中国科学报

CHINA SCIENCE DAILY

中国科学院主管　中国科学报社出版　国内统一连续出版物号 CN 11－0084　代号 1－82

扫二维码 看科学报　扫二维码 看科学网

主办：中国科学院　中国工程院　国家自然科学基金委员会　中国科学技术协会

总第 8388 期　2023 年 11 月 20 日　星期一　今日 4 版

新浪微博 http://weibo.com/kexuebao　科学网 www.sciencenet.cn

26.1%光电转换效率的钙钛矿电池诞生

■本报记者 王敏

近日，中国科学院合肥物质科学研究院固体物理研究所（以下简称固体所）、中国科学院光伏与节能材料重点实验室研究员潘旭、田兴友团队与韩国成均馆大学教授 Nam-Gyu Park、华北电力大学教授戴松元合作，首次发现阳离子分布不均匀是影响钙钛矿太阳能电池性能的主要原因，并成功制备出“均匀化”的钙钛矿太阳能电池，获得 26.1%的光电转换效率，认证效率为 25.8%。相关研究成果日前在线发表于《自然》。

值得一提的是，该论文成果从正式接收到见刊仅用了一周多时间。

“该研究为进一步提升高效、稳定的钙钛矿太阳能电池性能提供了明确的方向，对推动其走向商业化发展具有重要意义。”论文共同通讯作者潘旭告诉《中国科学报》。

《自然》的一位审稿专家评价该成果称，“这项工作为钙钛矿领域有效抑制离子相偏析提供了宝贵的见解，将有助于推动钙钛矿太阳能电池的商业化”。

太阳能电池领域“新秀”

太阳能是地球上生命最主要的能量来源。它取之不尽，与煤、石油这些传统能源相比，更加清洁环保。科研人员发明了太阳能发电技术，将光能转化为电能，用于生产生活需求。而钙钛矿太阳能电池正是太阳能电池领域里的一位“新秀”。

“这里要科普一个概念，钙钛矿不是一种矿物质，而是一种晶体结构。它对于可见光具备非常高的吸收和转化效率，天生具有能制备高效率太阳能电池的特性。”潘旭说。

“钙钛矿太阳能电池效率提升是前所未有的。”潘旭做了一个对比，晶硅太阳能电池效率由最初的 3%提升到目前的 26%，花了将近 80 年时间；而钙钛矿太阳能电池效率由 3.8%提升到目前的 26%，只用了 10 多年时间。

除了优异的效率，钙钛矿太阳能电池制作工艺简单、成本低。在常温下，将几种化学物质混合在溶液中，再像“刷墙”一样将溶液“刷”在衬底上，就可得到钙钛矿薄膜。最后加上电子传输层、金属电极等功能层，一块钙钛矿太阳能电池就制作完成。

“一块钙钛矿太阳能电池，厚度约为 1 微米，相当于一张 A4 纸厚度的百分之一。”潘旭解释说，薄，意味着电池本身整体重量很轻，可以叠加在现有的晶硅太阳能电池上；薄，意味着透光性好，可以获取更多光能；薄，但柔性强，未来有望应用在航天航空、可穿戴设备上。

然而，如此“完美”的钙钛矿太阳能电池仍然存在一些问题。比如，稳定性差、目前户外使用寿命仅有 2 年至 3 年、光电转换效率提升速度明显放缓，这些都是制约钙钛矿太阳能电池产业化发展的核心问题，也是科研人员攻坚的难点所在。

此次工作中，潘旭等人首次发现，钙钛矿薄膜内的阳离子在垂直方向上分布不均匀，于是提出“均匀化”阳离子相分布策略，并制备出高效钙钛矿太阳能电池，获得 26.1%的光电转换效率，连续光照稳定性测试达到 2500 个小时。

“很酷”的高分辨率

论文上线后，潘旭手机信息“爆了”，很多业界同行发来祝贺信息。其中有条信息是这样写的：“这个高分辨率很酷。”

一下子就被同行“点出”研究亮点，潘旭有一些小满足。

在过去 10 多年的发展中，大量研究工作集中在钙钛矿薄膜平面的性质及优化上，而钙钛矿薄膜内部就像一个“黑匣子”，人们对其晶体生长、成分分布情况缺乏深入的认识，基本靠推断。

“靠推断是不行的，科学研究需要讲证据。”潘旭直言。

基于多年来对高性能钙钛矿太阳能电池及钙钛矿薄膜性质的研究，潘旭等人对此展开攻关。

他们先深度剖析 X 射线光电子能谱，从微观角度清晰观察到钙钛矿薄膜内部元素分布情况，再通过高分辨率电镜，直接“看到”了晶体晶面间距的不同，这表明不同大小的阳离子存在于不同位置，即阳离子不均匀性。尺寸大的阳离子在薄膜上界面富集，尺寸小的阳离子在薄膜底部富集。

“钙钛矿薄膜内部的电子传输通道好比一条马路，这些大小不一的阳离子就是障碍物，使电子前进受到阻碍，电池效率自然无法提升。”论文共同通讯作者、固体所叶加久博士介绍。

那么，为何会发生这种现象？为回答这一问题，团队与上海同步辐射光源发展出一种新的测试方法，即原位掠入射广角 X 射线衍射，全过程监测钙钛矿薄膜内部晶体生长情况。

研究发现，不同大小的阳离子在形成晶体的过程中，结晶速率差异非常大，大尺寸阳离子结晶速度慢，小尺寸阳离子结晶速度快，致使钙钛矿薄膜分布不均匀。

最终，他们设计出一种添加剂，让不同阳离子在结晶速率上同步，并均匀排列，促进电荷的传输。

潘旭说：“这一结果表明，通过均匀化钙钛矿阳离子垂直方向的分布，可以获得优异的电池性能，开辟了提升电池器件稳定性的新途径，有望突破钙钛矿太阳能电池的效率瓶颈。”

“做实用型研究”

潘旭是国内较早从事钙钛矿研究的。“之所以选择这个方向，是因为钙钛矿材料本身优异的光电性能、初期开发的潜力及高达 33%的理论极限效率，对于光伏行业的研究人员来说，有一种无法抗拒的吸引力。”潘旭笑着说。

然而，最初他也没信心。“当时，我们制作完成的钙钛矿薄膜电池，拿在手里，肉眼可见它由黑慢慢变黄，吸光率变差了。”潘旭回忆起初期做钙钛矿研究的情形。

经过 10 多年的深耕，潘旭等人取得了重大突破。近日，这项研究成果发表于《自然》。他说，“持之以恒是做科研最重要的品质。”

论文在线发表当日凌晨 1 点，坐在办公室里的潘旭，发了这样一条朋友圈——“前面的路还很长，还有暴雨，还有坎坷，继续前进吧。欣赏沿途的风景就好了，即使看不到终点，也是一种享受”。

“我想告诉我的学生们，做科研不仅仅是为了发文章，更希望大家做实用型研究，做对国民经济、人民生活有影响的研究，哪怕只起到一点点作用。”潘旭说，这是他认为做科研最大的意义。

“这次工作只是一个开始，接下来我们会继续沿着这个方向进一步探索，希望开发出改进型的添加剂，提升钙钛矿太阳能电池的效率及稳定性。”谈及未来钙钛矿太阳能电池的发展，潘旭充满信心。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1038/s41586-023-06784-0

加拿大破纪录野火可造成严重全球环境问题

本报讯（记者甘晓）11 月 17 日，中国科学院大气物理研究所研究团队在《大气科学进展》在线发表新闻与观点文章，并被杂志编辑部选为 2024 年第四期封面文章。文章指出，2023 年加拿大破纪录野火可造成严重的全球环境问题。

2023 年 5 月以来，加拿大发生了持续性大范围森林野火，截至 8 月 31 日累计过火面积已达破纪录的 15.6 万平方千米，超过了 1983 年有数据以来次大值的 2 倍，也超过了世界半数以上国家的领陆面积。加拿大野火发生的同时，也释放了巨量的 CO_2 等温室气体和 PM2.5等空气污染物，不仅加剧了气候变化，还通过长距离传输造成了严重的跨境空气污染。

研究团队分析了 2023 年加拿大野火排放的时空分布特征，并利用中国科学院地球系统模式（CAS-ESM）的大气物理研究所气溶胶和大气化学模式（IAP-AACM），模拟了 PM2.5和 CO_2 的全球输送特征。

已有研究证明，加拿大野火造成了严重的跨境空气污染。野火相关的 PM2.5等可以显著增加全病因、心血管疾病和呼吸系统疾病的死亡风险，且其危害明显高于工业和机动车等人为活动产生的 PM2.5。

根据全球火灾同化系统（GFAS）野火排放数据，2023 年 5 月至 8 月这 4 个月中，加拿大野火累计 PM2.5排放量高达 1000 万吨，接近过去 20 年同期平均值的 7 倍。PM2.5日排放量存在较大波动，最大日排放量达 55 万吨。

模式结果则表明，加拿大野火排放的 PM2.5在大气环流的作用下，通过长距离跨境传输，可影响北半球广大地区。野火 PM2.5跨境影响最大的地区为美国东北部，浓度可达 100μg m^{-3}（微克／立方米）以上。监测数据也显示美国纽约市 PM2.5日均浓度达到 148μg m^{-3}，接近世界卫生组织 PM2.5日均浓度指导值 15μg m^{-3} 的 10 倍。野火导致我国西北部 PM2.5 增加可达 2μg m^{-3}。野火造成的 PM2.5污染日在加拿大源区附近可达 40 天、在美国东北部可达 10 天。

同时，研究显示，野火碳排放对缓解气候变暖构成挑战。2023 年 5 月至 8 月，加拿大野火排放了超过 13.0 亿吨 CO_2 以及 1.4 亿吨 CO_2 当量的 CH_4 和 N_2O 等其他温室气体。而根据《加拿大 2030 减排计划》，加拿大 2021 年至 2030 年人为温室气体排放量相对于 2020 年排放量的减排量之和为 7.2 亿吨 CO_2 当量。

2024 年第四期《大气科学进展》封面。

《大气科学进展》编辑部供图

因此，加拿大野火 4 个月的温室气体排放量相当于加拿大 10 年计划累计减排量的 2 倍，野火的频繁发生将给人们缓解气候变暖的努力带来严峻挑战。截至 2023 年 8 月，野火排放的 CO_2 传输到除东南亚以外的北半球大部分地区，近地面月均浓度 0.1ppm 以上，源区附近可达 30ppm。

另外，学者们指出，除了直接排放温室气体和空气污染物造成的环境问题外，与野火相关的泥炭土阴燃火及其温室气体排放、过火区生物物理气候效应、气溶胶气候效应、陆地植被碳汇影响、海洋施肥效应、气溶胶沉降对冰冻圈影响、臭氧层破坏、人体健康影响等地球不同圈层问题，还需要利用观测和模拟等多种方法进行深入研究，特别是亟须利用先进的地球系统模式，对野火与地球多圈层相互作用进行全面综合研究。

文章第一作者为中国科学院大气物理研究所副研究员王哲，通讯作者为中国科学院大气物理研究所研究员王自发。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1007/s00376-023-3241-0

科学家揭示胞外生长素新受体

本报讯（记者温才妃）福建农林大学海峡联合研究院合成生物学研究中心教授徐通达团队与教授杨贞标团队合作，报道了两个新的质外体定位的生长素结合蛋白——ABL1（ABP1-like protein 1）和 ABL2，发现它们与生长素结合蛋白 ABP1 具有相似结构，在细胞膜上形成 ABP1/ABLs-TMK 生长素共受体感受并传递细胞外生长素信号，调控植物生长和发育。11 月 17 日，相关成果发表于《细胞》。

生长素是植物中最早发现也是最核心的激素，因促进生长而得名。近百年的研究证实，生长素参与调控植物几乎所有的生长发育过程，如胚胎发育、组织分化、器官发生、向光性和向重力性生长等。

生长素作为一种天然的小分子化合物，其复杂多样的生物学功能是如何实现的？半个多世纪以来，生长素研究领域关注和争论的一大焦点是，在植物细胞表面是否存在一类蛋白可以直接识别结合生长素分子，从而启动生长素反应。

研究人员通过多种手段鉴定到两个新的生长素结合蛋白。这两个蛋白定位在细胞膜和细胞壁的间隙中，当生长素出现时，它们可以诱导生长素结合蛋白和细胞膜上一个叫作 TMK 的蛋白激酶形成蛋白复合体。这个共受体复合体可以激活一系列胞内相关蛋白，从而将胞外的生长素信号传递到细胞内部，最终调节植物细胞形态建成。

该研究揭示了植物细胞如何感受胞外生长素信号，阐释了细胞膜共受体复合体传递生长素信号调控植物生长发育的分子机制，是植物激素信号转导领域的重要发现。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.10.017

世界首例隔水幕墙治理水库低温水工程成效显著

本报讯（记者王昊昊　通讯员徐昌）11 月 17 日，记者从中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司（以下简称中南院）获悉，世界首例采用隔水幕墙治理低温水工程的首年水温监测结果显示，升温期出库水温较往年同期提升了 2.3 摄氏度至 4.5 摄氏度，治理已蓄水水库低温水成效显著。该工程由中南院设计并总承包完成。

水库下泄水温低于天然水温，可能对下游河流水质、生态平衡以及库区水的利用等方面产生影响。为解决这一问题，使鱼类在产卵期具备适宜的水温条件，2012 年，中南院和水利水电规划设计总院提出隔水幕墙治理已蓄水水库低温水理念。

历经 11 年的不断探索，中南院在位于沅水上游的三板溪水电站创新性地设计了柔性隔水幕墙方案。

相较于传统的低温水治理措施，隔水幕墙工程技术不仅填补了已蓄水水库低温水治理技术空白，还具有调度便捷、没有电量损失等优点，展现出显著的经济、社会、生态效益，具有广阔的应用前景。

隔水幕墙。　**中南院供图**

高能同步辐射光源增强器实现电子束升能加速

本报讯（记者倪思洁）11 月 17 日，国家重大科技基础设施高能同步辐射光源（HEPS）增强器成功实现电子束升能加速。现场测试专家认为，增强器各项关键指标全部优于设计要求，总体性能达到同类装置国际先进水平。增强器成功升能加速，表明增强器已为开展多模式运行和提供高质量电子束做好了准备。这是 HEPS 加速器建设的又一重要里程碑。

据介绍，HEPS 通过三级加速器（直线加速器、增强器和储存环）将电子加速至接近光速，同时产生同步辐射光，利用同步辐射光穿透性强、高亮度、高强度和宽能谱等特点，可以“看清”微观世界，揭示物质微观结构生成及演化机制。

作为 HEPS 的第二级加速器，增强器全环周长约为 454 米，由 4 个超周期对称结构组成。“HEPS 增强器是储存环的满能量注入器，有注入、升能、回注、累积和引出等工作阶段，主要负责将电子束流从 500 兆电子伏特加速到 6000 兆电子伏特，为储存环提供高品质的电子束。”HEPS 调束负责人焦毅说。

HEPS 工程总指挥潘卫民表示，增强器涉及磁铁、电源、真空、注入引出、高频、束测等多个系统。安装过程中，各系统密切配合，紧密衔接，为增强器系统联调、束流调试打下了良好基础。

据悉，去年 10 月 18 日，增强器的磁铁隧道安装完成。今年 1 月 13 日，增强器全线真空连接完成，实现全线贯通。7 月 25 日，增强器正式启动束流调试工作。经过多轮联合调试和无束流运行后，8 月 9 日，增强器束流能量达到 6000 兆电子伏特；11 月 17 日，增强器束流能量达到 6000 兆电子伏特，电荷量达到 5 纳库以上。

作为北京怀柔科学城重大科技基础设施集群的核心设施，HEPS 由国家发展改革委批复立项，中国科学院高能物理研究所承担建设。2025 年建成后，它将是世界上亮度最高的第四代同步辐射光源之一，也将是中国第一台高能量同步辐射光源，将和我国现有的光源形成能区互补，面向航空航天、能源环境、生命医药等领域用户开放。

美最大火箭“星舟”升空后再次爆炸

寰球眼

本报讯 美国中部时间 11 月 18 日 7 时许（北京时间 21 时许），美国太空探索技术公司（SpaceX）新一代重型运载火箭“星舟”以及飞船集成系统从位于美国得克萨斯州博卡奇卡的“星舟”基地升空，实施第二次试验发射。

该火箭是一个超过 120 米高的钢铁“巨人”，直径约 9 米，是有史以来最大的火箭。它由两部分组成，底部是高约 70 米的第一级“超级重型”助推器，顶部是高约 50 米的第二级飞船。火箭升空后一二级成功分离，但随后助推器和飞船先后在大约 148 公里的高空爆炸。

然而，该公司认为这次试验是成功的。今年 4 月 20 日，“星舟”以及飞船集成系统首次试验发射时，在火箭一二级分离前就发生了爆炸。这一次，“星舟”在发射后 3 分钟内就成功实现了一二级分离。分离后，助推器转向并爆炸，该公司称这是一次“快速的计划外拆卸”。几分钟后，就在飞船准备绕地球在太空中飞行时，一个自动安全系统在检测到某种问题后引爆了飞船。

如果未来试飞成功，“星舟”可能就会颠覆人类在太空探索及科学研究方面的标准方法。SpaceX 创始人兼首席执行官埃隆·马斯克长期以来一直支持可回收利用的火箭，“星舟”就属于可回收火箭，其设计目标是将人和货物送至地球轨道、月球和火星等。

马斯克表示，“星舟”能以每公斤 10 美元的低成本将有效载荷送入轨道。美国航天工业咨询公司 Astralytical 执行董事 Laura Forczyk 认为：“‘星舟’有可能以更低的价格发射更多的有效载荷和更多的机组人员，这是迄今为止任何运载火箭都无法比拟的。”

美国国家航空航天局希望这艘飞船成为其阿尔忒弥斯月球计划的核心，计划几年后在阿尔忒弥斯 III 号任务期间，用一艘改装的“星舟”将宇航员送上月球。“星舟”预计能够在一次飞行中携带超过 100 吨的有效载荷到月球表面。

如果关于“星舟”的全部设想变成现实，天文学和行星科学也将受益。例如，太空望远镜可以做得更大，或者用更重但更便宜的材料。另外，航天机构可以向遥远的目的地发射一组相同的航天器，并在设计上更加大胆创新。“如果有效载荷的质量和体积更大，那么我们就可以做我们从未做过的其他尝试。”美国中佛罗里达大学物理学家和空间技术专家 Philip Metzger 说。　（辛雨）

图片来源：JOE SKIPPER/REUTERS