

結合非等向矽蝕刻與微電鑄於光學增亮膜片的製作

李佩君 余志成*

國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系

摘要

本研究以一種新型模仁薄板取代(Stamper)的製程，結合非等向性矽基濕式蝕刻與微電鑄於精微薄板取代的製作，應用於增亮膜片的製作，該製程利用光學微影製程技術轉印特徵設計，再藉由 SOI 矽基板非等向性蝕刻製作梯形長溝與截頂角錐狀微特徵結構，作為薄板取代之電鑄起始層，可製作出高重複性與高精度的微特徵結構薄板取代。且利用光學模擬分析其結構角度限制對平均輝度的影響，由模擬數據可知單片截頂角錐結構設計的增亮膜，不僅具有較高的可製造性與組裝防刮特性，其輝度值優於兩片增亮膜。目前已完成鍍基薄板取代的製作，並以 PDMS 快速原型技術來製作稜鏡片，測試設計的增亮效果，驗證製程的精度與可行性。

關鍵字：矽濕蝕刻、薄板取代、電鑄、增亮膜。

1. 前言

近年來液晶顯示器及行動通訊系統的蓬勃發展，帶動了國內 TFT-LCD 及 PDA 面板製程技術的快速成長，而其相關的光學模擬研究更是眾多，不過一般都是在探討其光的均勻度，也就是導光板與擴散膜部分，至於背光模組輝度增益部分，則需藉由增亮膜。增亮膜(Brightness Enhancement Film)，簡稱 BEF，又稱為稜鏡片(Prism Sheet)，其功能主要是增加面板正面的亮度，在背光模組中占有非常重要的一環。增亮膜的設計在 1990 年以前主要是針對照明系統應用和玻璃製品的應用[1]，到後期由於液晶顯示器的發展，需要增加發光效率和亮度，增亮膜的需求量也大增，加上機台和製作方面的進步，導致增亮膜目前業界許多應用都少不了它。

以液晶顯示器來說，我們可以看到需求是提升軸向光的強度，即增加在-35 度~35 度視角的光強度增加，以專利技術來說可分為兩種，一種在導光板上方設置增亮膜[2]、[3]。也就是用稜鏡片的結構來增加正向光的強度。另一種方式則是在導光板底部設置凹槽或稜鏡讓光反射[2]，以上這兩種設計目的都是使出光角接近零度。

傳統增量膜，也就是俗稱的稜鏡片，其製造過程是在厚度僅 125 μm 的 PET 光學薄膜上利用高能量的

UV 光將特殊 Acrylic Resin (PMMA) 硬化、切割出超細微稜鏡結構，而其係為稜鏡結構主要功能是造成穿透框線的折射(如圖 1 中的 a 部分)與內部全反射(如圖 1 中的 b 部分)將自導光板所發出；呈現四面八方之散亂光線集中至約 $\pm 35^\circ$ 的正視角(On-axis)方向(如圖 1 中的 c 部分所示)。

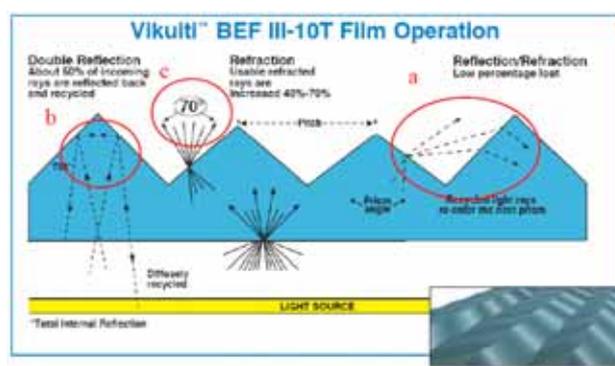


圖 1 BEF 之增益運作過程示意圖[4]

相較於導光板與擴散膜，增亮膜或許受限於專利限制，發表的研究便較少，多數的專利都由 3M 擁有。在增亮膜片特徵的分析方面，國內學者[5]曾提出分別以微細稜鏡結構之高度、底部基材的厚度與稜鏡溝槽角度，設定為結構參數之變異數，光源模組為側光式背光板，其模擬結果認為增亮膜稜鏡片之角度在 90° 左右時，其光線集中效果與光線分佈均勻度都有不錯的表現。且稜鏡角度的變化會強烈影響增益效果，在 104° 時具有最高的增益值，但設計時仍需考慮背光模組整體的光均勻度，並選擇具最佳平衡性之角度。但在製作上的相關研究就非常有限。

一般增亮片模具多採用機械切削加工，因此稜鏡特徵尺寸多在 100 微米左右，本文將應用一種新型模仁薄板取代(Stamper)的製程，結合非等向性矽基濕式蝕刻與微電鑄於精微薄板取代的製作，應用於增亮膜片模仁的製作，可製作出準確的微角錐狀的結構來達到聚光的效果，但特徵形狀將受限於矽基蝕刻的角度。因此本研究將以光學模擬方式分析角度限制對增亮效果的影響，同時探討以單一片角錐薄膜結構取代兩片垂直排放增亮片的可行性，並藉由實際製作來驗證其可行性。

*聯絡作者: jcyu@ccms.nkfust.edu.tw

2. 導光板薄板取代之製作

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° ，而{110}晶圓上蝕刻的斜面角度為 109.5° ，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 $\sim \mu\text{m}$ ，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，要在完成 V 形特徵前停止蝕刻較不易，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微結構的高度。

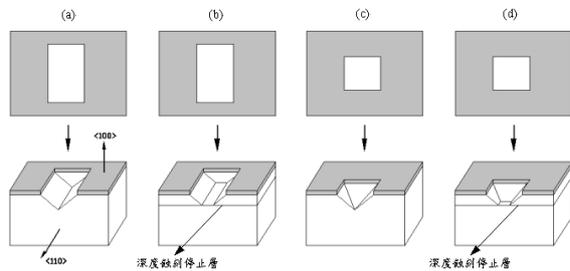


圖 2 {100}矽晶圓不同尺寸之長方形蝕刻窗在化學濕蝕刻所形成的形狀

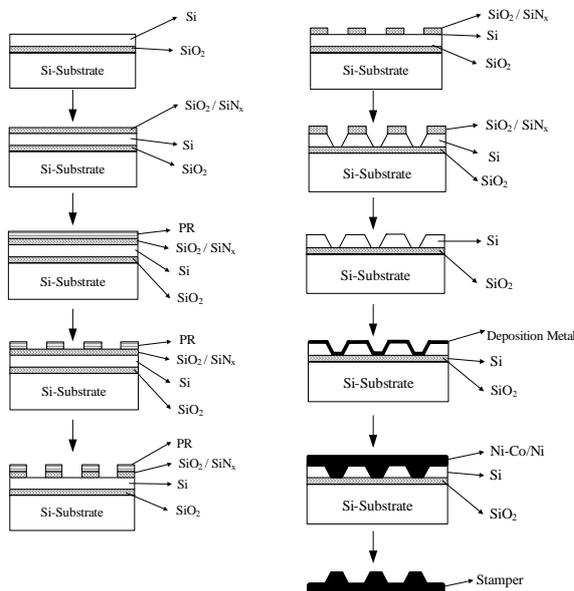


圖 3 薄板取代製作流程圖[7]

本研究採用矽基化學濕蝕刻作為微特徵產生的中介層，利用矽晶圓[111]蝕刻面與 SOI 深度蝕刻停止層的特性，製作高重複性與高精度的梯形長溝與截頂角錐微結構[7]，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。再濺鍍

或蒸鍍一層金屬薄膜作為微結構的電鍍起始層，以鍍基金屬與鍍鈷合金電鍍沉積，再以濕蝕刻去除矽基材，便可產生光學膜片熱壓印模仁的薄板取代。詳細的流程如圖 3 所示。

3. 增亮膜光學分析

業界一般的檢測方式，其輝度增益量的比較方式是依據軸向輝度的變化數值來決定，因此本研究的數據是採用與輝度差一個單位面積的發光光強度值 (lm/sr)來做比較分析，利用 TracePro 軟體所提供之兩種觀察法，一個為 Polar ISO-Candela Plot，如圖 4 所示，主要是顯示出向是光源時，光源之光強度 (lm/sr 或 w/sr)與方位角 F 及傾斜角 θ 的關係圖，其中顏色深淺代表光強值的強弱，疏密則代表光的集中程度；另一個為 Rectangular Candela distribution (圖 5)，也就是把 Polar ISO-Candela Plot 改成高斯分佈形式方便觀察，並取其軸向發光強度 (Axial Luminous Intensity) (簡稱：軸向光強) 亦或稱為零度角光強度之數值來做比較的依據[1][5]。

首先模擬未加增亮膜之背光模組，其發光強度顯示如圖 4、圖 5 所示，接著分析當加入本研究所設計之 109° 增亮片的背光模組，結果如圖 6、圖 7 所示，將兩者視角曲線圖做比較，可以了解無增亮膜的視角分佈較大，且介於 $-50^\circ \sim 50^\circ$ 的光強值都比有增亮膜的光強值為低，當加上增亮膜之後，明顯可以看到視角曲線範圍縮小，且光強度值明顯增加。

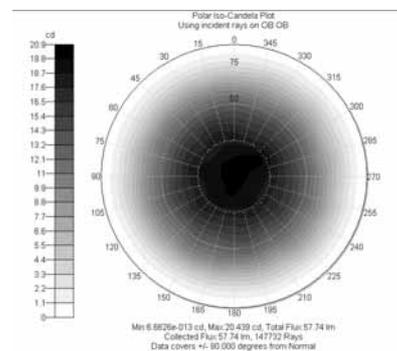


圖 4 Polar ISO-Candela Plot

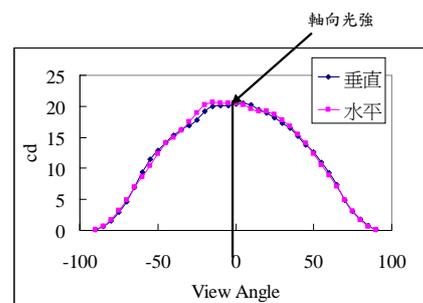


圖 5 Rectangular Candela distribution 與軸向光強值

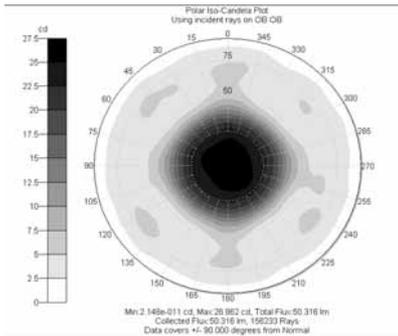


圖 6 加 109° 增亮片之 Polar ISO-Candela Plot

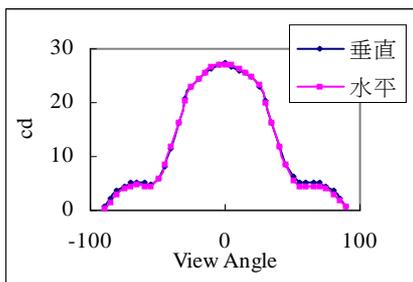


圖 7 加增亮片之 Rectangular Candela distribution

3.1 增亮膜模組分析驗證

本研究為利用 V-groove 微特徵將導光板所折射出之光源由正面導引出，由於導光板射出後光的指向性較差，因此藉由增亮膜的 V-groove 結構來修正光的方向，提升正面輝度的目標，以增加光線射出後的使用效率。

首先將模擬數據和 3M 量測出來的數據做比較。採用 3M BEF II 90/50 Film 的配置方式(圖 8)，使用兩片 BEF 片，相互垂直排放，最底層則是導光板出光，圖 9 為 3M 實際量測出來的視角曲線圖，其中以無稜鏡片的光強值設定為 1，並且與一片 BEF 及兩片 BEF 的光強值取比值做比較。而圖 10 為利用 Trace Pro 軟體模擬的視角曲線圖，將兩者視角曲線圖做比較，可以了解無 BEF 片的視角的分佈範圍較大且光強值都比有 BEF 片的光強值為低，然而加上 BEF 片之後，明顯可以看到視角曲線範圍縮小，且光強值明顯增加。為同時對水平與垂直軸向增亮，一般應用兩片相互垂直排放 BEF 片，由圖 10 可看出兩片 BEF 優於一片 BEF，一片 BEF 則優於無 BEF，但模擬出來的增益與 3M 實際量測的增益有些差距，但是趨勢都是相似的。

由圖 9 可知 3M 使用兩片 BEF 的最大增益可以達到 2，但模擬最大只能達到 1.5 左右，探討其可能誤差原因一方面是 3M 的材料多非單一材料，採多層膜設計配合偏光旋轉技術，本文所採用模擬的則假設為 PMMA 單層材料，另一方面也缺乏準確的相關材

料其光學特性參數所致。但其模擬結果和量測數據的趨勢極為類似，可作為設計的參考。

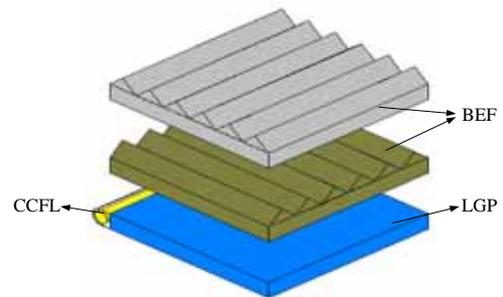


圖 8 增亮膜配置方式

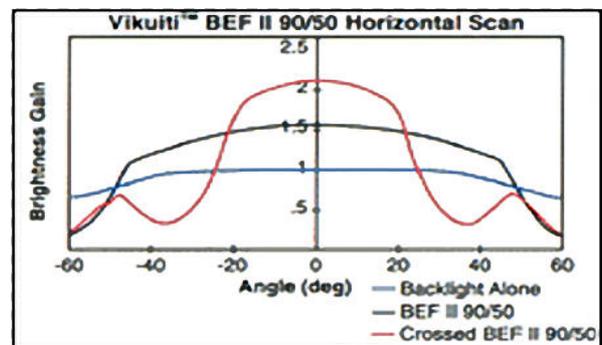


圖 9 3M 所量測之 BEF 片視角曲線圖 [6]

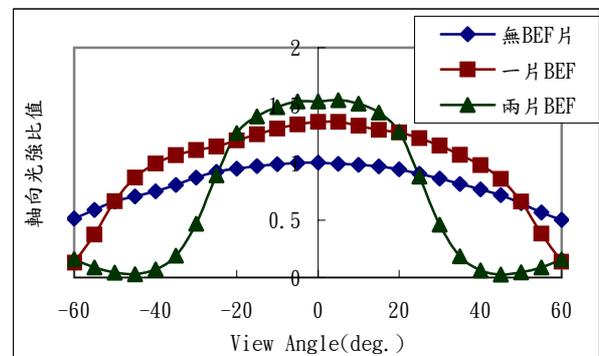


圖 10 模擬 3M 之視角曲線圖

3.2 增亮膜的 V 形特徵角度分析

由前面結果驗證加上 BEF 片之後，有聚光的效果及光強值也比較高，接下來探討增亮膜特徵角度的變異之影響，增亮膜片微特徵設計，利用配合矽晶圓化學濕蝕刻所得之微結構形狀作為分析設計。將以矽基蝕刻所形成的 70.5° 及 109.5° 兩種角度為聚光特徵之變數，其特徵大小與 3M 之增亮膜片大小一樣 50 μm，比較不一樣之特徵角度對聚光的影響。

首先將增亮膜模組的尺寸設定依據“BEF II 90/50 Film”之規格標準繪製，僅改變增亮膜之角

度，並改與相同之光源條件進行分析。使用 70.5°、80°、90°、100°、109.5° 角度之 V-groove 長溝作比較，擷取各角度時的光強值之曲線圖比較，以光的效益為 0.5 時，取決於聚光角度，由圖 11 得知 90° 之特徵角度其光線集中效果最佳，其次較佳聚光角度排序為 80°、70.5°、100°、109.5°，雖然 70.5° 及 109.5° 之聚光效果較差些，但是其兩者皆有較大軸向光強值，則 70.5° 優於 109.5° 之角度。

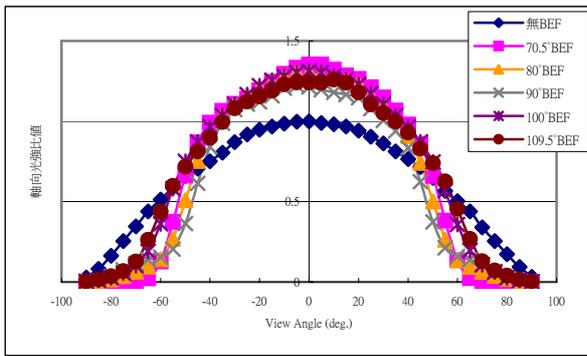


圖 11 V 形特徵角度分析圖

3.3 兩片增亮膜

接著探討以兩片交錯之增亮膜，進行兩個方向的集光，其結果如圖 12 所示。其軸向光強比值皆比單片增亮膜較佳且光線集中範圍更小，其中 90° 特徵之增亮膜的確具有最佳的集光效果，軸向光強比值可達 1.55，出光角度集中在 -35°~35° 之間，但在 70° 左右方向有殘餘的集光。而 100° 增亮膜介於 -40°~40° 之間，也沒有殘餘集光於側方，具有較高的光效率。使用單片增亮膜不論在聚光或是軸向光強都無法達到使用兩片增亮膜的效果，雖然單片增亮膜聚光效果較差，但是單片增亮膜比兩片增亮膜可得到較佳平均輝度值結果(圖 13)，雖然兩片增亮膜的集光使得正面光的強度增加，但整體的輝度卻大幅下降，推論原因為兩片增亮膜所造成的部分光反射，而多次的折射也造成輝度衰減。若能減少光學膜片的數量而保有雙軸向集光的效果，將會有較高的光效率。

3.4 單片整合增亮膜設計

因此接下來探討是否可以一片增亮膜設計達到兩片增亮膜之功效，因矽蝕刻特性，很容易製作 70.5° 角錐結構(圖 14)作為增亮膜特徵之設計，由結果圖 15 得知其聚光角度集中於 -40°~40° 之間，光線集中效果也不錯，其輝度結果如圖 16 所示，很明顯的發現單片角錐增亮膜之輝度值明顯比兩片增亮膜之輝度值高很多，因此以單片角錐為設計，其集光效果雖然比 90° 增亮膜較稍微差一點，但是其聚光功能確實也是有明顯提升，且單片增亮膜比兩片增亮膜的輝度值要高出許多，最主要的優點是可以降低成本。未來可以持續探討特徵大小、特徵之截頂高度及排放方式

等等，對增亮膜之分佈影響，在此已驗證此增亮膜之應用可行性。

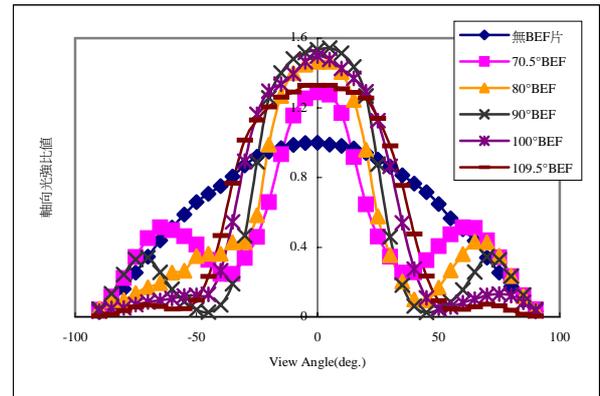


圖 12 兩片 BEF 片比較之視角曲線圖

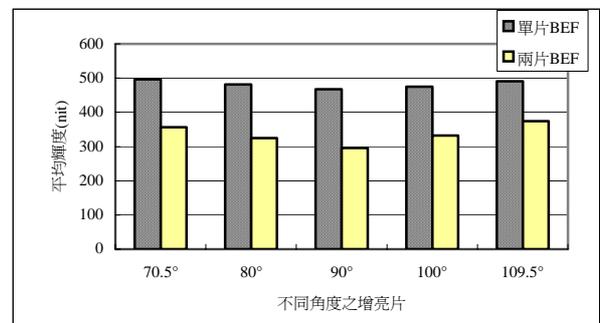


圖 13 BEF 之平均輝度比較圖

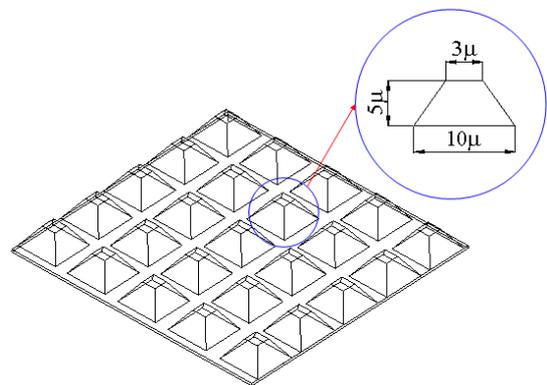


圖 14 角錐結構示意圖

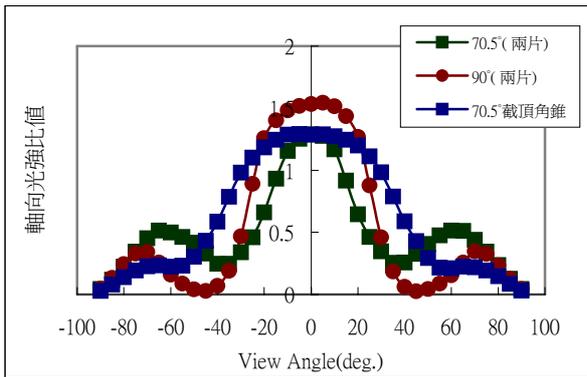


圖 15 兩片 BEF 與單片 BEF 之視角曲線比較圖

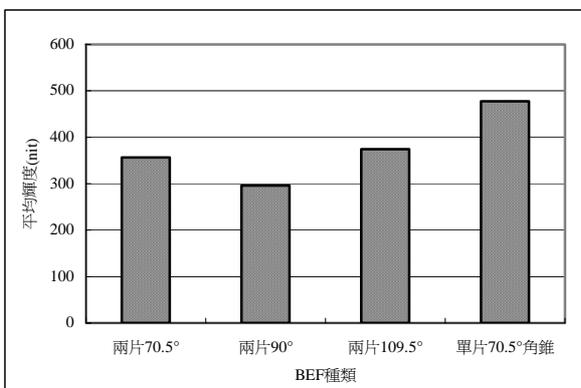


圖 16 兩片 BEF 與單片 BEF 之平均輝度比較圖

4. 以 PDMS 的快速原型技術製作增亮膜

本研究將顯影後的光阻模板濺鍍一層鎳，固定於電鑄槽陰極，作為電鑄啟始層，並且設計晶圓的夾治具(圖 17)，以減少電鑄層的厚度變化。欲電鑄之金屬材料(本實驗以鎳 Ni)當作陽極，以尺寸最小的 $5\mu\text{m}$ 進行 SEM 觀察，其結果如圖 18 所示。可看出電鑄過程中，鎳離子於微結構中沉積的狀況良好，無電鑄分層或微細結構電鑄不良的情形。

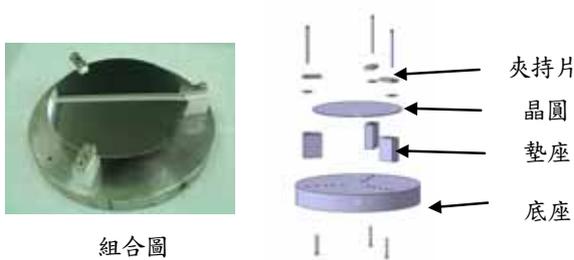


圖 17 晶圓夾治具

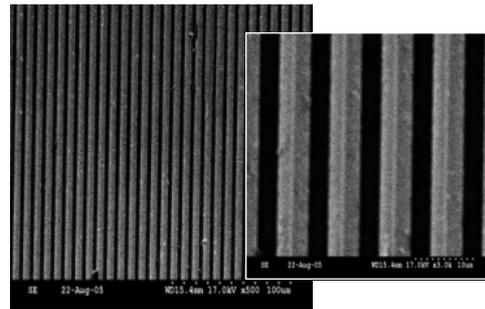


圖 18 蝕刻 V 形溝槽微結構($5\mu\text{m}$)電鑄 SEM 圖

目前將已將含有 V 形長溝微結構之晶圓配合 PDMS 製作出光學膜片，初步成果如圖 19，特徵角度 70.5° ，結構大小 $10\mu\text{m}$ ，間距 $5\mu\text{m}$ ，我們將初始成果做光學量測分析，分析結果如圖 20，在初步量測結果中，得到光度增亮 1.23 倍，有此可得知此方式是可行的，其光學模擬結果圖 21，光度增亮為 1.19 倍，可能因無法得知實際量測時之光源參數值，而造成在模擬之數值與實際量測值有些許差異。

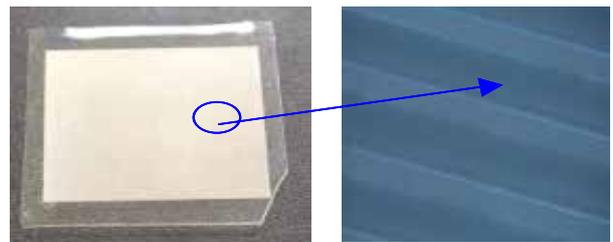


圖 19 PDMS 製作增亮膜片之初步成果

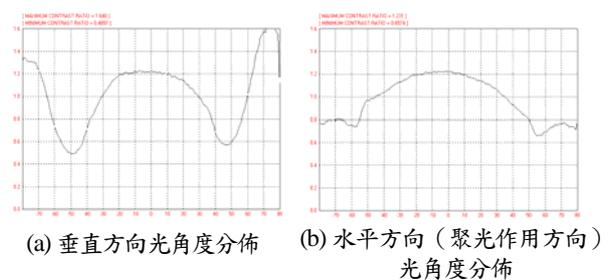


圖 20 光學分析儀量測梯形長溝增亮膜片量測結果

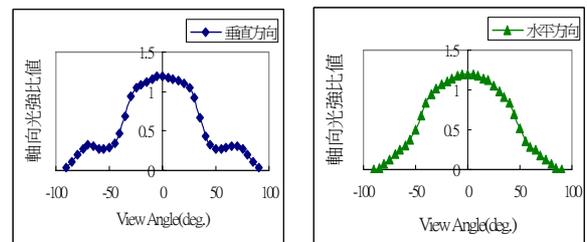


圖 21 增亮膜之光學量測結果

5. 結論

本研究提出以矽基板非等向性蝕刻製作梯形長溝與截頂角錐等微特徵結構，利用矽晶圓[111]面蝕刻停止與深度終止層的特性，再藉由微電鑄製作精密的微特徵槽薄板取代，藉以作為增亮光學膜片的熱壓印模仁。經由 TracePro 分析可知單片截頂角錐結構設計的增亮膜，雖然在軸向光強度的增益值稍低於兩片交錯放置之 3M 所採用的 90° V 形長溝設計，但其整體輝度優於兩片增亮膜，且具有較高的可製造性與組裝防刮特性。由目前完的成長溝鍍基薄板取代的製作，配合 PDMS 快速原型技術，製作出增亮膜片，初步成果已驗證其可行性，具有不錯的集光效果。未來將透過熱壓印來製作單片截頂角錐光學膜片，以取代兩片交錯 BEF 的設計，對於降低背光模組成本，與超薄形被光模組的設計應用，將有所助益。

參考文獻

- [1] 王惠珠，2001，"2001 台灣產業生命力之新契機-平面顯示器產業"，平面顯示器專輯 No.2, June.
- [2] Tadahihiro Masaki, "Nondiffusive light guide plate, lens film and surface light source assembly", 1999/8/17, US pattern 5940571.
- [3] D.J. Pristash and J.R. Parker, 1992, "Thin panel illuminator", US Patent 5136480.
- [4] 美商 3M 公司，<http://WWW.3m.com/>
- [5] 蔡耀葳，2005，LCD 背光模組中稜鏡片之結構設計，國立中山大學，碩士論文。
- [6] 卓立庭，2006，TFT LCD 專利分析與模擬設計-以背光模組之增亮膜為例，國立台灣科技大學，碩士論文。
- [7] 余志成、李佩君，中華民國專利申請中，申請案號：96100909。

The application of Anisotropic Silicon Etching and Electroforming to the Fabrication of Brightness Enhancement Films

Pei-Chun Lee and Jyh-Cheng Yu*

Department of Mechanical and Automation Engineering
National Kaohsiung First University of Science and Technology

Abstract

This study applies a novel fabrication process of molding stamper that combines anisotropic wet etching of silicon-on-insulator (SOI) wafers with electroforming to produce an accurate stamper for brightness enhancement films. Because the geometry of the fabricated feature of SOI using anisotropic wet etching is defined by the [111] crystal plane and the etch stop, the dimensional accuracy and the surface characteristics of the micro features, such as trapezoid grooves and prisms, are extremely high. This paper analyzes the influence of the constraints using TracePro, and proposes a single film with truncated micro-pyramids to replace two BEF. The design has the advantages of better stackability and scratch-proof. The simulation results reveal the integrated film can significantly improve the brightness. A proto-type Ni-based stamper is fabricated to produce the brightness enhancement film using the RP technology of PDMS. The preliminary measurement result has demonstrated the feasibility of the design.

Keyword: Backlight module, LIGA-like, BEF