



他们用“一滴水”完成“温柔”贴膜

■本报记者 甘晓

人们对手机贴膜并不陌生，只需将保护膜对准屏幕，轻轻放下，利用静电吸附便可使其贴合。但如果这层膜是极薄且易碎的电子器件，而要贴合的表面是大脑沟回复杂的生物组织，那么采用手机贴膜的方法，贴合难度堪称“地狱级”。

如今，可穿戴电子设备、脑机接口、神经修复等前沿技术的发展正面临这一“地狱级”挑战。

为此，中国科学院化学研究所研究员宋延林团队联合首都医科大学附属北京天坛医院、新加坡南洋理工大学等机构的研究团队，创新性提出了一项用于超薄柔性器件转印的新技术——液滴打印(Drop-printing)。该方法可以将精细的电子器件“温柔”转移到各种复杂表面，在不损伤器件的前提下实现精准贴合。相关研究成果近日发表于《科学》。

“一滴水”解决难题

常见的柔性电子器件通常由金属导电材料、半导体材料与高分子基底复合而成，厚度仅几微米至几十微米，柔软却脆弱。当这张薄膜“压”到复杂曲面时，薄膜因弯曲、拉伸产生应力集中，线路极易断裂，导致无损贴合失败。

宋延林课题组在绿色印刷与功能材料精准制造领域深耕 25 年，在打印墨滴行为控制等方面取得了一系列进展。面对上述难题，科研团队别出心裁，借助一滴水，找到了解决方案。他们提出的液滴打印技术，核心在于用液滴作为媒介，通过在电子薄膜与目标表面之间构建一个液体润滑界面，实现应力的动态释放。

研究团队发现，使用液滴拾取和转印薄膜时，液体会存在于膜与目标表面之间，不仅可以产生毛细力，逐渐将薄膜“拉贴”在凹凸不平的结构上，而且液体层形成类似润滑油的效果，使薄膜在变形时可以在润滑液体上自由滑动。这样，应力集中一旦在薄膜上产生，就会通过局部滑动而有效释放。同时，液滴中的微量高分子材料还可以调控三相接触线的运动，实现薄膜的高精度转印。

通过高速摄像和应力分布仿真等多手段验证，研究人员发现，液滴打印将原本变形时累积



电子薄膜“温柔”贴合在目标表面的实物图片。研究团队供图

在膜内的应力集中分散成一个均匀、可控的场分布，真正实现了“贴得好、印得准、膜不破”。

“将‘impossible’变成‘I’m possible’，需要的是一点创造、一点努力、一点坚持，更要有一点理想主义精神。”宋延林在朋友圈分享科研感悟时说。

活体小鼠给出关键证据

为验证新技术，研究团队用厚度仅 150 纳米的金膜进行了实验。结果，这层仅为头发丝直径十分之一厚的金膜完好无损地贴合在微米尺寸的草履虫、蒲公英纤维和贝壳表面。

水滴的成分还可以根据需求调整，如添加细胞培养液以“打印”细胞膜，或引入生物胶水实现水下黏附。更令人惊叹的是，液滴打印技术在活体动物实验中展现了出色的效果。

实验中，研究人员将超薄硅基电子膜通过这项技术打印在小鼠的坐骨神经和大脑皮层上，电子膜与动物组织形成了无损贴合。随后，通过近红外光照，成功触发小鼠腿部规律运动，并同步采集到清晰的神经电信号。

研究人员解释，这层膜成为光－电转换接口，吸收光后将光信号转换为能够刺激小鼠坐

骨神经的电信号，从而引发腿部肌肉伸缩。实验中，小鼠随着光照表现出规律的腿部运动，其肌电图和脑电图信号同步显示激活响应，完整验证了从光刺激到神经响应再到动作输出的控制路径。这意味着，膜与活体贴得好、转印得准，同时膜不破，神经也无损。

“念念不忘，必有回响”

研究论文发表后，宋延林在朋友圈发文：“25 年前的梦想，念念不忘，必有回响。从超柔器件到脑机接口，液滴印刷术迈出关键的一步。”在他看来，“做能留下痕迹的事，论文只是副产品”。

宋延林在该领域的科研之路始于国家印刷业的迫切需求。2000 年前后，面对“计算机直接制版”(CTP)技术兴起带来的高性能墨水缺口，他凭借有机化学与材料学的交叉背景，从纳米颗粒分散入手，成功研制出低成本、高质量的国产墨水，由此开启绿色印刷与功能材料精准制造的创新之路。

多年来，宋延林关注的不仅是一项印刷技术的改进，更是如何将产业中的实际问题提炼为具有普遍意义的基础科学问题，勇于开拓知识“无人区”。他坚持以科学突破反哺技术革新，让新发现真正赋能现实应用。

为此，宋延林带领团队解决了诸多基础科学问题。他们通过对印刷墨滴在干燥过程中的“咖啡环效应”“瑞利不稳定性”及“马拉格尼效应”等科学难题的深入研究，对墨滴多种图案成形进行精确控制，实现对纳米功能材料“点、线、面、体”的精细图案化组装，突破了传统印刷技术的精度极限。

对于这项新技术，科研团队普遍看好其应用前景，认为它不仅适用于皮肤电子设备、脑机接口、神经调控器件，还可拓展到可穿戴设备、智能显示、生物制造和组织工程等多个交叉领域。

“随着科技的进步，推动文明发展的印刷术将不断焕发新的生机。”宋延林是这样期待的。相关论文信息：

<https://doi.org/10.1126/science.adw6854>



人类胃器官早期发育机制与体外重构研究获突破

本报讯(记者陈彬)清华大学副教授邵珏团队与合作者利用人多能干细胞，首次在体外培养出一种包含胃底和胃窦双极分布的胃器官发育模型，破解了 WNT 信号梯度悖论，建立了微尺度组织定向组装技术，可对类胃囊中不同谱系的组织模块独立开展基因编辑。相关研究成果近日发表于《自然》。

胃是人体内结构精密的消化器官。在胃部结构中，胃底和胃窦两个区域沿着胃的前后轴方向有序分布，分别承担了分泌与消化功能。这一非对称组织图式在人体胚胎发育的第五周逐渐形成。

然而过去 20 年，围绕这种组织图式始终存在一个经典悖论。WNT 信号作为细胞内一个重要的通信系统帮助细胞决定生长、分裂和存活的方式。发育生物学认为，WNT 信号沿

前－后轴梯度是递增的，并以此调控各器官前后组织图式的分布。然而胃的非对称发育必须依赖沿前－后轴梯度递减的 WNT 信号梯度。这个“信号梯度悖论”对传统器官发育理论提出了挑战。

研究团队从看似矛盾的信号梯度悖论出发，提出了新思路——胃的前后非对称组织图式发育的背后，可能存在一个尚未被发现的“暗物质”信号源，也就是新型 WNT 信号中心。

为探究这一假说，研究团队受仿生学启发构建出模拟拟体内器官发育的三维环境，并采用“多谱系协同发育”策略，利用人多能干细胞首次在体外培养出一种包含胃底和胃窦双极分布的胃器官发育模型(命名为 Gastroid，类胃囊)。该模型重现了早期胃器官沿前－后轴的非对称组织图式发育，并在分子、细胞、组织学及解剖

学等多个维度，展现出与人类及小鼠胃发育特征的高度相似性。

该研究首次揭示了神经组织是调控胃器官前后组织图式发育不可或缺的信号中心，其通过与胃上皮组织协同发育过程中的非对称何关系，诱发的沿前－后轴递减的 WNT 信号梯度是胃底－胃窦空间图式形成的关键因素。这也为在体外构建高保真胃器官模型提供了新的原理和方法。

为进一步解析胃发育中的谱系特异性调控机制，团队基于类胃囊和神经信号中心理论，提出了“人工信号中心”驱动的“乐高式”发育重构策略，建立了微尺度组织定向组装技术。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09508-8>

我国突发公共卫生事件应对有了专门法律

据新华社电 十四届全国人大常委会第十七次会议 9 月 12 日表决通过了突发公共卫生事件应对法,自 2025 年 11 月 1 日起施行.我国突发公共卫生事件应对有了专门法律,将更有力保障公众生命安全和身体健康。

党的二十届三中全会提出实施健康优先发展战略,健全公共卫生体系,促进社会共治、医防协同、医防融合,强化监测预警、风险评估、流行病学调查、检验检测、应急处置、医疗救治等能力。

2024 年 9 月和 2025 年 6 月,全国人大常委会对突发公共卫生事件应对法草案进行了两次审议。本次常委会会议审议的突发公共卫生事件应对法草案三审稿在立法目的中增加维护“公共安全”的表述;加强突发公共卫生事件监测,明确“建立智慧化多点触发机制”;增加及时总结应急处置工作有关内容等。

此次通过的突发公共卫生事件应对法共八章 65 条,包括总则、管理与指挥体制、预防与应急准备、监测预警、应急处置、保障措施、

法律责任、附则。

本法规定,突发公共卫生事件应对工作坚持中国共产党的领导,贯彻总体国家安全观,统筹发展和安全,坚持人民至上、生命至上。突发公共卫生事件应对工作遵循预防为主、预防与应急相结合的原则,坚持依法应对、科学应对。

在预防与应急准备方面,明确国家加强突发公共卫生事件风险源头管理,减少突发公共卫生事件的发生,减轻突发公共卫生事件的危害。国家建立健全突发公共卫生事件应急预案体系。

在监测预警方面,明确国家建立健全多点触发、反应快速、权威高效的突发公共卫生事件监测预警体系。

在应急处置方面,明确国家对突发公共卫生事件实行分级应急响应。疾病预防控制机构发现发生突发公共卫生事件的,向同级卫生健康主管部门、疾病预防控制部门报告时应当同时提出启动应急响应的建议。(顾天成 李恒)

我国新一代载人运载火箭取得新突破

长征十号第二次系留点火试验圆满成功

本报讯(记者甘晓)据中国载人航天工程办公室消息,9 月 12 日,我国在文昌航天发射场成功组织实施长征十号系列运载火箭第二次系留点火试验,按计划完成了全部预定系留点火试验。

当天 15 时 00 分,随着试验指挥中心下达点火指令,火箭一级级试验产品 7 台发动机同时点火,按预定程序完成多项试验流程,试验总时长 320 秒,重点考核了火箭一级级 7 台并联发动机低工况工作和二次点火启动工作能力,获取了完整的试验数据,试验取得圆满成功。截至目前,计划进行的两次系留点火试验已全部完成,全面检验了火箭一级七机动力系统性能和回收段工作程序设计的正确性和可靠性,标志着长征十号系列运载火箭初样研制

工作取得阶段性突破。

长征十号系列运载火箭系留点火试验,按照循序渐进、逐步验证的思路,围绕一级七机并联发动机动动力系统性能验证、回收及重复使用验证两个目标分步推进实施,目的是获取一级七机并联工作状态下的真实载荷环境特性,并对回收段工作程序进行验证,是释放首飞风险的重要手段。

目前,我国载人月球探测工程研制工作进展顺利。今年 6 月中旬以来,相关试验工作多线并举、密集实施,梦舟载人飞船、揽月着陆器、长征十号系列运载火箭等接连取得进展,文昌航天发射场相关配套设施设备建设正在稳步推进。后续,长征十号系列运载火箭将陆续开展飞行试验验证工作。

科学家破解颗石藻

高效利用光能分子机制

本报讯(记者田瑞颖)中国科学院植物研究所研究员王文达和田利金团队首次纯化并解析了来自赫氏艾米里颗石藻的光系统 I-岩藻黄素叶绿素 a/c 结合蛋白(PSI-FCPI)超级复合物三维结构。该研究首次在原子层面揭示了颗石藻通过扩展和优化光系统结构适应海洋光环境的独特策略,是光合生物适应进化研究的重要发现。相关研究成果近日以封面文章形式发表于《科学》。

颗石藻是海洋中的主要浮游植物之一,其细胞壁是由碳酸钙晶体组成的颗石片。颗石藻在白垩纪已达到鼎盛,不仅是海洋初级生产力的主要贡献者,还依靠碳酸钙外壳在地层中留下了显著的“白垩”痕迹,因此在海洋碳沉积和全球碳循环中扮演了重要角色。颗石藻能够适应海水不同深度的多变光环境,高效的光合自养生长助其快速繁殖。但颗石藻光系统复合物高效捕获和利用光能的微观机理并不清楚,进化机制此前未见报道。

研究团队分析发现,颗石藻 PSI-FCPI 超级复合物是一个巨大光合膜蛋白机器,由 51 个蛋白亚基和 819 个色素分子组成,分子量高达 1.66 兆道尔顿,远超已报道的真核生物 PSI 捕光天线复合物。它的捕光截面是典型陆地植物(豌豆)PSI 超级复合物的 4-5 倍。飞秒瞬态吸收光谱表明,颗石藻 PSI-FCPI 捕获光能的量子转化效率超过 95%,与陆地植物 PSI 超级复合物效率相当,说明颗石藻 PSI-FCPI 具备特殊的蛋白组装和能量传递特征。

颗石藻 PSI-FCPI 的高效光能捕获和转化



期刊封面。图片来源:《科学》

依赖于颗石藻 PSI 核心周围环绕着的 38 个 FCPI 捕光天线,它们以模块化方式排列成 8 个放射状排布的捕光天线条带。这种“旋涡围绕”PSI 核心的巨型捕光天线依靠大量新型捕光天线的精密装配,极大扩展了捕光面积。

研究人员还鉴定出丰富的叶绿素 c 和岩藻黄素类型的类胡萝卜素,这些色素在新发现的捕光天线中含量极高,使其能有效吸收深水区波长 460-540 纳米的蓝绿光和绿光。此外,大量叶绿素 c 与叶绿素 a 形成了紧密的能量耦联并消除了能量陷阱,构成了畅通的能量传递网络,这可能是其保持超高量子转化效率的关键。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1126/science.adv2132>

美资助前景不明,多国争相招揽博士生



本报讯 长期以来,美国一直是国际学生攻读研究生课程的最热门目的地。但是,随着目前美国部分大学博士项目暂停招生,并对一些国家学生实施签证限制,导致其他国家正试图吸引那些受到影响的学生。

如今,特朗普政府提议削减该国一部分顶级科学机构的预算,并冻结了大学的拨款与合同资金。澳大利亚新南威尔士大学教育和数学研究员 Chris Tisdell 说,由于资金方面的不确定性,不少国际学生已从美国离开。美国国际贸易管理局数据显示,今年 6 月该国的国际学生人数较 2024 年同期下降了 30%。

澳大利亚墨尔本大学高等教育研究员 Gwilym Croucher 表示,优秀的博士生将另觅他处。“这一趋势的受益者可能是加拿大、澳大利亚、英国和一些欧洲国家。”

据《自然》报道,加拿大的几所大学已经设立了吸引美国学生的项目。7 月,加拿大韦仕敦大学推出了“博士卓越奖”,面向美国大学在校生,包括那些在过去 6 个月内被全球排名前 100 位的美国大学撤销录取资格的学生。韦仕敦大学教学长 Florentine Strzelczyk 说,该项目最初将支持 25 名学生,为他们提供长达 4 年

的博士津贴,以及“快速录取和寻找导师”服务。在去年加拿大政府将博士津贴统一设定为每年 4 万加元后,加拿大各大高校的津贴水平均有所提升。

今年早些时候,加拿大不列颠哥伦比亚大学延长了申请截止日期,以便审查美国学生迟交的申请,申请项目包括 2026 年 1 月开启的某些研究生课程。

法国、德国和西班牙等国也推出了新项目吸引学生,特别是来自美国的留学生,同时还推出吸引资深科学家的举措。

法国巴黎萨克雷大学为气候与环境科学、全球健康、人文科学、能源转型等领域的学生提供了 8 个博士名额。已在美国攻读博士学位的学生也有资格申请。国际学生可申请多项涵盖住宿及生活费用的奖学金,部分奖学金还包含医疗保险。由大学、研究机构资助的学生,每年可获得 1.68 万欧元到 1.8 万欧元。

同时,德国马克斯·普朗克学会启动了“跨大西洋计划”,鼓励博士生申请国际研究学院及研究生中心项目。博士生将与学会签订合同,每周规定工作时间为 39 小时,最低年薪为 3.24 万欧元。

在亚洲,一些国家也推出了吸引海外学生的激励措施。今年 5 月,韩国高丽大学宣布设立临时转学项目,面向受美国限制措施影响的学生和研究人员。研究生可转入该校继续学业并获得学分,这些学分在他们回国后也能得到认可。(文乐乐)