

結合非等向矽蝕刻與微電鑄於LCD導光板膜仁的製作

余志成¹ 李佩君 江韋翰 紀源聰

國立高雄第一科技大學機械與自動化工程系

摘要

導光板為 LCD 背光模組的關鍵零組件，目的在於導引光線方向成為平面出光，以達到高輝度與高均勻性。隨著平面顯示器的輕薄化與對亮度與解析度的提升，導光板微結構的尺寸要求到微米等級，造成模具加工的困難。本文提出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模仁的製作，以光學微影製程技術轉印特徵設計，再藉由矽基板非等向性蝕刻製作 V-cut 微結構的電鑄起始層，利用矽晶圓 [111] 面蝕刻停止的特性，製作高重複性與高精度的 V 形溝槽。而由於蝕刻面由晶格結構決定，蝕刻面角度精準，可達鏡面之表面特性。再利用及微電鑄，製作鍍基模仁薄板取代，不僅比鑽石刀切削所產生的 V-cut 精度更高，且在不同溝槽寬度的搭配更具彈性，其加工設備與製作成本遠較鑽石刀切削為低。為配合矽蝕刻幾何特性，本文應用光學模擬軟體 Trance-Pro 作導光板的光學分析，分析結果顯示，變化溝槽寬度與間距，可提升導光板輝度與均勻性，並可避免干涉條紋的產生，而藉由所提出的模仁製程，將有助於設計的最佳化的實現。

關鍵字：導光版、最佳化、矽濕蝕刻、薄板取代、電鑄、微影電鑄模造。

1. 前言

背光模組其主要之功能負責 LCD 顯示器中的光源射出功能，由導光板及燈管等零組件結合而成，如圖 1。而依據光源位於模組內的擺設位置，可分為直下式模組以及邊光式模組，直下式背光模組較適用於大型面板，如 LCD TV、LCD monitor 等；邊光式背

光模組，適用於小型、輕薄的面板，如筆記型電腦、手機、PDA 等。本研究將針對精密的小形 LCD 面板，以邊光式背光模組作為探討與分析的主題。

背光模組主要目的在於導引光線方向，背光源之發光特性要求為高亮度、高均勻性，而模組之出光角度亦直接影響了光使用效率與畫面顯示視角。在模組中又以導光板最重要，因為它控制了光線是否均勻發散出去的關鍵。導光板作用在於引導光的散射方向，用來提高面板的輝度，並確保面板亮度的均勻性，因此導光板的設計與製造攸關背光模組光學設計與輝度之控制，為背光模組最主要的技術所在。

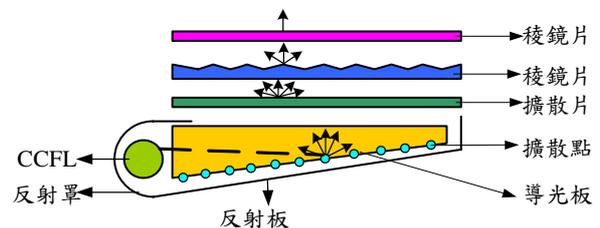


圖 1 背光模組示意圖

導光板製作方式主要可以區分為兩大類：1. 印刷式 2. 非印刷式。印刷式導光板具有開發成本低及生產快速的優點，技術層次較低且成熟，因此目前多數國內廠商仍採用印刷式製程來生產導光板，印刷式通常被選用在平板裁切的導光版中，主要運用在 10 吋以上的顯示器、筆記型電腦或液晶電視上。非印刷式則是以模具射出含有微特徵設計的導光板，雖然技術難度較高，但結構較為精密且輝度表現優異，同時可整合稜鏡片於導光板的上側，減少製程步驟，降低生產成本，在中小尺寸或 NoteBook 用導光板的製造上已逐漸成為主流。而模仁上微特徵之製造方法主要有以下幾種：(1) 噴砂 (Sandblasting)：將網點直接噴在導光

¹ 主要聯絡作者。

板模具上，產生光擴散的表面；(2)蝕刻(Etching)：此製程乃將大小 40-50 (μm)網點分布圖樣，以感光性油墨或乾膜光阻轉印於鏡面處理之模具上，以蝕刻液在模具上進行化學蝕刻，以產生半球狀的擴散凸點[1][2]；(3)微切削加工(slot-cut)：用鑽石刀在模具鋼上切削出溝寬 50-200 (μm)、深度 15-100 (μm)的 V 形長溝結構；(4)UV-LIGA 製作模仁薄板取代(Stamper)：應用類微光刻電鑄製造(LIGA-like)的方式[3]，將網點或微鏡面圖樣利用類似半導體之光罩曝光顯影方法轉印在光阻膜上，或者是再加熱至玻璃轉換溫度[4][7]，使光阻表面熱熔形成圓滑之半球狀或半圓柱結構，再濺鍍或蒸鍍一層金屬作為電鑄起始層，以電鑄方式在光阻圖案上沉積出模仁薄板取代(Stamper)(圖 2)。以微影電鑄製作薄板取代，由於可以光罩方式設計特徵尺寸與分佈，相當適合配合導光板設計進行輝度與均勻性設計的最佳化。

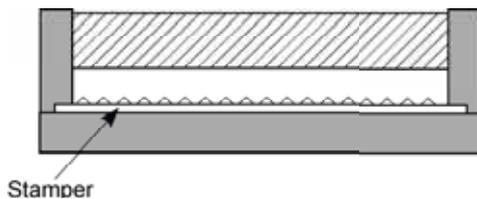


圖 2 薄板取代模具示意圖

導光板微特徵的形狀、大小、排列方式及網點密度分佈，直接影響平面顯示器輝度與均勻度。為達到均勻出光的效果，特徵的分佈設計是導光板設計之重點。然而如何設計出高輝度與高均勻度的背光模組，是導光板製作過程當中相當重要的，國內有相當多相關的研究分析特徵的形狀與分佈對導光板光學特性的影響；施志柔[6]以數值模擬方式來建立擴散點的散射模型及討論導光板的形狀。蘇紹安[7]則針對非印刷式背光模組來進行光學的模擬與分析。蔣宗樹[8]則使用 Trace Pro 套裝軟體來設計前光模組及背光模組的 V-cut 分佈。

基於導光板採用 V 形長溝，可藉由寬度及深度的變化，調整出光面的光學分布，此特徵的優點為圖案簡單，易於結合光學模擬分析，進行圖案分佈的設計，具有較高的準確性，因此在非印刷式導光板的製

作上，具有相當大的潛力。一般 V-CUT 模具的製作採用高速鑽石刀，直接在模具鋼上銑削出 V 形長溝。但需經由適當的寬度分佈設計，以避免干涉條紋的產生，而模具開發技術為瓶頸所在，高速鑽石刀切削機台與加工成本高昂，不同的溝槽深度與角度，需要特定的鑽石刀具，一般溝寬為 50-200 (μm)，最小溝寬雖可聲稱達 1 (μm)，但刀具的磨損直接影響到 V-CUT 的製作精度，加工控制困難，不易用在不同溝寬的組合設計中。

本文將提出一種新型模仁薄板取代(Stamper)的製程，進行導光板的設計與製造。以矽基板非等向性蝕刻製作 V-cut 與錐狀微結構，利用矽晶圓[111]面蝕刻停止的特性，製作高重複性與高精度的精密 V 形溝槽與錐狀微結構，再藉由微電鑄製作精密的 V 形溝槽與錐狀微模仁薄板取代。並採用 Trace-Pro 軟體進行光學模擬，進行溝槽分佈的設計，以期達到導光板設計的最佳化。

2. 矽基蝕刻與微電鑄於導光板模仁製作

本研究採用矽基化學濕蝕刻作為微特徵產生的中介層[11]，利用矽晶圓[111]面蝕刻停止的特性，可製作高重複性與高精度的 V 形溝槽結構，特徵大小由微影的精度決定，所以容易應用於不同溝寬的設計。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。再濺鍍或蒸鍍一層金屬薄膜作為微結構的電鑄起始層，以鎳基金屬與鎳鎂合金沈積，再以濕蝕刻去除矽基材，便可產生模仁薄板取。詳細的流程圖如圖 3 所示。

2.1 非等向矽基蝕刻蝕刻

矽晶圓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[9]。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 V 形槽角度為 70.5° ，而 {110} 晶圓上蝕刻的 V 形槽角度為 109.5° (圖 4)。蝕刻表面由於為晶格面，而蝕刻形狀在 [111]面自然停止，特徵大小由微影的精度決定，一般可達

2(μm), 且角度非常準確, 表面粗糙度也可達到奈米等級。

本研究採用 KOH 搭配氮化矽作為蝕刻保護層, 以微影配合 RIE 定義蝕刻圖形, KOH 濃度為 30%, 蝕刻液加熱至 80°C , 並採取超音波振盪器作為攪拌的方式, 以提高蝕刻速率至 $80\mu\text{m/hr}$, 蝕刻結果以尺寸最小的 $5\mu\text{m}$ 進行 SEM 拍攝來做觀察, 成果如圖 5 所示。

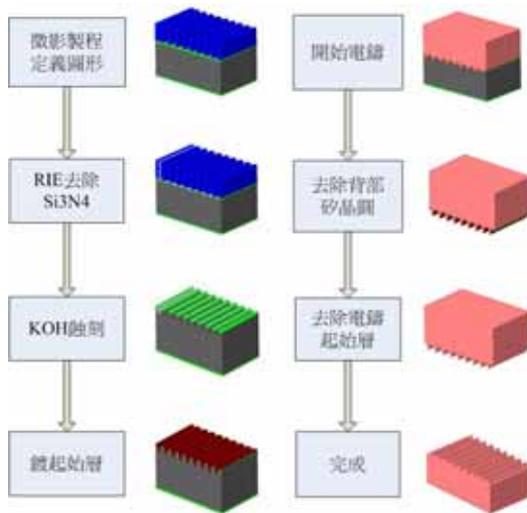


圖 3 薄板取代製作流程圖

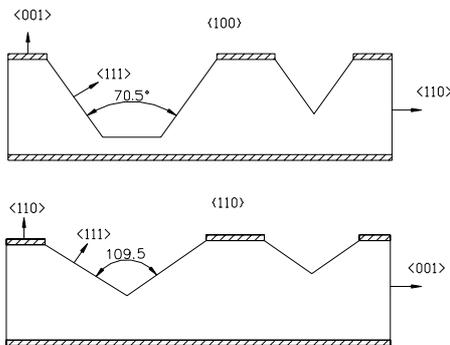


圖 4 {100} 及 {110} 晶圓非等向濕蝕刻面角度關係圖

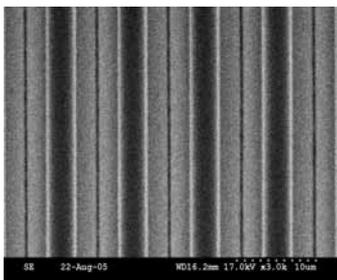


圖 5 SEM 拍攝矽基化學蝕刻 V 形溝槽($5\mu\text{m}$)情形

2.3 微電鍍

將顯影後的光阻模板濺鍍一層鉻, 固定於電鍍槽陰極, 作為電鍍起始層, 欲電鍍之金屬材料(本實驗以鎳 Ni)當作陽極。在微電鍍製程中, 影響電鍍的因素有鍍液成分、電流密度、攪拌、過濾、浴溫、掛具距離、添加劑、PH 值、電流分佈、電流波形等, 皆會影響鍍層的良窳, 必須加以管理與控制。本研究採用的電鍍液為氨基磺酸鎳, 以下為本研究中所遇到的問題與解決方法: (1) 針孔問題: 電鍍過程中, 陰極產生的氫氣泡未脫離於鍍層, 殘留於鍍層中而造成的現象, 可以添加濕潤劑藉降低表面張力以使氫氣泡可以脫離鍍層表面。(2) 尖端放電現象: 電流易聚集於外緣部分, 造成鍍件外緣厚度較內部為厚, 可利用虛設電鍍區或添加平坦劑以達厚度均一之目的。

排除上述問題之後, 在進行微電鍍實驗時, 將可得到成品之表面較為光滑、平整的鑄件, 且鑄件邊緣四周與底部之厚度較為平均, 而電鍍之微結構以 OM 拍攝所得的結果如圖 6 所示, 大致上可看出電鍍過程中, 鎳離子於微結構中沉積的狀況良好, 無電鍍分層或微細節構電鍍不良的情形。以尺寸最小的 $5\mu\text{m}$ 進行 SEM 觀察, 其結果如圖 7 所示。

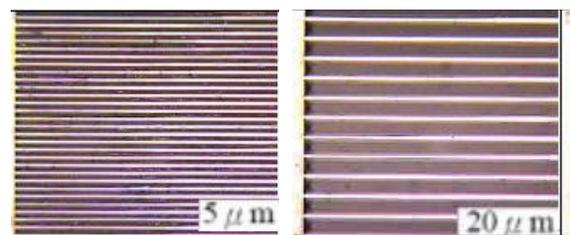


圖 6 微電鍍結構 OM 觀察圖

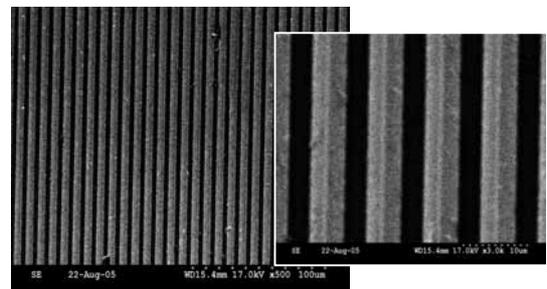


圖 7 蝕刻 V 形溝槽微結構($5\mu\text{m}$)電鍍 SEM 圖

3 導光板設計與分析

由於電鑄起始層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，對導光板輝度與均齊度的影響，探討可行的分佈設計，以便進行導光板設計的最佳化。

3.2 V形槽形狀尺寸

首先，我們先瞭解對於連續V形槽結構，V形槽寬度(W)對於導光板光源分佈的影響。假設在{100}晶圓上蝕刻V形槽，因此角度為 70.5° 。改變溝槽寬度，最小為 $5\mu\text{m}$ ，最大為 $350\mu\text{m}$ ，而溝槽間距(S)固定為 $5\mu\text{m}$ (圖8)，以此參數進行光學分析，其分析結果如圖9。從分析結果發現當改變V型凹槽開口大小時，對於V形凹槽開口越大的總光通量會呈現趨勢向下之變化，即較小的槽寬有助於亮度的提升。

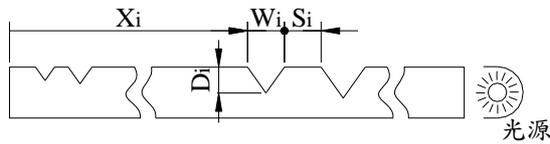


圖8 {100}晶圓蝕刻V形槽尺寸參數

$$\text{蝕刻深度 } D = \frac{W}{\sqrt{2}} \quad (\text{式 } 1)$$

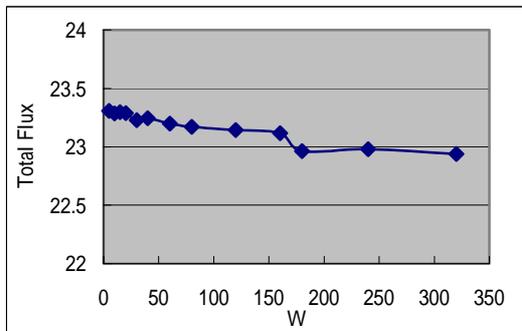


圖9 V-Slot 槽寬尺寸之總光通量分析圖

3.3V形槽之間距對均齊度的影響

由前節分析可知，較小的V形槽寬，有助平均輝度的提升，因此本節固定槽寬為 $5\mu\text{m}$ ，但由圖11(a)可看出將V槽等距分佈，距離燈管較近(右側)的輝度將遠大於離燈管較遠處，造成均齊性不佳。因此本節改變V形槽排列間距，將間距做線性化之變化(如圖10)，離燈管較遠處分佈較密之溝槽，其輝度分析的結果如圖11(b)所示。其輝度的均方根(RMS)值從等距分佈的30257，降到573(W/M)。

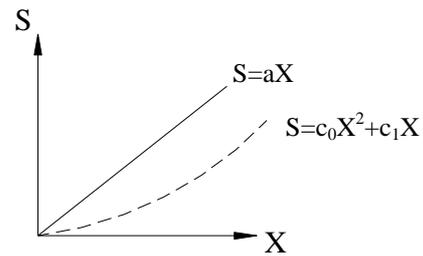


圖10 V槽寬度分佈

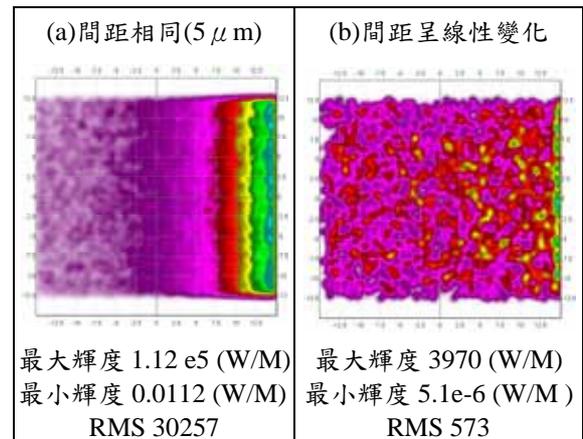


圖11 固定V形槽寬 $5\mu\text{m}$ 改變間距寬度之輝度分佈

3.4 V形槽開口變化對均勻度的影響

太規則的V形溝槽分佈，可能造成干涉條紋，若搭配不同寬度的條紋分佈，將可避免干涉條紋的產生。本節將間距固定為 $5\mu\text{m}$ ，改變V形溝槽之寬度，仿照圖10設計將寬度做線性化之增加，以V形開口為 $5\mu\text{m}$ 尺寸作為最小之變化，越接近光源V形開口之尺寸就會漸漸增加大，將與固定V形開口尺寸為 $40\mu\text{m}$ ，來做分析比較，輝度分析的結果如圖12。由此發現當V形開口尺寸呈線性化之變化時，光源

分佈的均勻性也有明顯的改善。如果能同時改變 V 形槽之分佈密度與寬度，將可使導光板之光線更均勻的出光。

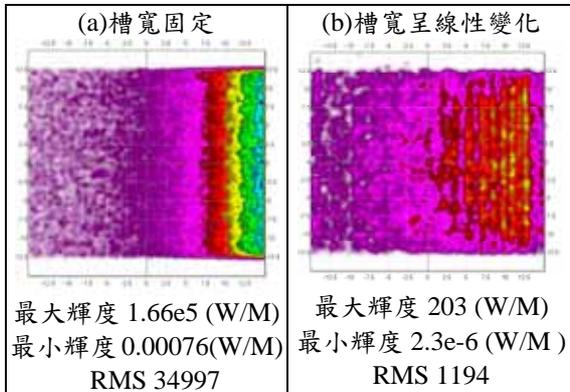


圖 12 改變寬度之輝度示意圖

4. 結論

本研究以矽基板非等向性蝕刻製作 V-cut 與錐狀微結構，利用矽晶圓[111]面蝕刻停止的特性，製作高重複性與高精度的精密 V 形溝槽，再藉由微電鑄製作精密的 V 形溝槽薄板取代。以此方式所製作的模仁，不僅比鑽石刀切削所產生的 V-cut 精度更高，可輕易製作準確的 $2(\mu\text{m})$ 溝槽，在不同溝槽寬度的搭配更具彈性，便於導光板的光學設計。而由 TracePro 光學模擬分析發現，V 形槽開口較小有助於亮度的提升。且 V 形槽之間距做線性化之變化對於光線均齊性遠比相同間距佳，以及 V 形開口尺寸呈線性化之變化時，光源分佈的均勻性與相同之 V 形開口比較也有很明顯的改善，所以若將開口做線性或二次曲線的間距分佈，並搭配不同寬度的條紋分佈，除可得到非常好的均齊性，並可避免干涉的產生，對於未來進行導光板的設計最佳化將有相當大的助益。

未來將配合類神經網路與遺傳演算法進行導光板溝槽設計的最佳化。並結合反射面 V-slot 分佈與出光面的錐狀特徵製作薄板取代，進行一體化的導光板設計。以期達到導光板設計的最佳化，並將以所製作的 Stamper 製作模具，進行導光板的射出成型，作為設計的驗證。

參考文獻

- [1] 陳興華，"LCD 背光模組導光板成型模具精密蝕刻加工技術"，工業材料雜誌 207 期，2004/3。
- [2] 謝文馨，"光阻熱熔微電鑄法與雷射加工蝕刻法應用於導光板模仁製造之研究"，國科會專題研究計畫成果報告，2004, NSC92-2622-E-194-008-CC3.
- [3] 楊啟榮、強玲英、黃奇聲，"微系統 LIGA 製程之精密電鑄技術"，科儀新知，第 21 卷，第 6 期，pp.15-27，2000/6.
- [4] 謝文馨，"光阻熱熔微電鑄法與雷射加工蝕刻法應用於導光板模仁製造之研究"，國科會專題研究計畫成果報告，2004, NSC92-2622-E-194-008-CC3
- [5] H. Yang, C.-K. Chao, M.-K. Wei, C.-P. Lin, "High fill-factor microlens array mold insert fabrication using a thermal reflow process," Journal of Micromechanics and Microengineering 14, no. 6, pp. 1197-1204, 2004
- [6] 施至柔，背光模組光學模擬技術，交通大學碩士論文，1998
- [7] 蘇紹安，非印刷式背光模組光學模擬分析，中華大學碩士論文，2001
- [8] 蔣宗樹，導光板導光設計之研究，中原大學系碩士論文，2003
- [9] 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.
- [10] 微機電系統技術與應用，國科會精儀中心，全華，民 92, p87
- [11] Shih-Chou Chen, et al., "Light guide and stamper production method", 2003/1/30, US pattern application 0020189

Combining Anisotropic Etching and Micro-Electroforming to the Stamper Fabrication of Precision LCD Light Guiding Plates

J.C. Yu, P.J. Li, W.H. Jiang, Y.T. Gee

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

Light-guide plates (LGP) are key components of the backlight module in Liquid Crystal Display (LCD) panels. The function of LGP is to transform and guide a point or line light source to a plane light with high illuminant intensity and uniformity. Because of the requirements of thickness reduction and resolution enhancement of LCD displayer, the reflecting microstructure of LGP is miniaturized to micron levels, which increases fabrication difficulty. This paper proposes a novel procedure combining anisotropic silicon etching and micro electroforming to fabricate the precision molding stamper. Because the geometry of the fabricated feature using anisotropic wet etching is defined by the [111] crystal plane, the accuracy and the surface characteristics of the micro features such as micro V-slots and prisms are extremely high. The size of the feature can be easily controlled by the mask design. After sputtering a thin metal film as the initial layer, the micro features on the silicon can be transcribed to a Ni-based stamper using electroforming. The stamper has a greater cost advantage and a higher accuracy than the V-cut using mechanical machining. This study then applies the simulation program TracePro to analyze the pattern design of LGP using the proposed V-slot fabrication method. By varying the width of the V-slot and the space between V-slots, we can not only enhance illuminant intensity and

uniformity, but also avoid possible diffraction patterns. The proposed procedure provides a better flexibility using different combination of slot widths, which can better realize the pattern design optimization of LGP.

Key words: Light Guide Plate, Optimization, Silicon wet etching, Stamper, Electroforming, LIGA

聯絡人

余志成，高雄第一科技大學機械與自動化工程系
副教授，高雄市楠梓區 811 卓越路 2 號，電話：
+886-7-6011000 分機 2228，傳真：+886-7-6011066，
Email: jcyu@ccms.nkfust.edu.tw