

# 磨報

No.06

March, 2023

| 印刷品 | PRINTED MATTER |



世界研磨趨勢指標

## 綠色製造與智慧未來

專訪「銓展精密工業」、「合興精密研磨」

## 讓新生代加入研磨產業

專題報導

## 醫療合金研磨拋光的探討



## 目錄

### 磨拋技術趨勢

- 004 2022後疫情時期的展覽會趨勢 — 綠色製造與智慧未來

### 磨界事件簿

- 010 年度展覽簡表

### 磨人專訪

- 012 研磨工作的健康未來 · 廠房環境改善規劃  
—專訪「合興精密研磨廠」
- 020 如何招募青年人才加入研磨產業  
—專訪「銓展精密工業有限公司」

### 磨法教室

- 028 教育訓練:提升無心研磨品質與精度的關鍵
- 034 教育訓練:拋光輪加工—在表面處理上的應用
- 040 教育訓練:修整器的選用及設定

### 職人專欄

- 048 研削軟質金屬和複合材料的要點是什麼?—日本國寶磨削講師 愛恭輔
- 052 第三代化合物-半導體材料單晶碳化矽的未來—蔡明義 講座教授
- 066 難切削材質的平面研磨經驗談—CANON先生

### 專題報導 | 醫療合金的研磨拋光探討——

- 072 醫療合金研磨常見問題及解決方案
- 076 關於醫療合金與拋光產業的應用與探討
- 082 醫用合金的種類及磨削特性
- 086 微型手術刀成型研磨的問題及解決方案
- 088 如何減少醫用合金拋光後汙染
- 090 EVACH醫用合金研削油

### 解決方案

- 094 玻璃拋光的固定磨料加工法
- 100 T型模具鏡面研磨解決方案
- 103 刀剪刀刃口研磨建議

### 砥礪琢磨問答中心

- 106 Q1 為什麼不鏽鋼研磨容易產生刮傷?
- 108 Q2 精密成型研磨的砂輪如何選擇?
- 110 Q3 適用於鎳合金的砂輪?
- 112 Q4 如何挑選適用於研磨鎢鋼刀具的砂輪?
- 114 Q5 修砂時,修砂的速度如何調配?

### 研磨產業的永續發展

- 116 聯合國SDGs永續發展目標
- 119 砂輪回收媒合活動

# 第三代化合物 半導體材料 單晶碳化矽的未來

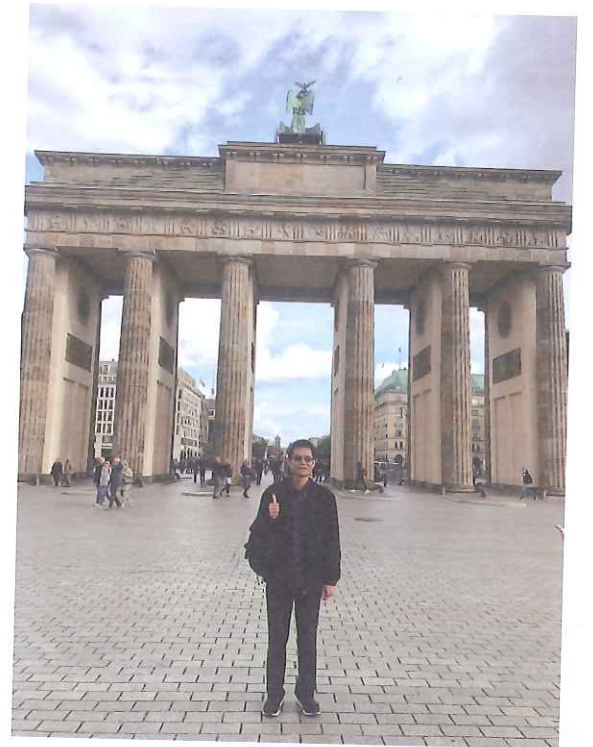
## 新式研磨 / 拋光加工技術

隨著半導體的發展，矽晶片已接近其理論上之物理極限，難以滿足現今社會對於高效能、耐高溫、高功率、微縮技術等需求。第三代半導體材料單晶碳化矽 (single crystal silicon carbide, SiC) 擁有寬能隙、較高的擊穿電場和導熱率、高化學穩定性等優勢 (如表 1 所示)，非常適合用於高溫及高頻 [1-2] 之使用環境，逐漸成為高功率元件、5G 網路、電動車等高價值產品的基本材料。由於單晶碳化矽的高硬度 (9.3-9.4)、低韌性、耐酸蝕、缺損大及容易產

生次表面損 / 刮痕，致使它成為一個難加工材料。另一個第三代半導體材料 - 氮化鎵 (Gallium nitride, GaN) 雖然也有良好的物理特性，但因氮化鎵與矽晶圓的晶格不匹配易生成差排缺陷、功率無法超過一千瓦特等問題必須克服，因此單晶碳化矽材料格外被重視及廣泛使用。本文將針對第三代化合物半導體材料 - 單晶碳化矽之創新研磨拋光加工技術進行整理，並提供未來市場初步的參考依據。

| 特性                        | Si   | 4H-SiC | GaN  |
|---------------------------|------|--------|------|
| 能隙 (eV)                   | 1.1  | 3.3    | 3.4  |
| 遷移率 (cm <sup>2</sup> /Vs) | 1400 | 1000   | 1200 |
| 電擊穿強度 (MV/cm)             | 0.3  | 2.5    | 3.3  |
| 導熱率 (W/cmK)               | 1.5  | 4.9    | 1.3  |

表 1. 半導體材料的物性比較



作者 / 國立勤益科技大學機械工程系  
講座教授兼工學院院長 蔡明義

研究領域以超音波輔助難切削材加工技術與策略、磨粒開發與應用技術、研磨拋光製程開發、智能化加工技術為主，實驗室主要是與國內廠商進行產學合作及技術開發與檢測服務為主。

## 半導體製造流程

半導體製造流程複雜且涵蓋眾多技術之流程(如圖 1.)，其中主要包含四項流程切片(Slicing)、雙面研磨技術(Lapping)、磨削減薄技術(Grinding)及化學機械拋光(Chemical Mechanical Polishing, CMP)。

一般晶圓是由晶柱(Ingot)利用鋼琴線(線徑 100-200  $\mu\text{m}$ ) 加入鑽石研磨液，切成指定厚度。由於在切片時，鋼琴線上的微小鑽石磨粒易造成晶圓表面刮痕，導致表面粗糙度極差且厚度較

不均勻，此時利用雙面研磨去除晶圓的表面瑕疵並達到最佳平坦度。接著磨削減薄晶圓厚度，使其表面粗糙度(Ra)降至 1-3 nm。上述所有製程易於晶圓表面留下次表面損傷 [3] (Sub-surface damage)，需經最後一道製程 CMP，將表面粗度降至 0.1-0.3 nm，以利後續晶圓製程(如磊晶或微影蝕刻)。

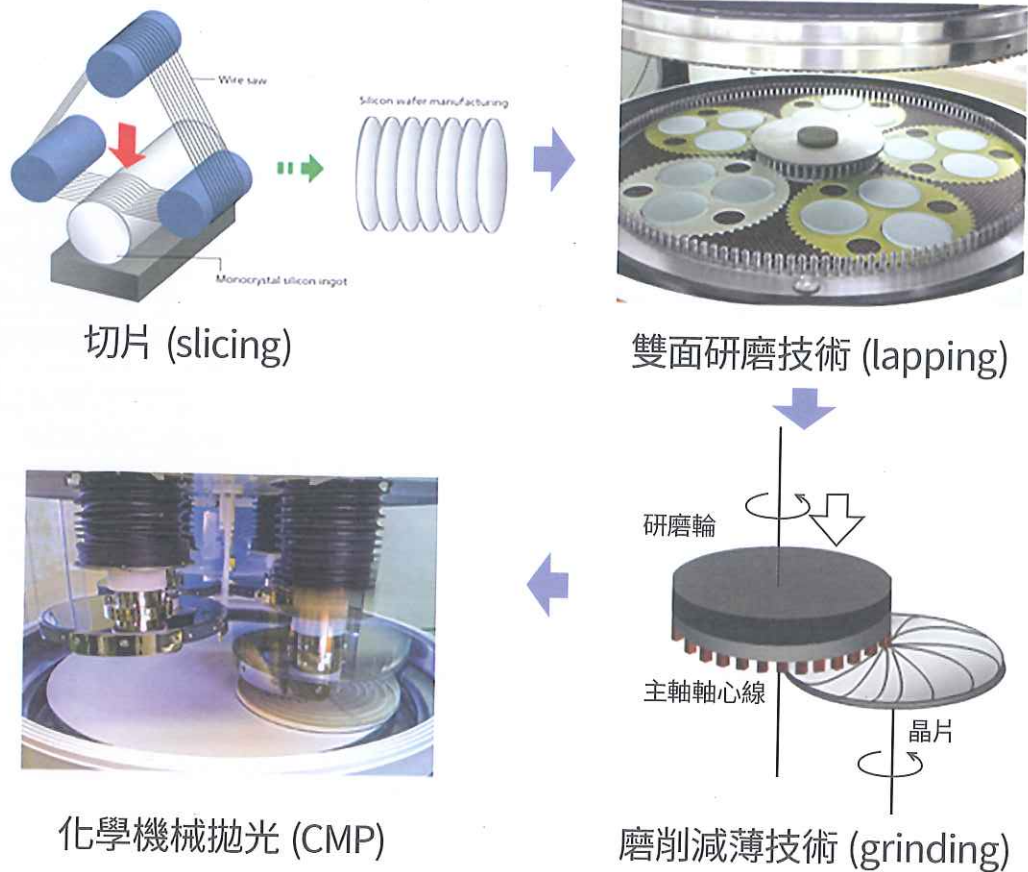


圖 1. 晶圓生產製程

## 傳統矽基晶圓研磨 / 拋光工藝

矽晶圓研磨是利用鑽石砂輪在晶圓上高速磨削，達到快速減薄晶圓厚度，並大幅降低晶圓切片及雙面研磨製成所累加之表面瑕疵，其加工如圖 2 所示。

矽晶圓 CMP 是利用奈米磨料加入拋光液中，並搭配有客製化聚胺酯 (Polyurethane, PU) 拋光墊，微小磨料會流入拋光墊之間隙，經由上、下轉盤旋轉並利用微小磨料將晶圓表面拋光整平(如圖 3 所示)。

第三代半導體材料碳化矽，其硬度僅次於鑽石，傳統研磨 / 拋光加工方法無滿足業界需求。主要的原因是鑽石研磨輪造成的晶片表面缺陷與鑽石線類似，形成橫條切線紋、微裂痕、高缺陷區域，導致最後端化學機械拋光製程 (CMP) 採用 pH3 以下高錳酸鉀拋光液搭配硬質 PU 多孔拋光墊加工 2-4 小時之長時間製程。所以需要有新型加工方式來取代傳統加工。

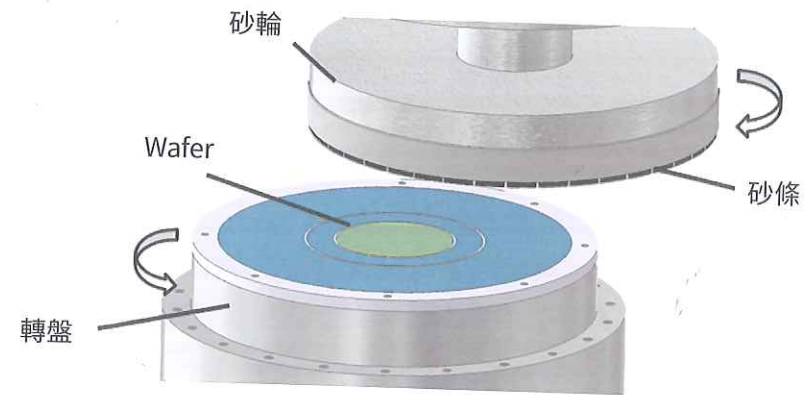


圖 2. 研磨加工示意圖

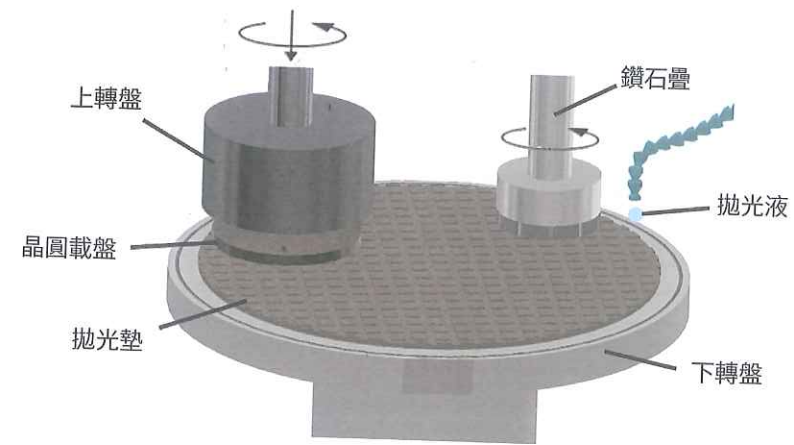


圖 3. CMP 加工示意圖

## 新型研磨工藝

### 非接觸放電輔助研磨 / 減薄技術

根據 2022 年 Guan 等學者 [4] 提出一種利用放電加工技術的晶圓研磨方法，並開發凹槽杯型的銅製砂輪來代替傳統使用的鑽石砂輪。銅製杯輪可作為電極，和晶圓同時旋轉，並施加電壓，於間隙處產生的脈衝微放電熱去除晶圓表面材料，實現非接觸磨削加工。

根據該文獻所述，此技術晶圓經研磨後，可達  $Ra=1.2\text{nm}$ ，並具有較高材料移除率 ( $MRR=11.2\ \mu\text{m}/\text{min}$ )。此外，晶圓次表面損傷大多由放電加工產生之熱損傷層與研磨裂紋組成，其損傷層總厚度為  $4\ \mu\text{m}$ ，並在微放電精加工條件下，通過放電磨削 (electrical discharge grinding, EDG) 減薄，晶圓厚度可達  $30\ \mu\text{m}$ ，其加工後晶圓表面形貌如圖 5、6 所示。

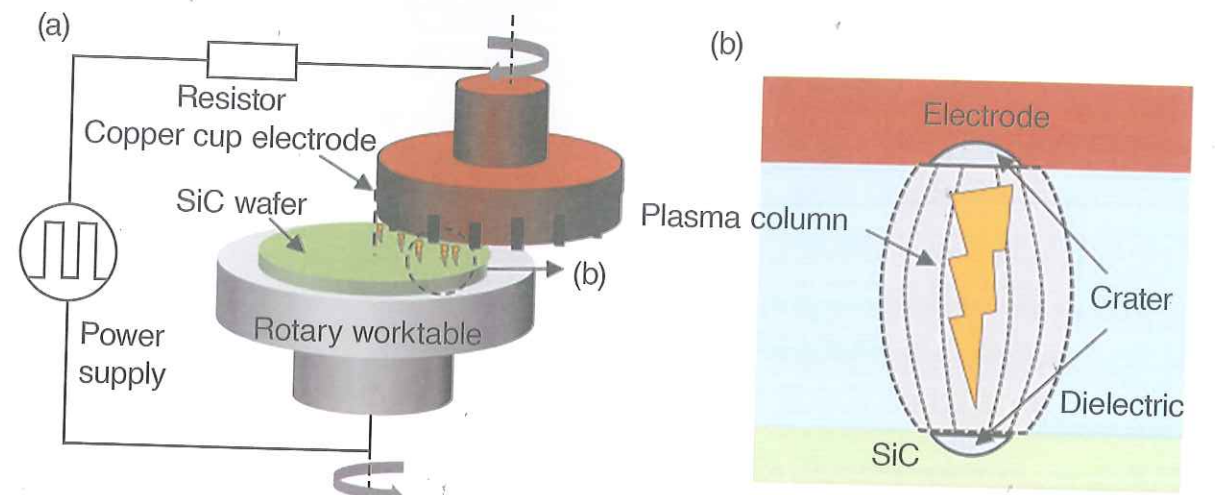
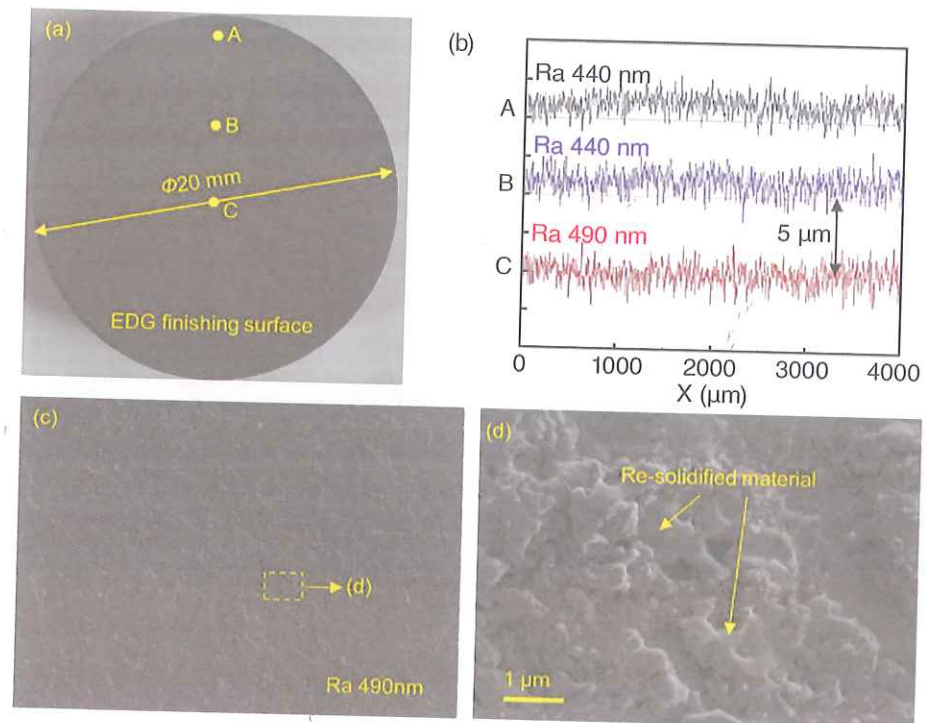


圖 4. 杯形銅製砂輪進行微放電加工的晶圓研磨 / 減薄技術示意圖 [4]



上 / 圖 5. 通過 EDG 精加工獲得碳化矽晶片。

(a)  $\Phi 20\ \text{mm}$  碳化矽晶片的照片

(b) 由尖端半徑為  $2\ \mu\text{m}$  的錐形探針在三個不同位置測量的表面粗糙度 [4]

下 / 圖 6. 通過 EDG 精加工表面的微觀形態 [4]

## 軟磨料砂輪電化學輔助研磨

根據 2021 年 Chen 等學者 [5] 提出新的電化學噴射輔助研磨 (electrochemical jet-assisted grinding, EJAG) 技術, 結合了燒結鑽石研磨棒和噴射電化學電解液, 利用該電解液射流對 4H-SiC 工件進行陽極氧化, 並生成軟化層, 再使用柔性磨棒去除軟化層, 該實驗裝置如圖 7 所示。

該裝置主要分為兩部分 - 電化學噴射系統和機械研磨兩個部分。通過控制電解液射流直徑、與噴射口的距離和施加電壓, 來實現局部陽極氧化反應, 使目標工件生成軟化層, 接著使用含有燒結鑽石磨料的柔性磨棒進行磨削, 使目標工件厚度達到所需。

根據該文獻所述, 當移除深度超過氧化層厚度時, 磨棒與 4H-SiC 工件將會直接接觸, 磨棒上的鑽石磨料易產生晶粒斷裂, 或磨棒樹脂結合劑易被去除, 使得磨粒露出比提高, 導致銳度提升, 因此在磨削過程中, 磨棒表面將不斷產生新的銳角, 保持磨削的加工效益。此外, 電解液以 35nm/s 的高速率噴射於碳化矽表面, 使表面氧化形成厚度可達 300nm 的氧化層, 並使用磨棒拋除後, Ra 可以達到 4.12 nm (如圖 8 所示), 此時材料去除率可達 21.5 $\mu\text{m}/\text{h}$ , 且晶圓表面上幾乎沒有刮痕, 而且晶格不會變形。

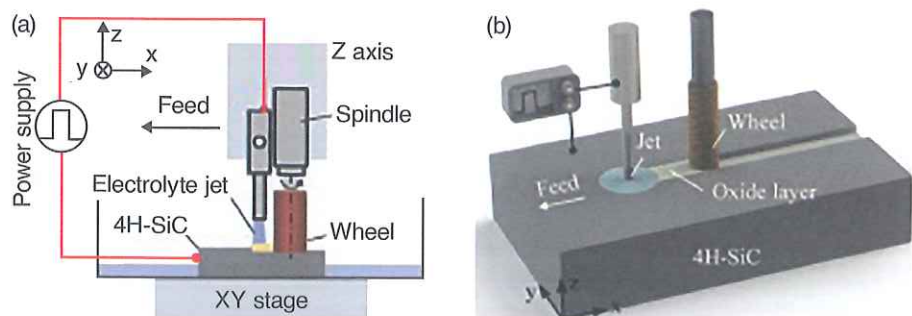


圖 7. 電化學噴射輔助研磨的示意圖 [5]

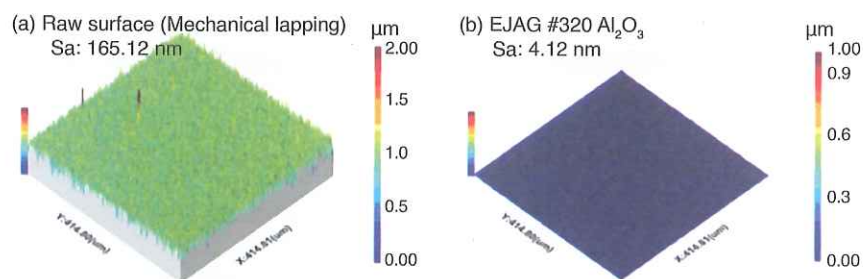


圖 8. EJAG 生成的地表的 3D 表面形態 [5]

## 新型拋光工藝

單晶碳化矽在化學機械拋光的研究現況, 以氧化劑輔助、電化學、二體磨料與光催化輔助為主, 在近幾年發展的有磁流、電漿、雷射與固定磨料作結合的化學機械拋光, 藉以解決材料移除率不佳的問題, 以下整理一些文獻。

### 雷射輔助拋光技術

根據 Long 等學者 [6] 提出雷射輔助拋光 (如圖 9) 為一種非接觸式加工且無污染和高效的預處理技術, 飛秒雷射加工具有材料損傷更低、熱影響區更小等優點。

另外根據文獻 [7] 所述雷射拋光技術可與精密機械整合, 可進行自動化生產。雷射拋光拋光技術, 無需使用拋光工具、拋光磨粒及拋光液, 可節省耗材及降低環境污染, 提供無化學污染的拋光方法。藉由調變光束可改變聚焦光點大小, 使其能進行微小或局部區域的拋光。傳統拋光流程需施加外力於拋光區域, 以便磨除材料的突點, 易使硬脆材料拋光產生破裂, 雷射拋光屬非接觸拋光流程, 可克服此類問題, 所以適用於硬脆等難拋光材料。

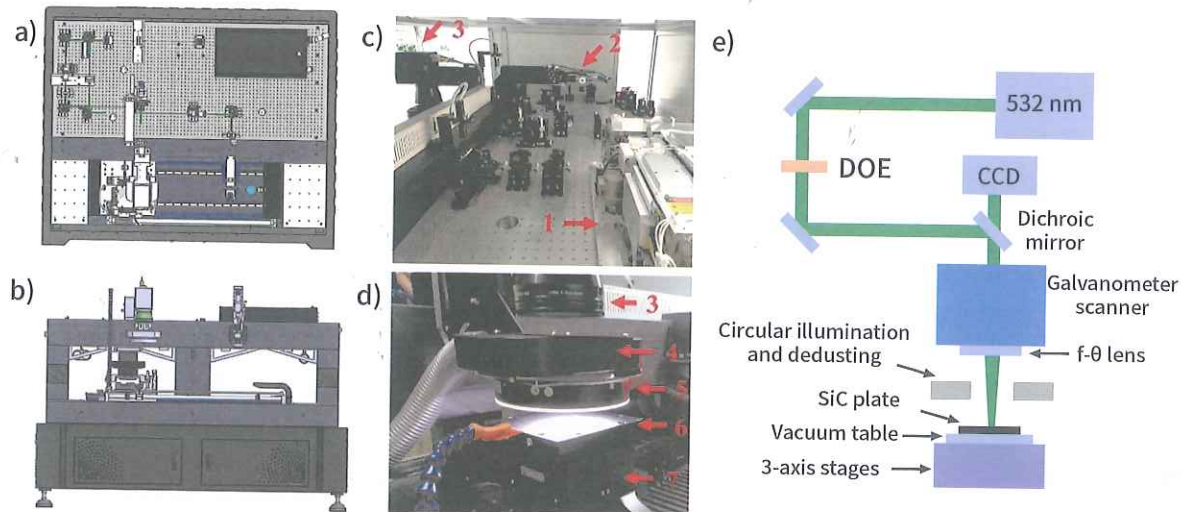


圖 9. 雷射系統。

(a, b) 定制處理系統的俯視圖和前視圖。  
(c) 上平台圖片; 1: 雷射, 2: 同軸成像系統, 3: 配備 F-Theta 透鏡的振鏡掃描儀。  
(d) 樣品架的照片; 4: 除塵系統圓形吸風口, 5: 圓形 LED 照明系統, 6: 吸樣真空板, 7: 三軸載物台。  
(e) 處理系統示意圖 [6]

## 電化學機械拋光

根據 Zulkifle 等學者 [8] 提出一種電化學機械拋光技術 (Electrochemical Mechanical Polishing ECMP)，使用市售的固體聚合物電解質 (Solid Polymer Electrolyte, SPE) [9-10] 並利用導電雙面膠貼附到不銹鋼拋光板上，使用直流電源連接旋轉連接器和碳刷 [11-12] 在碳化矽晶片 (陽極) 和拋光板 (陰極) (如圖 10)，與 SPE 表面接觸的碳化矽晶圓表面可以通過使用電化學系統進

行電解氧化，生成的氧化層立即被拋光液中的二氧化鈰 ( $CeO_2$ ) 顆粒去除。

根據該文獻所述經由電化學輔助拋光，其材料移除率可以到達  $9.2 \mu\text{m}/\text{h}$ ，經由研磨 10 分鐘後，表面粗糙度 ( $S_a$ ) 可由 50 降到  $1\text{nm}$ ，研磨 30 分鐘後，表面粗糙度 ( $S_a$ ) 可達  $0.6\text{nm}$  (如圖 11)，且表面無刮痕，並且過程中無需使用任何化學品，對環境較無害。

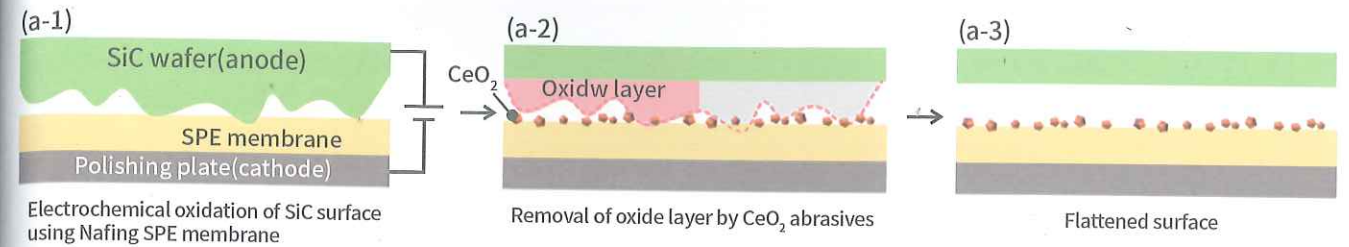


圖 10.

(a) 使用 SPE 在 ECMP 方法示意圖：

(a-1) 通過電解在 SiC 表面形成氧化膜，具有 SiC (陽極) /SPE/ 拋光板 (陰極) 的夾層結構。

(a-2) 通過供給到 SPE 膜的  $CeO_2$  顆粒除去生成的氧化層。

(a-3) 通過電化學氧化和氧化物去除的重複循環使碳化矽表面變平。

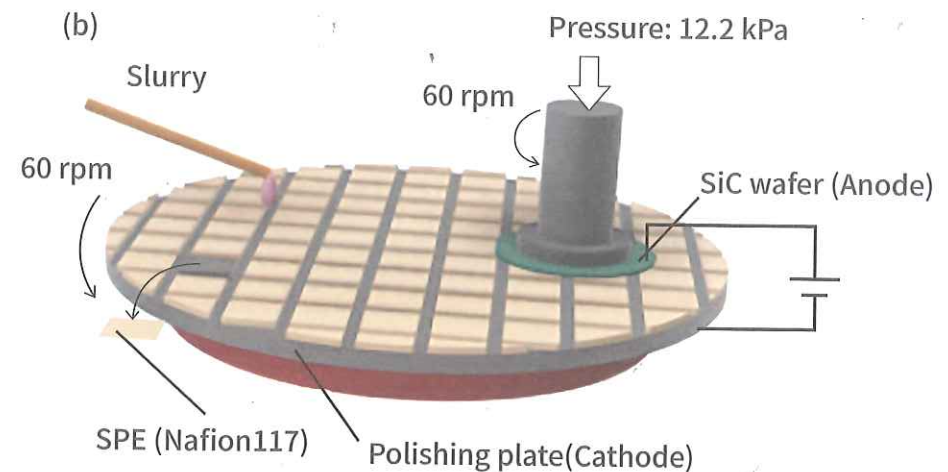


圖 10. (b) ECMP 設置示意圖。

旋轉碳化矽晶片，使其與附著在拋光板上的 SPE 接觸 [8]

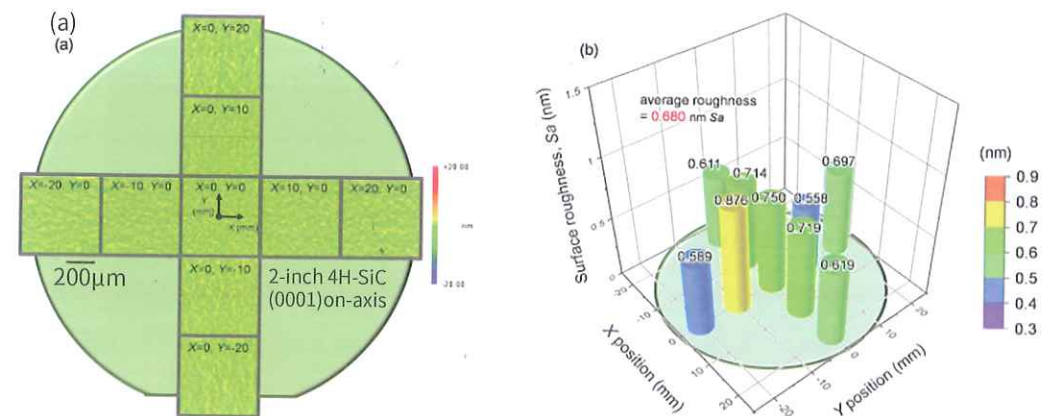


圖 11. ECMP 後的表面型態與表面粗糙度 [8]

## 大氣電漿輔助拋光

根據工研院提出的電漿複合式加工技術，利用傳統的 CMP 方式搭配大面積的大氣電漿輔助系統，使碳化矽晶圓表面軟化或解離成四氟化矽 (SiF<sub>4</sub>) 氣體離開晶圓表面 (如圖 12 所示)，從而提升 CMP 的拋光速度。大氣電漿屬於乾式非接觸式拋光，不會產生廢液並且不會造成因物理接觸導致的表面損傷。

透過上載盤 98 顆電極尖點放電 (如圖 13 所示)，配合下轉盤轉動可達到均勻放電，並利用非柱狀的電極設計，使電漿容易被激發且被拘束於柱型結構的位置。

根據該文章所述經過大氣電漿輔助加工，將原拋光製程搭配大氣電漿的複合式加工，Ra 可以達到 0.5nm，此時材料移除率可達 3.06μm/h，並且可以同時進行一片至三片晶圓表面軟化與拋光。

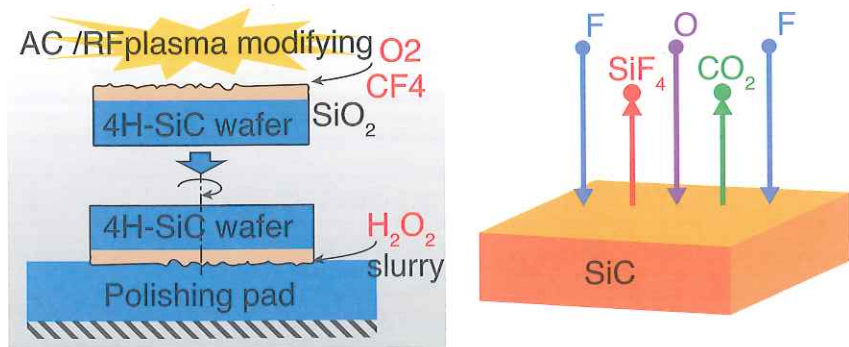


圖 12. 電漿輔助拋光主要反應機制

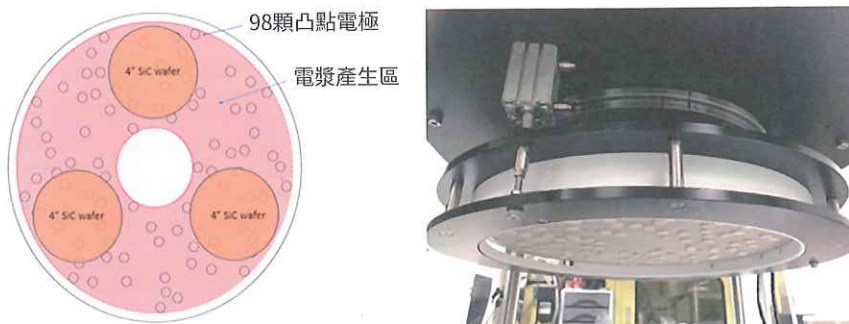
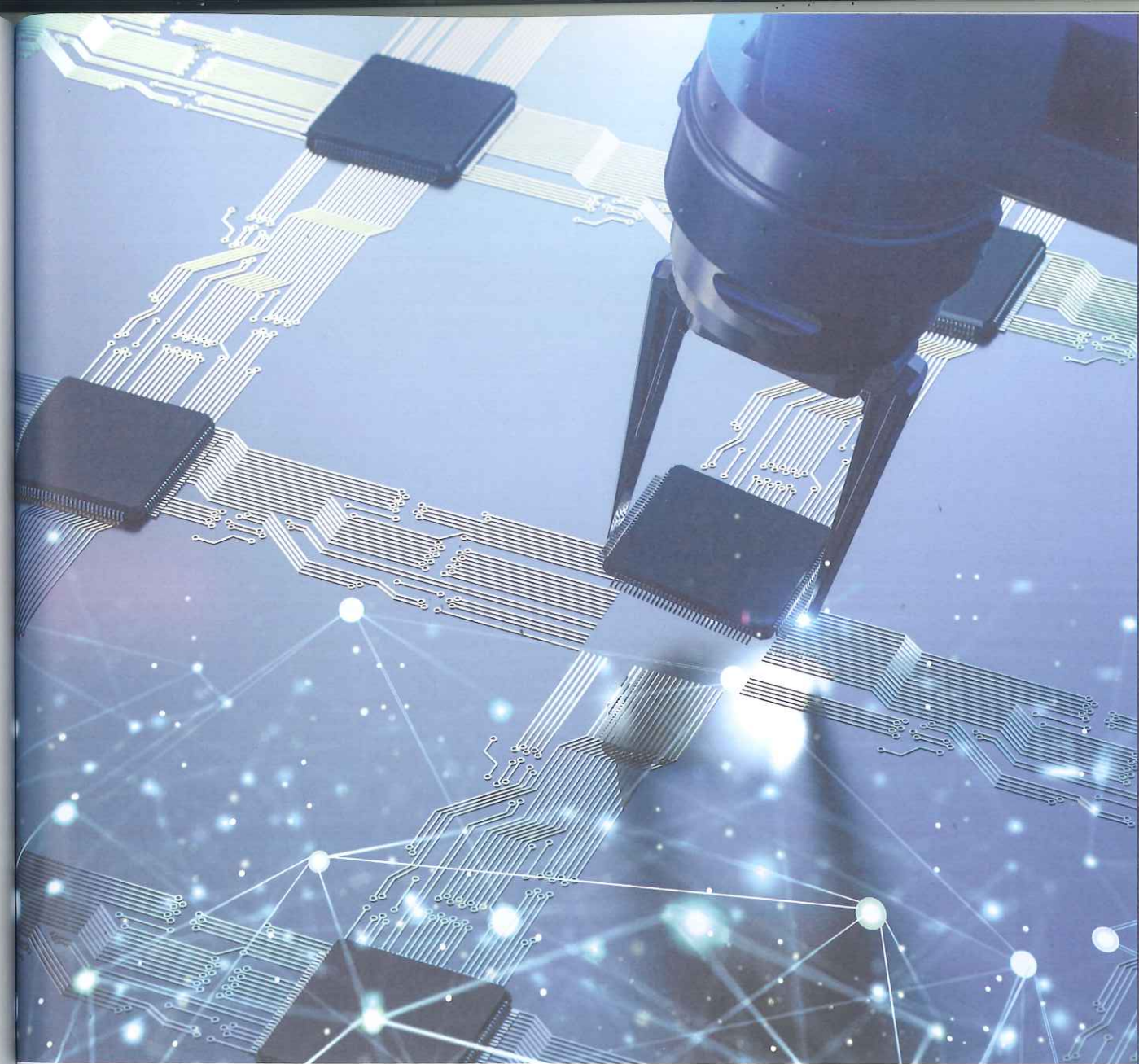


圖 13. 柱狀電極分佈及 4 吋晶片置示意图 [13]

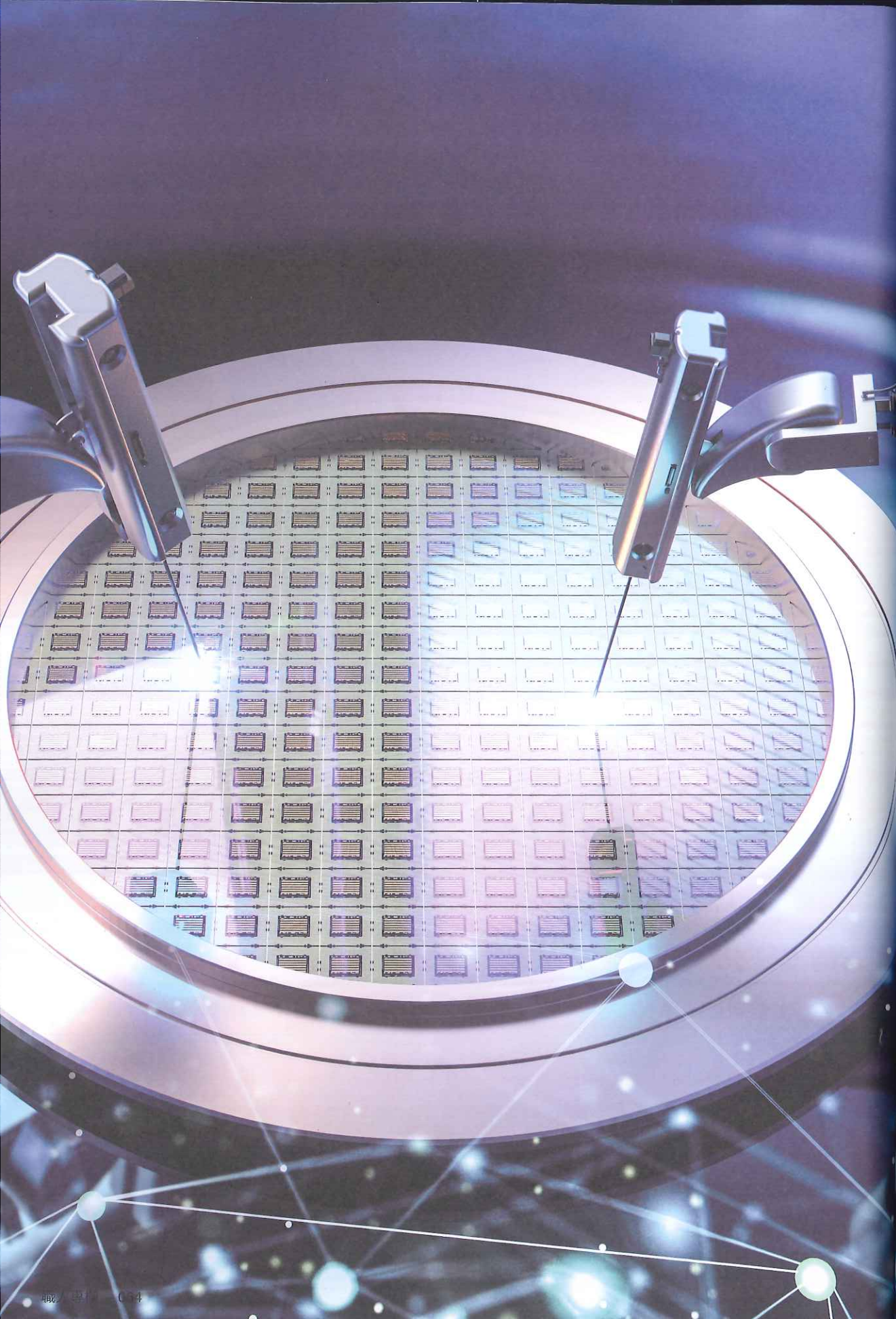


## 結論

由全球趨勢得知，第三代半導體材料的發展對於高科技、先進、軍事與節能產品習習相關影響極大。如今台灣半導體產業在全球擁有龍頭的地位，僅靠著矽晶圓而不是 GaN、SiC 等高功率材料，美國、歐洲、日本依舊主導著領先的關鍵技術。然而近幾年全球所需供不

應求，當前二台 Tesla 電動車即需耗用一片六吋碳化矽晶圓。因此台灣半導體相關產業亦紛紛投入單晶碳化矽長晶、切割、研磨拋光製程，優化單晶碳化矽切割研磨拋光製程，掌握切磨拋製程的關鍵技術，藉以提升我國在半導體產業之領先地位。





## 參考文獻

1. Chen, J. T., Bergsten, J., Lu, J., Janzén, E., Thorsell, M., Hultman, & Kordina, O. (2018). A GaN-SiC hybrid material for high-frequency and power electronics. *Applied Physics Letters*, 113(4), 041605.
2. Phan, H. P., Dao, D. V., Nakamura, K., Dimitrijević, S., & Nguyen, N. T. (2015). The piezoresistive effect of SiC for MEMS sensors at high temperatures: a review. *Journal of Microelectromechanical systems*, 24(6), 1663-1677.
3. Agarwal, S., & Rao, P. V. (2008). Experimental investigation of surface/subsurface damage formation and material removal mechanisms in SiC grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(6), 698-710.
4. Guan, J., & Zhao, Y. (2022). Non-contact grinding/thinning of silicon carbide wafer by pure EDM using a rotary cup wheel electrode. *Precision Engineering*, 74, 209-223.
5. Chen, Z., Zhan, S., & Zhao, Y. (2021). Electrochemical jet-assisted precision grinding of single-crystal SiC using soft abrasive wheel. *International Journal of Mechanical Sciences*, 195, 106239.
6. Long, J., Peng, Q., Chen, G., Zhang, Y., Xie, X., Pan, G., & Wang, X. (2021). Centimeter-scale low-damage micromachining on single-crystal 4H-SiC substrates using a femtosecond laser with square-shaped Flat-Top focus spots. *Ceramics International*, 47(16), 23134-23143.
7. 機械工業雜誌 - 雷射拋光製程發展及應用 (2016)
8. Zulkifle, C. N. S. B. C., Hayama, K., & Murata, J. (2021). High-efficiency wafer-scale finishing of 4H-SiC (0001) surface using chemical-free electrochemical mechanical method with a solid polymer electrolyte. *Diamond and Related Materials*, 120, 108700.
9. Umezaki, R., & Murata, J. (2021). Electrochemical imprint lithography on Si surface using a patterned polymer electrolyte membrane. *Materials Chemistry and Physics*, 259, 124081.
10. Murata, J., Nishiguchi, Y., & Iwasaki, T. (2018). Liquid electrolyte-free electrochemical oxidation of GaN surface using a solid polymer electrolyte toward electrochemical mechanical polishing. *Electrochemistry Communications*, 97, 110-113.
11. Murata, J., Yodogawa, K., & Ban, K. (2017). Polishing-pad-free electrochemical mechanical polishing of single-crystalline SiC surfaces using polyurethane-CeO<sub>2</sub> core-shell particles. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 114, 1-7.
12. Murata, J., & Nagatomo, D. (2020). Investigation of electrolytic condition on abrasive-free electrochemical mechanical polishing of 4H-SiC using Ce thin film. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 9(3), 034002.
13. 丁嘉仁、翁志強, 次世代半導體晶圓材料複合加工技術 (2020)