



光学设计基础知识

—主要针对LED封装、LED照明以及背光源

CHOUCHOUYU

2008.4.28

光学设计理论知识

- 光具有波动性和粒子性，但在应用光学的范围内，光是作为波动来讲的，它具有波动的一切特性，比如波长、频率、以及传播速度等。(光波的传播速度 $v = c/n$)
- 在后面的讨论中，我们常用“光线”一词，这是一个几何概念，只是指出光波向空间传播的方向而已。一些光线的集合就称为光束。
- 光线的基本性质即几何光学的基本定理：
 - (1) 独立传播定律
 - 从不同光源发出的光束，以不同的方向通过空间某点时，彼此互不影响，各光束独立传播。彼此并没有什么相互作用，譬如斥拒或吸引等；
 - (2) 直线传播定律
 - 在各向同性的均匀介质中，光沿直线传播（光线是直线）。直线传播的例子是非常多的，如：日蚀，月蚀，影子等等。

光学设计理论知识

■ (3) 反射定律

定义：反射光线和入射光线在同一平面、且分居法线两侧，入射角和反射大小相等，符号相反。

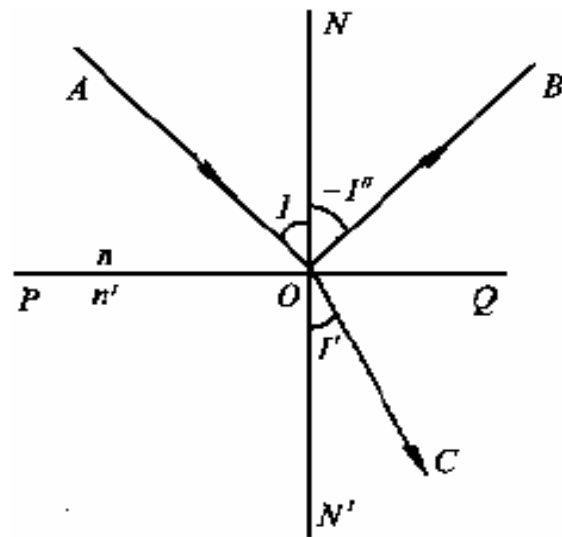
当光线射到不同介质的界面上时，一部分光线依照反射定律返回第一介质内。

■ (4) 折射定律

定义：入射光线、折射光线、通过投射点的法线三者位于同一平面，

且
$$\frac{\sin I}{\sin I'} = \frac{n'}{n}$$

当光线从一种介质射入另一种介质时，有一部分光线即按折射定律改变方向进入第二介质；



光学设计理论知识

■ (5) 全反射定律

- 定义：光线从光密介质射入到光疏介质，并且当入射角大于某值时，在二种介质的分界面上光全部返回到原介质中的现象。
- 刚刚发生全反射的入射角为临界角，用 I_m 表示。

根据折射定律，
$$\begin{cases} n \sin I_m = n' \sin I' \\ I' = 90 \end{cases} \Rightarrow \sin I_m = \frac{n'}{n} \Rightarrow I_m = \arcsin \frac{n'}{n}$$

■ (6) 光路可逆现象

一条光线沿着一定的路线，从空间的A点传播到B点，如果我们在B点，按照与B点处出射光线相反的反向投射一条光线，则此反向光线必沿同一条路线通过A点，光线传播的这种现象称为光路可逆。

- 光路可逆现象，不论在均匀介质中光线直线传播时，还是在两种均匀介质界面上发生折射与反射时都同样存在。

光学设计理论的作用

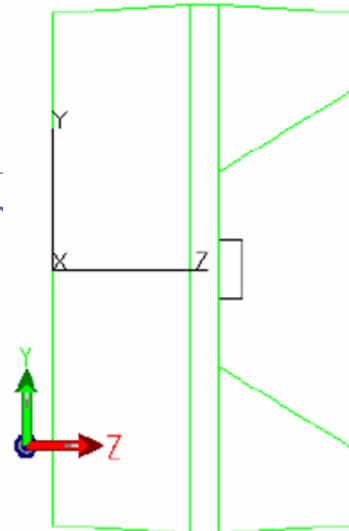
- 挑选合理的初始结构、设计指标
- 尽量少用光线就能对现状作出判断，包括初始要求是否合理，可能不可能达到要求
- 判断修改的方向

光学系统设计方法

- 1) 根据使用要求提出光学系统设计要求;
 - 2) 把光学中“不可能”的要求去掉;
 - 3) 制定光学系统合理的技术参数;
 - 4) 光学系统总体设计布局, 光学部件的设计;
 - 5) 根据设计要求优化结构, 一般由计算机完成;
 - 6) 如结果不合理, 则反复试算并调整各光学部件的位置 和结构, 直到达到预期的目标为止。
-
- 注意: 光学设计不仅要考虑基本的设计概念和理论, 而且要预计可制造能力与可测试能力。

LED封装的光学设计

- 主要分析的光学部分：**LED芯片**、反射杯、封装硅胶或者环氧、荧光胶以及透镜。
- 进行光学分析所需参数：
 - 芯片：折射率、光通量、光强分布、外形尺寸
 - 反射杯：材料表面特性（如反射率、吸收率、是镜面反射还是漫反射）、外形尺寸
 - 硅胶或者环氧：折射率、透光率
 - 透镜：折射率、透光率、表面特性、外形尺寸
- 要注意的问题：荧光胶（目前荧光粉的厂家很难提供模拟计算所需的参数，所以现在还很难去准确模拟和计算光线在荧光胶里的能量传递和分布）

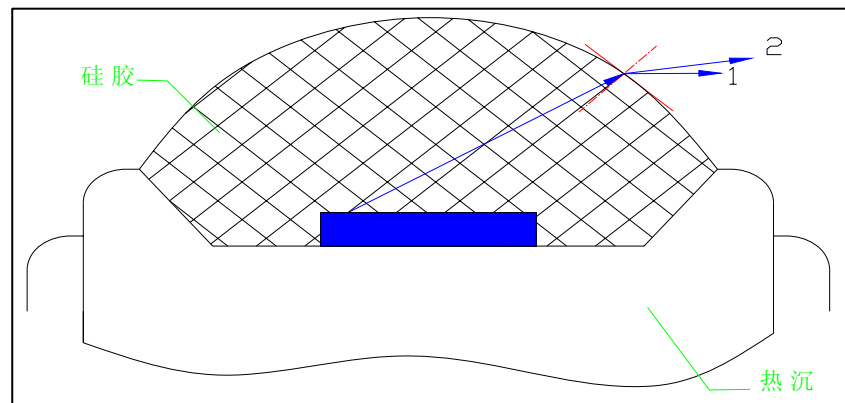
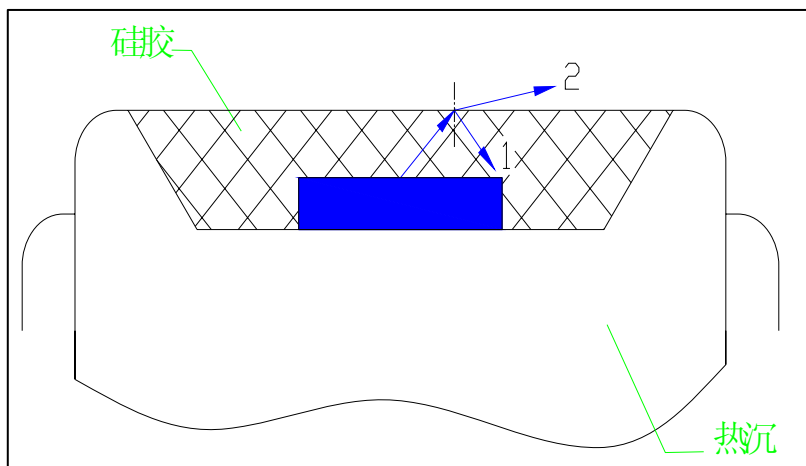


LED封装的光学系统具体分析

- **芯片的光学分析：**以GaN蓝色芯片来说，GaN材料的折射率是2.3，当光线从芯片内部射向空气时，根据全反射定律，临界角 $\theta_m = \arcsin(n'/n)$ ，其中n等于1，即空气的折射率，n'是GaN的折射率，由此计算得到临界角约为25.8度。在这种情况下，能射出的光只有入射角小于25.8度这个空间立体角内的光，因此其有源层产生的光只有小部分被取出，大部分容易在内部经多次反射而被吸收。
- **封装硅胶或者环氧的光学分析：**为了提升芯片的取光效率，必须提升n的值，即提升封装材料的折射率，从而提升芯片的取光效率。也就是说芯片覆盖上硅胶或者环氧之后，芯片的取光效率会有所提升，硅胶或者环氧的折射率越高芯片的取光效率也就越高。同时也要提高透光率。这样将会有更多的光线从芯片进入到封装材料中，那如何将这些进入到封装材料中的光线尽可能多的取出来呢？

LED封装的光学系统具体分析

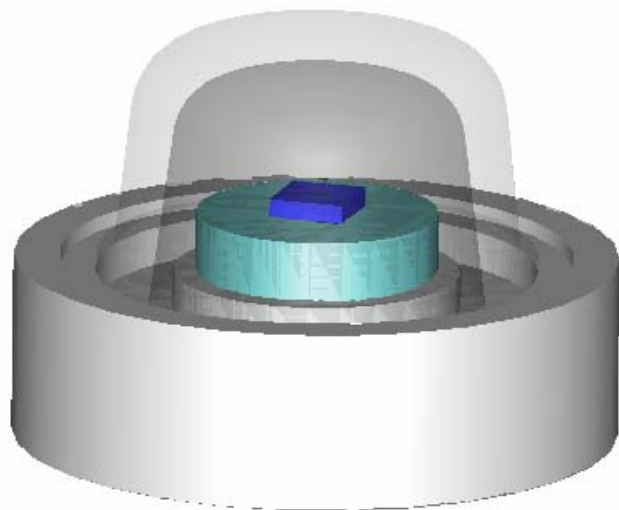
- 透镜形状或者环氧形状的光学分析：由于光从封装材料射出到空气中也是从光密介质到光疏介质，所以同样也存在全反射现象，为了提升出射光的比例，透镜的外形或者环氧封装的外形最好是拱形或半球形，这样，光线从封装材料射向空气时，几乎是垂直射到界面，入射角都会小于临界角，因而减少产生全反射的几率。如果对光强分布和出光角度有要求的话，那就要重新考虑，不同的透镜形状和封装形状会得到不同的结果。



- 反射杯的光学分析：影响出光角度，一般说反射杯角度大出光角度大，反射杯角度小出光角度小。

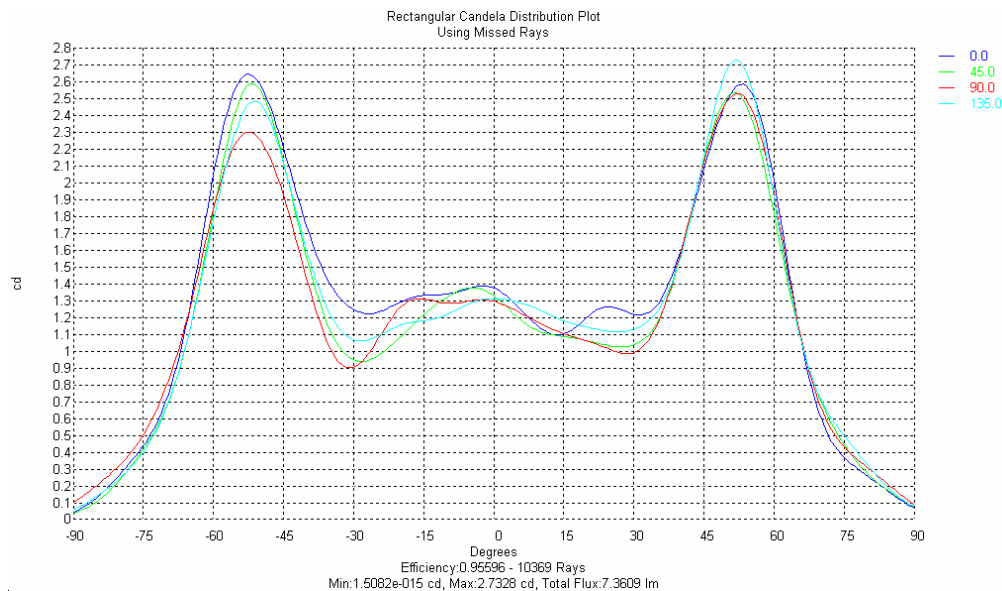
LED封装案例

模型

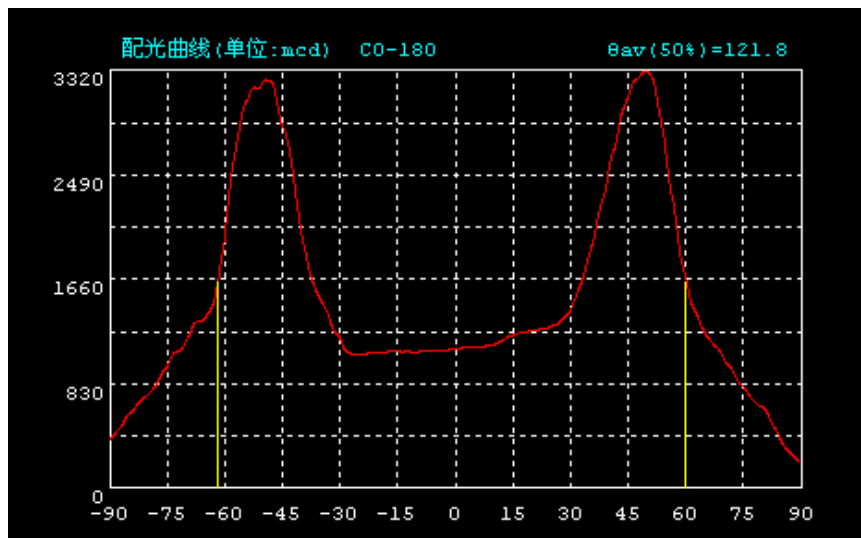


一 软件模拟与实际对比

模拟出的
光强分布



实际测试的
光强分布

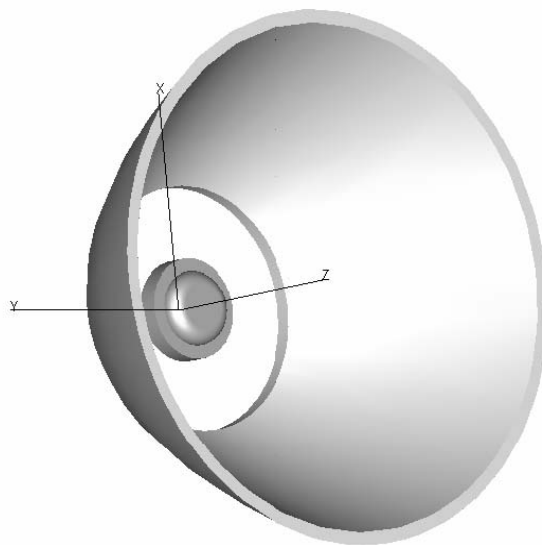
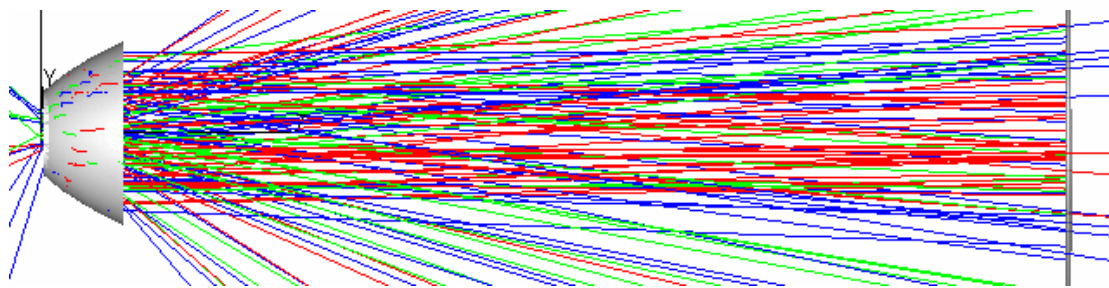


要注意的问题

- 芯片的光强分布曲线：一般用朗伯型分布
- 能量：能量模拟可能不准确
- 光线的全反射：影响能量的最主要因素
- 硅胶和透镜的形状：影响到封装后的光强分布曲线以及出光量的多少

LED照明的光学设计

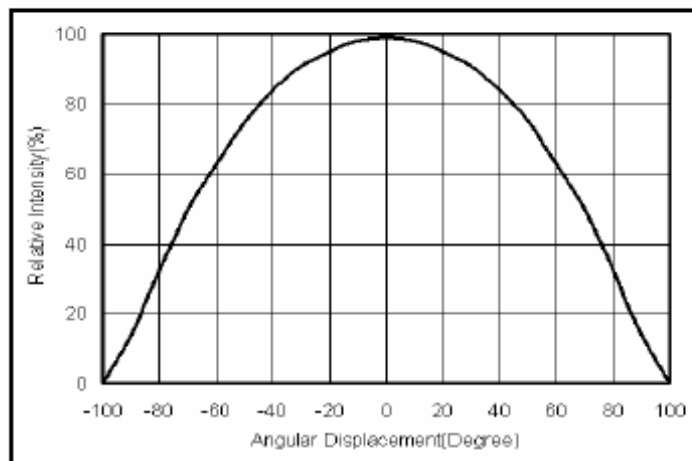
- 主要分析的光学部分：LED光源、反射杯、透镜等等
- 所需参数：
 - LED光源：光通量、光强分布、外形尺寸
 - 反射杯：材料表面特性（如反射率、吸收率、是镜面反射还是漫反射）、外形尺寸
 - 透镜：折射率、透光率、表面特性、外形尺寸



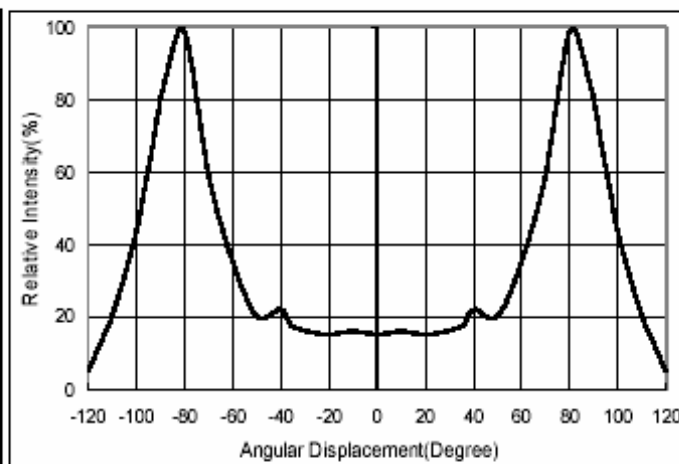
LED照明光学系统具体分析

■ LED光源：主要的光强分布形式

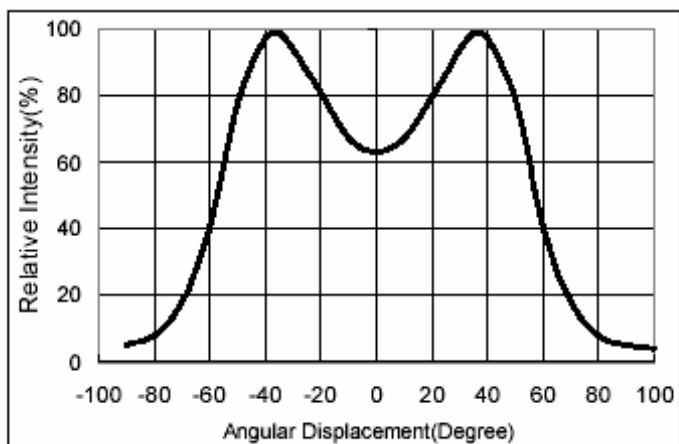
Lambertian



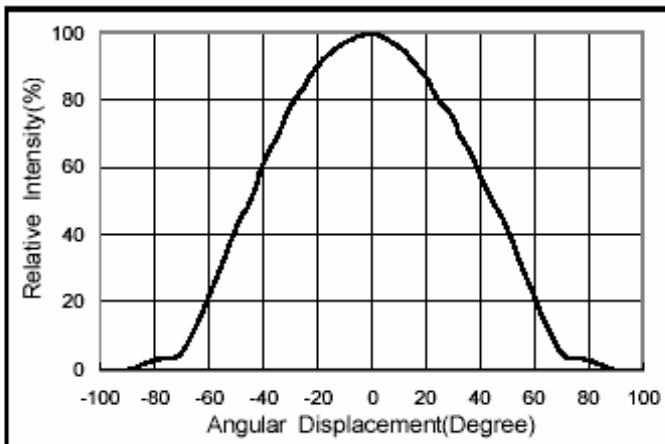
Side Emitting



Batwing



Focusing

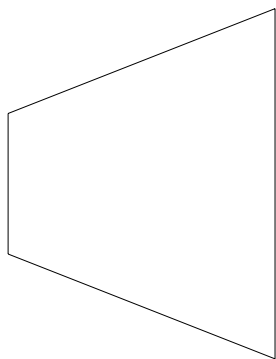


LED照明光学系统具体分析

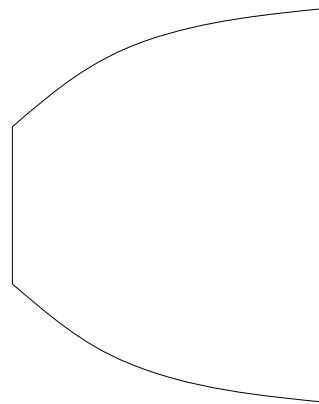
- (1) 一般用在角度要求较大 (>120 度), 光线分布要均匀的照明系统中
- 例如台灯、路灯或者一些夜景工程上面
- (2) 一般用在有反射杯或者二次透镜的系统中, 角度要求都很小 (<30 度), 光线要求比较集中; 也可用于一些只要求有侧发光的系统或者有特殊发光角度要求中
- 例如矿灯, 手电筒、路灯
- (3) 一般用在有反射杯或者二次透镜的系统中, 角度要求都较小 (30-60度)
- 例如投光灯
- (4) 一般用在系统角度要求在60-100度,不用加二次透镜
- 例如庭院灯

LED照明光学系统具体分析

- 反射杯的光学分析：
- 我们常见的反射杯有两种，如下图所示：



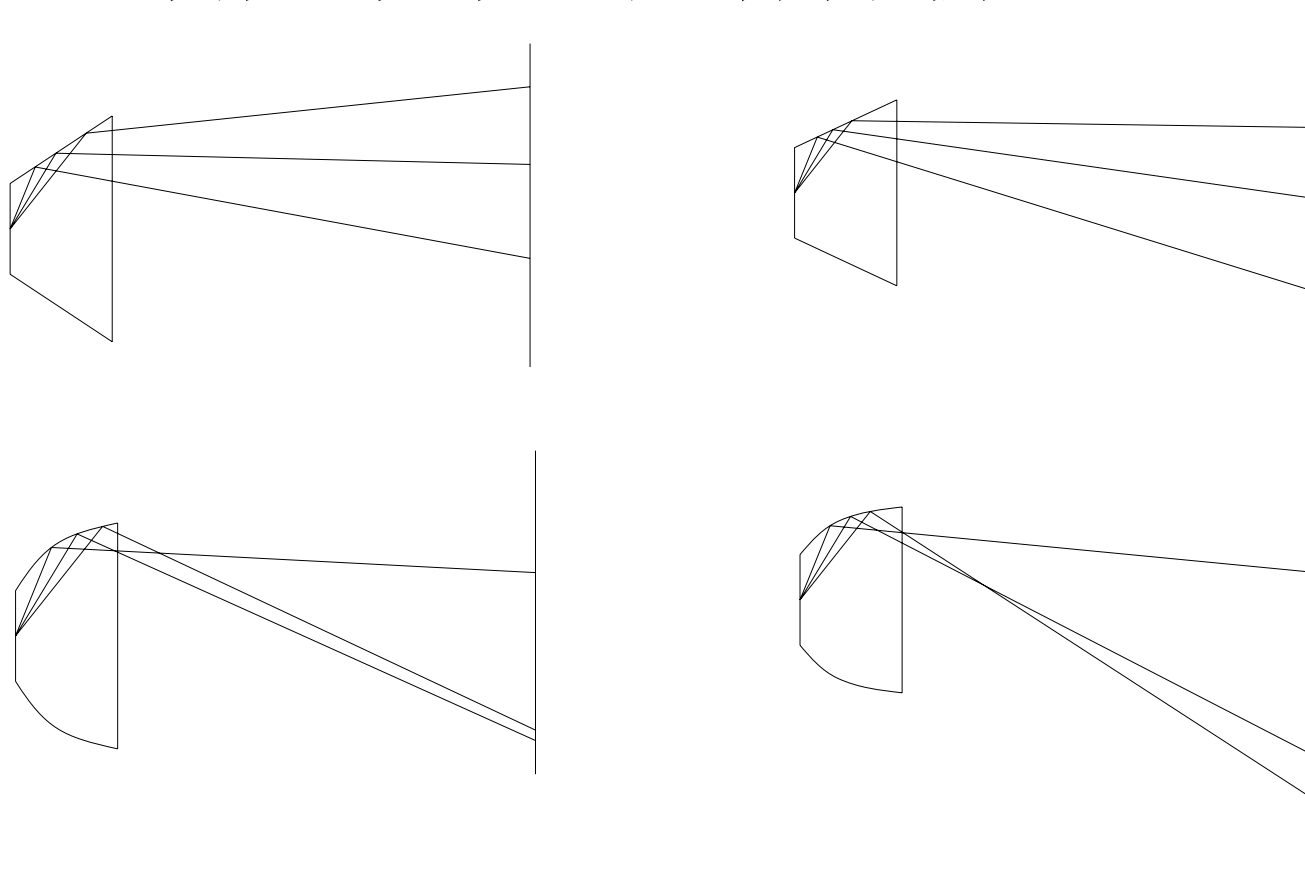
平面型



曲面型

- 反射杯的形状和开口大小直接影响到整个系统的出光角度即光强分布曲线。我们通过光线的反射定律很容易就能判断出一个光源经过反射杯后大概的出光情况。我们举几个例子看一下，下面几个图是同一光源的相同的三条光线经过不同反射杯后的出光情况。

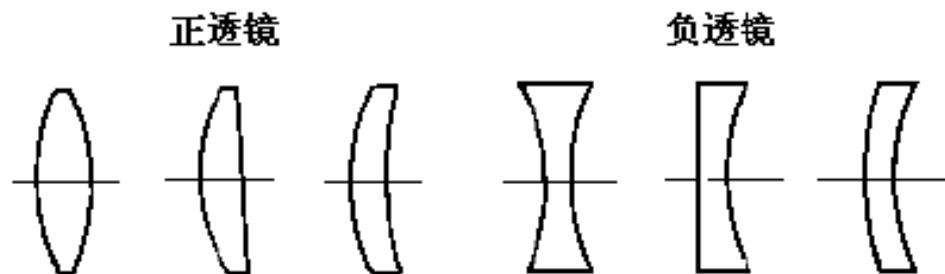
LED照明光学系统具体分析



根据上面的图，我们可以看到反射杯形状不一样，开口不一样最后的出光也相差很多。同样的道理如果换成不同的光源，最后的出光也会相差很多，所以在做**LED**照明系统时，要特别注意反射杯的选取以及光源和反射杯的搭配。

LED照明光学系统具体分析

- 透镜光学分析：
- 正透镜（凸透镜）——对光有会聚作用，其特征：中央厚，边缘薄，常见的有：双凸透镜，平凸，正弯月型等
- 负透镜（凹透镜）——对光有发散作用，其特征：中央薄，边缘厚，常见的有：双凹透镜，平凹，负弯月型等



- 透镜的焦距公式：
$$f' = -f = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} = -\frac{f'_1 f'_2}{d - f'_1 + f'_2} = \frac{nr_1 r_2}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

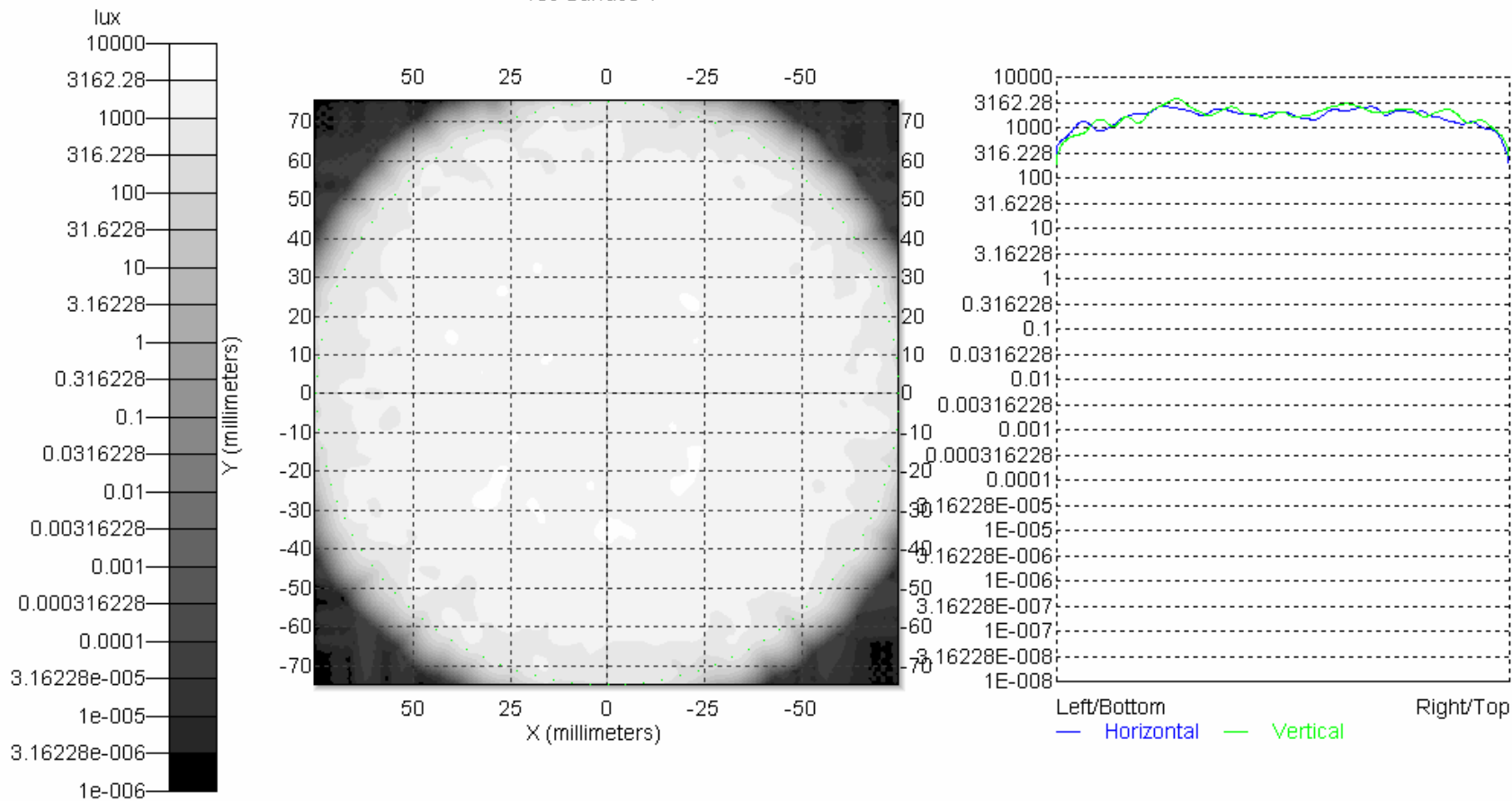
（设透镜二个曲率半径分别为 r_1 、 r_2 ，折射率为 n ，中心厚度为 d ）

在得到透镜的焦距之后，就可以调整光源和透镜的位置以达到我们的设计要求；如果是光源和透镜的位置已经固定，那就必须选择合适的光源和透镜以达到设计要求。

LED照明光学设计案例（1）

- 用我们前面模拟的光源，再加一个反射杯做一个实际应用的模拟。我们的要求是LED光源在加上反射杯后能在一米远处呈现一个比较均匀的光斑，光斑的直径在150mm左右。
- 我们先看一下模拟结果

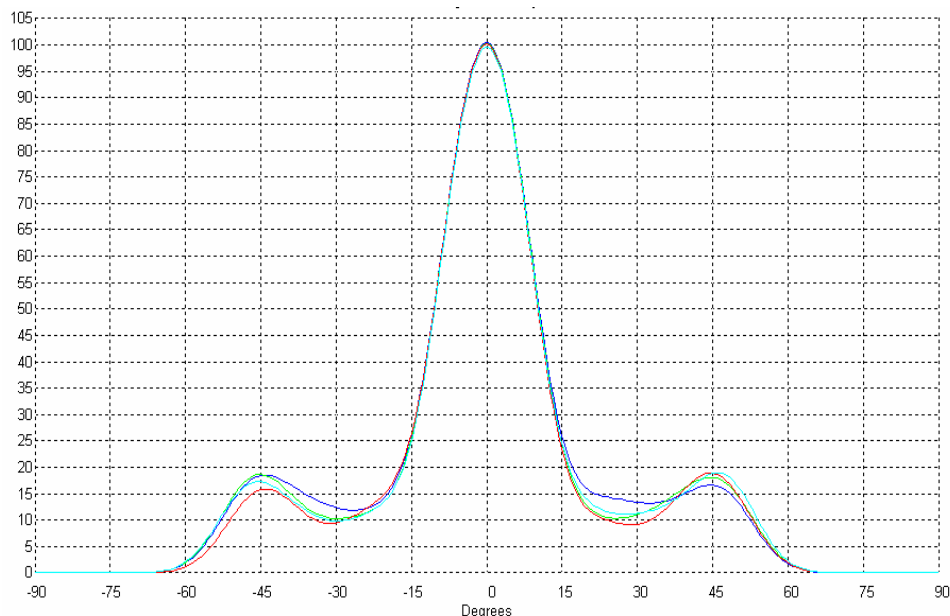
Total - Illuminance Map for Absorbed Flux
rec Surface 1



Illuminance Min: 4.7016e-008 lux, Max: 3906.5 lux, Ave: 1323.2 lux,
RMS: 929.29, Total Flux: 29.772 lm 11799 Incident Rays

LED照明光学设计案例（2）

- 从上面模拟出的数据可以看出，最后的结果基本符合要求，但还存在问题：
- （1）光源发出30000条光线，但在接受屏上只有11799条光线，这说明还有很多光线并没有到接受屏上；
- 解决方法：我们希望尽可能多的把光线集中到接受屏上，那就要使整个系统的发光角度变小。右下角是光强分布图，我们要做的就是使半值角再减小，光线更集中。
- 具体方法：
- （1）改变光源的位置
- （2）更换光源
- （3）更换反射杯
- （4）增加透镜

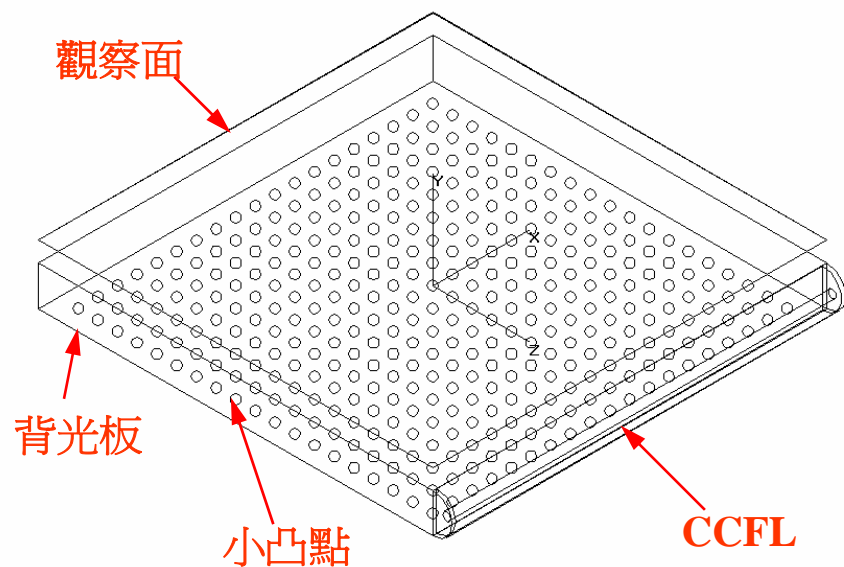


要注意的问题

- 1、反射杯的选取
- 2、材料特性：反射杯的反射层材料特性
- 3、光源部分的建立
- 4、设计要求和目标要明确

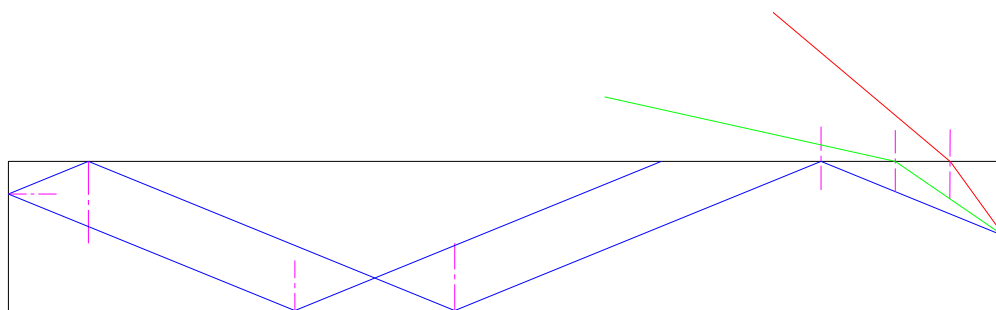
背光源光学设计

- 主要分析的光学部分：光源、背光板、反射膜，扩散膜
- 所需参数：
 - 光源：能量、光强分布、外形尺寸
 - 导光板：网点分布、材料、透光率、折射率、表面特性、外形尺寸
 - 反射膜、扩散膜：表面特性（反射、散射）
- 建立模型很重要，特别是背光板的模型



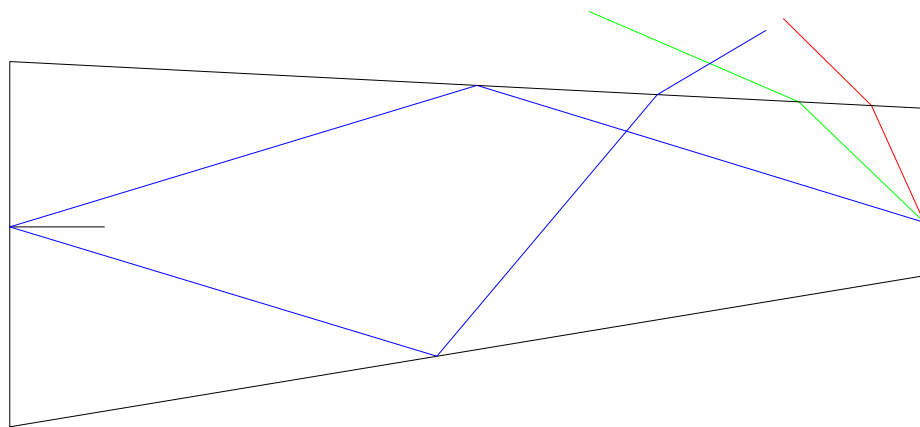
背光源光学系统的具体分析

- **光源部分：**一般选用侧发光LED,且侧面发光的角度较大，以便光线能在背光板上分布更均匀。
- **导光板部分：**看一下光线是如何在导光板内传播的
- 设导光板的折射率为 n ，空气折射率为1，那么根据几何光学的基本定律我们就可以分析出光在导光板内的传播情况。先计算出光线从导光板内射入空气时的发生全反射的临界角 $\theta_c = \arcsin(1/n)$ 。
- (1) 如果导光板为一平行板，且不做任何处理，假设有三条光线由导光板内射出，在分界面上红色和绿色光线的入射角都小于 θ_c ，而蓝色光线入射角大于 θ_c ，那么根据反射定律和折射定律我们就可以得到这三条光线传播路径，如下图所示，红，绿光线都可以直接折射出导光板，而蓝色光线由于发生全反射而不能射出



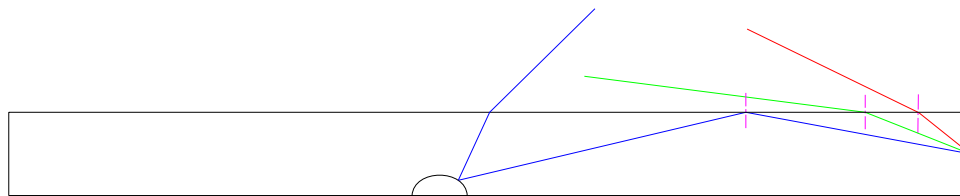
背光源光学系统的具体分析

- (2) 如果导光板为一楔形板，且不做任何处理，假设有三条光线由导光板内射出，在分界面上红色和绿色光线的入射角都小于 I_m ，而蓝色光线入射角大于 I_m ，那么根据反射定律和折射定律我们就可以得到这三条光线传播路径，如下图所示，红，绿光线都可以直接折射出导光板，而蓝色光线经过几次反射后最终也可以射出。



背光源光学系统的具体分析

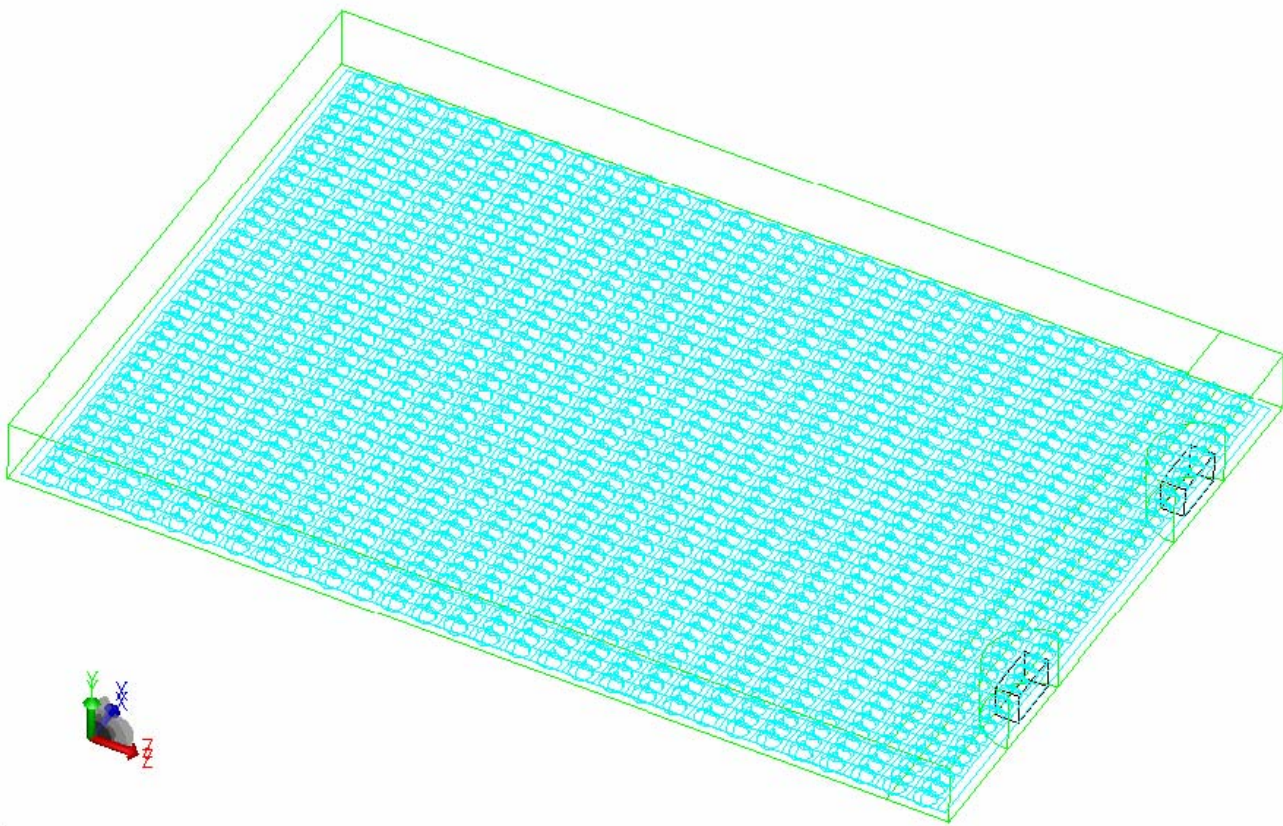
■ (3) 如果导光板为一平行板，底部做一些小凸点，假设有三条光线由导光板内射出，在分界面上红色和绿色光线的入射角都小于 l_m ，而蓝色光线入射角大于 l_m ，那么根据反射定律和折射定律我们就可以得到这三条光线传播路径，如下图所示，红，绿光线都可以直接折射出导光板，而蓝色光线由于发生全反射而反射回导光板，再经过小凸点反射后最终射出到空气中。



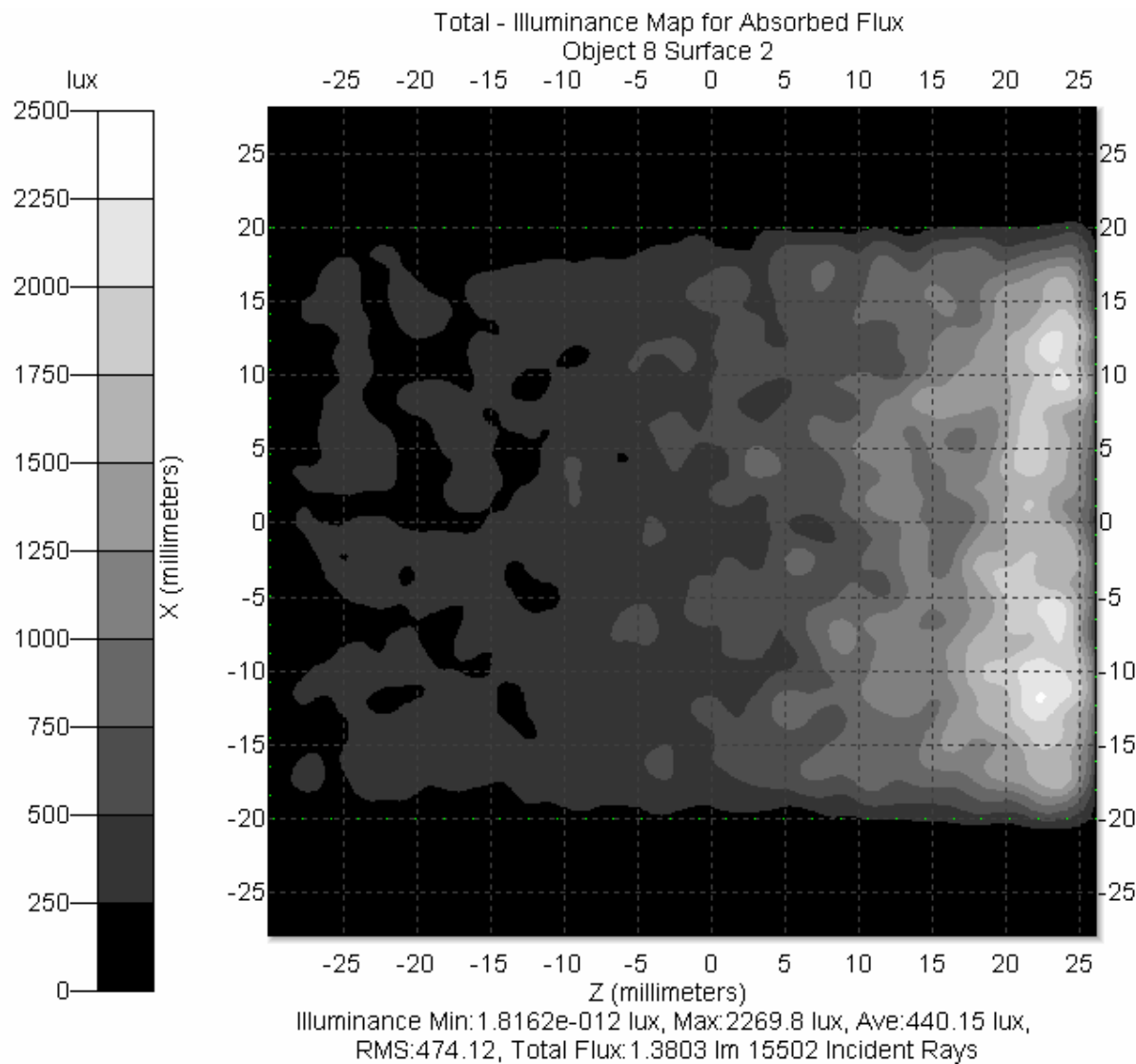
■ 通过上面三个例子我们可以看到第一种导光板效果显然不好，有很大一部分光线都出不来；第二种光线虽然可以射出但是由于厚度太厚在很多时候不能被接受；第三种效果比较好也是现在用的比较多的，也就是我们通常说的网点型导光板。这种导光板最重要的部分就是网点的分布，不同的网点分布最后的出光效果会完全不同。所以网点的设计很重要。

LED背光源光学设计案例（1）

- 我们先建立模型，光源用2只蓝色LED；
- 背光板：60*40mm，板上布有网点
- 把分析所需参数输入到软件里面，我们看一下结果，在背光板出光面上设一个接收屏



LED背光源光学设计案例（2）

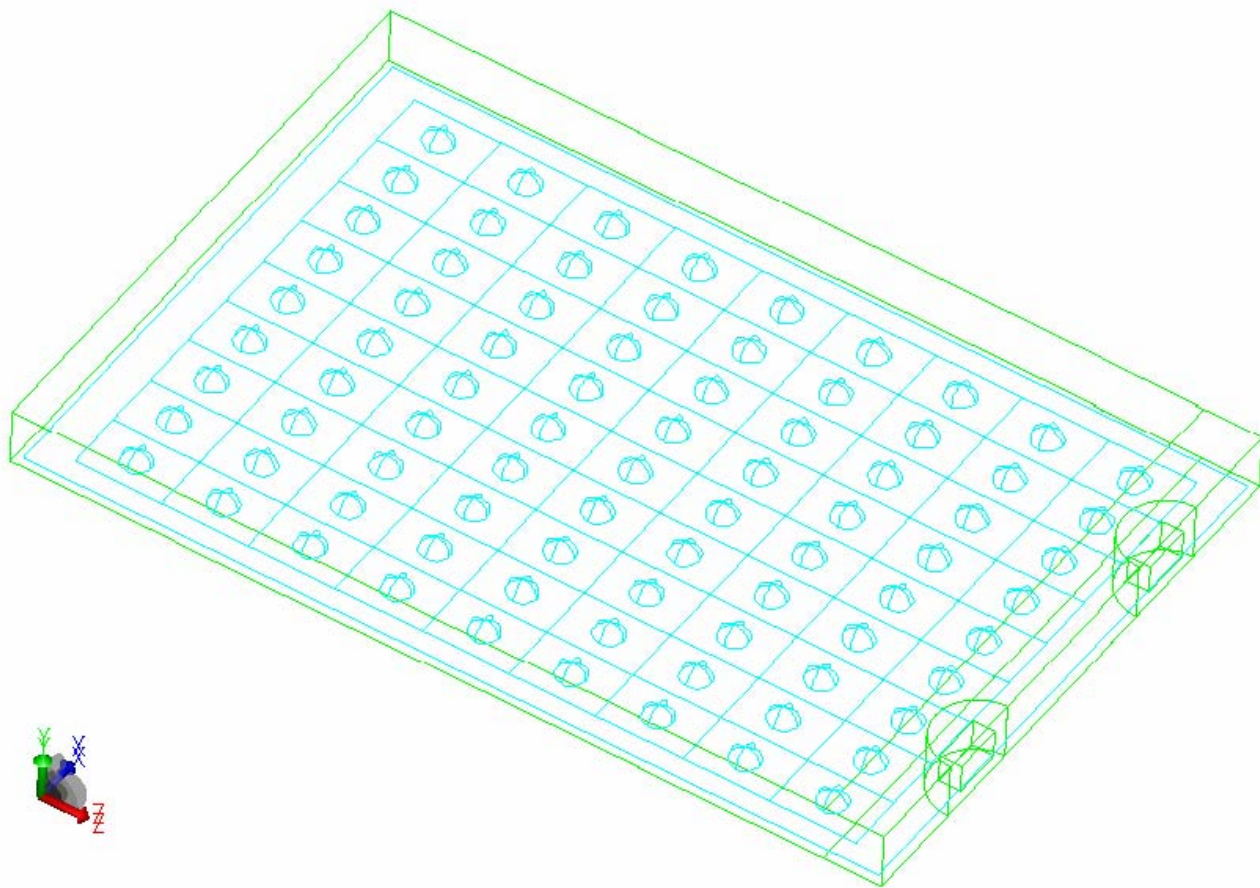


LED背光源光学设计案例（3）

- 从上面的照度图，我们可以很明显的看到背光板上靠近LED光源部分射出的光线要多，也就是说这块背光板出光是很不均匀的。
- 下面我们来看一下如何改进：
- 方法（1）：改变网点的数量和大小；
- 方法（2）：改变网点的排布；
- 方法（3）：更改背光板的尺寸；
- 方法（3）：更改光源；
- 那我们就用方法（1）来模拟一下改进后的结果
- 将网点数量变少并且增大网点

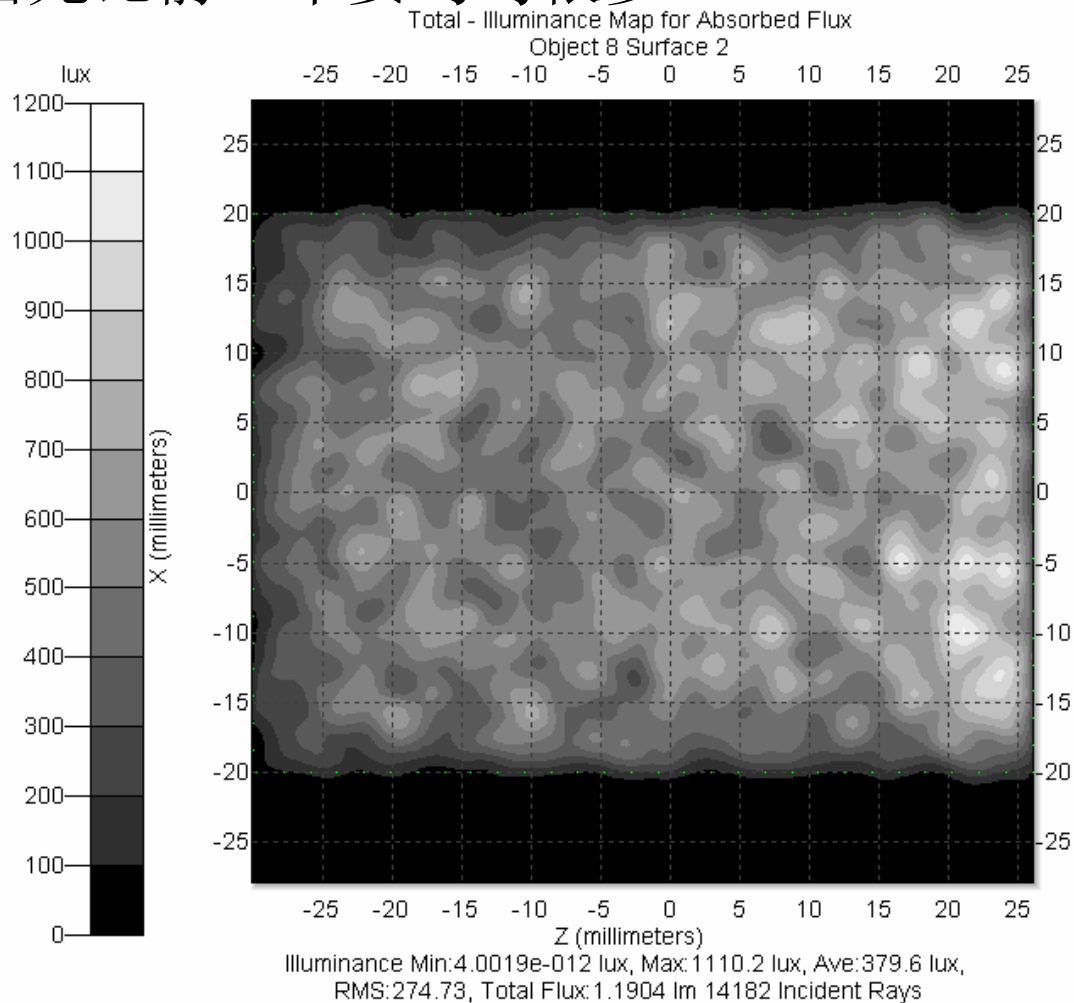
LED背光源光学设计案例（4）

- 下图是重新建立的模型，可以看到网点明显变少了，而单个网点的直径和高度增加了，其它都没有改变。



LED背光源光学设计案例（5）

- 重新用软件分析后，得出的照度图。从图中可以看到背光板的出光比前一个要均匀很多。



要注意的问题

- 网点的排布
- 光源的选择