

文章编号: 1007-2780(2005)03-0178-07

用于手机背光模组的轮廓渐变 V 槽形自由曲面结构的新颖设计

蒋金波, 杜雪*, 李荣彬, 张志辉

(香港理工大学 工业及系统工程学系 先进光学制造中心, 香港 九龙)

摘要: 目前, 市场上流行的手机背光源的导光板基本上为单面网点(球型微透镜阵列)的结构。文章介绍了一种新型手机用导光板的设计, 其采用一面为网点结构, 另一面为轮廓渐变的 V 槽形结构的自由曲面, 以使导光板的配光更加合理。模拟结果显示, 导光板照度比单面网点的导光板要高出 1 倍左右。采用这样的结构, 背光模组中至少可以少用一层 3M 公司的增亮膜(棱镜膜), 使背光模组的成本有效降低。

关键词: 背光模组; 导光板; 增亮膜; 网点; V 槽; 自由曲面

中图分类号: TN27; TM923.01 文献标识码: A

1 引言

由于 LCD 本身是非发光的显示器件, 所以必须借助背光源才能达到显示效果。背光模组约占 LCD 模块总成本的 11%~12%, 单纯从制造成本上来讲, 背光源是 LCD 模块中非常重要的部件。目前单色液晶显示器(TN 型 LCD)的透过率大约为 10%~30%, 彩色液晶显示器的透过率为 5%~8%, 想要使他们的显示亮度达到或超过 CRT 的亮度(130 cd/m^2), 前者光源的亮度应该在 1500 cd/m^2 以上, 后者应在 3500 cd/m^2 以上。显示面的亮度值均匀度在视角为 10° 时限定为 0.8(视角为 80° 时为 0.87), 优质图像希望能达到 0.9 以上^[1]。变轻、变薄、变亮、低耗电和降低生产成本是各背光源厂商追求的目标。但是由于背光源中的重要元件, 增亮膜的产权还被牢牢地控制在 3M 公司手中^[2]。而且由于 3M 公司的增亮膜的数量供不应求, 所以增亮膜的进货时间长, 而且价格也不菲(增亮膜成本约占整个背光源成本的 1/4)。现在各公司纷纷通过研究高效率、高亮度、高均匀性的导光板来减少或者不用背光源中的增亮膜以解决 3M 公司增亮膜的供

货瓶颈问题和降低生产成本。

一体化设计成为首选的设计方法, 如把导光板的出光面直接注塑成棱镜状, 这样只需用一张增亮膜。Y. Oki 发表了一种 Sheetless 导光板, 导光板结构为直接在导光板注塑成型表面刻出纳米大小的沟槽, 以取代 prism sheet(棱镜片或增光膜)^[3]。由于少用一张增亮膜亦可发出同一亮度以上的亮度, 不仅可减少 12%左右的背光模组的成本, 而且可缩短制程。

有的公司在研制一种由偏振导光板构成的偏光板背光源^[4,5]。一般由背光源发出的非偏振光只有约 40%能通过 LCD 屏下的偏光板, 60%的光被反射或被损耗, 若加入偏光板使这部分光被反射后再将其偏振方向旋转 90° 再次利用以增加透过 LCD 面板的亮度, 则构成偏光板背光源。这种背光源能将效率提高 1 倍多。但是由于偏振导光板的制作成本高, 现在还未见有投入市场。

本文介绍一种新型手机用导光板的设计原理和模拟效果, 导光板下表面(靠反射片面)采用网点结构, 上表面(靠近 LCD 面)采用轮廓渐变的 V 槽形结构的自由曲面。这种设计结构有别于 Y. Oki 的 Sheetless 导光板。

收稿日期: 2004 11 25; 修订日期: 2005 04 01

基金项目: 中华人民共和国香港特别行政区创新科技基金会资助项目(No. ITS/201/01)

*通讯联系人, E-mail: mfs to @inet.polyu.edu.hk; sandy.to @inet.polyu.edu.hk

2 手机背光源的基本结构

由于厚度所限, 手机背光源的照明方式为侧光照明, 主要由 LED (或 CCFL, cold cathodal fluorescent lamp 即冷阴极荧光灯管) 光源、反射片、导光板(lightguide)、扩散片(diffuser)、两层垂直交错放置的增亮膜 BEF (brightness enhancement film) 或者是 BEF+DBEF (双重增亮膜 Dual BEF) 和封装壳体组成。如图 1 所示。

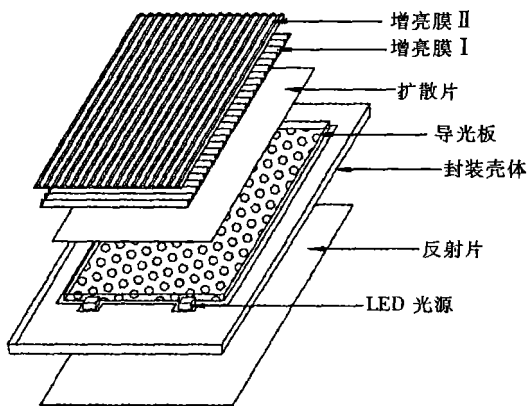


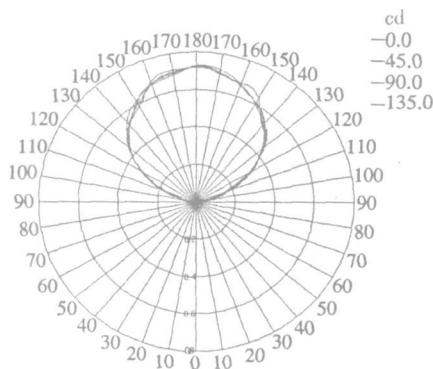
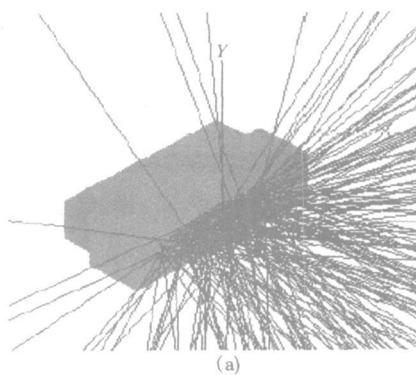
图 1 手机背光源的基本结构

Fig. 1 Basic configuration of the cell phone back light model

在白光 LED 产业化以前, 手机背光源一般用 CCFL 作为光源, CCFL 一般寿命可以达到 20 000 h, 特殊要求的可以达到 50 000 h 以上, 管径为 1.2~3.0 mm。现在, 由于 LED 的产率提高, 而且 LED 的寿命可达 100 000 h 以上, 尺寸可以非常小, 有单色光和白光, 所以目前的手机背光源一般都采用贴片 LED 作为光源。

LED 光源一般为 2.5 mm×0.85 mm×0.8 mm 的白光贴片 LED, 色坐标约为 X: 0.31, Y: 0.32 发光材料为 GaN /sapphire 化物半导体芯片加白色或黄色磷光粉。远场分布接近朗伯(Lambertian)分布, 发散全角(以峰值强度的 1/2 计算)为 110° 或 120°。一般情况, 手机贴片 LED 的发光强度为 700~900 mcd, 有的彩屏背光源采用高亮度发光强度超过 1 000 mcd 的超亮贴片 LED。图 2 为用计算机建模的贴片 LED 和远场角度分布情况。

导光板一般用注塑成型的方法制成, 材料为 PMMA 和 Polycarb 的较多, 目前市面上比较流行的一般为单面微结构阵列或单面 V 槽结构的



Efficiency:1.0000-100000 Rays
Min:1.371 4 e-015 cd,Max 0.729 09 cd,Total Flux:2 lm

图 2 贴片 LED 的建模和远场角度分布。(a) 3D 建模; (b) 远场角度分布。

Fig. 2 Computer modeling and the far field angle distribution of the SMD LED (surface mount device LED). (a) 3D modeling; (b) Far field angle distribution.

导光板, 图 3 为两种典型的背光模组。图 3(a) 中的导光板底部有很多微小透镜阵列, 微透镜的形状可以是圆球形或者是四面体角锥棱镜形状。距离 LED 光源近的地方微透镜尺寸比较小, 远离 LED 光源的地方微透镜尺寸比较大。微透镜的主要作用为改变光线方向, 当光线从导光板边缘的 LED 射入, 经过导光板底部的微透镜折射后形成向上发散的光线。从微透镜底部漏出的光线被反射片反射回导光板再次循环利用。通过排列微透镜的大小和间距, 可以得到整个面均匀分布的面光源。图 3(b) 中的导光板的底部为 V 槽形结构, 离 LED 近的地方 V 槽之间的距离比较宽, 远离 LED 的地方 V 槽之间的距离比较窄。V 槽的作用跟网点差不多, 主要是为改变光线的方向, 把水平入射的 LED 点光源变成向上发射的

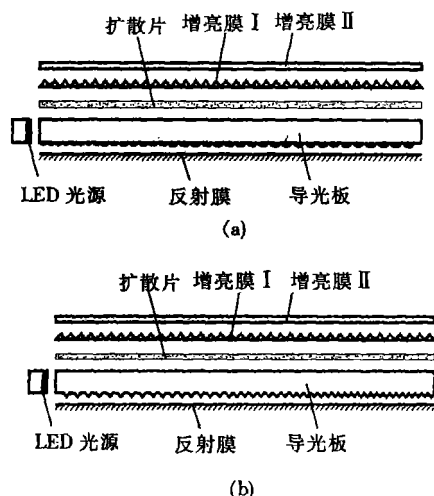


图3 背光源中两种常见的导光板形式。(a)微透镜阵列；(b)V槽结构阵列。

Fig.3 Two kinds of light guide plates usually used in backlight. (a) Micro lens array; (b) V cut array.

均匀分布的面光源。

反射片的主要作用为将所有从导光板底部漏出的光反射回导光板。反射片一般用白色镀银或镀 BaSO_4 薄膜反射片，一般厚度为 $65 \sim 230 \text{ nm}$ ，反射率大于 95% 。有的公司采用镀铝膜的塑胶片^[6]。

扩散片(diffuser)位于导光板的上方，其主要功能是将透过导光板的光线做散射处理，以达到雾化效果。扩散膜的主要制作方法是在扩散膜的基材中加入 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 的化学颗粒譬如 Si 或者 SiO_2 颗粒作为散射粒子；或者是使用全息技术，经由曝光显影等化学程序将毛玻璃的相位分布记录下来粗化扩散膜表面基材表面，以散射模糊导光板上的亮暗区或线条。有的台湾公司利用莫尔条纹现象及光学成像原理制作光学扩散膜，譬如帝晶公司的叠纹透镜扩散膜^[7]。一般的光学系统设计都是将像差控制至最小程度，以达到最高的成像品质；但叠纹透镜是完全背道而驰的想法，

利用将不同的光学元件交叠后产生的莫尔条纹现象(Moiré phenomenon)来产生全新不同于原光学元件的新光学元件并控制像差的程度，然后利用像差所具有的模糊影像的特征，来雾化光源的效果。据称这种叠纹透镜扩散膜除了基材本身的吸收外几乎无任何额外损耗，而且能有效地控制雾化光源的扩散角，譬如液晶能接受的 $\pm 17^\circ$ 入射角，因而可提高光源的利用率。

增亮膜，其作用就是利用直角棱镜的全发射，让分散的光集中在法线 70° 范围内出光，让大于 70° 射出的光又反射回来再次被利用，如图4所示。双片垂直交叠使用可使在轴中心亮度增加约 110% ，使分散的光线集中于一定的角度从背光源中发出。目前 3M 公司还开发了一种偏振分光增亮膜，即 DBEF。众所周知，LCD 面板只通过偏振光，当光通过 LCD 下层偏光片时，有 50% 的光被吸收白白浪费掉。而采用偏振增亮膜，其原理是将原本被吸收的 50% 偏振光循环回导光增亮膜再把偏振方向旋转 90° 变成 LCD 面板可利用的偏振光，如此反复循环可增加亮度 60% 。表 1 为手机背光源常用的 3M 公司的 DBEF M 的规格以及与 BEF 配合使用后视角和亮度上升率的情况。

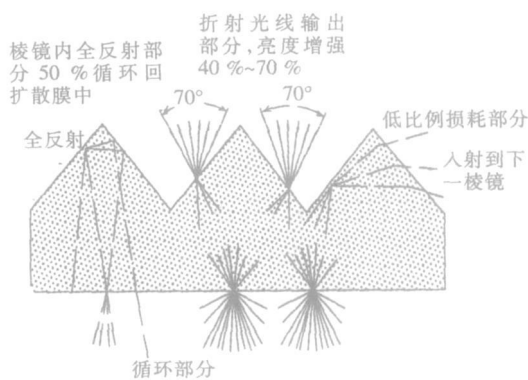


图4 增亮膜结构示意图

Fig.4 Principle of the brightness enhancement film

表 1 为 3M 公司一些常用的 DBEF M 及其与 BEF 组合使用的情况

Table 1 Different combinations of 3M DBEF M and BEF usually used in cell phone backlight models

特 性	辉度上升率(%)	视角 1/2 值 垂直/水平(°)	厚 度(μm)
DBEF M	59	98/113	132
DBEF M+BEF II	111	65/92	132+155
DBEF M+Crossed BEF	135	52/59	132+155+155

3 轮廓渐变的 V 槽形自由曲面设计

3.1 设计原理

导光板的主要作用是将侧面放置的 LED 的点光源变成导光板整个面上均匀分布的面光源。导光板设计的好坏, 关系到整个背光源的效率、均匀性和亮度。如果导光板的透光效率高, 那么可以少用一片 BEF 或者不用 BEF, 有效降低背光源成本。

轮廓渐变的 V 槽形导光板主要采用边界光线原理(edge ray principle)来设计。边界光线原理主要是指: 一个连续的集合体, 它的映射也是一个连续的集合体, 并且映射是一一对应的, 其边界经过映射后也是另一个集合的边界。即一簇光经过一个连续表面改变方向后照射到另一个表面, 它所形成的也是一个连续的区域, 相邻的光点在目标区域上还是相邻的, 边界上的光点对应于目标区域上的边界^[9]。多面体反光杯的设计就是利用边界光线的原理, 反光杯中的每一个面是

一个单独的集合体, 独立承担着一个角度的照明, 多个映射集合的叠加将产生某个角度的均匀照明。而连续曲面反光杯的照明会产生一圈圈亮度不均匀的光圈, 譬如手电筒中的反光杯。边界光线原理被广泛地用在非成像照明系统的设计中, 如车灯自由曲面的设计等。

本文的导光板设计也采用了这个原理。图 5 为利用边界光线原理设计的轮廓渐变 V 槽形结构的示意图。每一个 V 槽的轮廓线前面部分的水平夹角比较大, 后面部分的水平夹角比较小。导光板中低角度入射的光线, 入射到 V 槽轮廓线的最前面部分时, 将向下全反射, 而入射到 V 槽轮廓线的最后面部分将向导光板的最后方向全反射, 入射到轮廓线中部的光线, 将被反射到介于这两者之间的部位。利用多个 V 槽全反射光的叠加, 可以产生均匀分布的面光源。V 槽的轮廓数据用积分迭代法算得, 输入到 CAD 软件建立实体模型并进行光线追踪。

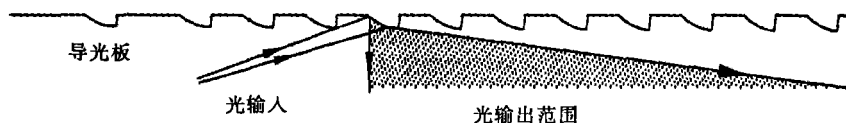


图 5 轮廓渐变的 V 槽形导光板

Fig. 5 Light guide plate with freeform progressive V cuts

3.2 导光板的光模拟

采用 2.5 mm×0.85 mm×0.8 mm, 发光强度为 800 mcd 的贴片 LED, 分别对 3 种不同结构的导光板进行描光模拟, 模拟用的软件为 Info tech 的 Tracepro。模拟过程中, 导光板下面放置

一层反射率为 95 % 的反射片, 上面没有加扩散板和 3 M 增亮膜, 只加一层观察屏对导光板进行光度分析。

图 6(a)和(b)为当导光板为一块光板, 上下两面没有任何微结构的时候, 3D 模型和亮度分布

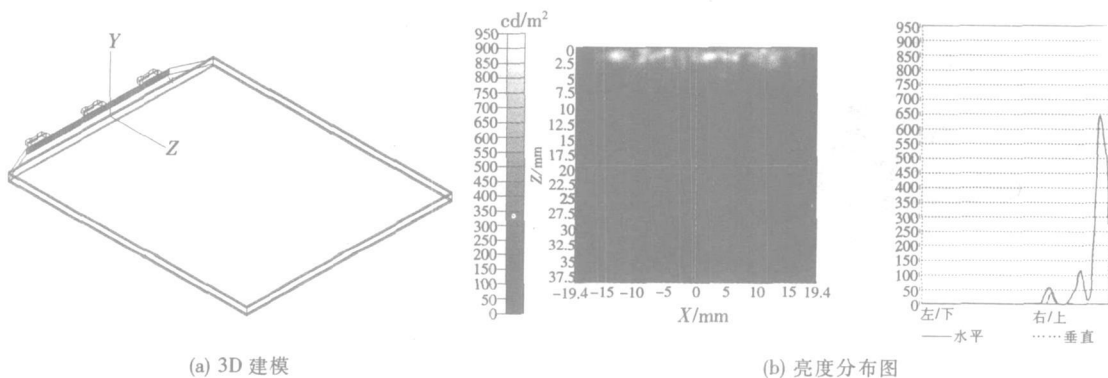


图 6 无任何微结构的导光板建模和亮度(辉度)分布图。(a) 3D 建模; (b) 亮度分布图。

Fig. 6 Computer modeling and the luminance map for the light guide plate without any micro structures. (a) 3D modeling; (b) Luminance distribution map.

图。可以看出亮度都集中在 LED 一侧。远离 LED 的位置由于导光板内部的全反射，光线几乎没有从导光板上表面射出，光线最后都从后端面输出损耗掉了。

图 7(a) 和 (b) 为当导光板只有底面加网点 (微透镜阵列) 时, 3D 模型和亮度分布图。微透镜阵列的排列方式为 45° 交错排列, 图中 X 方向排列的间距为 0.6 mm , Z 方向排列的间距为 0.3 mm , 微透镜大小从曲率半径 $R=0.24\text{ mm}$,

深度 $d=0.015\text{ mm}$, 直径 $D=0.167\text{ 033 mm}$; 沿 Z 方向等差渐变为曲率半径 $R=0.6\text{ mm}$, 深度 $d=0.03\text{ mm}$, 直径 $D=0.374\text{ 7 mm}$ 。微透镜的深度变化在 Precitech Nanoform 200 单点金刚石车削快刀进给系统所限制的加工能力范围内。模拟结果显示导光板的亮度在 1 500 cd/m^2 左右, 靠近 LED 附近稍有亮斑, 如果要达到均匀性 $\geq 85\%$, 亮度达到 35 000 cd/m^2 , 则必须加上一层 Diffuser 和双层 BEF。

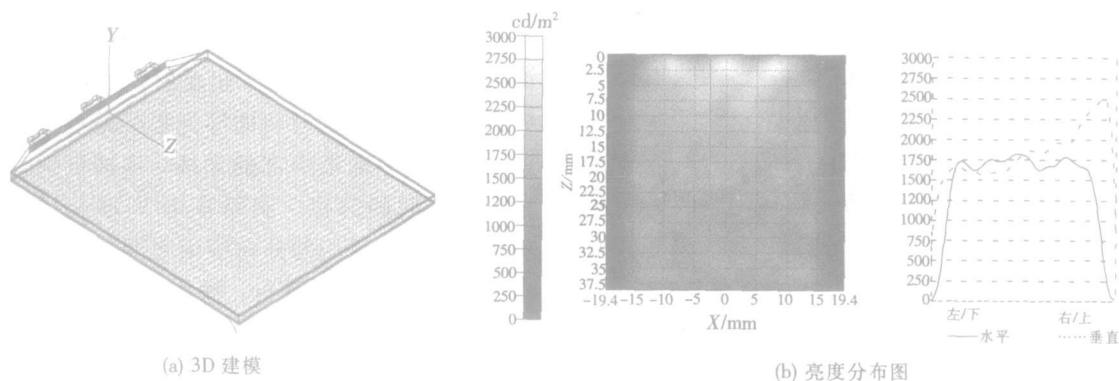


图 7 导光板微结构为微透镜阵列的建模和亮度分布图。(a) 3D 建模; (b) 亮度分布图。

Fig. 7 Computer modeling and the luminance map for the light guide plate with micro lens array. (a) 3D modeling; (b) Luminance distribution map.

图 8(a) 和 (b) 为当导光板底面加网点, 上表面为轮廓渐变 V 槽形结构的自由曲面时三维实体建模和亮度分部图。导光板网点的分布和图 7 中的一样, V 槽结构的宽度为 $30\ \mu\text{m}$, 为使导光板的配光更加合理, 每一个 V 槽的轮廓按照边界光线原理来计算, V 槽间的距离稍做调整。模拟结果显示导光板的亮度在 3 500 cd/m^2 左右,

靠近 LED 亮斑基本上已经消除, 均匀性也大大提高, 接近 90% , 亮度达到了 35 000 cd/m^2 , 已达到基本要求, 生产的时候可以少用一层 BEF, 只需加扩散膜和一层 Cross BEF (或者 DBEF) 把导光板的出射光线的扩散角有效控制液晶板所接受的堆角之内即可。

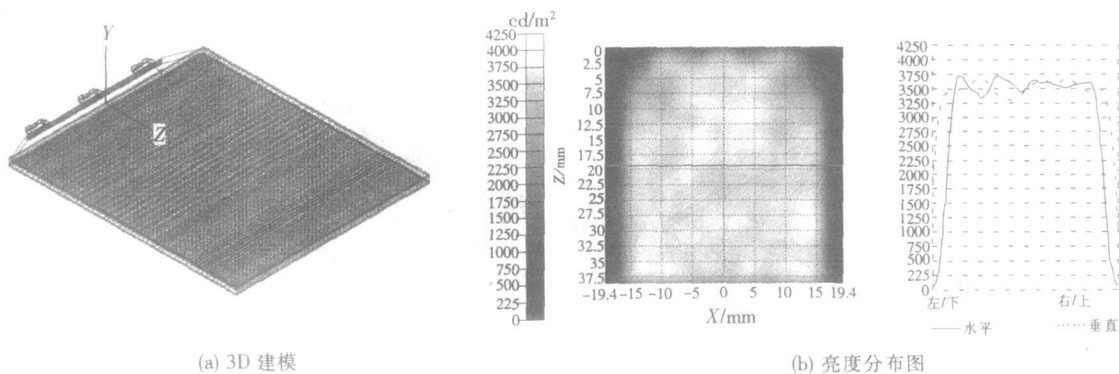


图 8 微透镜阵列+轮廓渐变的自由曲面 V 槽形的导光板的建模和亮度分布图。(a) 3D 建模; (b) 亮度分布图。

Fig. 8 Computer modeling and the luminance map for the light guide plate with micro lens array + freeform progressive V cut. (a) 3D modeling; (b) Luminance distribution map.

4 轮廓渐变的 V 槽形自由曲面的优点

由于自由曲面的设计采用了边界光线原理, 所以导光板的配光均匀性可以大大地改善, 如果导光板上表面采用形状都是一样的 V 槽结构, 由于 V 槽的衍射, 很容易产生类似于莫尔条纹的亮暗交替的条纹^[10]。另外由于导光板上表面的 V 槽结构, 增加了光线在导光板内循环的次数, 所以光能的有效利用率将被大大地提高。

5 微透镜阵列和 V 槽结构的超精密机加工方法

目前导光板网纹和微结构的加工方法多种多样, 一般可以采用化学腐蚀(chemical etching)、光刻(optical lithography)和单点金刚石加工的方法。但是由于化学腐蚀和光刻的表面粗糙度欠佳, 光能的损耗比较大, 这里将特别介绍超精密单点金刚石加工(diamond turning technology)的方法。

超精密单点金刚石加工技术, 是采用天然单晶体金刚石刀具在超精密车床上对工件进行定点车削, 其加工精度可达纳米级表面粗糙度, 所以也称为纳米加工技术。一般塑料非球面镜片的加工、塑料非球面镜片注塑成型的模芯都是采用单点金刚石车削的方法, 还有一些红外单晶体材料, 如单晶硅、单晶锗等, 也是采用此种方法加工的。单点金刚石车削后的表面为光学表面, 不需要抛光。

导光板的微透镜阵列由超精密单点金刚石设备再配置快刀进给系统来加工。将导光板模芯固定在回转轴上旋转, 利用金刚石车刀的快速压电进给(fast tool servo)(图9)来车出凸的或者凹的透镜阵列。自由曲面 V 槽的超精密加工, 是采用大型的五轴超精密加工设备(图10), 根据在单点金刚石磨削中输入轮廓线各点的 X、Y 坐标数据加工成型, 所需加工时间较长, 因而加工成本较贵, 采用单点金刚石磨削的方法, V 槽结构的加工可以不受 V 槽深度的限制。

参 考 文 献:

[1] 任洪文, 黄锡珉, 金长峰. 液晶显示器的背光源[J]. 液晶与显示, 1994, 2(1): 49-56.

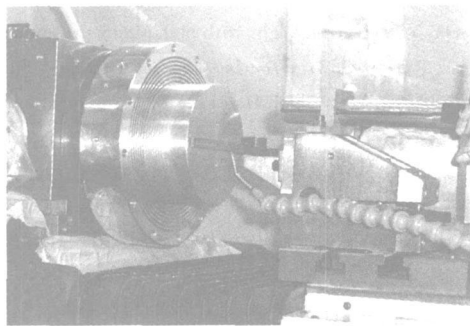


图9 用(Precitech Nanoform 200)金刚石车刀的快速压电进给系统在工件上加工微透镜阵列演示图

Fig.9 Demonstration of using the fast tool servo system of Precitech Nanoform 200 to process the micro lens array in the work piece



图10 (Freeform 705G) 5轴自由曲面超精密加工设备

Fig.10 Freeform 705G 5 axis ultra precision machine

6 结 论

介绍了一种新型手机背光源的导光板的设计, 采用一面为网点结构另一面为轮廓渐变的 V 槽形结构的自由曲面。由于自由曲面的设计采用了边界光线原理, 所以导光板的配光均匀性可以大大地改善, 使导光板的配光更加合理。而且 V 槽的结构增加了光在导光板内部的循环次数, 大大提高了光能的利用率。采用此导光板, 照度将比只有网点的导光板要高出 1 倍左右。背光模组中可以少用一层增亮膜, 能有效地降低成本。为了确保 V 槽和微透镜阵列的加工精度, 超精密单点金刚石车削及磨削技术也是必不可少的。

- [2] 邹跃军, 任丁. 背光源结构分析及几种提高亮度的途径 [J]. 液晶与显示, 2002, 17 (6): 465 469.
- [3] Oki Y. Novel backlight with high luminance and low power consumption by prism on light pipe technology [A]. *Digest of Technical Papers, Society for Information Display, Santa Ana, Calif.*, [C]. 1998. 57 160.
- [4] Chien Ko Wei, Shieh Han Ping D. Design and fabrication of an integrated polarized light guide for liquid crystal display illumination [J]. *Appl. Opti.*, 2004, 43 (9): 1830 1834.
- [5] Chien Ko Wei, Shieh Han Ping D, Hugo Cornelissen. Polarized backlight based on selective total internal reflection at microgrooves [J]. *Appl. Opti.*, 2004, 43 (24): 4672 3676.
- [6] 李海峰, 杨柏梁, 马凤雷. 高品质液晶显示器用轻薄背光源技术要点 [J]. 液晶与显示, 2003, 8 (1): 58 62.
- [7] 帝晶光电. 产品资讯栏目. 背光模组 (TFT LCD BACKLIGHT) [EB/OL]. http://www.slight.com.tw/2_product/product.htm.
- [8] 3M United State. Prismatic Brightness Enhancement Film [EB/OL]. http://products.3m.com/catalog/us/en001/electronics_mfg/vikuiti/node_L6GFL9B151be/root_GST1T4S9TCgv/vroot_S6Q2FD9X0Jge/gvel_B2JK91JWNVgl/theme_us_vikuiti_3_0/command_AbcPageHandler/output_html. 3M 1995 2005.
- [9] Ries Harald, Ari Rabl. Edge ray principle of nonimaging optics [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1994, 11 (10): 2627 2632.
- [10] Parikka Marko, Kaikuranta Terho, Laakkonen Pasi *et al.* Deterministic diffractive diffusers for displays [J]. *Appl. Opti.*, 2001, 40 (14): 2239 2246.

Design of the Freeform V cut Optics in the Cell Phone Backlight System

JIANG Jin bo, TO Sandy^{*}, LEE W B, CHEUNG Benny

(*Advanced Optics Manufacturing Centre, Department of Industry and Systems Engineering,*

The Hong Kong Polytechnic University, HongKong, China. E mail: mfsto@inet.polyu.edu.hk; sandy.to@inet.polyu.edu.hk)

Abstract

Having a microlens array on one side of the lightguide plate is now widespread in cell phone backlight systems. This paper describes a new design for the cell phone lightguide plate, which uses microlens array structure on one side and a progressive V cut freeform surface on the other side. The illumination distribution of the lightguide becomes more reasonable. The results of the simulation show that the illumination of the lightguide plate is double that of a plate with only a microlens array in one side. If this lightguide is adopted, a layer of 3M brightness enhancement film can be reduced.

Key words: backlight module; lightguide plate; brightness enhancement film; micro lens array; V cut; freeform surface

作者简介: 蒋金波 (1974 -), 男, 浙江永康人, 博士, 副研究员, 从事光学系统设计工作。