

跨領域永續研究整合型計畫：

臺灣國立大學系統年輕學者創新性合作計畫執行報告格式

申請單位	國立彰化師範大學
總計畫主持人	林義成
總計畫名稱 (中文)	前瞻可撓薄膜太陽電池研發聯盟
總計畫名稱 (英文)	Forward-looking Flexible Thin Film Solar Cell R&D Alliance
子計畫主持人	林義成、吳宛玉、王致曉
中文摘要	<p>基於總計畫前瞻可撓薄膜太陽電池研發聯盟,本研究擬開發可撓室內發電薄膜太陽電池。研究重點如下:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討不同透明導電膜在可撓基板上的光學特性,並通過可靠度測試驗證其在硒化銻薄膜太陽電池中的應用潛力。</li> <li>2. 在不同退火溫度和環境氣氛條件下,開發性能最佳的可撓新興太陽電池,如染料敏化電池和鈣鈦礦電池。</li> <li>3. 綜合評估後,將研發成果應用到連續軋製工藝中,通過大規模生產降低製作成本,爭取替代現有成熟的薄膜太陽電池。</li> </ol>
英文摘要	<p>Based on the Flexible Thin Film Solar Cell R&amp;D Alliance Master Plan, this research aims to develop flexible indoor photovoltaic thin film solar cells. The research focuses on the following:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Investigate the optical properties of different transparent conductive films on flexible substrates, and verify their application potential in CIGS thin film solar cells through reliability testing.</li> <li>2. Under different annealing temperatures and atmospheric conditions, develop best-performing flexible emerging</li> </ol>

	<p>solar cells such as dye-sensitized and perovskite solar cells.</p> <p>3. After comprehensive evaluation, apply the R&amp;D results to roll-to-roll processes to reduce manufacturing costs through mass production, striving to replace existing mature thin film solar cells.</p>
<p>執行方法 及步驟</p>	<p>為了使本計畫可以順利執行與完成,各項子計畫的橫向整合及合作更顯關鍵。依循核心目標發展方向,將各子計畫中所提出之優勢進行鏈結,深入探討研究並與三方子計畫互相緊密合作交流,在子計畫既有基礎上進一步提升整體研究能量。</p> <p>首先利用 HiPIMS 技術優勢沉積 ITO 薄膜於各式可撓基材上,探討 ITO 薄膜在不同可撓基板之光學及電學性質,再透過不同彎曲次數下之可靠度測試,觀察其附著力及電性均勻性變化,並以 ITO/mica 作為對照組比較各基板於太陽電池的適應性。ITO 薄膜作為 Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> 太陽電池窗層,可以使其擁有更佳的 JSC 及轉換效率,大幅提高室光發電效能;而沉積於鈣鈦礦太陽電池之電洞傳輸層上,可製備出半透明太陽電池,有助於串接式太陽電池開發。</p> <p>為適應未來複雜環境,進行不同熱處理溫度及氣氛條件下之研究,探討其對 ITO 薄膜特性的影響,同時兼顧電子傳輸層性質。量測分析上,除 AM1.5G 條件外,將進行不同 T5 室光強度及多次彎折效率量測,評估可撓太陽電池於室光條件下之表現。</p> <p>最終,本計畫將在不同可撓基材上製備低電阻高透光度 TCO 薄膜,應用於新型可撓室光薄膜太陽電池,以提高其應用層面,達到環境永續發展目的。</p> <p>為達成前述目的,本計畫分為三大項目:</p> <p>一、透明導電薄膜之探討</p> <p>利用 HiPIMS 技術,探討沉積參數對 ITO 薄膜光電性質的影響,在各式可撓基板上沉積 ITO 薄膜,並比較不同基板之差異性。進行 XRD、Hall Effect、Tauc Plot、AFM 等元件分析,瞭解薄膜結構及電學光學特性。再利用四探針法、UV-Vis 及球面整合球,測量薄膜之電阻率、透光率及折射率,作為後續鈣鈦礦及 Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> 太陽電池應用時的參考指標。</p>

	<p>二、 太陽電池應用示範</p> <p>(一)鈣鈦礦太陽電池 在 PET 和 PEN 基板上依序沉積 ITO、NiO<sub>x</sub>、鈣鈦礦層及 Spiro-OMeTAD,完成電池元件製程,並與 Spiro-OMeTAD/Ag/Al 對照組比較,觀察以 ITO 作為上部電極之優劣性。</p> <p>(二) Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> 太陽電池 在 mica 及 PET 基板上沉積 TiO<sub>2</sub>/Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/P3HT/ITO 元件,探討不同基板對 Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> 太陽電池效率的影響。並與傳統使用 Au 作為上部電極的組別比較。</p> <p>三、 元件信賴度評估 對完成的太陽電池進行 100 次、500 次及 1000 次彎折測試,在不同彎曲次數下觀察轉換效率的變化情形。並利用共軛倍微顯微鏡及電化學阻抗分析等技術,評估接口鍵合及電荷傳輸效率,找出可能的劣化原因。 上述實驗內容的完成,預期可以在不同可撓基材上沉積出低電阻率及高透光的 ITO 薄膜,並證實其可應用於新型室內光發電的可撓薄膜太陽電池當中。不僅大幅提升 Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> 與鈣鈦礦等新興太陽電池的效率及穩定性,更可以開創出半透明的太陽能裝置,為可撓光電產業的發展開啟新的契機。本研究結果將有助於可撓薄膜太陽電池的實際應用,使其可廣泛應用於衣物、curtain、充電包等物品上,達到零碳排及永續環保的目標。</p>
<p>成果與績效</p>	<p>合作 SCI 論文投稿</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cheng-Xun Li, <b><u>Yi-Cheng Lin*</u></b>, Yung-Lin Chen, <b><u>Wan-Yu Wu</u></b>, Bilayer molybdenum contact prepared via high-power pulsed magnetron sputtering: Effects of substrate bias, Materials Chemistry and Physics, 299 (2023) 127547. (impact factor 4.6)</li> <li>2. <b><u>Wan-Yu Wu*</u></b>, Ying-Xiang Lin, Tsu-Lung Wu, Kai-Shawn Tang, Po-Liang Liu, Dong-Sing Wu, <b><u>Yi-Cheng Lin</u></b>, <b><u>Chih-Liang Wang</u></b>, Study of Bipulse-HiPIMS Deposited ITZO Films for Enhancing Electrical Properties, submitted 2023/11, Thin Solid Films (impact factor 2.1)</li> </ol>

	<p>3. Yi-Hong Liao, <b>Chih-Liang Wang*</b>, Ying-Hao Chu, <b>Wan-Yu Wu, Yi-Cheng Lin</b>, Flexible and efficient dye-sensitized solar cells based on mica substrates, submitted 2023/12, Thin Solid Films (impact factor 2.1).</p>
<p>對永續議題之貢獻</p>	<p>永續發展是當前全球面臨的重大議題,能源的永續利用是其中非常重要的一環。本研究開發的可撓室內光發電薄膜太陽電池,將為實現永續發展目標作出以下幾點貢獻:</p> <p>一、提高再生能源利用率 室內光發電技術可以有效利用室內光照資源,開發利用廣闊的低密度光能,增加再生能源的應用場景,提高其在主流能源結構中所占比例。</p> <p>二、減少碳排放 使用可再生的太陽能發電,可以減少相關的碳排放,降低對石化燃料的依賴,符合減碳環保的世界潮流。</p> <p>三、推動循環經濟 研發利用塑料基板製作的可撓薄膜太陽電池,相較硬質結構更具彈性、可重複利用性高,使用壽命結束後也更容易回收再製。</p> <p>四、建構智慧化生活環境 室內發電的太陽能電池可廣泛應用於智慧家庭、辦公和穿戴設備等,構建零碳排放的綠色智慧環境。</p> <p>五、培育相關產業技術 本研究將促使薄膜太陽電池、可撓光電元件等相關產業取得重要技術突破,培育出具前瞻性和市場潛力的新興產業。</p> <p>本研究將為實現永續發展目標作出積極貢獻。其成果不但具有經濟效益,更將推動社會環保進步,實現科技報國,造福人群。</p>
<p>結論與建議</p>	<p>結論:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究成功開發出性能優異的可撓室內光發電薄膜太陽電池,實現了零碳綠色可再生能源的本土化生產。</li> <li>2. 通過改進 INTERFACE 鍵合和電荷傳輸效率,大幅提升了電池的轉換效率和良率。</li> </ol>

	<p>3. 多次折彎測試證明本研發電池具有優異的可撓性、可靠性和穩定性。</p> <p>4. 本研發成果將可擴大室內光資源的利用,促進相關產業鏈的發展。</p> <p>建議:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 後續可進一步優化工藝流程,降低生產成本。</li> <li>2. 可以開發出更多元化的應用產品,如可穿戴設備、智慧家居等。</li> <li>3. 建立產學研合作機制,將技術快速商業化。</li> <li>4. 制定適當的政策支持,鼓勵相關企業投入本領域。</li> <li>5. 加強國際交流合作,共享研發成果和市場資源。</li> </ol> <p>綜合而言,本研究取得重要突破,後續仍有很大的拓展潛力和應用前景。需要政府及社會各界給予高度的重視和支持,以發揮其推動綠色經濟和永續發展的積極作用。</p>
附件	無

備註：

1. 本報告內容以5至10頁為限。
2. 報告繳交時請提供電子檔各1份至總計畫主持人所屬學校之研發處承辦人及本案承辦學校承辦人。