

# 目 錄

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第一章 緒論-----                     | 1  |
| 1.1 研究背景-----                   | 1  |
| 1.2 文獻介紹-----                   | 2  |
| 1.3 研究動機-----                   | 13 |
| 1.4 研究目的與方法-----                | 15 |
| 第二章 微透鏡陣列的切削加工-----             | 17 |
| 2.1 微透鏡陣列的各種切削加工方式-----         | 17 |
| 2.2 微透鏡陣列的鉋削製作-----             | 19 |
| 第三章 微透鏡陣列鉋削的刀具路徑創成與透鏡的形狀精度----- | 23 |
| 3.1 鉋削的刀具路徑創成-----              | 23 |
| 3.2 非球面微透鏡陣列鉋削-----             | 39 |
| 第四章 微透鏡陣列鉋削的表面特性-----           | 44 |
| 4.1 鉋削微透鏡的特性-----               | 44 |
| 4.2 透鏡鉋削之表面特性實驗-----            | 48 |
| 4.3 鉋削透鏡實驗的結果-----              | 56 |
| 4.4 鉋削透鏡實驗結果的討論-----            | 63 |
| 第五章 結論與未來展望-----                | 65 |
| 5.1 結論-----                     | 65 |

|   |    |
|---|----|
| 5.2 未來展望-----                                     | 67 |
| 參考文獻-----   | 69 |
| 附錄 A 透鏡 X 軸方向切削位置與刀具的面傾斜角及逃隙角之間切削<br>接觸角度計算圖----- | 72 |
| 附錄 B 鉋削完成的微透鏡形狀精度及粗度量測報告-----                     | 77 |



## 符號表

H：最大表面粗糙度

$\alpha$ ：逃隙角

$\beta$ ：面傾斜角

$\gamma$ ：切削角

f：進給量

$R_1$ ：鏡片曲面半徑

K：圓錐常數

$X_{abs}$ ：鉋削鏡片時，程式 NC 碼的 X 軸絕對座標值

$Y_{abs}$ ：鉋削鏡片時，程式 NC 碼的 Y 軸絕對座標值

$Z_{abs}$ ：鉋削鏡片時，程式 NC 碼的 Z 軸絕對座標值

$X_0$ ：NC 程式碼的加工原點到所設定之第一顆鏡片的 X 軸圓心之距離

$Y_0$ ：NC 程式碼的加工原點到所設定之第一顆鏡片的 Y 軸圓心之距離

$\delta_c$ ：鏡片陣列的行距

$\delta_r$ ：鏡片陣列的列距

$N_{cn}$ ：鏡片陣列第 n 行

$N_{cr}$ ：鏡片陣列第 n 列

$\Delta Y$ ：透鏡 Y 軸之下一點切削距離

$\Delta Z$ ：透鏡 Z 軸之下一點切削距離

$Y'$ ：加工機 Y 軸的刀具實際切削位置

$Z'$  : 加工機  $Z$  軸的刀具實際切削位置

$Y_0$  : 加工機  $Y$  軸程式原點位置

$Z_0$  : 加工機  $Z$  軸程式原點位置

$\bar{r}_w$  : 刀具與鏡片的接觸點

$\bar{r}_p$  : 圓弧刀刃的中心點

$\bar{n}$  : 鏡片表面上的法線向量

$\bar{t}$  : 鏡片表面上的切線向量

$T_r$  : 圓弧刀刃的半徑

RPM : 主軸轉速

DNC : 刀具路徑程式 NC 碼以線上傳輸模式，傳送到加工機控制器上

$R_t$  : 鏡片的形狀精度曲線由最高至低之差值

$R_a$  : 鏡片的表面平均粗糙度



## 表目錄

|   |    |
|---|----|
| 表 1-1 使用超精密加工技術製作而成的透鏡及其用途-----                       | 9  |
| 表 2-1 Toshiba ULG-100C(H <sup>3</sup> ) 加工機之主要規格----- | 19 |
| 表 2-2 各種刀具材質的特性比較表-----                               | 21 |
| 表 2-3 鉋削透鏡實驗使用的刀具切削角度表-----                           | 21 |
| 表 3-1 Form talysurf(S5)基本規格-----                      | 36 |
| 表 3-2 初次鉋削微透鏡所使用的加工條件-----                            | 39 |
| 表 4-1 鉋削平面的加工條件-----                                  | 49 |
| 表 4-2 鉋削透鏡實驗的加工條件-----                                | 53 |
| 表 4-3 使用不同的加工條件鉋削完成的微透鏡形狀精度比較表-                       | 57 |
| 表 4-4 透鏡 X 軸方向粗度的變化比較表-----                           | 58 |
| 表 4-5 透鏡 Y 軸方向粗度的變化比較表-----                           | 58 |

## 圖目錄

|   |    |
|---|----|
| 圖 1-1 以微擠壓法製作微透鏡陣列的示意圖-----                                   | 3  |
| 圖 1-2 以熔融光阻式製作微透鏡陣列法的示意圖-----                                 | 4  |
| 圖 1-3 以乾式離子蝕刻法將透鏡形狀轉換至基板中-----                                | 5  |
| 圖 1-4 lens-like 結構，使用矽基材當母模，利用微影蝕刻方式得到模仁，灌入塑膠基材得到微透鏡陣列結構----- | 5  |
| 圖 1-5 以液滴射出式製作微透鏡陣列示意圖-----                                   | 6  |
| 圖 1-6 以光熱法製作微透鏡陣列示意圖-----                                     | 7  |
| 圖 1-7 加工機總合加工精度的演進圖-----                                      | 8  |
| 圖 1-8 柯達的第一台數位相機的鏡頭組成示意圖-----                                 | 9  |
| 圖 1-9 鑽石結晶面不同時之耐磨特性-----                                      | 10 |
| 圖 1-10 常用的鑽石工具的形狀-----  | 11 |
| 圖 1-11 理想粗糙度計算方式-----   | 12 |
| 圖 1-12 理想切削表面粗度和實驗值-----                                      | 12 |
| 圖 1-13 進行超精密加工的考量要素-----                                      | 13 |
| 圖 1-14 刀具鉋削角度示意圖-----   | 15 |
| 圖 2-1 以磨削加工方式製作微透鏡陣列示意圖-----                                  | 18 |
| 圖 2-2 以鉋削加工方式製作微透鏡陣列示意圖-----                                  | 18 |
| 圖 2-3 東芝機械 ULG-100C(H <sup>3</sup> )超精密加工機的外觀圖-----           | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 圖 2-4 ULG-100C(H <sup>3</sup> )加工機各加工軸向的說明圖----- | 20 |
| 圖 2-5 鉋削透鏡用的單晶鑽石刀具角度設計圖-----                     | 21 |
| 圖 3-1 鉋削微透鏡陣列加工時刀具移動方式示意圖-----                   | 23 |
| 圖 3-2 鉋削時刀具的高度會隨著透鏡的曲面形狀變化而移動---                 | 23 |
| 圖 3-3 非球面公式計算之示意圖-----                           | 24 |
| 圖 3-4 透鏡陣列座標系示意圖-----                            | 25 |
| 圖 3-5 刀刀圓弧鉋削點位置補償示意圖-----                        | 26 |
| 圖 3-6 刀具路徑示意圖(CC 點)-----                         | 27 |
| 圖 3-7 刀具補償後的路徑示意圖-----                           | 27 |
| 圖 3-8 鉋削微透鏡陣列之刀具路徑產生軟體主架構流程圖-----                | 28 |
| 圖 3-9 鉋削微透鏡陣列的刀具路徑計算軟體的程式主畫面-----                | 30 |
| 圖 3-10 產生鉋削微透鏡陣列的刀具路徑 NC 程式碼-----                | 31 |
| 圖 3-11 儲存刀具路徑的加工 NC 程式碼檔案-----                   | 32 |
| 圖 3-12 透鏡鉋削加工時所用的治具設計圖-----                      | 33 |
| 圖 3-13 長焦距顯微鏡外觀圖-----                            | 35 |
| 圖 3-14 使用長焦顯微鏡觀察鉋削微透鏡陣列時狀況-----                  | 35 |
| 圖 3-15 Form Talysurf 形狀精度與粗度量測儀外觀圖-----          | 36 |
| 圖 3-16 量測透鏡基材直線圓弧深度-----                         | 37 |
| 圖 3-17 量測刀刀圓弧 R 值-----                           | 37 |

|        |                              |    |
|--------|------------------------------|----|
| 圖 3-18 | 鉋削完成的直線圓弧外形-----             | 37 |
| 圖 3-19 | 用光學顯微鏡量測計算實際鉋削長度的距離-----     | 39 |
| 圖 3-20 | 微透鏡 X 軸方向的形狀精度-----          | 40 |
| 圖 3-21 | 微透鏡 Y 軸方向的形狀精度-----          | 40 |
| 圖 3-22 | 微透鏡 X 軸方向前半部表面粗糙度-----       | 41 |
| 圖 3-23 | 微透鏡 X 軸方向後半部表面粗糙度-----       | 41 |
| 圖 3-24 | 微透鏡 Y 軸方向前半部表面粗糙度-----       | 41 |
| 圖 3-25 | 微透鏡 Y 軸方向後半部表面粗糙度-----       | 42 |
| 圖 3-26 | 微透鏡 Y 軸方向後半部的表面粗糙度微觀圖-----   | 42 |
| 圖 3-27 | 非球面微透鏡陣列單一顆外觀圖-----          | 42 |
| 圖 3-28 | 鉋削完成後的非球面微透鏡陣列(1x6)的外觀圖----- | 43 |
| 圖 4-1  | 加工室溫度變化量測圖-----              | 44 |
| 圖 4-2  | 加工機 Z 軸位置受加工室溫度變化之影響圖-----   | 45 |
| 圖 4-3  | 超精密加工機加裝隔離罩之後加工機周圍溫度變化圖---   | 47 |
| 圖 4-4  | 使用隔離設備之後 Z 軸受溫度的後所產生的位置變化量-- | 47 |
| 圖 4-5  | 加工機使用隔離罩時鉋削平面的精度圖-----       | 48 |
| 圖 4-6  | 加工機有使用隔離罩來鉋削平面的精度圖-----      | 48 |
| 圖 4-7  | 平面鉋削後之表面粗糙度-----             | 50 |
| 圖 4-8  | 平面鉋削後之表面粗糙度-----             | 51 |



|   |    |
|---|----|
| 圖 4-9 平面鉋削後之表面粗糙度-----                          | 51 |
| 圖 4-10 平面鉋削後之表面粗糙度-----                         | 51 |
| 圖 4-11 使用旋轉平台調整透鏡 X 軸與探針的平行度-----               | 52 |
| 圖 4-12 使用不同的面傾斜角及逃隙角的刀具，鉋削平面後的表面粗<br>度的變化圖----- | 52 |
| 圖 4-13 進行鉋削微透鏡實驗時所使用的刀具外觀圖-----                 | 54 |
| 圖 4-14 刀具編號 PF-2X963 及 PF-3Z2347 的精度檢驗表-----    | 55 |
| 圖 4-15 刀具與透鏡的鉋削接觸角示意圖-----                      | 56 |
| 圖 4-16 計算鉋削透鏡時，刀具與透鏡切削接觸角度變化軟體主畫<br>面-----      | 56 |
| 圖 4-17 微透鏡的 X 軸方向量測表面粗糙度的區分圖-----               | 58 |
| 圖 4-18 各鉋削實驗的透鏡 X 軸及 Y 軸方向形狀精度比較圖-----          | 59 |
| 圖 4-19 各鉋削實驗的透鏡 X 軸方向表面粗度變化比較圖-----             | 59 |
| 圖 4-20 各鉋削實驗的透鏡 Y 軸方向表面粗度變化比較圖-----             | 59 |
| 圖 4-21 以光學顯微鏡拍攝鉋削實驗一的微透鏡成品圖-----                | 60 |
| 圖 4-22 以光學顯微鏡拍攝鉋削實驗二的微透鏡成品圖-----                | 60 |
| 圖 4-23 以光學顯微鏡拍攝鉋削實驗三的微透鏡成品圖-----                | 60 |
| 圖 4-24 以光學顯微鏡拍攝鉋削實驗四的微透鏡成品圖-----                | 61 |
| 圖 4-25 以光學顯微鏡拍攝鉋削實驗五的微透鏡成品圖-----                | 61 |

|        |  |         |
|--------|--|---------|
| 圖 4-26 | 以光學顯微鏡拍攝鉋削實驗六的微透鏡成品圖                   | -----61 |
| 圖 4-27 | 以光學顯微鏡拍攝鉋削實驗七的微透鏡成品圖                   | -----61 |
| 圖 4-28 | 以光學顯微鏡檢查單晶鑽石刀具使用前的狀況                   | -----62 |
| 圖 4-29 | 以光學顯微鏡檢查單晶鑽石刀具使用後的狀況                   | -----62 |
| 圖 A1   | 鉋削實驗一：透鏡鉋削時與刀具的法線向量角度                  | -----72 |
| 圖 A2   | 鉋削實驗一：透鏡鉋削時與刀具的切線向量角度                  | -----72 |
| 圖 A3   | 鉋削實驗二：透鏡鉋削時與刀具的法線向量角度                  | -----73 |
| 圖 A4   | 鉋削實驗二：透鏡鉋削時與刀具的切線向量角度                  | -----73 |
| 圖 A5   | 鉋削實驗三：透鏡鉋削時與刀具的法線向量角度                  | -----73 |
| 圖 A6   | 鉋削實驗三：透鏡鉋削時與刀具的切線向量角度                  | -----74 |
| 圖 A7   | 鉋削實驗四：透鏡鉋削時與刀具的法線向量角度                  | -----74 |
| 圖 A8   | 鉋削實驗四：透鏡鉋削時與刀具的切線向量角度                  | -----74 |
| 圖 A9   | 鉋削實驗五：透鏡鉋削時與刀具的法線向量角度                  | -----75 |
| 圖 A10  | 鉋削實驗五：透鏡鉋削時與刀具的切線向量角度                  | -----75 |
| 圖 A11  | 鉋削實驗六：透鏡鉋削時與刀具的法線向量角度                  | -----75 |
| 圖 A12  | 鉋削實驗六：透鏡鉋削時與刀具的切線向量角度                  | -----76 |
| 圖 A13  | 鉋削實驗七：透鏡鉋削時與刀具的法線向量角度                  | -----76 |
| 圖 A14  | 鉋削實驗七：透鏡鉋削時與刀具的切線向量角度                  | -----76 |
| 圖 B1   | 透鏡 X 軸形狀精度 ( $R_t=0.2405\mu\text{m}$ ) | -----77 |

|   |         |
|---|---------|
| 圖 B2 透鏡 Y 軸形狀精度( $R_t=0.3183\mu\text{m}$ )    | -----77 |
| 圖 B3 透鏡 X 軸 A 區域表面粗糙度( $R_a=17.9\text{nm}$ )  | -----77 |
| 圖 B4 透鏡 X 軸 B 區域表面粗糙度( $R_a=16.0\text{nm}$ )  | -----78 |
| 圖 B5 透鏡 X 軸 C 區域表面粗糙度( $R_a=23.1\text{nm}$ )  | -----78 |
| 圖 B6 透鏡 X 軸 D 區域表面粗糙度( $R_a=23.1\text{nm}$ )  | -----78 |
| 圖 B7 透鏡 Y 軸前半部表面粗糙度( $R_a=16.4\text{nm}$ )    | -----79 |
| 圖 B8 透鏡 Y 軸後半部表面粗糙度( $R_a=16.4\text{nm}$ )    | -----79 |
| 圖 B9 透鏡 X 軸形狀精度( $R_t=0.2153\mu\text{m}$ )    | -----80 |
| 圖 B10 透鏡 Y 軸形狀精度( $R_t=0.2665\mu\text{m}$ )   | -----80 |
| 圖 B11 透鏡 X 軸 A 區域表面粗糙度( $R_a=16.9\text{nm}$ ) | -----80 |
| 圖 B12 透鏡 X 軸 B 區域表面粗糙度( $R_a=15.2\text{nm}$ ) | -----81 |
| 圖 B13 透鏡 X 軸 C 區域表面粗糙度( $R_a=16.8\text{nm}$ ) | -----81 |
| 圖 B14 透鏡 X 軸 D 區域表面粗糙度( $R_a=19.4\text{nm}$ ) | -----81 |
| 圖 B15 透鏡 Y 軸前半部表面粗糙度( $R_a=17.7\text{nm}$ )   | -----82 |
| 圖 B16 透鏡 Y 軸後半部表面粗糙度( $R_a=17.7\text{nm}$ )   | -----82 |
| 圖 B17 透鏡 X 軸形狀精度( $R_t=0.2636\mu\text{m}$ )   | -----83 |
| 圖 B18 透鏡 Y 軸形狀精度( $R_t=0.3863\mu\text{m}$ )   | -----83 |
| 圖 B19 透鏡 X 軸 A 區域表面粗糙度( $R_a=24.9\text{nm}$ ) | -----83 |
| 圖 B20 透鏡 X 軸 B 區域表面粗糙度( $R_a=16.6\text{nm}$ ) | -----84 |

|       |   |         |
|-------|---|---------|
| 圖 B21 | 透鏡 X 軸 C 區域表面粗糙度( $R_a=26.5\text{nm}$ ) | -----84 |
| 圖 B22 | 透鏡 X 軸 D 區域表面粗糙度( $R_a=29.3\text{nm}$ ) | -----84 |
| 圖 B23 | 透鏡 Y 軸前半部表面粗糙度( $R_a=23.4\text{nm}$ )   | -----85 |
| 圖 B24 | 透鏡 Y 軸後半部表面粗糙度( $R_a=23.5\text{nm}$ )   | -----85 |
| 圖 B25 | 透鏡 X 軸形狀精度( $R_t=0.1816\mu\text{m}$ )   | -----86 |
| 圖 B26 | 透鏡 Y 軸形狀精度( $R_t=0.2536\mu\text{m}$ )   | -----86 |
| 圖 B27 | 透鏡 X 軸 A 區域表面粗糙度( $R_a=11.8\text{nm}$ ) | -----86 |
| 圖 B28 | 透鏡 X 軸 B 區域表面粗糙度( $R_a=8.9\text{nm}$ )  | -----87 |
| 圖 B29 | 透鏡 X 軸 C 區域表面粗糙度( $R_a=15.3\text{nm}$ ) | -----87 |
| 圖 B30 | 透鏡 X 軸 D 區域表面粗糙度( $R_a=14.8\text{nm}$ ) | -----87 |
| 圖 B31 | 透鏡 Y 軸前半部表面粗糙度( $R_a=22.2\text{nm}$ )   | -----88 |
| 圖 B32 | 透鏡 Y 軸後半部表面粗糙度( $R_a=18.4\text{nm}$ )   | -----88 |
| 圖 B33 | 透鏡 X 軸形狀精度( $R_t=0.2836\mu\text{m}$ )   | -----89 |
| 圖 B34 | 透鏡 Y 軸形狀精度( $R_t=0.4202\mu\text{m}$ )   | -----89 |
| 圖 B35 | 透鏡 X 軸 A 區域表面粗糙度( $R_a=20.0\text{nm}$ ) | -----89 |
| 圖 B36 | 透鏡 X 軸 B 區域表面粗糙度( $R_a=10.0\text{nm}$ ) | -----90 |
| 圖 B37 | 透鏡 X 軸 C 區域表面粗糙度( $R_a=29.3\text{nm}$ ) | -----90 |
| 圖 B38 | 透鏡 X 軸 D 區域表面粗糙度( $R_a=24.2\text{nm}$ ) | -----90 |
| 圖 B39 | 透鏡 Y 軸前半部表面粗糙度( $R_a=21.9\text{nm}$ )   | -----91 |

|       |   |         |
|-------|---|---------|
| 圖 B40 | 透鏡 Y 軸後半部表面粗糙度( $R_a=27.0\text{nm}$ )   | -----91 |
| 圖 B41 | 透鏡 X 軸形狀精度( $R_t=0.2583\mu\text{m}$ )   | -----92 |
| 圖 B42 | 透鏡 Y 軸形狀精度( $R_t=0.4357\mu\text{m}$ )   | -----92 |
| 圖 B43 | 透鏡 X 軸 A 區域表面粗糙度( $R_a=13.6\text{nm}$ ) | -----92 |
| 圖 B44 | 透鏡 X 軸 B 區域表面粗糙度( $R_a=8.8\text{nm}$ )  | -----93 |
| 圖 B45 | 透鏡 X 軸 C 區域表面粗糙度( $R_a=15.2\text{nm}$ ) | -----93 |
| 圖 B46 | 透鏡 X 軸 D 區域表面粗糙度( $R_a=15.4\text{nm}$ ) | -----93 |
| 圖 B47 | 透鏡 Y 軸前半部表面粗糙度( $R_a=25.4\text{nm}$ )   | -----94 |
| 圖 B48 | 透鏡 Y 軸後半部表面粗糙度( $R_a=31.9\text{nm}$ )   | -----94 |
| 圖 B49 | 透鏡 X 軸形狀精度( $R_t=0.4961\mu\text{m}$ )   | -----95 |
| 圖 B50 | 透鏡 Y 軸形狀精度( $R_t=0.5514\mu\text{m}$ )   | -----95 |
| 圖 B51 | 透鏡 X 軸 A 區域表面粗糙度( $R_a=22.8\text{nm}$ ) | -----95 |
| 圖 B52 | 透鏡 X 軸 B 區域表面粗糙度( $R_a=11.3\text{nm}$ ) | -----96 |
| 圖 B53 | 透鏡 X 軸 C 區域表面粗糙度( $R_a=34.9\text{nm}$ ) | -----96 |
| 圖 B54 | 透鏡 X 軸 D 區域表面粗糙度( $R_a=46.0\text{nm}$ ) | -----96 |
| 圖 B55 | 透鏡 Y 軸前半部表面粗糙度( $R_a=29.9\text{nm}$ )   | -----97 |
| 圖 B56 | 透鏡 Y 軸後半部表面粗糙度( $R_a=37.7\text{nm}$ )   | -----97 |