

## 應用創新精微薄板取代製程於一體化導光板的設計

<sup>1</sup>張簡少棠、<sup>1</sup>陳宗男、<sup>2</sup>余志成

<sup>1</sup>國立高雄第一科技大學機械與自動化工程學系研究生

<sup>2</sup>國立高雄第一科技大學機械與自動化工程學系教授

經濟部學界科專計畫編號：97-EC-17-A-07-S1-108

國科會計畫編號：NSC97-2221-E-327 -011 -MY2

### 摘要

本文應用非等向性矽基濕式蝕刻，配合具有蝕刻深度終止層的 SOI 矽基板製作出高精度的截頂角錐狀微特徵結構，作為模仁薄板取代之電鑄起始層，藉由矽晶圓[111]面蝕刻停止的特性及深度蝕刻終止層的規劃，配合光罩設計，製作出高精度且高重複性的微特徵結構與分佈。本文依據製程所得到的創新菱形截頂微結構，進行導光板微特徵最佳化分佈，以 3.5 吋 LED 光源導光板作為載具，進行整合式導光板的設計，並採用 LightTools 光學膜擬軟體內建優化功能，進行微特徵的最佳化分佈。藉由菱形角錐微特徵的光學特性，變化導光板單面的特徵密度分佈，即可取代原本導光板外加擴散膜與兩片正交稜鏡片的傳統背光模組設計，達到提升出光效率、光均勻度以及增加軸向出光強度之效果。相較於傳統背光模組設計，平均照度提升 20%，光效率提升 16%，相近的軸向光強度，更具有降低模組成本與厚度的優點。

關鍵字：矽基非等向濕式蝕刻、導光板薄板取代、一體化導光板、LightTools、微影電鑄。

### 1. 研究背景與方法

背光模組在主動矩陣驅動式液晶顯示器中扮演關鍵的角色，典型的背光模組包含了燈源(light source)、導光板(light guide plate)、反射片(reflector sheet)、擴散片(diffuser sheet)與增亮膜(prism sheet)等如圖 1 所示，冷陰極管(cold cathode fluorescent lamp, CCFL)和光二極體(light emitting diodes, LED)為主要的燈源，但

須藉由導光板上的微特徵設計與分佈，將點或線光源轉化成均勻的面光源。隨著市場需求，背光模組漸趨薄形化、輕量化、低耗能、與低成本的目標發展，整合式側光 LED 導光板，除可減少背光模組厚度外，尚可提高亮度與降低成本，因此成為未來的研發的重點。

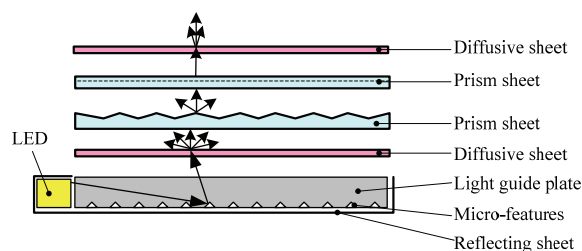


圖 1 背光模組示意圖

微特徵的尺寸與密度分佈影響導光板的亮度與均勻性，多數的導光板設計有專利保護，均勻或隨機微特徵分佈為最基本的設計[5]。因為反射的光線與特徵密度成比例，因此也有文獻提出以一維線性或曲線方式進行特徵密度分佈[6]，特定的分佈曲線雖然簡化了分佈設計，卻限制輝度均勻性的最佳化。另一方面，因為 LED 光源則需考量二維的佈點設計，有些研究將導光板劃分為很小且特徵均佈的區塊，再使用最佳化的方法來搜尋每個區塊的最佳密度設計[4][7]，或有藉由模糊最佳化的方式，進行佈點密度的自動化[3]。

導光板的製造方式分為印刷式與非印刷式，印刷式導光板是將高分子網點印刷在基板上，非印刷式則是將微光學特徵設計以射出或熱壓的方式一體成形。非印刷式導光板通常有較優異的光學表現，一般可分為噴砂、模仁蝕刻、微切削與 UV-LIGA 模仁。噴砂的方式因無法精準定位且再現性低，造成光學特性

表現不佳。以高速鑽石切削製造 V 型溝槽模具，因具有優異的光學特性與尺寸精度，成為目前業界研究的重點，但設備較昂貴，且需考量刀具的磨耗對特徵精度的影響。LIGA-like 製程結合微影與電鑄製程著作模塊的薄板取代(Stamper)，具有高精度與光學特性，可精準的佈點，成為學者積極研究的課題，但現有方法主要以於光阻回熱來形成微透鏡，特徵曲率則受光阻塗佈厚度與介面特性影響。

近年來由於光學模擬軟體如 TracePro、ASAP 與 LightTools 的發展，被廣泛使用在微結構光學特徵分佈以尋求輝度與均齊性的最佳化。然而特徵幾何設計是聯結設計與製造的關鍵，如果所設計的微結構與分佈無法被具體且精確的實現，光學模擬所尋求最佳化設計的改善將是徒勞。使用矽基非等向蝕刻配合電鑄可製作出 V 溝與角錐的微結構，可用來導光板與增亮膜[2][1][8]的模具製作，這種簡單的微結構有助於光學模擬的準確性，有助於模擬設計的體現，但蝕刻所造成的尖點，容易造成模具的磨損與成形的困難。

本研究將利用 SOI 矽基板並結合矽基非等向性蝕刻的製程，製作出高精度的截頂角錐微特徵，並分析不同矽基蝕刻特徵光學特性，除藉由特徵分佈達到均勻出光外，藉由特徵稜面角度的安排，使其出光折射得到如典型外加兩片正交稜鏡片來提升軸向光強度的效果，以單一導光板取代傳統導光板外加擴散片與增亮膜片(BEF)的使用。並藉由 LightTools 軟體的自動優化功能，進行此微結構最佳化分佈設計，以達到高輝度與高均齊性的光學特性。

## 2. 導光板薄板取代之製作

### 2.1 矽基非等向性蝕刻

矽晶圓非等向性濕蝕刻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  $70.5^\circ$ ，而{110}晶圓上蝕刻的斜面角度為  $109.5^\circ$ ，蝕刻形狀在[111]面自然停止，因此可蝕刻出 V 形溝槽與到金字塔之角錐結構如圖 2。(a)與(c)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  $2\mu\text{m}$ ，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，不容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。另一方面，可藉由光罩對準角度的設計，來旋轉微特徵來進行任意位置的特徵分佈。

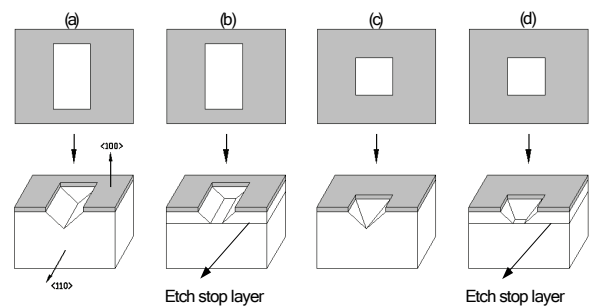


圖 2 {100}矽晶圓不同尺寸之長方形蝕刻窗在化學濕蝕刻所形成的形狀

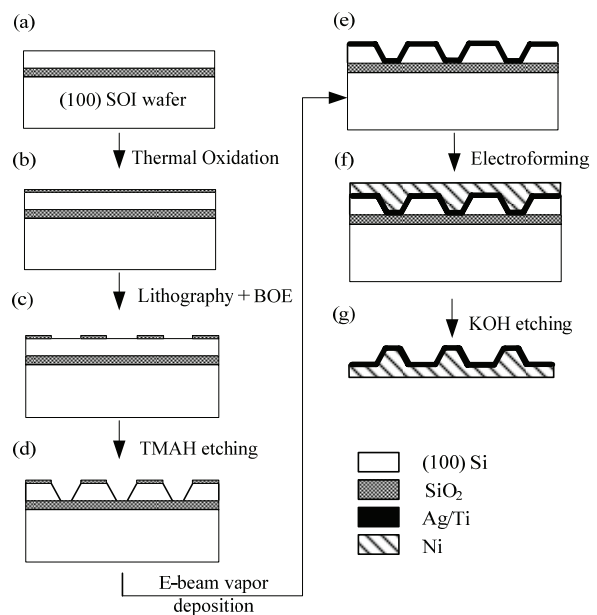


圖 3 具蝕刻深度終止層之薄板取代製作流程

### 2.2 薄板取代製作流程

本研究以矽基板非等向性蝕刻配合蝕刻深度終止層，利用矽晶圓[111]面蝕刻停止與深度蝕刻終止層的特性，製作高重複性與高精度的梯形溝槽與截頂角錐微結構，再於表面濺鍍或蒸鍍沈積一層金屬層，作為電鑄的起始層，再藉由微電鑄製作出精密的鎳基金屬

或者是鎳鈷合金之模仁薄板取代，其詳細的流程如圖 3 所示[9]。目前已完成 SOI 晶圓製作出截頂角錐之薄板取代，如圖 4 所示，特徵角度  $70.5^\circ$ ，微結構大小  $70\ \mu\text{m}$ ，間距  $10\ \mu\text{m}$ 。

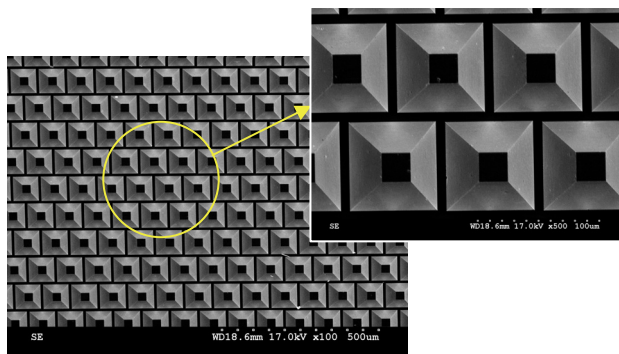


圖 4 電鑄後之截頂角錐鎳基薄板取代 SEM 圖

### 3. 背光模組光學分析

#### 3.1 背光模組建立

本研究以 3.5 吋、長度為  $72.73\ \text{mm}$ 、寬度為  $57.95\ \text{mm}$ 、厚度為  $0.76\ \text{mm}$  之導光板做為此次研究的對象，並以 LightTools 光學分析軟體針對此導光板進行光路模擬。其元件分別有導光板、白光 LED、燈罩、反射片、前端遮蔽區以及設置觀察面等，如圖 5 所示。並計算 LED 光通亮數值為  $4.23781\ (\text{lm})$  以利進行光學模擬軟體的分析。

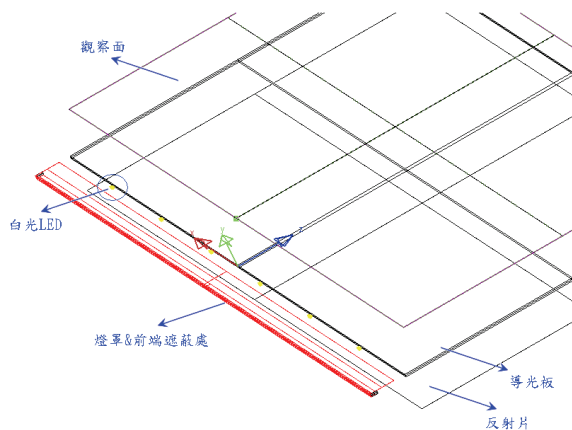


圖 5 LightTools 光學軟體背光模組設計圖

#### 3.2 光學模擬光線數設定

在現實生活中，一個光源所散發出來的光線數是無限多條的，但光學模擬軟體卻需要輸入光線數，使

其光源發光，但要設多或設少，均與光線的性質、模組的大小以及微特徵的結構等都有影響，若是光線數設多，則對於模擬分析的時間加長、電腦資源佔的空間越多；相反的，若是光線數設少，那有可能導致模擬數據的不正確，所以本研究經由 LightTools 光學模擬之後，並考慮模擬分析的時間以及電腦資源所佔的空間，即採用一百萬條光線數做為後續光學模擬設定。

#### 3.3 導光板入光面分析

本研究之導光板採用六顆 LED 的方式，由圖 6 即可很清楚發現 LED 入光面若無加上微結構，光線出光將集中在 LED 的前方。為提升 LED 的光照入射角度，一般可在導光板 LED 入光側面加上 V 形稜鏡設計，如圖 7 所示。藉由變化稜鏡角度與深度，以期得到較均勻的入射光。本研究變化 V 形稜鏡的角度從  $70^\circ$  到  $130^\circ$ ，並分析深度由  $10\ \mu\text{m}$  到  $100\ \mu\text{m}$  對亮度及均勻性的影響。

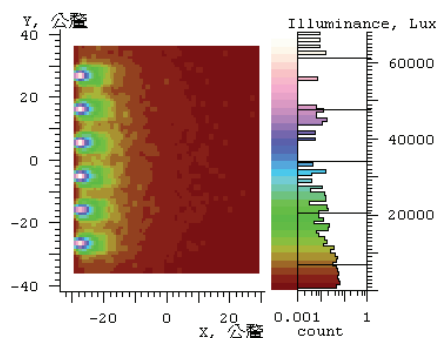


圖 6 入光面無加入微結構之照度圖

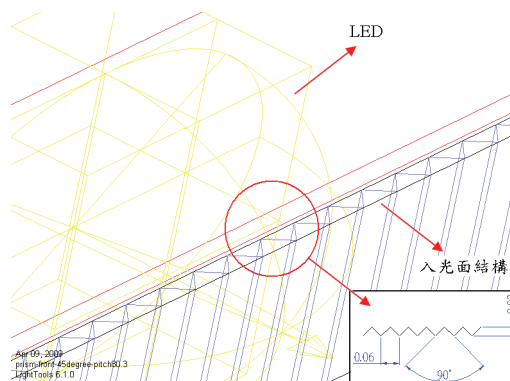


圖 7 入光面微結構設計示意圖

從分析結果發現，入光面菱鏡結構在角度頂角  $90^\circ$  時會有較小的均方根值，而深度與均方根值較無明顯影響，又因深度在  $30\ \mu\text{m}$  有較佳平均照度的結果故設定深度為  $30\ \mu\text{m}$ 。圖 8 顯示在 LED 入光面加上上述 V 形稜鏡微結構後，有助於增加光源的分散，避免光源附近亮度不均的現象。

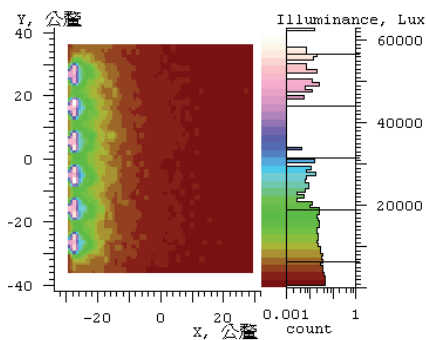


圖 8 入光面加入 V 形稜鏡  $90^\circ$  深度  $30\ \mu\text{m}$  之照度圖

#### 4. 導光板設計

##### 4.1 典型 LED 側光導光板

市面上現有的 3.5 吋側光導光板，所使用的微結構為圓形結構佈點如圖 9 所示，採等間距 ( $0.5\ \text{mm}$ ) 分佈，變化圓點直徑來提升照度均齊性。再加上兩片正交 V 形稜鏡增亮膜片，與一片上擴散片。稜鏡片的目的是使出光角度集中軸向，以提升正面的亮度。圖 10(a) 為經 LightTools 最佳化擴散點尺寸最佳化的出光角度圖，出光效率為 80%，平均照度 5078(Lumen)，照度均方差為 323(Lumen)。藍色線條代表沿光行進方向之出光角度分佈，而紅色曲線則代表與光行程垂直方向之出光角度分佈。在沿燈源排列方向出光角度尚稱對稱，但在 LGP 沿光行進方向的出光角度則偏向側與軸向夾角  $40^\circ$ 。一般會使用下擴散片來修正，使得出光角度分佈呈現高斯分佈。

為提高導光板的軸向輝度，導光板之上會加入兩片正交稜鏡片，將出光角度集中到軸向，此時經 LightTools 模擬所得平均照度為 4310(Lumen)，均方差為 175(Lumen)，照度因稜鏡片的折反射與吸收損失，出光效率降為 72%。但若不使用下擴散片，在經過兩片稜鏡片後其出光角圖如圖 10(b)，明顯看出藉由稜

鏡片折射出光角度往軸向集中，可將軸向光強度由 5(cd) 增加到約 15(cd)，但言光性進方向的出光角度分佈並非對稱，最高光強度雖由 6.85(cd) 增加到 18.97(cd)，但發生在與軸向夾角  $30^\circ$  處，此出光角度的偏差，可能造成使用上的困擾。此外光效率在通過稜鏡片後也下降了 8%，且成本上也會增加。

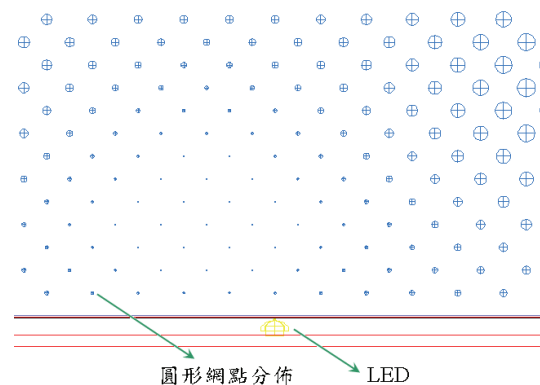


圖 9 典型導光板圓點微結構分佈示意圖

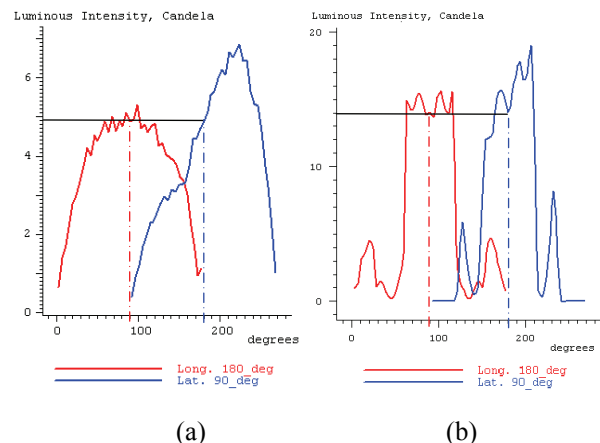


圖 10 圓擴散點導光板之出光角圖(a)導光板(b)導光板加上兩片稜鏡片

##### 4.2 截頂角錐微特徵設計

本研究以所提出的薄板取代製程的微結構進行佈點設計，在導光板反射面所使用的微特徵結構形狀如圖 11 所示，即底寬  $70\ \mu\text{m}$ ，高度約為  $50\ \mu\text{m}$  的截頂角錐，藉由光罩對準的設計，我們製作兩種微結構的安排，圖 11(a) 的截頂角錐與 LED 光源平行，另一種安排如圖 11(b)，截頂角錐旋轉  $45^\circ$ ，呈現類似菱形的微結構。當截頂角錐如圖 11(a) 排列，因 LED 入射光為扇形分佈，因角錐結構兩個主要折射斜面造成光角



圖在與光線前進的垂直方向產生雙峰圖形如圖 12(a)所示，且在沿光行進方向的出光偏向一側，與軸向夾角為 60°。但將角錐旋轉 45 度如圖 11 (b)排列時，其出光角度如圖 12 (b)所示，使得入射光線打到結構後較易在水平燈源方向處能有較均勻的出光效果，同時出現如同稜鏡片將出光集中到正向光的效果[10]，軸向光強度為 14.5(cd)，最高光強度達 15.2(cd)且非常接近軸向。在強度方面相較於正交角錐時的軸向光強度增加了近三倍，且沒有出光角度偏差的問題，因此單一特徵設計就達到提升正向光強度的效果。

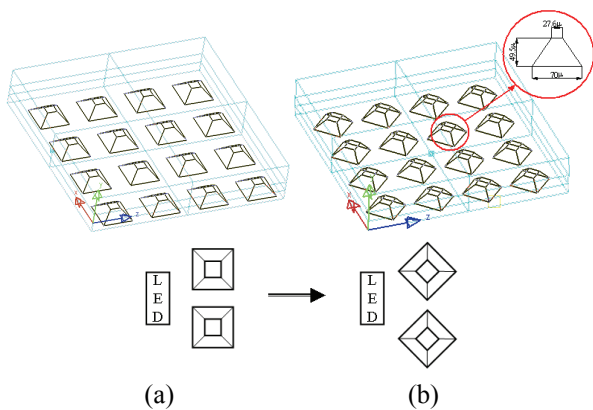


圖 11 反射面微結構示意圖(a)正截頂角錐(b)旋轉 45 度之截頂角錐

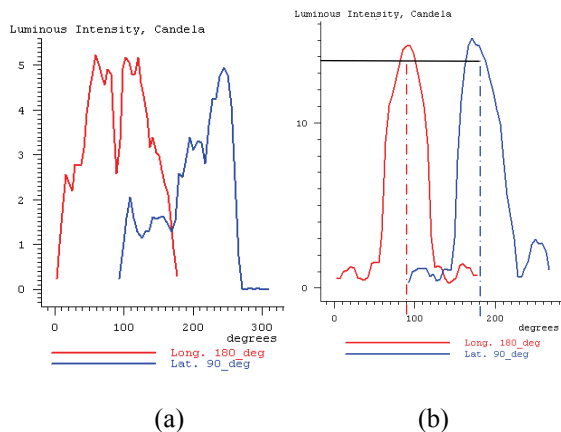


圖 12 不同方位角錐對出光角度的影響 (a)0 度(b)45 度

### 4.3 反射面微結構最佳化分佈

菱形截頂角錐的設計可達到出光角度集中於正向角度的效果，如此設計可免去兩片正交稜鏡片的使用，因此可再藉由特徵密度的分佈，使光能有均勻化的效果，如此以來便能達到聚光以及勻光的效果。本研究利用 LightTools 內建背光模組優化功能，以菱形

截頂角錐作為反射面特徵，進行間距分佈的最佳化，程式自動根據所得之亮暗程度的不同做微結構的分佈優化，即越亮處則分佈密度越低，反之則越高，其初步最佳化設計模擬之光照圖如圖 13，而其結構分佈如圖 14。導光板出光效率 88%、平均照度 5189(Lumen)，照度均方差為 474(Lumen)，雖然 LightTools 內建佈點密度最佳化方面還有改進的空間，但一體化設計導光板的照度表現明顯比傳統導光板加上增亮膜片的架構具有較高的光效率。而軸向最大光強度 14.96 cd。利用九點輝度量測，量測結果 9 點平均輝度為 3236 cd/m<sup>2</sup>，九點輝度均齊性為 82%，也證明該設計具有顯著的軸向集光效果。

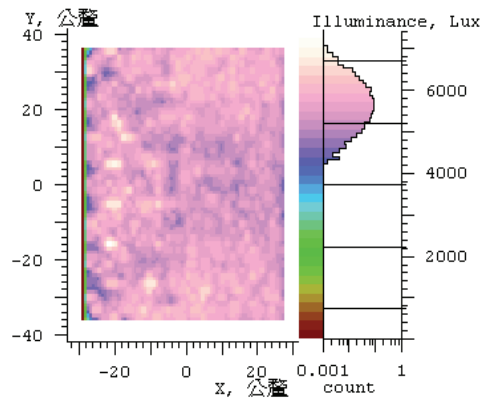


圖 13 菱形截頂角錐分佈最佳化後之光照圖

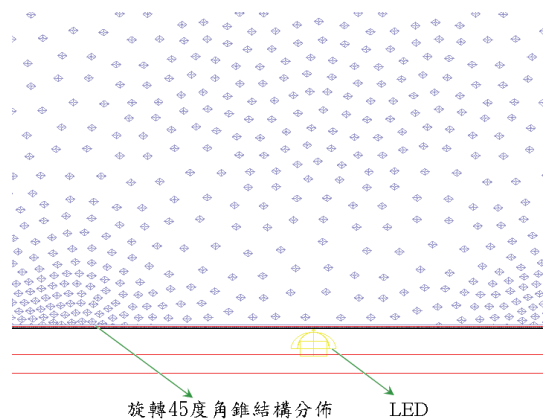


圖 14 一體化導光板結構分佈示意圖

### 4.3 設計比較

表 1 比較典型背光模組設計與本研究所提出的一體化導光板設計的光學表現，傳統設計以圓點作為出光特徵設計，再藉由兩片正交稜鏡片將光集中到軸

向，以提升輝度，但圓凸鏡特徵設計在出光角度分佈會有上偏的問題，若不以下擴散膜來調整出光為高斯分佈，在增亮膜集光後仍會有出光偏向的問題，需以上擴散膜來修正，但多層的光學膜片不僅會減損出光效率，且對成本與背光模組薄形化，都會有不良的影響。本研究提出的一體化設計，以創新模仁製程製作菱形的截頂角錐特徵進行密度分佈，由於稜鏡角度的設計，出光角度自然向軸向集中，因此不需外加稜鏡膜片，即具有明顯軸向增亮效果，而一體化的設計也使其具有最佳的出光效率。目前受限於LightTools內建優化能力，輝度均齊性只有82%，尚有一些改善空間，未來可再降低特徵尺寸至10(μm)，並輔以分佈最佳化研究，將可進而提升輝度表現，而不需以擴散膜來修正。

表 1 傳統與一體化導光板光學特性比較

	出光效率	平均照度 (Lumen)	照度 均方差 (Lumen)	軸向出光 強度 (cd)	平均輝度 Nit (cd/m <sup>2</sup> )	輝度 均齊性
傳統式無任何膜片	80%	5078	323	~5	1217	68%
傳統式加兩片 BEF	72%	4310	175	~15	3582	93%
一體化無任何膜片	88%	5189	474	14.8	3236	82%

## 5. 結論

本研究應用具有蝕刻深度終止層的SOI矽基板並結合矽基非等向性蝕刻的製程，以及電鑄複製的程序，成功地製作出高精度菱形截頂角錐狀微特徵結構，並運用LightTools光學模擬軟體來進行導光板微特徵分佈，在模擬結果顯示不需外加任何擴散膜與稜鏡片，即可達到傳統背光模組的所需的輝度效果，且具有較高的光效率，在未來高輝度超薄背光模組的應用上，具有非常高的應用潛力，同時可降低模組成本。

## 致謝

本研究承蒙經濟部學界科專計畫編號97-EC-17-A-07-S1-108，與國科會計畫編號NSC 97-2221-E-327-011-MY2經費支持，特誌謝意。

## 參考文獻

- [1]. Chien, C.-H. and Chen, Z.-P., Fabrication of a novel integrated light guiding plate by microelectromechanical systems technique for backlight system, *J. Microlith., Microfab., Microsyst.*, Vol. 5(4), pp. 043011-1~043011-6, 2006.
- [2]. Lin, L., Shia, T. K. and Chiu, C.-J., Silicon-proceed plastic micro pyramids for brightness enhancement applications, *J. Micromech. Microeng.* 10, 395-400, 2000.
- [3]. Yu, J.-C. and Hsu, P.-K., Design Optimization and Stamper Fabrication of Light Guiding Plates Using Silicon Based Micro-Features, *Proceedings of the Symposium of Design Test Integration and Packaging (DTIP) of MEMS and MOEMS*, Rome, Italy, 1-3 April 2009.
- [4]. Chang, J.-G., Lee, C.-T., Fang, Y.-B. and Hwang, C.-C., Generation of random non-overlapping dot patterns for light guides using molecular dynamics simulations with variable r-cut and reflective boundary techniques, *Computer Physics Communications*, Vol. 177, pp.851-862, 2007.
- [5]. Taniguchi, H. and Hira, Y., Liquid crystal display device, US pattern 6099134, 2000/8/8.
- [6]. Kashima, K. and Yoshida, N., Back lighting device for a panel, US Patent 5093765, 1992/3/3.
- [7]. Sendova, M., Optimized highly efficient large area modular flat panel display lighting device, US Patent 6132053, 2000/10/17.
- [8]. Taniguchi, H. et al., Method for manufacturing a light guide plate, US pattern 6704070B2, 2004/3/9.
- [9]. Yu, J.-C. and Li, P.-J., Fabrication of LGP stamper using anisotropic etching of silicon wafers with depth etching stop as the initial electroforming cathode, ROC patent pending, No. 96100909.
- [10]. 余志成與張簡少堂，具軸向集光效果的一體化導光板設計與製造，中華民國專利申請中。

## **Application of Novel Stamper Fabrication to the Design of Integrated Light Guides of LCD**

Shao-Tang Zhangjian, Zong-Nan Chen, and

Jyh-Cheng Yu\*

Dept. of Mechanical and Automation  
Engineering, National Kaohsiung First  
University of Science and Technology

Ministry of Economic Affairs Project No.:

97-EC-17-A-07-S1-108

NSC Project No.: NSC97-2221-E-327 -011

-MY2

### **Abstract**

This paper applies a novel fabrication process of molding stamper that combines anisotropic wet etching of silicon-on-insulator (SOI) wafers with electroforming to produce precision stampers. By means of the mask design and anisotropic etching of silicon, a 45° orientated truncated pyramidal micro features can be accurately fabricated and distributed. The optical software, LightTools, is applied to simulate the luminance performance and to optimize the feature distribution. The design of a 3.5 inch LED edge-lit LGP is used as an illustrated example. Convectional back light module consists of an LGP, two orthogonal prism sheets, and at least one diffusive layer. The proposed integrated LGP design can provides similar on-axis luminance enhancement without any additional optical film. The average illuminance increases by 20% and the root mean squared error of illuminance reduces by 16% compared with conventional design, which shows the potential application in the high luminance and ultra thin back light module with less cost.

**Keywords:** Silicon anisotropic etching, Light guide stamper, integrated light guide, LightTools, LIGA-Like