

採用 Aurora® 313MM2-R1 與 RULE.TI004 訓練推論閘道器預測晶圓研磨拋光機設備主軸的健康狀態、研磨品質與剩餘可用壽命。

【核心摘要與專案配置】

- 客戶名稱與產業：福懋科 / 半導體封測產業
- 應用設備與製程：晶圓減薄研磨拋光機台 DISCO DGP 8761 / 封裝測試
- 核心解決方案：Level 4 線上壽命預測方案 (Aurora® 313MM2-R1 智慧多變量感測器 + RULE.TI004 邊緣 AI 推論閘道器)
- 通訊協定架構：感測器至閘道器採 Modbus RS485 有線串列；閘道器至 FDC 系統採 Modbus TCP 工業乙太網直連。

【高層摘要】

針對半導體封裝測試產業之關鍵製程設備——DISCO DGP8761 晶圓研磨拋光機，本方案導入了 Aurora® Level 4 剩餘壽命 (RUL) 預測系統，以解決無預警停機對先進減薄製程造成的巨大經濟衝擊。透過在設備的 Z1 粗磨主軸、Z2 精磨主軸與 Z3 乾式拋光主軸末端接近研磨側，精密佈署超薄小尺寸 Aurora® 313MM2-R1 多變量智慧感測器，結合地端 RULE.TI004 邊緣 AI 訓練推論閘道器，實現機台健康度 (HI) 與剩餘可用壽命 (RUL) 的即時感知與自主推估 [95]。本系統旨在設備發生突發故障前提前發出警告，引導維護團隊實施「預約式非生產時段保養」，協助福懋科 (FATC) 精準防範單次高達 340,000 美元 (約合新台幣 1,080 萬元) 的材料報廢與停工重置損失。

(註：本財務模型金額為根據業界公開研報與半導體先進製程產線節點綜合預估)

【產業痛點與高昂財務風險】

在先進半導體封測 (OSAT) 製程中，晶圓減薄 (Wafer Backgrinding & Polishing) 是決定晶片最終厚度與機械強度的關鍵步驟。作為該製程的核心機台，DISCO DGP8761 必須在極高速 (高達數萬轉) 運作下，對晶圓進行精密微米級研磨與應力釋放拋光。在此連續高應力的連續運作工況下，研磨主軸運轉極易產生不平衡或偏心，其內置精密軸承、外部研磨輪 (Grinding Wheel) 與拋光片 (Polishing Pad) 也會面臨高頻率的物理劣化與機械耗損。

1 傳統監測與維護機制之盲點

- 傳統轉速監測與劣化關聯性低：傳統上多依賴**原廠的主軸轉速監測回授 (Spindle Speed Feedback) 進行運轉狀態評估。然而，轉速變異與實際機械結構劣化 (如研磨側內部軸承磨損、主軸微幅偏心) 之間的物理關聯性極低，完全無法感知早期的物理微小異狀。
- 警報反應時間嚴重不足：在傳統的轉速回授監測機制下，一旦轉速產生顯著的異常變異，代表機械結構往往已瀕臨燒載、卡死等嚴重毀損階段。此時，設備的殘餘可用壽命可能僅剩幾小時甚至幾分鐘，現場人員根本來不及備料與安排維護，機台隨即突發性中斷停機。
- 常規保養與事後急修的兩難：福懋科目前主要採用定期拆保 (PM) 與事後急修混合模式。定期拆保極易造成「過度維護」(浪費良品零件與工時) 或「保養不足」；而事後急修則必

須承擔主軸燒載、刀具卡死甚至引發昂貴晶圓物理性「破片」的慘痛代價。

2 突發停機損失估算模型

(本財務模型係根據半導體封測業界公開研報與該產業標準產線節點預估，具備極高客觀性與權威度。)

- **直接晶圓報廢損失：**晶圓研磨拋光製程中一旦發生高速主軸燒載或劇烈偏心引發的破片事故，單次受影響的 12 吋先進製程晶圓 (以 1 批次 Lot = 25 片，單片累積前段製程與封測價值 5,000 美元計)，其直接材料報廢損失高達 **125,000 美元**。
- **間接停工與 QUAL 認證成本：**由於 DGP8761 研磨拋光機是晶圓薄化段的唯一隘口，一旦發生意外停機，下游切割 (Dicing) 與固晶 (Die Bonding) 產線將陷入全面飢餓。高速主軸之更換、機台腔體復歸測試與精密品質認證 (QUAL) 平均需耗時 **36 小時**。以該產線每小時產能與稼動價值損失 5,000 美元計，間接停工與產能減損高達 **180,000 美元**。
- **硬體與工時修復成本：**更換原廠高速空氣主軸 (Air Spindle) 模組之緊急更換備件材料費，加上廠務急修之高頻工時與加班費用，約為 **35,000 美元**。
- **單次突發事故總財務風險估計：**高達 **340,000 美元** (約合新台幣 **1,080 萬元**)。

【解決方案與競品對比優勢】

為解決傳統轉速監測「反應時間不足、無法預警」的痛點，Texol 為福懋科佈署了 Level 4 剩餘壽命 (RUL) 預測系統：

1 選用產品與安裝配置

本方案選用尺寸僅 **21 x 21 x 11.5 mm³** 的超薄小尺寸 **Aurora® 313MM2-R1** 多變量智慧感測器。其極限體積設計，使其能輕易安裝於 DGP8761 內部高度受限的主軸上。感測器自帶 IP65 防水防塵及耐鹽霧鋁外殼，能完美抵禦研磨過程中連續產生的冷卻水霧、強酸鹼研磨液與矽粉粉塵。

本方案於 DISCO DGP8761 研磨拋光機的三個關鍵研磨主軸上，共佈署 3 顆有線智慧多變量感測器：

- **Z1 粗磨主軸接近研磨側：**監測第一道大應力粗磨工序的重負載振動特徵。
- **Z2 精磨主軸接近研磨側：**監測第二道高精度微米級細磨工序的微幅高頻特徵。
- **Z3 乾式拋光主軸接近研磨側：**監測拋光與應力釋放階段的主軸與耗材狀態。

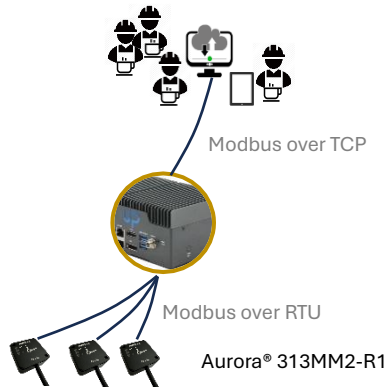


2 極致輕量化部署與分層通訊架構

- **零影響部署優勢：**在 DISCO DGP8761 研磨主軸上安裝 **Aurora® 313MM2-R1** 感測器與有線並聯走線時，僅需現場配合在計劃性保養 (PM) 等短暫維修時段進行停機走線安裝，一旦部署完成，後續監測運作完全不影響原廠設備的機械結構、轉速控制與製程動態，實現 100% 零干涉即時線上監診。
- **分層標準通訊部署：**
 - 感測器至閘道器 (地端設備層)：採

用工業級 **Modbus RS485** 專屬串列有線介面連接至 **RULe.TI002** 邊緣 AI 壽命訓練推論閘道器，具備高抗干擾與數據傳輸穩定優勢。

- **閘道器至 FDC 系統 (上層網路層)：**
RULe.TI002 透過標準 **Modbus TCP** 以太網路協定，直接將邊緣特徵與診斷結果無縫傳輸至客戶廠內的 FDC/SCADA 網路，免去複雜的軟體轉接。



2 核心三大差異化優勢對比

對比項目	傳統競品方案 (原廠監測系統 / 有線加速度計)	Texol Aurora® + RULe® 解決方案
診斷與預測能力	僅能提供主軸轉速回授、海量原始高頻振動 Raw Data 或單純的振動總量警報。完全不具備「剩餘可用壽命推估 (RUL)」與「損傷模式判定」功能。	內建 Physical AI 物理診斷演算法，直接在端點進行訊號清理與特徵計算，配合地端 RULe.TI004 閘道器，即時推算健康度 (HI) 與剩餘可用壽命 (RUL)，提早發出主動警示。
部署便利性、存儲與	有線加速度計方案需要鋪設精密高阻	採用 Modbus over RS485 鏈路並聯。

頻寬	抗訊號電纜，且高頻數據傳輸量極為龐大 (高達 76.8 kHz 取樣率)，大幅佔用無塵室頻寬並衍生龐大地端存儲建置成本。	透過邊緣端特徵萃取技術，將高頻原始數據 (307,200 Bytes/s) 在感測端壓縮萃取為極輕量特徵 (200 Bytes/s)，萃取率高達 651 ppm，降低 99.9% 數據足跡。
整體持有成本 (TCO)	他廠系統硬體與軟體授權費極高，維護程序繁雜，且難以大規模平行展開至廠內其他製程設備。	感測器精簡化設計具高經濟效益，且出廠皆具備 100% 單顆可追溯校正與設計認證。以極佳性價比降低大規模佈署門檻，全廠單一系統免去多系統混用衍生整合問題。

【告警機制與維護工作流】

為了將被動、高風險的「事後搶修」扭轉為動態可控的「預約式精準保養」，本系統建立了一套數據驅動的「告警維護閉環流程」：

- **異常感知與原因分析：**當主軸高速運轉開始產生微小劣化時，**Aurora® 313MM2-R1** 感測器端即時發覺特徵能量異常。地端 **RULe.TI004** 邊緣推論閘道器 (搭載專用 AI 預測模型訓練推論引擎) 將自動融合三軸特徵，精準診斷出故障模式：主軸不平衡/偏心、精密軸承磨損、研磨輪/拋光片異常耗損或破片風險。
- **RUL 壽命推估與主動告警：**系統地端平台呈現健康指標 (HI) 與剩餘可用壽命 (RUL) 走勢。當系統評估 **RUL** 低於設定之安全閾值時，將

主動向 FDC / SCADA 戰情室發出警報，並自動派發故障工單。

- 預約式精準保養 (Actionable Maintenance) : 現場維護團隊在收到包含明確診斷的工單 (例如 : Z1 粗磨主軸軸承磨損 , RUL 偏低) 後，無須進行緊急斷電急修。維護人員可在未來數天內，預約適合的機台空間/非生產時段進行排程停機，並提早備妥研磨主軸、軸承備件與研磨耗材。在故障發生前實施精密 PM，徹底消除意外停機與晶圓報廢風險。

【客戶實績與預警效能】

本解決方案之智慧感測硬體、地端閘道器與 Physical AI 演算法，已成功應用於福懋科先進製程設備中：

客戶名稱	福懋科 (FATC)
應用設備與製程節點	DISCO DGP8761 晶圓研磨拋光機 / 封測晶圓減薄研磨拋光
方案等級	Level 4 壽命預測方案。單機配置 3 顆智慧感測器於 Z1、Z2、Z3 主軸末端。
選用感測器 / 閘道器	Aurora® 313MM2-R1 + RULE.TI004
具體預警與導入效能	預防性前置警告與 RUL 趨勢推估：在研磨主軸或研磨輪/拋光片發生實質損毀或破片故障前，系統可提前偵測到 Z1 粗磨主軸與 Z2 精磨主軸之高頻特徵變異並發出預警。協助現場工程團隊順利實施預約式保養與

精密更換，以避免後續的直接材料報廢與 36 小時產線飢餓損失。(備註：由於本案導入後無現場失效案例，預警前置時間尚無實證，且與福懋科可承受之風險閾值動態相關。)

【量化商業效益】

引進 Aurora® + RULE 設備殘餘壽命預測解決方案，將為福懋科帶來兼具技術深度與顯著財務表現的優異 ROI：

- 防範突發性天價報廢與停工損失 (ROI)：透過在 DISCO DGP8761 關鍵研磨主軸末端進行 Level 4 壽命預測監控，全面防範因主軸燒載、研磨輪破片引發的突發性停機。單次意外事故預防，即可為產線省下高達 **340,000 美元 (約新台幣 1,080 萬元)** 的鉅額財損，項目整體回收期 (Payback Period) 極短。
- 顯著提升設備整體稼動率 (OEE)：將機台傳統「事後急修」或「盲目定期 PM」的落後模式，升級為高度主動的「預約式精準維護」。避免了過度維修與不必要停機，將機台無預警停機時間降至趨近於零，大幅提高封測減薄線的稼動率與 OEE。
- 極低持有成本與 IT 傳儲建置成本 (TCO)：相比傳統競品昂貴且高複雜度的佈線，Aurora® 感測器的超薄、微型化設計大幅縮短現場安裝工時。最關鍵的是，其邊緣特徵萃取技術 (降低高達 **99.9% 傳輸數據量**，萃取率 **651 ppm**)，為福懋科省下了龐大的地端 IT 伺服器高額頻寬、網路佈建與海量硬碟存儲成本，提供極

具優勢的整體持有成本。

【產品詢問】

如果您對此方案有興趣，請聯繫您當地的經銷商以
取得更進一步的資訊與系統報價。非常感謝。