

採用 Aurora® 213MM2-R1 與 RULe.TI002 訓練推論閘道器預測半導體製程 EFEM 晶圓傳送手臂的健康狀態與壽命。

【核心摘要與專案配置】

- **客戶名稱與產業：**台積電 (TSMC) / 半導體代工 (亞利桑那廠、南科先進封裝廠)
- **應用設備與製程：**設備前端模組晶圓傳送手臂 (EFEM ATM Wafer Robot) / 先進製程與 CoWoS 先進封裝



- **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.TI002 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】

本方案針對半導體先進製程與 CoWoS 先進封裝廠內核心設備前端模組 (EFEM) 之 ATM 晶圓傳送手臂 (Wafer Robot)，提供 Level 4 線上壽命預測解決方案。透過在手臂關鍵機構安裝超薄型 Aurora® 313MM2-R1 智慧感測器與 RULe.TI002 邊緣 AI 閘道器，實時運算設備健康指標 (HI) 與殘餘使用壽命 (RUL)。單一事故

預估可避免高達 USD 250,000 – 1,000,000 的直接晶圓報廢損失，並防範 4–12 小時的昂貴無塵室停工，成功協助客戶實現「零突發停機與零缺陷製程」的營運目標。

(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】

1 關鍵設備風險與高昂財務代價

在半導體自動化搬運中，ATM 晶圓傳送手臂負責將 12 吋晶圓從前段 Load Port 的 FOUP 中精密取放至 EFEM 腔體內，是連續生產流程的核心樞紐。當手臂長期高頻運作引發軸承磨損、傳動系餘隙過大或皮帶鬆弛時：

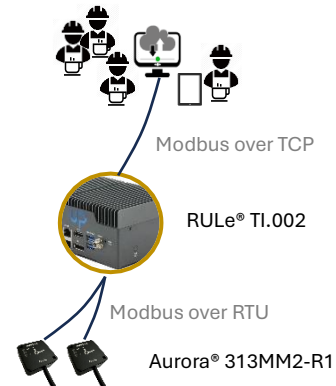
- **直接晶圓報廢損失：**單次事故受影響之 1 盒 FOUP 裝載 25 片 12 吋晶圓。於 3nm/5nm 或 CoWoS 先進封裝節點下，若手臂發生位置偏差導致晶圓刮傷、甩片或撞擊，**單次事故直接報廢損失估計高達 USD 250,000 – 1,000,000** (根據業界公開研報與該產業標準產線節點預估)。
- **間接停工與 QUAL 認證成本：**EFEM 內部屬 ISO Class 1 極淨環境。一旦發生碎晶事故，現場維修人員需耗費 **4 – 12 小時** 進行無塵室矽晶碎片清理、手臂軌道重校準 (Robot Teaching) 與 run-card 試產品質認證 (QUAL)，瓶頸機台停工損失每小時高達數萬美元。

2 傳統監測與維護機制之盲點

客戶過往依賴「人工巡檢聽診」或「定期換件保養 (PM)」：

- 錯失早期微小徵兆：ATM 手臂動作行程短、速度快且運動軌跡複雜，傳統人工聽診無法在初期微小的振動能量變化時及時發現異常。
- 過度維護與突發停機並存：定期保養可能更換尚可使用的良品零件，增加維護成本；而盲目延長 PM 週期則隨時面臨無預警停機的巨大風險。

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。



【解決方案與競品對比優勢】

1 極致輕量化部署與分層通訊架構

- 超薄小尺寸設計：採用專為侷限空間設計的 **Aurora® 313MM2-R1**，外觀尺寸僅 21 × 21 × 11.5 mm，可直接非侵入式安裝於 ATM 手臂 Flange 或運動關節處，完全不影響手臂原本的動態姿態與高精度軌跡。



- 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

2 核心三大差異化優勢對比

對比項目	傳統競品方案 (原廠系統 / 有線加速度計)	Texol Aurora® + RULe® 解決方案	本方案核心優勢與效益
診斷與預測能力	僅能回傳海量 Raw Data，或依據簡單 RMS 總量設定閾值告警。	感測器內建 Arm® Cortex®-M7 核心，搭配 RULe.TI002 輸出 Physical AI 健康指標 (HI) 與殘餘壽命 (RUL)。	能精準判斷軸承損耗、齒輪與關節磨損模式，避免誤報與漏報。
部署與頻寬	回傳高頻原始波形佔用廠內高額網路頻寬與地端儲存容量。	邊緣端直接進行頻譜特徵萃取，數據流由 307,200 Bytes/s 壓縮至 200 Bytes/s (萃取率 651 ppm)。	減少 99.9% 數據足跡，底層 RS485 結合上層 Modbus TCP，零干擾且不塞爆 IT/OT 網路。

整體持有成本 (TCO)	原廠監測模組價格昂貴，且需定期支付高額原廠軟體授權與維護費用。	輕量化邊緣智慧架構，極具經濟效益，可大規模平行展佈署。	極高 ROI，不增加年度高額維護預算。
--------------	---------------------------------	-----------------------------	---------------------

【告警機制與維護工作流】

本方案建立完整閉環之邊緣運算至集中告警與連鎖保護機制：

- 邊緣特徵運算：Aurora® 313MM2-R1 感測器端每秒進行上萬筆高頻振動數據擷取與訊號過濾，完成 651 ppm 的數據縮減。
- Physical AI 壽命推論：經由 Modbus RS485 串列介面傳輸至 RULe.TI002 閘道器，即時運算手臂健康指標 (HI) 與殘餘使用壽命 (RUL)。
- FDC 集中告警與連鎖保護：RULe.TI002 透過 Modbus TCP 協定將乾淨特徵數據、HI 與 RUL 直連客戶 FDC 系統。當 HI 指標下滑或 RUL 低於安全門檻 (如 $RUL < 10$ 天)，即時觸發集中告警與自動化連鎖停機保護 (Interlock)，防止手臂帶病運行。
- 預約式保養閉環：FDC 系統提供明確的故障原因分析 (如：Z 軸螺桿或關節軸承磨損)，維修團隊於排修窗口精準更換部件，恢復正常運轉。

【客戶實績與預警效能】

本方案已於半導體代工龍頭廠區正式導入並完成實踐驗證：

客戶名稱	台積電 (TSMC)
應用設備與廠區	EFEM ATM Wafer Robot / (亞利桑那廠、南科先進封裝廠)
方案等級	Level 4 壽命預測
選用感測器 / 閘道器	Aurora® 313MM2-R1 + RULe.TI002
具體預警與導入效能	實時分析手臂運動動態，成功捕捉傳動餘隙過大與關節軸承磨損警訊。透過 Modbus TCP 直連 FDC 集中管理，成功防範突發卡爪撞擊與天價晶圓報廢風險。

【量化商業效益】

- 避免天價報廢與停工損失 (High ROI)：避開單次 ATM 手臂撞擊/刮傷晶圓高達 **USD 250,000 – 1,000,000** 的直接報廢風險 (根據業界公開研報與該產業標準產線節點預估)，並防止 4-12 小時無塵室碎晶清理與重校準停工，單一廠域每年預計可保護 **USD 500,000 – 700,000** 的高額營運資產。
- 2. 提升設備整體有效稼動率 (OEE)：透過 Physical AI 壽命預測將突發性故障轉化為可預測的計畫性維修，顯著提升 EFEM 模組與瓶頸機台的整體稼動率。
- 3. 大幅降低建置與營運成本 (Ultra-Low TCO)：數據流由 307.2 KB/s 縮減至 200 B/s，節省 **99.9%** 儲存與頻寬成本；上層透過 **Modbus TCP** 直連 FDC 系統，零額外 IT 開發負擔，投報週期極短。

【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。