

## R 瞰前沿

微观“精灵”  
展现惊人性能

在刘慈欣的科幻小说《三体》中，名为“纳米飞刃”的神奇材料令人印象深刻——一种极其纤细的透明丝线，能够轻松将一艘巨轮切割成无数薄片。这看似科幻的情节，其实离我们并不遥远。纳米功能材料——这一微观尺度上的“精灵”不仅活跃在科技前沿，也在改变我们的生活。

纳米是一个长度单位，1纳米等于十亿分之一米。物质被“切割”到纳米级别时，会展现出与宏观尺度截然不同的特性。原本导电的金属深入到纳米尺度后，会逐渐变成半导体进而变成绝缘体；当尺寸进一步减小时，表现出量子效应，又变成了导体。在微观世界里，纳米功能材料会呈现宏观量子隧道效应、表面效应、小尺寸效应等神奇性质。

科幻源自现实，《三体》中的“纳米飞刃”，有自己的原型——碳纳米管。这种由碳原子组成的管状结构，强度是钢的100倍，却比碳纤维还细。目前的碳纳米管，虽然无法像小说里描述的那样成为削铁如泥的利器，但在实验室里，我国科学家研发的单根结构完美的碳纳米管纤维，可以吊起一头成年亚洲象；在产业应用方面，利用流化床技术，工厂里已经生产出用于新能源车的万吨级多壁碳纳米管导电浆料；未来，利用碳纳米管，还可以制造碳基芯片、工业催化剂、显示屏、X射线管等。

其实，纳米功能材料也并非全是由人工合成，在大自然中也有这些微观“精灵”的身影——荷叶表面的纳米级乳突结构，能够让水珠滚落时不留痕迹；蝴蝶翅膀能随光线变化呈现不同色彩，也是因为翅膀上的纳米结构；我们牙齿表面的牙釉质，也是由纳米级的羟基磷灰石晶体构成，这使得牙釉质具有极高的坚固度和耐磨性……这些天然纳米功能材料，在漫长的历史进化中展现出惊人性能。

特性“变身”  
在纳米尺度施展“魔法”

当物质维度缩小至纳米量级，仿佛被施加了某种“魔法”，其固有属性会发生颠覆性变化，这种由尺度剧变引发的奇异现象，既为科研探索打开新维度，也为技术应用开辟新路径。

物质本征特性的变化在声、电、光、磁、力等方面都很显著。例如，在宏观尺度下，金需要1064摄氏度高温方能熔化，在其粒径缩减至2纳米时，其熔点竟骤降至约327摄氏度，这为冶金工艺节能增效提供了全新思路。光学性质的重构更具视觉冲击力——宏观尺度下，铜呈现典型的紫红色金属光泽，在纳米尺度下竟然变为深邃的黑色。除了变色，原本化学性质稳定的金属铜，在纳米化后具有自燃特性，呈现前所未有的反应活性。

特性“变身”，正改写多个领域的技术范式。经特殊处理的纳米活性炭，其比表面积较传统材料实现数量级跃升，吸附容量增长10倍以上，成为净水系统中重金属与有机污染物的“捕手”；基于纳米隐身涂层，可在特定频段实现雷达波的隐身，在国防安全领域有重要作用。

在纳米尺度构筑功能结构，研究人员需依赖原子力显微镜、聚焦离子束刻蚀系统等尖端设备，在埃米级精度下实现材料组装。当物质进入纳米王国，其展现的奇异特性正在催生一批颠覆性技术，驱动人类认知与工程实践向更微观尺度的纵深挺进。

微观世界“精灵”，应用潜力无限——

## 纳米材料能带来哪些颠覆性技术

图①：“太空电梯”创意图。

资料图片  
影像中国

学术支持：中国科学技术协会、国家纳米科学中心



①

图②：碳纳米管示意图。



②

资料图片  
影像中国

学术支持：中国科学技术协会、国家纳米科学中心

日常应用  
多个领域大有可为

纳米功能材料并非摆在实验室里的“花瓶”，它们正在各个领域大显神通。

当纳米科技与医疗领域深度融合，人类对抗疾病就有了新“武器”。纳米药物如同精确制导导弹，通过表面修饰的靶向分子精准识别癌细胞特有的生物标记物，将药物直接输送至病灶核心。在临床中，淋巴示踪剂以纳米活性炭为基底，能在术前清晰勾勒出肿瘤边界，为外科医生提供三维导航；而纳米脂质体包裹的化疗药物，则能突破肿瘤血管屏障，在靶区将药物浓度提升数十倍，显著增强疗效的同时降低全身毒副反应。实验室里的纳米机器人更具未来感，可以用于血液循环系统巡航，实时清除血管沉积物，甚至对受损细胞进行纳米级手术修复，为癌症治疗开辟全新范式。

能源领域，锂离子电池中碳纳米管构建的三维导电网络，为电极材料获得电子带来一条“高速公路”，充电速度以指数级提升。不仅如此，纳米改性电池还可以通过石墨烯散热涂层在冬天实现热量二次利用，突破续航瓶颈。在安全防护方面，纳米隔热涂层具有热屏障性能，即便电池遭遇极端热失控，也能维持15分钟左右的结构完整，为车祸逃生争取宝贵时间。

纳米尺度上的信息产业也大放光彩：当光刻机突破2纳米工艺节点，指甲大小的芯片内晶体管数量突破百亿大关，算力洪流驱动着人工智能、物联网等前沿领域跨越式发展，与之并行的纳米传感器技术，正将环境监测与健康管理推向实时精准的新阶段。

未来应用  
重塑人类探索的边界

纳米功能材料拥有广阔的应用前景，纳米技术正在重塑人类感知与探索的边界。

在AR（增强现实）领域，纳米光波导技术正将科幻场景变为现实。AR眼镜采用纳米级光波导镜片，重量仅几十克却拥有超过80度的视场角，透过镜片，用户可体验信息获取、导航、翻译等功能。镜架上集成的纳米天线阵列，在厘米级空间内构建起高速通信通道，使设备摆脱线缆束缚，真正融入智能生活场景。

智能穿戴设备在纳米技术加持下正突破形态与能源限制。纳米柔性屏采用可拉伸的银纳米电线，使智能手表能像皮肤般贴合腕部；纳米发电机技术利用氧化锌纳米线在机械形变中产生的压电效应，可以将人体运动转化为电能。

当人类目光投向星辰大海，纳米材料展现出前所未有的应用潜力。碳纳米管构成的太空电梯缆绳，理论强度可达钢材的百倍，使未来低成本天地运输成为可能。而纳米防护层技术则为航天器披上了“铠甲”：纳米气凝胶的多孔结构既能阻隔太空极低温，又能耐受返回舱再入大气层时的超高温；纳米复合涂层通过多层界面反射机制，将宇宙辐射剂量降低3个数量级，为深空探测生命保障系统提供关键解决方案。

从日常穿戴到探索太空，从《三体》中的“纳米飞刃”到现实中的纳米机器人、纳米电池等，纳米功能材料正在以惊人的速度改变着我们的世界。让我们期待，这些微观世界里的“魔法道具”，能带来更多惊喜！

（作者为国家纳米科学中心成果转化处处长、正高级工程师）

## R 哆『科』

光，是宇宙中最迅捷的“信使”。它以每秒约30万公里的速度穿越星际，难以挽留。

如今却不一样了，通过固体量子芯片，我们可以“留住光”——存储和转发光子带来的量子信息，为未来量子互联网（如量子云计算、分布式传感）等提供关键硬件支撑。

既然光子转瞬即逝，我们为什么不能将其转化为更易“留下”的载体？在传统存储技术中，光信号通常要转化为电信号或磁信号，以便于硬盘存储。但转化过程中，原始光信号在介质吸收和能量转换中会被完全消解，犹如大雁飞过，只闻其声、不见其形。

想象光子是一只可爱的小猫，这只猫可以同时处于“睡着”和“醒着”的状态（量子叠加态）。如果你试图用相机拍下这只猫的状态，一旦按下快门，猫就会立刻变成“睡着”或“醒着”中的一个状态（量子态坍缩）。经典存储介质就像那台相机，一旦测量就会破坏量子态的叠加特性。

不仅要“听懂”光的呢喃，还要能“看见”光的形态，同时不破坏光子的量子叠加态，如何做到？

这就需要“光声转换之法”——我国科学家出了奇招，将光的频率、相位等信息编码为声波的振动。声波的速度比光慢得多，仅为光速的百万分之一，相当于让高速飞行的光子有了“减速带”。转换的重点在于通过光子不断地撞击机械薄膜实现信息的转录，这一过程保留了光子既“睡着”又“醒着”的状态。

为了尽可能地“留住光”，薄膜材料的选择十分关键。

传统声学薄膜材料有金属铝膜、半导体氮化硅、无定形硅等，但由于材料的内部原子排列无序，振动过程中容易产生摩擦，使得声学能量迅速耗散，存储时长一般以秒计算。科学家发现，单晶碳化硅薄膜的晶体结构高度规整，可以大大提高机械振子的振动寿命。

普通的薄膜材料，就像一个个鼓，每个光子“鼓槌”击打时，传出的声音是成对的，且一模一样。这就是光子在机械振动中的简并态，储存的信息无法区分。但单晶碳化硅薄膜，是一个有些另类的“鼓面”，光子“鼓槌”落到薄膜上，振动频率会发生微妙的分裂，形成可以区分的不同状态，这就是光子在机械振动中的破缺态。这样，就避免了振动频率完全一样的信息干扰，光信息存储的内容更加精准。

科学家还发现，在零下273.14摄氏度附近的极低温环境下，薄膜的原子热运动几乎冻结，声子寿命得以大幅延长，进而增加光子信息存储时长。近日，北京量子信息科学研究院的科研团队就将飞行光子驻留的时间推至4035秒，创造了光子信息存储时长新的世界纪录。信息存储时间越长，需要的时候，提取的自由度也越大。在应用层面，长时间的存储光信息的能力以及相关技术将有助于量子计算编码、高频率波探测、暗物质搜寻等。

回望科技史，每一次存储介质的革新，都为人类文明带来了巨大变化。现在，我们已站在存储介质变革的前沿，有望“看见”光从瞬逝到长存。

（作者为北京量子信息科学研究院副研究员，本报记者王昊男采访整理）

## R 学术眼

## AI生成内容鉴别技术取得新突破

本报杭州电 （记者窦瀚洋）随着AI技术的广泛应用，如何鉴别AI生成内容成为社会关注焦点。近日，浙江西湖大学自然语言处理实验室研发的Fast—DetectGPT技术，为解决这一问题提供了新方案。该程序对GPT3.5、GPT4生成文本的识别率分别达到96%和90%，检测速度较此前技术提升340倍。该团队关于Fast—DetectGPT的私有大型扩展Glimpse的论文已被今年4月将在新加坡举行的2025国际表征学习大会收录，Glimpse可以检测26种语言的文本，并有更高的识别准确率。

团队研发成员、西湖大学工学院副院长张岳介绍，当前AI生成内容的识别主要有监督分类器法、零样本分类器法、水印法3种方式。监督分类器法要收集大量已知数据作分类学习，对未见过的模型生成文本识别率有所下降；水印法则是在生成文本时打上“记号”，但存在标记被人为弱化或移除的风险；Fast—DetectGPT属于零样本分类法，无需依赖训练数据，适用性更广。

团队研发成员、西湖大学博士生鲍光胜介绍，所谓“生成”文本，就是机器通过上文来选择下文，选择依据是词汇、句式等在数据集中的使用概率。基于AI与人类文本生成差异的原理，AI倾向于选择高频词句，而人类写作更具多样性和逻辑泛化性，程序通过分析文本的“条件概率分布”实现鉴别，“简单地说，AI更懂AI，Fast—DetectGPT‘认出’了同类。”

## 新型心脏起搏器可微创植入手内

据新华社洛杉矶电 美国西北大学近日发布公报说，该校领衔的一个国际研究团队开发的临时心脏起搏器比一粒米还小，可通过微创手术植入手内，特别适用于治疗先天性心脏缺陷的新生儿。

研究团队在英国《自然》杂志上报告说，临时起搏器对术后及其他情况下出现短暂心动过缓（心率偏低）的患者非常重要。传统的临时起搏器需要通过侵入性手术，有很大风险。

研究团队开发的新型起搏器宽度为1.8毫米，长度为3.5毫米，厚度为1毫米。研究人员使用光控系统大幅缩小了起搏器的尺寸。同时，还用一种将化学能转化为电能的简单电池作为起搏器的电源，当起搏器的电极与周围的体液接触时就会产生电流，从而无需外部电源或导线。此外，起搏器的所有组件都具有生物相容性，使用寿命到期后会分解或被身体吸收，无需手术取出。

本版责编：肖 遥 曹雪盟 董映雪

版式设计：蔡华伟

## 膜上存光如何实现

刘玉龙

## 深海小型多模态机器人

## 身长不足50厘米，却能畅游万米深海

本报记者 吴月闫伊乔

时而摆动“尾鳍”游动，时而展开“背鳍”滑翔，还能用足部爬行……一台身长不到50厘米、体重仅2.7千克，能在万米深海实现多模态运动的小型机器人（下图为示意图，受访团队供图），是由北京航空航天大学研究团队联合中国科学院深海科学与工程研究所、浙江大学历经6年研发的，相关研究成果近日发表在国际学术期刊《科学·机器人》。

深海海底地形地貌复杂，如何让机器人拥有适应环境的多模态运动能力？深海的蝙蝠鱼能够通过巧妙的鳍肢运动自由游弋、行走，为科研团队提供了仿生灵感：一台能够游动、滑翔、爬行的多模态机器人“诞生”了。游动模式下，机器人通过“尾鳍”摆动产生推力，最高速度可达每秒5.5厘米；滑翔模式下，展开的“背鳍”利用水的升力实现长距离滑行；爬行模式下，机器人利用各向异性足部设计，能够实现每秒3厘米的沙地行走。

北航机械工程及自动化学院教授文力介绍，研究团队设计出全新的驱动装置，利用双稳态手性超材料结构在两个稳态之间切换时的快速突跳，实现高效驱动。快速突跳的速度和幅度会随着结构材料量的增加而增加，巧妙地将深海高压对软材料的负面影响扭转为正面影响，助力机器人驱动性能提升。针对深海低温挑战，研究团队利用在低温环境下可实现高频率主动变形的形状记忆合金进行拮抗驱动，通过周期性电流加热使一对形状记忆合金弹簧主动交替收缩，驱动手性超材料单元的双稳态突跳切换，从而实现驱动器的



## 稻米合成人血清白蛋白技术

## 5公斤稻米相当于“1升血浆”

本报记者 吴君摄影报道

大米，是人们餐桌上的“主角”，如今却有了意想不到的新作用——造血。

“5公斤稻米提纯出的人血清白蛋白，相当于1升血浆提取的量。”湖北武汉禾元生物科技股份有限公司创始人杨代常介绍。

在血液中，除了水分，最多的是血浆蛋白，其中又以白蛋白为主。它能快速补充人体缺失的液体并维持血管压力的平衡。人在烧伤、大出血或手术时，往往需要注射人血清白蛋白来治疗。

上世纪80年代，就有科学家尝试在细菌、酵母、动物细胞或植物中生产重组人血清白蛋白，但提取工艺复杂、很难量产。杨代常团队将目光投向转基因水稻。

人和水稻天差地别，水稻如何造出“人血”？

“水稻胚乳细胞具有完整的真核细胞蛋白加工体系，重组蛋白质的翻译、折叠和修饰都与哺乳细胞十分相近。”杨代常介绍，此前，科学家用植物成功合成了数十种药用蛋白。杨代常牵头的植物源重组人血清白蛋白研究曾被原卫生部列为国家科技重大专项。

团队将生产人血清白蛋白的基因进行了重新编码。经过修改的人血清白蛋白基因能够“骗过”水稻，注入水稻后，不仅不会受到排斥，还会通过光合作用生产出大量人血清白蛋白。



为了避免人血清白蛋白被水稻细胞里的蛋白酶破坏，团队通过定向存储技术，将水稻生产的人血清白蛋白输送至细胞内的“安全岛”——蛋白体中保存起来。

如今，5公斤糙米能生产出30克人血清白蛋白。

重组基因的水稻（左图），种植技术和普通水稻类似。杨代常说，每一粒可以“造血”的原代稻种，繁殖3代，生产的人血清白蛋白就有较好的稳定性。经过估算，500粒“造血稻米”种子就能“种”出200多吨人血清白蛋白。从水稻中提取可用的人血清白蛋白也只需24个小时。

水稻可以“造血”，却不能直接“输血”，这是因为除了人血清白蛋白，水稻中还有另外4种主要储藏蛋白质。不过它们与人血清白蛋白性质不同，都不溶于水，只需简单纯化工艺就能去除。但“造血”水稻在生长过程中还会产生内毒素，会导致人体发热等问题，去除重组人血清白蛋白中的内毒素和杂质非常关键。

最初，杨代常团队提取了99.9%纯度的重组人血清白蛋白，但其中还有0.1%的杂质。通过改进分离纯化工艺，目前，团队把重组人血清白蛋白的纯度提高到了99.9999%以上。目前，禾元生物植物源重组人血清白蛋白注射液已完成三期临床试验。

杨代常说，团队正努力提高不同类型重组人血清白蛋白的提纯工艺，制造针对不同疾病所需的产品。