

受蛤蜊铰链启发, 新型柔性薄膜韧性**强**亮度**高**

■本报记者 叶满山

不用通电、不用布线, 拉扯、揉搓、刮擦就能自动发光, 这种力致发光柔性材料, 是下一代智能穿戴、工程监测、防伪加密领域的明星材料。但长期以来, 行业通用的基体聚二甲基硅氧烷(PDMS)脆而易裂、拉伸与发光性能难以兼顾, 制约了技术的落地。

中国科学院兰州化学物理研究所研究员王赵锋团队从蛤蜊铰链中汲取灵感, 研发出高低韧性交替仿生多层复合薄膜, 同步实现材料拉伸能力、抗疲劳寿命、发光亮度大幅跃升。近日, 相关成果发表于《先进材料》。

柔性发光材料的“短板”

什么是力致发光材料?“打个通俗比方, 它是一种‘受力就发光’的智能软膜, 自身就能把拉力、压力转化成光信号, 相当于自带传感和显示功能, 不需要电池供电。”王赵锋解释道。

传统传感器只能单点采集数据, 而这种发光薄膜整片均可响应外力, 哪里受力, 哪里就亮起, 能直观呈现全域应力分布。做成织物穿在身上, 关节弯曲就能发光, 预警运动损伤; 贴在大型构件表面, 微小形变会带来亮度变化, 实现无电源结构自检; 做成防伪膜, 揉搓后显现专属光线, 复印扫描无法仿制……可以说, 力致发光材料的应用场景十分广泛。

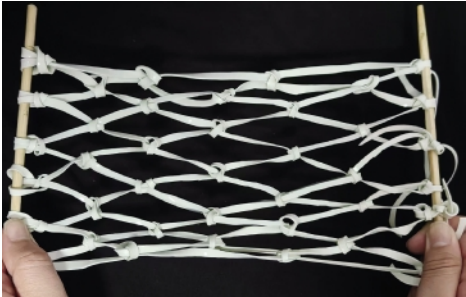
目前, 全球制备柔性发光器件几乎都选用PDMS作为基体。“PDMS的优势很突出, 透光性好、塑形简单、粉体和基体摩擦容易激发光亮。但它有一个致命缺陷——韧性太差, 质地偏脆的软胶, 最多拉长1倍就断裂了。”王赵锋说。反复拉伸过程中, PDMS薄膜极易产生微裂纹, 裂纹会迅速贯穿整个材料, 几百次循环后材料就彻底失效了。

8月18日, 上海科技馆迎来了到馆参观的第1亿名观众。为纪念这一里程碑时刻, 馆方为其送上了专属大礼, 包含参观门票权益、特效影院体验、精品科技活动等。

当天, 上海科技馆推出“‘亿’路有你, 科学同行”系列主题活动。在“云看馆藏”专场直播中, 上海科技馆馆长倪闽景与科研人员和标本师走进库房, 向网友们讲解标本制作技术, 近距离展示“万物可藏”藏品征集成果, 分享藏品背后的科学故事。同时, 馆方还发起“寻找一亿分之你”话题, 鼓励网友们分享与场馆相关的参观故事、打卡瞬间、成长感悟等。

据悉, 上海科技馆是目前我国唯一集科技馆、自然博物馆、天文馆于一体的综合性科学技术博物馆集群。图为观众和机器人互动。

本报记者江庆龄报道
上海科技馆供图



力致发光柔性材料用于编织绳状、结状、网状等各类图案化织物。
中国科学院兰州化学物理研究所供图

拉伸上限低, 发光粉体无法充分摩擦, 说明其亮度提升存在天花板; 材料不耐疲劳, 意味着它无法适配人体关节、工程机械长期交变受力工况。

多年来, 科研人员虽尝试了填料掺杂、化学交联等改性手段, 但始终无法解决“韧性增加、发光变弱”的矛盾。这也成为了行业公认的核心瓶颈。

蛤蜊开合数十万次不破损

难题的突破口藏在常见的蛤蜊身上——连接壳体的铰链, 一生开合几十万次也不会开裂损坏。

“蛤蜊铰链是软硬相间的层状结构, 硬质矿物层承担拉力, 柔软有机质来层通过变形分散、消耗外力, 裂纹一到软层就被拦住, 很难继续扩散。”王赵锋说。这种天然“分层缓冲”机制给了团队关键启发, 他们决定模仿这套结构改造发光薄膜。



科普馆开到咱镇上——南疆乡镇科普馆科普活动见闻

■本报见习记者 樊晓丽

胞破碎后汁液渗出的变化。

当剧情进行到萃取环节时, 讲解员带着学生将酒精加入研磨后的青蒿汁液中, 轻轻摇晃, 再静置观察。几分钟后, 液体分层, 颜色发生了变化。台下学生一阵惊呼。“酒精把青蒿中的有效成分‘拽’出来了。”讲解员随即解释。

45分钟下来, 孩子们既看了一场精彩的科普剧, 又上了一堂生动的实验课。

帕拉沙提·加力哈森介绍, 这座2025年建成的科普馆每周面向周边学校开放, VR眼镜、互动展品最受欢迎。阿图什市第六中学八年级二班的学生图尔荪阿依·吐尔逊艾力告诉记者: “各种新奇的科技展品让我大开眼界。原本课本上抽象的科学知识变得生动、直观, 让我真切感受到了科学的魅力和科技进步的力量。”

喀什地区疏勒县英阿瓦提乡科普馆近期刚刚建成。开馆体验日那天, 附近的孩子们争先恐后涌进科普馆; 有的点击电脑屏幕了解鸟类习性; 有的操作“曲径先登”实验器材观察小球下落速度; 有的按压气囊体验阿基米德原理……“过去组织学生参加科普活动, 只能把人往县、地区带, 来回折腾大半天。”该乡党委委员、科普馆负责人努尔妮萨·麦麦提说, “现在, 孩子们了解科普知识更方便了。”

将种养殖技术送到田间地头

为让村民更好地理解种养殖技术, 本来要到科普馆作讲座的新疆农业科学院园艺作物

研发团队确立了“功能分离、分层集成”的设计方案——混有发光粉体的PDMS薄层专职发光, 高韧性硅橡胶(SR)夹层负责抗裂增韧, 两种材料一层一层交替堆叠, 如同制作千层蛋糕。

研发人员采用交替旋涂、分步热固化工艺, 在总厚度约1毫米的薄膜内制备出3层、5层、7层、9层梯度多层结构。

谈及工艺难点, 王赵锋坦言, 初期研究人员试过喷涂、刮涂、丝网印刷等多种制备方式, 都存在层厚不均、夹层有气泡、层间脱落等问题。“多层结构想要发挥作用, 每层必须平整均匀, 层与层黏接牢固, 否则分层失效, 一切设计都白费。”他说, “经过多轮迭代, 旋涂工艺才能精准控制每层厚度, 搭配分步半固化, 完美解决了界面结合难题。”

受发光粉体粒径限制, 单层发光层不能过薄, 在1毫米总厚度下, 9层是目前实验室工艺能实现的最优构型。得益于PDMS与SR化学性质相近, 多层薄膜界面平整贴合, 完整保留拉伸、揉捏、刮擦、撕裂多类机械刺激发光响应能力。

分层结构带来全方位性能飞跃

力学与光学测试结果显示, 仿生分层结构带来全方位性能飞跃, 层数越多, 综合表现越优异, 9层薄膜性能达到峰值。单层PDMS膜断裂应变仅100%, 9层薄膜可拉长至原长500%。断裂韧性大幅提高, 抗撕裂能力提升近5倍。

疲劳耐久数据差距更为明显。在200%拉伸幅度下, 3层薄膜仅能循环145次, 5层薄膜循环500次, 7层、9层薄膜均可稳定拉伸上千次。即便在400%极限大应变下, 9层薄膜连续

拉伸3万次, 发光强度依旧稳定。科研人员还做了极端缺陷测试, 人为剪出2毫米缺口, 单层薄膜带缺口拉伸至40%就彻底断裂, 而9层仿生薄膜拉伸至400%, 缺口几乎没有扩张。

为何分层结构能同时增强韧性、拉伸性与发光效果?

其中有3个核心机理。首先是应力均匀化, 薄膜薄层化缩短应力传递路径, 受力不会集中在局部, 从源头减少裂纹生成。其次是裂纹阻滞耗散, SR夹层相当于裂纹“减速带”, 裂纹在PDMS层快速延伸, 接触韧性夹层后传播速度大幅下降, 依靠层间滑移消耗断裂能量, 阻止整片薄膜撕裂。最后是分子链充分舒展, 薄层结构减少高分子链缠绕束缚, 材料拉伸上限显著提升, 更大形变让发光粉体与基体充分摩擦, 亮度随之大幅上涨。

“我们还通过有限元模拟、扫描电镜微观表征、缺口对照实验, 完整印证了这套作用逻辑。”王赵锋说。研究证实该薄膜发光亮度由拉伸应变主导, 而非施加外力。同等拉力下多层薄膜形变更大, 不仅发光亮度提升4倍以上, 传感灵敏度也显著改善, 仅10%微小拉伸就能产生可识别光信号, 0%至400%宽应变区间内, 发光强度随形变非线性变化, 可精准、实时追踪应力大小。

过去学界一直以为粉体发光效率是亮度短板, 这项研究发现PDMS基体拉伸不足, 才是限制发光上限的根本原因。该研究仅依靠结构仿生, 不改动发光粉体、不牺牲发光性能, 就突破了力学与光学双重瓶颈, 为柔性力致发光材料开辟全新改良路线。

产业化仍需攻克工艺难关

依托优异的综合性能, 研发团队已经完成多款原型器件研发, 覆盖可穿戴健康监测、工程设备自检、力学笔迹防伪、无源柔性显示四大实用方向。

谈及技术走向商业化面临的挑战, 王赵锋表示: “目前成果以实验室机理验证为主, 距离大规模量产还有四道核心关卡。”一是旋涂工艺制备效率偏低, 需要开发连续化工业涂布方案; 二是薄膜总厚度1毫米, 穿戴场景需要进一步轻薄化; 三是现有扁平丝难以深度适配纺织产业, 下一步要研制超细圆形发光纤维; 四是当前10%应变的发光触发阈值偏高, 微弱振动、轻微触碰难以发光, 需要优化提升灵敏度。

除工艺迭代外, 研发团队还计划优化材料耐候性, 提升其在高低温、日晒、潮湿环境中的稳定性, 拓展户外、工业复杂工况适用范围。同时, 把这套仿生分层思路推广到更多弹性基体与发光粉体体系, 丰富材料的选择。

“传统材料改良大多从化学配方入手, 而我们跳出固有思路, 从自然生物结构中找答案, 用简单分层结构实现性能质变。”王赵锋表示, 蛤蜊仿生多层复合策略普适性强、制备简单, 不仅推动了无源柔性传感、智能穿戴产业技术升级, 也为各类弹性复合功能材料提供了仿生结构设计新思路。

未来团队将持续推进工艺放大与应用开发, 推动这款“受力发光”的仿生薄膜真正走出实验室, 走入大众生活与工业一线。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1002/adma.74267>

让科学理念融入百姓生活

喀什地区巴楚县多来提巴格乡科普馆联合科普大篷车, 将“传统遇见未来”主题活动搬到了乡政府活动大厅。

大厅内, 气氛热烈。舞台上, 几位身着传统服饰的刀郎木卡姆非遗传承人端坐演奏, 指尖拨动热瓦普琴弦, 低沉古朴的琴声缓缓流淌出来。台下坐着当地群众和学生, 随着琴声越来越欢快, 几个孩子先站起来跳起赛乃姆舞。很快, 一些大人也跟着起身走上舞台。整个大厅里回响着琴声、脚步声、笑声, 十分热闹。

一曲终了, 科普讲解员抱着热瓦普走上舞台, 向现场群众提问: “声音是怎么产生的? 它有什么形状? 能被看见吗?”台下安静下来, 不少人流露出好奇的表情。

讲解员拨动琴弦, 介绍声音产生的原理。为方便大家更直观地理解, 讲解员还做起鲁本斯火焰管实验。他按下琴键, 火焰随着旋律跳动、起伏、摇摆。琴弦弹得越快, 火焰跳动越急促; 反之, 琴弦弹得越慢, 火焰跳动越柔和。无形的声波就这样在火苗上变成看得见的律动。“声音是一种波。频率不一样, 振动就不一样。木卡姆音乐的高低起伏和火焰变化是一个道理。”讲解员解释说。

多来提巴格乡科普馆负责人张晓敏告诉记者, 科普馆目前已配备六大展区、九类展品。“小朋友喜欢生物链模型和光学展品, 大人们喜欢VR和3D打印, 对老年人, 我们侧重讲健康。”

英阿瓦提乡科普馆志愿者努日曼·赛麦提发现, 村里老年人容易轻信网上的虚假养生信息。“我学过医, 他们比较相信我。我跟他们讲发能不能只靠出汗, 得看是什么病引起的。”但她坦言, 观念改起来没那么快, “得反复讲, 用他们能听懂的话讲, 不是一次两次就能改过来的”。

记者傍晚离开科普馆时, 身后活动大厅里的笑声和鼓掌声, 还在断断续续地传来。

发现·进展

南方医科大学珠江医院等

人工智能为外科手术质量精准“打分”

本报讯(记者朱汉斌)南方医科大学珠江医院教授杨剑团队联合中国科学院深圳先进技术研究院研究员贾富仓团队, 研发出一套基于多器械运动轨迹分析的手术技能评估系统——DeepSkill。该系统借助人工智能(AI)计算机视觉技术, 解析真实手术视频中的器械运动特征, 将既往依赖专家经验的主观评价转化为可量化、可分析的运动学指标, 为外科手术质量控制和精准化技能培训开辟了新路径。近日, 相关成果在线发表于《美国医学会杂志-外科学》。

如何客观、精准衡量外科医生的操作水平, 始终是外科培训与质控领域的难点。尤其在腹腔镜手术中, 不同年资术者的差异常隐藏于细微操作之中, 如器械操控的稳定性、动作流畅度、操作效率及双手协同配合等。传统评价多由专家观看手术录像后凭经验判定, 难以形成统一规范的质控标准。

DeepSkill系统基于常规腹腔镜手术视频, 自动识别并追踪器械运动轨迹, 进而分析器械速度、加速度、平稳性、操作效率及器械间协同关系, 并通过机器学习模型实现技能等级的判定与连续性评估。

与既往多在模拟环境或特定数据集上验证的AI评价模型不同, 该研究直面真实临床场景, 并在国际公开的数据集上完成了外部验证。结果显示, 在真实手术环境中, DeepSkill评分与高年资专家的评价具有良好一致性。整体判断能力优于住院医师和主治医师; 在不同医疗中心、不同来源数据的验证中, 模型仍保持稳定的分类性能, 展现出良好的推广应用前景。

论文通讯作者杨剑表示, DeepSkill无需额外传感设备, 仅依赖常规手术视频即可完成分析, 可直观反映术者操作中的运动模式、效率波动及潜在不足, 为术后复盘、个体化培训及缩短学习曲线提供了客观依据。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1001/jamasurg.2026.3007>

安徽大学等

新型人工智能框架加速拓扑材料发现

本报讯(记者王敏)安徽大学特任教授Anif Ullah与合作者提出新型机器学习框架TXL Fusion, 将大语言模型与物理、化学描述符深度融合, 实现了对拓扑材料的高效识别, 并为发现传统方法难以判定的新型候选材料提供了新途径。近日, 相关成果发表于《先进功能材料》。

传统材料发现往往依赖“试错式”路线: 先通过大量计算筛选, 再结合昂贵的合成实验和表征逐一验证。这一过程不仅计算耗时, 而且实验成本高、周期长。

针对这一瓶颈, 研究团队开发了TXL Fusion。该框架融合三类互补信息: 材料组成反映的化学信息、对称性和电子结构等物理描述符, 以及经过微调的大语言模型对材料文本信息的表征。研究人员介绍, 该模型通过可学习的门控机制, 根据不同材料自适应调整不同信息源的重要性, 从而实现更有效的特征融合。相比单一信息源模型, 这种方法在提升预测性能的同时, 也保留了与物理和化学特征相对应的可解释性。

研究人员在大规模材料数据上训练TXL Fusion。结果表明, 该框架整体优于纯数值描述符模型和纯组分模型, 其中对拓扑绝缘体的识别能力提升尤为明显。他们进一步将模型应用于传统对称性方法难以判定的候选材料, 筛选出一批高置信度候选材料, 其中部分经过了第一性原理计算验证, 被确认具有外尔半金属特征。

研究人员强调, 这项工作并不是用人工智能取代物理计算或实验, 而是将其作为材料发现的前置筛选器。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1002/adfm.202529788>

中国科学院新疆生态与地理研究所

评估植物多样性等对群落生产力的贡献

本报讯(记者赵宇彤)中国科学院新疆生态与地理研究所研究员张元明团队对中国北方约2100公里的東西向降水梯度, 在古尔班通古特、巴丹吉林、腾格里、乌兰布和、库布齐和毛乌素等沙漠(地)设置56个调查站点, 综合分析植物分类、功能和系统发育多样性, 系统评估植物多样性与优势种功能性状对群落生产力的相对贡献。近日, 相关研究成果发表于《植物多样性》。

干旱区生态系统生产力受水分短缺、土壤贫瘠和气候波动等因素制约。植物多样性能够促进生态系统生产力, 但尚不清楚在不同干旱程度上, 生产力究竟主要由物种间生态位互补驱动, 还是取决于优势种的功能性状。厘清两种机制沿环境梯度的转换规律, 对理解干旱区生态系统功能维持及制定差异化恢复策略具有重要意义。

研究发现, 约168毫米年均降水量是两种机制发生转换的关键阈值。低于该阈值时, 群落生产力主要由功能多样性和物种间互补作用驱动, 植物群落以胁迫耐受策略为主; 超过该阈值后, 优势种的植物高度和比叶面积等功能性状逐渐成为生产力的主导因素, 群落策略相应由胁迫耐受型向竞争型转变。

研究表明, 干旱区生态恢复和生产力管理应充分考虑水分背景。在极端缺水地区, 应优先保护具有不同资源利用策略的植物物种, 维持群落功能多样性; 在水分条件相对较好的半干旱区, 应重点关注植物高度和比叶面积等优势种关键性状, 合理配置资源获取能力较强的植物。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.pld.2026.04.011>