

“贴膜”打破钙钛矿电池“短命”魔咒

■本报见习记者 江庆龄 实习生 孙梦洁

一个寻常的傍晚，华东理工大学博士生李庆带着提前准备好的材料，来到学校的分析测试中心。她此次实验的目的是为了复现一篇论文中的结果。因为平时比较紧张，她往往会预约下午最后一个小时，以确保有足够的时间完成一次实验。

这一次，她发现了一个新奇的现象，认为“得和导师好好讨论分析一下结果”，并抓紧记下了这个实验结果。

经过团队后续的反复验证，这一现象背后的机制逐渐明晰。钙钛矿太阳能电池不稳定的关键原因是材料体系存在光机械诱导分解效应，研究团队进一步提出了石墨烯-聚合物机械增强钙钛矿材料的新方法，利用该方法制备的太阳能电池器件在标准太阳光照及高温下工作3670小时后仍保持97.3%的初始工作效率。近日，相关研究成果发表于《科学》，李庆是论文第一作者。

一个长期被忽视的问题

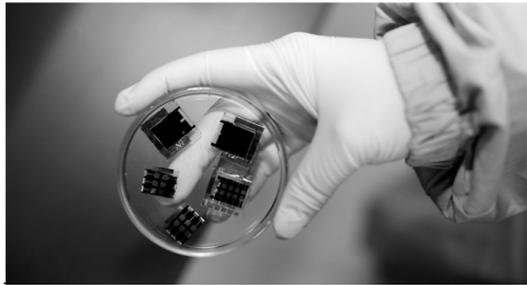
相对于已商业化应用的晶硅电池，钙钛矿太阳能电池具有转化效率高、成本低、柔性及轻量化等优势，是一类极具应用前景的新型光伏技术，对解决能源与环境问题具有重要意义。

“目前，钙钛矿光伏工况寿命与真实应用需求间仍存在显著差距，器件的不稳定性问题是制约钙钛矿太阳能电池商业化发展的重要因素之一。”李庆告诉《中国科学报》。

人们很早就观察到，在光和热的影响下，钙钛矿电池材料容易分解，为此想了诸多办法试图解决这一问题。

但很长时间以来，人们都未尝试解答“因”和“果”中间的问题，即太阳光照射后，钙钛矿材料内部发生了什么变化，才导致它变得不稳定？

“除水、光、热、电等常见因素外，钙钛矿材料内部的动态局域应力是诱发材料分解的重要原因，这就是光机械诱导分解效应。”论文通讯作者、华东理工大学材料学院清洁能源材料与器件团队教授侯宇解释。



新型钙钛矿太阳能电池器件。
华东理工大学供图

释，“光照后，材料内部首先产生了一个力，进而引起材料发生快速分解。事实上，没有力的地方，材料依然是慢速分解的过程，这是一个长期被忽视的问题。”

如果把钙钛矿材料不断放大，就可以看到，正常情况下，材料内部的分子排列十分紧密，前后左右都保持固定距离，就像是一支训练有素的队伍。而经过一段时间的光照后，那些分子之间则发生了相互的挤压碰撞，原本整齐的队伍不见了，甚至有的分子“擅离职守”，致使其所在位置空了出来，形成了所谓缺陷，最终导致钙钛矿电池的性能损失。

“在太阳光照下，钙钛矿材料表现出显著的光致收缩效应，膨胀比例可超过1%。”侯宇表示，“光机械诱导分解效应为我们理解钙钛矿材料的退化机制提供了新视角，也为进一步提升其稳定性提供了重要思路。”

给钙钛矿电池“贴膜”

钙钛矿太阳能电池结构由五层组成，从上至下分别为导电玻璃、空穴传输层、钙钛矿、电子传输层、金属电极。

为了提升钙钛矿材料的稳定性，科学家以往解决思路是基于“打铁还需自身硬”的朴素理念，通过改变钙钛矿组分和结晶性、设计控制钙钛矿表面分子结构等方法，让钙钛矿材料“变强”而不怕外界环境刺激，但收效甚微。

华东理工大学清洁能源材料与器件团队则想到了给钙钛矿多贴一层“保护膜”。

石墨烯具有超高模量，是钙钛矿材料模量的50~100倍，且具有均匀致密、耐机械疲劳和化学稳定的优点。能否借用石墨烯这个“外援”，来提升钙钛矿的稳定性呢？

于是，团队很快购置了石墨烯进行尝试，但在第一步就遇到了困难。商用石墨烯是薄薄的一层，附着在铜箔上面，要想把石墨烯转移到钙钛矿上，首先要想办法把铜箔溶解掉，使用水溶液是避不开的步骤。

“钙钛矿材料对水比较敏感，我们花了两三个月时间，反复优化实验步骤，最后找到了合适的有机溶剂，确保了转移石墨烯的同时不对钙钛矿造成损坏。”李庆说道。

然而，石墨烯与钙钛矿并不兼容，不能像贴手机膜一样，简单把石墨烯盖在钙钛矿表面就完事了。幸运的是，团队找到了一款合适的“胶水”——聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)聚合物。

“PMMA聚合物不仅可以把石墨烯和钙钛矿材料‘粘’在一起，也能够填补钙钛矿表面坑洼洼不平整的部分。”李庆说道。

最终，团队通过PMMA聚合物界面耦联的方式，将单层整片石墨烯组装到了钙钛矿薄膜表面，从而实现两者的高均匀度、多功能性集成。由此，形成一个包含7层结构的新型钙钛矿太阳能电池器件。

“得益于石墨烯出色的机械性能和聚

合物的耦合效应，钙钛矿薄膜的模量和硬度提高了两倍，并显著限制了在光照条件下的晶格动态伸缩效应。”侯宇补充道，“石墨烯的作用主要是保护钙钛矿免受光照产生的外力影响。”

通过动态结构演变实验与计算模型相结合，团队验证了该耦合界面结构在工作条件下能够有效抑制晶格变形以及横向离子扩散，从而确保钙钛矿器件在光照、高温及真空等环境下的长期稳定性。

“我们模拟了钙钛矿太阳能电池实际工作的场景，采用原位方法测试电池同时受到光照并运行时的内部的变化，证实了这个方法的有效性。”李庆补充道。

产业应用尚需时日

侯宇表示，华东理工大学清洁能源材料与器件团队聚焦国家“双碳”战略，已在新型光伏领域取得系列研究成果，如建立了一套理论设计及精准筛选太阳能电池关键功能材料的通用方法，开发出一系列高性能、稳定的光电功能晶态材料，提出光伏器件表面分子功能化新方法，显著提升太阳能电池的环境稳定性等。

对于这项研究成果，侯宇认为，最大的意义在于揭示了光伏性能退化的未知关键因素——光机械作用，从根本上理解了钙钛矿薄膜在实际应用过程中出现的动态结构损坏及其强化调控原理，为突破稳定性瓶颈、推动钙钛矿器件的工业化生产和应用提供了新的解决方案。

值得一提的是，尽管此次使用的材料是有机和无机杂合的钙钛矿体系，但该方法对其他体系的钙钛矿材料同样适用。这也意味着，随着后续更高效率的钙钛矿材料问世，能够使用此方法在一定程度上解决稳定性的问题。

“目前，我们正在与企业开展合作，探索工艺放大的技术路径。”侯宇说，“但这还需要比较长的周期慢慢摸索，尤其是与大面积石墨烯薄膜转移相关的工艺。”

相关论文信息：

<http://doi.org/10.1126/science.adu5563>

集装箱

中国工程院院地合作重大项目在武汉启动

本报讯(记者李思辉 通讯员江帆)日前，中国工程院院地合作重大项目“湖北省加快培育农业新质生产力的战略支撑与策略路径研究”启动暨实施方案论证会在武汉召开。

据悉，“湖北省加快培育农业新质生产力的战略支撑与策略路径研究”旨在为湖北加快建成中部地区崛起重要战略支点、促进湖北农业高质量发展、打造全国新质生产力发展高地提供决策咨询。项目分为三个子课题，分别是“湖北加快培育农业新质生产力路径”“以科技创新培育发展农业新质生产力”“以新质生产力促进农业产业高质量发展”。

湖北省农业科学院党委书记张世伟表示，湖北正致力于加快支点建设，打造新时代

“鱼米之乡”，抢占农业发展制高点，抓好农业科技创新“源头活水”，不断开辟农业发展新领域新赛道，塑造农业发展新动能新优势，为农业高质量发展提供不竭动力。

中国工程科技发展战略湖北研究院执行院长、湖北省科学技术协会党组书记周德文期待项目团队能充分挖掘创新潜力，推动科研成果转化应用，为全国农业现代化提供示范。

据介绍，该项目由中国工程院院士王汉中、康振生领衔，湖北省农业科学院、中国农科院油料所、西北农林科技大学3家单位共同承担。为保证项目顺利推进，相关单位组建了一个由40多名科学家组成的跨学科、跨单位研究团队。

科技创新与区域协同发展专题论坛在北京举办

本报讯(记者沈春蕾)3月8日，中国技术创业协会科技成果转化分会2025会员大会暨科技创新与区域协同发展专题论坛在北京举办。

会上，中国科学院原副院长杨柏龄建议，通过强化顶层设计，聚焦重点领域，深化产学研融合，将科技创新的“关键变量”转化为高质量发展的“最大增量”，为科技创新与区域协同发展贡献科技力量。

中国科学院院士沈保根以《稀土永磁材料及关键技术应用》为题，介绍了稀土永磁材料在新能源汽车、轨道交通、风力发电等领域的广泛应用。他指出，推广使用永磁电机，提高全社会用电效能，是我国实施“双碳”战略最直接有力的变革性节能技术之一。

中国科学院外籍院士王中林则展示了纳米发电机技术在能源、物联网、医疗健康等领域的突破性应用，特别是在海洋能源开发中的独特优势。展望未来，王中林认为，纳米发电技术在能源互联网、海洋蓝色能源、物联网、生物医学、人工智能、低空经济等领域具有巨大的应用潜力。这一创新技术不仅将重塑能源产业格局，也将为人类社会可持续发展提供强有力的科技支撑。

论坛还设置了科技创新资源与经验分享、区域合作政策及重点项目介绍等环节。与会嘉宾一致认为，此次会议为科技界、产业界与地方政府深化合作奠定了坚实基础，有助于进一步推动我国创新驱动发展战略的实施。

按图索技

“超级”水凝胶：软硬兼具，还能自我修复

本报讯 人类皮肤伤口通常能在24小时内自愈，这种神奇能力一直是科学家们努力模仿的目标。如今，芬兰阿尔托大学和德国拜罗伊特大学的研究团队成功开发出一种新型水凝胶，它不仅兼具高硬度与柔韧性，还能像皮肤一样实现自愈。近日，相关研究成果发表于《自然-材料》。

凝胶在我们的生活中无处不在，从发胶到食品中的胶质成分，都能看到它的身影。人类皮肤具备凝胶般的柔软特性，还拥有难以复制的刚性和自愈能力。此前，人工合成的水凝胶要么具备高硬度，要么能实现自愈，但两者不可兼得。

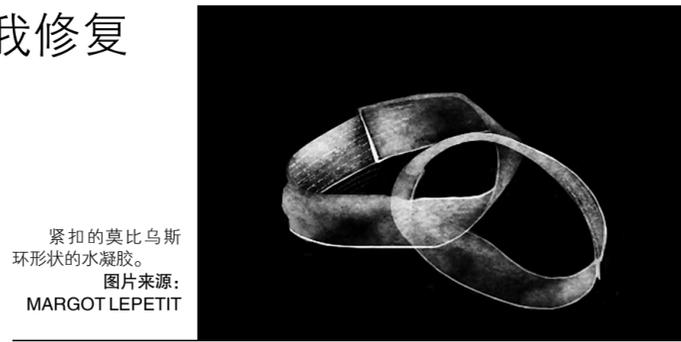
研究团队突破了这一瓶颈，打造出兼具强度、柔韧性与自愈能力的水凝胶，为药物传递、伤口愈合、软体机器人传感器和人造皮肤等领域带来了新的可能性。

这一创新的关键在于向水凝胶中加入了特殊的超大超薄黏土纳米片。这些纳

米片在水凝胶内部形成高度有序的排列，使得聚合物分子在其间形成紧密缠结，从而大幅提升材料的机械性能，并赋予其自愈能力。“这个过程就像烘焙一样简单。”在阿尔托大学从事博士后研究工作的梁晨(音译)介绍。他将单体粉末与含有纳米尺的水混合后，置于紫外灯下照射，紫外线辐射促使单个分子彼此结合，最终形成一种弹性固体——水凝胶。

研究发现，这种水凝胶在受损后4小时内可恢复80%~90%的结构，24小时后通常能够完全恢复。此外，一毫米厚的水凝胶中包含多达10000层纳米片，使其在刚度、拉伸性和柔韧性方面均与人类皮肤相当。

“开发高强度且具备自愈能力的水凝胶一直是材料科学领域的一大挑战，而我们的研究找到了增强传统软水凝胶的新机制，这或许会彻底改变仿生材料的研



紧扣的莫比乌斯环形状的水凝胶。
图片来源：
MARGOT LEPETIT

发。”该项目负责人、阿尔托大学研究员张航表示。

阿尔托大学教授Olli Ikkala总结道：“这项研究展示了生物材料如何启发我们设计合成材料，赋予其全新的性能组合。想象一下，未来的机器人将拥有坚固且自

我修复的‘皮肤’，或者人工合成的组织能像生物体一样自我修复。”

(宋书扉 冯丽妃)

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41563-025-02146-5>

人形机器人的“脸”可以“七十二变”

■本报记者 崔雪芹 通讯员 查豪

随着生成式人工智能取得突破性进展，机器人能够完成的工作已经突破了科幻小说的想象。承担陪伴、护理、家务等复杂工作的人形机器人，距离走进千家万户更近了一步。

但是，你想过机器人的脸长什么样吗？

近日，浙江大学机械工程学院教授邵俊课题组研制出一款可穿戴的变脸面具，实现了一张面具在多个相貌之间的无缝切换，为人类和机器人的面部变装与面部表达提供了全新思路。

“从0到1”

随着生成式人工智能取得突破性进展，机器人能够完成的工作已经突破了科幻小说的想象。承担陪伴、护理、家务等复杂工作的人形机器人，距离走进千家万户更近了一步。

但是，你想过机器人的脸长什么样吗？近日，浙江大学机械工程学院教授邵俊课题组研制出一款可穿戴的变脸面具，实现了一张面具在多个相貌之间的无缝切换，为人类和机器人的面部变装与面部表达提供了全新思路。

“从0到1”确实很难的，不懂就去学。”在没有前人经验可借鉴的情况下，研究人员迎难而上，一旦涉及学科之外的技能与知识，便主动学习补充，既拓宽了研究道路，也提高了个人的综合能力。

大家都耐着性子，从2019年开始，5年间把能够想到的方法挨个儿尝试。终于在迭代到第7版时，一张可穿戴的变脸面具初具雏形。

小小的面具如何在短时间内变色又变形？

课题组研究员唐威介绍，当前版本的面具由变色层和变形层组成。所有的控制装置都集成在一个仅有腰包大小的驱动装置中。“我们先尝试将多种不同变色颗粒嵌入面具的表层。”通过调节面具表层温度，

实现了面具从黑色到黄色以至多种肤色的过渡变化。

面部由40余块柔软灵活的肌肉组成，赋予了人生动又独特的面部表情。用于模拟面部的肌肉，在变色层下方，研究人员巧妙嵌入了多个不同大小的腔体，可以柔软地贴合在面部。通过改变腔体中气体体积的大小，可以调节面部的轮廓形状。

别出心裁的是，课题组自主研发了一套由可编程化学反应驱动的便携装置。“温度升高或降低使化学反应产生或者吸收气体，可使面具的‘面部肌肉’自由变换形态。”唐威介绍，可编程化学反应驱动使整个变脸过程不仅更加静音、安全，还可编程，仅调节温度就能精准切换到想要的面部形态。

为了使面具更加便携、具有可穿戴性，课题组在设计过程中充分考虑了体积、重量、温度、厚度等因素。“面具内部温度控制在室温附近，厚度已经优化到1厘米左右，能够实现贴近真实的脸部模拟。”唐威说，今后课题组将继续追求技术突破，不断优化技术，让面具更轻、更薄，表情更生动。

梦想逐步成现实

研发之路艰辛漫长，却阻挡不了研究人员奔赴他们的“星辰大海”。

课题组利用开源网站信息，在实际操作前进行线上数字面部模拟，确保制作出的面具正确且美观。在尝试制作了十多种面具

实现了面具从黑色到黄色以至多种肤色的过渡变化。

面部由40余块柔软灵活的肌肉组成，赋予了人生动又独特的面部表情。用于模拟面部的肌肉，在变色层下方，研究人员巧妙嵌入了多个不同大小的腔体，可以柔软地贴合在面部。通过改变腔体中气体体积的大小，可以调节面部的轮廓形状。

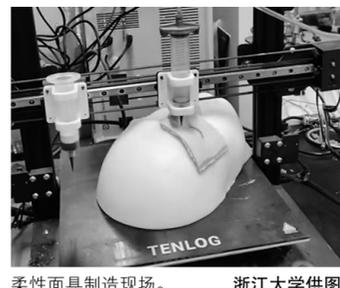
别出心裁的是，课题组自主研发了一套由可编程化学反应驱动的便携装置。“温度升高或降低使化学反应产生或者吸收气体，可使面具的‘面部肌肉’自由变换形态。”唐威介绍，可编程化学反应驱动使整个变脸过程不仅更加静音、安全，还可编程，仅调节温度就能精准切换到想要的面部形态。

为了使面具更加便携、具有可穿戴性，课题组在设计过程中充分考虑了体积、重量、温度、厚度等因素。“面具内部温度控制在室温附近，厚度已经优化到1厘米左右，能够实现贴近真实的脸部模拟。”唐威说，今后课题组将继续追求技术突破，不断优化技术，让面具更轻、更薄，表情更生动。

梦想逐步成现实

研发之路艰辛漫长，却阻挡不了研究人员奔赴他们的“星辰大海”。

课题组利用开源网站信息，在实际操作前进行线上数字面部模拟，确保制作出的面具正确且美观。在尝试制作了十多种面具



柔性面具制造现场。
浙江大学供图

样机后，目前已有一张面具可以切换至少8种不同脸形。

目前，课题组正尝试利用现有技术进行创新，并结合人工智能、大模型技术，为人形机器人定制外貌、音色、皮肤、年龄等个性化特征，以期实现未来变脸面具“七十二变”。

梦想正在逐步变为现实，人形机器人进入人类日常生活已不再遥远了。未来甚至可以做到不同年龄阶段的面部切换，给老年人群体带来家人般的陪伴与呵护，提高生活质量，增强人文关怀。

“我们的技术已经走进博物馆这个大课堂了。”邵俊介绍，最新的“新白娘子”机器人，即将走进杭州中国伞博物馆。从此，博物馆的机器人“讲解员”具备丰富表情与互动能力，为参观者提供沉浸式、交互式的生动体验，开启人形机器人“文化之旅”。

面向人形机器人广阔的蓝海，课题组研究人员表示，将持续探索更加多变的原材料，让面具更轻薄、反应更迅速，积极促进科技与生活深度融合，用科技服务民生，让智能人形机器人走进千家万户。

全国首家具身智能创新产业园落地中关村

本报讯(记者田瑞颖)近日，中关村(海淀)具身智能创新产业园在国家(中关村)火炬科创院第二期“IQ Talk”活动上正式揭牌，全国首家具身智能创新产业园落地北京市海淀区东畔科创中心。

近年来，中关村瞄准世界科技前沿，聚力打造一批品质高、产业新、生态优、机制活、质效好的特色园，率先布局人工智能、量子科技、低空技术、细胞基因治疗等14个未来产业。梦想正在逐步变为现实，人形机器人进入人类日常生活已不再遥远了。未来甚至可以做到不同年龄阶段的面部切换，给老年人群体带来家人般的陪伴与呵护，提高生活质量，增强人文关怀。

南医大与广东省疾控中心携手探索融合发展

本报讯(记者朱汉斌)近日，南方医科大学(以下简称南医大)与广东省疾病预防控制中心(以下简称广东省疾控中心)联合在广州召开公共卫生融合创新模式研讨会，并签署《战略合作与融合发展框架协议》。

根据协议，双方在协同人才培养、强化共建共享、联合科研攻关、强化医防融合、共促成果转化、强化社会服务职能等方面推动融合创新发展，共同推进一流的“国家区域公共卫生中心”建设，联手打造国内一流、有国际影响力的公共卫生高地。

南医大校长黎孟枫表示，双方将依托前期坚实的基础，探索“医教研防”融合创新发展新模式，依靠深度合作、高效共享，实现在教学科研资源

具身智能创新中心等高能级创新平台。

据悉，中关村具身智能创新产业园预计今年6月正式开园，将发挥北京市具身智能领域科技创新全要素优势，吸引聚集具身智能头部企业、国家战略科技力量、全球优秀人才，打造具身智能产业创新策源地和未来产业高地。

未来，北京市和海淀区将以具身智能创新产业园为载体，围绕具身智能创新路径、应用场景、成果落地等方面持续布局，强化政策和资源要素供给，营造更加优质、开放、国际化的营商环境，全方位助力创新成果转化落地，为企业和人才提供更广阔的发展空间。

与优质实践平台的深度融合，致力于在培养多层次多类型公共卫生骨干人才、创建国家级高水平科研平台、产出具有重大影响力的科研成果等方面取得实效。

广东省疾控中心主任邓惠鸿表示，中心将全力推进与南方医科大学的深度合作和融合发展进程，立足双方公共卫生教育 and 公共卫生实践，尽快成立工作小组和推进实施机构，共同推进一流的“国家区域公共卫生中心”建设，联手打造国内一流、有国际影响力的公共卫生高地进行了深入研究。