

出國報告（出國類別：開會/考察）

觀摩太陽光電推動情形並參加永續  
發展材料研討會(MATSUS 2024)

服務機關：經濟部能源署

姓名職稱：陳奕汝約聘高級企劃師

派赴國家/地區：德國及瑞士

出國期間：2024年11月6日至2024年11月15日

報告日期：2025年1月

## 內容摘要

近年受烏俄戰爭影響，歐洲能源使用遭遇很大挑戰，故太陽光電開發已是歐洲推動再生能源設置的一個重要面向。目前歐洲除了屋頂型光電已經強制設置之外，地面型的營農型光電在相關光電推動策略中也受到廣泛討論，本次赴歐洲參訪相關光電多元應用案場，觀摩借鏡歐洲光電開發推動經驗；另一方面，研發新型態高效率的太陽能電池也是擴大太陽光電發電重要的推動方向，故參加「永續發展材料研討會（Materials for Sustainable Development Conference），以下簡稱MATSUS」，了解國際間鈣鈦礦與堆疊型太陽能電池研發現況與展望。

本次觀摩德國柏林火車總站（又譯為柏林中央車站）光電建置成果。該車站是柏林重要鐵路樞紐，也是歐洲最大的高架車站，其東西走向的上層月台大廳長達321公尺，設有玻璃頂棚，並在其上整合安裝容量合計達330kW的太陽光電模組。另除現場參訪光電案例外，亦將洽詢CR schwabe建築師事務所的鄭以農了解柏林強制設置屋頂光電現況，作為國內未來推動參考。

至於參訪德國弗勞恩霍夫太陽能系統研究所（Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE，簡稱Fraunhofer ISE）的一處實驗農電共生試驗場，了解德國農電共生經驗。Fraunhofer ISE位於德國佛萊堡，是歐洲最大的太陽能技術研究機構，研究方向以技術應用為主，致力於將創新技術商業化，近年來已積極投入農電共生試驗計畫。Fraunhofer ISE初步評估，適合農電共生的作物以可以從增加的陰影中受益的作物為主，如葡萄、蔬菜等，展現農電共生的可行性，吸收其經驗將有助於我國太陽光電後續擴大推動。

本次參加瑞士洛桑瑞士科技會展中心（Swiss Tech Convention Center）所舉辦之永續發展材料研討會（MATSUS），了解新型太陽能電池研發現況與展望。鈣鈦礦與堆疊型太陽能電池是國際間新型高效率太陽能電池的研發趨勢，我國並已投入該技術研發；透過參與研討會，有利於研擬我國新型太陽能電池研發方向。

## 目次

<b>壹、行程紀要</b> .....	- 1 -
一、 出國目的 .....	- 1 -
二、 行程說明 .....	- 1 -
三、 參加人員 .....	- 2 -
<b>貳、開會/考察過程</b> .....	- 3 -
一、 拜訪 CR Schwabe 建築師事務所.....	- 3 -
二、 拜訪德國研究機構 Fraunhofer ISE .....	- 6 -
三、 參與 MATSUS 研討會 .....	- 12 -
<b>參、心得與建議</b> .....	- 30 -
一、 拜訪 CR Schwabe 建築師事務所.....	- 30 -
二、 拜訪德國研究機構 Fraunhofer ISE .....	- 30 -
三、 參與 MATSUSFall 研討會.....	- 31 -
<b>肆、附件及參考資料</b> .....	- 33 -

## 壹、 行程紀要

### 一、 出國目的

為強化國內光電系統安全，提升太陽光電多元應用之量能，及鈣鈦礦堆疊電池研究技術進展，拜訪德國 CR Schwabe 鄭以農建築師討論柏林推動屋頂光電現況與參訪德國 Fraunhofer ISE 了解農電共生推廣的經驗，並出席瑞士科技會展中心(Swiss Tech Convention Center)所舉辦之永續發展材料研討會(MATSUS)。

期透過考察德國柏林重要交通運輸站屋頂設置太陽光電及維運，並了解德國佛萊堡農電共生推廣及參訪實驗農電共生試驗場等發展經驗，作為國內未來太陽光電設置推動之政策參考，促進國內太陽光電系統一地多用類型之設置量。

### 二、 行程說明

本次出國主要任務前往德國觀摩太陽光電推動情形並參加於瑞士召開之永續發展材料研討會(MATSUS 2024)。考量於飛機與長途陸運班次時間及旅運時數較長，出差整體期間為 10 日。

11 月 8 日至 11 月 11 日間，主要考察德國柏林火車總站、拜訪 CR schwabe 建築師事務所鄭以農建築師及參訪德國佛萊堡 Fraunhofer ISE。11 月 12 日至 11 月 13 日間，則參加瑞士洛桑舉辦之永續發展材料研討會(MATSUS)。本次出國行程概要如表 1。

表 1、出差日程表

日期	行程內容摘述
11/6 (三)	去程：桃園國際機場出發
11/7 (四)	去程：抵達奧地利維也納國際機場，轉機到德國柏林布蘭登堡機場
11/8 (五)	與德國 CR Schwabe 鄭以農建築師洽談柏林推動屋頂光電的現況。
11/9 (六)	移動行程(德國法蘭克福)並整理訪談資訊

11/10 (日)	移動行程(德國佛萊堡)並整理訪談資訊
11/11 (一)	拜訪德國 Fraunhofer ISE，了解鈣鈦礦堆疊太陽能電池研發成果與德國農電共生推廣的經驗。
11/12 (二)	前往瑞士洛桑參加 MATSUS 研討會及論壇，了解國際鈣鈦礦與堆疊型太陽電池技術現況與展望
11/13 (三)	參加 MATSUS 研討會及論壇，了解國際鈣鈦礦與堆疊型太陽電池技術現況與展望
11/14 (四)	回程：瑞士日內瓦國際機場出發
11/15 (五)	回程：抵達桃園國際機場

### 三、參加人員

本次赴德國及瑞士觀摩太陽光電推動情形並參加永續發展材料研討會(MATSUS)人員名單如下。

表 2、參加人員名單

姓名	單位	職稱
陳奕汝	經濟部能源署	約聘高級企劃師
張評款	工業技術研究院綠能所	工程師
黃聖文	工業技術研究院綠能所	副研究員

## 貳、開會/考察過程

### 一、拜訪 CR Schwabe 建築師事務所

本次拜訪 CR Schwabe 建築師事務所針對柏林推動太陽能之問題與了解德國目前屋頂設置光電的案例及樣態，會議中，討論德國柏林眾議院於 2021 年 6 月 17 日通過之「柏林太陽能法」，該法規定自 2023 年 1 月 1 日起，柏林也將強制要求在新建築的屋頂、住宅和非住宅建築的主要屋頂改造時安裝光電系統。不遵守該法規將被處以最高 10,000 歐元(折合台幣約 340,000 元)的罰款。該法案適用於屋頂面積超過 50 平方米的建築物，太陽能系統必須至少覆蓋屋頂淨面積的 30%。對於太陽能系統的最低性能也做出了明確的規定：兩居室的住宅必須配備至少 3kW 的光電系統。兩居以上的居住和商用住宅樓則必須安裝能產生 6kW 電力的光電系統。除外規定：當屋頂是紀念物、安裝光電系統會破壞房屋穩定性或房屋朝向有問題時，可免於安裝光電系統。



圖 1、CR Schwabe 建築師事務所分享德國柏林能源政策

建築師提及德國跟台灣在消防、保險及建築法規面有很大的差距，柏林因巷道狹小，消防系統只有 10 樓以下能夠支持，所以十層樓以上即為高樓，故太陽能建置時還需具有快速關斷的系統，因此屋頂建置太陽能系統皆需通過消防局或保險等相關單位核可，所以陽台建置 2-4 片太陽能模組自發自用是柏林極力推廣之方案，在政策規定，僅可使用具有符合 DIN VDE-AR-N-4105 認證的逆變器並提供商品證書，逆變器在拔下插頭後 0.2 秒內關閉，且在觸摸插頭的引腳時沒有危險觸電風險。陽台安裝光電系統時，必須遵守適用的安全標準，併網的規定為連接一個或多個總裝機容量高達 2kW 與逆變器總輸出為 800W 的插電式太陽能設備，但因柏林日照時數問題，柏林太陽能系統建置普及度遠遠地於德國南部區域。而德國柏林目前確實因法令規定，很多改建之建築物需要建置太陽光電系統，但因考量光電與建物整合之美觀性，因此，太陽能系統設計會先以 BIPV 著重考量。如柏林火車總站之屋頂，其屋頂使用玻璃作為頂棚，在玻璃表面上結合安裝太陽光電系統，使用面積為 2,700 平方公尺，裝置容量為 330kW。



圖 2、德國柏林火車總站 BIPV 建築

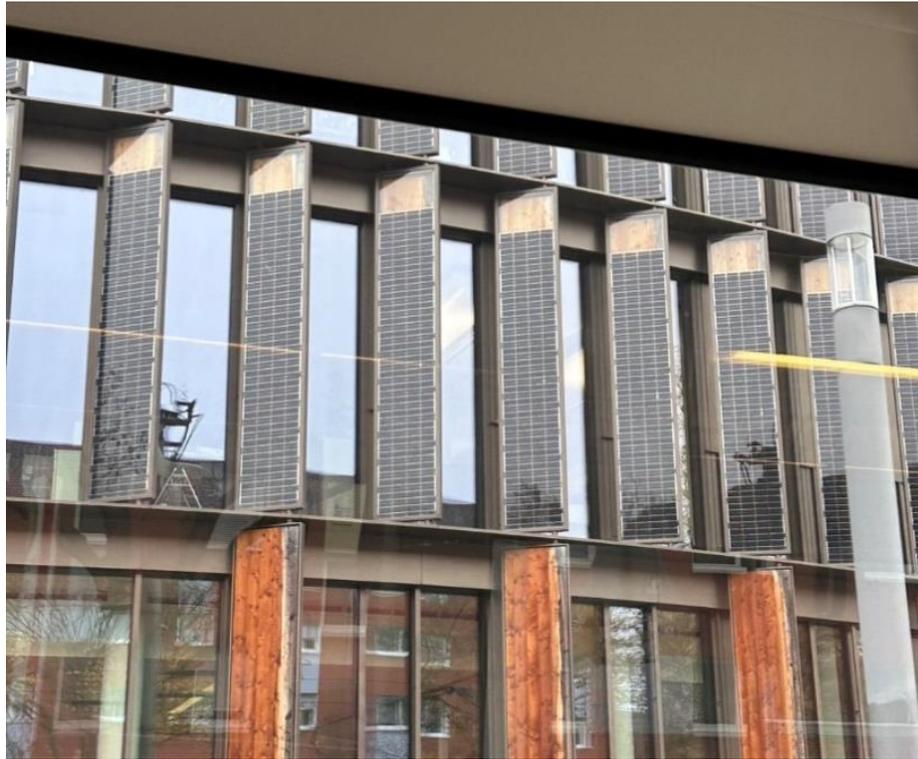


圖 3、德國 BIPV 建築(單晶)

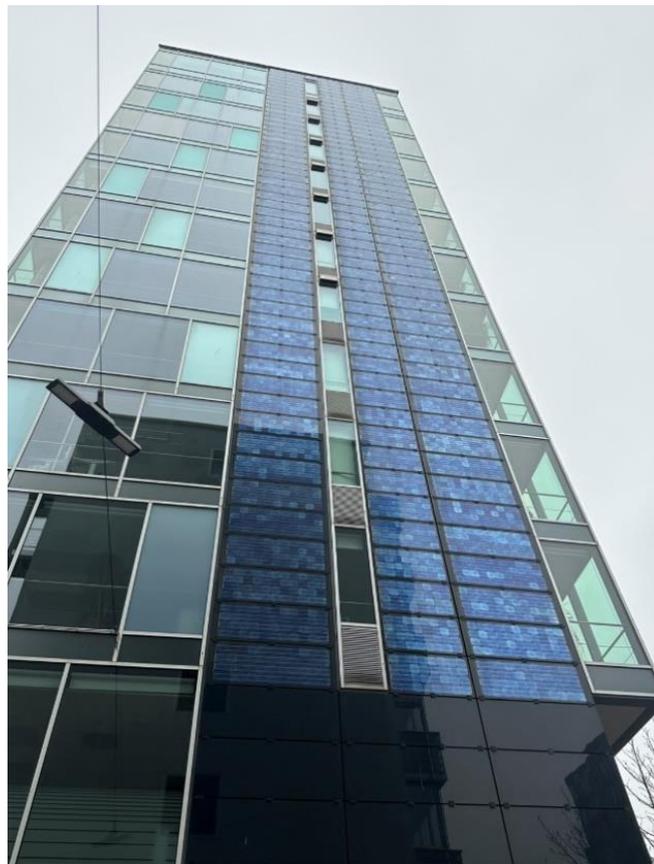


圖 4、德國 BIPV 建築(多晶)

## 二、拜訪德國研究機構 Fraunhofer ISE Dr. Max Trommsdorff

德國研究機構 Fraunhofer ISE 位於德國佛萊堡，隸屬於弗勞恩霍夫應用研究協會，為德國也是歐洲最大的太陽能技術研究單位，近年來與德國政府及歐洲許多企業合作進行農電共生試驗計畫。德國很早就提出了農業結合太陽光電系統的概念，然而直自 2010 年開始推動農電共生，盼能解決地面型太陽光電所面臨的土地競合議題，亦能同時帶來提供電力、提升經濟效益等優點。



圖 5、德國 Fraunhofer BIPV 建築

在德國，農電共生係以農業生產為主，電力生產為輔為原則，研究發現農電共生已具經濟及技術可行性，因此在德國農電共生的景象已逐漸變得常見。Fraunhofer ISE 亦針對各類型農作物進行試驗研究，如葡萄、蔬菜、蘋果或馬鈴薯，目前相關試驗成果皆展現農電共生的可行性。Dr. Fraunhofer Max Trommsdorff 提及農電共生需要特別注意光電系統支架高度與間距設計、不同地區之適合作物選擇、使用雙面太陽能或追日太陽能系統之發電效能提升等。有些農電共生實例案場，支架達 5-8 米之高度且 10 至 15 米之間距，以確保農業機械能正常

運作，並為農作物提供適量光照。太陽能模組之間間距需要經過精確計算，以避免過度遮陰。對於需要較多光照的作物（如小麥、玉米），應採取較高的板間間距；而對於喜陰作物（如草莓、香菜），可以適當加大遮陰比例。

在農電共生研究中，對蘋果種植也進行了深入的研究，特別是在如何結合光電系統提升蘋果種植的生產效率和品質方面，實驗性場域使用雙面太陽能板設置於蘋果樹間，並進行了不同遮陰比例的對比試驗，研究發現遮陰 30-40%時，蘋果樹的產量幾乎不受影響，而果實的日灼率顯著降低。系統設計方面，Fraunhofer ISE 開發專門的雙面太陽能（bifacial PV）系統，這些系統能讓太陽能模組兩面同時吸收光線，提升發電效率並最大限度地降低對農作物光照的影響。2017 年，Fraunhofer ISE 在德國巴登-符騰堡州的一個農場建立了一個實驗性農電共生系統。該系統覆蓋了約 1/3 公頃的土地，太陽能模組架設高度為 5 米，讓機械化農業得以進行。成果：農田作物（例如馬鈴薯、大豆）與傳統農業相比，產量僅減少 20%左右，而光電系統的發電效率則保持高水平。期間也參觀了 Fraunhofer 研究成果，如雙面太陽能模組、彩色太陽能模組（綠色、紅色、藍色等）、鈣鈦礦太陽能電池、車用太陽能模組等。



圖 6、德國 Fraunhofer 分享農電共生案例



圖 7、德國 Fraunhofer 農電共生應用之雙面發電模組



圖 8、德國 Fraunhofer 農電共生應用之模組



圖 9、德國 Fraunhofer 開發之彩色模組



圖 10、德國 Fraunhofer 開發之車用太陽能模組



圖 11、德國 Fraunhofer 開發之太陽能窗戶模組



圖 12、德國 Fraunhofer 開發之鈣鈦礦太陽能電池

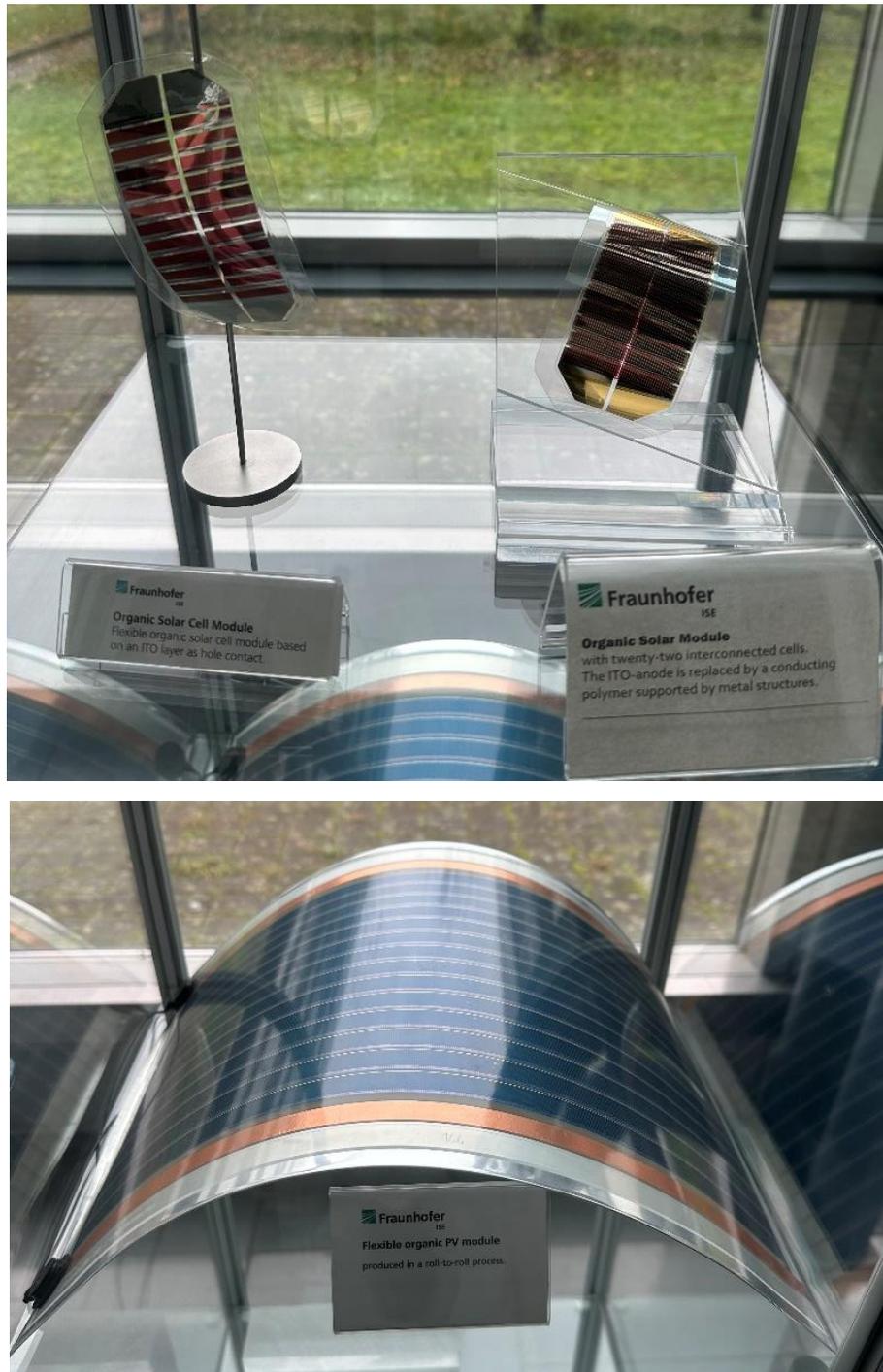


圖 13、德國 Fraunhofer 開發之有機太陽能模組(OPV)

### 三、參與 MATSUS (Materials for Sustainable Development Conference) 研討會

MATSUS (Materials for Sustainable Development Conference) 於 2024 年 11 月 12 日至 15 日在瑞士洛桑的 SwissTech Convention Center 舉行，主要圍繞可持續發展材料展開。這個會議旨在促進材料科學、化學和工程領域的交流，特別是如何利用這些領域的知識來應對當前的環境挑戰。會議設有多個專題研討會，涵蓋以下幾個重要領域：

- 鹵化鉛鈣鈦礦材料：這些材料在太陽能電池和光催化等應用中顯示出巨大的潛力，會議將探討其合成、特性及應用。
- 電化學和催化：研究如何利用新型電催化劑來提高能源轉換效率，並減少環境影響。
- 電池技術：專注於鋰電池及其替代技術的最新進展，特別是在可持續性和回收方面的挑戰。

由於會議內容相當多，本報告主要針對鈣鈦礦材料及發電、量子點發光及催化應用等與我們較為相關的議題進行蒐集。

#### · Printing inks for scalable processing of flexible perovskite solar cells

講者: Suhonen, Riikka (VTT Technical Research Centre)

摘要: 為了實現鈣鈦礦太陽能電池的規模化和商業化，需要開發可擴展且可持續的製造流程。該講者的研究提出使用凹版印刷作為一種載子傳輸層及鈣鈦礦的沉積方法，相較於傳統刮刀塗佈或是狹縫塗佈，凹版印刷可以更靈活的調整沉積的圖形，這些優勢是上述塗佈技術無法達成的。

此外，該講者也提到氧化錫溶劑調控及聚合物添加劑的鈣鈦礦前驅液的最佳化。藉由聚合物的添加，調整鈣鈦礦前驅液的黏度，除了能夠改善鈣鈦礦的塗佈情況外，也能夠有效提升鈣鈦礦元件的穩定性。

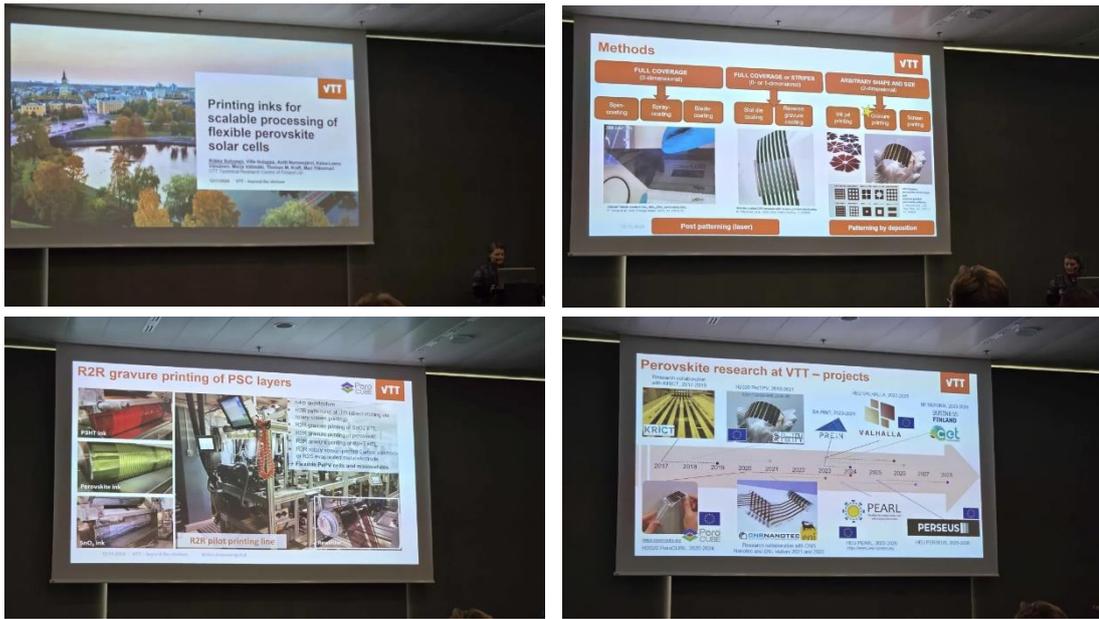


圖 14、Printing inks for scalable processing of flexible perovskite solar cells 會議圖參

▪ **Mechanosynthesis and Application of Bismuth-Based Perovskite Inspired Materials for X-ray Detection**

講者：Starkholm, Allan (Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie)

摘要：高原子序數元素的高靈敏度 X 射線感測器對於降低醫療應用中的劑量率至關重要。傳統的 X 射線感測器材料（例如 Si 和 CdTe）具有中低原子序數、高熱雜訊和晶體雜質等缺點，所有這些都會對偵測器的整體性能產生負面影響。鉍(Bi)基材料具有顯著的優勢，包括出色的穩定性和高原子序數等，使其成為 X 射線檢測等應用中非常有趣的候選材料。該團隊利用機械合成成功合成一系列鉍基 X 射線感測器材料。針對不同反應條件、材料成分、添加劑和後處理對感測器性能的影響進行研究。研究表明，單晶和顆粒形式的鉍基鈣鈦礦材料具有作為有效 X 射線感測器的巨大潛力。



圖 1、Mechanosynthesis and Application of Bismuth-Based Perovskite-Inspired Materials for X-ray Detection 會議圖參

· CsPbX<sub>3</sub> – Pb<sub>4</sub>S<sub>3</sub>X<sub>2</sub> Semiconductor Heterostructures as Band-Engineered Photocatalysts for Reactions in Organic Media

講者: Cabona, Anna (Italian Institute of Technology)

摘要: 膠體異質結構是由兩種在界面處連接的材料組成的奈米顆粒，可以表現出不同於其單獨成分的獨特性質。當選擇兩種具有合適能帶排列的材料時，所得的異質結構可以將陽光轉化為電子-電洞對，然後透過結的電子結構將其分開。這可以有效抑制複合，使光生載子可用於光催化反應。

其中 CsPbX<sub>3</sub>/Pb<sub>4</sub>S<sub>3</sub>X<sub>2</sub> 異質結構 (其中 X= Cl、Br、I) 是此類架構的一個有前景的範例，其中具有不同晶體結構的兩個半導體透過外延界面連接。並且可以藉由直接合成或合成後藉由鹵素交換來進行能隙的精細調整。

該團隊的研究成功合成 CsPbX<sub>3</sub>/Pb<sub>4</sub>S<sub>3</sub>X<sub>2</sub> 異質結構，首先採用吸收光譜和紫外光電子能譜相結合來進一步了解 CsPbX<sub>3</sub>/Pb<sub>4</sub>S<sub>3</sub>X<sub>2</sub> 異質結構異質結構的能帶排列，基於該結果，

確定了該異質結在生物質轉化光催化的潛在應用，如 5-羥甲基糠醛的氧化。與二氧化碳還原等反應環境不同，該反應可以在有機溶劑中進行，與金屬鹵化物更相容，並且由於生產具有附加經濟價值的化學品而仍然具有重要意義。



圖 16 、CsPbX<sub>3</sub> - Pb<sub>4</sub>S<sub>3</sub>X<sub>2</sub> Semiconductor Heterostructures as Band-Engineered Photocatalysts for Reactions in Organic Media  
會議圖參

- Novel Guanidinium-based Long-chain Ligands for Lead Halide Perovskite Nanocrystals

講者：Berezovska, Yuliia (ETH Zürich)

摘要：鹵化鉛鈣鈦礦 (LHP) 奈米晶體作為一類有前景的光電應用材料，它們的離子晶格的低活化能特性，和不穩定的表面化學是學界一直以來關注的重點，最常見用於提升鈣鈦礦 (LHP) 奈米晶體穩定性的策略為配體吸附。最近，一系列配體的開發顯著提高了鈣鈦礦膠體的穩定性。主要是透過使用兩性離子配體來實現的。為了推動鈣鈦礦膠體配體的進一步開發，我們試圖合理化常用配體的結合行為。

該團隊發現，使用兩性離子磷酸膽鹼和磷酸乙醇胺的配體靜態結合到鈣鈦礦膠體表面，表現出最高的穩定性。基於磺基甜菜鹼的配體在穩定性和結合動力學之間提供了良好的平衡。幾種常見長鏈銨基配體(OA 及 OAm)雖然表現出高動態性，但由於其對於 pH 的敏感性，或與 A 位的結合不理想，通常穩定性不足。因此，該團隊基於上述研究，提出了一個新的長鏈胍基配體家族，在不影響穩定性的情況下，提供與 NC 表面的

動態結合，從而在表面上易於接近的活性位點。合成了基於胍的配體庫，並將其應用於不同尺寸和成分的鈣鈦礦膠體，例如 CsPbBr<sub>3</sub>、FAPbBr<sub>3</sub> 和 CsPbI<sub>3</sub>。新合成方法使得鈣鈦礦膠體的製備在膠體溶液中量子產率高達 95%，在緻密薄膜中量子產率可以高達 80%。這種特性的組合使得帶有胍基配體的鈣鈦礦膠體在光催化應用中非常有前景。



圖 2、Novel Guanidinium-based Long-chain Ligands for Lead Halide Perovskite Nanocrystals 會議圖參

## Optimization of SnO<sub>2</sub> Thickness in Perovskite Solar Cells Using Machine Learning

講者：Turgut, Sevdije Basak (Ege University Solar Energy Institute)

摘要：利用機器學習開發鈣鈦礦太陽能電池可顯著減少大量實驗的需要，從而節省時間和資源。這種方法透過根據現有數據預測最佳材料組合和加工條件來提高鈣鈦礦太陽能電池的效率，從而提高性能並減少材料使用。該團隊使用機器學習 (ML) 技術，透過確定電子傳輸層的理想厚度和高功率轉換效率 (PCE) 的最佳塗層參數來優化鈣鈦礦太陽能電池 (PSC) 的性能。機器學習模型經過大量實驗資料的訓練，可根據不同的電子傳輸層厚度和塗層條件預測結果。該方法的一個主要優點是能夠

減少在太陽能電池生產中找到最佳參數所需的實驗數量。

該研究採用 ITO/SnO<sub>2</sub>/FAMAPbI<sub>3</sub>/Spiro-OMeTAD/MoO<sub>3</sub>/Ag 的元件結構。為了優化元件中的電子傳輸層(SnO<sub>2</sub>)厚度，根據一系列關於塗層參數和環境條件的實驗條件創建了一個資料庫。使用 Random Forest (RF)、eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) 和 Category Gradient Boosting (CatBoost) 三種 ML 演算法來優化元件效率。並使用 Bayesian optimization 執行參數優化。均方根誤差 (RMSE) 和皮爾遜相關係數 (r) 用於評估模型的指標。其中 XGBoost 取得了最佳結果，RMSE 為 0.455，Pearson 係數為 0.958。根據該結果，實驗獲得的最高 PCE 從 13.2% 增加到 14.26%，在預測條件下提高了 8%。

## · Effective hybrid perovskites for solar cell applications

講者: Grigoryan, Sona (National Academy of Sciences A. B. Nalbandyan Institute of Chemical Physics)

摘要: 有機-無機鉛或錫鹵化物鈣鈦礦結構，具有優異的光吸收、電荷載流子遷移率和可調節的能隙，這些特性突顯了其在光伏產業中的潛力。然而，穩定性和毒性問題仍然存在挑戰。在該團隊的研究中，通過機器學習 (ML) 模型、密度泛函理論 (DFT) 計算和合成方法，對簡單和混合鈣鈦礦及其特性進行了研究。為了解決穩定性問題，首先我們集中研究了含鉛的有機-無機鈣鈦礦，試圖找到穩定的組成，而毒性問題則是我們下一步的目標。該團隊使用 7 種機器學習算法來預測生成的鈣鈦礦組成的能隙。根據收集的數據，選擇了線性回歸模型作為最佳預測模型。由於其能隙能量，FAPbBr<sub>1.125</sub>I<sub>1.875</sub> 被選為太陽能電池應用的最佳組成之一。機器學習結果通過 DFT 計算和實驗得到了確認。能隙能量通過 DFT 和混合方法理論計算，混合泛函使用了 Hartree - Fock 方法，並通過旋塗法獲得了均勻的薄膜。然而該團隊目

前遇到的問題是使用該組成製作的薄膜與計算的能矽之間產生不符合的情況，與其交流後我們認為可能機器學習使用的結構並非熱力學穩定相，導致室溫相變使其能系發生改變，這在許多的鈣鈦礦組成中都可以看到類似的情況，因此我們也提出製程工藝改善的建議。



圖 3、Effective hybrid perovskites for solar cell applications  
會議圖參

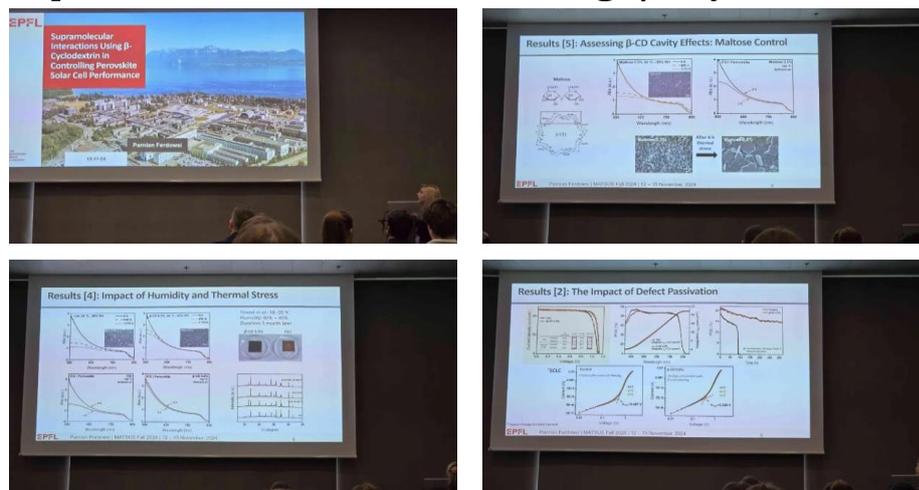
- Supramolecular interactions using  $\beta$ -cyclodextrin in improving performance and stability of perovskite solar cell

講者: Ferdowsi, Parnian (EPFL)

摘要: 鈣鈦礦太陽能電池 (PSCs) 已經實現了高達 26.1% 的光電轉換效率 (PCE)，然而，其商業化受到顯著的穩定性挑戰的阻礙，特別是在氧氣/濕氣存在下，以及在電壓偏置、光照和溫度波動等操作條件下。這些問題通常與離子的遷移有關，這會導致光電性能的退化，進而不利於 PSCs 的性能和長期穩定性，其中固有缺陷和晶界是鈣鈦礦層內主要的離子遷移通道。值得注意的是，未反應的碘化鉛 (PbI<sub>2</sub>) 可以分解成碘和金屬鉛，作為復合中心，進一步促進離子遷移，加速退化。碘化鉛在鈣

鈦礦晶粒表面以及鈣鈦礦層與電荷傳輸層之間的界面，是在光照下內在不穩定的主要原因。該研究通過引入 $\beta$ -環糊精( $\beta$ -CD)到三陽離子鈣鈦礦層中來有效防止殘留 $\text{PbI}_2$ 的結晶，從而解決這些問題。這種方法除了能夠促進均勻的晶體生長外，也能夠與未配位鉛陽離子缺陷的鈍化。使用 $\beta$ -CD的PSCs具有21.36%的PCE，並在嚴苛的熱應力和高濕度(85% RH)下顯示出極佳的穩定性，這結果可以歸因於缺陷鈍化。值得注意的是，與不含 $\beta$ -CD的對照組相比， $\beta$ -CD處理的樣品在1170小時的濕氣暴露後顯示出最小的光學能隙偏移(3 meV)。此外，經過0.5%  $\beta$ -CD處理的設備在50-60°C的測試中經過320小時後仍保持其初始PCE的73%以上。XPS和NMR觀察顯示， $\beta$ -CD有效地錨定了未配位的 $\text{Pb}^{2+}$ 離子，防止了金屬鉛的形成並在環境壓力下增強了薄膜的穩定性。此外，這種方法不僅鈍化了未反應的 $\text{PbI}_2$ ，還提供了有關 $\beta$ -CD在PSCs中作用的寶貴見解。使用麥芽糖作為非環狀對照進行的額外測試證實了 $\beta$ -CD在惡劣條件下增強鈣鈦礦薄膜穩定性的優越能力。 $\beta$ -CD與鈣鈦礦之間形成的超分子系統有望成為控制鈣鈦礦前驅體化學、材料結構及隨後設備性能和穩定性的策略。

圖 19、Supramolecular interactions using  $\beta$ -cyclodextrin in



improving performance and stability of perovskite solar cell 會議圖參

## Perovskite-based Nanohybrids for Energy Conversion

講者：Cortés Villena, Alejandro (Universidad de Valencia - ICMol, Institute of Molecular Science)

摘要：基於鈣鈦礦納米晶體和光活性有機分子，如 BODIPY 染料的納米混合物，在可見光範圍內具有寬且強的光吸收特性，以及可用的三重態激發態等，這些特性在有機光催化領域有極大的潛力。在本研究中調查了納米晶體-有機納米混合物在界面處的光物理特性。為此，將 CsPbBr<sub>3</sub> 鈣鈦礦納米晶體 (NCs) 與 BODIPY 染料 8-(4-羧基苯基)-1,3,5,7-四甲基-4,4-二氟-4-硼-3a,4a-二氮-苯并[s]吡咯 (BDP) 和 8-(4-羧基苯基)-2,6-二碘-1,3,5,7-四甲基-4,4-二氟-4-硼-3a,4a-二氮-苯并[s]吡咯 (I2-BDP) 結合。通過使用穩態和時間分辨吸收及光致發光技術，揭示了通過選擇性激發 NCs 來實現 BODIPY 染料在相應納米混合物中的敏化機制。光譜電化學分析和理論計算證實了瞬態中間物種的生成，這些物種在光敏化機制中至關重要。I2-BDP 中三重態活性物質的高效生成使 NC@I2-BDP 納米混合物成為通過單線態氧生成將  $\alpha$ -蒎烯氧化為驅蟲素的潛在光催化劑。

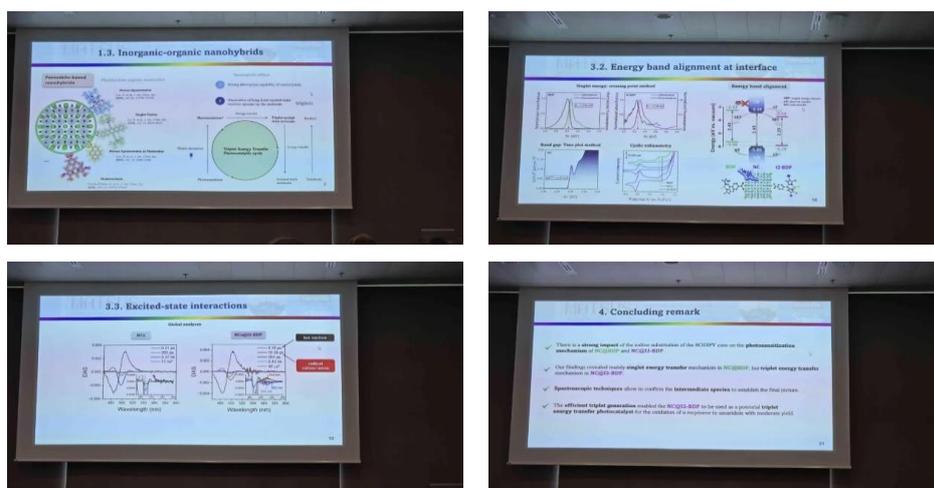


圖 4、Perovskite-based Nanohybrids for Energy Conversion 會議圖參

· Naphthalene Diimide Cation Assisted Charge Transport in Lead Free Dion-Jacobson Type Hybrid Perovskite

講者：Thor, Waygen (École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL))

摘要：提升錫鹵化物鈣鈦礦的結晶度、穩定性和光電性能，對於推動這些有前途的材料走向實際應用至關重要。將有機半導體陽離子嵌入錫鈣鈦礦的層狀結構中，可以通過促進有機層和無機層之間的電荷轉移，有效減弱介電和量子限制效應。然而，在層狀鈣鈦礦中引入笨重的  $\pi$  共軛有機半導體陽離子是一個挑戰。因此該團隊利用分子工程策略，將具有 6 個碳烷基鏈的萘二酰亞胺 (NDI) 陽離子引入到二維 (2D) 錫鹵化物鈣鈦礦中，發現 NDI 摻入的材料顯示出更高的電子遷移率和空氣穩定性，代表陽離子分子結構和加工條件在獲得高質量薄膜中的重要性。此外，該團隊針對添加劑，在促進具有增強結晶度的準 2D 錫鹵化物鈣鈦礦形成中的作用，闡明了添加劑分子結構的重要性——這表明該策略可以普遍提升溶液加工鈣鈦礦材料的結構品質，從而提高設備性能和穩定性。

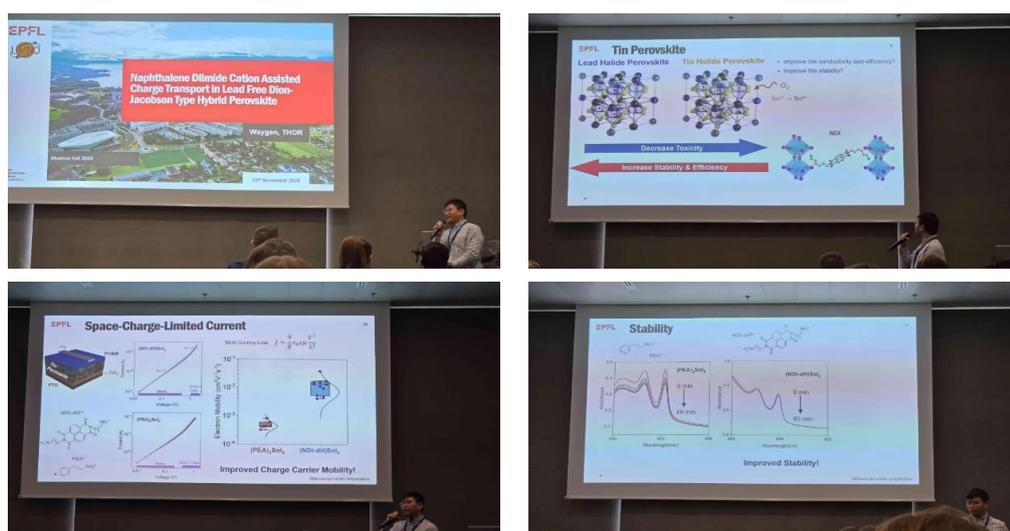


圖 5、Naphthalene Diimide Cation Assisted Charge Transport in Lead Free Dion-Jacobson Type Hybrid Perovskite 會議圖參

## · Bifacial Perovskite Solar Cells with NiOx/Ag/NiOx (NAN) Electrodes

講者：Menda, Deneb (Universidade NOVA de Lisboa, CENIMAT-I3N, Faculdade de Ciências e Tecnologia)

摘要：雙面鈣鈦礦太陽能電池(PSCs)是一個重要的子領域，因為其雙面入光的特性，可以有效收集來自於地板漫反射的光線，使其有機會在單結太陽能電池中達到了更高的效率值，並且可以應用於與其他技術或 PSCs 的疊層設備中。因此，透明電極 (TEs)，包括透明導電氧化物 (TCOs)、金屬納米線、超薄膜和石墨烯等二維材料便是這個領域中的重點研究項目。在此背景下，該團隊提出了由三層超薄層組成的替代透明電極，稱為氧化物-金屬-氧化物 (OMOs)。該研究的主要材料是鎳氧化物/銀/鎳氧化物 (NAN) 層，其中銀層夾在兩層 NiO 薄膜之間，NiO 和 Ag 層的厚度分別為 35 和 8nm。這三層結構通過連續電子束沉積製造，只需一次抽真空過程。該團隊也針對 NAN 層進行了全面表徵，提供了透射率和導電性特性，並展示了其在鈣鈦礦太陽能電池中的應用性能，使用能隙為 1.6 eV 的鈣鈦礦，達到了 1.11 V 的開路電壓 (Voc)。此外，使用 NAN 結構的軟性基板元件，相較於 ITO 結構，NAN 結構具有更高的可彎折壽命。

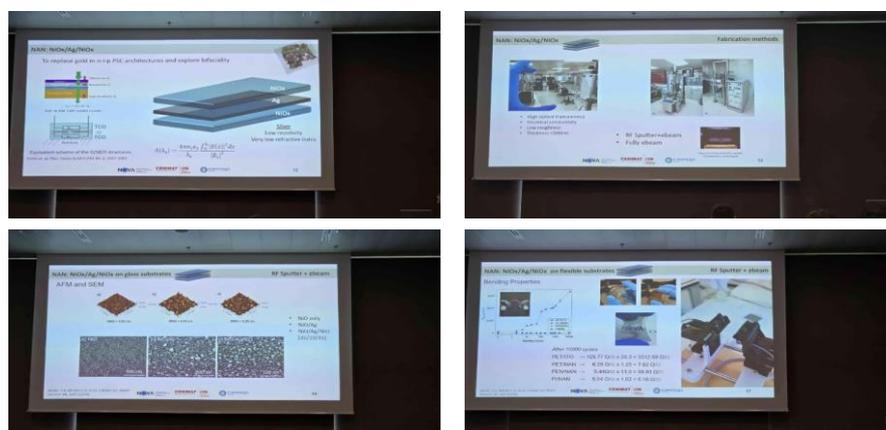


圖 6、Bifacial Perovskite Solar Cells with NiOx/Ag/NiOx (NAN) Electrodes 會議圖參

· Synthesis of Sn-Perovskite Microcrystalline Powders and Thin Films for Solar Cells, LEDs and Photocatalytic Applications

講者: Mora-Seró, Iván (Universitat Jaume I, Institute of Advanced Materials (INAM) - Spain)

摘要: 鹵化物鈣鈦礦太陽能電池在過去十年中徹底改變了光伏領域。經過十年的深入研究，這些設備的性能有了巨大的提升，然而，該系統的兩個主要缺點—鉛的使用和長期穩定性，仍然是尚未完全解決的問題。錫基鈣鈦礦是鉛的最明顯替代品，產生的降解產物毒性較低，並且在不同的無鉛鹵化物鈣鈦礦中表現出最高的轉換效率，然而，其穩定性是錫基鈣鈦礦最大的問題。在本研究中，該團隊通過使用適當的添加劑和進行缺陷鈍化工程，顯著提高碘化亞錫甲脒 (FASnI<sub>3</sub>) 太陽能電池的穩定性，並討論了影響這種穩定性的不同機制，抑制了 Sn<sup>2+</sup> 的氧化，並分析了如何應對這些機制，特別是光老化的問題。此外，該團隊也報告了製備二維錫鈣鈦礦粉末的替代方法，這些粉末可用作製造錫基 LED 的前驅體或本身用於驅動光催化反應。



圖 7、Synthesis of Sn-Perovskite Microcrystalline Powders and Thin Films for Solar Cells, LEDs and Photocatalytic

## Applications 會議圖參

### · New MXene / Halide perovskite heterojunctions for solar cells and photocatalysis

講者：Lira-Cantú, Mónica (Catalan Institute of Nanoscience and Nanotechnology (ICN2))

摘要：金屬鹵化物鈣鈦礦由於含鉛而導致的毒性，以及在濕氣、光照和溫度等因素下的不穩定性導致其在應用上存在疑慮。雖然錫基鈣鈦礦太陽能電池是最有前途的候選者，但其他具有潛力的 PSCs，如鈹基（目前效率約為 5%），也在被廣泛研究。在提高鹵化物鈣鈦礦太陽能電池穩定性的不同方法中。在鉛基鈣鈦礦太陽能電池中，A 位取代各種有機和無機材料已被廣泛探索，以控制光電性能，從而提高設備性能，如甲胺(MA<sup>+</sup>)、甲脒(FA<sup>+</sup>)、苯乙胺(PEA<sup>+</sup>)、乙二胺(EDA<sup>+</sup>)和胍(GA<sup>+</sup>)等陽離子在鈣鈦礦太陽能電池中顯示出積極的效果。最近，一種新型 A 位陽離子，二甲胺(DMA<sup>+</sup>)陽離子，被引入含鉛的鈣鈦礦太陽能電池中，具有更高的光伏性能和設備穩定性。DMA 作為 A 位陽離子可以與 Cs 搭配調控等效容忍因子，在大氣條件下，Cs<sub>x</sub>DMA<sub>1-x</sub>PbI<sub>3</sub> 相較純 CsPbI<sub>3</sub> 更穩定。這種穩定性的增加也在 FAxCs<sub>1-x</sub>PbI<sub>y</sub>Br<sub>3-y</sub> 鈣鈦礦的 A 位部分取代觀察到。這些太陽能電池在黑暗中 85°C 下 2200 小時內保持 96% 的初始效率，在 60°C 下運行 500 小時後仍可保持 92% 的初始效率。特別值得注意的是，該團隊點出 DMA<sub>2</sub>SnX<sub>4</sub> 的特殊性，這些無鉛 MHPs 不溶於水，而是保持分散在溶液中，並且保持晶體結構和光學性能不變。後者使這種鈣鈦礦成為有趣的光催化劑候選者。在本次報告中，該團隊展示了合成含鉛和無鉛鹵化物鈣鈦礦與 MXene 薄膜的異質結構及其作為太陽能電池和潛在光(電)催化劑應用方面的最新成果。

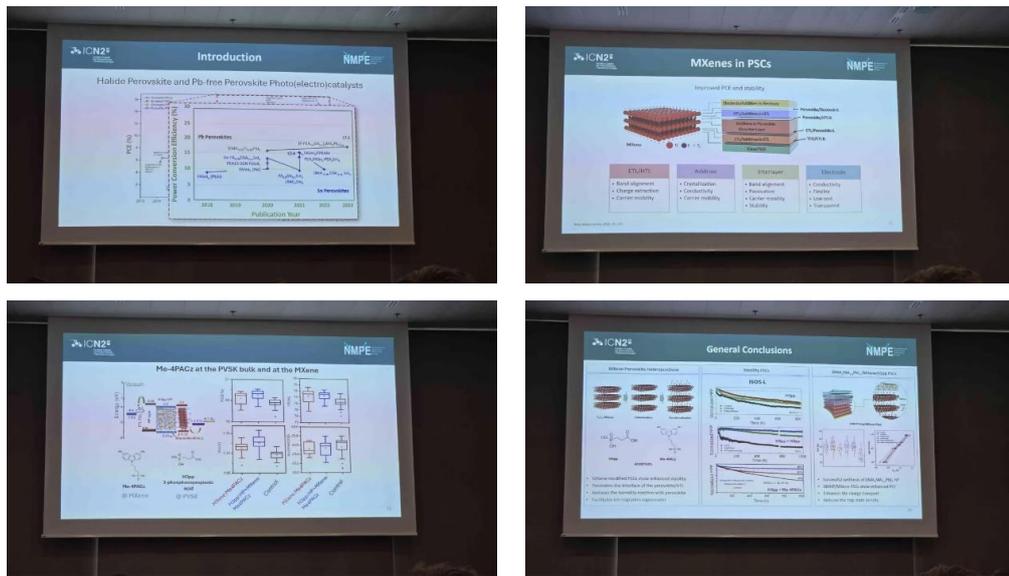


圖 8、New MXene / Halide perovskite heterojunctions for solar cells and photocatalysis 會議圖參

· Perovskite-Inspired Mixed-Metal Chalcogenides for Light Harvesting Applications

講者：Murthy, Grandhi (Tampere University)

摘要：四元混合金屬硫鹵化物 (MMCs)，由 IV 族和 V 族元素如鉛 (Pb)、錫 (Sn)、鉍 (Bi) 和銻 (Sb) 以及鹵素和硫族陰離子組成，是一類新興的鈣鈦礦啟發的 ns<sup>2</sup> 半導體材料。這些材料具有良好的光學和電子特性，這主要歸因於兩個關鍵特徵：存在兩個 ns<sup>2</sup> 陽離子和自發極化，這些特徵導致載流子捕獲的概率降低。雖然這些材料在能量轉換和存儲設備中的應用前景廣闊，但其潛在用途可能受到合成硫鹵化物薄膜相關挑戰的限制。例如，它們通常需要非溶液方法或多步驟工藝。

該研究基於單步溶液法的製備以及 Pb-Sb-S-I 和 Sn-Sb-S-I MMC 組成的表徵，並發現這些 MMC 組成在環境空氣、濕度和操作條件下的材料和設備性能方面具有顯著的穩定性。

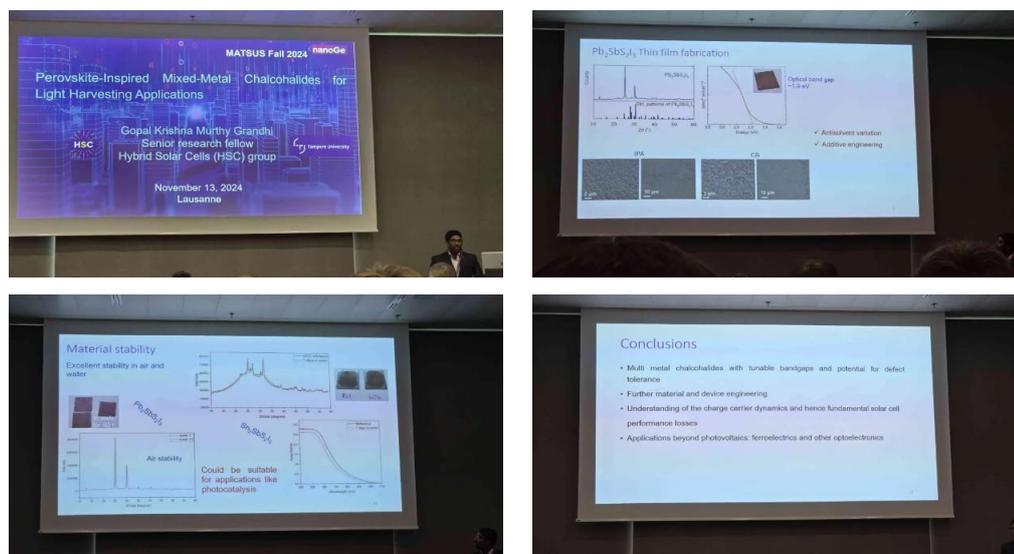


圖 9、Perovskite-Inspired Mixed-Metal Chalcogenides for Light Harvesting Applications 會議圖參

· Enhancing The Charge Transport Properties Of Halide Perovskites And Derivatives

講者：Matheu Montserrat, Roc (Univrsitat de Barcelona)

摘要：當鹵化物鈣鈦礦被開發用於各種光電應用時，包括作為太陽能電池和發光二極管的關鍵組件，我們需要更深入地了解如何控制其傳輸特性。這樣的進展將提高這些半導體在當前應用中的性能，並開啟無數新的可能性。而當鹵化物鈣鈦礦及其衍生物被開發用於眾多光電應用時，控制其電子摻雜仍然是一個基本挑戰。

該研究團隊使用氧化還原活性有機分子作為化學計量電子受體的新方法。在擴展的鈣鈦礦結構 (dmpz)[Sn<sub>2</sub>X<sub>6</sub>]中，空腔由 dmpz<sup>2+</sup> (N, N'-二甲基吡嗪鎘) 佔據，其最低未占分子軌道 (LUMO) 位於價帶最大值 (VBM) 上方約 1 eV。壓縮金屬鹵化物框架會使 1I 中的 VBM 相對於 dmpz LUMO 上升。隨著壓力的增加，電子導電性提高了 105 倍，在 60 GPa 時達到 50(17) S cm<sup>-1</sup>，超過了大多數鹵化物鈣鈦礦的高壓導電性。這種導電性增強歸因於 dmpz<sup>2+</sup> 還原創造的空穴密度增加。這項工作

提升了有機陽離子在三維金屬鹵化物中的作用，從模板結構到作為調節載流子濃度的電荷儲存器。

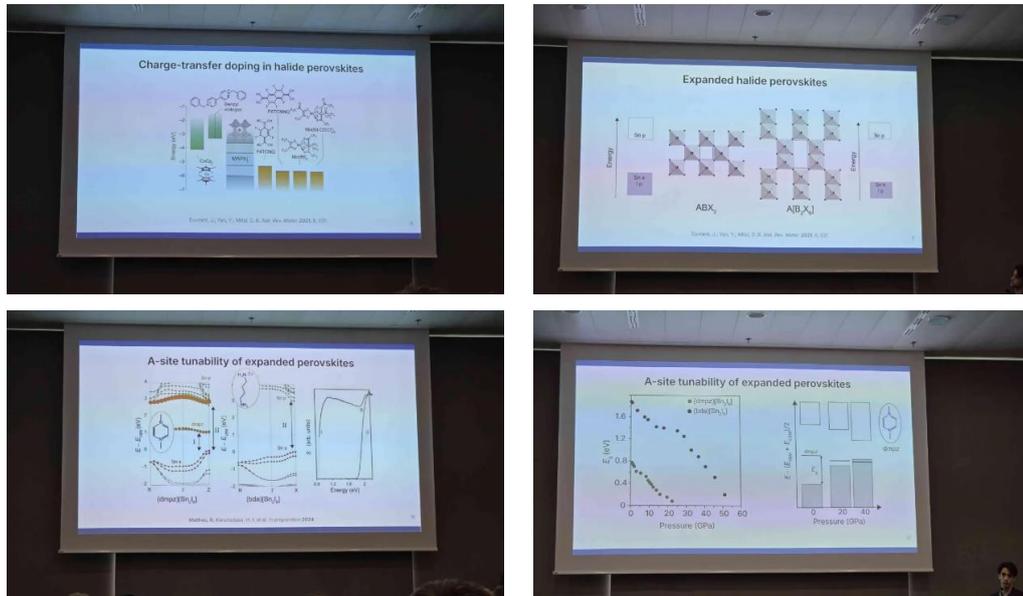


圖 10、Enhancing The Charge Transport Properties Of Halide Perovskites And Derivatives 會議圖參

Operando Perovskite Interface Characterization using Photoemission Spectroscopy

講者：Rensmo, Hakan (Uppsala University, Sweden)

摘要：為了提升和改進鈣鈦礦光電設備，了解鈣鈦礦材料界面的原子和電子結構至關重要。基於 X 射線的光譜技術，包括光電子能譜和 X 射線吸收光譜，能夠在原子水平上提供元素特異性、非破壞性的化學和電子結構見解。隨著同步輻射設施的最新進展以及其他研究者開發的方法，這些工具在能源材料系統研究中迅速發展。

這些技術有助於協助學界研究材料的界面化學、能帶對齊、價帶和導帶特性以及電荷動力學。本研究分享了使用 X 射線吸收光譜和能量依賴的光電子能譜對鈣鈦礦界面進行研究的最新成果。涵蓋了從單晶表面和界面到功能性器件結構，並介紹如何分析界面化學並確定鈣鈦礦/空穴導體/金屬界面的能量對齊，無論是在黑暗中還是在可見光下。其中，該講者分享使用硬 X 射線光電子能譜進行的原位測量的經驗，非常

具有啟發性。

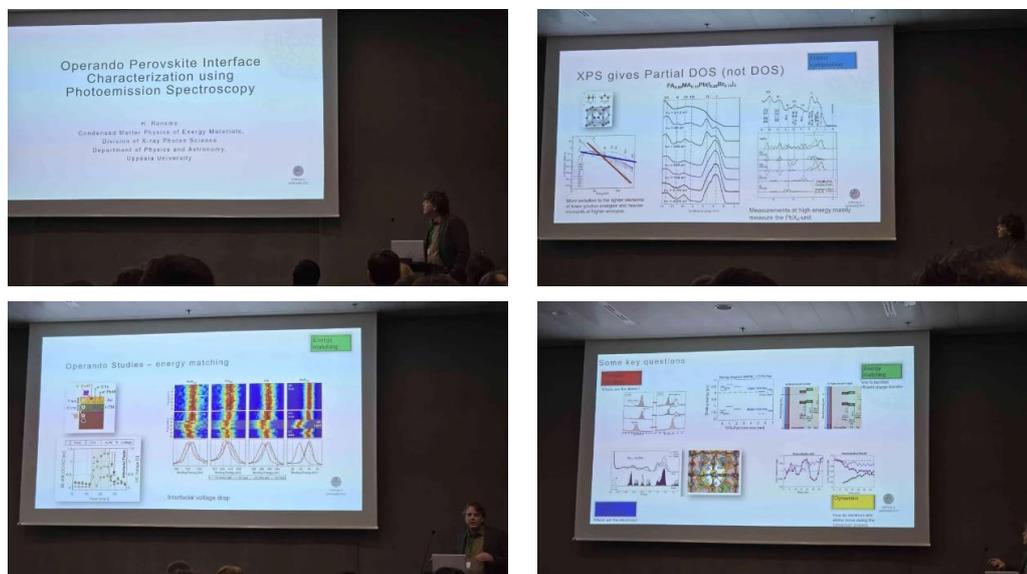


圖 11、Operando Perovskite Interface Characterization using Photoemission Spectroscopy 會議圖參

本次研討會也有 poster 論文發表及展示的環節，同行參加人員工研院綠能所黃副研究員聖文亦有參與並表研究成果。

該員分享的主題主要是近期研究室所開發的水相鈣鈦礦微晶合成技術，有機-無機金屬鹵化物鈣鈦礦 (OIHPs) 因其優異的光電性能、成本效益和簡單的製造過程而在光伏領域獲得了廣泛關注。最近，預合成的鈣鈦礦粉末受到了廣泛討論和研究。與以  $\text{PbI}_2$  和有機鹽混合物為前驅體製備的鈣鈦礦薄膜相比，預合成的鈣鈦礦粉末在摩爾計量比上的偏差較小。此外，預合成的鈣鈦礦粉末可以作為前驅體溶液中的成核中心，促進異質成核，從而在鈣鈦礦薄膜中形成高度取向的晶體。這些粉末還具有更準確的化學計量比和較低的陷阱態密度等優點。

然而，傳統的鈣鈦礦粉末合成方法依賴於有機溶劑（如 ACN、2-Me）和惰性氣體環境，難以降低成本。本次分享的研究，提出了一種經濟的方法來合成  $\text{Cs}_{0.1}\text{FA}_{0.9}\text{PbI}_3$  微晶，使用環保的水相合成過程，無需惰性氣體保護。此外，此方法允許使用相對低純度的原材料來合成高質量的鈣鈦礦粉末，為降低鈣鈦礦太陽能電池的生產成本提供了堅實的基礎。

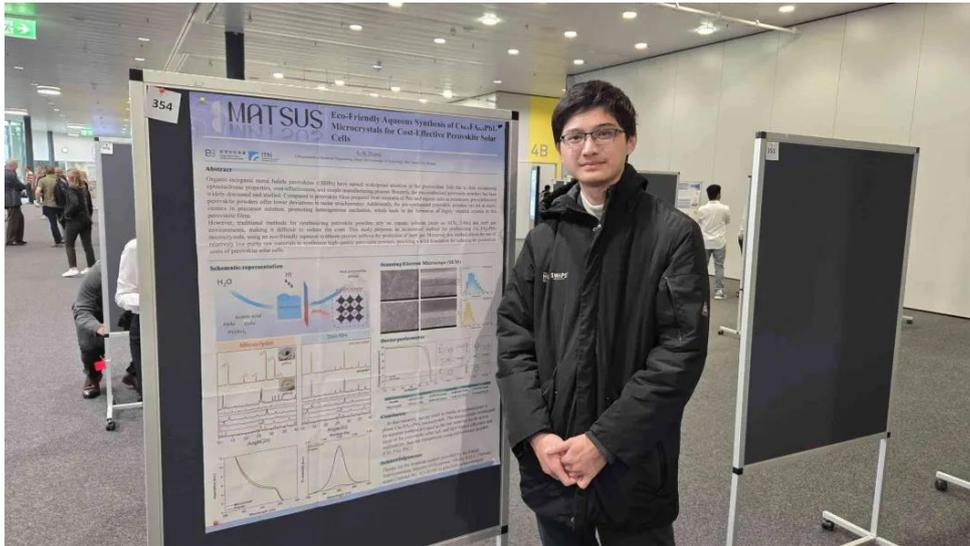


圖 12、MATSUS Fall 研討會海報發表現場

## 參、心得與建議

### 一、拜訪 CR Schwabe 建築師事務所

此次拜訪 CR Schwabe 建築師事務所，對柏林推動太陽能的政策及實踐有更加深入的了解。柏林眾議院於 2021 年通過的《柏林太陽能法》，自 2023 年起強制要求新建築及主要屋頂改造時安裝光電系統，這一政策對於推動城市可再生能源的使用具有重要意義。該法規定，屋頂面積超過 50 平方米的建築物必須安裝至少覆蓋屋頂淨面積 30% 的太陽能系統，並對系統的最低性能做出了明確要求。在本次面談中，建築師提到德國與台灣在消防、保險及建築法規方面的差異，特別是柏林因巷道狹小，消防系統只能支持 10 樓以下的建築。因此，太陽能系統的建置需要快速關斷系統，並需通過消防局或保險等相關單位的核可。這些規定確保了太陽能系統的安全性和可靠性。此外，柏林推廣陽台安裝 2-4 片太陽能模組自發自用的方案，這種方式不僅符合政策要求，還能有效利用有限的空間。這次拜訪讓我深刻體會到，政策的制定和實施需要考慮多方面的因素，包括技術、安全和美觀等。

插入式太陽能系統安裝於陽台相對容易，價格低廉，可以自行購買所需材料，也不必請電工進行安裝，可直接插在插座，而且又耐用，搬家時可帶著走，一般至少用 20 年。且透過政府補貼政策，並簡化申設太陽能板流程，便捷屋主與租戶於建物陽臺、屋頂、露臺與外牆等處安裝太陽能板，並放寬於陽臺設置插入式太陽能裝置。建築師分享，太陽能陽台一度成為德國家庭居家科技趨勢。惟伴隨著隨拆即用的便利，相關納管與回收機制，以及與歷史建物保存規範的衡平，仍值得持續關注後續政府政策調整與市場民意動態。

### 二、拜訪德國研究機構 Fraunhofer ISE

拜訪 Fraunhofer ISE 的經驗對農電共生技術有了更全面的認識。Fraunhofer ISE 作為歐洲最大的太陽能技術研究單位，致力於推動農業與太陽能結合的研究。自 2010 年起，德國開始推動農電共生，旨在解決地面型太陽光電所面臨的土地競合問

題。

在會議中，Dr. Max Trommsdorff 介紹了 Fraunhofer ISE 在農電共生的研究領域的推動及進展，特別是針對不同作物的試驗研究。例如，對於蘋果種植，他們發現遮陰 30-40%時，蘋果樹的產量幾乎不受影響，而果實的日灼率顯著降低。這些研究成果展示了農電共生的可行性和潛力。Fraunhofer ISE 還開發了雙面太陽能系統，這些系統能讓太陽能模組兩面同時吸收光線，提升發電效率並最大限度地降低對農作物光照的影響。

本次訪問也有與該機構參與鈣鈦礦太陽能電池的研發部門交流相關技術的發展趨勢。對於大面積鈣鈦礦的塗佈，本署委託財團法人工業技術研究院於研究方面遭遇相關課題，在此次參訪中也向該技術部門請益，獲得相關收穫與未來研究方向：

1. DMSO 做為鈣鈦礦的常見溶劑，由於其供體數及沸點較大的關係，需要搭配反溶劑製程進行薄膜的沉積，然而在大面積塗佈的情況下，一般使用風刀焯火或是真空閃蒸去除溶劑，無法有效去除 DMSO，導致程膜性不佳，效率大打折扣，在這次交流中，該研究團隊建議我們將 DMSO 換成供體數較小的溶劑，例如 NMP 或是 2-Me 等，做為鈣鈦礦的配位溶劑
2. 銀做為貴金屬並不適合規模化生產，該研究團隊使用鋁做為鈣鈦礦的電極材料，雖然鋁容易受到空氣氧化，但是該研究團隊藉由後期封裝的方式，很大程度的解決這個問題，除了使用鋁之外，該團隊也致力開發無須真空系統的網印碳電極，成本更低，然而該團隊也提到碳電極的效率仍有很大的提升空間，或許這也是一個可以嘗試的方向。

### 三、參與 MATSUS 研討會

MATSUS 2024 太陽能研討會暨展覽會 (Materials for Sustainable Development Conference) 於 2024 年 11 月 12 日至 15 日在瑞士洛桑的 SwissTech 會議中心舉行，為期 4 天。這次會議涵蓋了材料科學、化學和工程學各個方面，這些領域對於發展更可持續的未來至關重要。會議的主題圍繞著可持續發展，強調資源的有效利用和減少技術和經濟增長帶來的不良

環境影響。該會議一直致力於推動材料科學和可再生能源技術的進步。參與本次研討會，讓我對可持續發展材料的最新研究有了更深入的了解。

會議涵蓋了多個重要領域，包括鹵化鉛鈣鈦礦材料、電化學和催化、電池技術、鹵化鉛鈣鈦礦材料的合成、特性及應用成為討論的焦點。這些材料在太陽能電池和光催化等應用中顯示出巨大的潛力，特別是在提高能源轉換效率方面。此外，電化學和催化研究也展示了如何利用新型電催化劑來減少環境影響。通過這些領域的交流與合作，有望可以獲得更多啟發，在未來推動相關領域的持續發展有更多幫助。

這場來自世界各地的專家學者齊聚一堂，分享他們在各自領域的最新研究成果和技術創新。這些會議不僅促進了學術交流，還為產業界提供了寶貴的合作機會。在過去的 MATSUS 會議中，許多重要的技術突破和研究成果得到了展示。例如，2022 年的會議中，鹵化物鈣鈦礦材料的研究成為焦點，這些材料在光電應用中顯示出巨大的潛力。以及 TOPCon 太陽能電池，由於其高轉換效率和低溫度敏感性，成為了研究的熱點。然而，研究也指出了可能存在的 PID-p 效應，這將導致電池性能下降。2023 年的會議則強調了在電化學和光電化學領域的最新進展。與會者探討了如何通過材料設計和製造技術的改進來提高太陽能電池和燃料電池的效率和穩定性。此外，會議還涵蓋了新型納米材料的合成和應用，這些材料在能源轉換和儲存方面顯示出巨大的潛力。

而今年引入了更多前沿的研究議題，會議分為多個專題研討會，涵蓋了從基礎科學到應用科學的廣泛領域，其中鈣鈦礦材料的專題涵蓋了合成、表徵以及應用等多面向，非常具有啟發性。對於國內光電設置推動業務外，技術層面的知研精進有更深一層的認識。

# 肆、附件及參考資料

## MATSUS 研討會議程表

	Tuesday 12 <sup>th</sup>	Wednesday 13 <sup>th</sup>	Thursday 14 <sup>th</sup>	Friday 15 <sup>th</sup>
Room 1C	Morning #PhotoQD Photophysics of Colloidal Quantum Dots	#NANORUN Functional Nanomaterials Based on QDs: From Synthesis to Devices	#NANORUN Functional Nanomaterials Based on QDs: From Synthesis to Devices	
	Afternoon #PhotoQD Photophysics of Colloidal Quantum Dots	#NANORUN Functional Nanomaterials Based on QDs: From Synthesis to Devices		
Room 2BC	Morning #PhotoDeg Materials and Devices for Stable and Efficient Solar Fuels	#PhotoDeg Materials and Devices for Stable and Efficient Solar Fuels	#PECCO2 Advances in (Photo)Electrochemical CO <sub>2</sub> Conversion to Chemicals and Fuels	#PECCO2 Advances in (Photo)Electrochemical CO <sub>2</sub> Conversion to Chemicals and Fuels
	Afternoon #PhotoDeg Materials and Devices for Stable and Efficient Solar Fuels	#PhotoDeg Materials and Devices for Stable and Efficient Solar Fuels	#PECCO2 Advances in (Photo)Electrochemical CO <sub>2</sub> Conversion to Chemicals and Fuels	#PECCO2 Advances in (Photo)Electrochemical CO <sub>2</sub> Conversion to Chemicals and Fuels
Room 3B	Morning #OMIEC Understanding Mixed Ionic-Electronic Conductors	#OMIEC Understanding Mixed Ionic-Electronic Conductors	#PECBio2X (Photo)Electrochemical biomass and waste valorisation for sustainable energy and chemical production	#ChiNano Exploring Chiral Nanostructured Materials and Plasmonics for Energy applications
	Afternoon #OMIEC Understanding Mixed Ionic-Electronic Conductors	#OMIEC Understanding Mixed Ionic-Electronic Conductors	#PECBio2X (Photo)Electrochemical biomass and waste valorisation for sustainable energy and chemical production	#ChiNano Exploring Chiral Nanostructured Materials and Plasmonics for Energy applications
Room 3C	Morning #C&T-electrocatal Computational and Theoretical Electrocatalysis	#C&T-electrocatal Computational and Theoretical Electrocatalysis	#EEInt Electrode-Electrolyte Interfaces in Electrocatalysis	
	Afternoon #C&T-electrocatal Computational and Theoretical Electrocatalysis	#C&T-electrocatal Computational and Theoretical Electrocatalysis	#EEInt Electrode-Electrolyte Interfaces in Electrocatalysis	
Room 4BC	Morning #PerolMAT Halide Peroxide and Peroxide-inspired Materials: Synthesis and Applications	#PerolMAT Halide Peroxide and Peroxide-inspired Materials: Synthesis and Applications	#PerolMAT Halide Peroxide and Peroxide-inspired Materials: Synthesis and Applications	#Adinos Advances in inorganic thin film semiconductors for solar energy conversion
	Afternoon #PerolMAT Halide Peroxide and Peroxide-inspired Materials: Synthesis and Applications	#PerolMAT Halide Peroxide and Peroxide-inspired Materials: Synthesis and Applications	#PerolMAT Halide Peroxide and Peroxide-inspired Materials: Synthesis and Applications	#Adinos Advances in inorganic thin film semiconductors for solar energy conversion
Room 5A	Morning #SOLTEC Solar Technologies for Renewable Fuels and Chemicals: On the Way to Industrial Implementation	#SOLTEC Solar Technologies for Renewable Fuels and Chemicals: On the Way to Industrial Implementation	#ModEop Modeling Electrochemistry in Operando	
	Afternoon #SOLTEC Solar Technologies for Renewable Fuels and Chemicals: On the Way to Industrial Implementation	#SOLTEC Solar Technologies for Renewable Fuels and Chemicals: On the Way to Industrial Implementation	#ModEop Modeling Electrochemistry in Operando	
Room 5B	Morning #AdCharMHP Advanced Characterisation of Metal Halide Peroxides towards Improved Optoelectronics	#AdCharMHP Advanced Characterisation of Metal Halide Peroxides towards Improved Optoelectronics	#PerolLight Peroxides for Light Emission: From Materials to Devices	
	Afternoon #AdCharMHP Advanced Characterisation of Metal Halide Peroxides towards Improved Optoelectronics	#AdCharMHP Advanced Characterisation of Metal Halide Peroxides towards Improved Optoelectronics	#PerolLight Peroxides for Light Emission: From Materials to Devices	
Room 5C	Morning #BattMatt From Atoms to Devices - Battery Materials Design Across the Scales	#BattMatt From Atoms to Devices - Battery Materials Design Across the Scales	#AMADISTA Accelerated Materials Discovery Through Automation and Machine Learning	
	Afternoon #BattMatt From Atoms to Devices - Battery Materials Design Across the Scales	#BattMatt From Atoms to Devices - Battery Materials Design Across the Scales	#AMADISTA Accelerated Materials Discovery Through Automation and Machine Learning	
		Poster Session	Social Dinner	

# MATSUS Eco-Friendly Aqueous Synthesis of $\text{Cs}_{0.1}\text{FA}_{0.9}\text{PbI}_3$ Microcrystals for Cost-Effective Perovskite Solar Cells

S.-W. Huang<sup>1</sup>



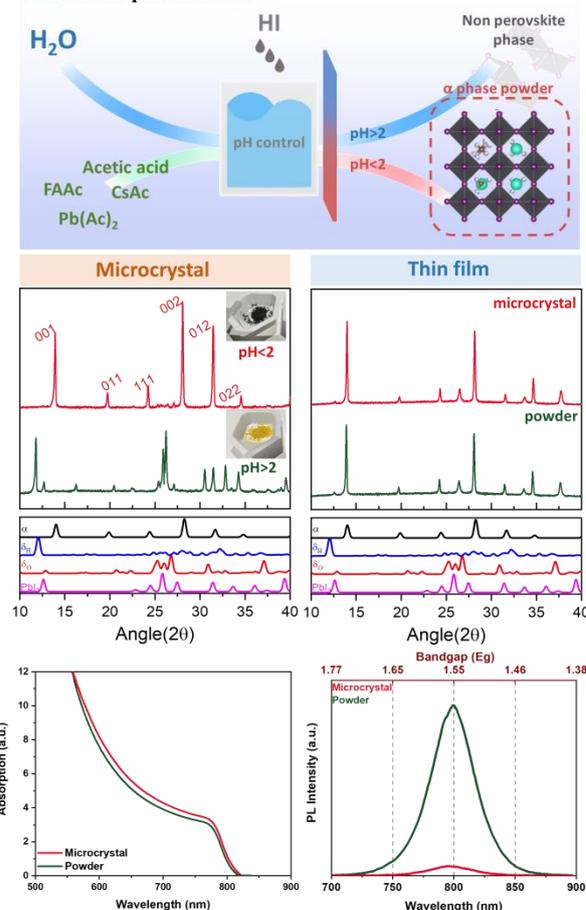
1. INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE (ITRI), TAIWAN  
\* VincentB30054@itri.org.tw

## Abstract

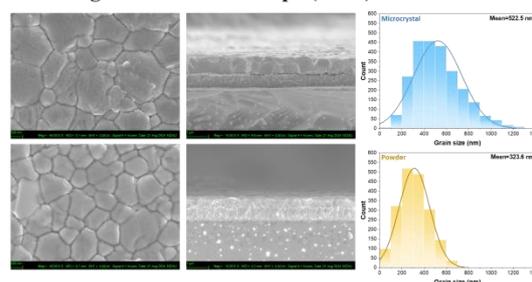
Organic-inorganic metal halide perovskites (OIHPs) have earned widespread attention in the photovoltaic field due to their exceptional optoelectronic properties, cost-effectiveness, and simple manufacturing process. Recently, the pre-synthesized perovskite powders has been widely discussed and studied. Compared to perovskite films prepared from mixtures of  $\text{PbI}_2$  and organic salts as precursors, pre-synthesized perovskite powders offer lower deviations in molar stoichiometry. Additionally, the pre-synthesized perovskite powders can act as nuclei centers in precursor solution, promoting heterogeneous nucleation, which leads to the formation of highly oriented crystals in the perovskite films.

However, traditional methods for synthesizing perovskite powders rely on organic solvents (such as ACN, 2-Me) and inert gas environments, making it difficult to reduce the costs. This study proposes an economical method for synthesizing  $\text{Cs}_{0.1}\text{FA}_{0.9}\text{PbI}_3$  microcrystals, using an eco-friendly aqueous synthesis process without the protection of inert gas. Moreover, this method allows the use of relatively low-purity raw materials to synthesize high-quality perovskite powders, providing a solid foundation for reducing the production costs of perovskite solar cells.

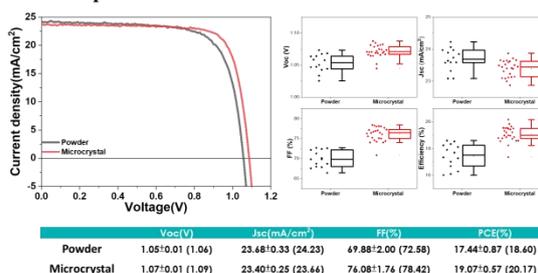
## Schematic representation



## Scanning Electron Microscope (SEM)



## Device performance



## Conclusion

In this research, we use water as media to synthesize pure  $\alpha$  phase  $\text{Cs}_{0.1}\text{FA}_{0.9}\text{PbI}_3$  microcrystals. The microcrystals synthesized by aqueous method are used as the raw material for the active layer of the perovskite solar cell, and have higher efficiency and realizability than the components using conventional powders ( $\text{CsI}$ ,  $\text{FAI}$ ,  $\text{PbI}_2$ ).

## Acknowledgements

Thanks for the financial support provided by the Energy Administration, Ministry of Economic Affairs, R.O.C. (Taiwan) under Contract No. 113-S0102 is gratefully acknowledged.

## 研討會邀請函

來源: MATSUSFall24 <matsusfall24@nanoge.org> 

收信: yrchen2@moeaea.gov.tw

標題: Check-in your QR code for the MATSUS Fall 2024 Conference

日期: Mon, 11 Nov 2024 09:24:27

純文字 HTML



Dear Miss YIRU CHEN,

Welcome to the MATSUS Fall 2024 Conference, that will take place in Lausanne, Switzerland, from the 12th November 2024 to the 15th November 2024.

This is your QR code to access to the conference. Please show it to the nanoGe staff at the registration desk.

**Check-in QR code**



For more information, [visit the website](#).

Kind regards,  
Conference secretariat

## Fraunhofer ISE 邀請函

Meeting ITRI - Fraunhofer ISE

召集人  Trommsdorff, Maximilian <maximilian.trommsdorff@ise.fraunhofer.de> 郵件日期 2024/10/31 (週四) 下午 05:22

時間 2024年11月11日星期一 下午 06:00-下午 07:00

位置(0) ISE-F-5.15

回覆  已接受 [變更回覆](#)

Tentative agenda:

- 11:00 Short welcome address and introduction of participants (Dr. Max Trommsdorff, Head of Group Agrivoltaics)
- 11:10 Short overview of R&D on perovskite thin-film photovoltaics at Fraunhofer ISE (Dr. Markus Kohlstädt, Head of Team Perovskite Thin-Film Photovoltaics)
- 11:20 Q&A
- 11:30 Overview of R&D on agrivoltaics (Max Trommsdorff)
- 11:45 Q&A and discussion
- 12:00 Joint lunch