

让钙钛矿“碎钻”快速长成“完美钻石”

■本报见习记者 江庆龄

近日，华东理工大学清洁能源材料与器件团队自主研发了一种钙钛矿单晶薄膜通用生长技术，将晶体生长周期由7天缩短至1.5天，实现了30余种金属卤化物钙钛矿半导体的低温、快速、可控制备，为新一代的高性能光电子器件提供了丰富的材料库。相关研究成果发表于《自然-通讯》。

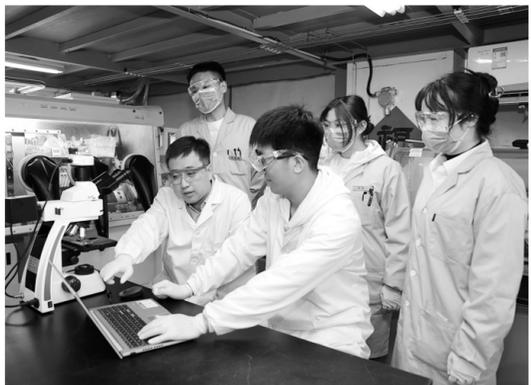
生长方法限制晶体应用

金属卤化物钙钛矿是一类光电性质优异、可溶液制备的新型半导体材料，其结合了无机半导体的高性能和有机半导体的柔性特征，在太阳能电池、发光二极管、辐射探测领域显示出广阔的应用前景，是新能源、环境等领域的新宠。

按照物质形态，材料结构可以分为单晶、多晶和非晶3种类型。传统的半导体材料主要是单晶结构，而钙钛矿以多晶为主。

“我们希望把钙钛矿做成单晶结构，进而作为半导体器件应用。”该成果主要完成人、华东理工大学教授侯宇介绍。相对于碎钻般的多晶薄膜，钙钛矿单晶晶片如同完美的“非洲之星”钻石，具有极低的缺陷密度，同时兼具优异的光吸收、输运能力以及稳定性，是高性能光电子器件的理想候选材料。

然而，国际上尚无钙钛矿单晶晶片的通用制备方法。钙钛矿单晶薄膜材料生长涉及成核、溶解、传质、反应等多个过程，其生长过程的控制步骤仍不明



研究团队在探讨工作。
华东理工大学供图

确。传统的空间限制方法需要较高温度的生长条件，且生长速率慢，只能制备毫米级单晶，难以满足单晶晶片的实际应用需求。

长成厘米级“完美钻石”

如何通过科技“魔法”，让毫米级“碎钻”长成厘米级“完美钻石”？

研究团队结合多重实验论证和理论模拟，揭示了传质过程是决定晶体生长速率的关键因素。在此基础上，该团队经过大量摸索和尝试，自主研发了以二甲氧基乙醇为代表的生长体系，通过多配位基团精细调控约束的动力学过程，使

得溶质的扩散系数提高了3倍。在高溶质通量系统中，研究人员将原有的晶体生长温度降低了60摄氏度，晶体的生长速率提高了4倍，生长周期由7天缩短至1.5天。

“除了能耗降低，在低温条件下，晶体生长受到的环境扰动更小，同时可以抑制副反应，减少晶体中的杂质。”侯宇进一步指出，研究团队提供了一条普适、低温、快速的单晶薄膜生长路线，构建了拥有30余种高质量厘米级单晶薄膜的材料库。

侯宇举例说，利用此方法，甲胺铅碘单晶薄膜在70摄氏度条件下，生长速度可达到8微米/分钟，在一个结晶周期

内单晶薄膜尺寸可达2厘米。

同时，钙钛矿结构中常用的铅元素可以轻易被替换成低毒性的锡、锑、铋、铜等元素。此外，一些难以合成的具有双金属结构、多元素合金的单晶，也首次实现了可控制备。

辐射探测新范式

为探索钙钛矿单晶薄膜的应用潜能，研究团队组装了单晶薄膜辐射探测器件，可实现大面积复杂物体的自供电成像、拓展辐射探测的应用场景。

研究团队介绍，得益于高效的载流子收集性能，该器件的扩散长度远超晶体厚度，有望实现探测器的自供电模式工作。

他们组装的辐射探测器件，在零偏压和低压模式下的灵敏度均达到国际领先水平，是商业化非晶硒探测器的5万倍。该器件在像素阵列化器件中还展示出优异的空间尺度一致性，实现了大面积复杂物体的X射线成像。以陶透成像为例，基于此晶片的器件产生的辐射强度为常规医疗诊断的百分之一。

“预计在一年内，在一个结晶周期内单晶薄膜尺寸可达3~4厘米，可以进一步推向产业化。”侯宇表示。未来，他们将主要攻关10英寸级晶圆可控制备、薄膜晶体管耦合技术和动态高分辨成像技术这3个方向。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-46712-y>

上千项科技成果亮相首届晋江科洽会

低温超临界流体共氧化技术、智能触感手套、隔热保温材料、超临界无水染色技术、防爆轨道式智能巡检机器人、肿瘤先进粒子治疗设备……4月9日，第一届晋江科技成果转化对接洽会（以下简称科洽会）在福建晋江开幕，200多家国内高校、科研平台、行业龙头企业携上千项科技成果集中亮相。

科洽会展示总面积约3万平方米，除综合展区外，还按照产业划区，设有鞋服、纺织、建材、食品、现代信息技术、大健康、智能装备等七大专业展

区，并采用“大展团”形式组织展览，即同一个产业展区内涵盖高校、院所、企业及投资机构。

晋江市人民政府有关负责人介绍，本届科洽会坚持面向产业、面向企业，倡导参展单位将科技成果具象化，展现具体应用场景，让科技创新“看得见、摸得着”，全力推动科技创新成果从“实验室”走向“生产线”。

图为科洽会上展示的石墨烯压力传感智能跑鞋。

中新社记者张斌/摄
图片来源：视觉中国



“泡泡数学家”加入中国高校

■本报记者 温才妃 通讯员 冯怡

“啪”的一声，肥皂泡瞬间化成无数水滴。阳光下，七彩的泡沫飞溅开来。

这几不可闻的一声，曾多次被Thierry De Pauw抓住。

生于比利时、曾任法国巴黎西岱大学教授的De Pauw，长期从事数学分析研究，在几何测度论领域作出过重要贡献。他的主要研究课题之一是探究肥皂膜和肥皂泡的几何复杂性，尤其是在无限维空间中的几何复杂性。

今年2月，De Pauw全职加入西湖大学理学院、理论科学研究院，任数学讲席教授，并组建几何测度论课题组。

实际上，不仅仅是他，普通通通的肥皂泡早已引得好几代数学家竞相研究。

两本“泡泡”书

De Pauw成为研究泡泡的数学家，似乎是随机事件的叠加。

在一位数学老师的影响下，他开始对“如何证明一件显然是对的事是对的”感兴趣，尤其是涉及几何图形的证明。

1988年，还是中学生的De Pauw参加了一场数学竞赛，并以“最优美的证明”获奖。主办方准备了各种奖品供获奖者依次挑选，但当轮到De Pauw挑选时，只剩下两本书躺在那里。那是一本关于肥皂泡和肥皂膜的数学书，这是De Pauw与这个古老的数学命题初次见面。“在此之前，我根本没想过，可以用数学语言去讨论吹泡泡这件事。”

中学毕业后，De Pauw考上比利时天主教鲁汶大学。大三那年，班上上来了一位“怪”老师。

那是一堂选修课，老师虽然迟到了，但他并不着急讲课，而是抛出一个定理，让学生动手证明。课后，这位“怪”老师让学生们去图书馆找一本关于肥皂泡的



Thierry De Pauw
西湖大学供图

“天书”

肥皂泡这个古老的数学命题，又一次出现了。“这是第二个巧合。”De Pauw去图书馆借了这本600多页的“天书”，对于本科生来说，书中的内容非常难。

“天书”即便很难读懂，他也坚持看完，竟然还喜欢上了研究“泡泡”。

到了要写毕业论文的大四，De Pauw不知道哪儿来的勇气，选了这本可怕的“天书”去找导师。碰壁了几次他才知道，原来导师也对此敬而远之，甚至那位“怪”老师也并不是这个领域的专家。“很美妙的数学，但我没办法指导你”是De Pauw得到的最常见回答。

但其中一位导师答应了他，但有言在先：“我不研究这个，你既然喜欢，就尽管去试试。”

De Pauw高兴极了。时至今日，他

仍然对这位导师抱以深深的感激。

可想而知，这篇论文写得无比艰难。后来，导师四处筹钱资助他游学，去见那些研究肥皂泡问题、能为他答疑解惑的科学家。

再后来，De Pauw前往英国伦敦大学学院、美国莱斯大学和法国巴黎第十一大学（现巴黎萨克雷大学）从事博士后研究工作。2002年，他回到母校天主教鲁汶大学，担任比利时法语区基础研究基金会研究员；2008年，他被比利时皇家科学院授予2004至2008年Jacques Denuyts数学分析奖，并在同年接受了巴黎西岱大学的教授职位。

对待过程要“卷”，对待结果要“佛”。De Pauw的学生时代是这么过来的。“做任何事都是这样，你要写诗，就得把语言学学好，否则只能写出陈词滥调。”换成中国话就是，工欲善其事，必先利其器。

接下来，他又说了句更残酷的话：“准备失败。”

“对失败极其包容，应该是数学家和其他人最大的区别。”De Pauw提供了一个解法，“如果一个问题搞不定，就先去搞定下一个，总比坐在角落里哭强一些。”

选择杭州

今年2月初，De Pauw全职加入西湖大学。

杭州曾是他认识中国的第一站。2008年，他受邀来中国参加学术会议，地点就是杭州。16年后，他选择杭州，继续研究“泡泡”。

西湖大学为教授们提供了充分的学术保障，其中最重要的就是时间——那些费时且烦琐的行政工作、文书工作，都

有专业的行政团队提供支持。“听上去似乎没什么大不了的，但确实很不一样。”

De Pauw总是在和时间较劲。14岁那年，中学要求文理分科，他却有自己的想法：“我喜欢数学，也喜欢文学，我两样都要学。”学校从未碰到过这种情况，文理两科需要投入大量时间，不少课程安排还有冲突，一个孩子要怎么分身呢？

可他偏要学，就像他非要写那篇“泡泡”论文，又像他大学前两年偏要在数学之外兼修哲学。至于时间，他总想办法挤出来。

“幸运的是，中学老师答应了，我不知道他是怎么办到的。”De Pauw说，世界正在飞速发展，每个学生的个性、特长、需求也早已不尽相同。

而在西湖大学，没有陈规、没有标签，你可以成为你想成为的人，这正是吸引他的地方。

“成为新事物的一部分令人非常激动，但也必然有一点点害怕和犹豫，但这不就是创新吗？我更好奇接下来会发生什么。”De Pauw说。

他将寻找更多对“泡泡”研究感兴趣的人。在西湖大学，一道“学术环”，自西向东把生命科学学院、理学院、工学院串连起来，从微观层面的细胞、上天入海的工程，到黑箱里的人工智能算法，都能找到合作伙伴。De Pauw打算组织国际化的学术会议，邀请不同研究方向的数学家共商创新大计。

“我大致草拟了六七个研究方向，它们指向不同的数学分支。”De Pauw掰着手指数说，“我不可能什么都懂，我所了解的只是科学当中极小的一部分，与不同学科背景、教育背景、文化背景的人合作非常重要，他们往往有不同的想法。”

发现·进展

海南大学

找到调控莲雾成熟发育最重要基因



莲雾。
受访者供图

本报讯（记者张倩丹）近日，海南大学莲雾研究团队以黑糖芭比莲雾作为研究品种，使用长读长测序技术对二倍体莲雾基因组进行组装，得到676.1兆碱基的莲雾基因组，共11条染色体，并揭示出莲雾果实成熟发育最重要的调控基因。相关论文发表于《园艺研究》。

莲雾又名水翁果，属桃金娘科蒲桃属热带常绿乔木果树，广泛种植于我国广西、海南、广东、云南、台湾等地。莲雾果实口感脆嫩、味道清甜、水分充足、热量低、富含膳

食纤维，具有较高的营养价值。作为新兴的热带水果，莲雾因栽培历史较短、分布局限性，导致相关基础研究较为落后。栽培莲雾基因组序列及相关遗传研究的缺乏，严重阻碍了莲雾的育种进程。

研究人员通过系统发育分析发现，莲雾与近缘物种丁香的分歧时间大约在1500万年前。通过核型分析发现，莲雾祖先在6500万年前经历了桃金娘科共有的全基因组多倍化事件。

研究团队选取不同发育阶段的莲雾果实及其各种器官中的转录组材料，包括20天时的中果、40天时的中果、60天时的中果、75天时的中果、95天时的中果、110天时的中果，以及120天时的成熟果、功能性叶片、花朵和茎，并对这些材料进行转录组测序。

通过时间趋势分析，他们发现了与莲雾果实发育成熟趋势一致的关键基因模块，得到权重占比最重的3个NAC转录因子，并通过结合共表达网络、热图聚类、进化分析，进一步验证这3个NAC转录因子是莲雾果实成熟发育最重要的调控基因。

专家认为，该研究为莲雾的遗传研究和基因挖掘奠定了基础，开启了莲雾分子育种的新征程。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1093/hr/uhac025>

中国科学院亚热带农业生态研究所

重建喀斯特地区300年来森林演变过程

本报讯（记者王昊昊）中国科学院亚热带农业生态研究所环江喀斯特生态系统观测研究站研究员王克林团队在我国西南喀斯特地区历史人类扰动及森林演变方面取得重要进展。近日，相关研究成果发表于《地球的未来》。

在采取大规模的生态保护与修复工作后，我国西南喀斯特地区已成为全球“变绿”热点区之一，但可溶性碳酸盐岩脆弱的地质背景制约了“变绿”的可持续性。过去20多年，部分喀斯特地区依然难以自然恢复成森林景观，造林也难以成林。了解历史时期区域植被变化和石漠化历史，是揭示当前及未来喀斯特地区造林可持续性和潜力的关键。

史料记载，早在明清时期，喀斯特地区就已经有人为毁林与开垦导致石漠化的现象发生。但以往相关研究主要借鉴历史文献，缺乏有效的科学实证。

针对上述问题，王克林团队初步开展了历史时期喀斯特地区人类活动影响及森林演变工作，建立基于喀斯特洼地沉积物测年的历史人类扰动识别方法，首次在典型

喀斯特洼地的沉积物中开展孢粉学分析，并结合历史文献记载、当地调查，重建过去300年以来喀斯特地区“林—毁林—零星造林”的3个主要阶段。

这3个主要阶段为，在1780年之前，针、阔叶树孢粉浓度很高，意味着当前石漠化区在历史时期可能曾经覆盖茂密的针阔混交林；1780年后，玉米花粉和先锋物种芒苞孢子同时出现，标志着生态环境发生显著变化；20世纪30年代起，该地区存在零星造林，以针叶树科/杉科花粉数量突增为主要特征。

研究表明，玉米引种、人口增长和移民，加速了山地开垦和森林砍伐，导致历史时期石漠化的发生，这也是当前部分喀斯特地区难以自然恢复成森林景观的重要原因。高强度人类扰动后的喀斯特地区植被修复需要权衡林或非林的选择。该研究则为生态恢复基线确定及精准还林还草提供了重要科学依据。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1029/2023E004349>

中国科学院华南植物园

揭示酸化森林土壤有机碳累积机制

本报讯（记者朱汉斌）近日，中国科学院华南植物园的科研人员依托广东鼎湖山森林生态系统国家野外科学观测研究站长期模拟酸添加控制实验平台，揭示了酸化森林土壤有机碳累积机制。相关成果在线发表于《植物与土壤》。

我国南方森林土壤贡献了全国森林土壤50%以上的有机碳，而且森林土壤固碳仍在持续增加。深度发育的热带亚热带森林土壤已严重酸化，基于物质输入输出平衡原理，酸化的土壤因Al³⁺聚集产生铝毒使输入土壤有机质减少。然而，前期研究表明，目前其作为碳汇林的生态功能尚在，但关于深度酸化的森林土壤还在持续累积有机碳的机理并不清楚。

为此，研究人员对酸添加处理下季常绿阔叶林土壤有机碳累积及固碳机制开展研究。研究发现，从碳组分看，长期酸添加显著

促进了土壤颗粒有机碳（POC）和矿物质结合碳（MAOC）的累积；从碳来源看，长期酸添加下微生物残体碳累积降低，而植物源碳的木质素酚显著增加。

进一步分析发现，酸添加带来的土壤木质素酚的增加和土壤微生物分解抑制促进了POC的累积，而MAOC的累积主要归因于铁铝氧化物和金属阳离子的有机质保护作用。

该研究结果表明，随着土壤酸化，土壤有机质保护作用与植物源碳的持续输入提高了土壤有机碳的固存与稳定性。该研究强调，森林土壤酸化促进了有机质保护机制和植物源碳的累积，从机理上支撑了深度酸化森林土壤持续固碳增汇的功能。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1007/s11104-024-06608-8>