

论坛三十三：薄膜太阳能电池论坛

分论坛主席：李永舫 杨春雷 张文华

33-01

热蒸发 CsPbI₃ 无机钙钛矿太阳能电池研究

陈超 1,2*, 董翀 1, 刘大字 1, 唐江 1,2

1 华中科技大学光学与电子信息学院, 湖北省武汉市珞喻路 1037 号, 邮编 430074

2 华中科技大学武汉光电国家研究中心, 湖北省武汉市珞喻路 1037 号, 邮编 430074

*Email: cchen@hust.edu.cn

面向“双碳”政策, 清洁、高效、低成本的光伏技术受到了国家的高度重视。钙钛矿/硅叠层太阳能电池具有超高理论效率极限 (45%), 是目前硅基叠层电池研究的主要方向。无机钙钛矿 CsPbI₃ 具有出色的热稳定性和匹配的带隙 (~1.73 eV), 成为硅基叠层顶电池的主要候选者之一。然而常规的溶液法无法保证钙钛矿在绒面硅上保形生长, 且其高温退火步骤不利于大面积制备和柔性器件应用。热蒸发 CsPbI₃ 具有保形生长的本征优势, 同时还具备制备温度低、无需有毒有机溶剂参与的优势, 但热蒸发黑相 CsPbI₃ 薄膜的生长机制不明, 成为制约热蒸发 CsPbI₃ 太阳能电池发展的关键问题之一。

本摘要利用共蒸工艺在低温 (~50°C) 和无任何添加剂的条件下制备获得了 γ -CsPbI₃ 黑相薄膜, 并对其薄膜生长动力学进行了细致研究^[1]。通过计算蒸发和成膜过程中气相反应物的动能和基底热能, 并将其与CsI和PbI₂的反应势垒进行比较, 表明蒸发材料的动能和原位基底加热的热能协同提供 γ 相形成的能量。另外, 由于常温下 δ 相具有更低的自由能, 生成的 γ -CsPbI₃ 黑相薄膜理应不能稳定存在, 但通过理论计算和实验证明, 热蒸发CsPbI₃ 薄膜的小晶粒引入大的比表面能, 使得 γ 相的总吉布斯自由能小于 δ 相, 成为常温下热力学稳定相。进一步, 该尺寸效应诱导的稳定 γ -CsPbI₃ 可以通过改善基底温度和原料蒸发速进行调控, 最终在p-i-n结构的热蒸发CsPbI₃ 钙钛矿太阳能电池上实现了12.75% 的器件性能, 属于无添加剂低温制备的热蒸发 γ -CsPbI₃ 光伏器件的最高值。后续通过引入DMAI共蒸发, 不仅降低带隙使其更匹配硅基叠层, 同时诱导诱导薄膜单一取向结晶, 减少薄膜体相缺陷, 抑制非辐射复合, 使得载流子扩散长度增大, 载流子寿命从19.4 ns提升至94.8 ns, 实现16.10%的器件性能 (制备温度~50 °C), 逼近当前热蒸发CsPbI₃ 太阳能电池的最高效率 (16.3%, 制备温度~350 °C) ^[2]。本研究工作加深了对热蒸发钙钛矿的生长结晶过程的理解, 也为热蒸发钙钛矿薄膜缺陷的原位钝化提供了良好的研究思路与方法, 有利于后续热蒸发钙钛矿单结和叠层光伏的研究。

[1] Chong Dong⁺, Dayu Liu⁺, Liang Wang, Kanghua Li, Xuke Yang, Zhe Li, Haisheng Song, Ling Xu, Chao Chen,* and Jiang Tang*, *Advanced Functional Materials* (2023), 10.1002/adfm.202214414. Accepted

[2] Qingrong Huang, Faming Li, Ming Wang, Yong Xiang, Liming Ding, Mingzhen Liu*, *Science Bulletin* 66, 757-760 (2021).

33-02

Cu₂ZnSn(S,Se)₄ 薄膜太阳能电池的抗质子辐照性能及其损伤机理

赵雲*, 吴永康, 罗钲钧, 李宇墨, 李燕

西北师范大学物理与电子工程学院, 甘肃省功能材料原子与分子物理重点实验室

甘肃省兰州市安宁东路 967 号, 730070

* yunzhao@nwnu.edu.cn

近年来, 由于 CZTSSe 薄膜太阳能电池面临 VOC 和 FF 损失大等问题导致其发展缓慢, 效率也停滞不前。研究人员从多个方面采取了各种措施, 并进行了大量实验来提高器件性能。

因此,采用新的研究方法通过非常规手段阐明限制器件开路电压的关键因素,并找到有效的解决方案是十分必要且紧迫的。高能离子辐照可在半导体中引入缺陷,通过控制辐照离子能量和剂量可有效控制其穿透深度和产生的缺陷浓度。因此,通过高能辐照技术分析 CZTSSe 太阳能电池中界面性质、缺陷状态和能带结构的变化如何影响器件性能是非常方便的。Sethu 等人将 CZTS 和 CZTSSe 太阳能电池暴露在 3MeV 质子下,发现它们的抗辐照强度极高,甚至比 CIGS 技术高出一个数量级。Mutsumi 等人研究了 CZTS 太阳能电池在电子和质子照射下的硬度,也证实了其优异的辐照耐受性。尽管 CZTSSe 太阳能电池的抗辐照性能已经得到证明,但探索辐照引起的器件性能损失退化机制仍然需要深入的研究。

本文采用高能质子对平均效率、VOC 超过 0.4V 为~9%的 CZTSSe 薄膜太阳能电池进行不同能量和剂量质子辐照系统研究了其抗辐照强度和损伤机制。结果发现,过量基底中 Na 和界面元素扩散所导致的耗尽宽度变窄和载流子浓度变化,这是导致 VOC 损失较大的主要原因。

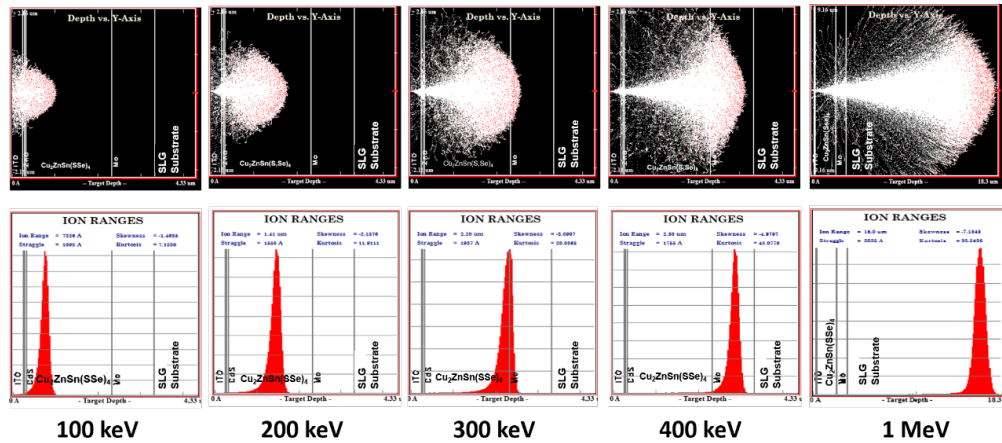


图 1. SRIM 模拟不同能量质子束在 CZTSSe 太阳能电池中散射分布图。

图 1 可以发现通过控制质子辐照能量可有效调控其作用于 CZTSSe 薄膜太阳能电池的不同位置,有利于研究器件性能的损失机制。

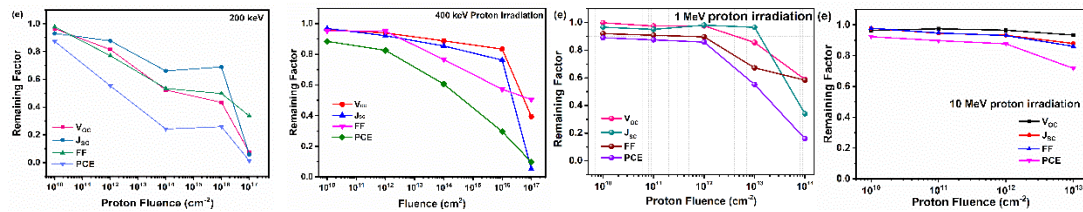
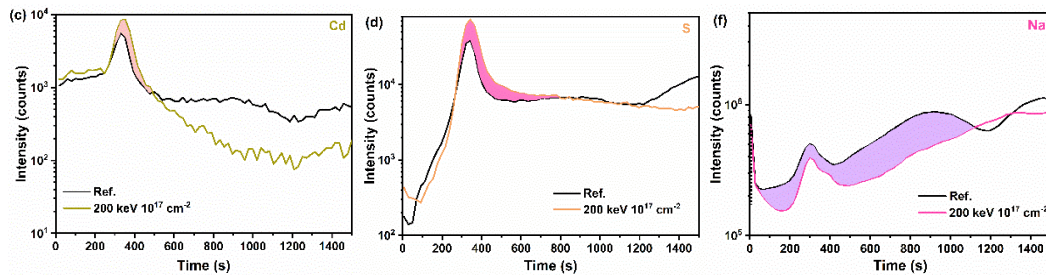


图 2.不同能量和剂量质子束辐照对 CZTSSe 太阳能电池性能的影响。

我们选择了不同能量的质子对器件进行辐照,分别对器件异质结界面、背界面及基底对器件性能的影响进行了系统研究,如图 2 所示。结果表明,随着质子能量的增大,对器件性能的影响逐渐减弱,说明当质子直接作用于界面处时会引起器件性能的突变,而作用于基底部分时对器件性能的影响较小。



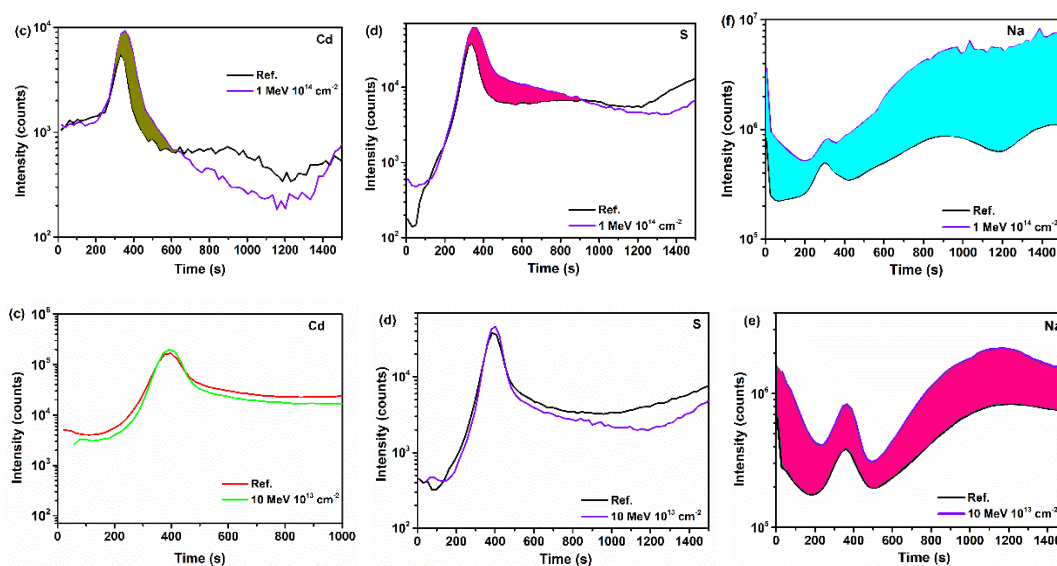


图 3.SIMS 表征不同能量和剂量质子束辐照后 CZTSSe 太阳能电池 Cd、S 和 Na 元素分布变化。

采用能量为不同能量和不同剂量质子对器件进行辐照。发现质子辐照会引起异质结处的元素扩散和器件中的 Na 元素重新分布。导致 CZTSSe 吸收层带隙、带尾波动和 Urbach 能量变化，直接影响 CZTSSe 材料中的缺陷和结构紊乱，从而影响器件性能。时间分辨光致发光结果表明，载流子寿命对器件中元素分布的变化也非常敏感，尤其是 Na、Cd 和 S。这些发现可能为解决 CZTSSe 太阳能电池的开路电压损失提供新思路。

参考文献：

- [1] HIROSE Y, MOE W, TSUNODA I, et al., Effects of Proton Irradiation on Optical and Electrical Properties of Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells, Japanese Journal of Applied Physics, 2012, 51: 111802.
- [33] YAMAGUCHI M, Radiation-resistant solar cells for space use, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 2001 68: 31-53.
- [34] BABAEE S, GHOZATI S B, The study of 1MeV electron irradiation induced defects in N-type and P-type monocrystalline silicon, Radiation Physics and Chemistry, 141 (2017) 98-102.
- [35] ZHAO Y, BAI Q, CHAI L, et al., The Degradation of Cu₂ZnSn(S,Se)₄ Kesterite Thin Film Solar Cells Induced by Proton Radiation, Advanced Materials Interfaces, 2022 9: 2201049.
- [4] ZHAO Y, BAI Q, LIAO P, et al., Radiation hardness of Cu₂ZnSn(S,Se)₄ thin film solar cells under 10 MeV proton irradiation, Physics Letters A, 2023 472: 128804.

33-03

高效钙钛矿/铜铟镓硒叠层电池的制备

肖旭东

武汉大学物理科学与技术学院

*Email:xdxiao@whu.edu.cn

Perovskite/Cu(InGa)Se₂ (PSC/CIGS) tandem configuration is an attractive way to achieve an ultra-high efficient and cost-effective all-thin-film solar cell. However, the imbalanced efficiencies of the constituent sub-cells and the bandgap mismatch generally limited the achieved overall power conversion efficiency (PCE). Herein, I will present our progressive study of such tandems in 4-terminal structure. In particular, by combining Cl bulk incorporation and piperazinium iodide (PDI) surface treatment for the CsFAPb(IBr)₃ system, we have successfully reduced the bulk and interface defect densities and greatly enhanced the open-circuit voltage and thus the PCE of the 1.67 eV-bandgap PSCs. The accompanied high activation energy of ion migration has also led to high photostability with suppressed phase segregation. By integrating a highly efficient and highly

infrared transparent 1.67 eV PSC top cell with various bandgap CIGS solar cells of comparable efficiency, we have discovered that a 1.04 eV CIGS bottom cell could reach collaborative bandgap matching and realize a four-terminal tandem cell with 28.4% PCE, so far the highest for PSC/CIGS tandems. Moreover, the achieved well-matched Jsc between top and bottom sub-cells and the adopted inverted-PSC configuration have paved the way for producing highly efficient monolithic two-terminal PSC/CIGS tandem devices in the near future.

References:

1. Liting Tang, Xiaomin Wang, Xinxing Liu, Junjun Zhang, Shaoying Wang, Yuqi Zhao, Junbo Gong, Jianmin Li, and Xudong Xiao, "Mixed solvents assisted post-treatment enables high-efficiency single-junction perovskite and 4T perovskite/CIGS tandem solar cells", *Adv. Sci.* 2022, 9, 2201768.
2. Jun Luo, Liting Tang, Shijin Wang, Hui Yan, Wuji Wang, Zheng Chi, Junbo Gong, Jianmin Li*, and Xudong Xiao*, "Highly efficient Cu(In,Ga)Se₂ solar cells with actively controlled Ga grading on flexible polymer films and their application in all-flexible perovskite/CIGS tandem devices", *Chem. Eng. J.* 2023, 455, 140960.
3. Xinxing Liu, Junjun Zhang, Liting Tang, Wang Li, Zexin Tu, Yanyan Li, Ruiming Li, Xuzhi Hu, Chen Shen, He Wang, Zhiping Wang, Qianqian Lin, Guojia Fang, Sheng Wang, Chang Liu, Zengming Zhang, Jianmin Li, Junbo Gong, Xudong Xiao, "Over 28% Efficiency Perovskite/Cu(InGa)Se₂ Tandem Solar Cells: Highly Efficient Sub-cells and Their Bandgap Matching", to appear in EES.

33-04

硒硫化锑太阳能电池

陈涛

中国科学技术大学

硒硫化锑[Sb₂(S,Se)₃]是一种新型光伏材料,其显著的优势在于:(i)带隙在 1.1-1.8 eV 内连续可调,理论光电转换效率为 32%,同时可以用于制作全锑基叠层太阳能电池;(ii)鉴于其稳定、可柔性、无毒、元素储量丰富等特点,在高功率重量比大面积低成本光伏发电及单兵携行电源等应用领域具有无可替代的优点。作为一种新兴光伏材料,对其基本性质的理解以及构建合适的器件结构以提高光电效率是重要的课题。本报告主要介绍我们课题组近期在制备硒硫化锑太阳能电池的所开展的工作,包括界面材料及界面诱导晶体取向的调控方法、水热沉积制备高质量硒硫化锑薄膜、以及点缺陷及电压损失机制的研究。通过高质量薄膜最终实现了>10.0%的光电转换效率突破,使之成为继有机/无机杂化钙钛矿之后又一效率超过 10% 的光伏材料。

相关论文:

- [1] *Nat. Energy*, 2020, 5, 587-595.
- [2] *Nat. Commun.*, 2021, 12, 3260.
- [3] *Adv. Mater.*, 2023, 35, 2208564.
- [4] *Adv. Mater.*, 2022, 34, 2200723.
- [5] *Adv. Mater.*, 2021, 2006689.

33-04

柔性铜锌锡硫基单晶颗粒膜太阳能电池的制备与性能研究

张军*, 朱旭鹏, 傅文峰, 廖峻, 薛书文,
岭南师范学院, 广东省湛江市赤坎区寸金路 29 号

* E-mail zhangjun@lingnan.edu.cn

铜锌锡硫 (CZTS) 为代表的系列 I2-II-IV-VI4 型半导体材料已在光伏、光催化和光电探测器等领域表现出良好的应用前景。由于材料组成元素复杂、结构多变, 制备过程影响因素众多, 很难获得能够直接商业化的块体单晶, 那么单晶颗粒膜无疑是减少杂相、减少缺陷、提高 CZTS 电池效率的潜在手段。我们通过熔盐法实现了 Ag 元素对 Cu 元素的部分替代, 获得了微米级的四面体单晶和厘米级的单晶颗粒, 同时在不同的元素替代量下, 我们通过与伴生 CZTS 基座的系列特性对比, 给出了厘米级 AZCTS 单晶颗粒的生长机理, 其生长机制是一种外延生长模式。此工作为生长大尺寸的高质量 AZCTS 单晶提供了优化的方向, 同时为柔性单晶颗粒膜太阳能电池的制备提供优质的单晶颗粒。此外, 我们以熔盐法所制备的高质量 ACZTS 单晶颗粒的基本性质数据作为基础, 以微米级四面体单晶颗粒膜作为吸收层, 通过 SCAPS-1D (太阳能电池电容模拟软件) 研究了不同结构和材料参数 (如颗粒填充度、有效光学捕获截面、吸收层厚度、载流子掺杂密度、缺陷密度) 对柔性单晶颗粒膜太阳能电池短路电流密度 (J_{sc})、开路电压 (V_{oc})、填充因子 (FF) 及转换效率的影响。

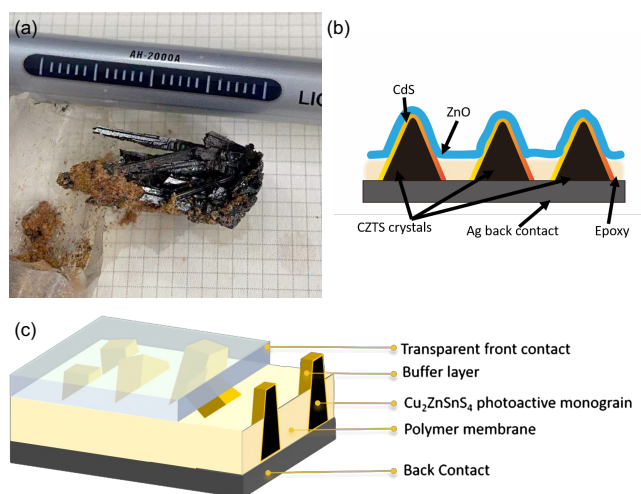


图 1 (a) 厘米级的 ACZTS 单晶。(b)–(c) 柔性 CZTS 基单晶颗粒膜太阳能电池的 2D 截面和 3D 示意图。

关键词: 铜锌锡硫系列单晶; 柔性单晶颗粒膜; 熔盐法; 太阳能电池

参考文献:

- [1] Zhou, J., Xu, X., Wu, H. et al. Control of the phase evolution of kesterite by tuning of the selenium partial pressure for solar cells with 13.8% certified efficiency. *Nat Energy* (2023). <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01251-6>.
- [2] Duan B, Shi J, Li D, et al. Underlying mechanism of the efficiency loss in CZTSSe solar cells: disorder and deep defects. *Sci. China Mater.*, 2020, **63**, 2371-2396.
- [3] Shin, B., Gunawan, O., Zhu, Y., Bojarczuk, N.A., Chey, S.J. and Guha, S. *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 2013, **21**, 72-76.

33-05

溶液法制备铜铟镓硒和铜锌锡硫半导体材料及薄膜太阳能电池

辛 颢

南京邮电大学有机电子与信息显示国家重点实验室、化学与生命科学学院

降低成本是太阳能清洁能源与化石能源抗衡的根本。铜铟镓硒(CIGS)为直接带隙半导体

材料，吸光系数高，用料少，理论效率高。最近 CIGS 薄膜电池的效率已经超过 23%，显示出其良好的应用前景。然而目前高效 CIGS 电池都是由真空法制备的，而可以大面积制备的溶液法无疑是降低制备成本的最好选择。铜锌锡硫（CZTS）与 CIGS 具有相同的晶体结构和理论效率但使用储量高成本低原材料，因此可以进一步降低电池的材料成本。在此次报告中，我将主要介绍课题组在溶液法制备高性能 CIGS 和 CZTS 半导体材料及其薄膜太阳能电池的研究进展。在 CIGS 方面，我们的研究主要集中在通过溶液化学逐步实现以绿色溶剂取代环境有害溶剂，并通过控制结晶条件和控制结晶反应路径提高材料的性能及器件效率，并通过可大面积制备的刮涂工艺获得效率超过 16% 的 CIGS 太阳能电池。在 CZTS 方面，首先通过调控溶液中配位化学首次以直接相变路径制备 CZTS 多元半导体化合物，获得组成均匀、表面缺陷少的半导体材料，有效降低了开路电压损失，进一步系统研究了 CZTS/CdS 异质结界面严重非辐射复合的化合根源并首次通过低温热处理实现了外延异质结界面，显著减低了异质界面复合，提高了电池开路电压和填充因子，电池效率经美国国家可再生能源实验室（NREL）认证达到 13.0%，创造了铜锌锡硫电池的世界纪录。

33-06

钙钛矿太阳能电池产业化涂布技术挑战和解决方案

隆清德，柴进，唐滔，兰沈凯
深圳市曼恩斯特科技股份有限公司
E-mail: longqingde@sz-manst.com

钙钛矿电池作为第三代光伏产品，具备高光电转化效率、简单结构、低成本和多元化应用场景等一系列优势，涂布作为钙钛矿电池的核心工艺环节，对其效率和寿命等有着重要影响。其中，厚度薄、结晶难、均一性高、模头腐蚀、对晶硅叠层而言如何解决高通量、绒面涂布等均是钙钛矿产业化涂布亟待解决的重要课题。围绕以上关键问题，曼恩斯特开发了气浮式和导轨式量产涂布设备以及桌面式实验涂布设备。在关键核心零部件实现了防腐蚀的狭缝涂布模头、更均匀和大风量的风刀、更高精度的供液泵和更洁净的供液系统，从而达到了快速的工艺支持和更灵活的软硬件系统。在 2300×1200mm 尺寸可实现钙钛矿涂布均匀性≤5%，助力钙钛矿产业化进展。



图 1：深圳市曼恩斯特的低精度平板狭缝涂布机和钙钛矿结晶方案。

深圳市曼恩斯特科技股份有限公司是一家以涂布技术研发、应用为核心的国家级高新技术企业、国家级专精特新“小巨人”企业。多年来坚持“让涂布变得简单”这一愿景，深耕涂布技术领域，为客户提供创新性的一站式涂布技术整体解决方案。目前，公司正在取得现有研究成果的基础上，积极拓展涂布技术在周边新型领域的应用，如氢燃料电池电极涂布，钙钛矿太阳能涂布，MLCC 涂布、半导体领域相关涂布等，致力于打造下一个进口替代。

33-07

全无机硫系薄膜光电应用研究

陈烁*，苏正华，梁广兴
深圳大学物理与光电工程学院 广东深圳 518060

E-mail: chensh@szu.edu.cn

代表性的全无机硫系半导体凭借原材料储量丰富、环境友好、理想带隙匹配高吸光系数、光电性能优异且稳定等优势，在新型高效薄膜光电器件研究领域引起广泛关注。本课题组基于硒化锑(Sb_2Se_3)和铜锌锡硫硒($\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$, CZTSSe)硫系半导体薄膜开展集中研究，重点探索该材料在薄膜太阳电池、薄膜光电探测器及光解水制氢用薄膜光电极上的应用，相关工作取得系列特色研究成果。

对于 Sb_2Se_3 ，采用与产业兼容性高的溅射硒化法热动力学制备微米级晶粒紧密堆积、[hk1] 良性晶界且高载流子迁移率方向择优生长的高质量 Sb_2Se_3 薄膜。构建 $\text{Mo}/\text{Sb}_2\text{Se}_3/\text{CdS}/\text{ITO}/\text{Ag}$ 底衬结构薄膜太阳电池，协同调控光吸收层及双界面，获得基于溅射法的 Sb_2Se_3 电池最高效率 8.64%，报道 Sb_2Se_3 电池的最高开路电压 520 mV^[1]；基于高质量 Sb_2Se_3 薄膜构建光伏型薄膜光电探测器，能够实现无外加偏压自驱动工作，响应度达到 0.9 A/W、真实探测度高达 4.78×10^{12} Jones、线性动态范围达到 120 dB、响应速度首次达到 ns 量级(响应时间 24 ns 和恢复时间 75 ns)^[2]；构建 $\text{Mo}/\text{Sb}_2\text{Se}_3/\text{CdS}(\text{In})/\text{TiO}_2/\text{Pt}$ 平面结薄膜光阴极，借助缓冲层阳离子掺杂进一步增强电荷的产生、分离及传输效率，器件同时呈现高光电流密度 J_{ph} (35.7 mA cm^{-2})和起始电势 V_{on} ($0.54 V_{\text{RHE}}$)，获得目前 Sb_2Se_3 光阴极的最高半电池太阳能-氢能转换效率($\eta_{\text{HC-STH}}$)为 5.6%^[3]。

对于 CZTSSe，研究基于绿色稳定乙二醇甲醚溶剂体系的前驱体溶液旋涂结合快速热处理的硒化反应自组装生长大尺寸且均匀致密的 CZTSSe 薄膜。构建 $\text{Mo}/\text{CZTSSe}/\text{CdS}/\text{ITO}/\text{Ag}$ 底衬结构薄膜太阳电池，调控 CZTSSe 吸收层硒化反应机制，获得 12.89%的可观器件效率^[4]；构建 $\text{Mo}/\text{CZTSSe}/\text{CdS}/\text{TiO}_2/\text{Pt}$ 平面结薄膜光阴极，优化异质结界面晶格和能带匹配，增强界面电荷的分离及传输效率，获得基于该材料体系的最大光电流密度 J_{ph} 为 40.4 mA cm^{-2} ，接近其理论光电流密度 42.85 mA cm^{-2} ，半电池太阳能-氢能转换效率 $\eta_{\text{HC-STH}}$ 高达 6.47%^[5]，展现出研究价值和应用潜力。

参考文献：

- [1] R. Tang[#], S. Chen[#], Z. Su, G. Liang^{*} *et al.*, *Adv. Mater.*, 2022, 34, 2109078.
- [2] S. Chen, Z. Su, G. Liang^{*} *et al.*, *InfoMat*, 2023, 5, e12400.
- [3] S. Chen, Z. Su, G. Liang^{*} *et al.*, *Nano Energy*, 2022, 99, 107417.
- [4] Z. Yu, S. Chen, Z. Su^{*}, G. Liang^{*} *et al.*, *Adv. Energy Mater.*, 2023, 13, 2300521.
- [5] G. Liang, Z. Su, S. Chen^{*} *et al.*, *Adv. Energy Mater.*, 2023, 13, 2300215.

33-08

柔性铜铟镓硒太阳能电池产业化关键技术及进展

任宇航

尚越光电科技股份有限公司

柔性铜铟镓硒 (CIGS) 薄膜太阳能电池在市场上展现出广阔的前景。其出色的柔性、轻量高效以及适应弱光等特点使其在能源、交通、建筑和电子等领域有着广泛的应用潜力。然而，与传统晶硅太阳能电池相比，柔性 CIGS 电池产业面临一系列挑战，包括部分原材料生产成本低、设备和工艺标准化程度不足，以及上下游供应链整合困难等问题。在本次报告中，我将深入分析柔性 CIGS 太阳能电池组件产业化所面临的挑战，并详细介绍实现大规模生产柔性 CIGS 组件所需的关键要素。此外，我将重点讨论柔性 CIGS 卷对卷工艺的关键技术以及规模化生产所需的核心装备技术。最后，我们将分享我司最新的重要技术进展，并展示柔性 CIGS 太阳能电池在特定应用领域的成功案例。

33-09

薄膜太阳能电池的机遇

孟庆波

中国科学院物理研究所，北京，100190

qbmeng@iphy.ac.cn

可再生能源和光伏技术的应用是国家重大战略需求。薄膜太阳能电池, 因其在轻便、柔性以及多场景应用等方面的显著优势, 受到了广泛关注。研发组成元素储量丰富、更高性能、更低成本、更加环境友好的薄膜太阳能电池是光伏领域的重要方向。我们团队近 20 年来一直从事薄膜太阳能电池关键材料和技术研究, 本报告将重点介绍我们在钙钛矿、铜锌锡硫硒太阳能电池和太阳能电池光电测量表征方面的最新进展。

对于钙钛矿电池, 我们从工作机理、界面调控和缺陷钝化研究出发, 在钙钛矿电池组件、全无机钙钛矿电池和柔性化碳电极电池等方面取得了国际领先的电池性能, 为制备高性能、低成本、高稳定钙钛矿太阳能电池提供了重要路径。1-4

铜锌锡硫(硒)具有组成元素储量丰富且无毒、稳定性高以及与现有薄膜光伏技术兼容等独特优势, 是用于薄膜太阳能电池的理想材料。在此方面, 我们从结晶形貌调控和多相演化化学反应路径调控等方面开展了系统研究, 实现了>14.5%的国际最高效率。5-8

这些高性能器件的开发得益于我们对太阳能电池电荷损失微观过程的精准测量和物理机制认识。我们发展了可调控的太阳能电池瞬态光电测量系统及电池电荷损失分析技术, 在不同类型太阳能电池研究中得到了广泛应用, 并已经为以色列耶路撒冷希伯来大学、北京大学、北京理工大学、北京科技大学、武汉理工大学、华东理工大学、南开大学、深圳大学、南京邮电大学、福州大学等研究团队提供了技术支持。9-10

1. Y. Li, Z. Chen, Q. Meng, et al., *Joule* 2022, 6, 676-689.
2. Y. Cui, J. Shi, Q. Meng, et al., *Adv. Mater.* 2022, 34, 2205028.
3. B. Yu, J. Shi, Q. Meng, et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* 2021, 60, 13436-13443.
4. H. Zhang, J. Xiao, Q. Meng, et al., *Adv. Funct. Mater.* 2018, 28, 1802985.
5. J. Zhou, X. Xu, Q. Meng, *Nat. Energy* 2023, 8, 526-535.
6. X. Xu, J. Zhou, Q. Meng, et al., *Adv. Energy Mater.* 2023, 13, 2301701.
7. J. Wang, J. Zhou, Q. Meng, et al., *Adv. Mater.* 2022, 34, 2202858.
8. NREL, <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.pdf>.
9. J. Shi, D. Li, Q. Meng, et al., *Rev. Sci. Instrum.* 2016, 87, 123107.
10. Y. Li, J. Shi, Q. Meng, et al., *Joule* 2020, 4, 472-489

33-10

硒硫化锑薄膜太阳能电池研究

李建民*

ljmphy@whu.edu.cn

武汉大学物理科学与技术学院/湖北省武汉市

近年来, 硒硫化锑[Sb₂(S,Se)₃]因其优异的稳定性和良好的光伏参数而成为一种很有前途的光伏材料。开发合适的方法来沉积具有致密形貌、大晶粒尺寸、最佳光电和缺陷特性的高质量 Sb₂(S,Se)₃ 薄膜对于最终器件效率的提高起着至关重要的作用。报告介绍了本课题组在 Sb₂(S,Se)₃ 薄膜制备以及沉积调控方面最新研究, 包括(1)开发了一种溶剂辅助热液沉积(SHD)技术, 通过改善薄膜形态、结晶度和降低薄膜缺陷密度, 实现了 10.75%功率转换效率的 Sb₂(S,Se)₃ 太阳能电池[1]; (2)设计了一种双硫源协同的化学浴沉积(CBD)技术制备 Sb₂S₃ 薄膜。通过利用双硫源[硫代硫酸钠(STS)和硫代乙酰胺(TA)]之间的相互作用改善了沉积速率、薄膜形貌、取向和结晶度。因此, 我们制备了 8%转换效率的器件, 这标志着自 2014 年以来 Sb₂S₃ 太阳能电池效率的首次突破[2]; (3)提出了一种添加剂辅助 CBD 技术。该研究分别以酒石酸锑钾和硫代硫酸钠为锑和硒源, 以硫脲和硒脲为添加剂来控制 Sb₂Se₃ 薄膜沉积过程。通过调节沉积过程中的反应动力学, Sb₂Se₃ 薄膜在形貌、结晶度、载流子输运性能、缺陷密度等方面的都得到了显著提高, 最终获得了 10.57%的 Sb₂Se₃ 器件[3]。上述研究为制备高质量 Sb₂(S,Se)₃ 薄膜制备以及进一步提高 Sb₂(S,Se)₃ 太阳能电池的效率提供新的研究方向。

33-11

超薄可共形柔性有机太阳能电池研究

黄文超¹¹ 武汉理工大学, 材料科学与工程学院, 湖北武汉珞狮路 122 号, 430070

*Email: wenchao.huang@whut.edu.cn

有机太阳能电池具有成本低、质量轻及柔性好等特点, 是一种极具发展潜力的新型可携带式移动电源技术, 在柔性可穿戴电子、智能皮肤等领域有着广阔的应用前景。但是对于柔性有机太阳能电池而言, 如何同时实现高效率 and 优异的机械稳定性仍然是一个极具挑战的课题。本报告将介绍一种能实现共形贴附的超薄 ($3\ \mu\text{m}$) 柔性有机太阳能电池, 该太阳能电池的超薄结构可以有效减小器件在重复弯折条件下的性能衰减。采用混合受体策略, 一方面可以提高电荷运输效率和激子分离效率, 另一方面也可以优化形成具有更多非晶区域的活性层共混物形态, 提升柔性电池的机械稳定性。基于该策略制备的超薄柔性有机太阳能电池, 获得了超过 17% 的光电转换效率, 在循环弯折 1000 次后, 光伏性能下降小于 10%。

33-12

利用贝叶斯机器学习快速优化钙钛矿太阳能电池的高通量制备工艺

刘哲

西北工业大学, 材料学院, 陕西西安

国家“碳中和”目标对可再生能源材料的研发提出了时效性需求, 即在短期内快速实现高性能、低成本的新能源材料研究及其产业化应用。对于太阳能光伏技术来说, 全球光伏使用量需要在未来 30 年实现 70 倍以上的增长, 加速光伏新材料研发的压力迫在眉睫。材料基因工程技术的应用有望建立新能源材料研发的新范式, 助力钙钛矿光伏新材料的研究工作。本报告基于贝叶斯机器学习方法, 针对大面积喷涂工艺和光固化结晶工艺, 开展钙钛矿太阳能电池制备工艺的实验优化, 实现了器件效率的提高。我们通过在贝叶斯机器学习框架中加入实验取样的概率约束, 能够将薄膜厚度、颜色和均匀度的主观视觉评估融入到机器学习的模型中。利用该机器学习方法指导钙钛矿薄膜层的等离子喷涂工艺及光固化结晶工艺的优化示范, 实现了 4-6 个工艺变量的同时优化, 并通过 100 组实验条件的筛选, 将器件的光电转化效率从 18.0% 提升至 18.5%, 并且获得了 10 个 17% 以上的高效工艺条件。该主动学习方法与传统随机取样法或正交实验法相比所需实验量更少, 同时实现了领域知识的融入, 有望促进人机交互算法的开发, 加速钙钛矿太阳能电池的产业化进程。

关键词: 钙钛矿太阳能电池、材料基因工程应用

33-13

钙钛矿激光电池

邓业浩

教授, 博导, 重庆大学物理学院

dengyh@cqu.edu.cn

激光电池将入射激光转换成电能, 可实现无线能量传输, 在先进医疗、消费电子、航空航天等方面拥有广阔前景。显而易见, 钙钛矿激光电池与太阳能电池的原理基本一致, 均属于光伏器件。我们的首要问题是, 基于现有的钙钛矿光伏器件制造技术, 我们可以获得多好的激光电池? 钙钛矿太阳能电池的理论效率大约 31%, 实际效率已有 26%。激光电池的理想效率可达 100%, 实际效率如何? 输出功率又如何? 不同于太阳能电池, 激光电池的激发源的波长和功率可调, 因此对于特定器件存在一个最佳激发条件。我们借助仿真找到了最佳激发条件, 在实验上获得了接近 60% 的激光转换效率, 与 III-V 族器件效率相当。此外, 我

们进一步找出了限制现有钙钛矿激光电池输出功率的关键瓶颈，并提出潜在的解决途径。

参考文献

(1) Chengxia Shen, Xufeng Ling, Shijian Chen, Yehao Deng*, Practical Efficiency Limit of Laser Power Converters Based on Lead Halide Perovskite. Under review. 2023

33-14

高效率碲化镉薄膜太阳能电池

沈凯

暨南大学

碲化镉 (CdTe) 薄膜太阳能电池是最成功的产业化薄膜光伏技术，是光伏市场上硅基太阳能电池以外的第二大产品体系。围绕解决高效率 CdTe 太阳能电池新结构体系的关键技术问题，在对全流程制备技术进行大量探索的基础上，形成了 CdSeTe 基梯度吸收层制备、组分调控及分布，以及高效钝化技术，成功制备认证效率超过 20% 的 CdTe 薄膜太阳能电池。同时，面向更高稳定、更高效率的新一代制备技术开展研究。

33-15

高效率柔性 CIGS 以及面向叠层电池的窄禁带 CIGS 薄膜太阳能电池

李伟民*, 俞深, 苑欣业, 唐玮, 杨春雷*

中国科学院深圳先进技术研究院, 广东省深圳市南山区学苑大道 1068 号

* E-mail: wm.li1@siat.ac.cn; cl.yang@siat.ac.cn

柔性 CIGS 太阳能电池具有柔软可弯曲、质轻、便携、可贴装、厚度薄等优势，在航空航天飞行器、分布式能源、移动能源、光电建筑一体化和光伏电站等诸多应用领域有着广泛需求。但是柔性 CIGS 太阳能电池效率 (21.4%) 与刚性玻璃基底电池效率 (23.35%) 仍存在一定差距，其主要原因在于柔性基底 CIGS 生长工艺与碱金属掺杂的精确调控存在一些独特挑战。针对此问题，我们通过精确调控三步共蒸发中的碱金属掺杂策略、优化三步法生长工艺中 In/Ga 梯度以及碱金属后处理等，在柔性不锈钢基底上实现了效率超过 22% 且开路电压突破 750mV 的高效率器件。

此外，CIGS 带隙可调，其中 CIS (铜铟硒) 薄膜太阳能电池的禁带宽度在 1.0eV 左右，且效率高，生产成本低 (为 GaAs 的 1/20)。CIS 具有比晶体 Si、CdTe 和钙钛矿等材料更窄的禁带宽度，能够利用更短波长的太阳能光，是制备叠层电池底电池的绝佳材料。我们通过调节窄禁带 CIGS 太阳能电池的组分梯度，抑制背部载流子复合，实现禁带宽度 1.04eV，效率接近 18% 的高效率窄禁带电池。在此基础上实现了效率 20% 和 25% 的两端和四端钙钛矿/CIGS 叠层太阳能电池

33-16

数据驱动钙钛矿材料创新

赵海涛

中国科学院深圳先进技术研究院

Email: ht.zhao@siat.ac.cn

报告围绕数据驱动自动合成、机器人辅助可控合成、机器学习促进逆向设计用于如钙钛矿材料合成，探索构建了“机器科学家”平台，有望将科研人员从传统试错实验、劳动密集型表征中解放，聚焦科学创新，实现钙钛矿材料数字智造。

33-17

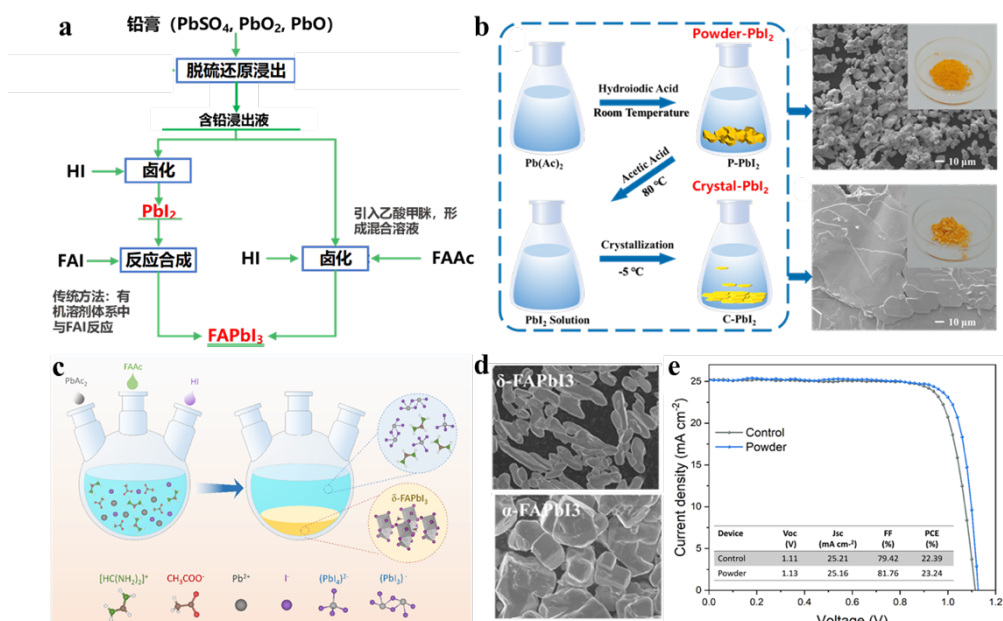
基于湿法冶金的钙钛矿光伏材料制备与性能研究

曾强, 潘逸宁, 李林鸿, 马紫蔓, 刘芳洋*

中南大学，冶金与环境学院，长沙，410083

*Email: (liufangyang@csu.edu.cn)

钙钛矿光伏产业化进程的持续加快带来了日益增大的原材料供应需求，而目前仍缺乏源头宏量化钙钛矿材料的制备途径。我们提出基于湿法冶金策略的废旧铅酸电池回收转化路径，获得钙钛矿用铅卤化物的宏量化制备技术，实现废铅资源有效回收和增值利用。以 FAPbI₃ 钙钛矿材料为例，该湿法冶金策略的整体思路如图 a 所示，通过脱硫还原浸出等过程获得酸性含铅浸出液，随后可分为两条路径：钙钛矿用碘化铅的湿法冶金制备与性能调控；水溶液体系下的钙钛矿微晶湿法冶金制备与性能调控。路径 1 中，通过改变卤化反应条件，获得了晶粒尺寸和结晶取向可控的碘化铅材料（如图 b 所示），再基于两步连续沉积法制备钙钛矿薄膜，深入研究碘化铅晶粒尺寸对钙钛矿薄膜结晶过程的影响以及碘化铅薄膜的调控手段。路径 2 中，我们提水溶液体系的含铅浸出液短流程制备 FAPbI₃ 钙钛矿微晶材料（如图 c, d 所示），并通过控制反应体系中 I⁻ 的浓度实现 FAPbI₃ 的纯度及形貌的有效控制。再基于溶解再结晶策略，采用该 FAPbI₃ 晶体沉积得到的高性能钙钛矿薄膜，最终获得 23% 以上的光电转换效率（图 e）。本文为钙钛矿电池原材料的宏量化获取提供了思路。



关键词：钙钛矿材料、钙钛矿太阳能电池、湿法冶金

参考文献：

- [1] L. Xie, Q. Zeng, Q. Li, et al. *J Phys Chem Lett*, **2021**, 12: 9595.
- [2] Q. Zeng, Q. Ma, L. Li, et al. *Chem. Commun.* **2023**, 59, 5269-5272

33-18

高效锌黄锡矿太阳能电池缺陷调控及能带工程

武四新

河南大学

Email: wusixin@henu.edu.cn

CZTSSe 太阳能电池组成元素无毒且储量丰富，具有很好的应用前景，然而目前其光电转换效率只有 13.0% 左右，较低的效率限制了其商业化应用。通过调控前驱体溶液浓度及硒化过程中硒气压的大小制备出结晶性良好的吸收层；通过 Ge 取代对吸收层缺陷调控，抑制了体相的 ZnSn 反位缺陷；通过提升靠近 CdS 界面吸收层硫硒比例来实现电池开路电压的提

升，同时又不影响体相带隙，保证了较大的电流密度；通过在 CdS 缓冲层掺入少量 Zn 调控缓冲层的带隙及载流子浓度实现了较好的 P-N 结质量。

33-19

无镉双缓冲层 Zn(O,S)/ZnMgO 对 CIGS 太阳能电池性能的影响

刘玮*

(薄膜光电子技术教育部工程研究中心, 天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室, 南开大学电子信息与光学工程学院, 天津 300350)

* E-mail wwl@nankai.edu.cn

铜铟镓硒 (CIGS) 薄膜太阳电池通常采用化学水浴法沉积 CdS 作为缓冲层。但 CdS 带隙较窄, 降低了电池的短波响应, 而且重金属元素 Cd 处理不当会带来环境隐患, 所以宽带隙无镉缓冲层材料的研究一直备受关注[1]。与传统 CdS/CIGS 电池相比, 带隙连续可调的 Zn(O,S)单层薄膜可以代替 CdS 和 i-ZnO 的作用, 提升器件短波段响应, 但是 Zn(O,S)/CIGS 器件的异质结界面复合及带阶也会导致开路电压损失, 限制效率提升。因此, 我们采用 ZnMgO/Zn(O,S)无镉双缓冲层, 结合器件仿真, 分析 ZnMgO 薄膜中元素扩散及其与 Zn(O,S)的匹配, 优化 Zn(O,S)/ZnMgO 双缓冲层结构, 减小界面复合, 改善器件性能, 从而将无镉 CIGS 薄膜太阳电池的效率提升到 18.0 %。本结果对进一步提升无镉缓冲层 CIGS 电池的效率提供了一定的理论与实验参考。

33-20

铜铟镓硒薄膜太阳能电池产业化与未来发展

吴忠宪

凯盛光伏材料有限公司

Email: wuchunghsien@tpvm.com.cn

CIGS 薄膜太阳电池是以铜铟镓硒四元半导体化合物为光吸收层的光伏电池。其具有理论转换效率高、弱光性能好、抗遮阳效果好以及外观均一等优点, 在光伏发电领域具有独特优势和广阔的应用前景, 尤其在光伏建筑一体化市场潜力巨大。然而, CIGS 发展已经半个多世纪, 实现产业化的企业却屈指可数, 我将结合凯盛光伏材料有限公司的产业化历程, 分析 CIGS 产业化过程中面临的困难与挑战, 重点介绍溅射后硒化法制备铜铟镓硒的关键技术与装备、原材料国产化历程以及未来技术提升路径, 并结合自身产品和应用案例, 探讨 CIGS 未来商业化的途径与方式。

33-21

CIGS 薄膜太阳能电池的当下与未来

孙云

南开大学教授

CIGS 薄膜太阳电池虽然受晶硅电池产业技术快速发展的挤压而被推向边缘化, 但其材料与器件具备高转换效率、高稳定性, 可制备柔性组件具有晶硅电池不可替代性, 两微米的吸收层等同于晶硅 180 微米, 生产过程低排放、低消耗的碳足迹, 一个车间涵盖太阳电池组件全产业链, 具有低成本的科学属性。西方国家数十年投巨资原创性地研发其材料和器件的科学与技术, 并完成了产业化, 其商品应用于光伏电站具有十分优良的发电能力, 是比较理想的绿色光伏电池。西方国家自认为掌握着光伏电池未来发展制高点, 将最不看好的晶硅电池产业技术转给中国, 没想到晶硅电池产业技术在中国实现了快速发展, 实现了超大规模生产, 成本和效率被做到极致, 阻断了正在工业化爬坡的 CIGS 电池产业发展。CIGS 电池为什么被边缘化? 其产业和技术是否还有发展前景? 如何走出困境实现创新发展? 本报告将从科学与技术角度进行分析和阐述, 探索其可行性, 并提出相应的建议。

33-22

软组装全印刷钙钛矿太阳能电池的最新进展

杨世和

北京大学深圳研究生院，广东省纳米微米材料研究重点实验室

深圳湾实验室

Email: chsyang@pku.edu.cn

太阳能被认为是人类社会可持续的终极清洁能源，而卤化钙钛矿太阳能电池的迅猛发展是太阳能领域的一个奇迹。在短短的几年内其效率就已直逼单晶硅的电池效率。卤素钙钛矿作为新型半导体的一个最大特点是可以溶液加工而不失其高性能。本次讲座汇报我们课题组近期关于卤素钙钛矿材料的薄膜生长及其在太阳能电池上的应用，重点聚焦在大面积碳基钙钛矿太阳能电池模组的软组装全印刷策略。采用长链双子表面活性剂对钙钛矿前驱液的粘弹性进行调节，揭示了其烷基链长对刮涂过程中前驱膜晶体调控组装的重要影响机制，实现了刮涂制备高质量、大面积的钙钛矿活性层，使得碳基钙钛矿太阳能电池能够通过全印刷方式进行制备。该策略大幅缩短了工艺流程，缩减制备时间和成本，实现了大面积（100 cm²）碳基钙钛矿太阳能电池的记录效率（19%）和高稳定性，为全印刷钙钛矿光伏的产业化奠定了可靠的基础。

33-23

高效率钙钛矿太阳能电池及组件关键技术研究

麦耀华*，刘冲

广东脉络能源科技有限公司 佛山市南海区狮山镇

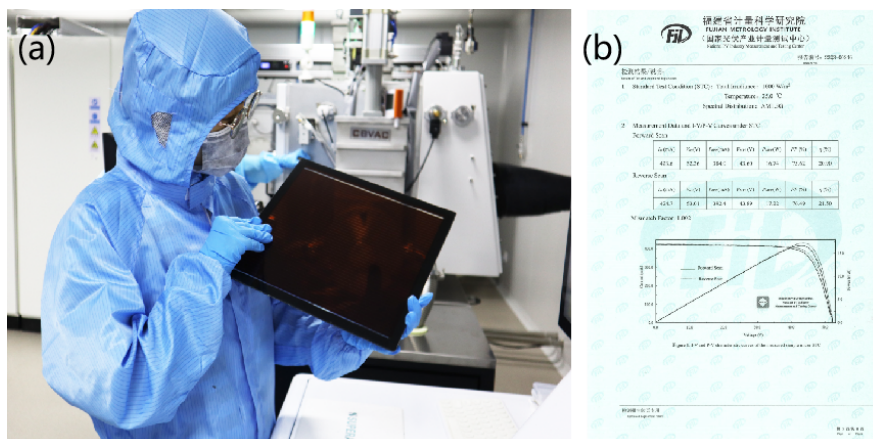
* yaohuamai@jnu.edu.cn

大面积钙钛矿太阳能电池及组件正在不断实现效率和稳定性的突破 1-3，由于其效率和成本的优势，钙钛矿光伏技术已来到产业化前夜，其商业化应用潜力和场景正在被广泛的研究和讨论。脉络能源长期致力于解决钙钛矿产业化进程中的关键科学问题，如：效率和稳定性提升、大面积制备和组件集成等，近期团队在室内光伏以及刚性和柔性钙钛矿光伏电池及组件方面取得了一定的研究成果。

钙钛矿湿膜的干燥过程伴随着结晶，所以随着面板尺寸的增大，对溶剂去除一致性的要求会越来越高。脉络能源，开发的快速涂布，同步结晶技术，以实现拓宽工艺窗口，提升工艺可控性的目的，使器件随基板尺寸增大，效率衰减不明显。此外，脉络能源开发组合添加剂系统，对成核和结晶分开精准控制，从而获得高致密，全覆盖的钙钛矿薄膜。同时，开发原位的生成 2D/3D 异质结结构技术，无需增加额外的设备，器件效率获得提升的同时，设备投资成本减少超过 10%。

脉络能源成立于 2022 年 8 月，同年 11 月完成天使轮融资交割，同时开始在佛山高新区狮山力合科技园建设中试生产线。2023 年 2 月 25 日，脉络能源建设的钙钛矿光伏组件中试生产线实现工艺贯通，首片大面积（30 cm×30 cm）钙钛矿光伏组件正式下线。2023 年 6 月，30 cm×30 cm 钙钛矿光伏组件转换效率达到 20.79%。8 月，再次突破世界最高转换效率达到 21.50%；紧接着反式结构柔性钙钛矿光伏组件光电转换效率达到 21.09%。

关键词：钙钛矿光伏电池及组件；成核与结晶控制；组件集成；高效率；稳定性



图：(a) 脉络能源中试线组件；(b) 30 cm×30 cm 中试线组件 21.50%第三方认证
参考文献：

Ding Y, Ding B, Kanda H, et al. 2021. A. Mei, Y. Sheng, Joule, 2020, 4, 2646-2660.

Azmi R, Ugur E, Seithkan A, et al. Science, 2022: eabm5784.

Yoo J J, Seo G, Chua M R, et al. Nature, 2021, 590(7847): 587-593.

33-24

柔性单晶硅太阳能电池

刘正新，刘文柱，孟凡英，张丽平，石建华，杜俊霖，韩安军，赵文婕，王光远
中国科学院上海微系统与信息技术研究所 集成电路材料全国重点实验室 新能源技术中心
(Email: z.x.liu@mail.sim.ac.cn)

柔性太阳能电池在分布式光伏、可穿戴电子、航空航天、移动能源等领域具有广泛的应用需求，单晶硅太阳能电池由于其材料的脆性特征，在应力作用下容易破碎，通常认为不适合柔性光伏领域。本课题组针对单晶硅太阳能电池的断裂机制进行了深入研究，发现单晶硅太阳能电池的断裂主要起源于边缘的不均匀应力，针对这一现象，开发了硅片的加工处理技术，使单晶硅片承受应力的能力大幅度增加，利用该技术加工的厚度 100 微米以下的 n 型单晶硅片制作的异质结太阳能电池表现出明显的柔性特征，已批量应用于轻质柔性组件，预计将来可更广泛应用于柔性光伏领域。

33-25

钙钛矿/硅叠层太阳能电池产业化挑战

李晓伟 13628607865

正泰新能科技有限公司前沿技术部研发副总监

1 通讯地址 浙江省海宁市尖山新区吉盛路 1 号

Email: xiaowei.li5@Astronergy.com

钙钛矿/硅叠层太阳能电池的研究进展迅速，两端叠层器件的最高效率在短短几年内就达到了 33.7%，远超晶硅太阳能电池理论极限 29%，为光伏产业通过进一步提高效率降低成本提供可能，但是距 两端叠层 46% 的理论极限效率还有一定的差距。两端钙钛矿/硅叠层太阳能电池的主要结构是由宽带隙的钙钛矿顶电池和窄带隙的硅基底电池组成，其中顶电池吸收高能光子，底电池吸收低能光子，实现用太阳能光谱充分利用，降低热化损失提高转换效率。

目前面向产业化的钙钛矿/硅叠层太阳能电池由于底电池的不同又分为钙钛矿/TopCon 叠层（图 1）和钙钛矿/HJT 叠层（图 2）。本报告对钙钛矿/晶硅叠层电池的研究进展进行梳理，指出提高叠层电池效率的关键因素，介绍了叠层电池发展所需的关键材料，对比了钙钛矿与不同硅电池结合的难点问题与解决方案，分析了制约钙钛矿/晶硅叠层电池效率的因素及潜在的提升途径。最后对钙钛矿/晶硅叠层电池在学术端和产业端的未来发展方向进行了展望。

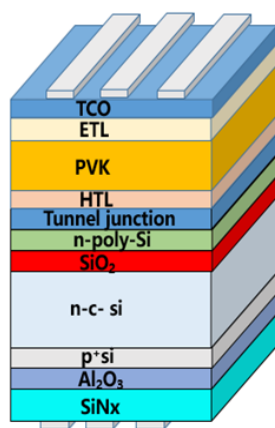


图 1. 钙钛矿/TopCon 叠层



图 2. 钙钛矿/HJT 叠层

关键词：钙钛矿/HJT 叠层、钙钛矿/TopCon 叠层、宽带隙钙钛矿电池、叠层产业化

33-26

钙钛矿薄膜太阳能电池核心 PVD 装备开发与产业化

陈旺寿

湘潭宏大真空技术股份有限公司

湘潭宏大真空技术股份有限公司专注于磁控溅射镀膜技术 20 年，拥有丰富的设计经验和工艺优化经验，可保证设备高的设备稼动率、产能输出、品质和良率；拥有真空腔体加工经验 20 年、具有完备的腔体及部件机械加工设备条件，拥有 PVD 行业内最大的万级装配车间，可保证产品品质和交期。开发的立式直线型连续磁控溅射镀膜线和单面/双面卧式连续磁控溅射镀膜线，主要用于 CIGS 薄膜电池背电极钼、顶电极氧化锌和 AZO 镀膜；钙钛矿薄膜电池电极 ITO、氧化镍层、ITO+CU+ITO 层镀膜。目前公司已为异质结太阳能电池、CIGS 薄膜太阳能电池、碲化镉薄膜太阳能电池和钙钛矿薄膜太阳能电池领域多家龙头企业提供 20 套以上 PVD 设备。

33-27

ALD 设备及工艺在钙钛矿电池技术中的应用与展望

王惟臻

深圳市原速科技有限公司

Email: weizhen.wang@superald.com

目前光伏的主力是硅太阳能电池，它们具有效率高、稳定性好、产业链完备、使用寿命长的优势。然而，晶硅电池的转换效率到达瓶颈，且从硅料到组件至少经过 4 道工序，单位制程需要 3 天以上，同时还需要大量人力、运输成本等。为了让太阳能的利用更加便捷、高效且廉价，科学界和工业界正在研制新型太阳能电池；钙钛矿太阳能电池就是备受关注的后起之秀，钙钛矿叠层效率极限可达 50%，而钙钛矿组件在单一工厂完成生产，原材料经过加工后直接成组件，没有传统的“电池片”工序，大大缩短制程耗时。但是，如何制备大面积且能保持较高效率的钙钛矿太阳能电池，依然是难题，也成了制约其产业化应用的瓶颈。

近年来原子层沉积镀膜，因其大面积均匀性、高良率、高致密性等性能，被广泛地应用于钙钛矿光伏电池的制样中。原速科技在钙钛矿 SnO_2 电子传输层域技术研发取得突破性进展，为钙钛矿电池研发、中试、100MW、GW 级量产的产线建立提供 ALD 技术解决方案。