

为光伏界面“铺平道路”——他们重构钙钛矿电池分子骨架

■本报记者 李媛

近年来,钙钛矿光伏凭借低成本、高效率的突出优势,成为新能源光伏领域替代传统晶硅技术的核心方向,也是全球科研团队角逐竞争的前沿赛道。在当前行业发展中,界面能量损耗大、器件稳定性不足等问题,始终是制约钙钛矿电池从实验室走向规模化、产业化的核心瓶颈。

日前,陕西师范大学材料科学与工程学院教授赵奎团队另辟蹊径,突破传统分子设计思路,提出全新的界面调控方案,实现了钙钛矿电池效率与稳定性的双重跃升,为行业发展提供了可复制的技术范式。相关研究成果刊发于《自然》。

重构分子设计逻辑

在光伏领域,钙钛矿电池的界面状态直接决定器件发电效率与使用寿命。赵奎表示,目前业内针对界面缺陷的改良优化,长期局限于固定研究思路。传统钝化技术大多仅对钝化分子的端基结构进行改性,只能简单填补界面缺陷,无法从根本上解决电荷传输受阻、界面能量损耗过高的核心问题,技术升级空间十分有限。

为此,团队摒弃传统端基改性的研究模式,创新性将研究重心聚焦于分子中间骨架结构,重构了钝化分子在电池界面的附着方式与作用机理。“传统钝化分子大多垂直附着在电池界面上,虽然能填补部分缺陷,但会形成微小结构凸起,拉长电荷传输路径,大幅降低传输效率,造成大量能量浪费。”论文第一作者、陕西师范大学博士生杨廷欢解释道。

团队通过重构分子骨架,引入氮杂原子,成功实现分子附着形态的革新,让分子从垂直站立转变为平行平铺排列。这种全新的界面结构,依托立体电子效应、铅氮配位与电子云共享的双重加持,一方面能够全方位修复钙钛矿电池界面缺陷,强化界面吸附稳定性;另一方面有效缩短电池层间传输距离,让电荷传输更加顺畅,最大限度降低界面能量损失。

相较于传统技术,该设计不需要依赖严苛



赵奎团队人员在实验室。

陕西师范大学供图

的尺寸匹配条件,可适配各类钙钛矿界面场景,普适性与可复制性增强,进一步突破了多年来行业界面优化的技术局限。

经实验测试,依托该技术制备的钙钛矿电池光电转换效率达27.41%,可稳定运行258天,综合性能达到国际领先水平。同时,器件顺利通过户外实战稳定性验证,是业内少见的兼顾超高发电效率与实际应用稳定性的技术方案。

为光伏界面“铺平道路”

针对专业的技术原理,杨廷欢给出通俗解释:如果将钙钛矿电池的界面比作一条供电荷传输的“公路”,电池发电的核心就是电荷在公路上快速顺畅通行。传统分子钝化技术,相当于填补了公路表面的坑洼,但填补后会形成多处“鼓包”,路面依旧不平整,电荷通行受阻、速度放缓,大量能量在传输中损耗浪费。

“我们的这项技术,不再是简单‘填补坑洼’,而是通过重构分子骨架,让改良分子平铺覆盖在整条‘公路’表面,把凹凸不平的路面彻底铺平、压实。平整的界面通路,既彻底修复原有缺陷、消除传输阻碍,又大幅提升电荷通行速度与效率,从根本上减少能量损耗。”杨廷欢说。漫长的攻坚过程中,团队曾多次面临实验

失败、数据不理想、长期无直观进展等困难。谈及科研过程的核心难点,杨廷欢坦言,最大的阻碍是无法通过现有精密仪器,直接观测分子平铺排列的微观形态。目前全球还没有相关表征设备与检测技术,能够直观捕捉钙钛矿界面分子的排列状态。这一技术空白让团队的创新理论难以通过直观画面验证,科研工作一度停滞数月。

团队转而探索间接验证路径,形成了“理论建模+多场景运算+多实验佐证”的完整验证体系。为避免实验偶然性、提升成果通用性,团队打破初始小模型的局限,搭建多套模拟模型,分别针对钙钛矿铅点暴露端、有机组暴露端、缺陷界面等多种实际工况开展模拟运算。多轮运算结果均一致证实,改良后的分子可稳定实现平行平铺排列,理论设计逻辑成立。

在此基础上,团队补充大量核磁、红外、光电子能谱等光谱学实验,通过界面作用力、分子结构、缺陷状态等多项数据的规律性变化,间接验证分子平铺优化、界面损耗降低的实际效果,层层递进完成技术逻辑闭环。

具备产业落地潜力

“这项研究让我积累了系统的科研思维,学会围绕核心科学问题梳理逻辑、推进课题。更重要的是,在漫长且充满未知的科研攻关中,我真正懂得了坚持与深耕的意义。”杨廷欢告诉《中国科学报》。

去年7月,团队将研究论文正式投稿。历经多轮严谨审稿打磨,论文直到今年5月才成功发表。投稿初期,审稿人提出,初始理论计算模型尺寸偏小、场景单一,无法充分验证技术的普适性。针对专业意见,团队耗时近两个月,重新

搭建模型、开展多场景运算、补充多维度实验数据,极大提升了成果的科学性与通用性。

赵奎坦言,高水平期刊的审稿过程,对团队而言,既是打磨成果的过程,也是学习提升的过程。审稿人的专业建议,有效弥补了研究细节的不足,让整套技术方案更加完善、严谨,最终呈现出高质量的科研成果。

最终,三位审稿人对研究的原创性与创新性表示认可,评价其突破了传统科研范式,对推动钙钛矿光伏领域技术进步具有重要价值。

赵奎指出,该研究的核心价值不在于单纯刷新发电效率数值,而是跳出了单一器件优化的局限,为全球钙钛矿光伏界面改良、降本增效、稳定性升级提供了一套通用、可行的分子设计新理念,具有极高的科研推广价值与产业落地潜力。

目前,团队已具备完整的核心材料自主合成、生长技术,能够有效压缩钙钛矿光伏产业链生产成本,拥有全链条技术优势。针对当前实验室技术与规模化产业生产的衔接痛点,团队正重点攻坚大面积、低成本制备工艺,着力突破小面积器件制备局限,研发空气环境下可量产的印刷制备技术,攻克水汽干扰、工艺适配、良率偏低等产业化难题,目前相关工艺研究已取得阶段性进展。

在未来布局上,团队将跳出传统地面光伏应用局限,瞄准两大特色前沿赛道发力。一是聚焦太空光伏,研发超轻、大面积柔性钙钛矿电池,适配航空航天特殊应用场景;二是深耕海上光伏,依托柔性轻便、无需重型钢架支撑的器件优势,解决传统晶硅光伏易被风浪损毁、难以规模化布设的行业痛点,填补特殊场景光伏应用空白。

赵奎表示,未来团队将持续聚焦钙钛矿光伏领域的核心科学与产业化问题,优化器件效率与稳定性,推动更多前沿科研成果走出实验室。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10626-0>

按图索技

滚动优化专用计算芯片问世

本报讯(见习记者江庆龄)5月29日,同济大学电子与信息工程学院、汽车与能源学院智能汽车研究所教授陈虹团队发布了自主研发的第一代滚动优化专用计算芯片(MHU)。

“滚动优化是人类与生俱来的一种能力。人并不是一次性把所有路径规划到底,而是根据当前状态和外部反馈,不断调整自身行为,逐步逼近目标。”陈虹介绍,自动驾驶车辆、智能机器人、无人机等自主装备,往往处于复杂多变的环境中,必须持续感知外部变化,动态规划行动路径,并实时完成决策控制。这类连续动态、强实时的计算任务,正是通用芯片面临的重要挑战。

陈虹团队的工作就是将这种应对环境变化和不确定性的“看一步、想几步、走一步、再调整”的滚动优化机制,转化为机器可执行、芯片可承载的专用计算能力。通过把预测、优化和控制等关键环节前移至硬件底层,相关装备能够在不完全依赖预设固定程序的情况下,根据环境变化自主完成规划和决策。

据了解,该架构在底层实现了三方面创新。首先是“算得准”,即将对物理世界的预判与优化能力植入硬件底层,使装备能够面向未来状态进行动态规划。其次是“学得快”,通过融合人工智能算法与现实物理规律,降低机器对海量数据的依赖性。最后是“守底线”,在计算底层直接嵌入硬性约束条件,为自主无人系统构建起一道可靠的“安全防护围栏”。

在芯片研发过程中,团队还探索了“专用化定制”与“通用化嵌入”相结合的技术路径。其滚动优化计算核心模块既可根据不同应用场景进行算法适配,也能以通用模块的形态,跨平台嵌入多类芯片系统中,实现从专用计算到通用集成的底层赋能。

陈虹介绍,MHU已在智能车辆控制场景中完成实车验证,初步证明了其技术可行性。后续,团队将持续推进芯片迭代升级,深化与产业界的联合研发,加速推进芯片在智能制造、工业控制、新能源、机器人等领域落地应用。



应用场景演示。

同济大学供图

专家讲坛

青少年正面临一场睡眠危机

■李晓娟 田乐怡

然而,多项调查结果表明,我国青少年的实际睡眠状况不容乐观。

根据中国睡眠研究会发布的《2022中国国民健康睡眠白皮书》,我国小学、初中、高中学生的平均睡眠时长分别为7.65小时、7.48小时和6.5小时,与权威机构推荐的青少年睡眠标准之间存在明显差距。

此外,《2023中国健康睡眠白皮书》统计了不同年龄段群体的失眠情况,发现18岁以下的儿童青少年中有43.2%的群体失眠,且女性比例略高于男性。以上数据揭示了我国青少年在睡眠时长和质量上面临的健康危机,青少年睡眠问题已经成为一项重大的公共卫生挑战。

影响青少年睡眠的社会性因素

面对普遍化的青少年睡眠时长不足、睡眠质量不佳的现状,我们课题组长期关注青少年睡眠的社会性影响因素,开展了多项社会学和健康医学的交叉学科研究,力图揭示睡眠问题背后的社会成因,为系统性干预提供了一些实证依据。

一是生物-社会时差。不同年龄段群体的昼夜节律和睡眠时型具有明显差异。就青少年而言,他们的昼夜节律向夜推移,睡眠时型偏向夜型,即呈现出“晚睡晚起”的生理特征。然而,他们内在的生物钟和学校较早的课程开始时间错位,存在着社会性时差。国际学者对部分学校的课程时间调整进行了研究,发现延后的上学时间给予了学生获取更长

睡眠时间的机会。

例如,《科学进展》上的一项研究指出,美国西雅图学区的高中在2016至2017年学年将上学时间延后了55分钟。该调整使得学生在每个上学日的睡眠中位时长增加了34分钟。

二是教育竞争压力。当前,中小学生在学业压力较大,除了需要完成校内课程和作业任务外,往往要参加校外补习班,以期在教育竞争中赢得优势。在教育竞争日趋激烈的背景下,我们课题组的研究发现,参加课外补习是影响中小学生在睡眠时长的重要因素。

具体而言,家庭经济地位会通过课外补习而负面地作用于青少年睡眠时长,参加补习班的中介效应约占15.52%。虽然校外补习是当前教育竞争中争夺资源的热门途径,但较重的补习任务会挤占学生休息时间、增加心理负担,进而对青少年的睡眠健康产生消极影响。

三是家庭教养生态。青少年成长过程中离不开家庭成员的互动,父母对孩子的学业期待、父母的作息习惯都可能影响青少年的睡眠健康。中国家长常持有“望子成龙”的文化观念,社会经济地位较高的家庭往往赋予子代更高的学业期待,但可能以孩子的睡眠健康为代价。

我们课题组研究证实,优势经济地位家庭的中小学生在显著睡眠不足。此外,课题组的多项研究发现,家庭成员的睡眠行为会互相影响,如果父母上床时间较晚,则会增加子女睡眠不足的风险。其部分原因在于,较高强度的室内夜间光干扰了青少年的睡眠。北京大学研究员宋逸团队针对6至14岁学生开展的一项研究显示,

31.8%的学生在推荐睡眠时间段内的平均夜间暴露水平超过10勒克斯。

四是同伴人际关系。学校同学是青少年接触的核心交友圈,学生个体的社交情况会影响其睡眠行为。在一项针对2550位初中高中生的研究中,我们课题组发现,青少年在社会网络中的位置和受欢迎程度与他们的睡眠状况显著相关。与社会网络中的普通群体成员相比,群体间的联络者睡眠不足的风险更高。

此外,受欢迎程度越高的学生越可能拥有更短的睡眠时长。这一关联在不同性别学生中存在差异。女生可能因受欢迎而承受睡眠压力,最受欢迎的女生比最不受欢迎的女生每天少睡约40分钟。而在男生中,被孤立者比普通群体成员更容易遭遇失眠问题。

构建青少年睡眠友好型社会

构建青少年睡眠友好型社会,需超越对个体行为的孤立干预,转向宏观制度设计与微观社会环境的整体性优化。

在宏观制度层面,推动设置科学合理的青少年课程时间安排,适当推迟早晨上学开课时间,保证充分的中午休息时间,实现学业效率与生理节律的优化匹配。同时,持续推进容纳健康标准的综合性教育评价体系设计,将学生的睡眠时长和质量、日间精神和情绪状态纳入评估指标,从制度上消除“以睡眠换分数”的激励扭曲现象。

在微观环境层面,引导家庭构建重视睡眠的教养环境,协商设定适度理性的学习任务 and 学业期待,合理规划家庭成员的作息安排,控制睡前电子屏幕使用时长,共同营造良好的睡眠环境。此外,营造摒弃熬夜文化、推崇良性竞争的校园同伴交往氛围,促进学生的集体融入,引导社交边界管理,树立规律作息、高效学习的同伴榜样。

(作者单位:清华大学社会科学学院社会学系)

集装箱

国内首个安全农业大模型“稷安智算”发布

本报讯(记者李媛 通讯员付文婷)5月29日,国内首个安全可信农业大模型“稷安智算”在陕西杨凌正式发布。该模型由西北农林科技大学理学院副教授党乾龙团队自主研发,首创“智能服务+安全支撑”双层架构,聚焦农业大模型底层安全与可信应用,旨在推动农业大模型从“能用”向“敢用、放心用、规模化用”跨越。

针对大模型普遍面临的数据隐私泄露和应用安全风险问题,党乾龙团队历时近两年,面向科研、生产、监管及产业服务场景,构建了覆盖数据隐私、模型资产、系统接口、输出可信与持续运营的全链路安全体系,重点解决农业大模型在真实世界中的“不安全、不敢用、难监管”问题,最终形成“可控、可信、可审计、可追溯”的农业大模型系统。

该模型涵盖农林牧渔全产业链的高质量多模态数据集,深度整合了逾110万篇农业专业知识文档、13万份行业标准规范文件,同步集成了规模超90万条全产业链中文问答数据集,奠定了坚实的底层数据支撑。同步发布的农业智能体平台构建了8个专属智能体,覆盖知识服务、图文诊断、安全防护和审计溯源等需求。配套的安全监控后台可实时监测流量,并追踪拦截与策略命中等风险态势,实现全流程的可视化安全管控。

依托“稷安智算”,羊肚菌成熟度识别准确率达93%,品种识别准确率达99.74%。通过A-griEval(农业基准测试)、S-Eval(安全测试)等第三方测评,该模型在六大农业领域性能均实现显著提升,其中水产和林学领域准确率分别提升41.57%和36.62%,在植物保护、中药、动物科学等复杂场景中同样表现优异。

小麦病虫害绿色防控技术推广让“农民用得上”

本报讯(记者李晨)近日,国家重点研发计划“小麦病虫害演替规律与全程绿色防控技术体系集成示范”项目现场观摩会在山东省济南市商河县召开。观摩会聚焦“技术能落地、模式可复制、农民用得上”,在商河县核心示范区集中展示了项目研发的突破性成果。

该项目首次明确假禾镰孢菌为我国小麦茎基腐病优势致病菌,完成全国风险区划;全面绘制叶锈菌生理小种分布图谱;构建国内首个小麦白粉菌染色体级别基因组;阐明黄淮海及长江流域优势蚜虫种群结构、抗药性水平及协同传毒机制,为精准防控奠定理论基石。

此外,项目制定抗病虫鉴定评价标准化技术规程,累计精准鉴定3339份小麦材料,筛选高/中抗优异种质482份;选育并通过国家及省级审定抗病新品种6个,其中4个已实现成果转化,良种对绿色防控的支撑作用在示范区田间表现突出。

该项目还制定了杀菌剂防治茎基腐病药效评价行业标准;创制高活性新型杀菌化合物及两款登记药剂;挖掘广谱生防菌株并研制生抗逆生物种衣剂,现场展示的绿色防控核心产品库为减少化学农药依赖提供多元选择。

目前,黄淮南片、黄淮北片、长江中下游、西北冬麦区等6套区域化全程绿色防控技术体系已在9个千亩级核心示范区落地应用,示范与辐射面积2007.8万亩;5项技术入选农业农村部及豫鲁皖等省主推技术,降本增效与生态安全效益获得基层农技人员与种植大户认可。

两款特种人形机器人面世

本报讯(见习记者江庆龄)近日,上海大学特种人形机器人研究院面向不同应用需求,先后推出新一代站岗巡逻特种人形机器人和新一代侦察突破特种人形机器人。前者聚焦校园门岗等日常管理场景,后者面向侦察、搜索与复杂环境下作业,体现出人形机器人从单项能力展示向真实场景应用拓展的趋势。

其中,新一代站岗巡逻特种人形机器人基于宇树科技H1机器人原型机,配备团队自研的头部感知系统和“门岗大脑”。这款机器人主要负责高频识别、实时监测和通行引导,安保人员则更多精力投入异常处置和现场决策。通过人机协同,门岗系统有望在提升通行效率的同时,进一步增强校园安全管理能力。

新一代侦察突破特种人形机器人则面向更真实、复杂的作业环境,融合具身智能技术体系,能够执行自主长序作业,服务于高危环境下的侦察、摸排与应急处置任务,推动特种作业由“人工介入”向“机器人先行”转变。

据介绍,新一代侦察突破特种人形机器人具备移动、感知、决策与操作一体化集成功能。在现场演示中,机器人实现了全流程无人干预作业。依托激光雷达完成精准定位,机器人的定位误差在6厘米以内;依托视觉感知完成目标识别与操作,误差控制在0.5厘米以内。此外,机器人可以连续完成跨楼层侦察、电梯交互、开门处置等任务,展现出在楼宇、房间等复杂室内环境中的自主适应能力。



新一代侦察突破特种人形机器人正在进行开门处置任务。 上海大学供图