

經費來源：01 公務 02 非公務

機密(E)：是 否

出國類別： A 考察/訪問 C 進修/研究 F 工作會議/研討會
 G 推廣佈展 H 學術會議

計畫名稱：半導體技術開發與人才培育服務計畫/晶片/系統設計、下線製作與量測服務平台

參加 39 周年 2026 IEEE MEMS 會議

出國報告書

服務單位： 國家實驗研究院台灣半導體研究中心

出國人姓名職稱： 曾聖翔 研究員
張正暘 副研究員

出國地點： 奧地利

出國日期： 民國 115 年 1 月 25 日至 1 月 29 日

報告日期： 民國 115 年 1 月 27 日

摘要

參加 39th IEEE MEMS 會議

本次參加 IEEE MEMS 2026 (第 39 屆微機電系統國際會議) 在奧地利薩爾斯堡 (Salzburg) 舉辦，由 Silicon Austria Labs 的 Andreu Llobera 與 Cambridge University 的 Ashwin Seshia 擔任共同主席。自 1987 年起，MEMS 會議即為全球微機電領域最重要的年度旗艦研討會之一，提供學術界與產業界交流平台，促進技術發表、合作、人才培育、職涯發展及產業鏈連結。本屆會議延續近年來 MEMS 技術朝向智慧化、微型化與商品化的發展趨勢，並著重 AI 與無線通訊的整合，推動 IoT 與智慧系統的應用。本次大會特別強化與 MEMS 及半導體產業的合作，涵蓋設計公司、晶圓代工、封裝測試、材料與設備供應商，以及新創 MEMS 產品團隊。會場設有超過 37 家參展廠商，展示最新產品與製程技術。

在技術議程方面，大會安排多日的口頭與海報發表，包括單軌及平行分場。共收到 880 篇摘要投稿，經由 Technical Program Committee 的 48 位專家進行雙盲審查後，錄取 418 篇論文，其中包括 68 篇口頭報告、348 篇海報報告及 11 篇開放式海報 (open poster)，並設立「傑出學生論文獎」(Outstanding Student Paper Awards)。此外，大會安排 4 場主題演講 (Plenary Talks)，涵蓋 3D 微奈米架構材料、人工耳蝸技術的未來發展、懸浮固體量子光機械，以及微光子在健康科技中的應用，展現 MEMS 技術於材料、感測、生醫與量子領域的跨域創新與發展潛力。整體而言，IEEE MEMS 2026 不僅呈現 MEMS 領域最前沿的研究成果，也促進國際間學術與產業的深度交流，對未來技術合作、SIG 推廣及相關研究領域的發展均具實質助益。

活動日程表

註：活動日程表以「日」為單位填寫，惟出國派訓得以「週」為單位。

國別	日期	地點/訪問機構	工作摘要/接待人員
奧地利	1/25	奧地利/ Salzburg Congress	短期課程/交流討論
	1/26	奧地利/ Salzburg Congress	大會報告
	1/27	奧地利/ Salzburg Congress	口頭報告及海報展示
	1/28	奧地利/ Salzburg Congress	口頭報告及海報展示
	1/29	奧地利/ Salzburg Congress	口頭報告及海報展示

目 次

1. 目的	1
2. 參訪(或進修、研究、實習及會議..)紀要.....	2
3. 心得及建議.....	16
4. 出國效益.....	17
附錄(ps.指攜回資料).....	18

1.目的

本次參與 IEEE MEMS 2026，主要目的在於掌握全球微機電系統 (MEMS) 領域最新研究趨勢與技術發展方向，並透過國際級學術交流平台，深入了解各國在前瞻 MEMS 技術上的研究成果與產業應用布局。MEMS 技術近年快速朝向智慧化、微型化與系統整合發展，並逐步結合人工智慧 (AI)、無線通訊與物聯網 (IoT) 架構，形成新一代智慧感測與嵌入式系統核心。本會議為 MEMS 領域最具代表性的年度旗艦研討會，涵蓋設計、製程、封裝、測試至應用等完整技術鏈，參與可有效掌握國際研究脈動與未來發展趨勢，作為後續研發規劃與技術布局的重要參考依據。

本次會議安排多場 Plenary Talk 與 Invited Talk，主題涵蓋 3D 微奈米架構材料、人工耳蝸技術的未來、量子光機械與微光子健康科技等前瞻議題，充分展現 MEMS 技術於材料科學、生醫工程、量子科技與精密光電等領域的跨域整合潛力。透過參與大會演講與技術議程，可掌握國際頂尖研究團隊在關鍵技術瓶頸上的突破方法，如提升感測解析度、降低功耗、增進元件可靠度，以及強化系統整合與量產可行性，進一步拓展對高階 MEMS 應用與市場發展方向的理解。

此外，大會亦高度重視產業合作與技術落地，參展廠商涵蓋設計公司、晶圓代工、封裝測試、材料供應與設備製造商，提供觀摩最新產業技術與商品化成果的機會。透過參與展覽與產業論壇，可更全面掌握 MEMS 產業鏈的發展趨勢與市場需求，並評估先進製程、封裝整合與系統化產品的可行方案，作為推動技術移轉、產學合作或產品化策略的重要依據。在學術交流方面，大會涵蓋大量口頭報告與海報發表，主題廣及生醫感測、微流體、諧振器、微聲學、微光學、製程監控與新興材料等多元領域，提供與國際研究團隊直接互動的平台。透過參與論文發表與技術交流，不僅可提升我方研究成果的國際能見度，亦有助於了解各領域最新研究方法、實驗架構與應用挑戰，進一步修正與深化未來研究方向。

同時，建立國際人脈網絡亦為本次會議一大收穫，有助於促進跨國合作、共同研究與後續技術交流，強化我方在國際 MEMS 研究社群中的參與度與影響力。值得一提的是，本次會議中已與多位國際學者進行 SIG (Special Interest Group) 會員的深度技術交流與論文發表，並於會中積極推廣 SIG。藉此不僅提升 SIG 在國際 MEMS 社群中的能見度與連結，也有助吸引更多國際學者與業界人士加入，推動特定技術領域的合作研究、資源共享與共同發展。

整體而言，參與 MEMS 2026 不僅能有效掌握國際最新技術與產業趨勢，更可透過論文發表、技術交流與 SIG 推廣，建立長期合作網絡，為未來 MEMS 研發、國際合作與技術布局奠定堅實基礎。。

2.參訪(或進修、研究、實習及會議..)紀要

本次研討會安排了許多不同種主題，因此筆者將針對其中感興趣主題進行以下討論。

參加本次 Keynote 演講「Bringing Materials Fabrication to 21st Century: 3D Nano- and Micro-Architected Materials as Key Enablers for Energy Storage, Microrobotics, and Nano-Components for Electronics」，讓我對材料科學、先進製造與 MEMS 技術未來發展有了更全面且深刻的認識。講者 Julia R. Greer 教授以「結構即功能 (architecture as functionality)」為核心主軸，清楚指出材料的關鍵性能已不再僅由材料本身的化學組成所決定，而是高度仰賴其跨尺度的結構設計，從原子尺度、奈米尺度、微米結構到整體三維架構，彼此相互影響並共同決定材料最終表現。演講中展示的 3D 奈米與微米架構化材料，能在極低密度下同時具備優異且可調控的機械、熱、光學與電化學特性，顛覆了傳統對材料「強度與重量必須取捨」的既有認知。這種以結構設計提升材料性能的思維，對於未來高效能能源儲存元件、微型機器人以及先進微電

子與奈米電子元件的發展，具有關鍵啟發意義。尤其在能源儲存應用上，透過微架構化設計提升電極反應效率與穩定性，顯示材料結構工程已成為突破電池效能瓶頸的重要方向。此外，Greer 教授深入介紹增材製造（Additive Manufacturing, AM）技術在先進材料製造上的角色，特別是水凝膠灌注式光固化增材製程（HIAM），使得奈米與微米尺度的三維複雜結構得以實現，並可進一步轉化為金屬、陶瓷與多功能金屬氧化物材料。此種製程不僅突破傳統 MEMS 平面製程限制，也為多材料整合與功能性材料設計提供高度自由度，讓未來 MEMS 元件有機會朝向高度三維化與多功能化發展。整體而言，這場 Keynote 演講不僅展示了先進材料與製程的最新成果，更在觀念上引導我重新思考材料、製程與系統應用之間的關係。未來 MEMS 技術若能結合架構化材料設計與先進增材製造，將有機會在能源、生醫、機器人與高階電子系統中創造突破性應用，對研究與產業發展皆具有深遠影響。

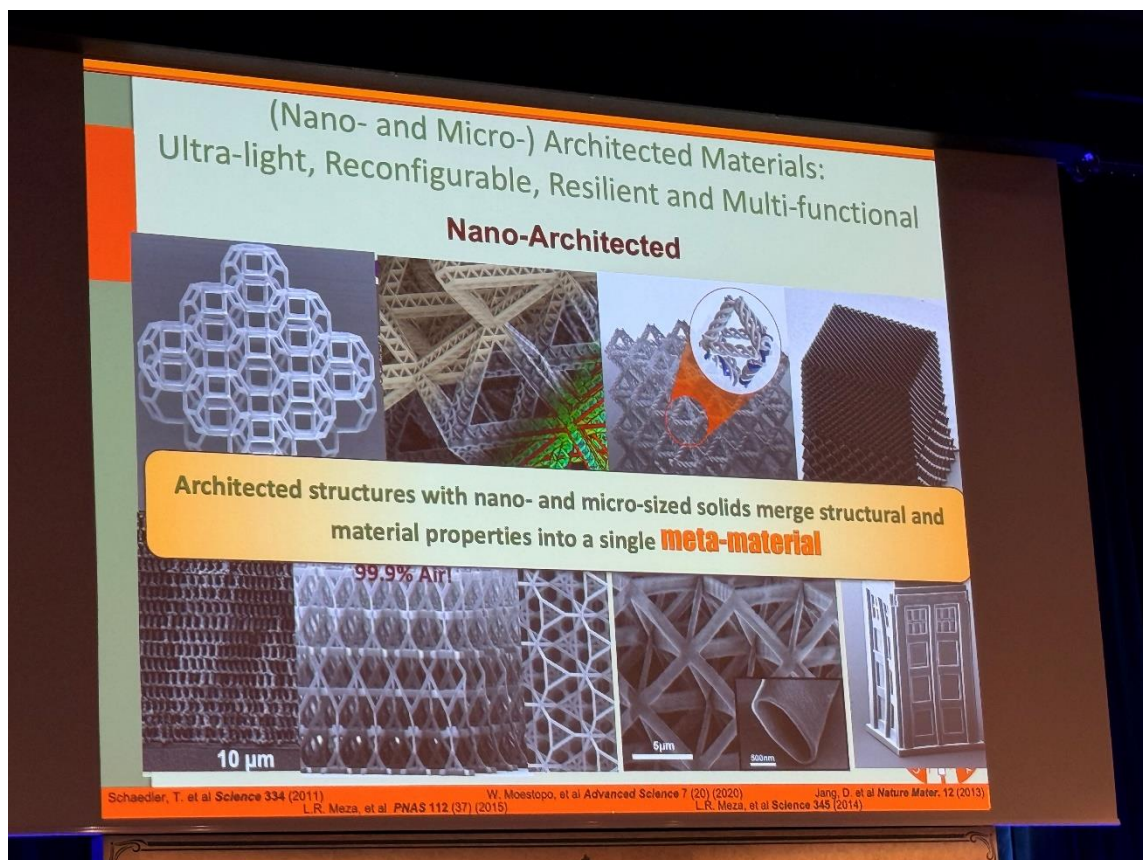


圖 1. 納米結構與微機電之應用

由清華大學方維倫教授與布拉格捷克理工大學 Alexandr Laposa 所提出「High-Performance CMOS-MEMS NO₂ Gas Sensors with Inkjet Printed ZnO on Pillar Electrodes」為本次 IEEE MEMS 2026 中極具代表性的研究成果之一，同時也是透過 SIG (Special Interest Group) 國際合作所完成的重要論文，充分展現跨國、跨單位合作在先進 MEMS 技術研發上的綜效。研究團隊整合捷克與臺灣多個學研機構，並結合台積電成熟 CMOS 製程平台，成功實現兼具高效能與高度製程相容性的氣體感測元件，對於環境監測與物聯網應用具有高度實用價值。本研究最大的技術亮點，在於將 CMOS-MEMS 柱狀電極結構 (pillar array electrodes) 與噴墨列印 ZnO 奈米顆粒薄膜 進行異質整合。相較於傳統交指電極 (IDEs)，柱狀電極可有效提升局部電場強度與反應表面積，進而顯著放大氣體吸附與載子調制效應。實驗結果顯示，在 50 ppm NO₂ 下感測反應可超過 3500%，即使在低至 5 ppm 的濃度仍可達約 1400%，整體靈敏度較 IDE 結構提升近一個數量級，清楚證明電極幾何結構設計在氣體感測效能上的關鍵影響。此外，研究中採用 UV 活化感測機制，使感測器能在室溫下操作，避免傳統金屬氧化物氣體感測器需高溫加熱所帶來的功耗與可靠度問題。透過 365 nm UV 光源產生光生載子，提升 ZnO 與 NO₂ 分子間的反應效率，不僅降低系統能耗，也大幅提升感測穩定性與重複性，對於未來低功耗、長時間運作的感測節點特別具有吸引力。在製程面向上，本研究所採用的噴墨列印技術亦展現高度潛力。該方法具備低溫、無光罩、可精準定義材料區域等優點，完全符合 CMOS 製程熱預算限制，並可直接在後段製程完成感測材料整合。相較於傳統物理沉積方式，噴墨列印不僅降低製程複雜度與成本，也提供未來多材料、多功能感測元件整合的彈性，顯示其在 CMOS-MEMS 商品化上的高度可行性。從 SIG 合作角度來看，本研究充分體現國際分工與技術互補的價值。捷克團隊在材料與元件物理分析

上的深厚基礎，結合臺灣在 CMOS-MEMS 製程、封裝與系統整合方面的成熟能量，使研究成果不僅停留於概念驗證，更具備實際量產與應用潛力。透過此次 SIG 合作與論文發表，不僅提升我方在國際 MEMS 與氣體感測領域的能見度，也為後續在環境監測、智慧城市與 IoT 感測平台上的進一步合作奠定良好基礎。整體而言，此篇論文不僅在技術上具備創新性與實用性，也在合作模式上展現 SIG 平台促進跨國研究整合的關鍵角色，對未來推動高效能 CMOS-MEMS 感測系統與國際合作研究具有重要示範意義。

由 IME(A*STAR)與 STMicroelectronics 所提出「Transmit-Receive Performance Enhancement of $\text{Sc}_{0.3}\text{Al}_{0.7}\text{N}$ PMUTs through Ferroelectric Activation」研究聚焦於 $\text{Sc}_{0.3}\text{Al}_{0.7}\text{N}$ （高摻雜 Scandium 之 AlN）壓電薄膜 PMUT（piezoelectric micromachined ultrasonic transducer）之性能提升，並提出一項極具創新且實務價值的「鐵電活化（ferroelectric activation）」後製程優化方法，作為改善器件均勻性與性能的關鍵策略。傳統 PMUT 性能提升往往仰賴結構重新設計或沉積製程的精細控制，但 ScAlN 薄膜殘留應力在晶圓尺度上極難一致控制，容易造成頻率與耦合係數（ Kt^2 ）偏差，影響量產可行性。本研究的核心突破在於利用高 Sc 摻雜材料具備鐵電特性，可透過施加高電壓循環使壓電薄膜內部極化域重新排列，並伴隨內部應力鬆弛與調控，達到「製程後調整性能」的效果。此概念對於 MEMS 量產而言極具吸引力，因其可在不更動設計與沉積條件下，於晶圓後段進行可擴展的效能校正。從結果來看，鐵電活化後 PMUT 在發射與接收性能皆顯著提升，包括 Kt^2 提升 1.2 - 1.7 倍、位移靈敏度提升最高 33%、10 公分量測聲壓提升約 14 - 21%，且改善效果在不同尺寸元件上皆具一致性。尤其研究以同晶片內 test/reference side-by-side 比較方式排除製程誤差，使得實驗結論更具可信度，也展現 IME/ST 在實驗設計與系統量測上的嚴謹性。整體而言，此研究不僅提供高性能 ScAlN PMUT 的有效優化方法，也凸顯「後製

程活化調控」對於壓電平台量產化的重要性。值得關注的是，TSRI 未來將延續與 IME/A*STAR 及 STMicroelectronics 之合作，進一步推動平台化服務模式，提供台灣學界作為先進壓電 MEMS 元件研發與驗證的重要支援資源。透過此平台，國內研究團隊將可更有效利用成熟製程與可靠的量測驗證環境，降低開發門檻並縮短研發時程，進而提升學研成果之可實作性與國際競爭力。同時，此平台亦有助於促進產學研合作鏈結，推動壓電超音波元件 (PMUT) 及相關感測技術在生醫、IoT、智慧製造與先進封裝等應用領域的發展，強化台灣在全球 MEMS 與半導體產業鏈中的技術影響力。

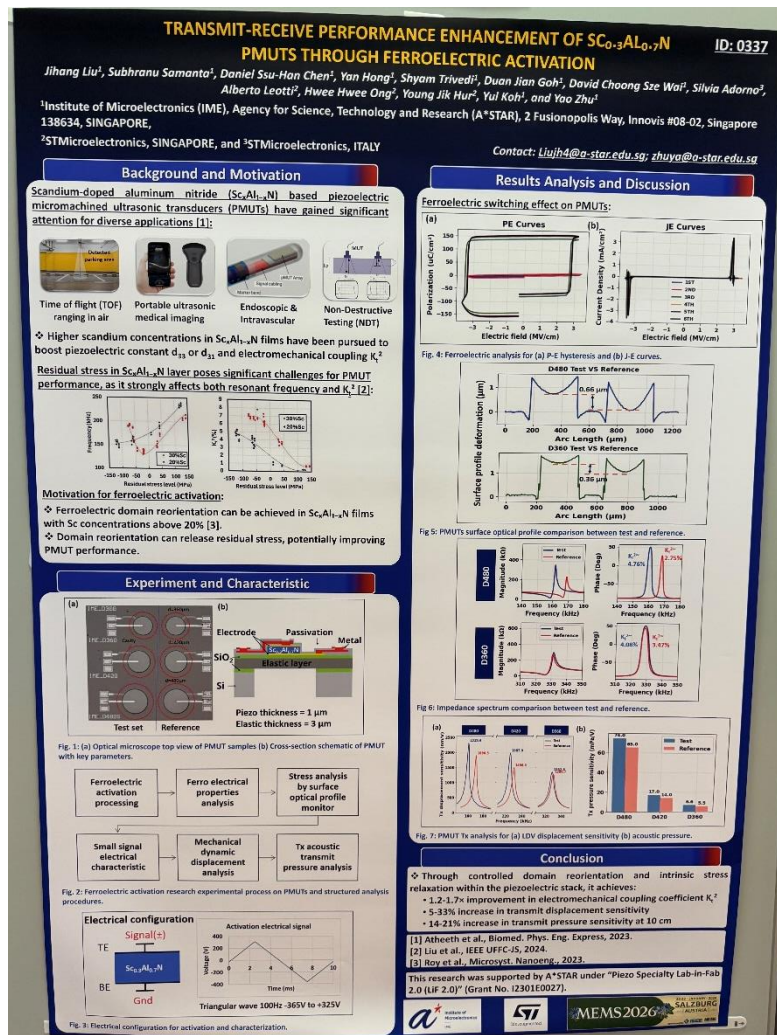


圖 2. 由 IME (A*STAR) 與 STMicroelectronics 所提出「Transmit-Receive Performance Enhancement of $Sc_{0.3}Al_{0.7}N$ PMUTs through

Ferroelectric Activation」

由立命館大學 Daisuke Yamane 提出「Surface Potential Trimming in Microdomains of Self-Assembled Electrets Using Ultraviolet Light」是一項相當具有創新性且實用價值的技術概念：利用局部紫外光照射（UV exposure）來達成自組裝駐極體（Self-Assembled Electrets, SAE）薄膜表面電位的微區域調控。過去 SAE 材料的優勢在於可透過熱蒸鍍於室溫沉積，並因分子自發排列而自然形成穩定表面電位，省略傳統駐極體需要額外充電的步驟，因此非常適合與 MEMS 製程整合。然而，SAE 表面電位多由薄膜厚度決定，缺乏後段可調控手段，使得元件設計與性能調整受到限制。本研究正是針對此瓶頸提出突破性的解決方案。研究團隊透過無光罩曝光系統（maskless lithography）以 365 nm 紫外光對 SAE 薄膜進行圖案化照射，並利用 Scanning Kelvin Probe 量測表面電位分布。實驗結果顯示，在紫外光照射區域，SAE 表面電位會明顯下降，而未照射區域則能維持較高電位，形成清楚的微結構電位圖案。特別是在不同曝光面積與曝光時間條件下，表面電位變化具有可預期的控制性，代表此方法不僅能進行局部修整（trimming），更具備「數位化調控」的潛力。此成果的重要性在於，它提供了一種真正可在 SAE 沉積完成後進行後製程調整的手段，等同於為 SAE-based MEMS 元件新增一個可控參數，使設計自由度大幅提升。從應用角度而言，SAE 常被用於振動能量採集器（VEH）與物理感測器，其輸出性能高度依賴駐極體表面電位分布與均勻性。若能在微區域內精準調整表面電位，未來可進一步實現多區域功能整合，例如同一片元件中設計不同感測靈敏度區、或依需求形成梯度電位結構，提升能量轉換效率或感測線性度。這種概念也可能帶來類似「後段校正」的效果，對於改善元件一致性與製程容忍度具有潛在價值。整體而言，本研究雖屬概念驗證，但展現出高度可延伸性。其所提出的 UV 修整技術具備後製程、無光罩、可微米尺度控制等優勢，

未來若能與實際 MEMS 器件結合並量化對性能提升的貢獻，將有機會成為 SAE 元件設計與製程中相當關鍵的一項工具技術。

由加州大學柏克萊分校 Li-wei Lin 所提出「Multimodal Normal and Shear Force Tactile Sensing via PMUTs」以壓電式微型超音波換能器 (PMUTs) 為核心的多模態觸覺感測架構，能同時量測正向力 (normal force) 與剪力 (shear force)，並具備良好的解耦能力，對於未來高階機器人操控技術發展具有高度啟發性。研究團隊來自 UC Berkeley Liwei Lin 教授團隊，其成果展現出 MEMS 元件在機器人感測領域的突破性應用潛力。過去機器人觸覺感測器常面臨多軸力量難以分離、訊號漂移、環境雜訊干擾或尺寸過大的問題，使得觸覺回授仍難以達到人類手指的精細程度。本研究指出傳統電容式、壓阻式、光學式或磁性觸覺感測器皆存在各自限制，而 PMUT 具有微型化、可陣列化、低功耗且抗電磁干擾 (EMI) 的特性，特別適合應用於接觸密集 (contact-rich) 的機器人操作場景，例如精密抓取、插孔裝配 (peg-in-hole) 以及人機互動 (HRI)。這樣的論述讓我感受到，PMUT 不僅是超音波成像或測距元件，更可能成為未來智慧機器人「皮膚」的重要核心。此研究最具特色之處在於提出三種可整合的超音波感測機制。首先利用 ToF (time-of-flight) 原理量測正向力，透過上層彈性體受壓縮導致回波路徑縮短，實驗證明可達到 0.1 N 的解析度，且具線性關係，代表其校正與系統整合相對容易。第二種方法則透過設計階梯狀彈性體結構並以陣列掃描回波輪廓，利用剪力造成的橫向位移變化來辨識 shear force，並可與 normal force 分離。第三種方法則巧妙利用剪力造成接觸邊緣彈性體拉伸變薄的現象，藉由量測水-彈性體界面與彈性體-空氣界面回波間距來推估局部厚度，進而對剪力做出高靈敏度判讀。這些設計不僅工程思維清晰，也顯示研究團隊對聲學傳播與材料力學行為的深入掌握。整體而言，我認為此篇論文的重要價值不僅在於展示 PMUT 的感測能力，而是提供一種「用聲波做觸覺」的新方向，並成功建立多軸力量解耦的

策略。若未來能進一步提升封裝穩定性、縮小匹配層體積並整合至晶片系統，將可望在智慧機器人、醫療機械手臂與可穿戴裝置等領域形成新一代高可靠度觸覺感測平台，具有高度研究與產業應用潛力

由 Robert Bosch GmbH 和 University of Stuttgart 的 Prof. Jens Anders 共同發表所提出「A Wafer-Level Test Approach for Stopper Sidewall Friction Force Characterization Using a MEMS Accelerometer Based Test Structure」內容聚焦於 MEMS 加速度計在衝擊環境下的可靠度議題，並提出一套創新的晶圓層級摩擦特性量測方法。此篇研究表明 MEMS 可靠度問題往往不在於元件是否能正常運作，而是在長期衝擊載入下，stopper 側壁的磨耗、摩擦與黏附 (stiction) 如何逐步累積並導致失效。傳統 shock 測試多半只能區分「正常」或「失效」，若要追溯失效原因，常需透過光學或破壞性檢測分析表面劣化，既耗時又昂貴。此研究提出的二維 MEMS 測試結構，能在晶圓層級以非破壞方式快速量測摩擦行為，對於提升開發效率與製程監控具有實質意義。作者利用兩個可獨立致動的功能質量 (FN 與 FR)，分別在 Y 方向提供正向力、在 X 方向產生相對滑動，進而回推靜態與動態摩擦係數。尤其透過摩擦循環中 motion voltage (V_m) 與 pull-in voltage ($V_{pi,R}$) 等參數，推導出摩擦力與黏附力的變化，使得摩擦特性可以量化呈現，而非僅停留在定性判斷。這樣的實驗設計思路非常完整，也充分展現博世在 MEMS 量產技術與可靠度工程上的成熟能力。此外，研究中對於 25 萬次摩擦衝擊後的結果分析也相當值得注意。雖然部分元件出現永久 stiction，顯示黏附力明顯增加，但摩擦係數卻呈現下降趨勢，推論可能與表面粗糙峰值被磨平、表面逐漸光滑化有關。這提醒我 MEMS 摩擦與黏附並非單一參數能描述，而是一個涉及材料表面形貌演化、接觸力學與微尺度磨耗的複雜系統。整體而言，本篇所提出的晶圓層級摩擦量測方法，不僅能有效縮短可靠度評估時間，也為未來 MEMS stopper 設計與製程優化提供重要工具。若能將此類測試概念導入更多 MEMS 元件開發流

程，將有助於提升產品一致性與長期可靠度，對產業界與學研單位皆具有高度參考價值。

本研究為 TSRI 主導(曾聖翔組長、張正暘博士)提出之重要研究成果，並採用 IME/A*STAR 與 STMicroelectronics 所提供之 ScAlN 壓電製程平台完成晶片製作，論文題目為「A Piezoelectric MEMS True Random Number Generator Driven by Amplitude-Modulated Internal Resonance」，本研究內容，其最大亮點在於成功將非線性動態與資訊安全應用結合，提出一種以 ScAlN 壓電諧振器為核心的高效能真隨機數產生器 (TRNG)。論文利用 1:2 internal resonance (內部共振) 建立動態雙井能量狀態，再透過 amplitude modulation (AM) 泵浦方式使系統在多能量井之間跳遷，進一步形成強烈且穩定的混沌振動訊號。這種架構不僅能避免傳統 Duffing 系統常見的遲滯 (hysteresis) 問題，也能以單音驅動搭配調變達到混沌生成，使電路介面更簡化，對於未來系統整合與實際應用具有高度可行性。在隨機性萃取方法上，本研究提出 pseudo-XOR 操作 (取絕對值) 搭配 3-LSB 取樣策略，在 150 kHz 取樣率下達到 450 kbps 的輸出速率，並成功在 2.5 秒內產生 1.125 Mbits 的隨機序列。最重要的是，此序列通過 NIST SP 800-22 與 NIST SP 800-90B IID 測試，並得到 non-IID min-entropy 0.878368，顯示其品質已達到可用於密碼學應用的水準。對於 MEMS-based TRNG 研究而言，這是一項相當具代表性的里程碑成果。此外，論文也清楚比較了不同 MEMS chaos generator 架構 (如 comb-driven bistability、Duffing resonator、multi-mode IR 等)，並指出本研究在驅動方式、占用面積與可靠操作性上具有優勢。這些比較不僅凸顯研究貢獻，也使其更具說服力與延伸價值。對我而言，能以 TSRI 為主導單位，結合 IME/ST 的製程資源並完成高品質晶片驗證，再推進至國際會議口頭發表，代表台灣在壓電 MEMS 平台與系統應用上已具備與國際競爭的實力。未來若能持續深化此平台並開放服務台灣學界，將可加速更多創新應用落地，

進一步提升台灣在 MEMS 與資安晶片領域的影響力。

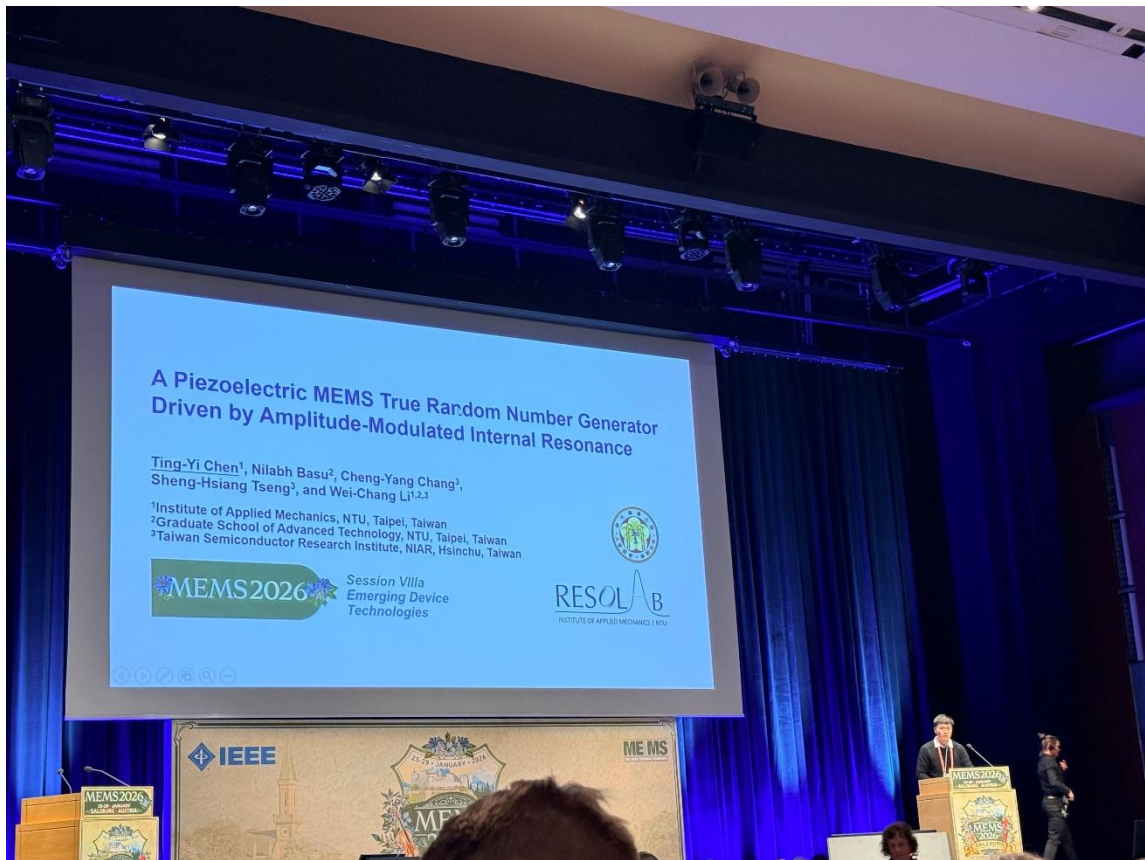


圖 3. 由 TSRI 主導所提出之重要研究成果「A Piezoelectric MEMS True Random Number Generator Driven by Amplitude-Modulated Internal Resonance」

由清華大學盧向成教授和曾聖翔組長合作提出之論文「CMOS-Integrated Biaxial MEMS Scanning Mirror with Closed-Loop Control for Stable Long-Term Precision」此篇論文在 TSRI 協助 CMOS 晶片製作與發表支援下，成功於 IEEE MEMS 2026 國際會議中呈現具高實用價值之研究成果。此研究聚焦於雙軸 MEMS 掃描反射鏡 (bi-axial scanning mirror) 之長期穩定性問題，並提出閉迴路控制 (closed-loop control) 架構以大幅提升掃描角度穩定度，對於未來投影顯示、LiDAR、生醫影像與精密光學掃描系統具有重要貢獻。此篇論文，我認為其最大亮點在

於作者不僅成功整合雙軸掃描鏡結構與致動方式，更進一步將角度感測與控制迴路整合至系統層級，真正解決過往 2D 掃描鏡在長時間操作下容易因溫度變化、材料老化或製程差異造成掃描角度漂移的核心瓶頸。論文指出，多數既有 2D Lissajous 掃描鏡仍採開迴路控制 (open-loop)，導致掃描角度隨時間漂移而影響成像品質與系統可靠度，因此閉迴路控制是推動掃描鏡進入高精度應用場域的必要條件。本研究採用 0.35 μm 2P4M CMOS 製程，利用金屬層形成電磁線圈、n-well 形成壓阻式感測器，並透過電磁驅動產生雙軸扭轉運動。更重要的是，研究提出 quadrature demodulation、PLL-based frequency locking 與 PI 控制器進行掃描振幅調控，使得雙軸掃描能獨立控制並維持穩定輸出。實驗結果顯示，閉迴路控制後慢軸與快軸的漂移率分別降低至 -2.4×10^{-7} deg/s 與 2.5×10^{-7} deg/s，達到過往設計數個數量級以上的改善，顯示此架構具高度可靠性與實際商品化潛力。此外，研究中提到慢軸共振頻率為 1.79 kHz、快軸共振頻率達 31.39 kHz，且快軸 Q 值高達 1902，顯示其結構設計與製程品質相當成熟。壓阻感測靈敏度亦分別達 0.3 mV/deg 與 4 mV/deg，優於過去使用多晶矽壓阻元件的成果。整體而言，本研究充分展現 TSRI 在 CMOS 製程支援與晶片實作平台上的關鍵角色。透過 TSRI 的協助，使學研單位能將創新設計快速落實於可量測、可驗證的晶片平台，並成功在國際頂尖會議發表。未來若能延伸此技術至更高解析度掃描、封裝整合與系統級光學模組，將可望帶動台灣在精密光機電系統與 LiDAR 核心元件領域的技術能量與國際競爭力。

圖 4 為口頭報告之場次與題目，圖 5、6 為筆者與會場合影，圖 7 為筆者與海報展示、圖 8 筆者與魯汶大學 Michael Kraft 進行意見交流合影；此外也與立命館大學 Yamane 教授、台大李尉彰教授、清大方維倫教授、李昇憲教授、陽交大學邱一教授等，進行意見交流與討論。

MEMS2026		TUESDAY PROGRAM
TUESDAY AT A GLANCE		
08:30-09:15	Plenary Presentation II Ingeborg Hochmair – <i>Med-EI, AUSTRIA</i>	
09:15-10:15	Session V - Biomedical Acoustics	
10:15-10:45	Break and Exhibit Inspection	
10:45-12:00	Session VI - Resonators and Oscillators	
12:00-12:15	MEMS 2027 Announcement	
12:15-13:30	Lunch and Exhibit Inspection	
13:30-15:30	Poster Session II	
15:00-15:30	Break and Exhibit Inspection	
15:30-16:30	Session VIIa - Wearable and Biomedical Applications	Session VIIb - Novel Fabrication Technologies
16:30-18:00	Session VIIIa - Emerging Device Technologies	Session VIIIb - Microfluidics
18:00	Adjourn for the Day	

Session VIIIa: Emerging Device Technologies
 Chair: Núria Barniol, *Universitat Autònoma de Barcelona, SPAIN*

Europe Hall, Second Floor

16:30	<p>INVITED NANOELECTROMECHANICAL INFRARED SPECTROSCOPY: EMILIE'S JOURNEY FROM LAB TO MARKET Silvan Schmid <i>Technische Universität Wien, AUSTRIA</i></p>
17:00	<p>A PIEZOELECTRIC MEMS TRUE RANDOM NUMBER GENERATOR DRIVEN BY AMPLITUDE-MODULATED INTERNAL RESONANCE Ting-Yi Chen¹, Nilabh Basu¹, Cheng-Yang Chang², Sheng-Hsiang Tseng², and Wei-Chang Li^{1,2} ¹<i>National Taiwan University, TAIWAN</i> and ²<i>Taiwan Semiconductor Research Institute, TAIWAN</i></p>

圖 4. 口頭報告之場次與題目



圖 5.筆者與會場合影



圖 6.筆者與會場合影

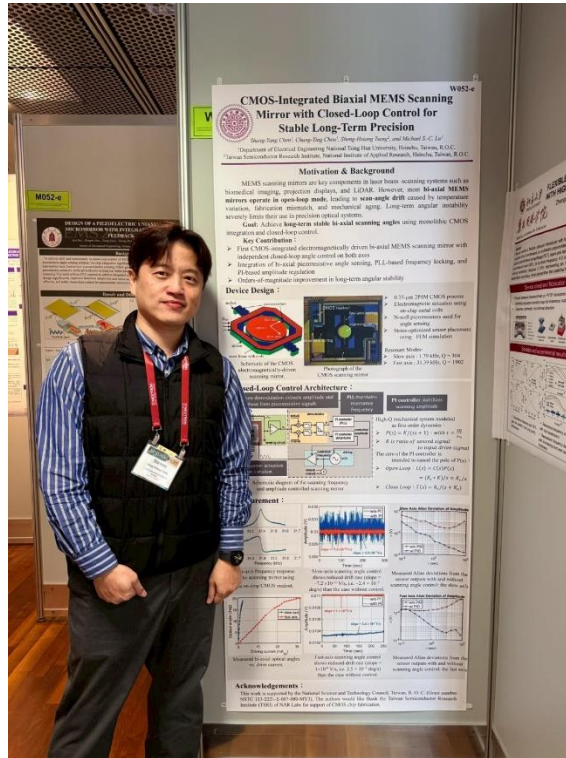


圖 7.筆者與海報展示

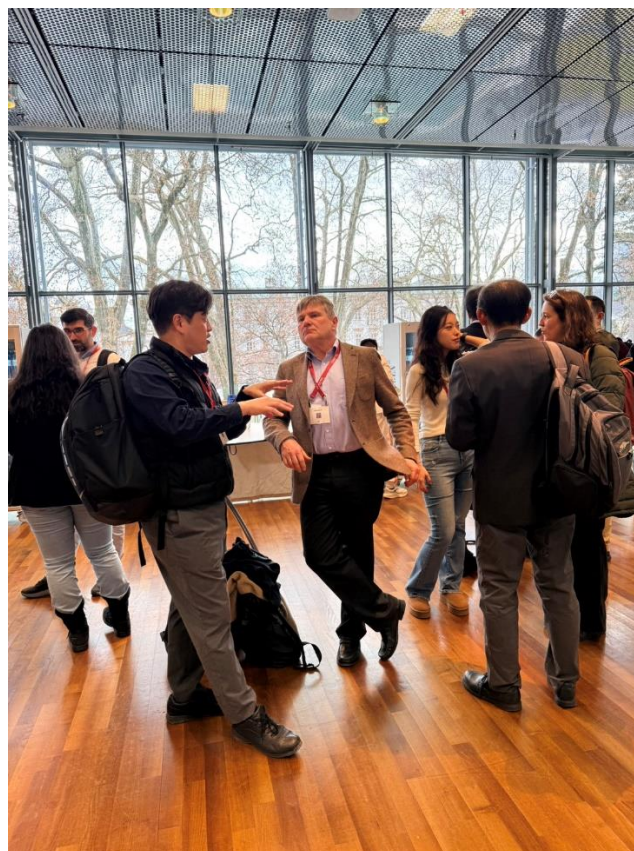


圖 8.筆者與魯汶大學 Michael Kraft 進行意見交流

3.心得及建議

本次參與 IEEE MEMS 2026 國際會議，並實際投入多篇研究成果之發表與交流，讓我對全球 MEMS 技術發展趨勢、研究方法與產學合作模式有更全面且深刻的體會。整體而言，本屆會議清楚展現 MEMS 技術已由單一元件研究，逐步邁向跨尺度結構設計、系統整合與實際應用導向，並與人工智慧、資訊安全、生醫工程與量子科技等領域產生更緊密的連結。在學術層面，Keynote 演講與多場技術議程顯示，未來 MEMS 研究不僅重視元件性能指標，更強調材料、結構、製程與系統層級的協同設計。例如以架構化材料提升功能、以非線性動態創造新型系統行為，皆為具高度前瞻性的研究方向。這些內容對於重新思考 MEMS 設計方法與研究策略具有重要啟發，也提醒我們需跳脫傳統線性與單一物理量的設計框架。在研究成果方面，由 TSRI 主導、並採用 IME/A*STAR 與 STMicroelectronics 所提供之 ScAIN 壓電製程平台所完成的壓電 MEMS 研究，特別是以內部共振與振幅調變驅動之真隨機數產生器 (TRNG)，充分展現平台整合與跨單位合作的價值。該成果不僅在技術上成功結合非線性動態與資安應用，並通過嚴格的 NIST 測試標準，也在會議中由學生進行口頭報告，有效提升台灣研究成果的國際能見度，同時達成研究與人才培育的雙重目標。此外，SIG (Special Interest Group) 合作論文與多位國際學者的交流，也顯示 SIG 平台在促進跨國技術合作、資源共享與共同發表上的實質效益。透過 SIG 的推廣與實際合作，不僅能加速研究成果產出，也有助於建立長期且穩定的國際合作網絡，對於台灣研究團隊深度參與國際 MEMS 社群具有關鍵意義。基於上述心得，提出以下幾點建議：1.持續深化 TSRI 平台化服務角色。TSRI 未來將進一步擴大 IME/ST 壓電製程平台開放服務台灣學界，搭配設計諮詢、量測驗證與教育訓練，降低高階 MEMS 研究門檻，加速學研成果落地。2.持續推動 SIG 與國際合作機制。建議將 SIG 視為長期策略工具，鼓勵更多研究團隊透過 SIG 進行共同研

究、學生交流與聯合提案，以提升台灣在國際 MEMS 社群中的影響力。整體而言，本次參與 IEEE MEMS 2026 不僅是一次技術交流，更是檢視台灣 MEMS 研究與平台發展定位的重要契機。透過 TSRI 平台整合、國際製程合作與 SIG 網絡推動，未來可望進一步強化台灣在先進 MEMS 與跨域應用上的國際競爭力。

4. 出國效益

本次參與 IEEE MEMS 2026 國際會議，對我國在微機電系統 (MEMS) 領域之國際能見度、技術布局與合作網絡拓展具有多重效益。IEEE MEMS 為全球 MEMS 領域最具指標性之國際研討會之一，匯集來自歐、美、日、韓及新加坡等地之頂尖研究機構與產業代表。透過參與此會議，不僅能掌握國際最新技術趨勢，也能有效展現台灣在 MEMS 研發、製程整合與系統應用上的研究實力，提升國際影響力。在學術成果方面，本次會議期間進行論文發表與技術交流，並進行口頭報告，讓國際研究社群直接了解台灣團隊在壓電 MEMS 與非線性動態應用領域的技術成果。其中由 TSRI 主導、並採用 IME/A*STAR 與 STMicroelectronics 所提供之 ScAlN 壓電製程平台完成晶片製作之研究成果，成功結合內部共振 (Internal Resonance) 與振幅調變 (Amplitude Modulation) 機制，達成高效能真隨機數產生器 (TRNG) 應用，並通過 NIST 隨機性測試標準。此成果不僅展現台灣在先進壓電 MEMS 製程與資安應用整合上的能力，也使國際社群更重視台灣在 MEMS 跨域應用的發展潛力，強化我國在國際頂尖會議中的研究存在感。此外，本次會議亦與多位國際學者及 SIG 會員進行深度技術交流，並在會中推廣 SIG。透過 SIG 平台的合作與互動，可有效促進跨國研究資源共享、人才交流與共同發表，進一步擴大我國研究團隊的國際合作網絡。此種長期合作模式不僅有助於提升研究成果產出效率，也可為未來跨國聯合提案、共同申請國際研究計畫奠定基礎，提升台灣在國際 MEMS 研究社

群中的參與度與話語權。在產業面效益上，本次會議展示多家國際半導體與 MEMS 大廠的技術布局與市場趨勢，使我方得以直接觀察全球產業鏈最新發展方向，並評估台灣在感測器、壓電元件、封裝測試及製程設備等領域的競爭位置。尤其透過與 IME/STMicroelectronics 等國際單位建立合作基礎，並導入其成熟的 ScAlN 壓電製程平台，TSRI 未來可進一步將此平台服務台灣學界，形成具國際水準的先進製程支援能力，協助國內研究團隊縮短開發時程、提升研究品質並加速成果落地。整體而言，本次參與 IEEE MEMS 2026 不僅有效提升我國在國際 MEMS 領域的學術能見度與技術形象，也促進國際合作網絡與平台資源連結，並強化 TSRI 在國際先進製程合作與國內技術服務推動上的角色。此行所累積之國際交流成果，將有助於我國持續深化 MEMS 跨域應用發展，並提升台灣在全球 MEMS 技術鏈中的國際競爭力與影響力。

附錄(ps.指攜回資料)

本次參與 IEEE MEMS 2026 會議，攜回該次會議論文全部電子檔，如圖 9 所示。

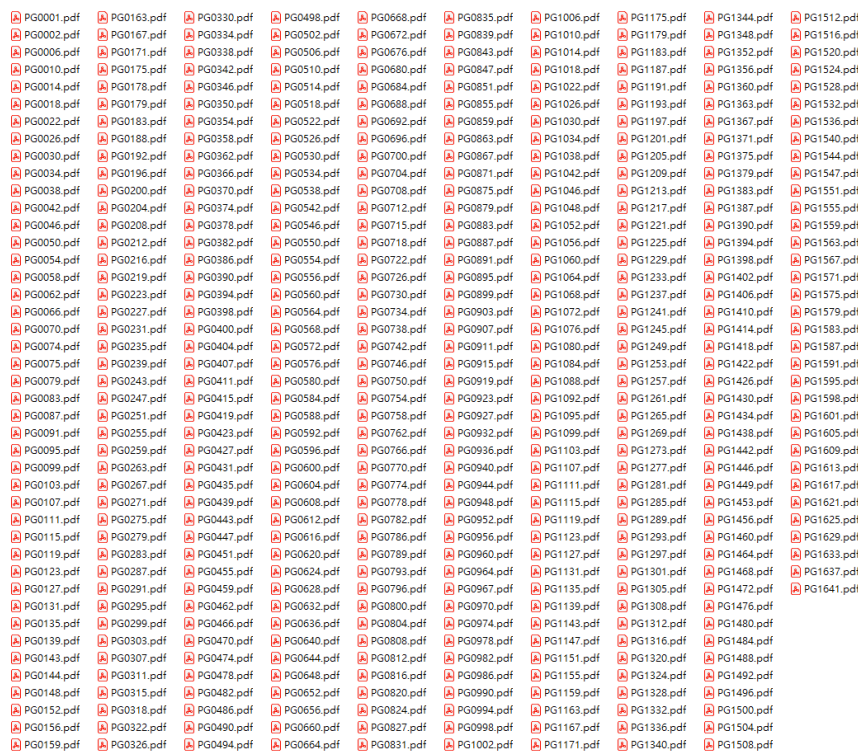


圖 9. IEEE MEMS 2026 會議所有論文集