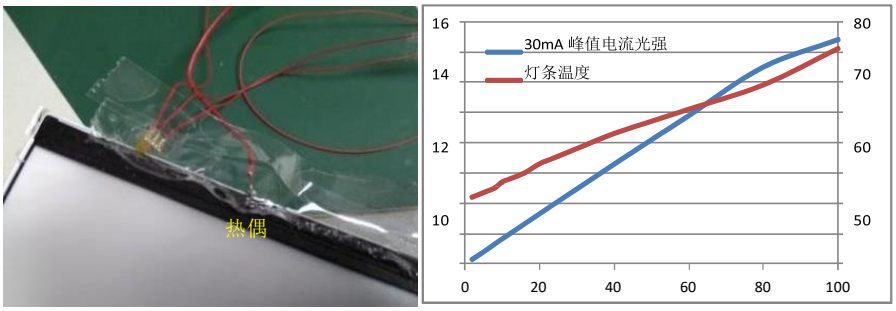


图 20 背光组件灯条位置发热测量

图 20 是对灯条发热测量热偶安置情况和温度/电流曲线关系。没有散热措施时灯条在 30mA 时达到 70℃。在连续布光时电流需要严格控制、防止过热。与夹在导热差的聚合物膜层间的背光 LED 相比，顶面发光的闪光 LED 与 PCB 有良好热接触，可以承受更高瞬时功率和平均功率（参考章节 3 和图 6）。进一步测量了背光 LED 发光与脉冲电流的关系以及 100ms 内 125mA 激励时的光衰，确认 25mA 标称工作电流的 LED 本身在 125mA 瞬时发光与驱动电流呈良好线性关系，同时 100ms 内光衰不显著，见图 21。经 1Hz-100ms 计 10 万次老化测试，无明显光衰。

背光 LED 用于大电流闪光需要改变驱动电路和控制好时间和时序，以及针对不同个体、对获取的图像做色温修正。

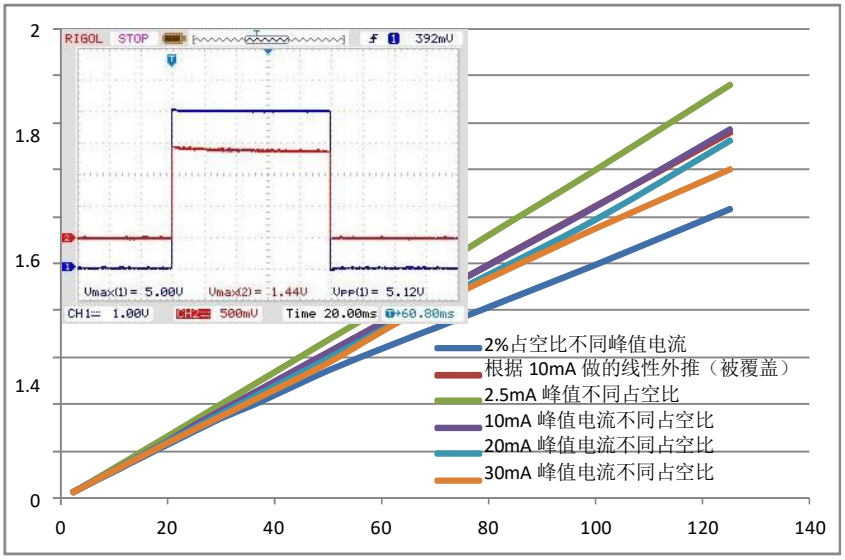


图 21 不同电流/每路 125mA 不同占空比的发光线性度和光衰测量

10 闪光时序控制是关键

WLED 产品的正向电压的典型范围在 3V~3.8V 之间，大电流时严重发热。精确设计布光输出时间和时序，只在需要的时候输出需要的电流可直接降低发热而不必做硬件改动。图 9 所示的同步曝光配合帧率控制可用于预览、预闪和拍摄环节。利用降低预闪电流或暂停布光可把大多参数采集放

在图像采集前、进一步降低消耗和留给主闪以更大电流预算。

11 利用转角光导散布

无论是从发热还是从改善光源布局的需要看，把布光光源分布开是改善布光闪光的改进方向。利用白膜或沙化散射效果不佳、严重衰减。采用类似背光模组的结构和楔形槽把大功率 LED 的面发光导入导光板、在导光板内部多次反射形成均匀的杂向光。

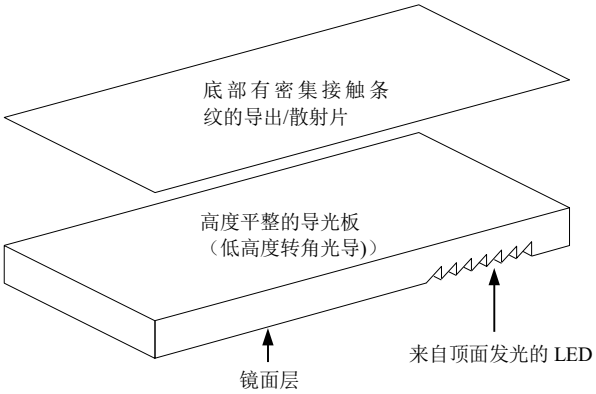


图 22 采用低高度转角光导导入和散开面发光的示意

（专利申请已登记）

这个结构作用是在低高度内实现把平面安装的闪光 LED 的法向发光转移到水平的导光板中。这个结构制作小型 90°折转光导用于背光面闪中把闪光 LED 的法向发光折转 90°注入背光组件的导光板、实现图 18 最右侧的背光闪光设计。这个结构进一步可直接制作低高度面光源，以及配合柱镜阵列在低高度内完成光束成形、制作有投向的面状闪光灯。采用面状设计后，闪光 LED 的安装位置允许散开，也将有利于散热设计。

注：圣邦微电子的图案背光布光和低高度转角光导专利免费授权圣邦客户使用。

修订记录

注意:历史版本的页码可能与当前版本的页码不同。

日期	版本	描述
2017-05-05	REV.A	首次发布
2023-06-21	REV.B	重新排版

重要声明

本文档中如涉及本公司具体产品型号，SGMICRO 保留其更改电路设计、产品规格和产品描述的权利，恕不另行通知。本文档内容仅供参考。本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何承诺。对于本文档中可能出现的错误，以及因本文档提供的信息和使用本文档而造成的任何附带或间接损失，本公司不作任何明示或暗示的陈述和保证。
此文档未授予任何知识产权许可。除了 SGMICRO 在其产品的销售条款和条件中声明的责任外，本公司概不承担任何其他责任。

www.sg-micro.com

联系方式

圣邦微电子(北京)股份有限公司
地址：北京市海淀区西三环北路 87 号国际财经中心 D 座 11 层
邮编：100089
电话：010-88825716/17

深圳办事处
地址：深圳市南山区科技园高新南六道 6 号迈科龙大厦 15 层
邮编：518063
电话：0755-26715323

上海办事处
地址：上海市徐汇区漕溪北路 88 号圣爱大厦 1706 室
邮编：200030
电话：021-64396434