

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

平面研光加工路徑與應用研究

計畫編號：NSC 88-2212-E-032-011

NSC 89-2212-E-032-005

執行期限：88年8月1日至90年7月31日

主持人：劉偉均 私立淡江大學機械系

共同主持人：陳炤彰 國立台灣科技大學機械系

計畫參與人員：簡志偉 淡江大學機械工程研究所

徐振貴 淡江大學機械工程研究所

許厲生 淡江大學機械工程研究所

一、中文摘要

本研究為兩年期計畫案，研究主要目的在於探討各研光路徑加工對工件材料移除量、表面粗糙度及表面平整度的影響以及各研光路徑相互間的研光效果比較。研究方法是將相對速度觀念應用於修正一般化學機械拋光路徑、改良式化學機械拋光路徑、門碎形路徑、圓弧碎形路徑及倒角碎形路徑上，進行各路徑對工件表面粗糙度及平坦度影響的分析，以各路徑在不同尺寸面積工件上加工，第一年以鏡面鋼材料為主，第二年以矽晶圓為材料進行實驗驗證。研究成果除發表相關論文外，"半導體晶圓之磨料加工方法"已獲發明專利核准公告中(申請案號 89115452)，成果將有助於新型研光運動機構的開發，改善未來大尺寸面積工件在平面研光加工中所遭遇到表面粗糙度及平坦度的問題，進而提高研光加工效率及加工精度。

關鍵詞：平面研光、碎形路徑、化學機械拋光

Abstract

This two-year project has three aims to (1) synthesize and analyze different lapping paths, including planetary paths and several fractal lapping paths for lapping processes, (2) perform lapping experiments of metal and silicon wafer workpieces on an modified Automated Surface Finishing System (ASFS), a flat lapping machine (FSP-5B), and (3) evaluate these paths for potential modification of lapping mechanism. The FY89 project was first to derive mathematical models of different lapping paths for estimating the lapping MRR and Nu. Then the ASFS developed before has been added a 4-axis rotational table to run the lapping experiment of steel workpieces by different lapping paths. The FY90 project is mainly

focused on CMP of 4", 6" and 8" silicon wafers. Both simulation and experiment results have shown the flatness of workpiece tends to be worse with increasing lapping area and the fractal lapping paths have been proven to effectively improve the flatness of large lapping area and a patent has been granted for silicon wafer planarization with the developed methods. Furthermore the results can be used for developing the next-generation lapping mechanisms in the future application.

Key word：Flat lapping, Fractal lapping paths, CMP

二、計劃緣由與目的

平面研光應用的範圍相當廣泛，光碟片模具鏡面鋼塊平面加工、矽晶圓的研光及液晶顯示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 玻璃基板的平面研光等。這些材料不僅平坦度要求高，且表面精度通常需達到鏡面。由相關研究得知 [1-2]，研光機作動的機構仍以公轉結合自轉的行星式為主，其運動軌跡為旋轉織動路徑。在許多工件上，因工件旋轉速度裏外不一，且研光過程中磨削力量不均勻，因此，對加工區域而言，溫度變化也成一溫度梯度分佈，往往易造成熱變形，造成研光不良品。由此得知，工件加工面與研光工具在相對運動的平坦度，格外重要。在研光的作業中，材料移除率 (Material Removal Rate) 的大小，直接影響到研光效率的高低，但是必須同時考慮不均勻度 (non-uniformity) 的變化，一般而言，MRR 會隨著研光壓力增加而增加，而 n.u. 會隨著研光壓力增加而降低，但若壓力增加到某一程度時亦會變差。此外，表面粗糙度也會隨著 MRR

增加而變差。在先前的研究成果[3-4]得知程式模擬部分，在均勻度(Nu)及平均粗糙度方面的表現，碎形路徑優於行星式路徑與改良 CMP 路徑，為了使研光品質和效率達到一個平衡點，本研究以新發展的圓弧碎形路徑 (Arc-Fractal tool path, AFT)、 \square 碎形路徑(\square Pattern Fractal tool path, \square FT)、倒角碎形路徑 (Chamfer Fractal tool path, CFT) 利用其“分佈的均勻性”的碎形加工路徑特性，應用於研光加工製程中，期望能改進設計現有研光機作動機構，研發出新型研光機，以提高研光加工之效率及加工精度。

三、結果與討論

圖 1 是一般矽晶圓化學機械拋光方式，圖 2 是本研究針對中小型矽晶圓化學機械拋光方式所提改良方式，圖 3 是針對大型矽晶圓化學機械拋光方式所提改良方式，圖 4 是第一階段實驗加工設備，圖 5 是第二階段加工實驗，圖 6 是研光工具，圖 7 為矽晶圓實驗材料。由實驗結果得以證實，碎形路徑研磨應用於 4”、6”及 8”的金屬材料(表一)及矽晶圓(表二)之平面研光加工時，在 Nu、Ra、 R_{max} 方面的量測值均優於一般 CMP 路徑以及改良式 CMP 路徑，尤以圓弧碎形路徑加工效果最佳，當工件尺寸越大時，效果越明顯。圖 8 至圖 10 為各尺寸晶圓在各路徑下 R_a 值之改善比較，圖 11 為各尺寸晶圓之加工平坦度比較。同時，碎形路徑結合一般均勻密佈軌跡，再加上對 X、Y 方向的平移運動，配合碎形路徑本身所特有的「自我相似性」及「可再分割性」等特性，能在大尺寸面積工件(如 12”及未來 14”矽晶圓)的 CMP 平坦度方面獲得改善。

四、計劃成果自評

本研究計劃執行成果「半導體晶圓之磨料加工方法」已獲得發明專利，現正核准申請中[7]，另發表研討會論文 2 篇[5][6]，訓練碩士學生 4 位，相關論文請詳見參考文獻，另改裝設計氣壓平台，使實驗重現度及結果更準確。於專案執行時與相關廠商如亞泰半導體、浴文公司有密切合作外，目前正積極開發 CMP 拋光墊之加工模式，以期未來將以此一改良製程導入業界，大幅度減少因拋光墊的耗損而提高成本，以達到自給自足的目的。

五、參考文獻

- [1] F. W. Preston, “The Theory and Design of Plate Glass Polishing Machines”, journal of the society of glass technology, 1927, pp.214 ~256.
- [2] Yoshio Mizuzaki, Massfumi Sakamoto, “Fractal Path Generation for a Metal - Mold Polishing Robot System and Its Evaluation by the Operability”, CIRP, Vol.4, January 1992.
- [3] 簡志偉, “平面研光加工路徑分析研究”, 淡江大學機械工程研究所碩士論文, 2000 年 6 月。
- [4] 戴光政, “碎形路徑應用於研光機之應用”, 淡江大學機械工程研究所碩士論文, 1999 年 6 月。
- [5] 劉偉均、簡志偉、戴光政、陳焜彰, “碎形路徑應用於研光加工研究”, 中國機械工程學會第十六屆國學術研討會論文集, 1999 年 12 月, pp.488-495.
- [6] 劉偉均、陳焜彰、簡志偉、徐振貴、許厲生, “平面研光加工分析與矽晶片 CMP 應用”, 中華民國磨粒加工學會季刊第 24 期, 2001 年 8 月, p.10~p.33.
- [7] 陳焜彰、劉偉均, “半導體晶圓之磨料加工方法”, 2000 年, 發明專利(申請案號 89115452)公告核准中。

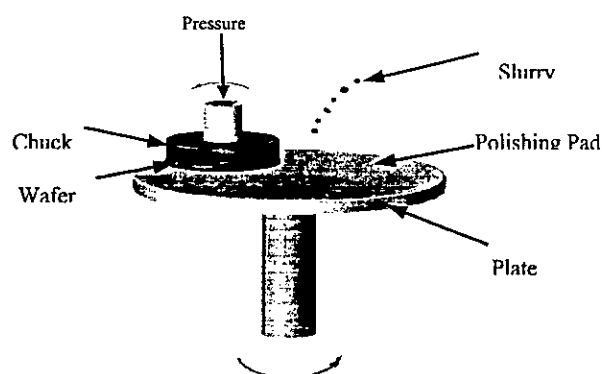


圖 1 一般矽晶圓化學機械拋光方式

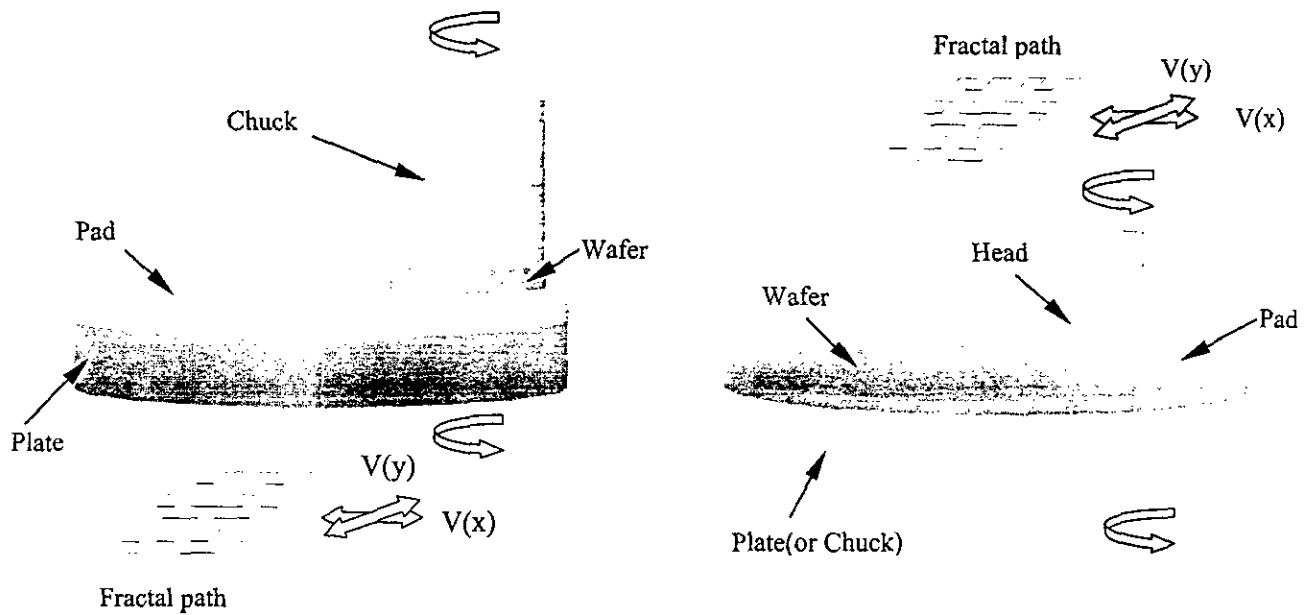


圖 2 中小型矽晶圓 CMP 方式改良方式

表一、金屬工件實驗結果

單位： μm

實驗路徑	$\phi 4 \text{ in}$			$\phi 6 \text{ in}$			$\phi 8 \text{ in}$		
	R_a	R_{\max}	平坦度	R_a	R_{\max}	平坦度	R_a	R_{\max}	平坦度
一般	0.18	2.00	8	0.07	1.34	14	0.12	1.39	40
改良	0.15	2.48	10	0.08	1.24	10	0.12	1.56	35
冂	0.13	1.59	2	0.08	1.29	8	0.09	0.97	20
圓弧	0.12	1.85	10	0.11	1.12	12	0.08	1.47	20
倒角	0.17	2.07	2	0.08	1.08	8	0.14	1.93	25

表二、矽晶圓工件實驗結果

單位： μm

矽晶圓工件	4"	6"	8"
一般 CMP 路徑	0.026	0.0057	0.0028
改良式 CMP 路徑	0.021	0.0053	0.0027
冂碎形路徑	0.032	0.0082	0.0025
圓弧碎形路徑	0.014	0.0064	0.0021
倒角碎形路徑	0.009	0.0079	0.0023

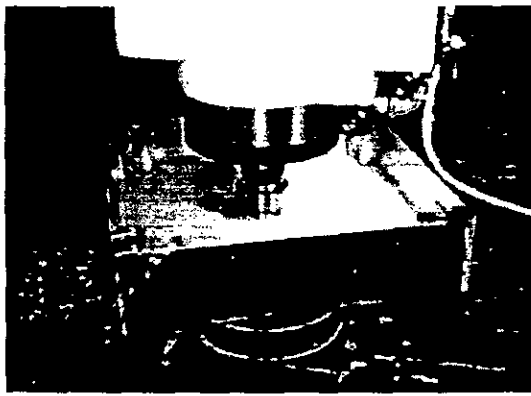


圖 4 第一階段實驗加工設備

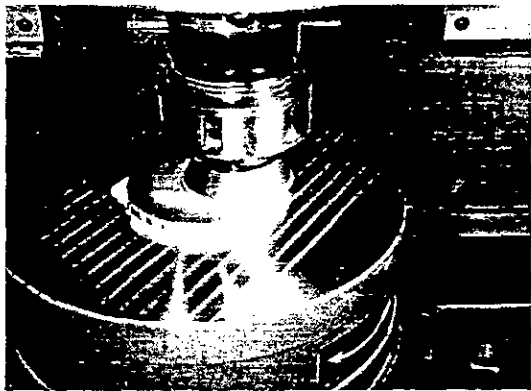


圖 5 第二階段實驗

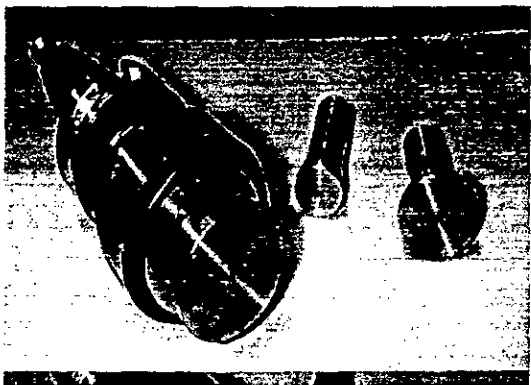


圖 6 研光工具



圖 7 矽晶圓實驗材料

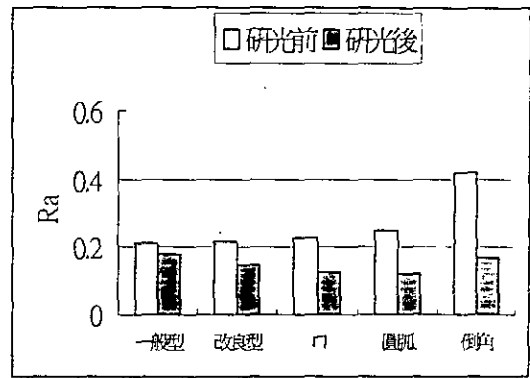


圖 6 各路徑 R_a 改善比較 ($\phi 4''$)

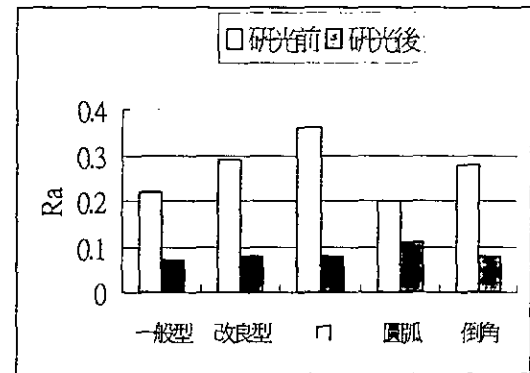


圖 7 各路徑 R_a 改善比較 ($\phi 6''$)

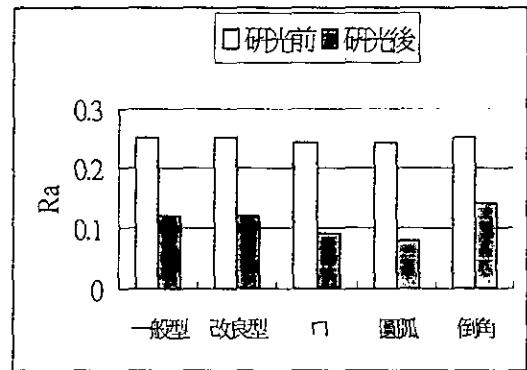


圖 8 各路徑 R_a 改善比較 ($\phi 8''$)

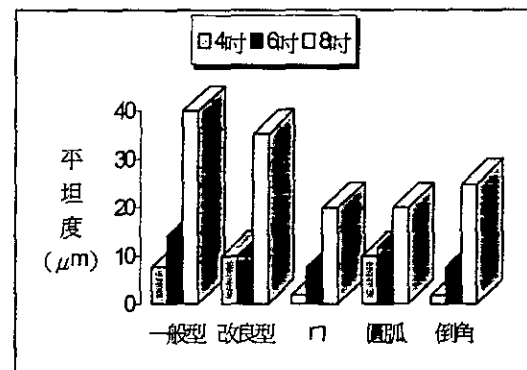


圖 9 各尺寸晶圓加工平坦度比較