

从“0”到“世界第一” 解读特等奖背后的砺剑故事

这层“薄膜”让中国科研问鼎世界之巅

从实验室到生产线
天津科创一线故事 科技奖背后的解题人



成果:低维杂化半导体材料的结构与性能调控

奖项:2025年度天津市自然科学奖特等奖

主要完成人:袁明鉴、姜源植、陈军、李赛赛、韦科好、王梅、杨迎国

科研金句:把基础研究做深做透,把成果转化做实做细,以十年磨一剑的定力勇闯“无人区”。



扫码观看
硬核科创“厚度”

看似薄片 却是层层“叠加”

“传统无机半导体材料普遍存在表面缺陷多、能带匹配度差的问题。针对这个痛点,我们在基底引入了极薄的一层分子做界面修饰;在这层分子层上方,再叠加有机-无机杂化半导体材料,作为功能活性层。”在南开大学袁明鉴教授团队实验室,姜源植研究员手持马克笔,在手套箱玻璃上直接勾勒出光电器件结构示意图。

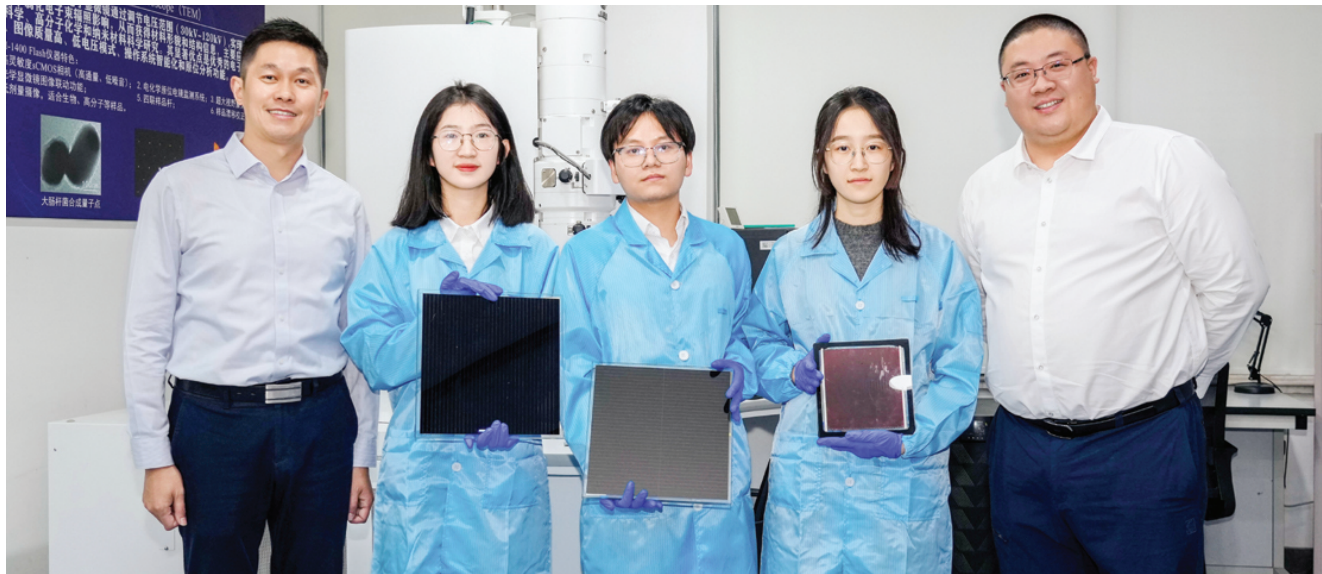
他继续画上一个箭头,边画边对学生说:“你看,太阳光是从器件底部的这个位置入射,在有机-无机杂化半导体活性层完成光的收集。”

就在半个多月前,研究团队关于正式结构钙钛矿太阳能电池研究的最新成果以27.17%的稳态光电转换效率刷新了全球纪录,于国际顶尖学术期刊《自然》发表。同时,团队的《低维杂化半导体材料的结构与性能调控》项目也摘得2025年度天津市自然科学奖特等奖。

从“0”到“1”重大突破、攻克“卡脖子”关键技术、培育原创性颠覆性创新成果……科创背后的故事,是“以十年磨一剑的定力勇闯‘无人区’”的执着。

打破传统 从“铁块”到“面包”

在半导体的世界里,有时“很极致”。团队核心成员、南开大学化学学



左起为袁明鉴教授、王迪博士、李赛赛博士、丁紫津博士、姜源植研究员

院特聘研究员、博士生导师姜源植介绍,传统半导体材料如同坚硬的铁块,如硅、氮化镓等主流材料,它们结构稳固却难以塑形,“硅材料要做成薄片,得靠物理切割,厚度动辄几百微米,成本高且精度难控;氮化镓则需层层沉积,过程像浇灌水泥一样缓慢。”

这种“刚性”限制了材料性能突破,也成为制约半导体技术向更小尺寸、更高性能器件发展的瓶颈。而袁明鉴教授团队研发的有机-无机杂化半导体材料,彻底颠覆了这一特性,它更像一块柔软的面包。

姜源植说:“如果把传统材料比作铁块,我们的材料就是面包,有机小分子就是一把刀,能轻松把大块面包切成薄片,甚至切成单层、零维的小方块。”

其实,这类杂化半导体材料(如钙钛矿)早已被发现,但在2014年前,其半导体性质一直被忽视。袁明鉴在国外做博士后期间,偶然发现这类材料具有优异的发光特性。2016年,袁明鉴入职南开大学并组建团队,发表了领域内首篇低维杂化半导体发光器件论文,正式开启这一领域的系统研究。彼时,没人能预料到,这场从“铁块”到“面包”的材料变革,会为半导体领域带来全新可能。

从“铁块”到“面包”的构想很美好,但落地过程中满是荆棘。

姜源植以材料结晶的均匀性问题为例:“就像撒在地上的沙子,大小不一会影响整体性能,低维薄膜中,晶体尺寸不均会直接导致光电效率暴跌。”当时,作为袁明鉴教授的博士生,姜源植跟着导师频繁往返上海,与复旦大学杨迎国研究员团队合作,对接同步辐射光源这一国家大型科学装置。

一次次跨越沟通、一遍遍优化方案,团队最终搭建起国内首套杂化半导体结晶过程原位表征平台,实时观测晶体生长的每一步,彻底厘清结晶不均的机理。“否则,我们永远只能‘盲人摸象’,搞不清微观世界的变化规律。”姜源植说,这一突破,为后续精准调控奠定了核心基础。

把冷板凳坐“热” 大胆想攻坚干

基础研究的道路,从来都是寂寞

的。团队经历了无数次实验失败、瓶颈停滞,但始终没人放弃。

如今,已经是博士后的李赛赛,自2015年本科二年级时便开始接触太阳能器件,2018年以专业第一保研至南开大学,加入了袁教授的课题组。“他直到博士临近毕业,才发表首篇学术论文,从入行研究到发文历时整整9年。”姜源植说。

这是李赛赛的时间安排:一般早上八点半至晚上十一点,一周六天,白天依据前一天的实验结果做出相应计划,晚上一般是文献阅读,总结实验结果,设计新的实验方案;暑假期间一般在整理文章,周末会正常休息,不休假;春节一般腊月二十七回家,初六返校。

2022年元旦,李赛赛已是电池小组“大师兄”——年级最高,年纪也最大。当时,实验器件性能还是不如人意,他压力很大。“师弟师妹出于好心,劝我元旦应该放松一下。”李赛赛还是拒绝了,他认为,虽然此前实验历经无数次失败,多做一次少做一次似乎不能改变什么,“但是心态上是一次次放松,还是一次次坚持,本质上是不一样的。”就是那一天的实验,小组器件性能发生巨大突破的一次,大家找到了影响器件性能的关键,后续实现了当时世界纪录效率认证。“多坚持一下,得到了收获。”李赛赛说。

姜源植说,李赛赛的第一篇论文登载在《自然》期刊上,“一鸣惊人的背后,正是团队‘坐冷板凳精神’的缩影。”

科研创新,同样还需要思维的“天马行空”。

当时,领域内普遍认为有机分子只能将体相材料剪裁为二维片层,而团队在实验中,敏锐地发现某类有机配体可打破这一认知,形成零维量子点——如同把面包切成细小的“肉丁”。

“为何能‘切’?如何去‘切’?”姜源植作为当时实验的第一亲历者,记忆犹新。团队耗时半年,动用所有表征手段,反复验证、排除干扰,最终确认这一全新现象:通过调控有机分子,可实现从零维到二维不同维度材料的精准构筑。这一成果,被《自然》杂志评价为“全新概念性的策略创新”,为光电器件制备开辟了全新路径。

保持好奇“微世界”走向广阔天地

姜源植介绍,作为团队带头人的袁明鉴教授,即便身兼多项职务,仍坚持每天进实验室,与学生讨论实验进展。袁明鉴教授格外重视学生身心健康,反复叮嘱团队成员,不要只聊科研,要关注学生成长中的困惑,让科研之路既有温度,也有力量。

袁明鉴教授鼓励团队成员“把科研融入生活,保持对未知的好奇”,团队也形成了纯粹、专注、协作的科研氛围,大家心往一处想、劲往一处使,跨学科、跨单位协同攻关,联合多个团队,攻克一个又一个难关。

十年间,团队从最初的几人,发展为一支兼具化学、物理、光学等多学科背景的科研队伍,成果斐然。如今团队的研究成果已获国际高度认可,《自然》期刊专题评述其为“重大突破”,相关论文发表于《自然》《自然·通讯》等顶级期刊,累计发表论文133篇,总被引超2000次。但团队深知,基础研究的终极价值,是服务国家需求、赋能产业发展,从实验室走向应用,还有很长的路要走。

“我们现在最想做的,是把‘小面包’做成‘大蛋糕’,解决从实验室小面积原型到大面积模组的工程化问题。”姜源植说。从3厘米×3厘米的实验室小面积原型器件,到1.2米×0.6米的商用模组器件,中间涉及封装、稳定性、规模化制备等诸多工程难题。同时,面对AI技术快速发展,团队正打破学科壁垒,主动学习新知识,推动化学、物理、光学、集成电路等多学科交叉,攻克跨领域难题。

小小薄膜,藏着实打实的科研厚度,这段从“0”到“1”——世界第一的突破之路,走得格外扎实。袁明鉴教授曾说:“把基础研究做深做透,把成果转化做实做细,以十年磨一剑的定力勇闯‘无人区’!”也为团队定下了清晰笃定的目标:“紧密围绕未来能源国家重大战略需求,努力把我国在该领域的技术做到世界最前沿,为实现高水平科技自立自强、建设科技强国贡献全部智慧和力量。”

记者 单炜炜 摄影 单炜炜 宗琪琪