

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 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

α ：逃隙角

β ：面傾斜角

γ ：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

δ_c ：鏡片陣列的行距

δ_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

ΔY ：透鏡 Y 軸之下一點切削距離

ΔZ ：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 ³) 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 ³)超精密加工機的外觀圖-----	20

圖 2-4 ULG-100C(H ³)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 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 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