

配合矽基非等向蝕刻之幾何特性進行導光板特徵分佈的模糊最佳化

余志成* 徐珮凱 黃世仁 盧燕祥

國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系

摘要

本文利用 SOI 矽基板並結合矽基非等向性蝕刻的製程，成功地製作出高精度的梯形長溝狀微特徵結構，其角度可為 70.5° 及 109.5° ，再利用此微結構來進行導光板反射面特徵分佈的最佳化設計。本研究採用光學模擬軟體 Trace-Pro 進行模擬分析，並提出利用 Fuzzy 理論來進行微特徵分佈的最佳化，也就是經常看到太亮及太暗的結果進行微特徵間距疏與密的調配，使整體的平均亮度(AVE)提高以及均方根(RMS)降低的優點，而本文發現利用等間距分佈及線性分佈均無法有效的降低 RMS，若採用 Fuzzy 來分佈即可使得原本的 AVE 為 11512 lux 提升到 11601 lux，而 RMS 也從 4960.1 下降到 4687，証實了有效提升 AVE 及降低 RMS 的效果。

關鍵字：矽基非等向性蝕刻，導光板，Fuzzy 理論

1. 前言

在液晶顯示器中，背光模組為其重要的關鍵零組件之一，主要為負責 LCD 顯示器中的光源射出之功能，由稜鏡片、導光板、光源(包括冷陰極管、發光二極體等)、擴散膜、反射膜及外框架等零件組裝而成，如圖 1 所示，其中又以稜鏡片與導光板為技術與成本之關鍵所在。以因如此，國內 LCD 面板廠商為了降低生產成本與鞏固競爭優勢，無不積極投入背光模組的研發。

然而如何設計出高輝度與高均齊度的背光模組，往往是大家所發展的方向，也由於光學分析軟體的推廣，漸漸的已導入導光板的光學設計上，而國內已有相當多關於研究特徵的形狀與分佈對導光板光學特性的影響，並結合最佳化方式，改善導光板的輝度與均齊性。有的學者即是利用擴散點大小變化及控

制擴散點的間距密度，對於光均勻性之特性作分析，進行最佳化之設計[1]，或是在導光板底下佈上擴散點，改變擴散點大小密度，分為兩種方式擴散點疏密不一、大小固定及大小不一、疏密固定的圓凸點做分析研究[2]。當然也有使用田口最佳化的方式[3][5]及數值模擬的方式[10][4]來改善導光板的輝度與均齊性。但其改善的方法卻非常的複雜，本研究即利用生活上常使用並簡單的 Fuzzy 理論，且適用性高，舉凡在洗衣機、冷氣等均有所在使用，並配合梯形長溝狀的微結構來進行導光板最佳化的設計。

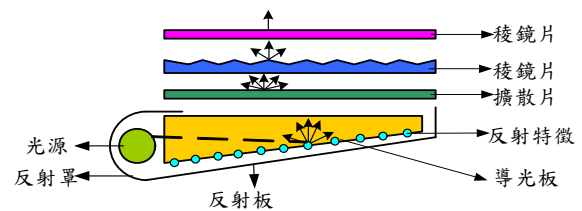


圖 1 背光模組示意圖

2. 矽基非等向蝕刻配合蝕刻深度終止層的製作

矽基非等向性濕蝕刻因其加工成本低，因此被廣泛作為微系統的結構製作[1]。常用的蝕刻液有 EDP, TMAH, KOH 等，由於在不同晶格方向的蝕刻速率差異很大，因此其基本形狀由蝕刻速度最慢的 [111] 面所定義，在 {100} 晶圓上蝕刻的斜面角度為 70.5° ，而 {110} 晶圓上蝕刻的斜面角度為 109.5° (圖 2)，蝕刻形狀在 [111] 面自然停止，因此可蝕刻出 V 形溝槽，如圖 3 (a) 所示，由於蝕刻表面為晶格面，而特徵大小由微影的精度決定，一般可達 $\sim \mu\text{m}$ ，且角度非常準確，表面粗糙度也可達到奈米等級。但其蝕刻深度受開口寬度影響，不同寬度之開口會造成特徵高低不一的情形，若單純以時間控制蝕刻深度，在完成 V 形特徵前停止蝕刻，因影響蝕刻速率均勻性十分複雜，不易控制不同位置之特徵蝕刻深度，因此本研究將採用蝕刻深度終止層的設計來控制導光板微結構的高度，如此

*聯絡作者: jcyu@ccms.nkfust.edu.tw

即可製作出高重複性與高精度的梯形長溝[7]，如圖 3 (b)所示，而特徵尺寸由微影的精度決定，且角度非常準確，表面粗糙度也可達到奈米等級。

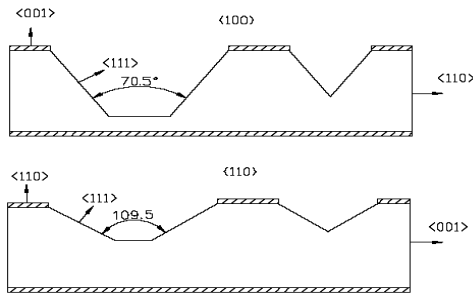


圖 2 {100}及{110}晶圓非等向濕蝕刻面角度關係

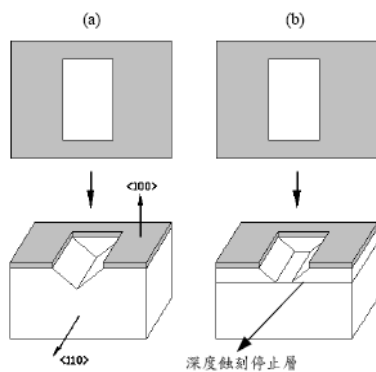


圖 3 {100}及{110}晶圓配合蝕刻深度終止層的形狀

3. 導光板設計與分析

由於本研究之微結構是以矽晶圓化學溼蝕刻所造成，因此特徵的角度由晶格結構所決定，在{100}晶圓上蝕刻的V形槽角度為70.5°，而{110}晶圓上蝕刻的V形槽角度為109.5°，但平行溝槽的寬度與分佈密度則可由光罩自由定義，因此需配合矽基蝕刻特性，進行導光板的設計。本研究採用 Trace-Pro 軟體進行光學模擬，分析溝槽寬度與間距變化，對導光板亮度與均勻度的影響，探討可行的分佈設計，以便進行導光板設計的最佳化。

3.1 導光板模組建置

本研究採用平板式及楔形式的邊光式背光模組。利用Trace-Pro光學模擬軟體建立其模組，包含有導光板、冷陰極燈管、觀察片、燈罩、反射片等所組成，如圖 4所示，光源定義為 32.6lm和 10000rays光線數。

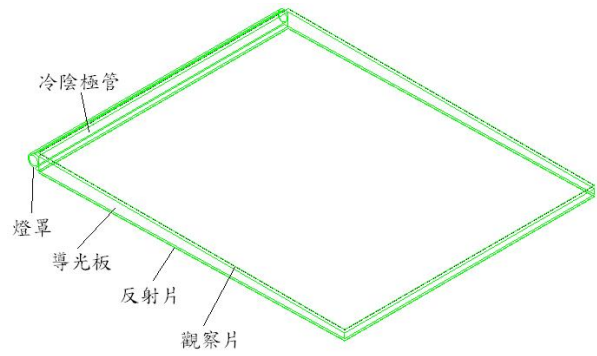


圖 4 導光板模組示意圖

3.2 微特徵尺寸對亮度的影響

一般而言，在無間距之微特徵時，光線不容易散開，且靠近燈管附近之光強度較強，所以將微特徵於導光板上做適當的分佈，然後以出光的均勻性及亮度來了解特徵形狀的影響性。

首先利用平板，將梯形長溝為 109.5°及 70.5°的微特徵於導光板上分佈，採用無間距，針對其溝槽大小變化作設計，進行光學分析，結果發現 109.5°之梯形溝槽有較好的亮度所以以 109.5°作為實驗的角度依據，而由分析結果得知，當溝槽越大時，平均亮度(AVE)值會降低，因為導光板內微特徵的總斜面數減少，使得總反射面數跟著減少，而降低出光量，所梯形長溝槽口較小有助於亮度的提升，如圖 5所示。

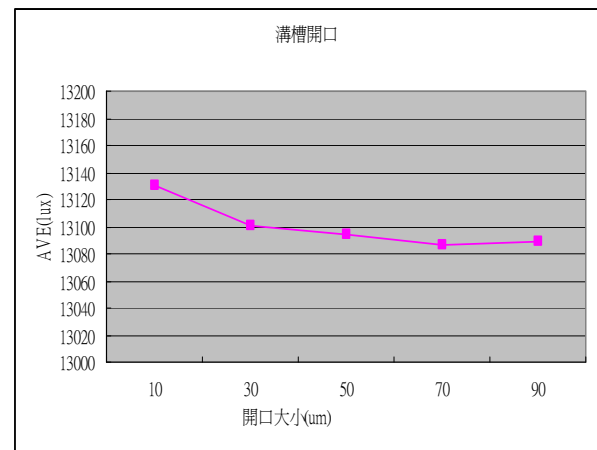


圖 5 梯形長溝槽口大小與 AVE 關係圖

由於採用無間距分佈(均佈)方式，所以照度的均方根值(RMS)較差，因此從分析結果中選取有較好 AVE 值的 V 形溝槽，大小為 10μm，作為研究尺寸，但因為模具射出成型的關係，無法有效的使 V 形溝槽尖端呈現，因此採截頂後的梯形溝槽如圖 6 所示，其

射出時尖端的最小允許量為 2μm。

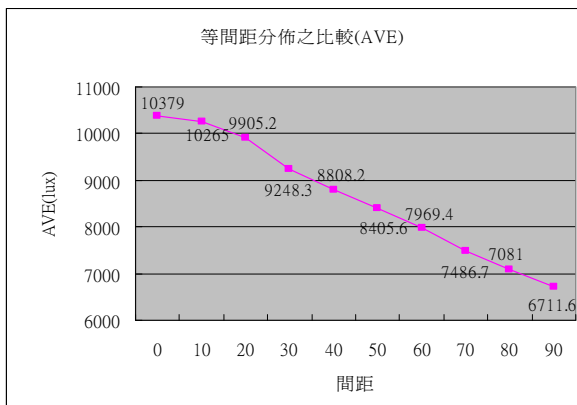
圖 6 微特徵間距分佈示意圖

3.3 微特徵間距對均勻度的影響

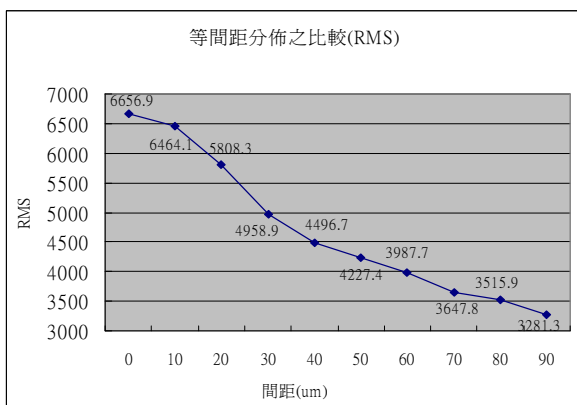
以梯形長溝之微特徵，進行等間距、一次線性分佈和模糊理論所產生之間距分佈的光學分析，分析出當不同微特徵形狀以及不同分佈方式時，對 AVE 值與 RMS 值的影響。

3.3.1 等間距分佈方式

採用各個不同的等間距設計，亦即每個微特徵之間的距離都是相同的，進行光學分析，實驗模擬結果後之數據如圖 7，可以發現，當間距較小的時候，平均亮度 AVE 會較高，但因為光線較量的部份會集中在靠近燈管處，因此 RMS 也會較高，隨著等間距之距離增加，光則會漸漸的往離燈管較遠的地方傳遞，使得 RMS 降低，不過相對的平均亮度 AVE 也因此下降了，由此可知等間距分佈是無法找出較好的設計。



(a)

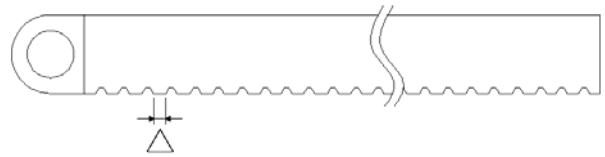


(b)

圖 7 微特徵等間距(a)AVE、(b)RMS 關係圖

3.3.2 線性分佈方式

等間距(Δ)分佈



分析等間距分佈時發現當微特徵在採用等間距分佈很小的時候，越靠近燈管的光線會較強、平均亮度較高且照度的均方根值很差，但是當等間距變大時，光線強度又會下降、平均亮度減少，因此改採線性分佈的方式，使光線和分布能夠更加均勻，其線性分佈的情形為越靠近燈管的間距量會較大，而離燈管越遠的話間距量則漸漸的減少，設計如圖 8，這是因為既然靠近燈管的光會較強那就將間距量提高使光線能夠傳到後面，而離燈管遠的地方較密則可以使光集。其線性關係如圖 9 所示，c 為間距變化量，a 為初始值，S 是表示每一段的寬。

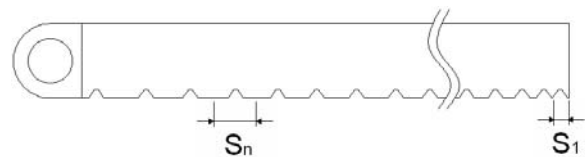


圖 8 一次線性分佈示意圖

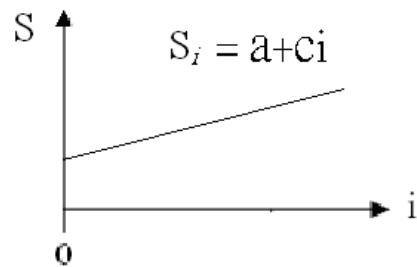


圖 9 線性關係圖

在此使用試誤法，改變線性方程式的 a 與 c 值，a 值範圍 0.02~0.04，c 值範圍 0.00001~0.00005，結果發現約在方程式為 $S = 0.02 + 0.00003i$ 時其均方根值 (RMS) 跟平均亮度 (lux) 會較好，但是跟等間距比起來，效果卻沒大幅改善的跡象，雖然 AVE 提升了 (8405=>10696 lux)，但是 RMS 卻沒下降 (4227=>5057.8)，如圖 10 所示，並沒達到當初訂定的目標，所以需再使用不同的方法來進行微結構分析。

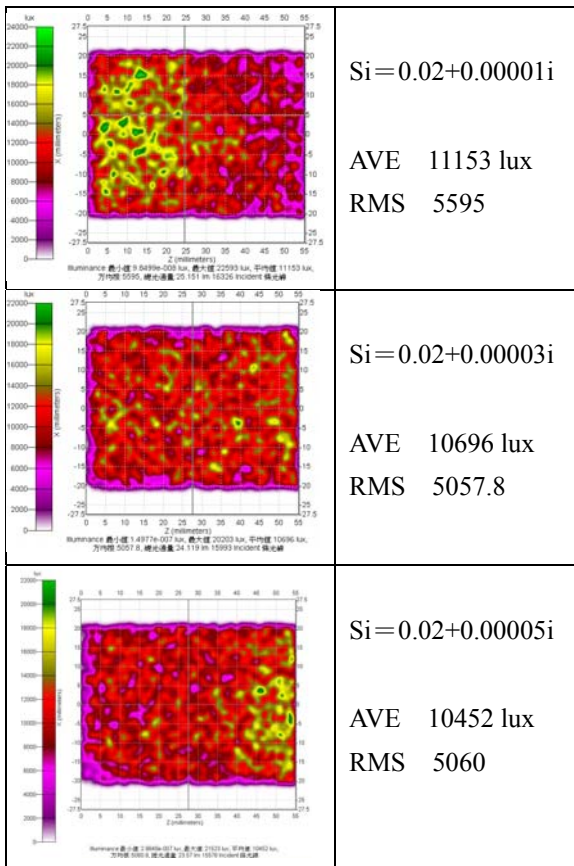


圖 10 一次線性之光線分析結果

3.4 運用 Fuzzy 理論進行分佈的最佳化

模糊理論是以模糊集合為基礎，其基本精神是接受模糊性現象存在的事實，而以處理概念模糊不確定的事物為其研究目標，並積極地將其嚴密量化成電腦可以處理的訊息。模糊理論的應用較偏重於人類經驗及對問題特性的掌握程度，不主張用繁雜的數學分析及模型來解決問題[8]。利用模糊理論所沿生的模糊控制原理，大致可分為四個部份-模糊化介面、知識資料庫、推理引擎以及解模糊化介面[9]，其關係如圖 11。

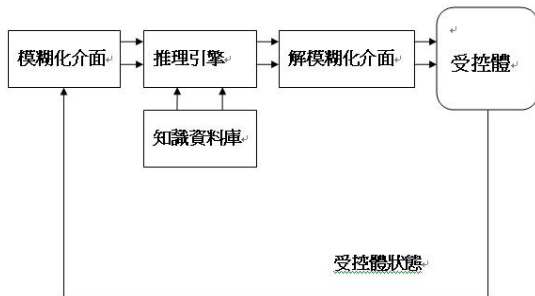
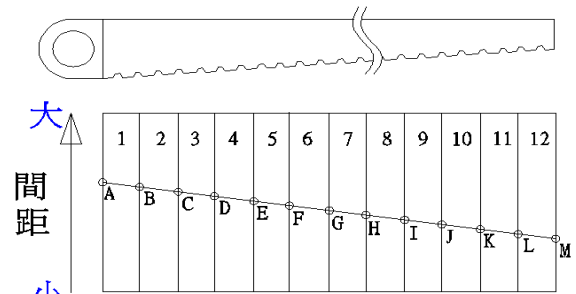


圖 11 模糊控制器的基本結構

本研究將導光板等分成 13 個點 12 塊區域如圖 12，以每個點為控制點，再利用控制點之左右區域的總和平均作為該點的平均亮度，如圖 12 中 A 點為第一塊區域的平均亮度，B 點為第(1+2)面的平均亮度，C 點為第(2+3)的平均亮度，依此類推。然後根據該點的平均亮度的跟總平均亮度的比較，如果較暗，就加大間距，如果較亮就縮短間距，結果就如圖 13 所示。



對照上圖的導光板位置等分成12塊區域
圖 12 導光板分成 13 個控制點 12 個區域

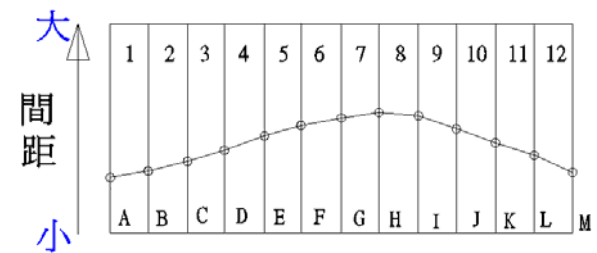


圖 13 經過模糊化的結果例子

3.4.1 模糊控制器的訂定

模糊控制一般均無固定的法則，如何調疏或調密不是經由專家的知識或經驗就是藉由自我學習的方式獲得，而一旦確定光的亮度和微特徵間距有直接的關係後，就可以建立模糊控制器裡的推理引擎。

首先進行”模糊建模”(Fuzzy Modeling)，利用模糊規則 If x is A THEN y is f(x) 建立五條規則如下：

- If 亮度[太亮] then[增大]間距
- If 亮度[稍亮] then[稍增]間距
- If 亮度[剛好] then[維持]間距
- If 亮度[稍暗] then[稍減]間距
- If 亮度[太暗] then[減少]間距

模糊規則定出後，就要對模糊詞進行量化，模糊詞包括[太亮]、[稍亮]、[剛好]、[稍暗]、[太暗]等形容詞。根據實驗而歸納出利用亮度比的歸屬函數如圖 14 所示。其中 \bar{R}_i 為單點附近的平均亮度， \bar{R} 為總平均亮度。

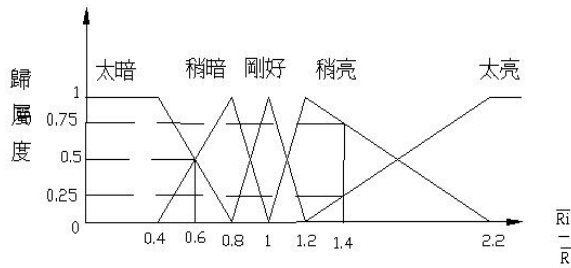


圖 14 輸入亮度比的歸屬函數

針對對[增大]、[稍增加]、[維持]、[稍減少]、[減少]也定義了改變間距倍率的歸屬函數，如圖 15 所示。

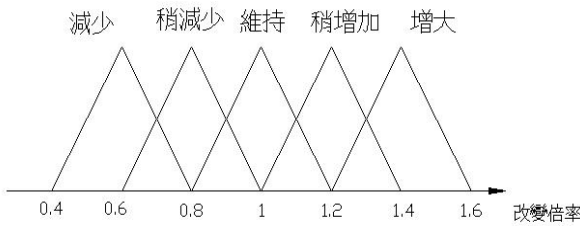
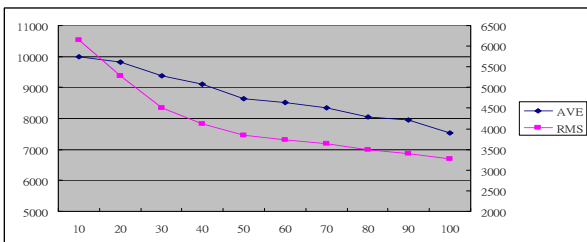


圖 15 輸出間距要改變的倍率之歸屬函數

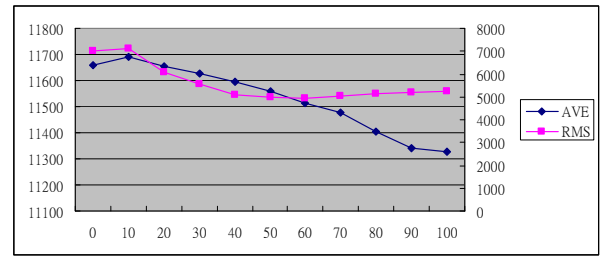
接下來就是要解模糊化，本研究運用了 Matlab 程式來輔助運算，每一次都將 13 個控制點帶入運算，算出新的間距之後，再輸入光學模擬軟體 Trace-Pro 裡面分析出新的平均亮度，如此反覆進行，以期能達到最佳化的設計。

3.4.2 Fuzzy 最佳化分析

鑑於一些小尺寸之面板如數位相機、PDA 等尺寸約為 2.5 吋，所以本研究在 Fuzzy 部分採用的模組是，長 56.1mm 寬 45.75mm 的楔形板模組。在此也分別針對平板式與楔形式的導光板進行模擬分析，分析此兩種方式的導光板各個等間距數值的差異性，而間距從 0 μ m 到 100 μ m 做分析，其實驗數據如圖 16 所示，可以看出，楔形式的導光板在平均亮度的呈現上較平板式的佳，因此在這裡使用楔形式的導光板做為本研究使用模糊理論分佈的模組。



(a)



(b)

圖 16 等間距分佈之 AVE 及 RMS 值(a)平板式(b)楔形式導光板

首先先採用等間距 60 μ m 作為基底，進行多次模糊化分佈，其實驗結果如圖 17 所示，而每一區塊區域的間距分佈情形如圖 18，可以發現模糊化分佈確實能將光線作有效的分佈，使得平均亮度提升及亮度均勻分佈如圖 21 所示。

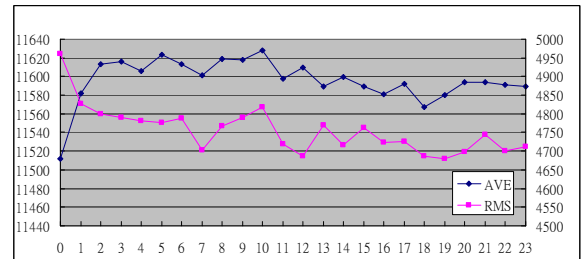


圖 17 模糊化之實驗數據

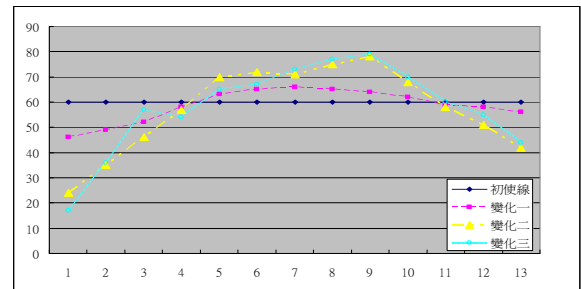
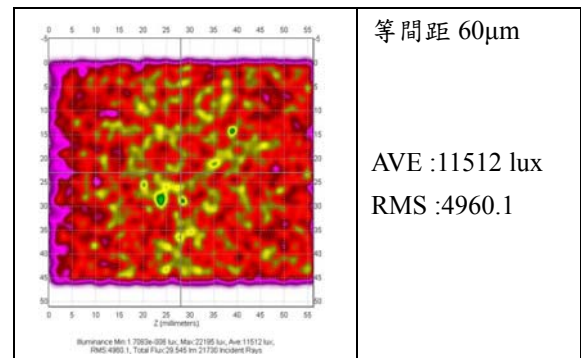


圖 18 從等間距分佈經過模糊化分析後之關係圖



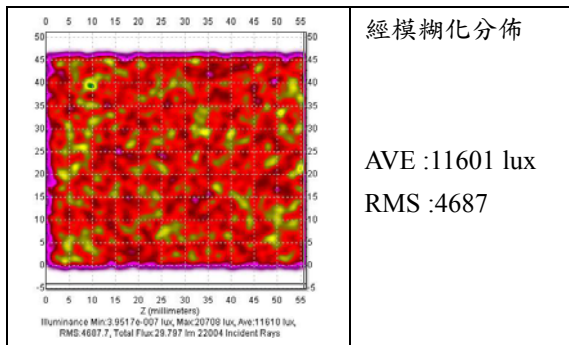


圖 19 等間距 60 μ m 與模糊化分佈後分析結果

4. 結論

本研究提出利用 SOI 矽基板並結合矽基非等向性蝕刻的製程，成功地製作出高精度的梯形長溝狀微特徵結構，並利用此微結構來進行導光板反射面特徵分佈的最佳化設計。而經由分析結果發現，在等間距分佈及線性分佈上均無法有效的降低整體的均勻度 (RMS)，不過經由這兩種分佈方式可以得知間距的大小對亮度及 RMS 的影響，因此利用此次結果再運用模糊化的分佈，使得原本的 AVE 為 11512 lux 提升到 11601 lux，而 RMS 也從 4960.1 降到 4687，實驗證明，模糊化分佈確實能將其平均亮度加以提升並且降低整體的 RMS。

參考文獻

- [1] 楊宗長，2005，液晶顯示器背光系統光學設計研究，清雲科技大學，碩士論文。
- [2] 李國志，2006，LED 應用於 LCD 背光模組之設計與模擬分析，長庚大學，碩士論文。
- [3] 林奕村，2005，利用田口方法進行背光模組之設計，國立臺灣科技大學，碩士論文。
- [4] 施至柔，1998，背光模組光學模擬技術，國立交通大學，碩士論文。
- [5] 李佩君，2007，導光板微結構分佈最佳化及模仁薄板取代製程之研究，國立高雄第一科技大學，碩士論文。
- [6] 何建龍、蕭志誠、余志成 (2002)，”高深寬比化學濕蝕刻凸形角落補償尺寸之探討”，中國機械工程學會第十九屆全國學術研討會，Nov. 29-30, 2002, 國立虎尾技術學院。
- [7] 余志成、李佩君，中華民國專利申請中，申請案

號：96100909。

- [8] 孫宗瀛、楊英魁，Fuzzy 控制：理論、實作與應用 (台北市：全華，民 83)。
- [9] 林信成、彭啟峰，Oh!Fuzzy 模糊理論剖析 (台北市：第三波，1994)。
- [10] Chang, J. G., Lin, C. Y., Hwang, C. C., & Yang, R. J., 2003, "Optical Design and Analysis of LCD Backlight Units Using ASAP," Optical Engineering Magazine, June.

Application of Using Anisotropic of Light Guide Plate Microstructure Design for Fuzzy Optimization

Jyh-Cheng Yu* , Pei-Kai Hsu ,
Shih-Jen Huang , Yen-Hsiang Lu
Department of Mechanical and Automation Engineering
National Kaohsiung First University of Science and
Technology

Abstract

This study used process of silicon-on insulator(SOI) and anisotropic wet etching, and succeed fabricated trapezoid groove by 70.5° and 109.5°. Applied the microstructure simulation by LGP for design of fuzzy optimization, and increased or decreased space of microstructure. The simulation reveal applied fuzzy method can be improvement average(AVE) and root mean square(RMS).

Keywords: Anisotropic Wet Etching, LGP, Fuzzy