



溫致賢  
國立臺灣大學機械工程學系/計畫研究專員  
專長：  
智慧機械  
網頁平台開發



張維  
國立臺灣大學機械工程學系/計畫研究專員  
專長：  
智慧機械  
網頁平台開發

## 2024

專輯名稱暨主編介紹

7月 塑橡膠機械專輯 吳正煒 主編  
百塑企業股份有限公司/總經理

8月 馬達與控制專輯 洪聯聲 主編  
東元電機/機電系統暨自動化學業群  
動力系統研發中心/車電產品處/處長

9月 傳動機構與元件專輯 卓永財 主編  
上銀集團/總裁

10月 切削加工與刀具專輯 姚克昌 主編  
精密機械研究發展中心  
工具機產業發展/處長

11月 模具專輯 李新中 主編  
前金屬中心精微成形研發處  
資深專案經理

12月 智慧自動化專輯 林榮慶 主編  
國立台灣科技大學機械系/教授

# 化合物半導體晶片材料之 高速磨削與智能化技術

文/蔡明義、陳政雄、黃穎聰、黃智勇、劉又齊、陳凱榮

關鍵字：單晶碳化矽、超音波輔助加工、鑽石研磨盤

電動車、5G與半導體等產業，開始大量使用高硬度和耐高溫的化合物半導體材料，目前半導體材料之研磨加工設備及耗材皆由國外把持，然機會是目前化合物半導體材料所有製程、設備、耗材尚未明確目標標準化，有必要加強研發以期未來單晶碳化矽時代來源時之競爭優勢。本研究以6吋單晶碳化矽基板為技術基礎，規劃跨入8吋單晶碳化矽磨削國產化設備及製程技術為主，開發6/8吋單晶碳化矽磨削加工設備與智慧即時監控的整合性技術，目標是攜手精密機械/半導體產業聚落，使台灣成為亞洲/全球的化合物半導體材料加工的裝備之研發與供應基地，希望經由產學研的密切合作，產出台灣獨特的創新技術、專利與人才培育。

## 前言

目前，電動車、5G和半導體等產業

正積極採用高硬度和耐高溫的化合物半導體材料，全球半導體產業已進入第三代寬能隙(Wide Band Gap, WBG)化合物

半導體材料時代，主要以碳化矽(SiC)和氮化鎵(GaN)為代表，市場目前以單晶碳化矽(SiC)晶圓為主要發展方向，據調查2023年全球年總產能約為50萬片，其中台灣廠商主要聚焦在150mm(6吋)規格，中國及歐美地區已朝向200mm(8吋)至300mm(12吋)投入製程能量，預計2025年全球市場將以200mm(8吋)晶圓為主要開發方向。

第三代功率半導體材料的生產加工過程中，主要包括切片、雙面研磨、粗研磨、細研磨和化學機械拋光等四個主要製程步驟(如圖1所示)。然而，這些製程步驟相當繁複，需耗時長，效率低，且容易導致產品品質不穩定，進而限制了半導體產值和良率的提升。

值得注意的是，目前台灣的研磨技術仍以4吋/6吋半導體為主流，但未來市場趨勢逐漸轉向8吋半導體。此外，台灣半導體材料的研磨加工設備及關鍵耗

材目前主要由國外供應，這對於提升台灣半導體產業實力造成一定的制約。因此，為了強化台灣在半導體領域的國際競爭力，需加強針對未來單晶碳化矽半導體材料加工製程的研發技術，同時積極研發國產化設備，以提升整體半導體產業的技術水平和市場競爭能力。

此外，目前矽晶片已接近其理論上的物理極限，使得寬能帶的半導體材料成為下一代發展的重點。舉例而言，一輛Tesla電動車所需的碳化矽晶圓就已達6吋規格，推動半導體先進材料加工市場需求急速增長。此外，國際趨勢正朝向8吋單晶碳化矽技術發展，然而，由於單晶碳化矽具有極高硬度(莫氏硬度9.3-9.4)、脆性、化學惰性，以及容易產生次表面損傷等特性，使其成為難以加工的材料。目前以傳統研磨製程所需的時間長，且品質不穩定，進而導致後續的化學機械拋光時間長達2-3小時。迄今為

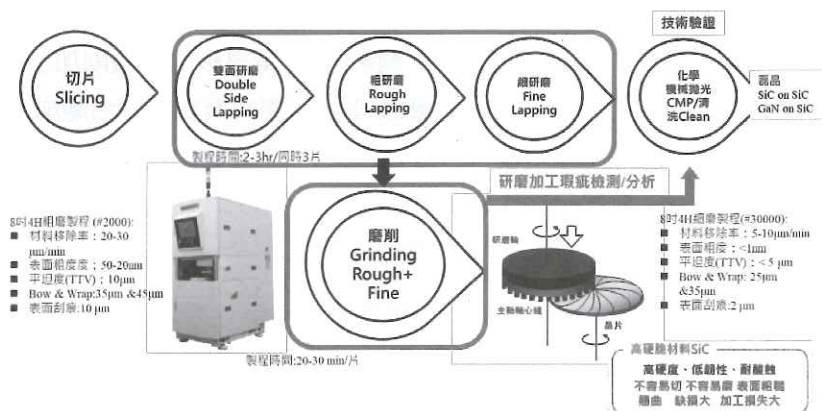


圖1 第三代功率半導體材料生產加工製成

止，對於單晶碳化矽的標準製程、設備和耗材尚未明確。

為了提高磨削效率，已有超音波振動輔助切削技術整合在傳統的CNC(Computer Numerical Control)多軸工具機上，被證實可應用並有效提昇刀具壽命、切削效率和加工品質。DISCO公司已經開發了將超音波應用於磨削機制的技術，然而在國內，尚缺乏針對超音波輔助磨削加工系統、智慧線上監控和機上光學量測提出創新方法。

在磨削製程中，砂輪的健康狀態直接關係到研磨後的品質。目前大部分監控仍主要依賴傳統電流監控系統，然而，這對於半導體製程來說，由於整體過程的磨削精密度較小，訊號相對較小，因此採用聲波發射(Acoustic Emission, AE)監測更為普遍，但其昂貴且訊號處

理複雜。

半導體加工製程中，除了加工技術外，晶圓檢測設備也是不可或缺的。目前整體製程中，此步驟仍然採用離線檢測，不僅過程需要反覆檢測，不便利，且檢測精度也較低，不夠實用。目前缺乏一個更直接且方便的技術，使操作人員能夠快速操作，而不影響加工品質。此外，研磨後品質(表面刮痕)的判定標準仍由人工經驗裁決，缺乏明確的標準和自動化設備，對半導體產業的發展產生極大的影響。因此，提出針對化合物半導體材料加工需求，研發高效率高品質的高速磨削智能化加工系統解決方案(如圖2所示)。

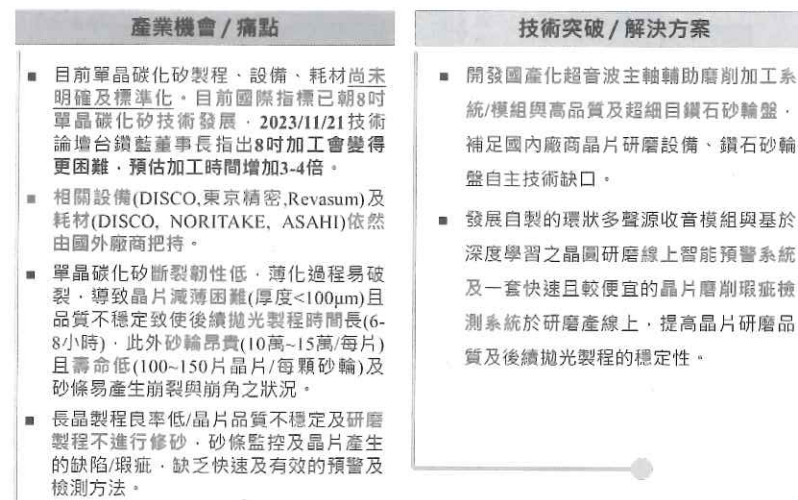


圖2 目前產業界之半導體加工痛點統整及對應之解決方案

### 超音波輔助磨削加工製程

單晶碳化矽(SiC)化合物半導體材料因其高硬度(莫氏硬度9.2~9.6)、高脆性和低斷裂韌性等難加工特性,使得其磨削製程容易導致材料脆性斷裂,形成破脆層並產生表面和次表面嚴重損傷,進而影響加工精度,隨著晶圓尺寸的增大,加工難度進一步提高。

為解決這一業界挑戰,引入超音波輔助研磨硬脆材料技術,透過超音波高頻率振動結合磨削旋轉運動的複合式加工方法,將原本連續的磨削行為轉變為間斷性磨削,減少砂輪接觸材料時產生的磨削阻力和磨耗狀態,進而降低Blaha效應,且磨削力釋放快速,能有效減少

裂紋激增,促使切削液迅速排除晶圓切屑,減少鑽石砂輪研磨面堵塞,避免切屑殘留晶圓表面,造成較深刮痕,或堵塞砂輪導致砂輪鈍化,減少加工脆裂的可能性,如圖3所示。

目前國內在超音波振動輔助切削技術方面已在傳統的CNC多軸工具機上經過驗證,對於先進半導體材料的應用已被證實可有效提升刀具壽命、提高切削效率與加工品質。此外,迪思科高科技股份有限公司(DISCO)已經成功開發將超音波加工應用於晶圓磨削機制上的技術。然而,國內半導體領域目前尚未有針對超音波輔助磨削加工系統之應用。

近期國內全鑫精密工業股份有限公司與國立勤益科技大學、國立中興大學

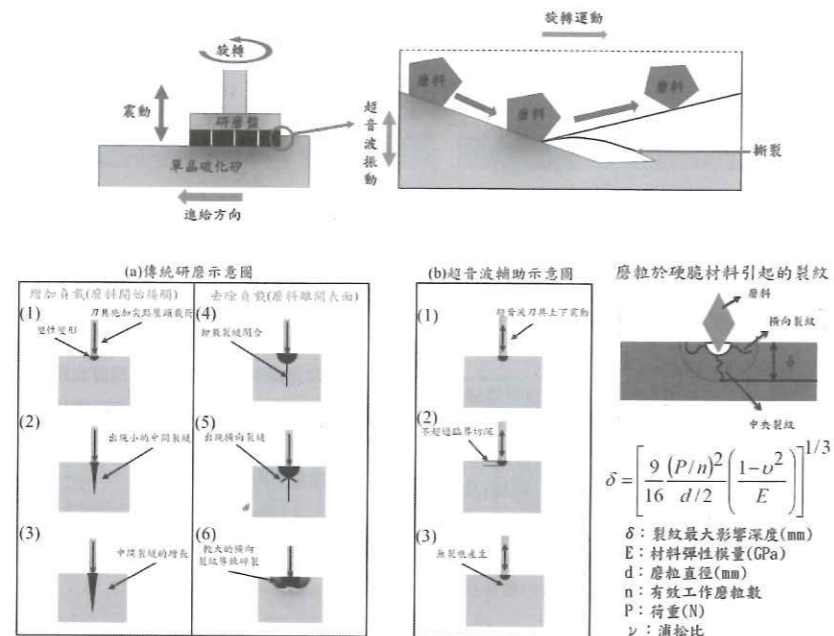


圖3 脆性材料研磨機制於傳統式研磨及超音波輔助之差異

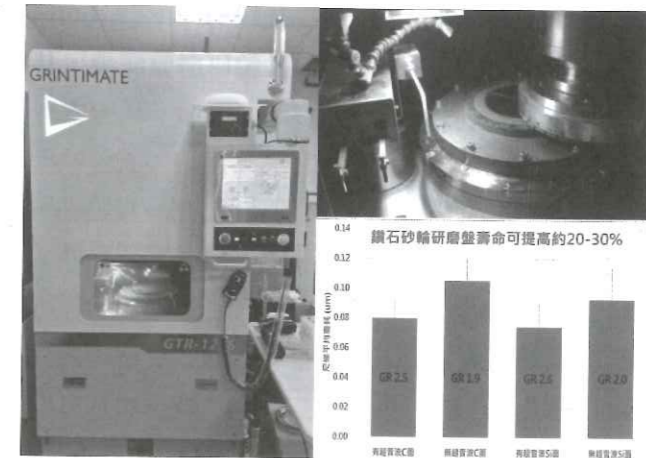


圖4 GTR-1215液靜壓立式超音波震動輔助磨削測試

合作,共同投入研發超音波輔助加工系統及超音波主軸,整合這項技術於全鑫精密工業股份有限公司GTR-1215液靜壓立式精密減薄機,配合高剛性液靜壓軸承提升磨削旋轉精度及磨削性,搭配20kHz超音波振動頻率,並經由2000號鑽石砂輪研磨盤實機磨削6吋單晶碳化矽晶圓測試中可發現,砂輪研磨盤於超音波震動輔助下有著更高的磨削比(GR)與磨削壽命,其礮面(C-Side)之GR值由1.9提升至2.5其升幅達32%,矽面(Si-Side)之GR值由2.0提升至2.6其升幅達30%,如圖4所示。後續將優化各製程的加工參數及開發高磨削比之專用鑽石研磨盤。

### 高效率磨削加工製程優化與工藝

現階段國際半導體製程中,晶圓研

磨製程技術主要影響最終產品的電阻、功耗、散熱率及堆疊(Stacking)集成度,為半導體製程控制成本與決定品質的重要關鍵。其研磨製程中的關鍵耗材為鑽石砂輪研磨盤,現階段中相關耗材研發能力等技術包含各項形式專利,如砂輪臺金設計、砂條幾何規格、磨料特性、結合劑及砂條製程技術等,從第一代的元素半導體材料(以矽Si為主)開始,主要仍掌握於迪思科(DISCO)高科技股份有限公司、Novitake及旭(Asahi)鑽石工業株式會社等日本廠商,導致現今業界多半進口美、日、瑞士等國所開發之研磨砂輪盤,其中所損耗的成本與資源更是難以量化估算。

針對第三代寬能隙WBG半導體材料(碳化矽SiC、氮化鎵GaN)耗材製程技術雖為發展中狀態,但相關研磨規格與標準已逐漸確立,如圖5,現階段可謂強

化國內半導體耗材研發技術一大機會，本團隊將協同中國砂輪企業有限公司、台灣鑽石工業股份有限公司及北聯研磨科技股份有限公司等三間優質國內廠商，共同導入針對第三代半導體單晶碳化矽(SiC)磨削製程中的鑽石砂輪磨盤進行開發，以提升研磨移除效能、研磨變質層及次表面損傷抑制為主要指標。

首要目標將針對粗磨(Rough grinding)

及精磨(Fine grinding)進行對應性鑽石砂輪磨盤開發，其粗磨製程的2000號鑽石磨盤砂輪盤部份與國內廠商，為有效提升2000號砂輪於研磨時的高研削比(GR)，在砂條燒結製程中進行混料製程及燒結溫度調整外，並針對砂輪臺金與砂條結合進行設計，有別於產業現況以鑲嵌式設計取代傳統式臺金之環狀開槽方式；該鑲嵌式可於砂條結合時確保其

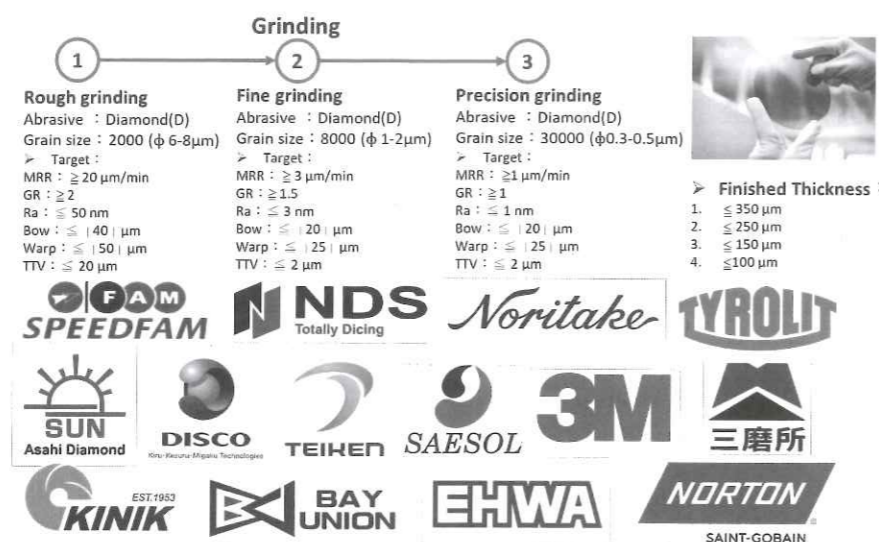


圖5 6吋單晶碳化矽(SiC)晶圓研磨標準

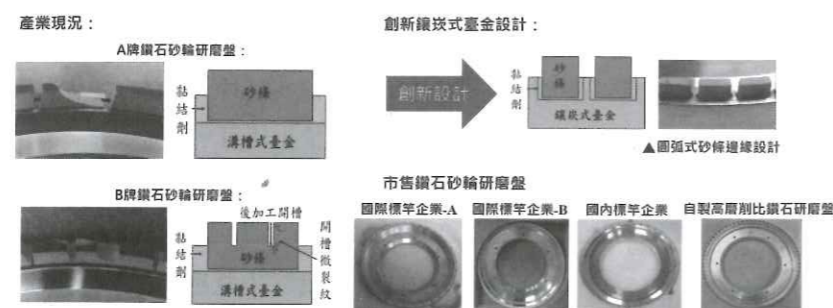


圖6 自製高磨削比鑽石磨盤

鑽石磨盤	高磨削比鑽石磨盤#2000 (Vitrified Bond)				國外標準企業#2000 (Vitrified Bond)			
	Grinding Ratio		3.9		Grinding Ratio		1.8	
Grinding Result	C-Side	Sa : 4.6nm Sz : 285.1nm	TTV : 3.7 μm		C-Side	Sa : 12 nm Sz : 249nm	TTV : 3.5 μm	
	Si-Side	Sa : 7.1 nm Sz : 399.1 nm	Grinding Wheel Type : W250*3W*7H*9L		Si-Side	Sa : 29.2 nm Sz : 569.5 nm	Grinding Wheel Type : W250*3W*7H*9L	
Surface Roughness Sensor Size : 50K FOV : X : 167.198 μm Y : 167.194 μm								

圖7 自製高磨削比(2000號)鑽石磨盤測試

砂條之垂直度且提升穩定度，並將原先長條式方形邊緣齒片，調整為較小砂條且圓弧形邊緣，降低研磨接觸面積，減少磨削阻抗且改善磨削過程中易產生應力集中現象，如圖6。

與市售國外標準企業產品做相互比較測試，在組織結構上可觀察到自製高磨削比鑽石磨盤有較高的組織緻密性，該組織強度的上升可有效提升研磨時砂條的有效強度且提升其磨削比(GR)，相較於國外標準企業的1.8可有效提升至3.9其幅度達100%。此外表面粗糙度部份(Sa)皆產生顯著下降，碳面(C-Side)由12nm(Sa)降至4.6nm其降幅達61%，矽面(C-Side)由29.2nm(Sa)降至7.1nm其降幅達75%，如圖7。

精磨製程的8000號的高細目鑽石磨盤砂輪盤部份與中國砂輪企業有限公司攜手進行開發，為同時有效提升8000號砂輪於研磨時的高研削比(GR)與降低

表面粗糙度(Sa與Sz)，砂條製程中將進行磨料分佈性改善，以避免團聚現象導致粒徑分佈不均，並於燒結製程中則進行兩段式燒結，先以低溫燒結至坯體成形，再以高溫燒結至成形砂條，其抗折強度可達0.4 Kgf/mm<sup>2</sup>，以提升高轉速狀態中砂條的有效強度。與市售國外標準企業產品做相互比較測試，在組織結構上可觀察到自製高細目鑽石磨盤其組織緻密性較高且孔隙度更為細小，該組織特性可在提升其磨削比(GR)的前提下同時穩定研磨後的表面粗糙度(Sa與Sz)，其磨削比相較於國外標準企業的1.7可有效提升至3.4其幅度達100%。此外表面粗糙度部份(Sa與Sz)皆產生顯著下降，碳面(C-Side)部份的表面粗糙度(Sa)由2.9nm降至1.4nm其降幅達51%，表面粗糙度(Sz)由70.5nm降至14.1nm其降幅達80%，矽面(C-Side)部份的表面粗糙度(Sa)由4.9nm降至1.3nm其降幅

鑽石研磨盤	國產#8000鑽石研磨盤 (Vitrified Bond)		國外標竿企業#8000 (Vitrified Bond)			
Grinding Ratio	3.4		1.7			
Grinding Result	C-Side	Sa : 1.4nm Sz : 14.2nm	TTV : 4.9 μm	C-Side	Sa : 2.9nm Sz : 70.5nm	TTV : 3.1 μm
	Si-Side	Sa : 1.3nm Sz : 26.2nm	Grinding Wheel Type : W250*3W*7H*L20	Si-Side	Sa : 4.9nm Sz : 70.1nm	Grinding Wheel Type : W250*3W*7H*L19
Surface Roughness	Sensor Size : 50X FOV : X : 167.194μm Y : 167.194μm					

圖8 自製高細目(8000號)鑽石研磨盤測試

達73%，表面粗糙度(Sz)由70.1nm降至36.3nm其降幅達48%，如圖8。

### 單晶碳化矽晶圓磨削瑕疵檢測與優化技術

在過去的半導體相關加工領域，瑕疵檢測主要使用SVM、Decision Trees、K-means或近年來開始應用的Deep Learning等方法。然而，由於第三代半導體加工是近年才開發的技術，對於單晶碳化矽的標準製程、設備和耗材尚未明確，這些方法無法直接應用於我們所要解決的單晶碳化矽晶圓研磨瑕疵檢測中。同時，目前業界還缺乏系統性的研磨瑕疵檢測方法。目前的做法是直接透過各種打光的方式進行人工檢測，甚至直接省略瑕疵檢測階段，而在研磨後的碳化矽晶圓上直接進行拋光製程，而拋光失敗後，晶圓製程工程師將根據碳化

矽晶圓剩餘的厚度判斷是否重新進行研磨，或直接棄用該晶。此外，由於單晶碳化矽在磨削容易產生次表面損傷且難以加工，其研磨製程時間長且品質相當不穩定，這些特性導致晶圓拋光的時間通常長達2-3小時，極大地降低效率並造成無謂的材料損失。

為了克服上述當前業界的痛點，本文提出藉由引入非破壞式的光照拍攝機制和人工智慧系統來研發一套針對碳化矽晶圓研磨後瑕疵檢測與優化技術，以提升晶圓製造的良率，並將檢測的大數據資料回傳給系統做為最佳化系統參數設定。在此創新SiC晶圓生產流程中，不僅能在研磨完成後直接夠透過訓練人工智慧來自動對晶圓的研磨瑕疵進行檢測、定位和分類來避免多次的研磨-拋光流程，也期望能夠透過對研磨瑕疵的檢測和種類分辨來更為方便的回推造成瑕疵的系統性原因或研磨沙輪的狀況，並

藉此來增加碳化矽晶圓材料的加工流程的效率和良率。

SiC晶圓的主要生產流程包括切片、雙面研磨、粗研磨、細研磨等步驟(如圖9所示)。本文提出的瑕疵檢測流程將會融入目前製成，並針對雙面研磨和粗研磨的不良結果，將可透過儀器較簡單地進行精確的檢測和定位。目前本文開發的AOI(Automated Optical Inspection)檢測系統中，主要是透過採用解析度500萬畫素工業相機搭配5倍率光學鏡頭，以及低角度環形光源，並搭配AOI檢測發像處理，已有效檢測現有研磨前具有微管瑕疵的樣品，準確率95%以上，但對

於粗磨及細磨後的晶圓表面刮痕瑕疵檢測，前者因磨痕較深造成複雜背景、後者因刮痕較細微且寬度約2 μm，若僅以AOI檢測方式易發生誤判，因此需加上AI演算法輔助AOI，解決複雜狀況的瑕疵判斷，以增進檢測的準確度。單晶碳化矽晶圓磨削過程依據各階段特性，所需的檢測技術如圖9所示。

根據上述問題，本文提出全新的光學檢測方式，主要採以AOI、AOI+AI之方式，進行單晶碳化矽晶圓在不同磨削製程階段的瑕疵檢測，以下針對研磨前表面瑕疵檢測與粗磨後的刮痕檢測的成果案例說明。

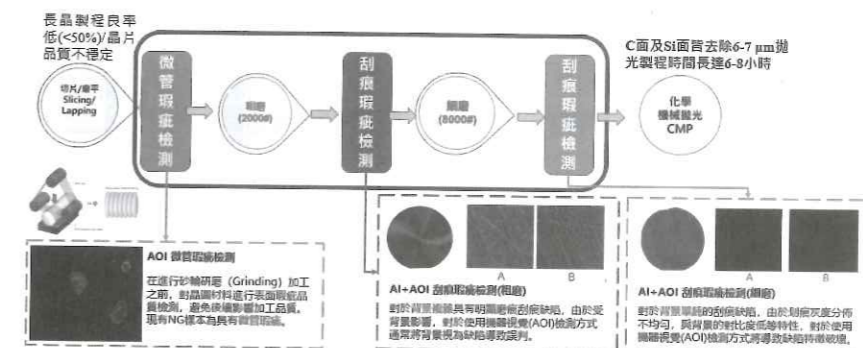


圖9 單晶碳化矽晶圓磨削瑕疵檢測與優化技術

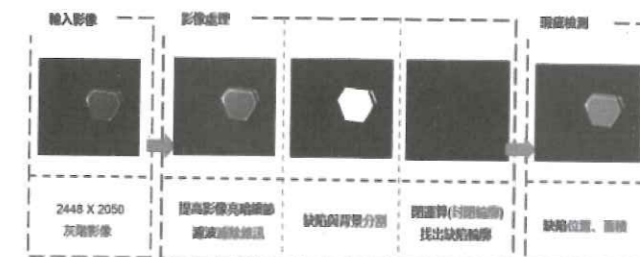


圖10 AOI單晶碳化矽晶圓研磨前微管瑕疵檢測

(1) 研磨前晶圓表面瑕疵檢測方法

針對研磨前表面瑕疵檢測，目前樣本因僅有微管缺陷，且無複雜背景等特性，適合以AOI的方式增加檢測速度，透過影像處理技術：圖像濾波、二值化、邊緣檢測、形態學..等，如圖10所示以凸顯瑕疵特徵，目前檢測準確率95%以上。後續若SiC晶圓有多類型瑕疵本，將加入AI分類演算法進行優化。

(2) 粗磨後晶圓表面刮痕瑕疵檢測方法

因研磨造成的磨痕與磨粒脫落造成的刮痕，常具有方向性及週期性的背景特徵，在AOI技術中通常會以空間域(圖像濾波、二值化、邊緣檢測)及頻率域(FFT)進行影像處理，但粗磨後的SiC晶圓對於空間域影像處理需固定閾值由於背景與缺陷灰階值相似常將背景視為

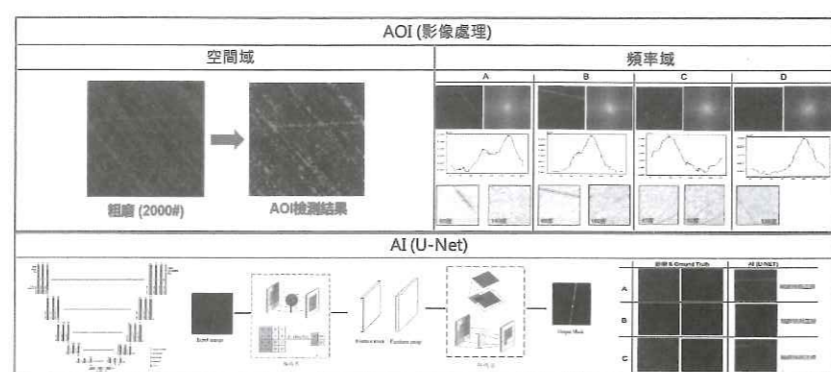


圖11 單晶碳化矽晶圓粗磨製程後表面刮痕瑕疵檢測方法

	影像 & Ground Truth	AOI	AI (U-NET)
A		 受磨痕背景影響	 輪廓預測正確
B		 缺陷特徵破壞	 輪廓預測正確
C		 受磨痕背景影響	 輪廓預測正確

圖12 SiC晶圓粗磨製程後瑕疵檢測AOI方法與AI U-Net方法比較

缺陷導致誤判，而頻率域藉由傅立葉轉換可凸顯一致性紋路之週期性特徵的特性，然而此方法對於特徵微弱的缺陷可能無法有效凸顯，因此本文採用AI+AOI的方式，以U-Net演算法建立模型，取代AOI的不足(如圖11所示)。

關於U-Net演算法的模型建立，本文透過已建立的560筆粗磨後具有刮痕瑕疵之晶圓原始影像資料庫，並加以Label作為資料訓練及驗證集。利用U-Net架構的瑕疵檢測演算法，透過超參數的調整：減少卷積層、降低通道、梯度方式、Loss Function..等，建立較佳的模型，經測試後準確率F1-Score 約可達92%。相關AOI與加入U-Net後的檢測比較如圖12所示。目前持續增加瑕疵樣本資料庫的蒐集，以強化模型的泛化性，另外亦考量以Mobile-Unet通過轉移學習及優化特徵萃取層，提升模型檢測能力。

深度學習之晶圓研磨線上智能預警診斷系統研發與AI加速晶片開發

晶圓研磨屬於高精密加工領域，加工過程中如產生因砂輪失去切削力、主軸損壞、進刀狀態不佳等問題時，將導致晶圓加工精度結果不佳，進而增加下一道拋光製程的時間，更產生額外的人力及時間成本。解決上述問題，將發展一套晶圓研磨線上智能預警診斷系統，

利用深度學習網路技術進行預警診斷，並開發對應的AI加速晶片設計以克服大量的運算需求，達到即時運算的目的(如圖12所示)。

將於機台關鍵位置佈置聲音感測器，取得研磨加工時之即時音訊，接著透過音頻特徵擷取模組，從音訊萃取關鍵特徵值，輸入至智能晶圓研磨診斷模組，診斷當前機台是否出現異常加工的音訊之前兆，在加工不穩定前，提早警示操作人員排除問題，接著為使系統可立即判定當前加工狀態。而所開發AI運算晶片模組，透過可重組態(reconfigurable)的硬體電路，利用大量平行運算的優勢，即時的執行所開發的AI預警診斷模型，提高系統資料處理的速度，最後透過人機控制介面模組，以警示操作人員進行停機與問題排除，藉而提升研磨加工過程的穩定性，縮短下個拋光工序的時間及人力成本。而AI運算晶片模組除了針對CNN(Convolutional Neural Network)模型的陣列式運算核心，還包括一泛用功能的訊號前處理模組，可以執行率波、傅立葉轉換、離散小波轉換、梅爾倒頻譜計算等，能適用於不同感測訊號的前處理，並且有效降低後端CNN模型的複雜度，可做為CNC控制器的AI智能延伸，提升整體加工機具的效能。

由於深度學習晶圓研磨線上智能預警診斷之系統流程圖，如圖13所示，首

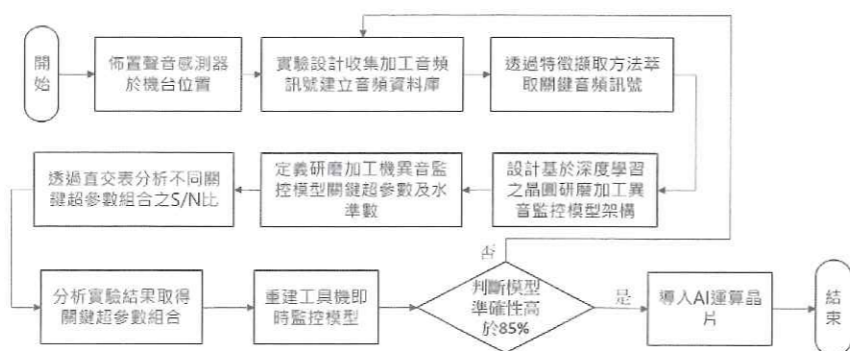


圖13 深度學習研磨線上智能預警診斷系統流程架構

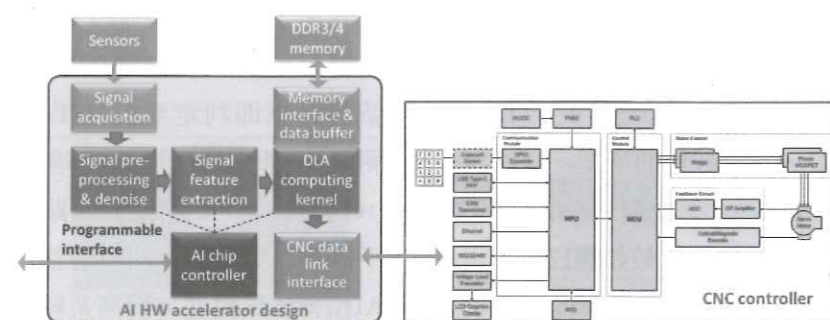


圖14 AI加速晶片的系統方塊圖以及與CNC控制器的連結

先將佈置聲音感測器於機台關鍵位置，並透過實驗設計收集不同聲音感測器位置之音頻訊號，接著經資料處理轉為不同頻帶的頻譜圖。透過特徵關鍵音頻擷取方法，將正常加工音訊之頻譜圖作為參考訊號，並取得異常加工的音訊之關鍵音頻訊號，而後依音頻訊號的資料特性，使用卷積類神經網路為基礎，設計晶圓研磨診斷模型，在學習關鍵特徵音頻訊號，判別機台當前加工音頻樣本(Pattern)，是否已有產生異常加工音訊之前兆。為提高準確性，將定義模型關鍵超參數及水準數，更有效取得關鍵超參

數組合，透過實驗設計(如：直交表)，取得關鍵超參數組合，以建立高準確性及強健性加工機異常音頻監控模型，判斷該模型準確度，若準確性低於85%，則重新實驗設計收集加工音頻訊號，並重新設計晶圓研磨診斷模型超參數，直到取得高準確性及強健性之模型，最後將模型導入AI運算晶片中，提高系統運算速度，增強即時性，避免卷積類神經網路複雜運算所造成時間延遲，無法立即判定當前狀態之情況發生。

在發展晶圓研磨線上智能預警診斷系統的同時，也將針對其所需要的訊號

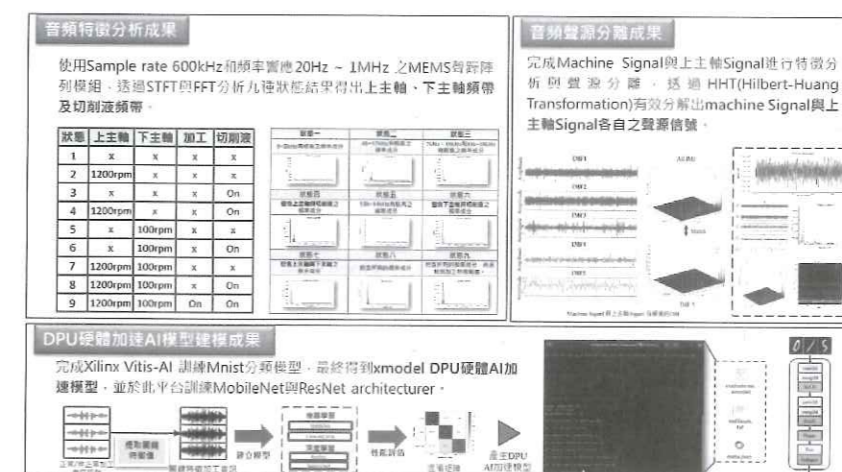


圖15 深度學習之晶圓研磨線上智能預警診斷系統與AI加速晶片開發成果

前處理以及深度學習模型，開發對應的運算晶片達到即時處理的目標，並試著與傳統CNC控制器整合，提供AI智能運算的功能，其系統架構圖，如圖14所示。考量到目前的CNC控制器大多為一個封閉的系統，因此本計畫將所要發展的AI加速晶片當成CNC控制器的co-processor，透過通訊鏈結與CNC控制器來整合。這個介面可以根據所欲搭配的CNC處理器的介面包括RS232/485、EtherNet或是CAN bus來決定。使用Sample rate 600kHz和頻率響應20Hz ~ 1MHz之MEMS聲噪陣列模組，透過STFT與FFT分析九種狀態結果得出上主軸、下主軸頻帶及切削液頻帶。此外對Machine Signal與上主軸Signal進行特徵分析與聲源分離，透過HHT(Hilbert-Huang Transformation)有效分解出machine Signal與上主軸Signal各自之聲

源信號(圖15)。

### 結論

總結而言，電動車、5G和半導體等產業的迅速發展促使大量使用高硬度和耐高溫的化合物半導體材料，而目前半導體材料的研磨加工設備及耗材主要由國外主導，且在化合物半導體材料製程、設備和耗材的標準化方面尚未明確。在即將進入單晶碳化矽時代的未來，提升競爭優勢至關重要。

本文提出相關技術目標是與精密機械/半導體產業聚落攜手合作，以6吋單晶碳化矽基板為技術基礎，規劃跨入8吋單晶碳化矽磨削國產化設備及製程技術為主，開發6/8吋單晶碳化矽磨削加工設備與智慧即時監控的整合性技術，使台灣能夠成為亞洲和全球化合物半導體材

料加工裝備的研發和供應基地。透過產學研的緊密協作，我們期望創造出台灣獨特的創新技術、專利和人才，並期許本計劃的成果能夠擴散至平面磨床、內外圓磨床、立式磨床及無心磨床等相關產業，為整體產業鏈的提升和發展貢獻一份力量。這不僅有助於強化台灣在化合物半導體材料領域的地位，也將為未來科技發展開拓新的可能性，建構更具競爭力的國際地位。■

## 誌謝

感謝科技部計畫化合物半導體晶片材料之高速磨削智能化技術開發-化合物半導體晶片材料之高速磨削智能化技術開發(編號MOST111-2218-E167-001)的支持，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 參考資料

1. Y. Hu et al. "Investigation on the Material Removal and Surface Generation of a Single Crystal SiC Wafer by Ultrasonic Chemical Mechanical Polishing Combined with Ultrasonic Lapping," *Materials* 2018, 11, 2022; doi: 10.3390/ma11102022
2. X Yang et al., "Efficient and slurryless ultrasonic vibration assisted electrochemical mechanical polishing for 4H-SiC wafers," *Ceramics International* 48 (2022) 7570-7583
3. D. Mery et al., "Aluminum Casting Inspection

using Deep Object Detection Methods and Simulated Ellipsoidal Defects," *Machine Vision and Applications*, vol. 32, no. 3, pp. 1-16, 2021, doi: 10.1007/s00138-021-01195-5.

4. G. Jocheret et al., "ultralytics/yolov5: v6.1 - TensorRT, TensorFlow Edge TPU and OpenVINO Export and Inference," Feb. 2022, doi: 10.5281/ZENODO.6222936.

## 作者簡介



蔡明義  
國立勤益科技大學機械工程系/講座教授  
工程學院/院長  
專長：  
切削加工  
研磨加工技術



陳政雄  
中興大學機械系/特聘教授  
專長：  
工具機  
光機電整合系統

黃穎聰  
中興大學電機系/特聘教授



黃智勇  
國立勤益科技大學機械工程系  
副教授/系主任  
專長：  
電腦視覺  
機電整合



劉又齊  
國立勤益科技大學資訊工程系/助理教授  
專長：  
智慧製造技術(通訊、可視與智能化)  
人工智慧技術與應用



陳凱榮  
國立勤益科技大學機械工程系/助理教授  
專長：  
計算力學  
大數據/人工智慧技術