

國立交通大學

光電工程研究所

碩士論文

非對稱式光注入下導光板之光學設計分析與研究  
**Study on the backlit design with asymmetrical light  
source**

研究生：李清祥

指導教授：陳志隆 教授

中華民國九十四年六月

非對稱式光注入下導光板之光學設計分析與研究

**Study on the backlit design with asymmetrical light source**

研究生：李清祥

Student: Ching-Shiang Li

指導教授：陳志隆

Advisor: Jyh-Long Chern

國立交通大學  
光電工程研究所  
碩士論文

A Thesis

Submitted to the Institute of Electro-Optical Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Electro-Optical Engineering

June 2005

Hsinchu, Taiwan

中華民國九十四年六月

## 誌謝

論文終於完成了!也為這七百多個日子的研究所學業做了一個結束。在交大光電所的這兩年當中，我學到了不少東西，不論是學業或是非學業上。而我最感謝的是在這兩年中細心指導我的陳志隆教授；剛上研究所時，十分不適應研究所的學習方式，對自己的未來也沒有明確的目標，但是在陳老師的耐心指導之下，我慢慢跟上了軌道，而且也在光學設計這塊領域中找到了自己的興趣以及未來的目標。

在實驗室兩年當中，同學以及學長學妹們使我的生活更加多采多姿，並且在學業上給予我支持與鼓勵。感謝家佑、志雲、森年、晟傑及兆璽學長、伊凱學長總是在我遇到難題時能給予我協助，並給我適當的建議；玫君、夢華、忠穎、建成、奎佐在我研究上提供的協助。另外也感謝我的好朋友新原、哲民、學鈞、達遷、阿波、誌庭、…等在這兩年中給我的鼓勵。

最後，我要感謝我的家人，以及我的女友-美琪，陪我度過這一段日子，也在背後不斷給我打氣、支持我，讓我能順利完成學業，僅將本文獻給家人以及關心我的人。

# 非對稱式光注入下導光板之光學設計分析與研究

學生 李清祥

指導教授 陳志隆

國立交通大學光電工程研究所碩士班

## 摘要

本篇論文主要的目的是對液晶螢幕(Liquid Crystal Display;簡稱 LCD)背光模組(Backlight Module)中非對稱光注入式導光板(Light-Guide Plate)作分析與研究。導光板的主要目的是使液晶螢幕的光照度能夠分布均勻，而導光板設計的優劣與否，對於 LCD 畫質亦有很大的影響。而背光模組可因光源配置方式的不同，可分為直下式背光模組以及側光式背光模組，而側光式背光模組的光源配置又可分為光源對稱配置以及光源不對稱配置，在以上不同光源配置的背光模組中，導光板的設計也不盡相同。而在本篇論文中，除了對非對稱光注入式導光板做理論分析外，我們並使用光學軟體 Tracepro 來作模擬驗證並與實驗結果一併討論。

# Study on the backlit design with asymmetrical light source

Student : Ching-Shiang Li    Advisor : Dr. Jyh-Long Chern

Institute of Electro-Optics Engineering

National Chiao Tung University

## Abstract

The major concern of this thesis is to analyze the light distribution on the light-guide plate of backlight module with asymmetrical light sources for a liquid-crystal display(LCD). The major function of the light-guide plate is to make a LCD having good luminance uniformity and the design of light-guide plate directly impacts the performance of image quality of LCD. We can sort the backlight module to two types of direct type backlight module and side-edge backlight module by location of the light sources. There are also two kinds of side-edge backlight module having symmetrical or asymmetrical light sources. Because having difference of the location of light sources, the design of light-guide plate is also different. In this thesis, we will do theoretical analysis of light-guide plate with asymmetrical light sources and run simulation to test and verify our result by optical software , Tracepro. In this thesis, the experimental observation of a commercial product is also included.

## 目錄

誌謝	I
摘要	II
Abstract	III
目錄	IV
第一章 緒論	1
1-1 背光模組各項元件的功能簡介	3
1-2 現今最常使用的背光模組種類	4
1-3 導光板對背光模組的重要性	7
1-4 導光板的製造方法	8
第二章 導光板的設計原理與分析	9
2-1 不同背光光源的特性以及其對 LCD 之影響	10
2-2 CCFL 及 LED 之光源分析	13
2-3 側光式背光模組導光板的光學原理	14
2-3.1 狹窄化方法-楔形導光板	15
2-3.2 加入擴散點方法	29
2-3.3 加入微結構方法	34
2-3.4 混合式設計方法	35
2-4 導光板出光平面上光均勻度計算	36
第三章 側光式背光模組導光板之最佳化設計與光學模擬	39
3-1 導光板之專利分析與模擬	40
3-2 側光式導光板設計之最佳化流程	48
3-3 以實際導光板樣本為基礎做分析、模擬與優化	49
3-3.1 Panasonic GD93 手機之導光板介紹與分析	49
3-3.2 Panasonic GD93 手機背光模組導光板之光機模擬	50

3-4 Panasonic GD93 手機之導光板之實驗量測與模擬結果比較 .....	59
第四章 總結 .....	63
4.1 工作回顧 .....	63
4.2 未來側光式導光板設計發展之延續性 .....	64
參考文獻 .....	65
附錄 A 美國專利 US 6, 454, 452 導光板擴散點佈點程式碼 .....	66
附錄 B Panasonic GD93 導光板樣本之擴散點佈點程式碼 I .....	68
附錄 C Panasonic GD93 導光板樣本之擴散點佈點程式碼 II .....	69
作者簡歷 .....	71



## 圖目錄

圖 1.1：一般背光模組之組成元件	2
圖 1.2：側光式與直下式背光模組	4
圖 1.3：穿透、反射、穿反式三種背光模組	5
圖 1.4：穿反式背光模組在各種不同環境下的工作模式	6
圖 1.5：光在通過背光模組各項元件之效率	7
圖 2.1：CCFL 以及 LED 之光譜通過 Color Filter 後之 RGB 光譜分佈	11
圖 2.2：分別以 CCFL 與 LED 作為背光光源之螢幕畫質表現比較	11
圖 2.3：Lambertian LED 光源	13
圖 2.4：光由光源至出射導光板之光跡	14
圖 2.5：光在不同入射角由壓克力入射空氣之路徑	14
圖 2.6：光在矩形導光板內之光跡	15
圖 2.7：光由光源向下出射時在楔形導光板內之光跡	16
圖 2.8：將光源分向上及向下出射兩部分做分析	17
圖 2.9：光在一平面發生全反射時之等效光程	18
圖 2.10：由光源向下出射的光在楔形導光板內全反射時之等效模型	19
圖 2.11：光在導光版中等效出射位置 $X'$ 與真實出射位置	20
圖 2.12：光由光源向上出射時在楔形導光板內之光跡	21
圖 2.13：由光源向上出射的光在楔形導光板內全反射時之等效模型	22
圖 2.14：楔形導光板之傾斜角 $\theta_s$ 與長及高之關係	23
圖 2.15：不同角度向下出射光源的光與出射導光版所需在 A 面反射次數關係	23
圖 2.16：不同角度向上出射光源的光與出射導光版所需在 A 面反射次數關係	24
圖 2.17：光通量守恆	24
圖 2.18：將光源發出的光分為等光通量的六塊區間	25
圖 2.19：等光通量 A-F 區域在導光板出光面上的分佈範圍	25
圖 2.20：光源分為六等光通量時導光板上之平均光照度	26

圖 2.21：光源分為十及二十部份等光通量時導光板上之平均光照度	27
圖 2.22：以 Tracepro 所建構的楔形導光板模型	27
圖 2.23：光由光源向下以 $15^{\circ}$ ~ $75^{\circ}$ 出射光在楔形導光板內之光跡	28
圖 2.24：楔形導光板上出光面之光照度分佈	28
圖 2.25：15 吋 LCD 之導光板樣本(a)導光板(b)導光板上擴散點分佈	29
圖 2.26：光入射擴散點產生全反射時之光跡	30
圖 2.27：光入射擴散點產生折射時之光跡	30
圖 2.28：前後擴散點大小相同時之 A、B、C 三光束線之光跡	31
圖 2.29：離光源較遠之擴散點尺寸較大時之 A、B、C 三光束線之光跡	31
圖 2.30：美國專利 US 6729737 具有楔形擴散點之導光板	32
圖 2.31：光在具有漸大式圓形及楔形擴散點之導光板內行進之光跡	32
圖 2.32：擴散點的大小設計與楔型導光板傾斜面關係	32
圖 2.33：擴散點交叉排列之導光板	33
圖 2.34：擴散點非交叉排列之導光板	33
圖 2.35：美國專利 US 6752507 具有上微結構之導光板	34
圖 2.36：美國專利 US 6454452 結合上微結構與楔形擴散點的導光板設計	35
圖 2.37：量測光照度取點方法-取點數為五點	38
圖 2.38：量測光照度取點方法-取點數為九點	38
圖 3.1：美國專利 US 6,435,687	39
圖 3.2：美國專利 US 6,435,687 導光板設計樣式	39
圖 3.3：以 Tracepro 建構及模擬美國專利 US 6,435,687 之導光板	40
(a)微結構高 0.5 公分，寬 1 公分	40
(b)微結構高 0.25 公分，寬 0.5 公分	40
(c)微結構高 0.125 公分，寬 0.25 公分	40
圖 3.4：對於 128x128 個點中所取之取九個測量點	41
圖 3.5：美國專利 US 6,454,452	43

圖 3.6：美國專利 US 6,454,452 導光板設計樣式	43
圖 3.7：以 Tracepro 建構專利 US 6,454,452 導光板之模型	44
(a)側視圖	44
(b)斜視圖	44
(c)楔形擴散點放大側視圖	44
圖 3.8：以 Tracrpro 中 Scheme Macro 所建構之擴散點分佈	45
圖 3.9：專利 US 6,454,452 導光板之擴散點上視圖光板，光束線 100000 條	45
圖 3.11：導光板設計之最佳化流程	45
圖 3.12：Nokia 6150 手機背光模組	47
(a)背光模組之組成	48
(b)光源配置	48
圖 3.13:SMD LED 光源在 Panasonic GD93 手機中之位置配置	49
圖 3.14:Panasonic GD93 之導光板	49
圖 3.15：導光板之尺寸(單位:公分)	50
圖 3.16：以 Tracepro 所建構之導光板光機模型	50
圖 3.17：將導光板分為 A、B 兩部分	50
圖 3.18:光在導光板 A 部分中 S 面之光強度分	51
圖 3.19：以光源為圓心做同心圓式的佈點	51
圖 3.20：導光板設計之參數示意	51
圖 3.21：導光板之光機模型	52
(a)上視圖	52
(b)斜視圖 1	52
(c)斜視圖 2	52
圖 3.22：導光板出光面上之 Illuminance map	53

圖 3.23：兩種不同擴散點大小之 Illuminance map 比較 .....	55
(a)r=0.0008 公分 .....	55
(b)r=0.0142 公分。 .....	55
圖 3.24：擴散點之間距變化示意 .....	55
圖 3.25：最佳導光板設計下之 Illuminance map.....	56
圖 3.26：RGB 表色系統的配色函數.....	58
圖 3.27：未加導光板及加上導光板時光的均勻分佈性比較 .....	59
圖 3.28：導光板均勻度所量側的範圍 .....	60



## 表格目錄

表 1.1：側光式與直下式背光模組之比較	4
表 1.2：穿透、反射、穿反三式背光模組比較	5
表 2.1：CCFL 與 LED 之特性比較	11
表 2.2： $\theta_1 \sim \theta_5$ 的光線在導光板上出光位置	25
表 2.3：將光源分十部份等能量光其在導光板上分佈位置及範圍	26
表 2.4：將光源分二十部份等通量光其在導光板上分佈位置及範圍	27
表 3.1：三種大小不同微結構下導光板之光均勻度	43
表 3.2：專利 US 6, 454, 452 導光板之光均勻度	47
表 3.3：擴散點最小半徑 0.001 公分，間距 0.05 公分下之模擬結果	54
表 3.4：擴散點等距 $d=0.05$ 公分，但不同擴散點半徑大小下之模擬結果	55
表 3.5： $r$ 在 0.0125 公分至 0.001 公分之間導光板之光均勻度	56
表 3.6： $D$ 為不同值下導光板之光均勻度	57
表 3.7：導光板均勻度量測數據	61

## 第一章 緒論

液晶的發展至今已有 20 多年的歷史，然而，在近幾年來，隨著 TFT(Thin Film Transistor)製程的進步，以及液晶發展的日趨成熟，在日常生活中，有許多消費性的電子產品，最常見的如液晶螢幕(Liquid Crystal Display；簡稱 LCD)，已隨處可見。液晶螢幕的普遍性，逐漸取代了傳統式的 CRT(Cathode Ray Tube Monitor)螢幕，主要是因為其具有厚度薄、質量輕、攜帶方便的優點。事實上，LCD 在畫質、亮度或是色彩方面，不一定會比傳統的 CRT 好，但因為人們不斷追求視覺享受，所以亦有許許多多的研究投入於如何改善 LCD 畫質表現。以下我的研究，對於改進 LCD 畫面之光照度均勻分布、光源使用效率、甚至於更進一步於減少光源數目，以至於減少 LCD 所需電力有很大的幫助。

液晶是一種非自發光性的材質，因此，要靠另外提供的光源才能使其正常顯示圖像，而背光模組的功能就是提供液晶面板充足亮度、且使其照度能均勻分佈的光源。一般的背光模組[圖 1.1]是由以下幾種元件組合而成：光源(一般使用以下兩種：冷陰極螢光管(Cold Cathode Fluorescent Lamp；簡稱 CCFL)、發光二極體(Light Emitting Diode；簡稱 LED))、燈罩、反光板(Reflector)、導光板(Light-Guide Plate)、擴散片(Diffusion Sheet) 1~2 片、增亮膜 (Brightness Enhancement Film，或稱稜鏡片) 1~2 片、以及外框等組件組裝而成。其中光學膜片與導光板為最主要的技術以及成本所在。而本篇論文是就導光板的設計來做分析討論。要做導光板的設計與分析之前，需要先了解整個背光模組各項元件的功能以及背光模組的種類，所以在本章第一節中，我們先介紹背光模組各項元件的功能。在第二節中，我們將對目前市面上 LCD 所使用的背光模組作分類式的介紹。在第三節中，為了加深我們對於導光板在整個背光模組中地位的認知，所以簡單介紹了導光板對整的背光模組的重要性。在第四節中，我將對目前業界中導光板的製造方式做簡單的介紹。

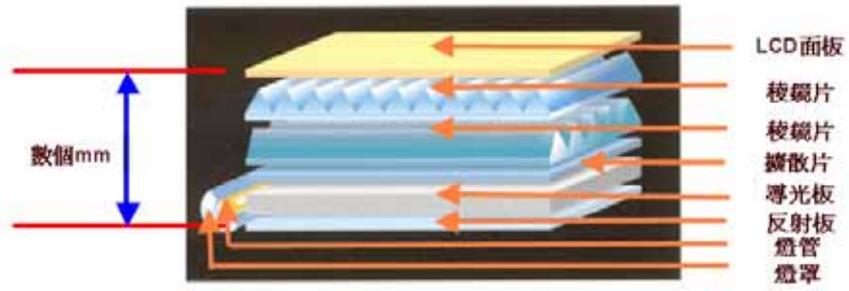


圖 1.1：一般背光模組之組成元件[1]



## 1-1 背光模組各項元件的功能簡介

背光模組所包含的元件種類已在前面介紹過，在此節中將一一介紹各項元件的功能。

導光板：為本篇論文研究的重點，亦為整個背光模組的效率中心。一般來說，在導光板的底部佈有許多擴散點，導光板利用此擴散點將由光源出射的光在通過導光板後能霧化成均勻的面光源。

反光片：置於背光模組最底端，功能為將由導光板底部漏出的光反射回導光板中，以增加光的使用效率。

擴散片：作用是使由導光板射出的光線在通過液晶面板後能經由擴散片而發生漫射使光能均勻擴散，使的觀察者從正面不會看到擴散點或是光源的影子。

增亮膜(或稱稜鏡片)：通過擴散片的光，其指向性非常的差，因此要由增量膜來修正光的方向，達到聚光的效果並及提高導光板出光面上之照度。

光源：提供液晶光源使其發光，一般是使用 CCFL，但最近一兩年，隨著 LED 製程封裝技術進步、以及此兩種光源(CCFL 及 LED)對畫質表現的差異性、甚至於環保意識抬頭，使得 CCFL 有逐漸被 LED 取代的趨勢；在導光板設計分析中，光源的選擇以及配置位置對其影響為最大。在第二章中第一節中，會詳細介紹 CCFL 光源及 LED 光源對導光板設計以及 LCD 畫質的影響。

## 1-2 現今最常使用的背光模組種類

對於背光模組的種類來說，我們可以依照兩方面來做分類及探討。第一，我們可以依照其光源放置位置來做分類；第二，我們可就其光源入射以及出射背光模組方式的不同來做分類。先就第一種分類討論，依據第一種分類法可將背光模組歸類為兩種：(一)側光式結構，(二)直下式結構[圖 1.2]。另外，並將此兩種結構作比較[表 1.1]。

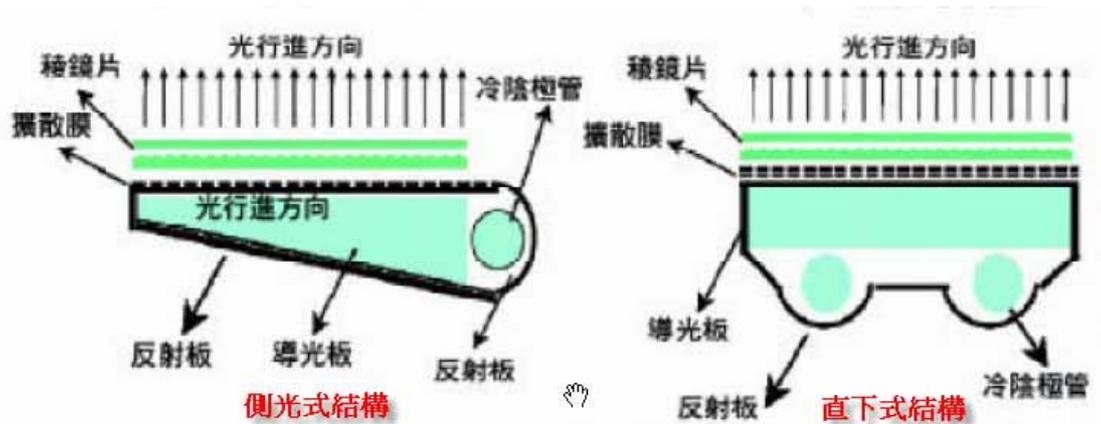


圖 1.2：側光式與直下式背光模組[2]

形式	側光式結構	直下式結構
比較點		
應用尺寸	小尺寸 LCD (例：手機、PDA, 筆記型電腦)	中尺寸 LCD(例：一般 17 吋 LCD)
優點	厚度薄	高輝度、良好的出光視角、光利用效率高、結構簡易化
缺點	亮度低、光照度分佈不均勻	散熱不佳，高消費電力(使用多根冷陰極燈管或是多顆 LED)

表 1.1：側光式與直下式背光模組之比較

接著，我們依照第二種分類法，亦可將背光模組分為三大類：(一)穿透式(Transmissive)結構，(二)反射式(Reflective)結構，(三)穿反式(Transflective)結構[圖 1.3]。穿透式結構為利用背光模組中所提供的光源經由導光板而入射液晶面板；反射式結構為利用外界環境所提供的光源入射至背光模組再經由背光模組底部的反射而入射液晶面板；而穿反式的結構其光源可視環境的不同而調整背光模組之光源與外界環境光源提供的比例。此三種結構之比較如[表 1.2]。

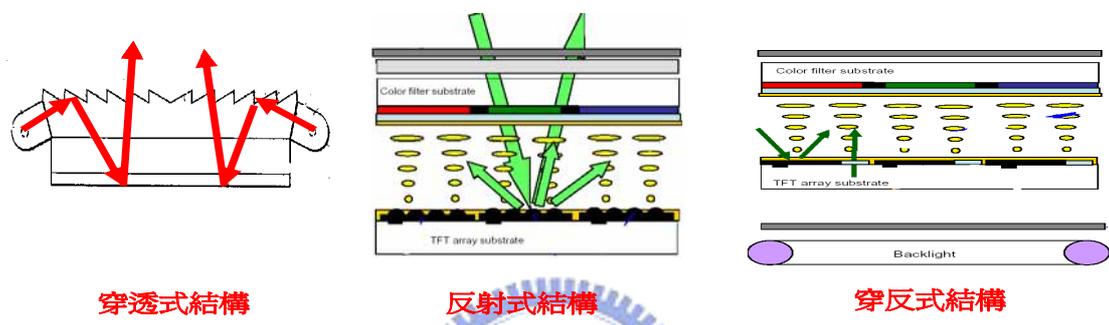
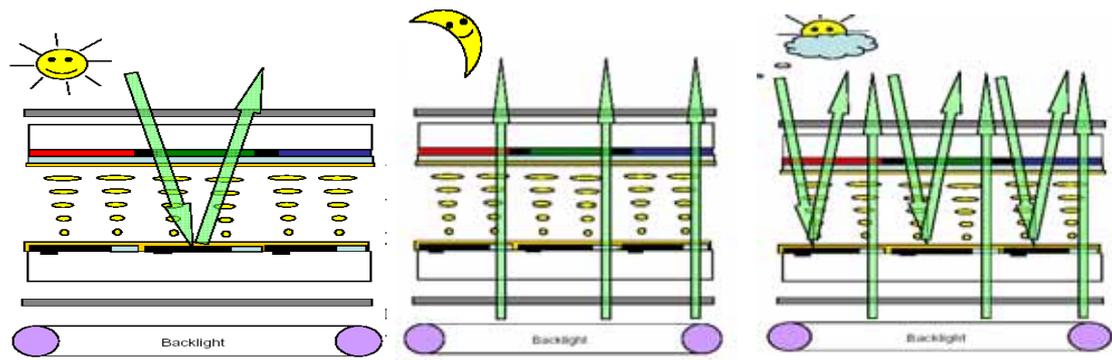


圖 1.3：穿透、反射、穿反式三種背光模組[3]

結構	穿透式結構	反射式結構	穿反式結構
使用環境			
較暗的環境	佳	差	佳
明亮的環境	差	佳	佳

表 1.2：穿透、反射、穿反三式背光模組比較

由以上比較結果可知，穿反式結構結合了穿透式結構與反射式結構的優點，在較暗的環境下，外界的環境光不足，因而只採用背光模組之光源；在較亮的環境下，採用外界的環境光作為背光光源，而可關閉背光模組中之光源達到省電的效果；而在亮度普通的環境下，則外界環境光與背光模組光源各使用一半，如此一來相當於節省一半的背光模組光源所需電力[圖 1.4]。



明亮環境下

黑暗環境下

亮度普通的環境下

圖 1.4：穿反式背光模組在各種不同環境下的工作模式[4]

以上將一般 LCD 所使用的背光模組作簡單介紹以及分類之後，我們對背光模組的設計以及光學原理將有初步的認識，因此在往後我們做導光板的設計及分析時會更加得心應手。在下兩節中，我們會詳細介紹導光板在背光模組中的重要性以及導光板的製造方式。



### 1-3 導光板對於背光模組的重要性

首先，我們先由[圖 1.5]說明光在一般 LCD 中的使用效率。在下圖中，我們可以知道一般的 LCD，真正進入人眼的光，只有光源入射光的 30%，如此的光利用效率可以說是非常的低。如果我們可以提高光源的利用效率，間接來說就是節省能源，甚至於降低製造的成本。在下圖的結構中，有些部分是無法去更動的，例如 Polarizer、Active Matrix。但是我們可以發現，光在導光板的傳遞過程中，損失了 40%的光，由此可知，導光板設計的優良與否，確實對光利用效率影響極大。此外，光通過 Color Filter 也會有損耗，原因是因為一般我們液晶螢幕所使用的背光光源皆是白光光源。因此如果我們可以將光源換成三原色(紅、藍、綠)光源，輔以特殊的導光板設計，則我們所需的色彩可以直接由三原色 LED 去混色，而不需要用 Color Filter 將白光分光成三原色再來混色出我們所要的顏色，如此一來，就可以扣除 Color Filter 對光能量損耗的影響；然而，要有如此的設計，導光板的設計將會是一個主要的關鍵點。因此無論如何，如果我們要增進光在 LCD 中的使用效率，要改善的部分均與導光板的設計有關，所以我們在前一節中會說導光板是整個背光模組的技術核心。

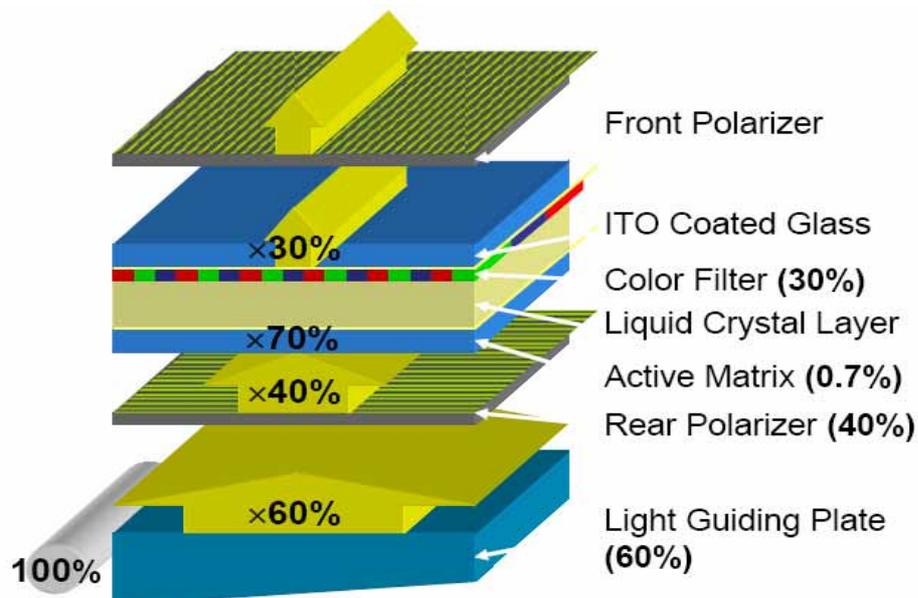


圖 1.5：光在通過背光模組各項元件之效率[5]

## 1-4 導光板的製造方法

目前市面上導光板的製造方法最大的不同在於擴散點的製造，其製造方式可分為印刷式以及非印刷式，而非印刷式以蝕刻技術為主。此外，某些導光板除了底部有擴散點的設計之外，為了要省下增量膜(或稱稜鏡片)所佔的體積以及成本，會在導光板上方加上 V 形之的微型結構，此結構的構造方式見後面 2-2.3 節的說明；而此種導光板微結構的製造方式以精密加工為主。以下就這幾種最常見的導光板製造技術所做簡單的介紹[6]：

### 1. 印刷式：

印刷式的導光板利用具有高度光散射性的印刷塗料(通常用  $\text{SiO}_2$  或是  $\text{TiO}_2$ )，以網點印刷的方式塗在導光板的底部，如此一來光在導光板中全反射過程中，如果遇到擴散點則會產生散射的特性，且會破壞全反射而使光由正面均勻射出導光板。

### 2. 蝕刻技術：

此方法是將擴散點以感光性油墨轉印於鏡面處理的模具上，經曝光顯影後，以蝕刻液進行化學蝕刻。

### 3. 精密加工：

此方式主要是用鑽石在模具上刻出 V 型或是其它種的微型結構，其亦會破壞光在導光板中的全反射，我們可利用控制 V 型微結構的寬度或是深度的變化，來調整導光板出光面的光照度分佈，此方法的優點為製造上較為方便，且在導光板的被切割表面會有較好的平整性。



## 第二章 導光板的設計原理與分析

由第一章的介紹當中，我們對 LCD 的背光模組已經有了一個初步的認識，且已介紹了導光板在背光模組中的功能以及地位，因此在這邊就不再贅述。而在這一章中，將詳細的對側光式背光模組當中導光板的部分之設計原理做說明。在做導光板設計時，其設計方式最直接的受到光源的影響；例如光源的種類、配置位置等。在第一節中，先對 CCFL 以及 LED 之特性以及其對於 LCD 之影響做介紹；在第二節中，將對這兩種光源做簡單的光源分析。第三節中將藉由數學分析以及簡單的物理概念說明各式側光式背光模組導光板之光學原理。為了驗證我們在第三章所做導光板設計之優劣，必須考慮其光均勻度，因此在第四節中將說明光均勻度之定義與量測方法。



## 2-1 不同背光光源的特性以及其對 LCD 之影響

目前來說，最常使用的背光光源有兩種：冷陰極螢光管(CCFL)以及發光二極體(LED)。目前市面上大部分 LCD 所採用的光源，仍然是採用 CCFL，但已有被 LED 逐漸取代的趨勢，以下將對這兩種光源作詳細的介紹及比較。

CCFL 是線光源，LED 是點光源，而線光源與點光源的結構差異會造成導光板光照度分佈設計上的不同。一般來說，CCFL 的發光強度較強，雖然其發光效率佳，但是他所佔的空間相對較大，重量也較重；此外，在 CCFL 發光過程中，需要利用汞蒸氣作為發光介質，在環保議題下，對環境會產生危害；而就單顆 LED 而言，其耗電量較單根 CCFL 低，且不含汞成分，沒有污染問題；但是就目前 LED 的封裝技術而言，就單一 LED 的光強度而言仍然低於單根 CCFL。我們以一台 42 吋的液晶電視而言，若背光光源使用 CCFL，可能只需要幾十根；但若改用 LED 作為背光光源，則需要使用上幾百顆。因此一個使用 LED 作為背光光源的 LCD 其總耗電量並不一定會小於使用 CCFL 作為背光光源的 LCD，但是就目前 LED 封裝技術迅速發展而言，耗電量的問題在不久之後相信就可以解決。

此外，因為 LED 的發光頻譜很窄，所以可以提供 LCD 更好的畫質及色彩。由下[圖 2.1]可以說明，我們由[圖 2.1(a)]可以看出 CCFL 的光譜經過 Color Filter 後，他的每一種顏色的光譜分佈會落在比較大的範圍內，也就是說在 CIE 色度座標圖上 RGB 所圍出來了色彩表現區域較小。以白光 LED 光譜分佈而言，其 RGB 分佈相對窄很多，因此再經過 Color Filter 時，其每一種顏色的光譜分佈會落在較小的範圍內[圖 2.1(b)]，因此在 CIE 色度座標圖上 RGB 所為出來的色彩表現分佈較大。在[圖 2.2]中，為一個以 CCFL 作為光源，與以 LED 作為光源的 LCD 的畫質做比較，我們可以明顯看出，以 LED 作為光源的螢幕有較佳的色彩表現。另外，在[表 2.1]中，我們將綜合以上 CCFL 與 LED 差異性作一個列表式的比較。

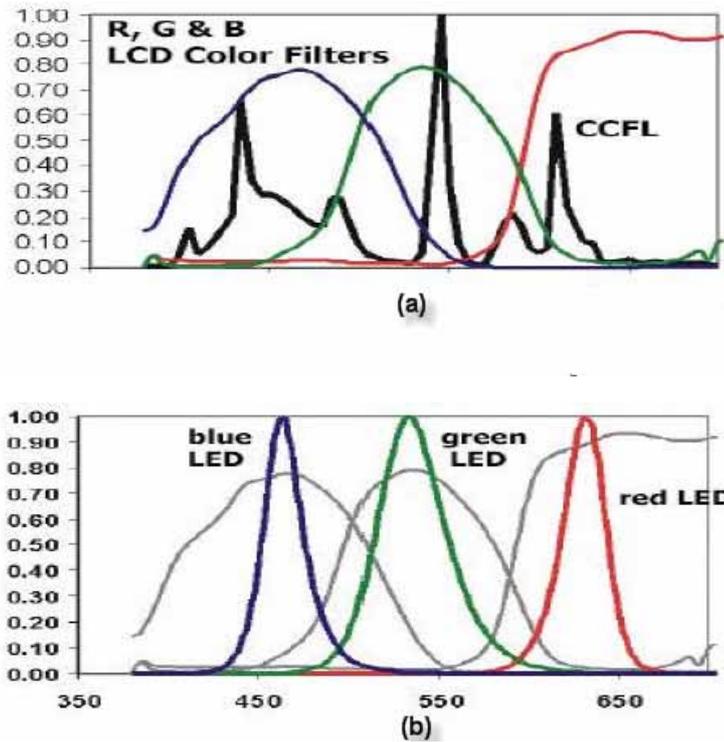


圖 2.1：CCFL 以及 LED 之光譜通過 Color Filter 後之 RGB 光譜分佈[7]

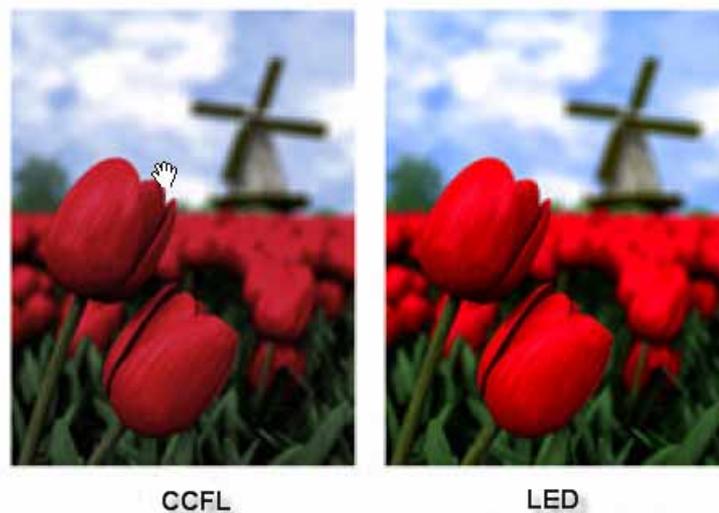


圖 2.2：分別以 CCFL 與 LED 作為背光光源之螢幕畫質表現比較[8]

	CCFL	LED
光源	線光源	點光源
重量	重	輕
耗電量	高(單根 CCFL)	低(單顆 LED)
輝度	高(單根 CCFL)	低(單顆 LED)
壽命	短	長

表 2.1：CCFL 與 LED 之特性比較

目前除了以白光 CCFL 以及白光 LED 作為背光源外，還有一種以 RGB 三原色作為光源的背光模組，此技術稱為 FSC(Field Sequential Color method)背光模組。其利用 RGB 三色 LED 高速切換，利用人類視覺暫留的效果來構成彩色畫面，達成全彩效果的顯示方法，此方法因為是直接採用 RGB 三色 LED 來混色，因此可以省掉 Color Filter，可以節省成本以及扣除光通過 Color Filter 時所產生的損耗，提高光的利用效率。

由以上敘述，我們可了解分別以 CCFL 以及 LED 作為背光光源各有其優缺點，不過隨著環保意識的抬頭以及 LED 封裝技術、產能、良率提高，LED 勢必在未來幾年內會成為背光光源的主流。



## 2-2 CCFL 及 LED 之光源分析

首先，先對這兩種光源做簡單的光源分析。LED 中 chip 所發出的光線為一個 Lambertian 光源[9]，其光強度與光線出射角度的關係如下[圖 2.3]，公式如下：

$$I = I_0 \cos \theta \quad (2.1)$$

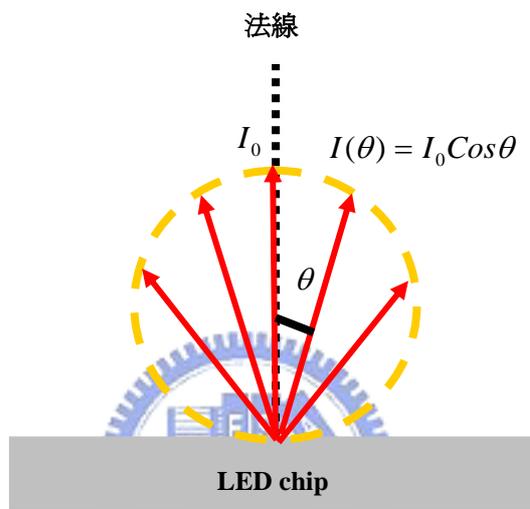


圖 2.3：Lambertian LED 光源

為了模擬以及計算方便，我們將 CCFL 所發出的光線亦假設為一個 Lambertian 光源，而其線光源上的的每一點均可視為一個點光源，光強度遵循 (2.1) 式。

### 2-3 側光式背光模組導光板的光學原理

一般來說，導光板的材質為壓克力，其折射率大約為 1.48，且在導光板底部都會有反射板，因此光由光源出射會先經過一次折射進入導光板，然後在導光板內進行一次或是多次的全反射再經由一些破壞光在導光板內全反射的設計使光出射導光板傳至液晶面板[圖 2.4]。為了計算方便，在以下的分析中將不考慮光由光源入射至導光板內所產生的折射。因此我們可以根據 Snell's Law 來計算光欲從導光板中進行全反射所需的最小臨界角：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\Rightarrow \theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.48}\right) \approx 42^\circ \quad (2.2)$$

由上式可知，在壓克力材質的導光板中，光欲發生全反射的臨界角約為 42 度；下[圖 2.4]為表示光在壓克力中具有各種不同大小入射角下入射空氣之路徑。

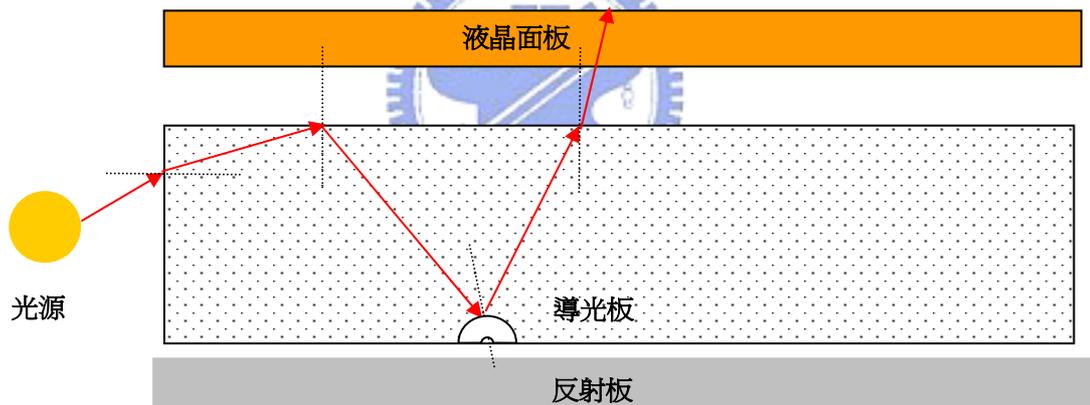


圖 2.4：光由光源至出射導光板之光跡

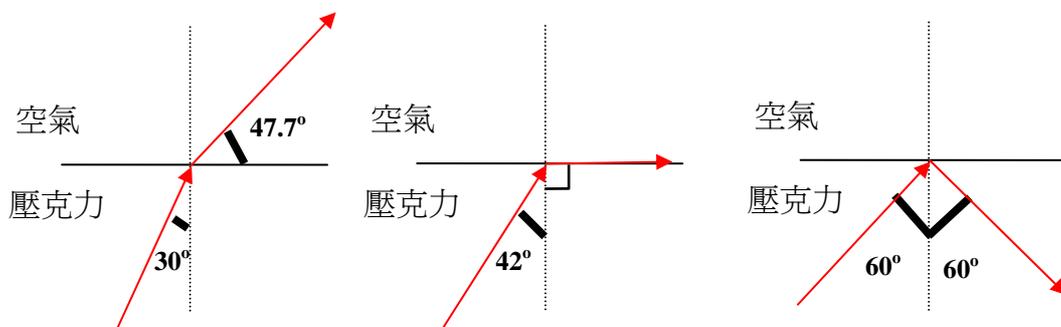


圖 2.5：光在不同入射角由壓克力入射空氣之路徑

由上知道壓克力的臨界角以及光以不同入射角射入空氣之路徑，並以此觀念作為導光板設計的起點。以下介紹幾種在導光板設計中常用的方法。

### 2-3.1 狹窄化方法-楔形導光板

若光由光源射入導光板，則光會在導光板內部進行全反射，如果導光板的形狀設計為矩形，由下[圖 2.6]可知，若光源斜向出射光與正向出射光夾角為  $\theta$ ，則光經過一次反射至導光板出光面入射角為  $90^\circ - \theta$ ，若要出射導光板出光面，則  $90^\circ - \theta < 42^\circ$ ，即  $\theta > 48^\circ$ ；但若光在第一次折射之入射角  $90^\circ - \theta > 42^\circ$ ，則光線會產生全反射，且光第二次折射之入射角依然為  $90^\circ - \theta$ ，光仍然無法出射導光板，所以光會不斷的在導光板內做全反射而無法射出導光板。所以只有  $\theta > 48^\circ$  的出射光線會射出導光板，而  $\theta < 48^\circ$  的出射光會則留在導光板內部做全反射而成為無用的光。根據(2.3)式，這些可出射之光的之總能量只佔了全部光總能量的 25%，如此一來光源使用效率極差，且導光板出光面的光均勻性亦差，所以須對導光板做一些形狀上的改變。

$$\frac{\int_{\theta=48^\circ}^{\theta=90^\circ} I \cos \theta d\theta}{\int_{\theta=0^\circ}^{\theta=90^\circ} I \cos \theta d\theta} \approx 0.25 \quad (2.3)$$

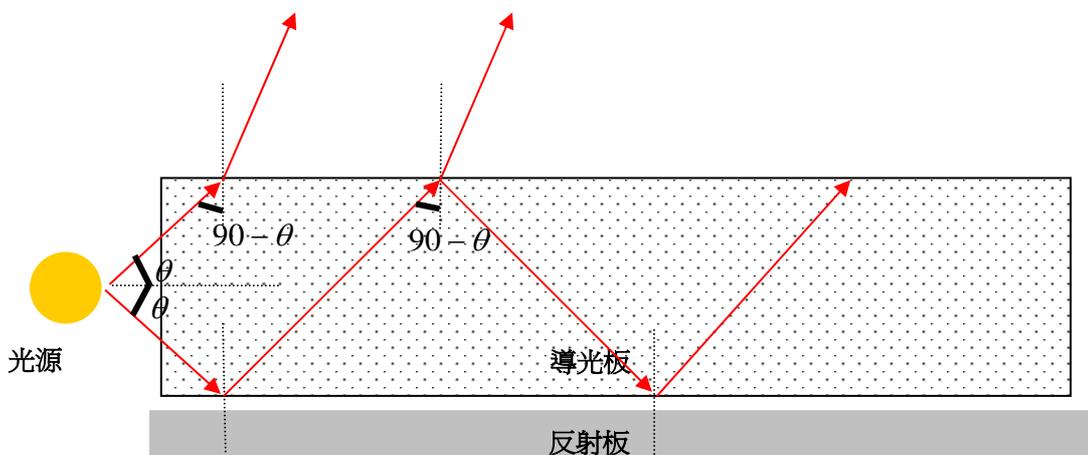


圖 2.6：光在矩形導光板內之光跡

由上可知，完全的矩形導光板設計對於側光式背光模組並非一個良好的設計，因此才會有楔形導光板發展，而楔形導光板的設計亦可作為擴散點設計的基礎，在下一節當中會有詳細的說明，而以下我們先對楔形導光板做光學分析。在下[圖 2.7]中，說明了光在楔形導光板當中的路徑以及角度，我們將的 A 面設為導光板出光面，而楔形導光板底部(即 B 面)假設為理想反射面，而  $\theta_s$  為楔形版底面之傾斜角。因此一條以  $\theta$  角度以向下方向出射光源的光，在經過導光板底部全反射後，第一次入射 A 面入射角為  $90^\circ - 2\theta_s - \theta$ ；如果在 A 面發生全反射，則當光再第二次入射 A 面時入射角將變為  $90^\circ - 4\theta_s - \theta$ ，依此類推。因此我們可發現，在楔形導光板設計下，光線入射 A 面的入射角會隨著全反射次數增多而成等差級數減小，直到入射 A 面之入射角小於全反射臨界角時，光才會被破壞全反射而出射導光板。因此楔形導光板的設計並不會有矩形導光板光不斷的在導光板內進行全反射而無法出射的問題。以下將對楔形導光板出光面(即[圖 2.7]中之 A 面)做分析。

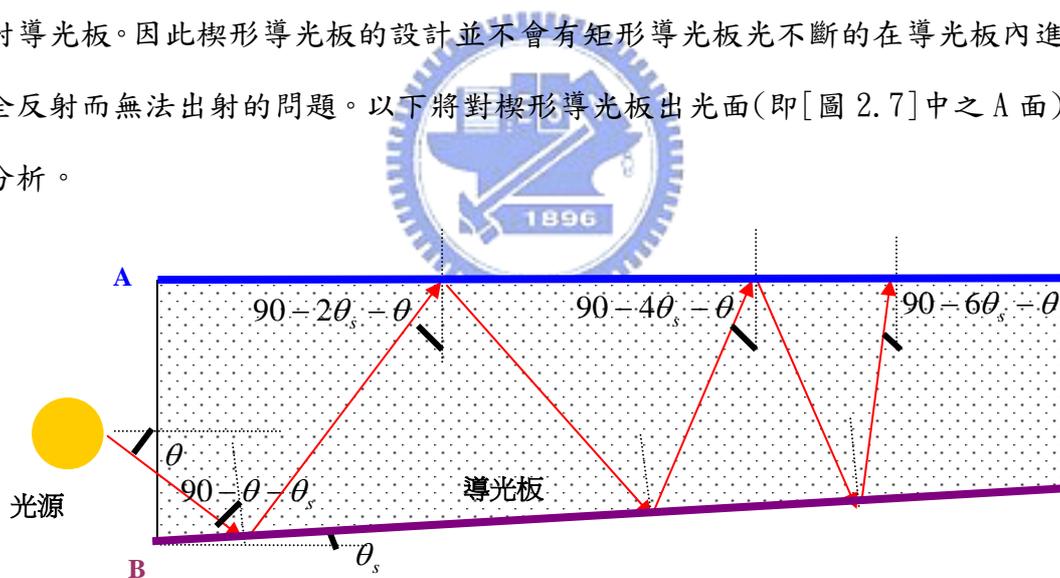


圖 2.7 光由光源向下出射時在楔形導光板內之光跡

首先，我們將以光源正向出射的光為基準分成向上方射出以及向下方射出兩部分的光束線來做討論[圖 2.8]，且假設 A 面位於 X 軸上，而我們希望可以求出在 A 面上不同位置下之光照度，即  $I(X)$ ，又由(2.1)知， $I$  為  $\theta$  的函數，因此我們所要求的，其實就是  $\theta$  與  $X$  的關係式。

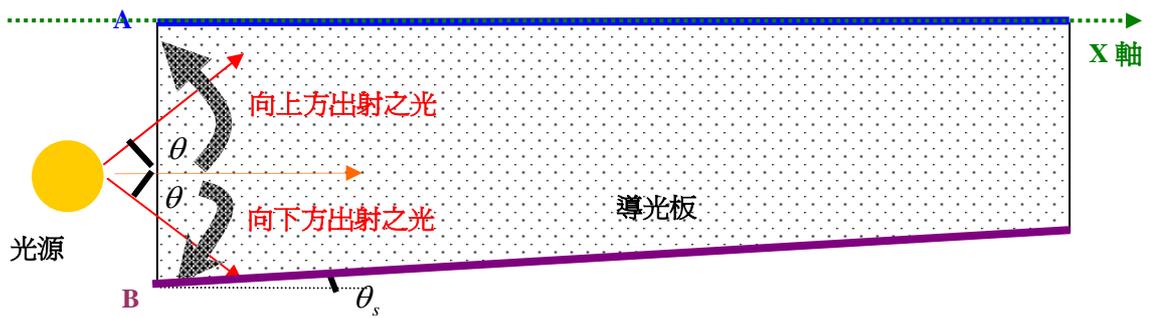


圖 2.8：將光源分向上及向下出射兩部分做分析

首先，先討論自光源向下方出射之光之  $\theta$  與  $X$  的關係式。我們在假設 B 面為理想反射面的情況下，由上[圖 2.7]中可推導出由光源向下出射之光，在經由反射後，第  $i$  次射到 A 面時入射 A 面之入射角為：

$$\theta_i = 90^\circ - 2i \cdot \theta_s - \theta \quad (2.4)$$

若光要破壞全反射出射導光板，則  $\theta_i$  要小於臨界角  $\theta_c$ ，且可導出以下關係式：

$$\begin{aligned} 90^\circ - 2i \cdot \theta_s - \theta < \theta_c \\ \Rightarrow \frac{90^\circ - \theta - \theta_c}{2\theta_s} < i \end{aligned} \quad (2.5)$$

上式中， $i$  為光射到 A 面的次數，即在入射 A 面第  $i$  次時光出射導光板，因此  $i$  需無條件進位。在本篇論文中導光板材質均設為壓克力，折射係數大約為 1.8，因此由(2.2)可知臨界角  $\theta_c = 42^\circ$ ，而  $\theta_s$  自訂，因此可求出在特定角度出射之光欲破壞全反射以出射導光板光所需入射 A 面的次數，而每一個  $\theta$  會對應到一個  $i$  的解；但是要注意的是，(2.5)式中並不是在  $\theta$  等於所有角度時皆適用。舉例來說，在導光板材質為壓克力 ( $\theta_c = 42^\circ$ )，並假設  $\theta_s$  為  $1^\circ$  時，此時(2.5)式中  $\frac{90^\circ - \theta - \theta_c}{2\theta_s} = \frac{48^\circ - \theta}{2} < i$ ，因此在  $\theta > 48^\circ$  時， $i$  值為負值，而此時實際上  $i$  應該是為 1，即光在經過 B 面反射一次後即出射 A 面。因此，在  $\theta > 90^\circ - \theta_c$  時其  $i$  值皆等於 1。

接下來，要建立光在導光板中光程的等效模型。我們知道，光入射至某一平面上若發生全反射，其光程  $a$  可等效於  $b$  [圖 2.9]，我們以此概念來建立光在導光板中光程的等效模型 [圖 2.10]。

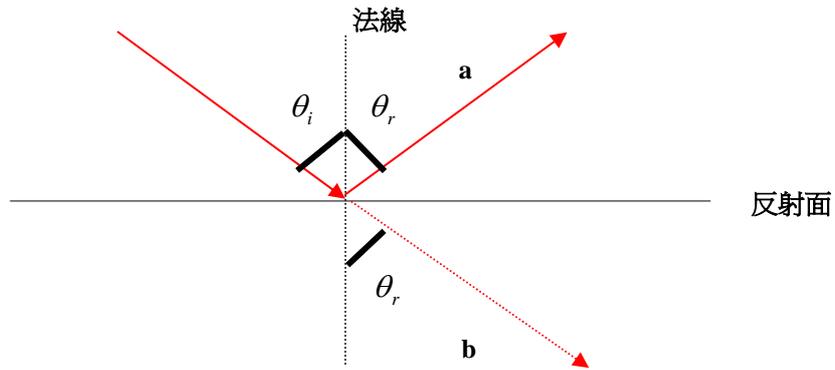


圖 2.9：光在一平面發生全反射時之等效光程



在[圖 2.10]中，A線代表理想反射面，B線代表等效導光板出光面，C線代表不同光出射角 $\theta$ 之光束線，且為了計算上的方便，所以將原本的楔形板簡化成三角形板。我們假設三角形板上理想反射面之傾斜角為 $\theta_s$ ，而三角形板之頂點於座標原點，並將Lambertian點光源置於座標 $(x_0, y_0)$ ，因此可以寫出B線以及C線之一般式：

$$\begin{aligned} B: y &= [\tan(2\theta_s \cdot i)]x \\ C: y_0 - y &= (x - x_0)\tan\theta \end{aligned} \quad (2.6)$$

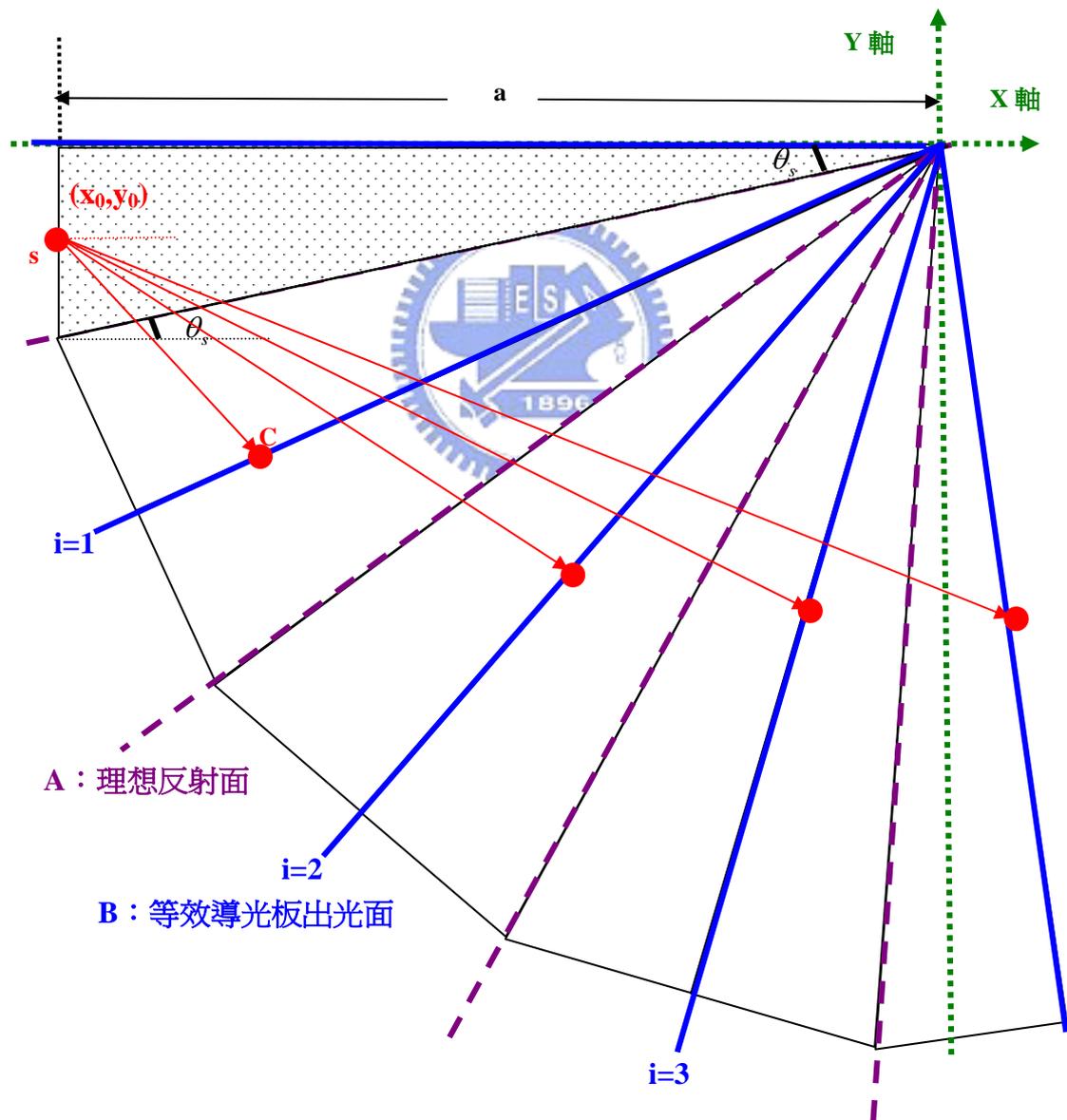


圖 2.10：由光源向下出射的光在楔形導光板內全反射時之等效模型

將(2.6)式解聯立可得  $x$ 、 $y$  值：

$$x = \frac{y_0 + x_0 \tan \theta}{\tan \theta + [\tan(2\theta_s \cdot i)]} \quad (2.7)$$

$$y = y_0 - (x - x_0) \tan \theta$$

由(2.5)已知，特定的  $\theta$  有特定的  $i$  值，因此亦可求出此光束線在導光板內破壞全反射之後在出光面出射之等效位置座標  $X'$  [圖 2.11]：

$$x' = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.8)$$

$X'$  之值即為實際上從 A 面射出之 X 軸上之位置座標，因此(2.8)式亦為  $X$  與  $\theta$  的關係式。

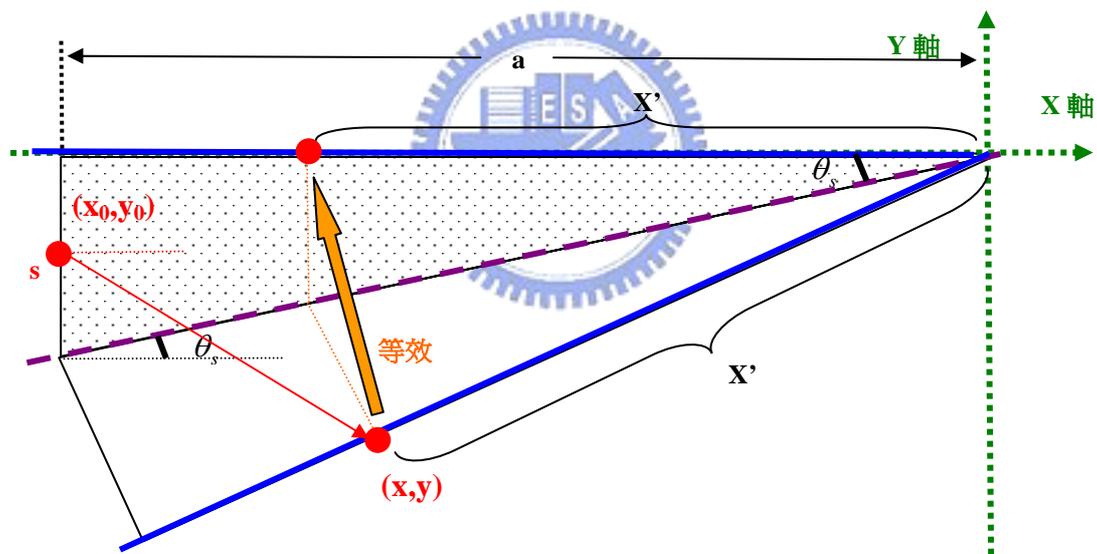


圖 2.11：光在導光版中等效出射位置  $X'$  與真實出射位置

接下來，對自光源向上射出的光做分析，基本上計算方法和上面所計算光向下射出之情況相同；下[圖 2.12]，若光欲在第一次遇到 A 面就出射，即  $i=1$ ，則

$$90^\circ - \theta < \theta_c \quad (2.9)$$

若光欲在第  $i$  次遇到 A 面出射，且  $i>1$ 、 $\theta > 90^\circ - \theta_c$ ，則

$$\begin{aligned} \theta_i &= 90^\circ - i\theta_s - \theta < \theta_c \\ \Rightarrow \frac{90^\circ - \theta - \theta_c}{\theta_s} &< i \end{aligned} \quad (2.10)$$

而  $i$  亦需無條件進位。

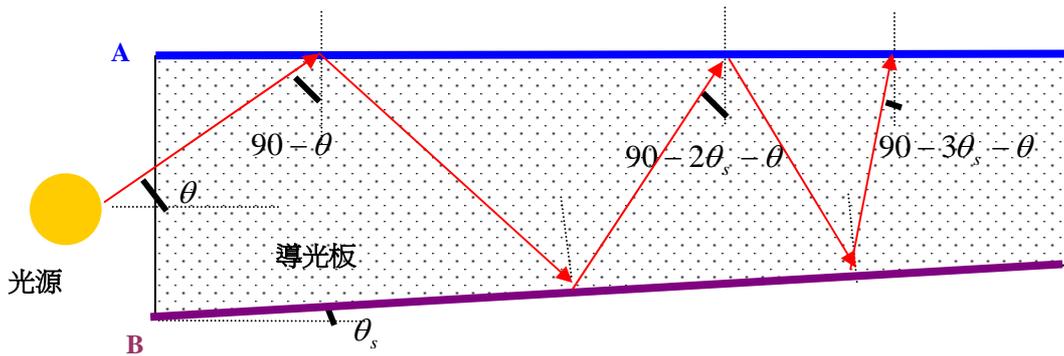


圖 2.12：光由光源向上出射時在楔形導光板內之光跡

由[圖 2.13]，B 線及 C 線之一般式如下：

$$\begin{aligned} B: y &= -\{\tan[2(i-1)\theta_s]\}x \\ C: y - y_0 &= \tan \theta \cdot (x - x_0) \end{aligned} \quad (2.11)$$

將(2.11)式中 B 及 C 兩式聯立可解出  $x$ 、 $y$  值：

$$\begin{aligned} x &= \frac{x_0 \tan \theta - y_0}{\langle \tan \theta + \{\tan[2(i-1)\theta_s]\} \rangle} \\ y &= y_0 + (x - x_0) \tan \theta \end{aligned} \quad (2.12)$$

因此同(2.8)，亦可求出此光束線在導光板內破壞全反射之後在出光面出射之等效位置座標  $X'$ 。

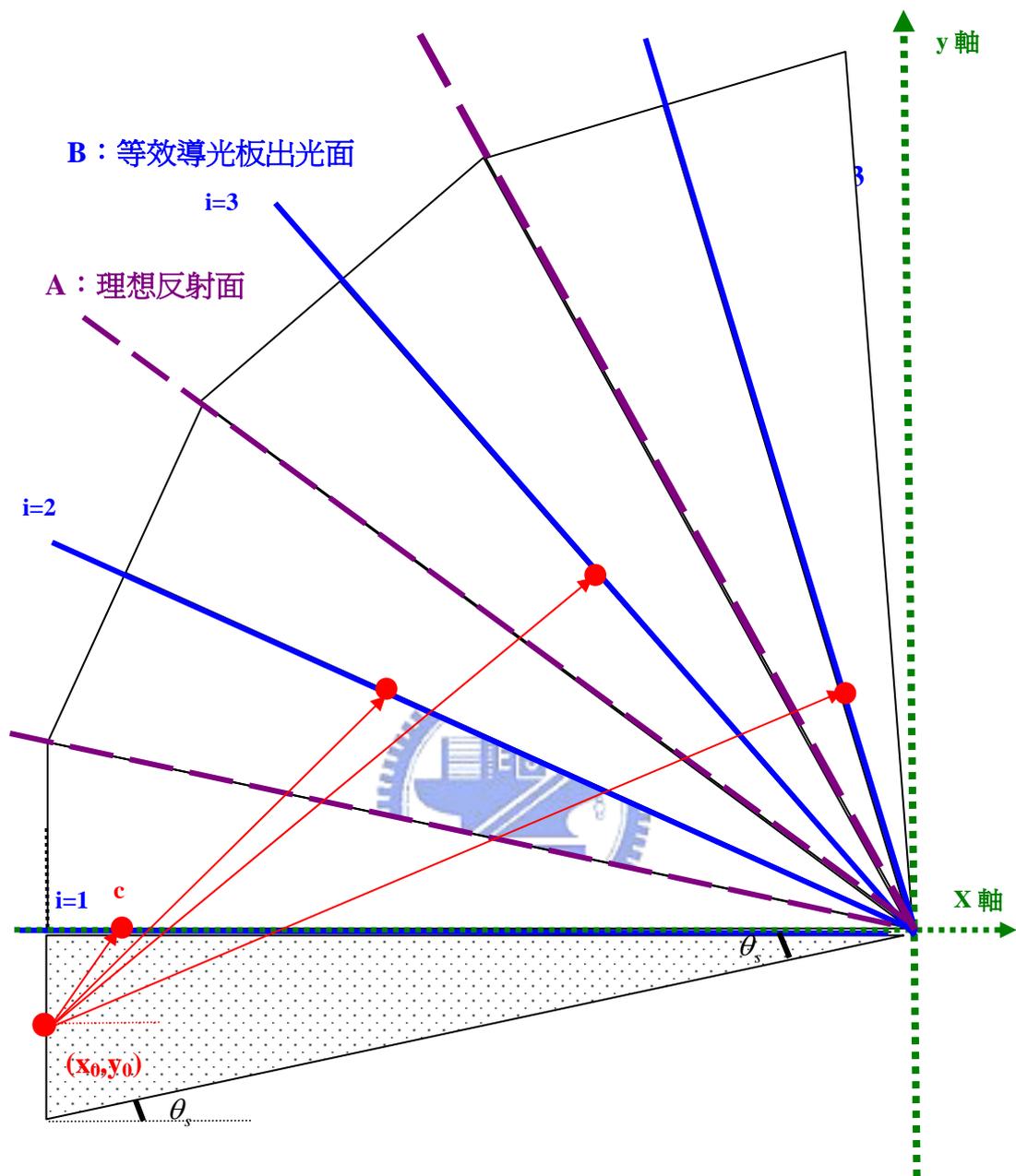


圖 2.13：由光源向上出射的光在楔形導光板內全反射時之等效模型

以上的計算為對楔形導光板出光面上  $X$  與  $\theta$  的關係式導證，接下來將以數學運算軟體 Mathematica 對上述計算結果做繪圖分析。

我們選定以 15 吋 LCD 之導光板為標準來做繪圖分析，根據我們實際拆解一組 15 吋 LCD 導光板，其長約 32 公分，寬約 24 公分，厚度僅約 0.6 公分。一般來說，為了滿足 LCD 輕量化的要求，導光板的厚度都非常的薄。如此一來導光板

的厚度與長度的比值非常小，因此  $\tan \theta_s$  非常小，即  $\theta_s$  很小，其最大值僅大約 1 度左右[圖 2.14]。而在以下的討論中，我們均將  $\theta_s$  假設為 1 度，而楔形導光板簡化為三角形導光板，因此長為 34.37 公分，寬度與厚度依然為 24 公分、0.6 公分，而點光源位置置於座標(-34.37, -0.3)處。

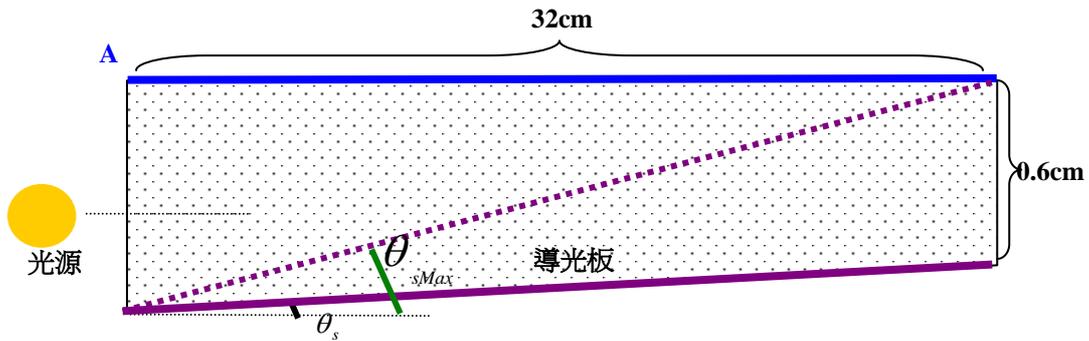


圖 2.14：楔形導光板之傾斜角  $\theta_s$  與長及高之關係

我們先對(2.5)式中由光源向下出射的光與其欲出射導光板所需入射 A 面的次數做圖[圖 2.15]，橫軸為光由光源出射的角度，縱軸為光欲出射導光板需經過 A 面的次數。由圖我們可知光出射角度越小，若要破壞全反射出射導光板則在導光板中反射的次數越多。

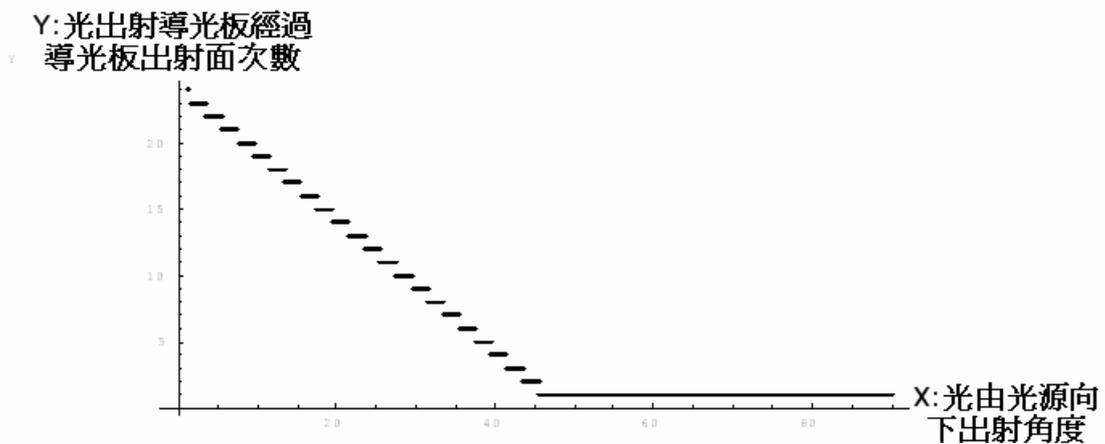


圖 2.15：不同角度向下出射光源的光與出射導光版所需在 A 面反射次數關係

同理，我們對(2.10)式中光源向上出射的光與其欲出射導光板所需入射 A 面的次數做圖[圖 2.16]亦有同樣的結果。

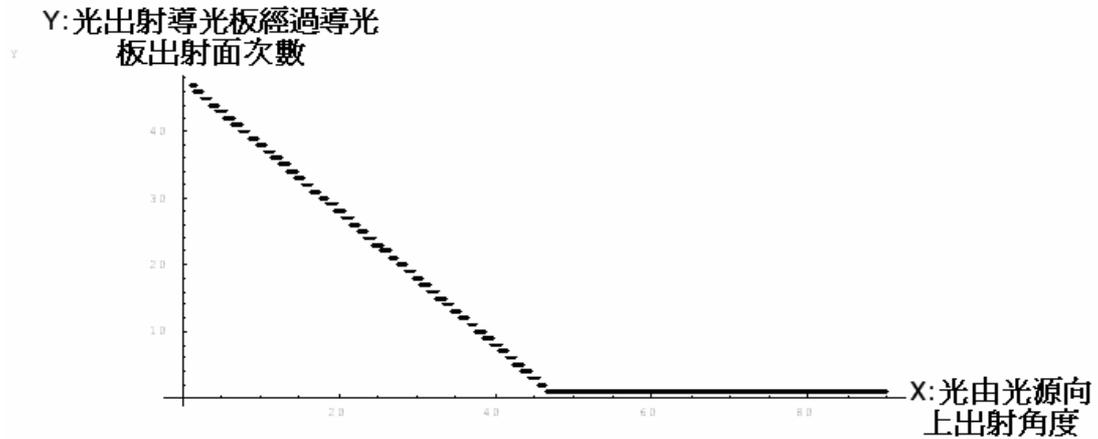


圖 2.16：不同角度向上出射光源的光與出射導光版所需在 A 面反射次數關係

我們以上所做的數學推導是將每條光線均視為以單一直線在導光板中傳遞，但事實上光並非以此形式行進，而是以光束的形式行進，且其必須遵循光通量守恆定理[10][圖 2.17]：

$$I_1 A_1 = I_2 A_2 \quad (2.13)$$

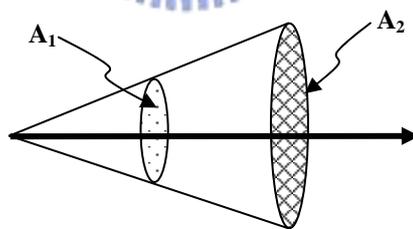


圖 2.17：光通量守恆

$I_1$  為通過面積  $A_1$  之光照度， $I_2$  為通過面積  $A_2$  之光照度。因此在計算導光板出光面上的光照度時，必須考慮光通量。藉由(2.7)以及(2.12)式我們可求出導光板每一區塊上的光照度，分析如下：

我們將光源向下發出的光分為六塊等光通量區域 A、B、C、D、E、F 來討論，且我們可以由(2.14)式計算出將光分為六塊等光通量區域之五條光線之出光角  $\theta_1 \sim \theta_5$  [圖 2.18]，接著我們可以(2.7)式計算出此五條光線在導光板上的出光位

置及此六塊等光通量光束在導光板出光面上的分佈範圍[圖 2.19]，結果如下[表 2.2]。

$$\int_{0^\circ}^{\theta_1} I_0 \cos \theta d\theta = \int_{\theta_2}^{\theta_3} I_0 \cos \theta d\theta = \int_{\theta_3}^{\theta_4} I_0 \cos \theta d\theta = \int_{\theta_4}^{\theta_5} I_0 \cos \theta d\theta = \int_{\theta_5}^{90^\circ} I_0 \cos \theta d\theta \quad (2.14)$$

$$\Rightarrow \theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{1}{6}\right); \theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{2}{6}\right); \theta_3 = \sin^{-1}\left(\frac{3}{6}\right); \theta_4 = \sin^{-1}\left(\frac{4}{6}\right); \theta_5 = \sin^{-1}\left(\frac{5}{6}\right)$$

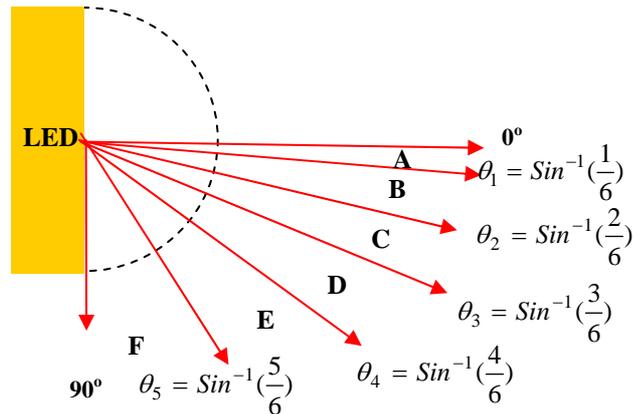


圖 2.18：將光源發出的光分為等光通量的六塊區間

角度	$0^\circ$	$\sin^{-1}\left(\frac{1}{6}\right)$	$\sin^{-1}\left(\frac{2}{6}\right)$	$\sin^{-1}\left(\frac{3}{6}\right)$	$\sin^{-1}\left(\frac{4}{6}\right)$	$\sin^{-1}\left(\frac{5}{6}\right)$
出光位置(X 座標)	-0.40	-8.15	-15.44	-23.47	-31.22	-33.80
單位：公分						

表 2.2： $\theta_1 \sim \theta_5$  的光線在導光板上出光位置

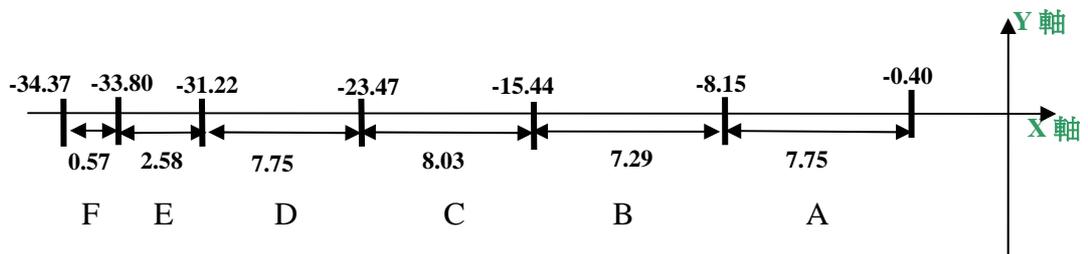


圖 2.19：等光通量 A~F 區域在導光板出光面上的分佈範圍

由[圖 2.19]我們發現，在導光板出光面上，等光通量 A~D 的分佈範圍是差不多的，即在導光板上 X 座標 -0.40 至 -31.22 處具有不錯的光均勻性；而 E 及 F 分佈的範圍較小，這是因為 E 及 F 範圍內的光束線其由光源出設的角度較大，因而大

部分僅導光板底部一次反射即出射導光板，因此在此兩部分，相同的光通量卻分佈在較小範圍，造成在導光板上座標-31.22 至-34.37 處相對於其他部分來說有較強的光照度。我們在計算出此六部分等光通量區域在導光板上出光位置後，可計算出每一部分的平均光通量，做圖如[圖 2.20]。

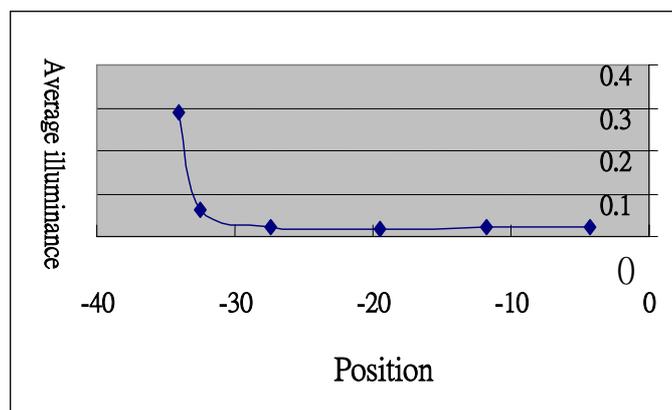


圖 2.20：光源分為六等光通量時導光板上之平均光照度

若我們再以相同的方式將光源分為十塊等光通量的光束線，並計算此十塊等光通量之光在導光板上的分佈範圍，亦可得到相同結果：在導光板近光源處小部分範圍有較強之光照度，而導光板大部分範圍均有不錯的均勻性[表 2.3]。

	A	B	C	D	E
分佈位置	-0.40~-5.04	-5.04~-9.72	-9.72~-13.95	-13.95~-19.00	-19.00~-23.47
分佈範圍	4.64	4.68	4.23	5.05	4.47

	F	G	H	I	J
分佈位置	-23.47~-27.79	-27.79~-32.44	-32.44~-33.73	-33.73~-33.96	-33.96~-34.37
分佈範圍	4.32	4.65	1.29	0.23	0.41

單位：公分

表 2.3：將光源分十部份等通量光其在導光板上分佈位置及範圍

為了精確計算出導光板出光面上平均光通量的值，我們再將光源分為二十份

等光通量部分，一樣以(2.7)式計算出此二十個部分在導光板出光面上的出光位置與範圍[表 2.4]，並由此將光源分為十部份以及二十部份等光通量下的結果計算出每一範圍內的平均光照度並做圖[圖 2.21]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
分佈範圍	2.27	2.37	2.23	2.45	2.14	2.09	2.49	2.56	1.93	2.54

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
分佈範圍	2.27	2.46	2.41	2.34	1.17	0.11	0.11	0.12	0.13	0.28

單位：公分

表 2.4：將光源分二十部份等通量光其在導光板上分佈位置及範圍

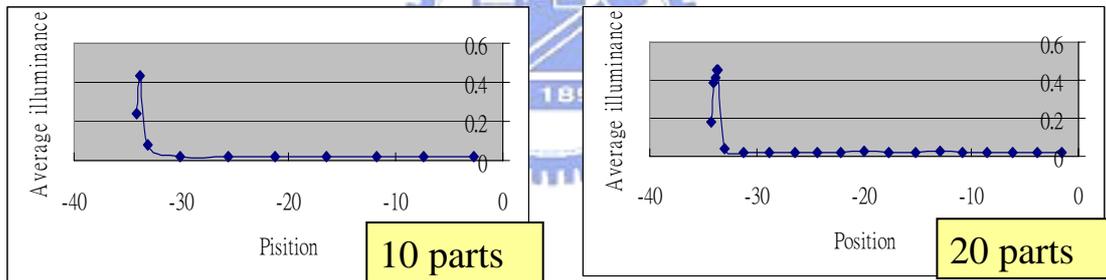


圖 2.21：光源分為十及二十部份等光通量時導光板上之平均光照度

接下來，我們將以 Tracpro[11]來模擬上述形況。首先，我們依上述規格建立一個 15 吋大小的楔形導光板模型[圖 2.22]，並設一 Lambertian 點光源位於座標(0, -0.3)處。



圖 2.22：以 Tracpro 所建構的楔形導光板模型

首先，我們分別以由光源向下出射且出射角分別為  $15^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$  的光做模擬[圖 2.23]。由模擬結果我們可驗證若光的出射角越小，則在導光板內會經過越多次全反射而在離光源越遠處出射導光板。

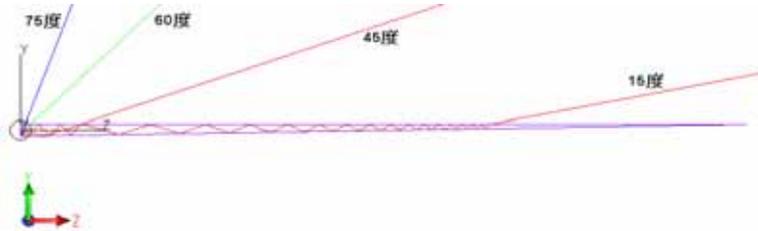


圖 2.23：光由光源向下以  $15^\circ \sim 75^\circ$  出射光在楔形導光板內之光跡

接下來，我們將對導光板上的光照度做模擬分析。光源假設為 Lambertian 點光源，光線數為 18000 條，模擬結果如[圖 2.24]。我們發現，導光板上進光源處小部分的確有較強的光照度，而導光板大部分範圍上的光照度為均勻的；且將其與[圖 2.20][圖 2.21]來比較可驗證我們上述以數學推導來說明導光板上光照度分佈的方法是正確的。

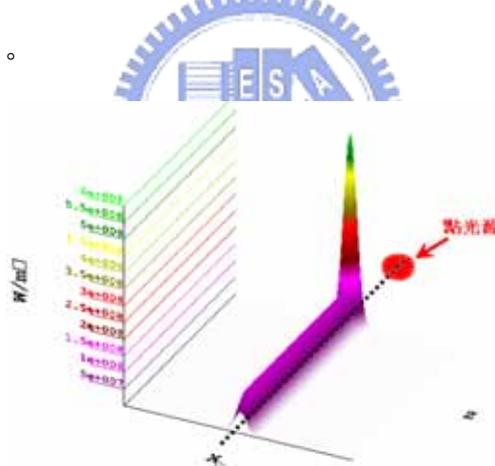


圖 2.24：楔形導光板上出光面之光照度分佈

以上所述的數學計算及 Tracepro 模擬，事實上僅對光在二維方向導光板上傳導過程做討論；然而，在實際情況上，Lambertian 光源之光是在三維方向的出射，在入射導光板後亦在三維方向傳導，但如此一來數學運算將會變的十分繁雜。在未來的工作中，我們應可對光在導光板內三維方向的行為做更詳細的數學理論推導，並以此為基礎發展出更完備的導光板設計理論。

### 2-3.2 加入擴散點方法

在 2-2.1 節中介紹以狹窄化方法來設計導光板，如上節中模擬結果所示，雖然其均勻度較矩形導光板為佳，但是仍然有改進的空間。在本節中，將詳細說明在導光板底部加入擴散點的方法來提高導光板出光面的光照度均勻度，且目前市面上 LCD 的導光板幾乎都是採用此種方法。在第一章中第四節中，介紹了擴散點的製造方法，在印刷式的擴散點中，擴散點是由具有高度光散射特性的材料構成，因此在此種擴散點的分析中，必須考慮擴散點材質以及光的散射，計算較為困難複雜，本篇論文將不對此部分做討論。在擴散點第二種製造方法化學蝕刻中，最後會在導光板底部造成幾何的凹凸狀擴散點，當光打到這些擴散點時，同時具有折射、反射以及散射發生，但仍然以折射反射為主。本篇論文中，主要就此部分來做討論以及分析。

一般大尺寸(如 15 吋以上的桌上型 LCD)的 LCD 其背光模組為直下式的形式，因此擴散點配置為大小相同分佈均勻[圖 2.25]；而攜帶式的 LCD(如筆記型電腦螢幕、PDA 螢幕等)為了省電以及輕量化的要求，因此採用側光式背光模組，如此一來，擴散點的大小以及分佈則非均勻化的設計，以下我們就此種導光板作討論。

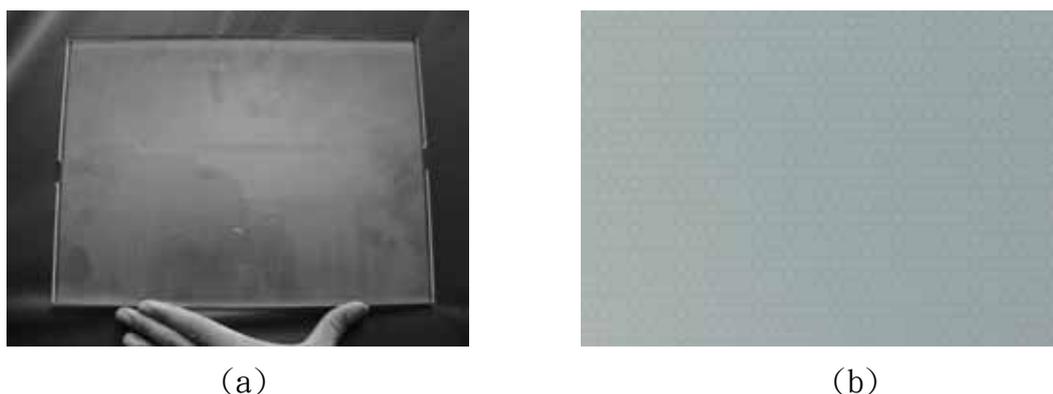


圖 2.25：15 吋 LCD 之導光板樣本(a)導光板(b)導光板上擴散點分佈

側光式背光模組的導光板中，擴散點的密度與大小排列是越靠近光源處擴散點密度越疏，直徑越小。隨著距離光源越遠，則擴散點密度越密，直徑越大，藉此設計使光線能均勻分佈於導光板表面。[圖 2.26]中，光在矩形導光板中原本

為全反射，如果要破壞此條光束線的全反射，則加擴散點可以達到此目的。但是，並非所有入射到擴散點的光束線皆會被破壞全反射；有部分光線會因為入射擴散點的入射角小於全反射所需的臨界角，所以會穿過擴散點，而遇到導光板底下的反射板，再經由全反射回到導光板中，然後繼續在導光板內全反射或是直接出射導光板[圖 2.27]。

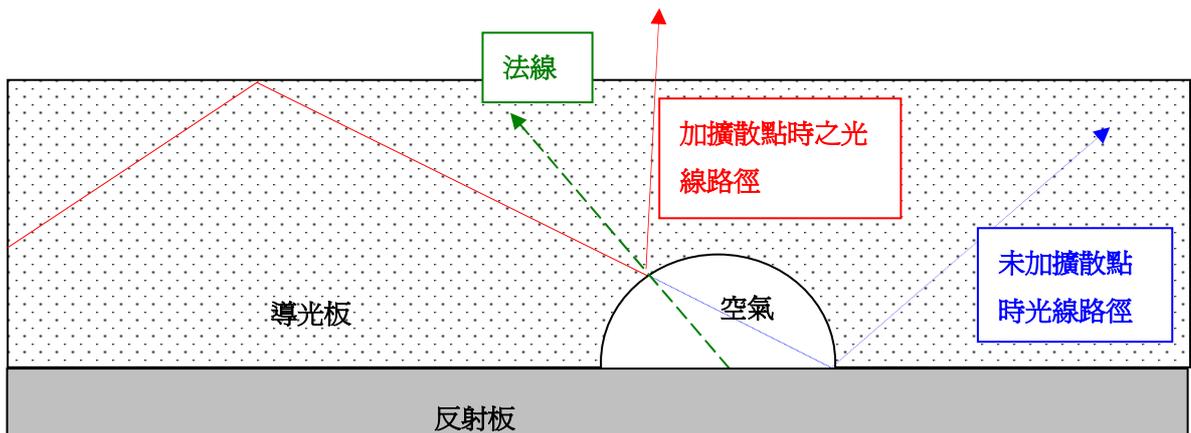


圖 2.26：光入射擴散點產生全反射時之光跡

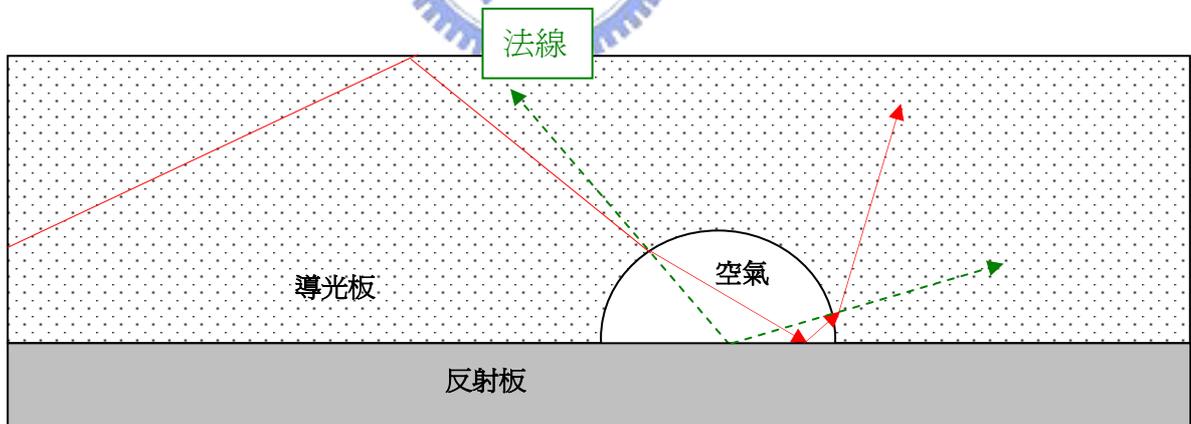


圖 2.27：光入射擴散點產生折射時之光跡

[圖 2.28]中有三條光線 A、B、C，A 光線在遇到第一個擴散點即全反射，B 光線在遇到第一顆擴散點後產生折射而入射至空氣中，最後再經由一次折射射入導光板內，C 光線則無法遇到第一顆擴散點；若此時第二顆擴散點大小與第一顆相同，則 B 和 C 兩光線仍無法破壞全反射而出射導光板。[圖 2.29]中，若擴散

點改為逐漸變大顆的形式，則 B、C 兩光線就有機會出射導光板，使的在導光板出光面光照度能較為均勻。因此擴散點的大小設計為離光源越遠則越大，藉此設計以增加光出射導光板的機率。

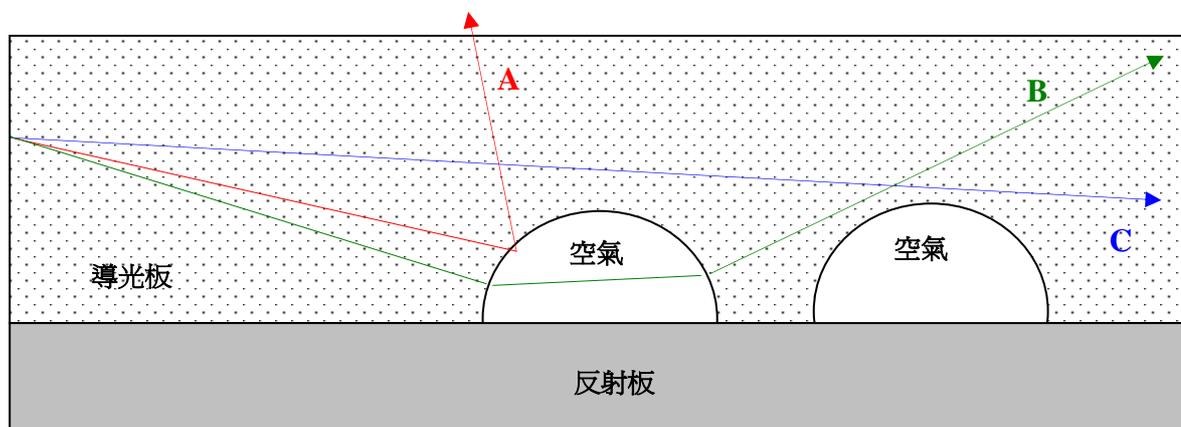


圖 2.28：前後擴散點大小相同時之 A、B、C 三光束線之光跡

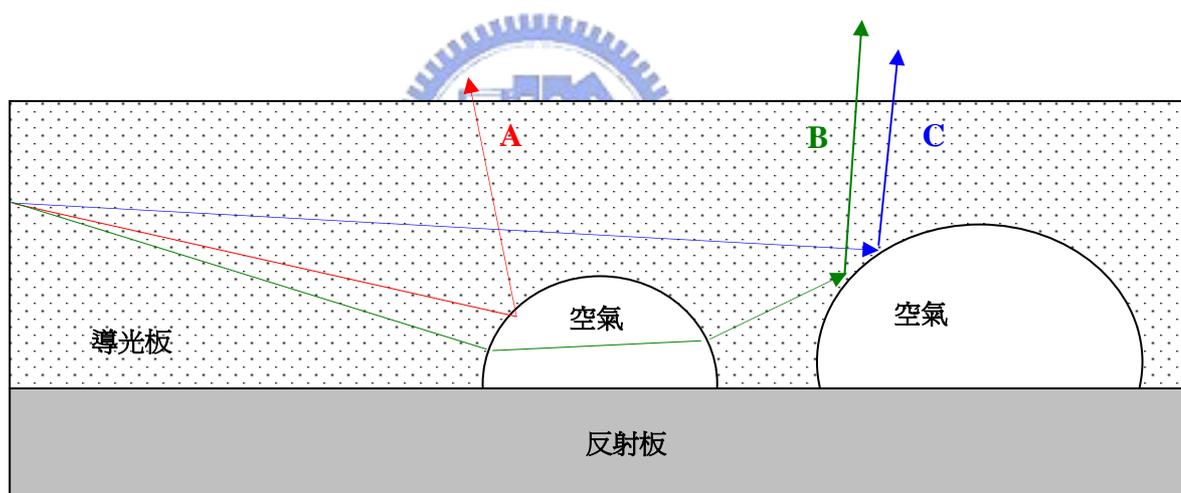


圖 2.29：離光源較遠之擴散點尺寸較大時之 A、B、C 三光束線之光跡

擴散點的形狀並不侷限於圓球形，也有楔形的設計[圖 2.30]；其設計方式與圓球形的方式相同，皆為離光源較遠之擴散點尺寸較大，我們並以 Tracepro 來做光機模擬以驗證擴散點尺寸設計應遵循以上模式[圖 2.31]。[圖 2.31(a)]為圓形擴散點，我們可以發現，如果光未在第一顆擴散點經由全反射射向導光板出光面，則有機會在第二顆，或是經由多次全反射後有機會射出導光板。[圖 2.31(b)]為楔形的擴散點，亦有同樣的效果，因此便驗證了擴散點尺寸逐漸變大

則可增加光線破壞全反射出射導光板的機率。

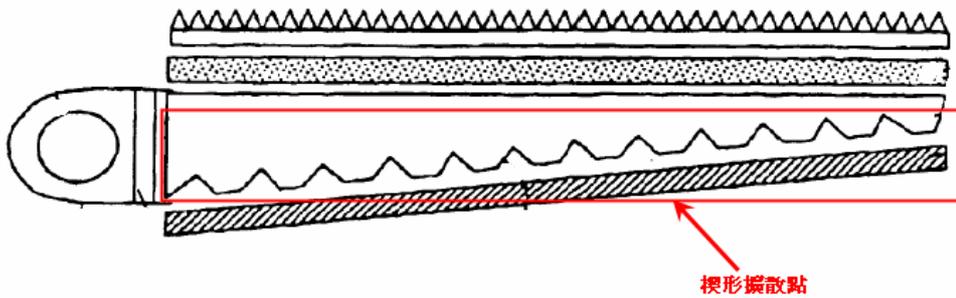


圖 2.30：美國專利 US 6729737 具有楔形擴散點之導光板[12]

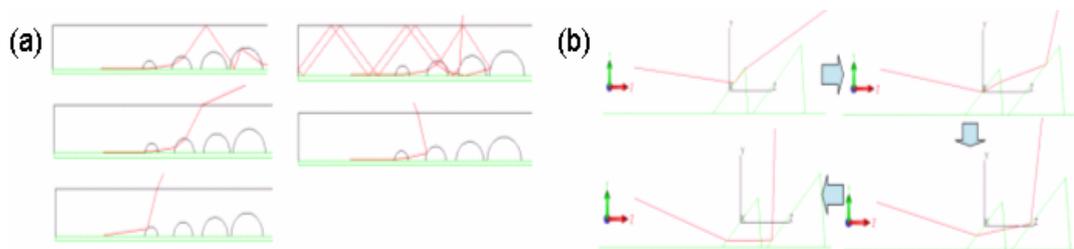


圖 2.31：光在具有漸大式圓形及楔形擴散點之導光板內行進之光跡

在 2-2.1 節中已介紹過楔形導光板，非均勻式擴散點大小設計可以其為基礎 [圖 2.32]。我們可以由圖中知道每顆擴散點的大小趨勢，其實近似於楔形板的斜面。此外，在搭配上後面所說明的擴散點間不同距離設計，將可以達到出光均勻的效果。

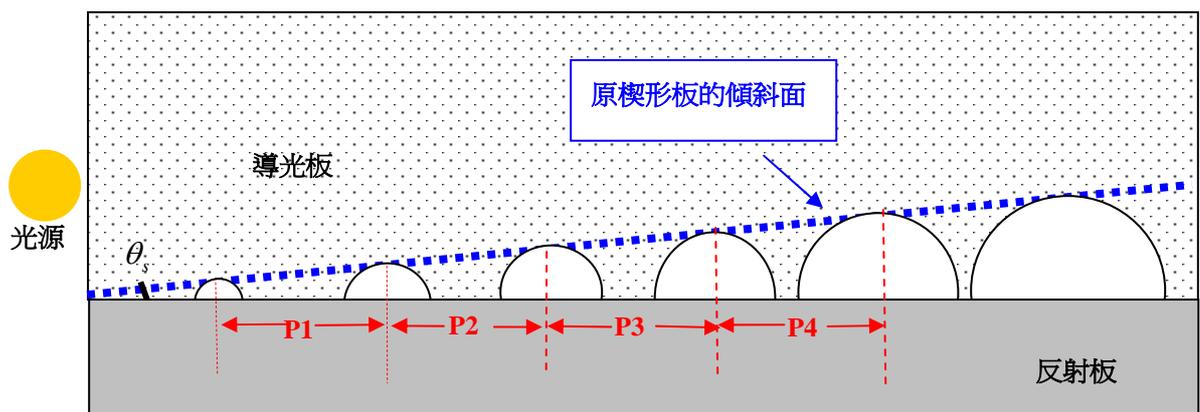


圖 2.32：擴散點的大小設計與楔型導光板傾斜面關係

關於擴散點與擴散點之間距離的設計，也需是不均勻的。我們知道，擴散點目的為用以破壞光在導光板中的全反射，而使光能射出導光板，因此在側光式背

光模組中，為了要使光能傳導至遠離光源的一端；因此，在近光源處之擴散點密度需較疏，使的光大部分能不被破壞全反射而能傳導至遠光源一端。而遠光源處之擴散點密度較高，使的光能被破壞全反射而出射導光板，擴散點在導光板中配置之距離關係需為  $P1 > P2 > P3 > P4 > \dots$  [圖 2.32]。

在平行光源配置的方向上，擴散點的分佈應為交叉排列狀，此設計的目的亦為增加光線出射導光板的機率。假若我們以同一光源位置發出之光線 A，入射擴散點交叉排列之導光板[圖 2.33]，與入射擴散點非交叉排列之導光板[圖 2.34]兩者比較，可發現光線在非交叉排列的導光板傳遞過程中，因為沒有遇到擴散點而無法破壞全反射而出射導光板；但是在擴散點交叉排列之導光板中，光線在傳遞過程中有機會遇到擴散點而發生全反射，因而提高光線出射導光板的機率，即提高光源使用的效率。

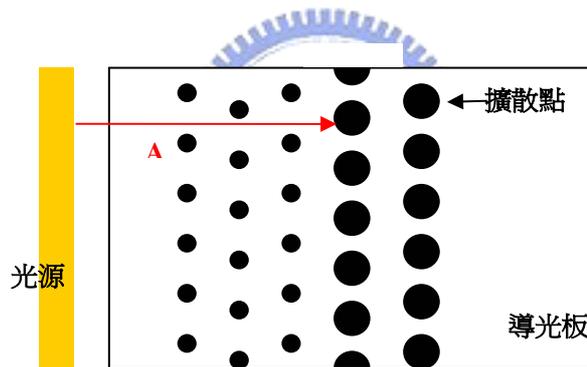


圖 2.33：擴散點交叉排列之導光板

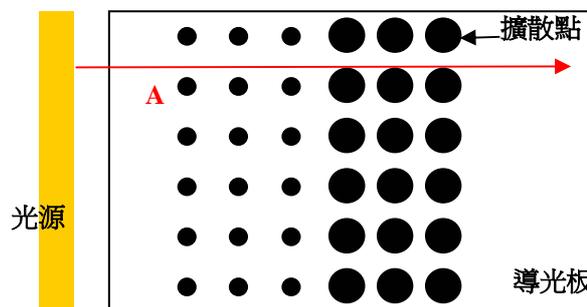


圖 2.34：擴散點非交叉排列之導光板

對於擴散點的設計，將遵循以上的規則。我們以下將導光板分為  $n$  塊面積相等的區塊來做討論，假設這些區塊內的擴散點密度為  $D$ ，且

$$D = \frac{\text{擴散點面積}}{\text{區塊面積}} \quad (2.14)$$

這些區塊個別的光照度  $I$  會受到各個區塊網點密度  $D_1、D_2 \cdots D_n$  的影響，即：

$$I_i = f(D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_n) \quad (2.15)$$

其中  $I_i$  是由第  $i$  個區塊出射的光強度， $D_i$  是第  $i$  個區塊的擴散點密度，由靠近光源處之區塊依序編號為 1、2、3...。因為擴散點的目的為破壞光全反射使的大部分打到擴散點的光會立即出射，因此第  $i$  個區塊的出射光可視為大部分由此區塊的擴散點所造成，因此(2.15)式可簡化為：

$$I_i = f(D_i) \quad (2.16)$$

因此我們可藉由調整每一區塊上擴散點之密度使的光能均勻出射。根據前述擴散點設計為越遠離光源則尺寸越大，且擴散點之間的距離越小，因此擴散點密度大小依序為  $D_1 < D_2 < \cdots < D_n$ 。

### 2-3.3 加入上微結構方法

在上節中所介紹的加入擴散點方法亦可歸類於加入微結構方法，只不過其屬於下微結構，在這邊要介紹的是以加入上微結構的方式使出射光能均勻分布。

在[圖 1.1]中，說明了 LCD 背光模組的組成元件，因為通過 LCD 面板的光線指向性非常差，因此要有增亮膜(或稱稜鏡片)來修正光的方向使大部分的光能正向出射通過 LCD 面板再進入人眼且使光能均勻出射。而為了使 LCD 能輕量化以及降低成本的目的，因此有以在導光板加入上微結構的方式來取代增亮膜的技術發展[圖 2.33]。

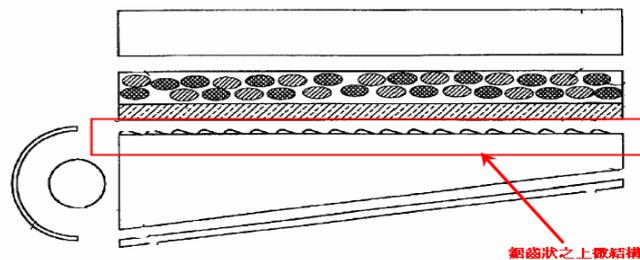


圖 2.35：美國專利 US 6752507 具有上微結構之導光板[13]

#### 2-3.4 混合式設計方法

上述三種方法皆有使導光板光照度分佈均勻的效果，因此可以綜合以上方法來設計導光板。[圖 2.36]的設計中，導光板以同時具有楔形上微結構及楔形擴散點的設計來增加導光板出光面上的光照度均勻性。

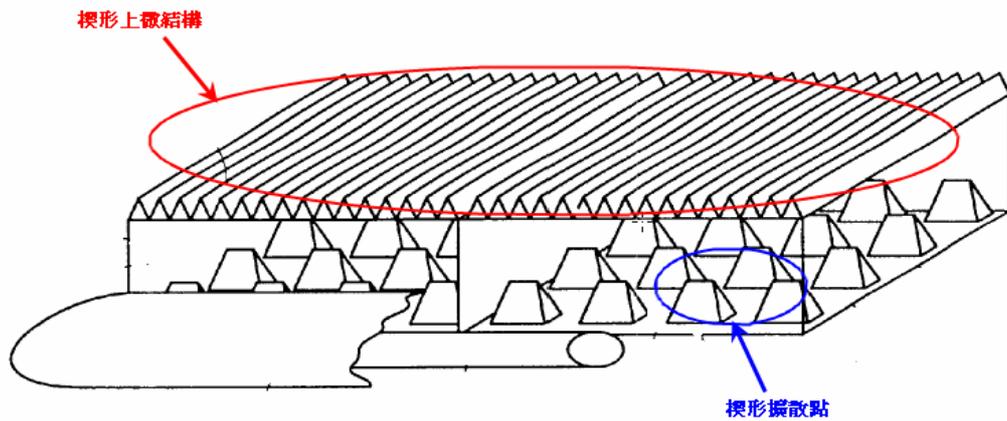


圖 2.36：美國專利 US 6454452 結合上微結構與楔形擴散點的導光板設計[14]



## 2-4 導光板出光平面上光均勻度計算

導光板設計的關鍵在於出光平面上需有良好的光照度均勻性，因此當我們以光學軟體 Tracepro 做光機模擬之後，除了由 Illuminance map 的結果分析導光板出光面上光照度均勻與否以外，亦需將出光面上以 Tracepro 所計算出的各點光照度匯出再以 Matlab 做數值分析計算，進而將光照度均勻性量化，量化結果我們稱為光均勻度[15] (Luminance uniformity)。

光均勻度，在國際顯示器標準的定義上為在一螢幕平面上的光照度 (Luminance) 變化。對於該如何敘述一個螢幕上光照度的均勻性，我們可以照度均勻或是照度不均勻來表示，照度的均勻性越高相當於照度的不均勻性越低。因此在計算上，我們是以計算出一平面上之 Uniformity 或是 Nonuniformity 來代表光均勻度 Luminance uniformity。舉例來說：一個螢幕的光均勻度可以表示為 Uniformity=90% 或是 Nonuniformity=10%。假設我們量測出螢幕上許多點的光照度且定義出照度最大值  $L_{\max}$  及最小值  $L_{\min}$ ，則 Uniformity 定義如下：

$$Uniformity = 100\% \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (2.17)$$

然而，在目前國際上量測使用的習慣則是以計算出 Nonuniformity 的大小來代表光均勻度，依照量測方式方式可將光均勻度分為兩種：

**Area Uniformity**：以 Scanning Luminance meter 或 array Luminance meter 來量測整個平面上的照度均勻性，此種量測方法較為困難以及需要較昂貴的儀器，因此通常不會用此種方法，在此不另贅述。

**Sampled Uniformity**：此法為以量測螢幕平面上許多不同點之照度來計算光均勻度，其計算方式有五種，列舉如下：

(1) 計算出所量測各點之平均光照度  $L_{ave}$ ，並定義與  $L_{ave}$  的最大照度偏差量  $\Delta L$ ：如果  $L_{ave} - L_{\min} > L_{\max} - L_{ave}$  則定義  $\Delta L = L_{\min} - L_{ave}$ ；反之則  $\Delta L = L_{\max} - L_{ave}$ 。因此 Nonuniformity 可表示為：

$$Nonuniformity = 100\% \times \frac{\Delta L}{L_{ave}} \equiv 100\% \times \frac{\max|L_i - L_{ave}|}{L_{ave}} \quad (2.18)$$

；其中  $L_i$  為任意點光照度， $i = 1, 2, 3 \dots$

(2) 計算  $L_{max} - L_{min}$  與  $L_{ave}$  之比值：

$$Nonuniformity = 100\% \times \frac{(L_{max} - L_{min})}{L_{ave}} \quad (2.19)$$

(3) 定義光照度之標準差  $\sigma_L = \sqrt{\langle L_i^2 \rangle - \langle L_{ave} \rangle^2}$ ，計算標準差  $\sigma_L$  與  $L_{ave}$  之比值：

$$Nonuniformity = 100\% \times \frac{\sigma_L}{L_{ave}} \quad (2.20)$$

(4) 以所測量平面的中央點的照度  $L_c$  為基準，計算出所量測各點與  $L_c$  之最大差值與  $L_c$  之比值：

$$Nonuniformity = 100\% \times \frac{\max|L_c - L_i|}{L_c} \quad (2.21)$$

(5) 計算  $L_{max} - L_{min}$  與  $L_{max}$  之比值：

$$Nonuniformity = 100\% \times \frac{(L_{max} - L_{min})}{L_{max}} \quad (2.22)$$

以上定義出一般常用計算光照度的方法，而接下來要介紹的是測量點數的標準。

測量點數一般來說最常使用的有分為測量螢幕上特定五點以及九點的照度，而測量九點又可分為兩種方法。在量測點取五點的方法中，將所欲量測平面的長與寬皆分為四等份做連線，其連線交點處即為測量點[圖 2.37]；而在測量點取九點的方法中，第一種方法為依序將長寬各分為 1/6、1/3、1/3、1/6，取其連線交點即為測量點[圖 2.38(a)]；第二種方法中為依序將長寬各分為 1/10、4/10、4/10、1/10，取其連線交點即為測量點[圖 2.38(b)]。

而目前業界對於螢幕光均勻度的規範大致上是以  $Nonuniformity=20\%$  為上限，若  $Nonuniformity>20\%$  則此螢幕光均勻度則不合乎標準， $Nonuniformity<20\%$  則為人眼可接受的光均勻度，因此在下一章對導光板所做的設計及模擬中我們亦遵循此標準。此外，在我們下一章所做的模擬中，光均勻度的計算我們採用(2.20)

式中計算標準差的方式，而光照度測量點取點方式我們採用選取九點方法中的第二種方法。

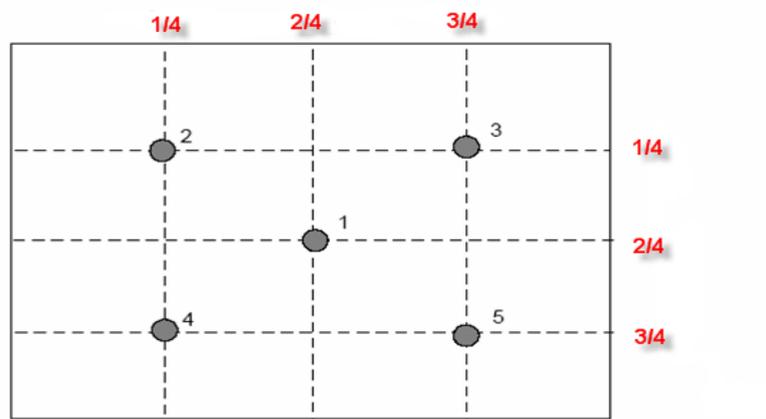
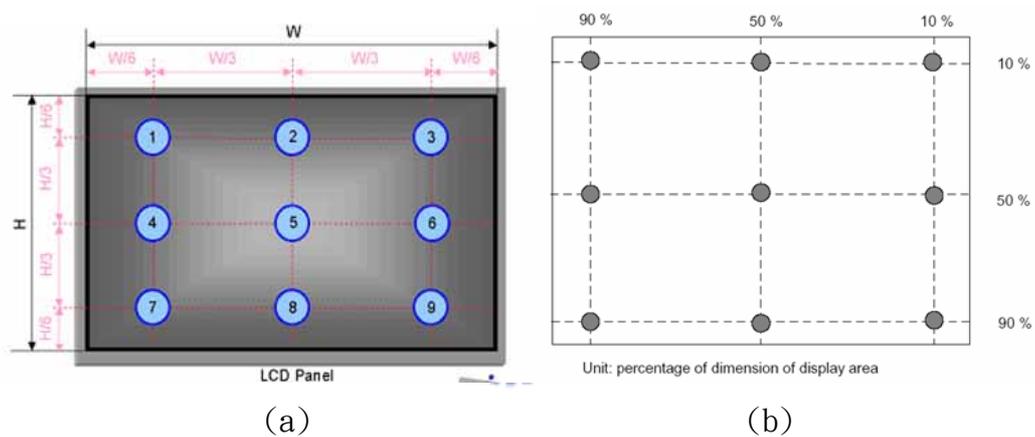


圖 2.37：量測光照度取點方法-取點數為五點



(a)

(b)

圖 2.38：量測光照度取點方法-取點數為九點

### 第三章 側光式背光模組導光板之最佳化設計與光學模擬

在第二章中我們對導光板的設計原理已做過詳細的介紹，而在這一章中，首先要藉由專利分析與模擬來說明一般側光式導光板設計對於光均勻度的表現，且藉由專利分析，我們對於測光式導光板設計的將有更進一步的認識。在第二節中，我們將以上一章所介紹導光板之原理為基礎，對側光式導光板建構一套最佳化設計的方法。在第三節中，我們將對實際導光板樣本做分析以及光機模擬，並以第二節中我們所建立的最佳化方法試著對此導光板樣本做優化。在第四節中我們將以實驗方法量測此導光板樣本之光均勻度且與第三節中我們所做的光機模擬結果做比較。



### 3-1 導光板之專利分析與模擬

在本節中所分析的專利來源來自美國專利局 USPTO 的專利資料庫[16]，因為導光板的專利非常多，在此僅挑選兩種專利做分析模擬。

#### (1) 專利號碼：US 6, 435, 687[17]

側光式導光板的設計需以特殊的設計以達到導光板出光面的光均勻分佈性。此篇為 2002 年之日本 NEC 公司所通過之專利[圖 3.1]，且此種導光板為雙邊側光式[圖 3.2]。

<p>(12) <b>United States Patent</b> Fukiharu</p> <p>(54) <b>REFLECTION ILLUMINATION DEVICE FOR OBJECT TO BE ILLUMINATED</b></p> <p>(75) Inventor: <b>Eiichi Fukiharu</b>, Tokyo (JP)</p> <p>(73) Assignee: <b>NEC Corporation</b>, Tokyo (JP)</p> <p>(* ) Notice: This patent issued on a continued prosecution application filed under 37 CFR 1.53(d), and is subject to the twenty year patent term provisions of 35 U.S.C. 154(a)(2).</p> <p>Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.</p> <p>(21) Appl. No.: <b>09/516,138</b></p> <p>(22) Filed: <b>Mar. 1, 2000</b></p> <p>(30) <b>Foreign Application Priority Data</b> Mar. 3, 1999 (JP) ..... 11-055802</p> <p>(51) <b>Int. Cl.</b> ..... <b>F21V 8/00</b></p> <p>(52) <b>U.S. Cl.</b> ..... <b>362/31; 362/26; 349/65</b></p> <p>(58) <b>Field of Search</b> ..... 362/31, 27, 561, 362/26, 330, 339; 349/67, 62, 63-65; 359/49</p> <p>(56) <b>References Cited</b> <b>U.S. PATENT DOCUMENTS</b> 5,641,219 A * 6/1997 Mizobe ..... 362/31 5,719,649 A * 2/1998 Shono et al. .... 362/31</p>	<p>(10) <b>Patent No.:</b> <b>US 6,435,687 B1</b></p> <p>(45) <b>Date of Patent:</b> <b>*Aug. 20, 2002</b></p> <p>5,844,720 A * 12/1998 Ohara et al. .... 362/31 6,048,071 A * 4/2000 Sawayama ..... 362/31</p> <p><b>FOREIGN PATENT DOCUMENTS</b> JP 8-227015 * 9/1996 * cited by examiner</p> <p><i>Primary Examiner</i>—Sandra O’Shea <i>Assistant Examiner</i>—Bao Truong (74) <i>Attorney, Agent, or Firm</i>—Scully, Scott, Murphy &amp; Presser</p> <p>(57) <b>ABSTRACT</b> A reflection illumination device includes a light guide, light sources, and a reflecting mirror. The light guide is placed in front of an object to be illuminated. The light sources are arranged around the light guide. The reflecting mirror is placed behind the object. One or a plurality of total reflection areas on which projections or recesses each having a triangular cross-section and serving to totally reflect light emitted from the light source toward the object are formed are arranged on the surface of the light guide. Each of the projections or recesses is constituted by an inclined surface inclined at a predetermined angle toward a reference portion positioned at a predetermined position on the light guide, and a vertical surface vertical to the light guide. The light sources and irradiation means for parallelly irradiating the total reflection areas with light from the light sources are arranged at edges of the light guide in correspondence with the total reflection areas.</p> <p><b>6 Claims, 3 Drawing Sheets</b></p>
--	--

圖 3.1：美國專利 US 6, 435, 687

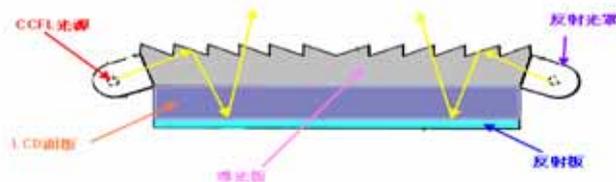


圖 3.2：美國專利 US 6, 435, 687 導光板設計樣式

[圖 3.2]中，液晶面板置於導光板與反射板之間，因此此種設計為光(以黃色線代表)自光源射出經過導光板上之楔形上微結構一次反射後入射 LCD 面板，再經由底部的反射板二次反射最後出射整個背光模組，因此此種設計屬於第二章第 2-2.3 節中所介紹的上微結構設計。

接下來以 Tracepro 建構此專利的的光機模型並做模擬，由於本篇專利並未說明此設計所應用之 LCD 尺寸，因此自己假設此為一 17 吋 LCD 之導光板，長寬各為

30 公分，燈源為具有 Lambertian 發光特性之 CCFL 光源。我們將其上微結構以不同大小設計來做模擬結果比較。在[圖 3.3]中為我們以 Tracepro 建構出的模型，尺寸大小以及模擬結果如圖所示。

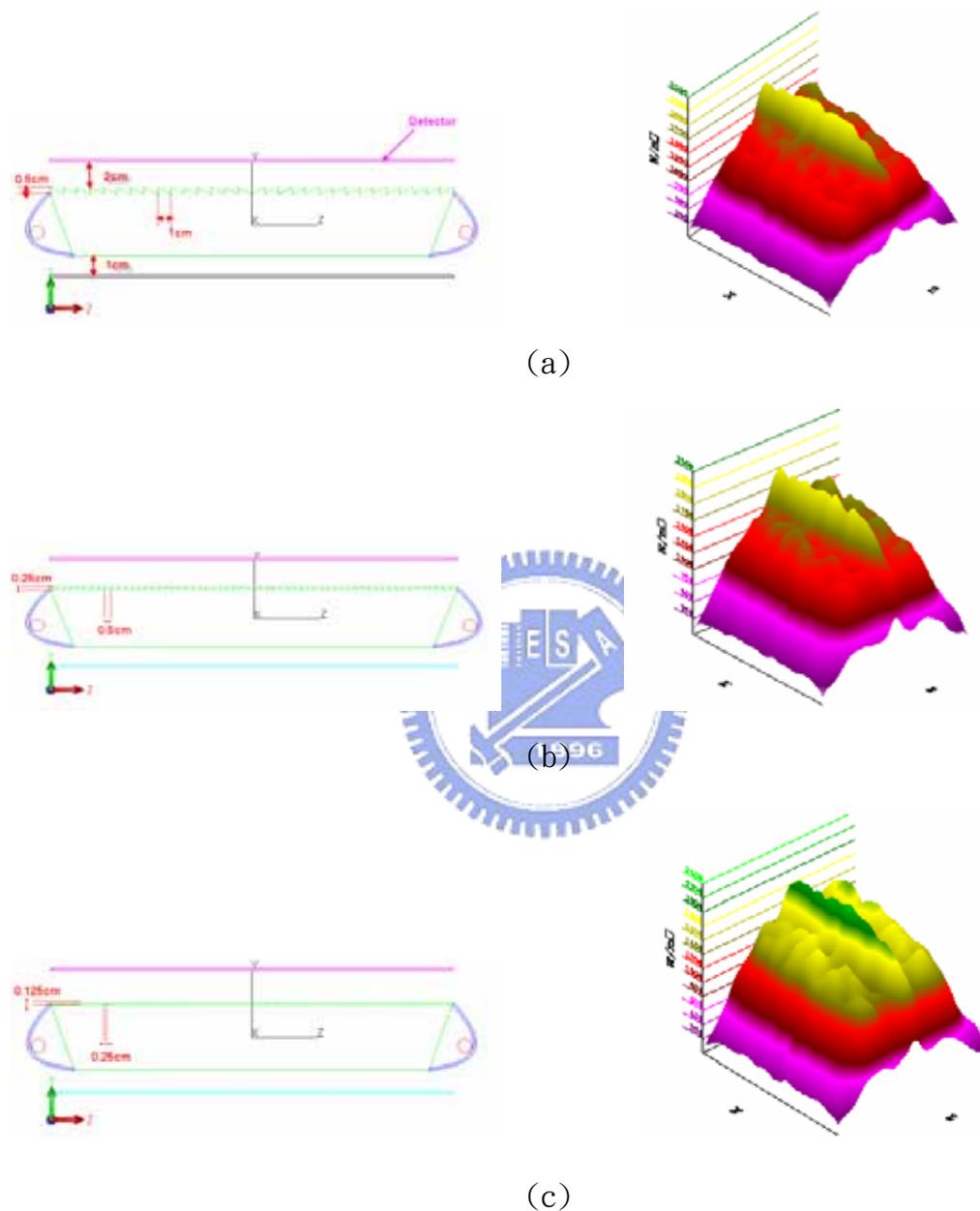


圖 3.3：以 Tracepro 建構及模擬美國專利 US 6, 435, 687 之導光板(a)微結構高 0.5 公分，寬 1 公分 (b)微結構高 0.25 公分，寬 0.5 公分 (C)微結構高 0.125 公分，寬 0.25 公分。

要特別說明的是，[圖 3.3(a)]中楔形微結構的高為 0.5 公分，Pitch 的長度為 1 公分。然而事實上，以一個 17 吋 LCD 所使用的導光板而言，其微結構應該

為非常的小，其大小的數量級可能只有幾個 mm，甚至可以精密加工的方法使最小可以到 um 的等級。因此，此處之微結構尺寸假設是不合理的，但為方便與[圖 3.2]之原始專利模型對照，以及與[圖 3.3(b)、(c)]微結構尺寸很小的模型之模擬結果能有明顯的對照，因此有此尺寸之假設。

比較上圖三種微結構大小情況之模擬結果，就 Illuminance map 來說，此三種情況的均勻度看起來似乎都不錯，不過仍需要將其光均勻度作量化才能做精確的比較。我們在導光板出光面上長與寬各選取 128 點並以 Tracepro 模擬計算出此 128x128 個點之光照度值。由第 2-4 節所介紹光均勻度的計算方法，我們依據[圖 2.38(b)]選取導光板上特定九點的光照度量值並計算此九點光照度之標準差  $\sigma_L$ ，將之代入(2.20)式以求得 Nonuniformity。因此，我們應在此 128x128 個點中所應選取的點如[圖 3.4]，而以 Matlab 計算出之 Nonuniformity 如[表 3.1]。

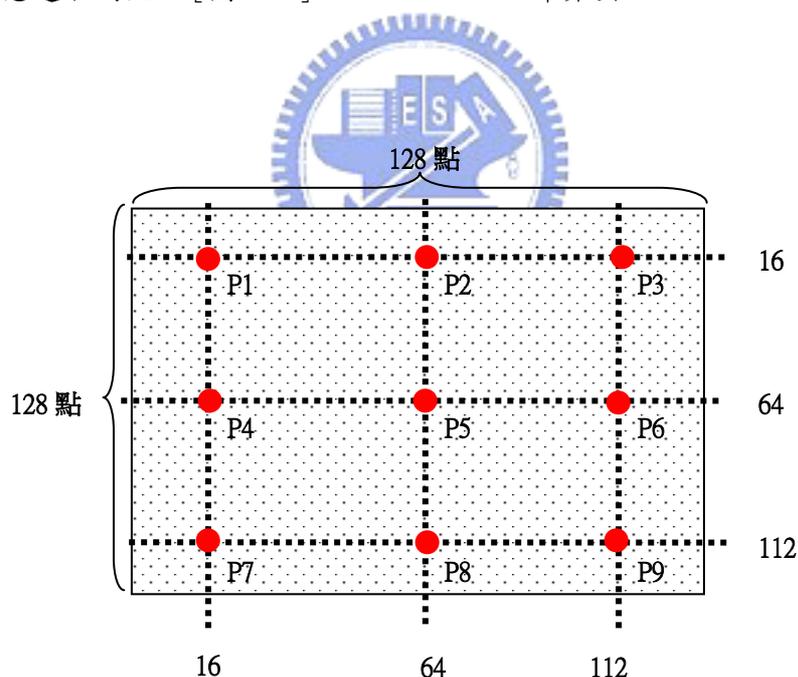


圖 3.4：對於 128x128 個點中所取之取九個測量點

由[表 3.1]所模擬出之結果我們得到此種導光板設計所得到的光均勻度 39.9%。

微結構尺寸 測量點之光照度 (單位： $w/m^2$ )	微結構高 0.5 公分，寬 1 公分	微結構高 0.25 公分，寬 0.5 公分	微結構高 0.125 公分，寬 0.25 公分
P1	1082	1022.9	1132.7
P2	1009.6	938.36	1059.2
P3	862.58	841.87	902.69
P4	2123.1	2082.1	2222.1
P5	2176.9	2135.7	2291.2
P6	1908.9	1867.1	1900.5
P7	948.84	904.16	1038.3
P8	957.32	967.17	1049.9
P9	860.03	883.65	929.66
標準差	534.26	525.94	540.53
均勻度	40.30%	40.66%	38.84%
平均均勻度	39.9%		

表 3.1：三種大小不同微結構下導光板之光均勻度

(2)專利號碼：US 6, 454, 452

此篇專利為 2002 年日本 Mitsubishi 公司的專利[圖 3.5]，在第二章中第 2-2.4 節中已簡單的介紹過，此為一混合式的導光板設計，且光源配置為單邊側光式[圖 3.6]。

(12) <b>United States Patent</b> Sasagawa et al.		(10) Patent No.: <b>US 6,454,452 B1</b>
		(45) Date of Patent: <b>Sep. 24, 2002</b>
(54) <b>BACKLIGHT FOR LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE</b>	<b>FOREIGN PATENT DOCUMENTS</b>	
(75) Inventors: Tomohiro Sasagawa; Akimasa Yuuki; Naoko Iwasaki; Sada-yuki Matsumoto; Mitsuo Inoue; Kyoichiro Oda, all of Hyogo (JP)	EP 545429 * 6/1993 ..... 349/65	
(73) Assignee: Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha, Tokyo (JP)	JP 3-31782 3/1991	
(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) to 10 days.	JP 5-216030 8/1993	
(21) Appl. No.: 09/692,200	JP 5-79537 10/1993	
(22) Filed: Oct. 20, 2000	JP 6-130387 5/1994	
(51) Int. Cl. 7 G02F 1/1335; F21V 8/00	JP 7-159620 6/1995	
(52) U.S. Cl. 362/561; 362/31; 362/330; 362/339; 362/224; 349/65	JP 7-168026 7/1995	
(58) Field of Search 349/62, 64, 65; 362/31, 330, 339, 332, 561, 224; 385/129, 132, 901	JP 8-254618 10/1996	
(56) <b>References Cited</b>	JP 9-269489 10/1997	
<b>U.S. PATENT DOCUMENTS</b>	JP 10-260640 9/1998	
5,128,842 A * 7/1992 Kenmochi ..... 362/31	JP 10-282342 10/1998	
5,339,179 A * 8/1994 Rodisill et al. .... 349/65		
5,521,796 A * 5/1996 Osakada et al. .... 362/31	<b>OTHER PUBLICATIONS</b>	
5,838,403 A * 11/1998 Jansson et al. .... 349/65	Shoichi Matsumoto; Sanyo Tsusho, "Liquid Crystal Display Technology", p. 255 (Nov. 8, 1996).	
5,926,601 A * 7/1999 Iai et al. .... 349/64	* cited by examiner	
5,984,196 A * 10/1999 Hira et al. .... 362/31	<i>Primary Examiner</i> —Alan Cariano	
5,989,054 A * 11/1999 Fukui et al. .... 362/31	(74) <i>Attorney, Agent, or Firm</i> —Leydig, Voit & Mayer, Ltd.	
6,139,162 A * 10/2000 Masaki ..... 362/31	(57) <b>ABSTRACT</b>	
6,164,799 A * 12/2000 Himes et al. .... 362/330	A backlight provides uniform emanating light for a liquid crystal display. In the backlight, light emitted from a light source is incident on a receiving end surface of a light guide plate and emanates through a top surface toward a liquid crystal panel. A bottom surface includes a reflecting hollow wedge extending along the receiving end surface and varying in depth, as measured from the end surface, in correspondence with distance from the end surface. A dividing flat portion orthogonal to the reflecting hollow wedge divides the reflecting hollowed portion, and an output surface includes a prism having parallel ridges extending in a direction orthogonal to the receiving end surface.	
6,231,200 B1 * 5/2001 Shinohara et al. .... 362/31		
6,241,358 B1 * 6/2001 Higuchi et al. .... 362/31		
	<b>15 Claims, 15 Drawing Sheets</b>	

圖 3.5：美國專利 US 6, 454, 452

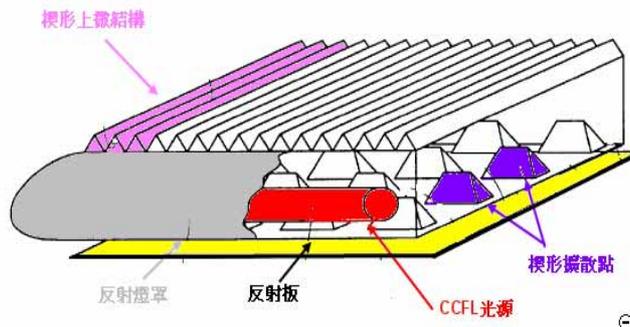


圖 3.6：美國專利 US 6, 454, 452 導光板設計樣式

[圖 3.6]中，我們可發現楔形擴散點的在近光源處較小，在遠光源處較大，符合在第二章中所介紹擴散點的大小趨勢設計。根據專利中所述，最小的擴散點高僅 50um，而最大的擴散點高為 160um，且擴散點的寬度也逐漸變大，但其排列卻是以等密度排列的方式：擴散點之間間距為 200um；而非前面所介紹的由疏至密的排列法，因此推測此種設計的光均勻度可能表現不佳。為了驗證此導光板樣式對於光均勻度的表現，亦以 Tracepro 做光機模擬。我們假設此為一 15 吋 LCD 所使用之導光板，長為 32 公分，寬為 24 公分，高為 0.6 公分。附註一點，

在此我們自行假設的導光板尺寸為參照[圖 2.25]中實際拆解下 15 吋 LCD 之導光板尺寸。此外，由於在原專利中所設計的擴散點尺寸太小，若佈於一 15 吋的 LCD 上則擴散點的數目太多，而要以 Tracepro 並建立並對如此物件數目龐大的模型做光機模擬，其所需的計算量將十分的大，因此我們將自行假設較適合之擴散點尺寸，在此我們將最小之擴散點之高假設為 0.01 公分。為了簡化建構大小不一的擴散點的繁瑣步驟，以及方便將來可以更動其參數以做優化，因此以 Scheme Macro 撰寫此擴散點之佈點程式[附錄 A]。

[圖 3.7]為以 Tracepro 所建構出的光機模型，其擴散點的分佈之上視圖如[圖 3.8]，而與專利中所述擴散點的分佈上視圖[圖 3.9]比較，可確認我們所建構的光機模型為遵循原專利中之設計。

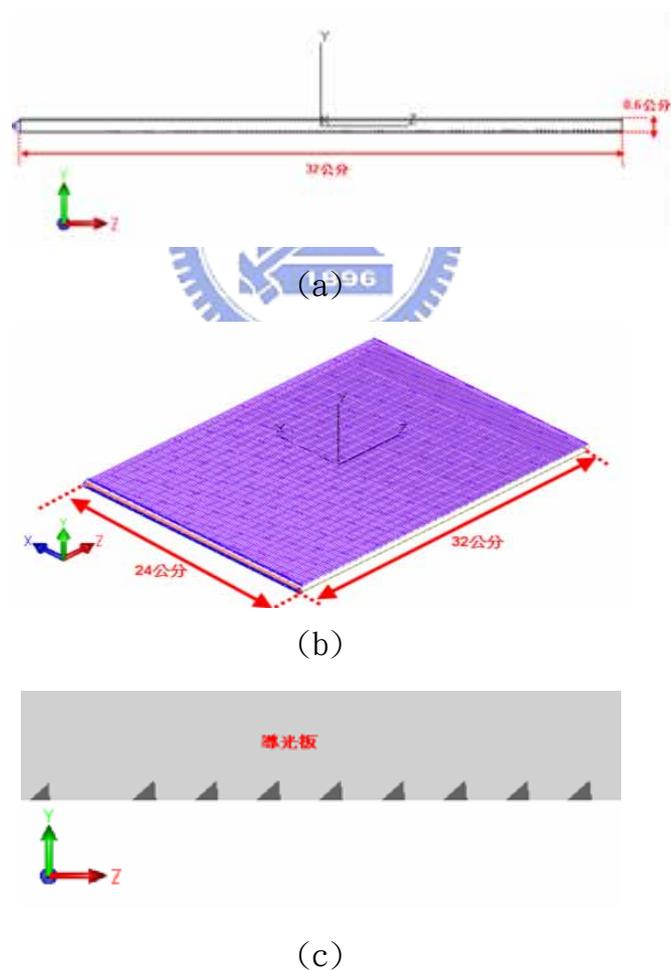


圖 3.7：以 Tracepro 建構專利 US 6, 454, 452 導光板之模型(a)側視圖(b)斜視圖(c)楔形擴散點放大側視圖

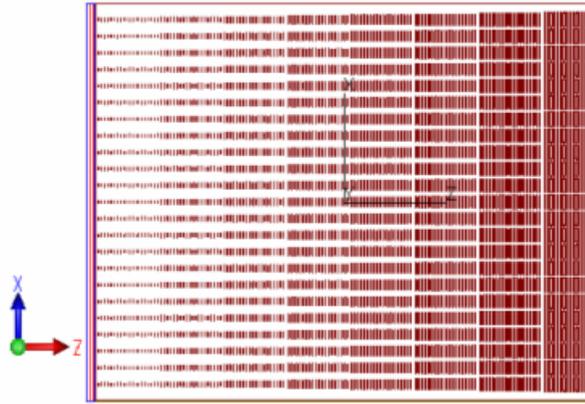


圖 3.8：以 Tracpro 中 Scheme Macro 所建構之擴散點分佈

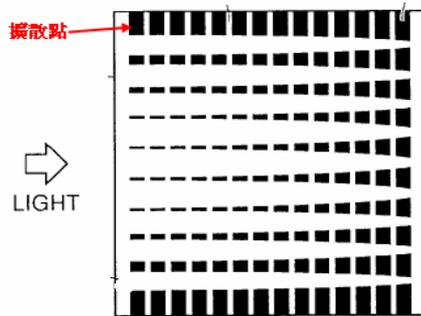


圖 3.9：專利 US 6,454,452 導光板之擴散點上視圖

在建構完導光板模型後，接下來將做光束線模擬，雖然和原專利中相比我們所建構的光機模型已將擴散點數目減少許多，但仍然為一個很可觀的數目。因為受限於電腦的規格，對於一個物件數目龐大的模型 Tracepro 並無法做光束線數目太多的模擬，因此我們將光源發出光束線數目假設為 100000 條。[圖 3.10]為模擬結果，程式執行時間大約為四小時。

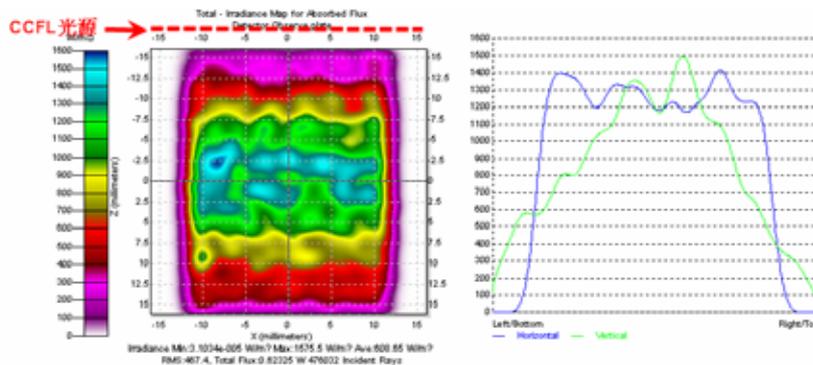


圖 3.10：以 Tracepro 模擬美國專利 US 6,454,452 之導光板，光束線 100000 條

由[圖 3.10]中模擬結果之 Illuminance map 來看，在設計下導光板的光均勻度並不是很好。而接著我們以 Matlab 將此導光板之光均勻度量化[表 3.2]，由模擬結果，此設計的均勻性並不高。歸納其原因為：專利中未提供足夠的資訊，未明確的敘述導光板內的機構設計以及尺寸大小；此外，在執行 Scheme Macro 來做擴散點佈點時，受限於 Tracepro 對物件數目龐大的光機模型做模擬所需的計算量亦龐大的緣故，因此無法做出如專利中所述大小數量級  $\mu\text{m}$  的擴散點。但此楔形擴散點設計理念並非不佳的，若能經由更詳細的優化過程則此概念仍十分適合應用於導光板上。

測量點編號	P1	P2	P3	P4	P5	P6
測量點光照度						
光照度 (單位： $\text{W}/\text{m}^2$ )	1097	1024.2	854.49	2140.7	2196	1893.8
測量點編號	P7	P8	P9	標準差	517.93	
測量點光照度						
光照度 (單位： $\text{W}/\text{m}^2$ )	971.66	1071.8	073.07	均勻度	38.14%	

表 3.2：專利 US 6, 454, 452 導光板之光均勻度

關於上兩份專利的導光板設計，均與第二章中所述之基本概念有所不同，由於專利中並未提供足夠的資訊，經由我們對其做光機模擬後所得到光均勻度不佳，但若我們有足夠關於此兩款導光板設計的資訊，相信在做光機模擬後勢必會有更好的光均勻度。

### 3-2 側光式導光板設計之最佳化流程

在側光式導光板的設計中，以光源配置位置及擴散點的設計對於導光板光均勻度影響最巨，因此我們可以根據第二章的概念，建構一套側光式導光板設計之最佳化流程[圖 3.11]。

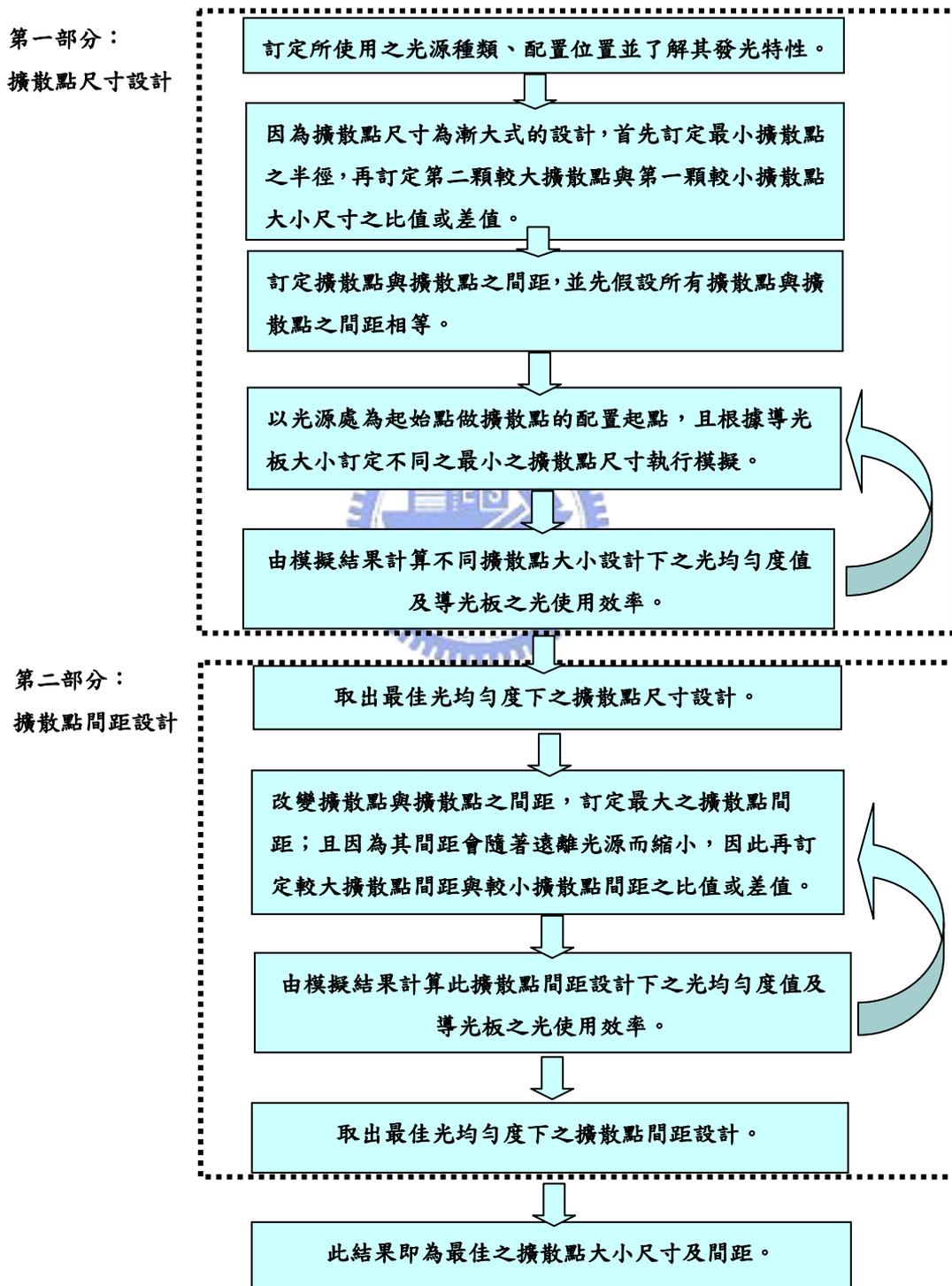


圖 3.11：導光板設計之最佳化流程

### 3-3 以實際導光板樣本為基礎做分析、模擬與優化

在上兩節中，我們已經對部分導光板的專利做了分析與模擬，並建構一套導光板設計之最佳化流程。因此接下來我們將以實際導光板樣本為基礎來做模擬優化並計算其均勻度，並且以實驗操作來量測導光板之均勻性，將其實驗量測結果與模擬結果做比較及探討。

#### 3-3.1 Panasonic GD93 手機之導光板介紹與分析

我們所採用的導光板樣本為 Panasonic 公司所發表的 GD93 手機中之導光板。一般來說，因為我們對於手機的輕量化以及待機時間上有更嚴格的要求，因此在對於光源的選擇及配置需格外注意。因此，手機的背光光源並不能使用體積大又較耗電的 CCFL，而是採用體積小且低耗電的表面黏著型發光二極體 (Surface Mount Device LED；簡稱 SMD LED)。為了要達到螢幕光照度均勻的要求，大部分手機之背光光源會採用對稱式的配置。[圖 3.12] 為 Nokia 公司所發表的 Nokia 6150 手機之背光模組，由上而下依序為：外框，液晶面板，導光板，反射片 [圖 3.12(a)]。其光源配置為一側有三顆 SMD LED，兩側對稱分佈總共六顆 SMD LED [圖 3.12(b)]。如此的光源配置方法對於其螢幕之光照度均勻性的確有較好的表現，但是因為使用較多的光源，因此相對的耗電量提升，不符合經濟效益。而作為我們研究樣本的 Panasonic GD93 手機，其背光光源僅採用單顆 SMD LED，因此降低了手機耗電量，但如此一來亦降低螢幕的光照度均勻性，所以經由特殊擴散點設計之的導光板達成高螢幕光照度均勻性的需求。

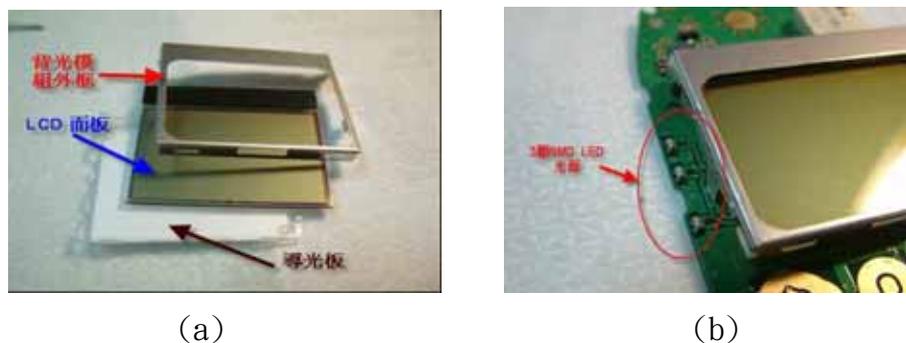


圖 3.12：Nokia 6150 手機背光模組 (a)背光模組之組成(b)光源配置

我們將 Panasonic GD93 手機做分解後，可發現單顆的 SMD LED 配置於背光模組之左下角[圖 3.13]，光出射光源後再經由導光板的傳遞均勻出射。此背光模組之導光板形狀如[圖 3.14]。在導光板的原始設計中，我們可以藉由觀察發現擴散點的分佈為近光源處尺寸較小，且擴散點分佈密度較小；而遠光源處的擴散點尺寸較大，且擴散點分佈密度亦較大。由於我們並無法確切的測量出其每顆擴散點的尺寸以及其分佈密度，因此在下節中我們對此導光板所做的模擬利用直接撰寫 Scheme Macro，並根據上一節中我們所建構的側光式導光板最佳化流程對此導光板做擴散點的佈點以及光機模擬。

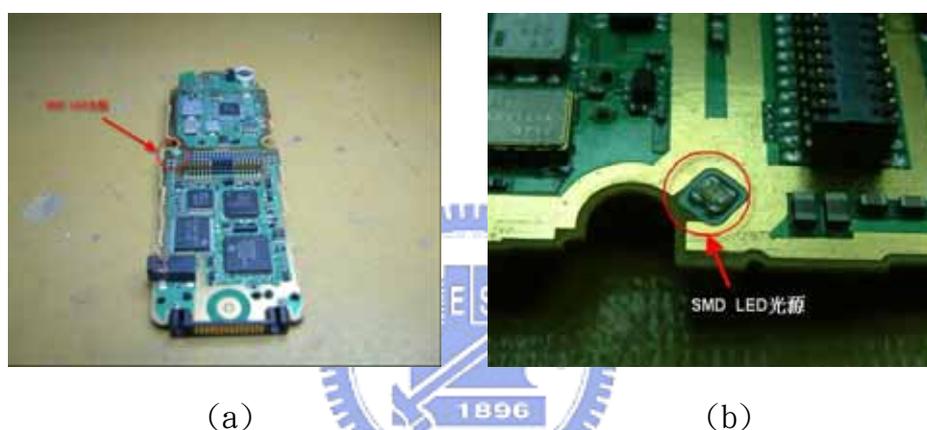


圖 3.13: SMD LED 光源在 Panasonic GD93 手機中之位置配置

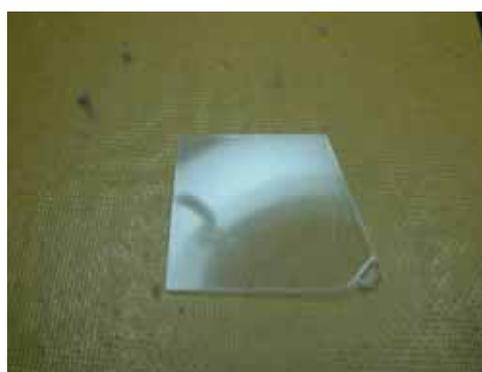


圖 3.14: Panasonic GD93 之導光板

### 3-3.2 Panasonic GD93 手機背光模組導光板之光機模擬

首先，我們先量以游標尺測量出導光板的尺寸大小，並且簡單的觀察其擴散點的分佈趨勢[圖 3.15]，再以 Tracepro 建構出導光板的基本模型[圖 3.16]。

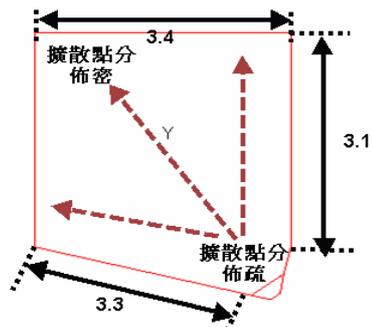


圖 3.15：導光板之尺寸(單位:公分)

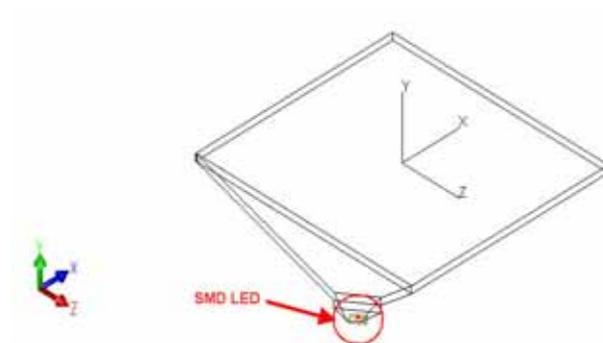


圖 3.16：以 Tracepro 所建構之導光板光機模型

我們將 SMD LED 假設為一白光光源，先對導光板的 A 部分做分析模擬，若將 SMD LED 視為一點光源，則光在經過 A 部分的傳導後可視為以一面光源 S 射入導光板 B 部分[圖 3.17]。若光源發出之光束線假設為 100000 條，則在導光板 A 部分中的 S 面上可清楚的看到在近光源處有較強的光強度，在另一邊遠光源處的光強度較弱[圖 3.18]。如此一來，擴散點的分佈在近光源處應較小較疏，遠光源處應較大較密，驗證了[圖 3.15]中我們所觀察到的擴散點分佈趨勢。

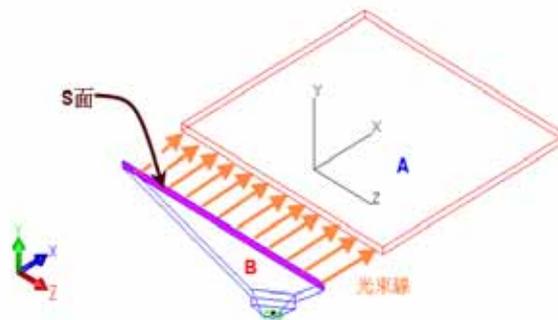


圖 3.17：將導光板分為 A、B 兩部分

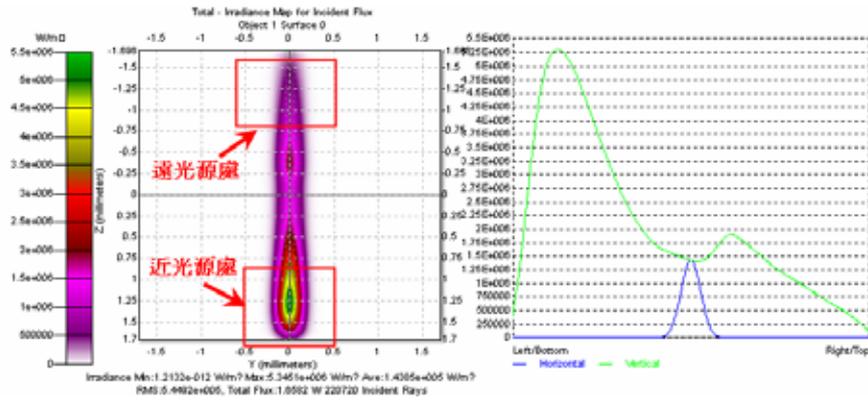


圖 3.18: 光在導光板 A 部分中 S 面之光強度分佈

接著，要在導光板底面上佈上擴散點。由於在導光板中擴散點的數目是非常龐大的，通常都有上千點，因此若要先計算出擴散點的尺寸及大小，再依序一個一個佈於導光板上，不僅困難度高，且所花費的時間及計算量亦十分龐大。因此我們以撰寫 Scheme Macro 的方式來佈點。我們的想法是將擴散點以光源為中心，做一個同心圓環狀的佈點[圖 3.19]，且越遠離光源處擴散點越大，點與點之間的間距在同心圓徑向方向上越密。為了要找出最佳的設計，我們將不同同心圓上之擴散點半徑  $r$ ，以及在同同心圓徑向方向上點與點之間距離  $d$ [圖 3.20]設為參數進行優化。

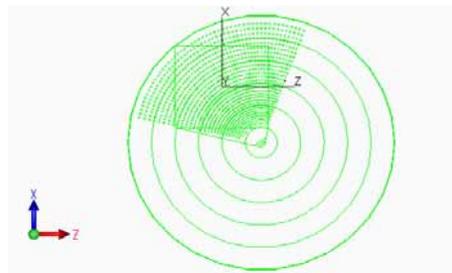


圖 3.19：以光源為圓心做同心圓式的佈點

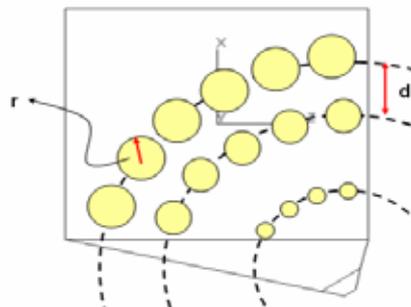


圖 3.20：導光板設計之參數示意

我們以上一節中所介紹的側光式導光板最佳化設計流程為基礎做擴散點的佈點設計。第一部分首先將擴散點半徑  $r$  設為變數，而在同心圓徑向方向上點與點之間距離  $d$  設為定值撰寫 Scheme Macro 佈點程式[附錄 B]以找出使導光板具有最佳光均勻度下的擴散點半徑，第二部分再利用此擴散點半徑，藉由改變此點與點間的距離  $d$  以得到最佳解。而以上模擬分析方式與第一節中專利分析相同，先對導光板出光面上的 Illuminacne map 做初步的均勻度分析，且求出此導光板之光源利用效率。而對於導光板出光面上我們得到  $128 \times 128$  點之光照度量值，再根據[圖 3.5]的取點方式以 Matlab 將光均勻度作量化分析。

我們先假設最小擴散點半徑  $r'$  及徑向方向之擴散點間距  $d$  作為基準值，以下以一組假設數據做解說：假設最小之擴散點半徑  $r'$  為 0.001 公分，且徑向方向之擴散點間的距離  $d$  為 0.05 公分，且在遠離光源方向上每個擴散點之半徑  $r$  以 0.001 公分的等差級數增加，以 Tracepro 所做出之光機模型如[圖 3.21]。我們以一白光 SMD LED 為光源，並以 100000 條光束線做模擬，光源之光通量假定為 1W，則在導光板出光面上之 Illuminance map 如[圖 3.22]；且由 Illuminance map 看來，在此尺寸假設下其在導光板出光面似乎有不錯的光均勻度。

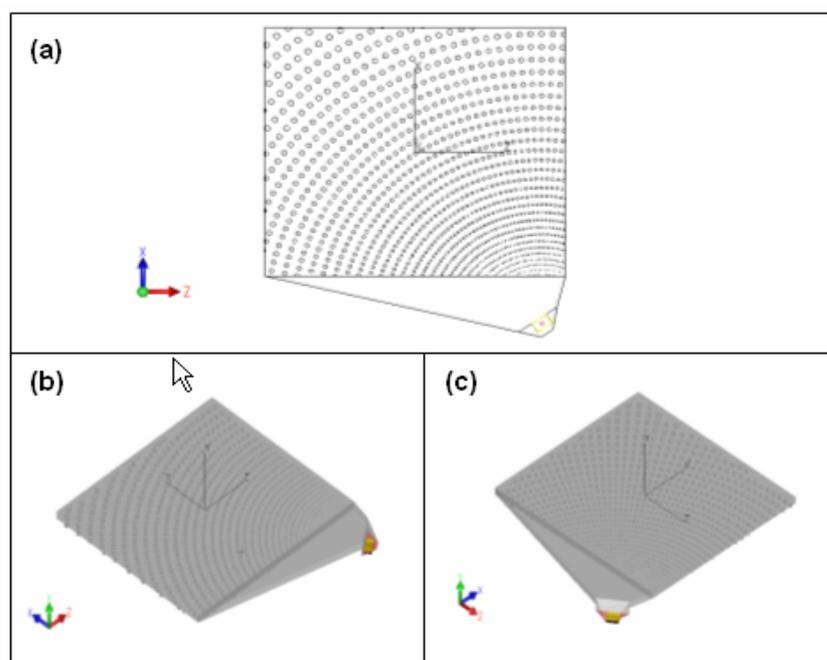


圖 3.21：導光板之光機模型 (a)上視圖(b)斜視圖 1(c)斜視圖 2

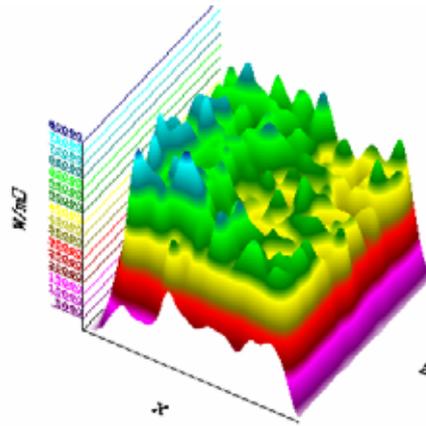


圖 3.22：導光板出光面上之 Illuminance map

接下來我們要將光均勻度作量化分析，依據上述方法，我們所得到之結果如 [表 3.3]。我們發現在此情形下導光板出光面光均勻度為 13.38%，低於一般對於光均勻度要求的標準 20%。而由 [圖 3.22] 中 Illuminance map 中所得導光板出光面之總光通量為 0.52155W，因此此設計中光之使用效率約為 52.1%，低於 [圖 1.5] 中一般導光板應有的效率 70%。因此此設計之光照度均勻性雖然合乎標準，但是在光源使用效率上略嫌不足，所以此擴散點大小設計並非一良好設計。接下來，我們再將最小之擴散點半徑  $r'$  假設為其他尺寸，在遠離光源方向上每個擴散點之半徑  $r$  依然以 0.001 公分的等差級數增加，而徑向方向之擴散點之間距  $d$  也依然為 0.05 公分之情況下做模擬，模擬數值列於 [表 3.4]。

測量點編號	P1	P2	P3	P4	P5	P6
測量點之光照度						
光照度 (單位：W/m <sup>2</sup> )	63257	54343	43989	51355	48407	46806
測量點編號	P7	P8	P9	標準差		6965
測量點之光照度						
光照度 (單位：W/m <sup>2</sup> )	37672	55491	53414	光均勻度	13.785%	

表 3.3：擴散點最小半徑 0.001 公分，間距 0.05 公分下之模擬結果

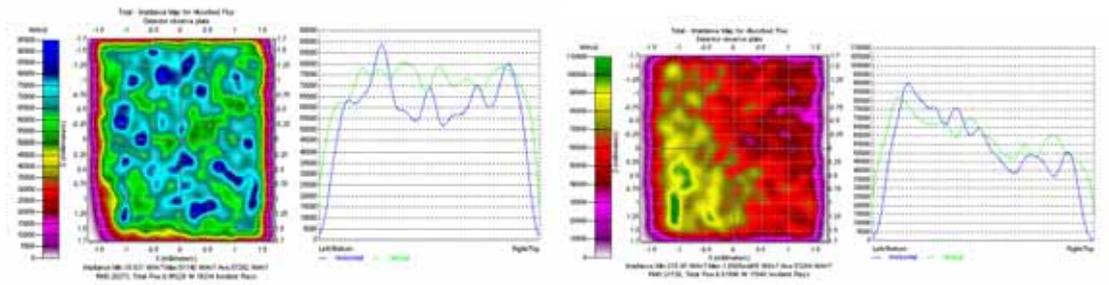
$r'$ (單位:公分) 測量點之光照度	0.002	0.00166	0.00142	0.00133	0.00125	0.0011
光均勻度	43.43%	21.14%	20.39%	17.93%	16.96%	12.26%
光使用效率	69.75%	61.9%	61.6%	59.3%	57.8%	54.1%

$r'$ (單位:公分) 測量點之光照度	0.001	0.0009	0.0008	0.0007	0.0006
光均勻度	13.78%	18.85%	19.15%	21.03%	21.16%
光使用效率	52.1%	49.4%	66.2%	43.5%	61.9%

表 3.4：擴散點等距  $d=0.05$  公分，但不同擴散點半徑大小下之模擬結果

由上[表 3.4]的結果我們發現，在最小之擴散點半徑  $r'$  為 0.00125 公分至 0.001 公分之間導光板上有較佳的光均勻度，而在此範圍外隨著擴散點半徑變大或是變小光則均勻度會均逐漸變差。此結果為可預期的，若近光源的擴散點太小，則光不易被破壞全反射而傳導至遠光源處才能出射導光板，造成遠光源處出射光的較多；若近光源處的擴散點太大，則光大部分會在近光源處就被破壞全反射而出射導光板，造成遠光源處出射光較少。[圖 3.23]為上述模擬數據中其中兩組之 Illuminance map；[圖 3.23(a)]為最小之擴散點半徑  $r' = 0.0008$  公分時之結果，[圖 3.23(b)]為最小擴散點半徑  $r' = 0.0142$  公分時之結果，而由此兩圖之比較我們可以很清楚的驗證上述論點。

由上[表 3.4]模擬結果我們知道，在  $r' = 0.0125$  公分至 0.001 公分之間的光使用效率並不佳，但在光均勻度與光使用效率上來做取捨，我們仍以光均勻度為第一考量；而光的使用效率我們可在最後優化完後所得到的許多組解中選擇光效率較高者為最後之解。接下來我們可在  $r' = 0.0125$  公分至 0.001 公分之間再縮小範圍，取出具有使導光板能有光均勻度更好的  $r$  值[表 3.5]。



(a)

(b)

圖 3.23：兩種不同擴散點大小之 Illuminance map 比較 (a) $r' = 0.0008$  公分  
(b) $r' = 0.0142$  公分。

$r'$ (單位:公分)	0.0125	0.00108	0.0011	0.00114	0.00105	0.001
測量點之光照度						
光均勻度	16.96%	16.70%	12.26%	14.49%	16.73%	13.78%
光使用效率	57.8%	72.6%	54.1%	55.3%	72.0%	52.1%

表 3.5： $r'$  在 0.0125 公分至 0.001 公分之間導光板之光均勻度

由[表 3.4]及[表 3.5]的結果中，在  $r' = 0.0011$  公分，時導光板會有最佳的均勻度，因此我們以  $r' = 0.0011$  公分為基準來做第二部分的優化-改變擴散點與擴散點之間的距離。

在第二部分優化中，我們要把擴散點之在徑向方向上之間距  $d$  作改變，假設  $d_2 - d_1 = d_3 - d_2 = d_4 - d_3 = \dots = D$ ，其中  $d_1 = 0.05$  公分[圖 3.24]。我們將對  $D$  在不同值時之導光板以 100000 光線做光機模擬，結果如[表 3.6]。

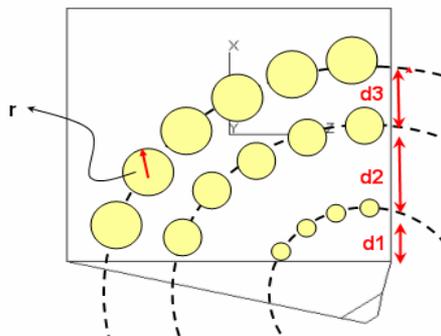


圖 3.24：擴散點之間距變化示意

D (單位:公分)	0.00025	0.0005	0.001	0.0015	0.002	0.0025
光均勻度	15.31%	10.36%	16.82%	19.45%	15.59%	8.46%
光使用效率	54.4%	54.8%	54.5%	55.9%	75.1%	75.2%

D (單位:公分)	0.003	0.0035	0.004
光均勻度	13.517%	16.03%	19.32%
光使用效率	75.1%	56.9%	55.6%

表 3.6：D 為不同值下導光板之光均勻度

由[表 3.6]中的模擬結果來看，在 D=0.0025 公分、0.0005 公分、0.002 公分、0.0025 公分、0.003 公分時光均勻度均有不錯的效果。而其中以 D=0.0025 公分時有最佳的光均勻度 8.46%，且光源使用效率亦高達 75.2%，皆遠高於目前業界所規定的標準，而此情況模擬結果之 Illuminance map 見[圖 3.25]。因此在最小之擴散點半徑  $r' = 0.0011$  公分，且半徑依序以 0.001 公分增加；徑向方向之擴散點最小間距  $d = 0.005$  公分，且間距依序以  $D = 0.0025$  公分成等差級數減少的情況下，導光板之光均勻度及光使用效率會有最佳的表現。

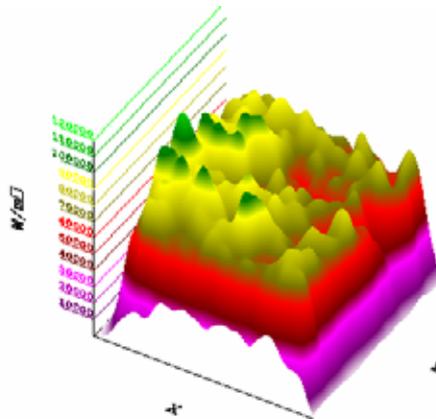


圖 3.25：最佳導光板設計下之 Illuminance map

我們以以上的模擬方式及結果，驗證了本章第二節中我們對導光板設計所建

構的最佳化方式之可行性。我們必須了解，以上所求出之解並非唯一的，僅為此種形式導光板之眾多可行解之一。在前面章節已說明過，擴散點的尺寸數量級根據精密加工技術的發展，最小可至  $\mu\text{m}$  等級，因此導光板上的擴散點數目可能更加的龐大，相對的電腦所須負擔的計算量亦越大，所花時間也會成倍數成長，故在此便不再繼續對尺寸更小的擴散點做設計及優化。



### 3-4 Panasonic GD93 手機之導光板之實驗量測與模擬結果比較

在上一節中，我們已對此導光板做了模擬以及優化，接下來我們將對此導光板樣本做實驗量測以得知在實際應用上此導光板之效率為何。我們的量測方式為以一 CCD 擷取導光板在通入光時之影像，利用 Matlab 分析影像上每一點的 RGB 值且利用(3.2)式以求得各點之相對亮度，進而求得此導光板之均勻度，以下將簡單的解說其原理[18]。

我們知道任何色彩可以以紅綠藍三原色(即我們常稱的 RGB 三原色)混色而成，而在色彩學上此作為混色基礎的三個特定色刺激稱為原刺激(reference color stimuli)，而表達原刺激相對強度的白色刺激，我們稱為基礎刺激。國際照明委員會(Commission Internationale de l'Eclairage，簡稱 CIE)在西元 1931 年所定義的原刺激和基礎刺激如下：

(1)原刺激[R]、[G]、[B]為  $\lambda_R = 700nm$ ， $\lambda_G = 546.1nm$ ， $\lambda_B = 435.8nm$  的單色光。

(2)基礎刺激是以等能量光譜的白色刺激為基準。這時的原刺激[R]、[G]、[B]

若以測光量單位 1.00000 : 4.5907 : 0.0601 的比例混色，將和白色刺激產生等色。

依據以上的規定形成的表色系統稱為 RGB 色度系統，在[圖 3.26]中所示的是 CIE 所制定的配色函數，它們可以視為正常視覺者的配色函數平均值。而我們由圖中可看到，此配色函數帶有負值，在過去無法用電腦計算三刺激值的年代，負值的存在會使計算變的相當繁雜。

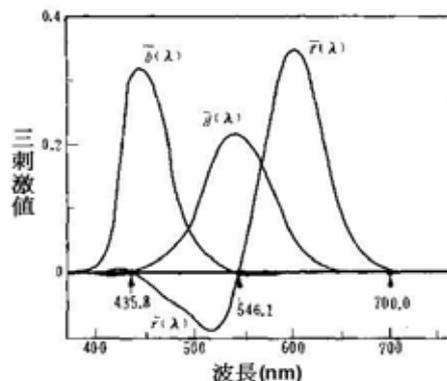


圖 3.26：RGB 表色系統的配色函數

為了簡化對於三刺激值的計算，因此在西元 1931 年，CIE 除了發表 RGB 表色系統外，另外制定了配色函數皆為正值的 XYZ 表色系統，XYZ 表色系統亦稱為 CIE 1931 表色系統(CIE 1931 standard colorimetric system)。而 RGB 值與 XYZ 值之間有以下的關係式：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

若將上式展開後，我們可求得 Y 值：

$$Y = 1.0000[R] + 4.5907[G] + 0.0601[B] \quad (3.2)$$

而由上述基礎刺激的定義可知，由於基礎刺激表達的是與原刺激的相對強度，且 [R]、[G]、[B] 若以測光量單位 1.0000 : 4.5907 : 0.0601 的比例混色，將混出白色刺激。因此不同的 [R]、[G]、[B] 值可代入(3.2)式以得到不同相對強度之白色刺激，故 Y 值可表示不同測量點之相對光強度。

由[圖 3.27]中可見，此背光模組的光源置於左下方，對於未加導光板[圖 3.27(a)]以及加上導光板[圖 3.27(b)]時兩者的差異極大。在未加導光板時，背光模組很明顯的僅在左下方處有光；在加上導光板時，光便能均勻出射整個螢幕。

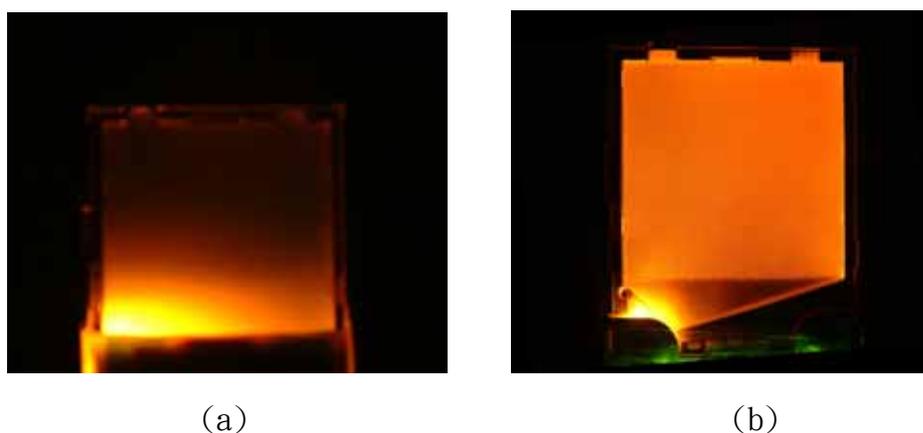


圖 3.27：未加導光板及加上導光板時光均勻分佈性比較

接下來我們將對此背光模組加上導光板後之均勻度以 Matlab 做分析。為了避免光源漏光對於量測精確性的影響，我們將光源與螢幕區域之間的導光板三角形部

分以一反射面擋住[圖 3.28]；此外，為了增加量測正確性，我們總共取了 6 組影像計算其個別的光均勻度並計算其平均值[表 3.7]。



圖 3.28：導光板均勻度所量側的範圍

照度 量測組別 (單位：w/m <sup>2</sup> )	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
P1	129	129	130	131	129	128
P2	137	135	135	137	137	136
P3	137	138	137	137	138	137
P4	136	136	135	135	136	137
P5	132	131	130	133	133	132
P6	125	122	125	125	125	123
P7	139	139	138	137	139	139
P8	115	115	114	117	115	117
P9	112	110	112	112	111	112
標準差	9.3505	9.8432	9.1057	8.7939	9.6928	9.1652
均勻度	7.24%	7.67%	7.09%	6.80%	7.50%	7.10%
平均均勻度	7.23%					

表 3.7：導光板均勻度量測數據

根據我們實驗的量側結果，得知此導光板實際之光均勻度約為 7.23%；而根

據我們上一節中以模擬方式求出導光板之最佳光均勻度為 8.46%，我們發現模擬結果略高於實際結果，但差距極小，此原因為可解釋的。根據以目測方式粗略估計此導光板上之擴散點數目至少有一萬點以上，然而在我們的模擬所能做到的極限僅兩千多點。因此，實際與模擬情況下擴散點數量的差距大為造成模擬與實驗結果有些微誤差的最主要原因。此外，對於導光板及反射片的材質特性、背光模組之構成，我們並沒有足夠的資訊，此亦為造成模擬與實際上有誤差的原因，但影響層面有限。



## 第四章 總結

### 4-1 工作回顧

在本論文的第二章中，我們先對楔形導光板在二維方向上之光跡以及導光板出光面上的光能量做了詳細的數學推導及分析，並驗證了楔形導光板對於導光板光照度均勻分佈的可行性；接著，我們亦對導光板中擴散點設計有所更深刻的了解。擴散點的設計基本上應遵循在近光源處尺寸較小，而遠光源處尺寸較大的設計；其排列方式應以交叉式的排列，且在光傳遞方向上之擴散點間距隨著遠離光源而越小。除了以楔形設計以及佈擴散點方式達到導光板光照度均勻需求的方式外，亦有加入上微結構設計或是取各種不同之導光板設計之優點集於一種的方式。

在第三章中，我們對兩種專利上之導光板做了模擬以及分析，使我們對導光板的設計能有更深一步的了解。我們亦以第二章導光板設計的概念為基礎，建構了一套導光板設計的最佳化方法，並從對 Panasonic GD93 手機之導光板為樣本做擴散點的佈點設計中，驗證了此最佳化方法的可行性。我們亦對此樣本做實驗量測以了解其實際上之光均勻度分佈，將模擬結果與量測結果比較雖然有些許的誤差，但尚再容許範圍之內，而造成此誤差的原因皆為可解釋及理解的。

## 4-2 未來側光式導光板設計發展之延續性

在目前業界中，關於側光式導光板的應用幾乎只限於小尺寸的 LCD 如手機、PDA 上；而中尺寸方面的應用僅限於筆記型電腦的 LCD 上。對於我們一般使用的手機或 PDA 而言，其螢幕上所表現出之光均勻度以我們人眼視覺來說，並沒有很明顯的差覺其光照度有不均勻分佈；但是以筆記型電腦來說，我們即可很明顯的發現其光均勻度是不佳的。這是因為以目前而言，並沒有一套很完美的導光板設計方式，尤其是對於擴散點的佈點之理論更付之闕如。然而在未來 LCD 的發展中，當畫質以達到一定的水準之後，接下來便是要在輕量化，以及節省電力方面上有更大的突破，如此一來側光式導光板的設計將扮演十分重要的角色。我們在第二章中已對楔形導光板在二維方向上的光能量分佈做了詳細數學推導及分析；在未來的工作中，我們可將其衍伸至三維方向，即對於整個導光板計算其光線路徑以及在導光板出光面上之光能量分佈，甚至能更進一步計算出背光光源最適合之選用類型以及其配置位置。我們並可以楔形導光板之理論分析為基礎，推導出對於導光板底部擴散點之最佳大小以及排列分佈。因此，此工作尚有許多可延續發展之研究需要人們的努力，使的未來側光式導光板的設計技術能更加的成熟，並期許此側光式導光板有朝一日能應用於中大尺寸的 LCD 上。

## 參考文獻

- [1] 林來誠，液晶顯示器背光技術動向，民國 86 年
- [2] 包友南，LCD 背光模組之現況與未來，民國 92 年
- [3~5] 李柏聰，TFT-LCD 製程與技術上課講義，交通大學光電所，民國 93 年
- [6] 方育斌，LCD 背光模組之光學最佳化設計，成功大學工程科學系碩士論文，民國 93 年
- [7~8] 卓聖鵬，彩色液晶顯示器，全華科技圖書股份有限公司
- [9] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, (Cambridge), 1999, CH4.
- [10] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, (Cambridge), P918~920, 1999.
- [11] Tracepro User's Manual, "Creating a Solid Model," 2002.
- [12] S. M. Jeon, "Backlight device for liquid crystal display devices," U.S. Patent #6729737, 2004.
- [13] C. Y. Wang, "Backlight module structure," U.S. Patent #6752507, 2004.
- [14] T. Sasagawa, "Backlight for liquid crystal display device," U.S. Patent #6454452, 2002.
- [15] Flat Panel Display Measurements Standard, "Uniformity," 1998.
- [16] 美國專利查詢網站：<http://www.uspto.gov/patft/index.html>
- [17] E. Fukiharu, "Reflection illumination device for object to be illuminated," U.S. Patent #6435687, 2002.
- [18] 大田 登，基礎色彩再現工程，全華科技圖書股份有限公司，2004 年 8 月

## 附錄 A 美國專利 US 6, 454, 452 導光板擴散點佈點程式碼

;;標題：美國專利 US 6, 454, 452 導光板擴散點佈點程式碼

;;作者：李清祥

;;時間：5/24/2005

;;工作版本：Tracepro 3.02 版

;;參數說明：PI 為圓周率；b、c、d、e、f 為物件 entity 之參數；a 為楔形擴散點寬度參數

(define macro

(lambda()

(define PI 3.14159)

(define b)

(define c)

(define d)

(define e)

(define f)

(do

((a 0.01 (+ a 0.01)))

((= a 0.05))

(set! b (inexact->exact (- (\* 6 (\* a 100)) (- (\* a 100) 1))))

(set! c (inexact->exact (+ (- (\* 6 (\* a 100)) (- (\* a 100) 1)) 1)))

(set! d (inexact->exact (+ (- (\* 6 (\* a 100)) (- (\* a 100) 1)) 2)))

(set! e (inexact->exact (+ (- (\* 6 (\* a 100)) (- (\* a 100) 1)) 3)))

(set! f (inexact->exact (+ (- (\* 6 (\* a 100)) (- (\* a 100) 1)) 4)))

(insert:block (+ 0.1 (\* a 10)) (+ a 1) (+ a (/ a (tan (/ (\* 85 PI) 180)))))

(entity:move (list (entity b)) 0 (+ (- 0.3) (/ (+ a 1) 2)) (+ (- 16) (\* 0.2 (\* a 100)) (\* (- (\* a 100) 1) (+ a (/ a (tan (/ (\* 85 PI) 180))))) (/ (+ a (/ a (tan (/ (\* 85 PI) 180))))) 2)))

(insert:block (+ 0.1 (\* a 10)) (+ a 4) 2)

(entity:move (list (entity c)) 0 (+ (- 0.3) (/ (+ a 4) 2)) (+ (- 16) (\* 0.2 (\* a 100)) (\* (- (\* a 100) 1) (+ a (/ a (tan (/ (\* 85 PI) 180))))) (+ a (/ a (tan (/ (\* 85 PI) 180))))) 1))

(entity:rotate (entity c) 0 -0.3 (+ (- 16) (\* 0.2 (\* a 100)) (\* (- (\* a 100) 1) (+ a (/ a (tan (/ (\* 85 PI) 180))))) (+ a (/ a (tan (/ (\* 85 PI) 180))))) 1 0 0 -5)

(insert:block (+ 0.1 (\* a 10)) (+ a 4) 2)

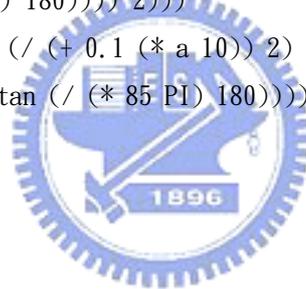
(entity:move (list (entity d)) 0 (+ (- 0.3) (/ (+ a 4) 2)) (- (+ (- 16) (\* 0.2 (\* a 100)) (\* (- (\* a 100) 1) (+ a (/ a (tan (/ (\* 85 PI) 180))))) 1))

(entity:rotate (entity d) 0 -0.3 (+ (- 16) (\* 0.2 (\* a 100)) (\* (- (\* a 100) 1)

```

(+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))))) 1 0 0 45)
  (bool:subtract
    (entity b)
    (entity c)
    (entity d)
  )
  (insert:block 1 (+ a 4) 2)
  (entity:move (list (entity e)) (- (- (/ (+ 0.1 (* a 10)) 2)) 0.5) (+ (- 0.3) (/ (+ a 4) 2)) (+ (- 16) (* 0.2 (* a 100)) (* (- (* a 100) 1) (+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))))) (/ (+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))) 2)))
  (entity:rotate (entity e) (- (/ (+ 0.1 (* a 10)) 2)) -0.3 (+ (- 16) (* 0.2 (* a 100)) (* (- (* a 100) 1) (+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))))) (/ (+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))) 2)) 0 0 1 -45)
  (insert:block 1 (+ a 4) 2)
  (entity:move (list (entity f)) (+ (/ (+ 0.1 (* a 10)) 2) 0.5) (+ (- 0.3) (/ (+ a 4) 2)) (+ (- 16) (* 0.2 (* a 100)) (* (- (* a 100) 1) (+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))))) (/ (+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))) 2)))
  (entity:rotate (entity f) (/ (+ 0.1 (* a 10)) 2) -0.3 (+ (- 16) (* 0.2 (* a 100)) (* (- (* a 100) 1) (+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))))) (/ (+ a (/ a (tan (/ (* 85 PI) 180)))) 2)) 0 0 1 45)
  (bool:subtract
    (entity b)
    (entity e)
    (entity f) ))))

```



## 附錄 B Panasonic GD93 導光板樣本之擴散點佈點程式碼 I

;;標題：美國專利 US 6, 454, 452 導光板擴散點佈點程式碼

;;作者：李清祥

;;時間：4/29/2005

;;工作版本：Tracepro 3.02 版

;;參數說明：d 為擴散點間距；angle 為擴散點在圓周上每格 angle 角度佈一點  
(/ i 1000)為最小擴散點半徑 r'

(define macro

(lambda(d angle)

(sheet:face (face:planar-disk

(position -2.13 -0.05 1.435) (gvector 0 1 0)4.83) )

(do

((i 1(+ i 1)))

((= i 40))

(if (<= (+ 0.58 (+ (\* (- (\* 2 i) 1) (/ i 1000)) (\* i d) (/ i 1000))) 4.83)

(do

((j 35(+ j 1)))

((= j 85))

(define PI 3.14159265358979323846)

(define zPos

(+ 1.435 (\* (+ 0.50 (+ (\* (- (\* 2 i) 1) (/ i 1000)) (\* i d))) (cos (\* j (\* (/ angle 180) PI))))))

)

(define xPos

(+ (- 2.13) (\* (+ 0.50 (+ (\* (- (\* 2 i) 1) (/ i 1000)) (\* i d))) (sin (\* j (\* (/ angle 180) PI))))))

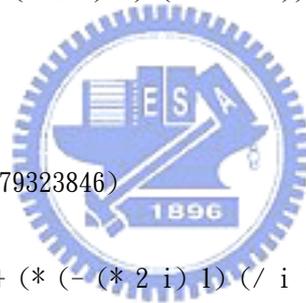
)

(define sphere

(insert:sphere (/ i 1000)))

(entity:move sphere xPos -0.05 zPos)

))))



## 附錄 C Panasonic GD93 導光板樣本之擴散點佈點程式碼 II

;;標題：美國專利 US 6, 454, 452 導光板擴散點佈點程式碼

;;作者：李清祥

;;時間：4/30/2005

;;工作版本：Tracepro 3.02 版

;;參數說明：d1 為擴散點間距起始值；d2 為擴散點間距減少值；angle 為擴散點在圓周上每隔 angle 角度佈一點

```
(define macro
(lambda(d1 d2 angle)
(sheet:face (face:planar-disk
(position -2.13 -0.05 1.435) (gvector 0 1 0)5) )
(define PI 3.14159265358979323846)
(do
((m 35(+ m 1)))
((= m 85))
(define zPos1
(+ 1.435 (* (+ 0.50 (+ (* (- (* 2 1) 1) (/ 1 900)) (* 1 d1)) ) (cos (* m (* (/
angle 180) PI))))))
(define xPos1
(+ (- 2.13) (* (+ 0.50 (+ (* (- (* 2 1) 1) (/ 1 900)) (* 1 d1)) ) (sin (* m (*
(/ angle 180) PI))))))
(define spherel
(insert:sphere (/ 1 900)))
(entity:move spherel xPos1 -0.05 zPos1))
(do
((i 2(+ i 1)))
((= i 50))
(define k (- (* 2 (- i 1) 1))
(if (<= (+ 0.58 (- (+ (* (- (* 2 i) 1) (/ i 900)) (* i d1) (/ i 900)) (* k d2))) 5)
(do
((j 35(+ j 1)))
((= j 85))
(define zPos
(+ 1.435 (* (+ 0.50 (- (+ (* (- (* 2 i) 1) (/ i 900)) (* i d1)) (* k d2))) (cos
(* j (* (/ angle 180) PI))))))
(define xPos
```

```
(+ (- 2.13) (* (+ 0.50 (- (+ (* (- (* 2 i) 1) (/ i 900)) (* i d1)) (* k d2)))  
(sin (* j (* (/ angle 180) PI))))))  
  (define sphere  
    (insert:sphere (/ i 900)))  
    (entity:move sphere xPos -0.05 zPos))))))
```



## 作者簡歷

本論文作者：李清祥(Ching-Shiang Li)



台灣省台北市人。畢業於師大附中。2003 年取得交通大學電子物理系學士學位。  
2005 年於交通大學光電所取得碩士學位。



研究專長為光學設計。

會議論文：

Ching-Shiang Li, Jyh-Long Chern, “Analysis of the backlight panels in small-size LCDs with single SMD LED,” Proceeding of OPT(Optics and Photonics Taiwan), 2004.