

编者按 纳米科技是21世纪最重要的前沿科技领域之一，对世界各国经济社会发展起到引领作用，对信息、生物、医药、能源、环境、航空航天及国家安全等领域都有着重要影响。为全面提升我国纳米科技的创新能力，国家重点研发计划设立了“纳米科技”重点专项，目前该项目已取得了一批重要成果。

本报今起推出系列报道，聚焦这些重要、优秀成果，展现其攻关历程。

轻薄、柔软又耐磨 这个显示器能穿在身上

关注国家重点研发计划“纳米科技”重点专项①

杨泽璇 岑盼 本报记者 王春

从模糊到清晰，从单色到彩色，从笨重到轻薄……近几十年来，显示器作为电子设备的重要输出端不断更新迭代，由最初的阴极射线管显示、液晶显示、有机发光二极管显示发展至现在的柔性薄膜显示，取得了长足进步。

你曾设想将显示器穿在身上吗？集器件功能、纺织方法、织物形态于一体，在我们穿的衣服上浏览咨询、收发信息、进行事件备忘……这是研究者近年来着力探寻的方向。

然而，如何将显示功能有效集成到电子织物中，同时确保织物的柔软、透气导湿、适应复杂形变等特性，是智能电子织物领域面临的一大难题。

记者获悉，日前，在国家重点研发计划“纳米科技”重点专项的资助下，复旦大学高分子科学系教授彭慧胜领衔的研究团队自主研发出全柔性织物显示系统，相关成果以《大面积显示织物及其功能集成系统》为题在线发表于《自然》杂志刊。

突破传统，“织物显示”漫漫求索路

织物显示求索之旅绝不是一条坦途。近十多年来，彭慧胜带领的研究团队始终致力于智能高分子纤维与织物研发。

2009年，团队提出聚丁二烯与取向碳纳米管复合以制备新型电致变色纤维的研究思路，然而，电致变色仅在白天可见，晚上则无法被有效应用，使用时大打折扣。

2015年，团队在涂覆方法方面取得突破，成功解决了共轭高分子活性层在高速率纤维电极表面均匀成膜的难题，提出并实现了纤维聚合物发光电化学池，并通过将其编成织物实现了不同的发光图案。但此种方法也有局限，经由发光纤维编织所显示的图案数量非常有限，无法实现平面显示器中基于发光像素点的可控显示。

如何在柔软且直径仅为几十至几百微米的纤维上构建可程序化控制的发光点阵列，是困扰团队甚至这个领域的一大难题。

彭慧胜团队适时转换思路，“在织物编织过程中，经纬线的交织可以自然地形成类似于显示器像素阵列的点阵。”以此为灵感，团队着眼于研制两种功能纤维——负载有发光活性材料的高分子复合纤维和透明导电的高分子凝胶纤维，通过两者在编织过程中的经纬交织形成电致发光单元，并通过有效的电路控制实现新型柔性显示织物。

弯折、水洗都不怕，显示均匀且稳定

比起传统的平板发光器件，发光纤维直径可在0.2毫米至0.5毫米之间精确调控，奠

“这就是我们用于编织的发光纤维材料。”彭慧胜拿起一卷缠绕于纺锤上的纤维介绍道。这些直径不足半毫米的纤维材料，实验案台上还有多卷，颜色各异，乍一看与生活中的寻常纱线类似。“而当我们给它们通上电，它们就显示出了独特一面——会发出明亮的光。”他拿起手边的一件卫衣，展示其基本功能，卫衣上的复旦大学校徽由发蓝光的纤维编织而成，接通电源后，蓝色的校徽图案在室内清晰可辨。

是什么使织物拥有了显示特性？其内在结构如何？“显示织物内呈现独特的搭接结构，由发光经线和导电纬线交错而成。”彭慧胜解释道，从横截面方向看，其中一根为涂覆有发光材料的导电纱线，另一根透明导电纤维通过编织与其经纬搭接。施加交流电压后，位于发光纤维上的高分子复合发光活性层在搭接点区域被电场激发，就形成了一个个发光“像素点”。

在电场的激发下，电极和发光层凭借物理搭接即可实现有效发光，该方法可以将发光器件制备与织物编织过程相统一，利用工业化编织设备，实现了长6米、宽0.25米、含约50万个发光点的发光织物，发光点之间最小的间距为0.8毫米，能初步满足部分实际应用的分辨率需求。通过更换发光材料，还可实现多色发光单元，得到多彩的显示织物。

定了其超细、超柔的特性。以此为材料一针一线梭织而成的衣物，可紧贴人体不规则轮廓，像普通织物一样轻薄透气，确保良好的穿着舒适度。

伴随着结构上的精细化要求，技术上的难题也显现出来：如何在如微米级直径的纤维上连续负载均匀的发光材料涂层，构建得到发光强度高度一致的像素点阵？

彭慧胜团队提出了“限域涂覆”的制备路线，采用柔韧的高分子材料作为发光浆料基体，将其均一可控地负载在纤维基底上，即“让浸渍有发光浆料的纤维通过一个定制的微孔，使不平整的浆料涂层变得平滑，同时有效控制纤维的直径”。在此基础上，通过多次涂覆，提升纤维圆周方向的发光层厚度均匀性，涂覆固化后得到了能抵御外界摩擦、反复弯折的发光功能层。

现实的应用要求也接踵而至。团队研究发现，具有高曲率表面的纤维相互接触时，在接触区域会形成不均匀的电场分布，这样的电场不利于器件在变形过程中稳定工作。而在现实生活中，穿在

身上的衣服难免会有磕磕碰碰，也需日常清洗。如何能使显示织物适应外界环境的变化，乃至抵御住反复摩擦、弯折、拉伸等外在作用力，保证发光的稳定性？

团队在导电纤维纤维的力学性能方面下了功夫，通过熔纺挤出方法制备了一种高弹性的透明高分子导电纤维。在编织过程中，该纤维由于线张力的作用，与发光纤维接触的区域发生弹性形变，并被织物交织的互锁结构所固定。“通过对高分子导电纤维的模量调控，使其在与发光经线交织时发生自适应弹性形变，形成稳定接触界面，并使得在纤维曲面上形成了类似平面的电场分布，从而确保了织物中“像素点”的均匀稳定发光。”彭慧胜说。

实验结果表明，在两根纤维发生相对滑移、旋转、弯曲的情况下，交织发光点亮度变动范围仍控制在5%以内，显示织物在对折、拉伸、按压循环变形条件下亦能保持亮度稳定，可耐受上百次的洗衣机洗涤。

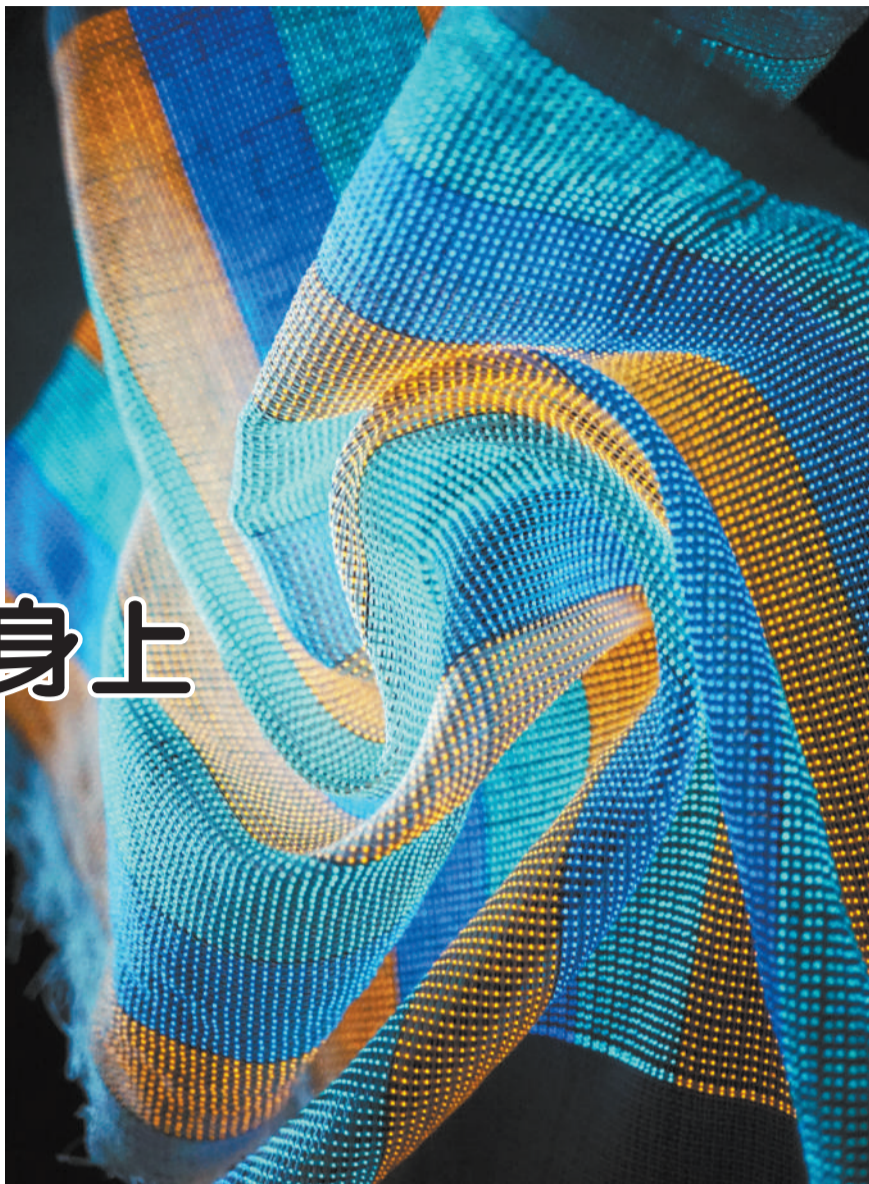
据了解，自2020年正式启动以来，“智汇行动”概念验证创新大赛聚焦早期科研项目成长的“前一公里”，累计覆盖研究所20多个，重点实验室十余个，100余位科研人员参与其中，50个项目参与，最终8个项目获得立项支持，逐渐形成中国科学院原始创新策源地的“蓄水池”。

作为从中国科学院实验室孵化出来的项目，如何布局产业化，是王勇下一步面临的关键问题。前不久，王勇走出实验室，带着项目参加了中科院智汇工场举办的“智汇行动”概念验证创新大赛，收获了各方专家的建议，这让团队受益匪浅。

据了解，自2020年正式启动以来，“智汇行动”概念验证创新大赛聚焦早期科研项目成长的“前一公里”，累计覆盖研究所20多个，重点实验室十余个，100余位科研人员参与其中，50个项目参与，最终8个项目获得立项支持，逐渐形成中国科学院原始创新策源地的“蓄水池”。

作为从中国科学院实验室孵化出来的项目，如何布局产业化，是王勇下一步面临的关键问题。前不久，王勇走出实验室，带着项目参加了中科院智汇工场举办的“智汇行动”概念验证创新大赛，收获了各方专家的建议，这让团队受益匪浅。

作为从中国科学院实验室孵化出来的项目，如何布局产业化，是王勇下一步面临的关键问题。前不久，王勇走出实验室，带着项目参加了中科院智汇工场举办的“智汇行动”概念验证创新大赛，收获了各方专家的建议，这让团队受益匪浅。



显示织物内呈现独特的搭接结构，由发光经线和导电纬线交错而成，在电场的激发下，电极和发光层凭借物理搭接即可实现有效发光。 复旦大学供图

廊，像普通织物一样轻薄透气，确保良好的穿着舒适度。

伴随着结构上的精细化要求，技术上的难题也显现出来：如何在如微米级直径的纤维上连续负载均匀的发光材料涂层，构建得到发光强度高度一致的像素点阵？

彭慧胜团队提出了“限域涂覆”的制备路线，采用柔韧的高分子材料作为发光浆料基体，将其均一可控地负载在纤维基底上，即“让浸渍有发光浆料的纤维通过一个定制的微孔，使不平整的浆料涂层变得平滑，同时有效控制纤维的直径”。在此基础上，通过多次涂覆，提升纤维圆周方向的发光层厚度均匀性，涂覆固化后得到了能抵御外界摩擦、反复弯折的发光功能层。

现实的应用要求也接踵而至。团队研究发现，具有高曲率表面的纤维相互接触时，在接触区域会形成不均匀的电场分布，这样的电场不利于器件在变形过程中稳定工作。而在现实生活中，穿在

多功能集成，表现出良好应用前景

除显示织物外，彭慧胜团队还基于编织方法实现了具有光伏织物、储能织物、触摸传感织物与显示织物的功能集成系统，使融合能量转换与存储、传感与显示等多功能于一身的织物系统成为可能。该系统在物联网和人机交互领域，如实时定位、智能通讯、医疗辅助等方面表现出良好应用前景。

极地科考、地质勘探等野外工作场景中，只需在衣物上轻点几下，即可实时显示位置信息，地图导航由“衣”指引；把显示器穿在身上，语言障碍人群可以此作为高效便捷交流和表达的工

具……这些原本存于想象中的场景，或许在不远的将来就能走进人们的生活。

从研发思路的推陈出新，到连续制备关键技术突破，设备的自主研发设计，再到工程化路线的不断优化……彭慧胜团队已把产品从实验室里“带了出来”，实现了发光纤维和织物的连续化稳定制备，致力于推动全柔性显示织物的规模化应用研究。“我们也期待着产业界的合作者们加入，共同解决在实际应用中的具体问题。”彭慧胜说。

团队在导电纤维纤维的力学性能方面下了功夫，通过熔纺挤出方法制备了一种高弹性的透明高分子导电纤维。在编织过程中，该纤维由于线张力的作用，与发光纤维接触的区域发生弹性形变，并被织物交织的互锁结构所固定。“通过对高分子导电纤维的模量调控，使其在与发光经线交织时发生自适应弹性形变，形成稳定接触界面，并使得在纤维曲面上形成了类似平面的电场分布，从而确保了织物中“像素点”的均匀稳定发光。”彭慧胜说。

实验结果表明，在两根纤维发生相对滑移、旋转、弯曲的情况下，交织发光点亮度变动范围仍控制在5%以内，显示织物在对折、拉伸、按压循环变形条件下亦能保持亮度稳定，可耐受上百次的洗衣机洗涤。

据了解，自2020年正式启动以来，“智汇行动”概念验证创新大赛聚焦早期科研项目成长的“前一公里”，累计覆盖研究所20多个，重点实验室十余个，100余位科研人员参与其中，50个项目参与，最终8个项目获得立项支持，逐渐形成中国科学院原始创新策源地的“蓄水池”。

作为从中国科学院实验室孵化出来的项目，如何布局产业化，是王勇下一步面临的关键问题。前不久，王勇走出实验室，带着项目参加了中科院智汇工场举办的“智汇行动”概念验证创新大赛，收获了各方专家的建议，这让团队受益匪浅。

据了解，自2020年正式启动以来，“智汇行动”概念验证创新大赛聚焦早期科研项目成长的“前一公里”，累计覆盖研究所20多个，重点实验室十余个，100余位科研人员参与其中，50个项目参与，最终8个项目获得立项支持，逐渐形成中国科学院原始创新策源地的“蓄水池”。

作为从中国科学院实验室孵化出来的项目，如何布局产业化，是王勇下一步面临的关键问题。前不久，王勇走出实验室，带着项目参加了中科院智汇工场举办的“智汇行动”概念验证创新大赛，收获了各方专家的建议，这让团队受益匪浅。

作为从中国科学院实验室孵化出来的项目，如何布局产业化，是王勇下一步面临的关键问题。前不久，王勇走出实验室，带着项目参加了中科院智汇工场举办的“智汇行动”概念验证创新大赛，收获了各方专家的建议，这让团队受益匪浅。

成果播报

防火又环保

木建筑有了国产“隐形衣”

◎本报记者 史诗

作为中国科学院引进人才，中国科学院过程工程研究所研究员王勇在2018年刚回国时，也曾感到困惑。“作为一个科研工作者，到底该做些什么才是有意义的？”这是当时王勇脑海中挥之不去的疑问。

一次偶然的机会，做国外防火涂料产品中国代理的一位老板找到王勇，详述了企业运营中自己代理的产品被国外垄断带来的烦恼，这种技术目前在国内还无法实现。王勇马上想到“科研面向国民经济主战场，打破国外技术垄断，不就很有意义吗？”两人一拍即合，王勇决定以此作为自己回国后的第一个研究项目。

木材作为一种取材容易、加工简便的结构材料，在古建和仿古建筑、木屋别墅、高档家具、人造景观等领域应用广阔。而木材的易燃性导致火灾隐患增加，且高端防火涂料产品长期被国外垄断，因此生产自主研发的木结构用高端防火涂料产品尤为重要。加之相关研究报告显示，全球木材防火涂料市场规模正在以复合年均增长率3.2%的速度增加，王勇下决心试一试。

万事开头难。一开始，王勇便遇到了很多棘手的问题。这个行业可查阅的科研资料少之又少，这对于王勇带领的5人研发团队来讲，是个非常大的挑战。

“当我们发现模仿复制国外产品这条路行不通时，就立刻转变思路，下决心自己做。”王勇坦言，当时团队选择的是困难最多的一条路，要建立自己的工艺和技术，就只能摸着石头过河。

在进行一番调研后，王勇发现，目前国内市场上的防火涂料主要还是针对钢结构的，颜色不透明，装饰性比较差，无法应用于高档的木质结构。对于想要保留木质本色，同时兼具防火功能的木材加工行业来讲，克服这个难题无疑是个挑战。

“经过反复研究，团队确定了膨胀型阻燃剂主要由磷、碳、氮三种关键元素组成。我们将氮源、碳源、磷源进行接枝聚合，通过化学反应生成一种物质，保证其折射率是一定的，因此透明性非常高。”王勇解释说，一方面，膨胀型阻燃剂遇火膨胀，它刺激化学反应和膨胀层的体积膨胀，第一时间阻断火焰对木材的直接燃烧，对木制品有很好的保护作用；另一方面，膨胀型阻燃剂在燃烧时没有含氮素的烟雾产生，比较环保。

2020年6月，王勇团队研发的水性透明膨胀防火涂料通过饰面型防火涂料的国标检验检测，耐燃时间、质量损失等关键指标都要优于国标。王勇坦言，得知检测结果时团队的兴奋之感至今难忘。

作为从中国科学院实验室孵化出来的项目，如何布局产业化，是王勇下一步面临的关键问题。前不久，王勇走出实验室，带着项目参加了中科院智汇工场举办的“智汇行动”概念验证创新大赛，收获了各方专家的建议，这让团队受益匪浅。

据了解，自2020年正式启动以来，“智汇行动”概念验证创新大赛聚焦早期科研项目成长的“前一公里”，累计覆盖研究所20多个，重点实验室十余个，100余位科研人员参与其中，50个项目参与，最终8个项目获得立项支持，逐渐形成中国科学院原始创新策源地的“蓄水池”。

相变储能

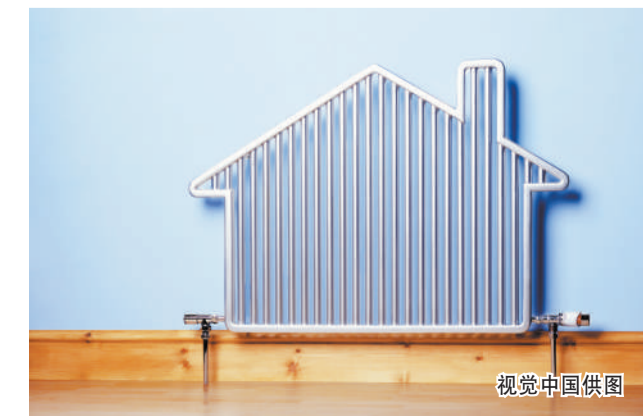
化解生活供暖与减排矛盾

科技日报讯（记者何亮）供暖是北方地区冬季生活的基本需求，减排则是时代发展的刚性要求，当二者发生冲突，高效节能技术（相变储能）或是一种可资借鉴的解决方案。近日，记者在北京嘉洁能科技股份有限公司的展示厅看到，一个由碳纤维发热、相变储热、围护结构隔热、云平台管控组成的电供暖智慧系统正在进行动态演示。发热与储热装置安装于地下，墙面与玻璃窗喷涂隔热材料，通过物联网和移动通信装置与后台服务器连接，形成智慧管控，适用于各类居民与公共建筑。

该系统由北京嘉洁能科技股份有限公司、山东省节能技术研究院、中国建筑材料科学研究所有限公司共同研发完成。北京嘉洁能科技股份有限公司董事长石松林告诉记者，系统在节能供热方面最大的特点是，以碳纤维发热体为发热体，在夜间将“谷电”时段的电能转换成热能储存在相变储能体中，在白天“峰电”时加以利用，实现了“削峰填谷”的效果。同时，系统采用围护结构隔热技术防止热能向下传递和户间传递，达到经济节能、清洁功能的目的。

相变储能原理与水冰在0℃转化是同一个道理，只不过该系统的相变材料由水和盐类化学物质制成，它的相变转化温度点更高，在27℃至29℃范围内进行，可保持近8小时恒温态。而且，控制系统通过与通信技术耦合，将温度、用电功率等监测数据传送到后台服务器，既能保障用电安全，又能实现控温得当，达到智慧与精准供暖效果。

据了解，在建设传统集中供暖主要投资于热源、城市管网、用户末端不同，基于相变储能围护结构隔热的碳纤维电供暖智慧系统的建设投资在于用户末端，其建设成本与前者相当。因符合现代低碳生活方式需求，在以中国工程院院士王浚为专家组组长的成果评价报告上，专家们建议优化系统工艺，制定行业标准，加快市场推广。



视觉中国供图

洪恒飞 本报记者 江耘

利用3D打印技术、特制胶水等仿造指纹，从而破解手机、指纹锁……类似的手法早已从银幕被搬进现实。作为目前使用最广的生物识别技术，指纹识别正面面临攻击花样繁多以及识别率有待提升这两大挑战。

近日，记者从浙江工业大学获悉，该校计算机科学与技术学院梁荣华教授团队与公安部第一研究所合作，研发出了新一代手指内部多模态生物特征采集技术和相应仪器设备，可获得手指皮肤表面下1至3毫米深度的信息，采集到包含内部指纹的高分辨率三维皮下结构信息，既为指纹识别安全增加防御屏障，也解决了指纹信息采集效果不佳等痛点。相关研究成果刊登于《IET图像处理》。

采集三维信息 填补传统技术漏洞

将手指放在指纹识别处，与之相连的显示屏随即映出集内外指纹及汗腺汗孔在内的立体扫描影像——位于浙江工业大学智能感知与系统教育部工程研究中心实验室内，记者看到了团队研制的新型生物特征采集设备样品。

指尖皮肤主要由表皮层和真皮层组成。表

皮层的顶部是角质层，其轮廓提供了外部指纹的详细信息，而在角质层和活性表皮层之间存在着活表皮连接区域，该区域的波动可代表人体的指尖内部指纹。

“指尖内部指纹是外部指纹纹线的来源，不容易被破坏，可作为外部指纹的补充。”团队成员、浙江工业大学计算机科学与技术学院王海霞副教授介绍。

“现有指纹采集/识别技术通过光线反射、电容传感和射频等方式来获取手指表面纹路，对纹路进行图形化处理，根据纹路特征信息进行比较，实现身份认证。”王海霞介绍，但是传统方式采集的指纹只有外部信息，很容易受到诸如灰尘、汗水、疤痕、伤口等环境的影响，加之随着年龄的增长皮肤褶皱增多，导致指纹质量及识别精度较差。

公安部统计数据显示，我国有5%的人口其表皮指纹无法识别。与此同时，指纹识别技术还面临仿造攻击的干扰，假指纹膜制造成本低廉，工艺简单，使得指纹识别的安全性大大降低。

2019年8月，央视《每周质量报告》对指纹智能锁进行检测，28个品牌的32款智能锁可用假指纹膜解锁。此外，国外已有科研人员利用电子产品指纹识别系统的漏洞，借助智能算法尝试研究“万能指纹”。

“当今社会信息化技术快速发展，信息安全与人身安全已经成为国家日益关注的焦点问

题。”王海霞表示，单一体特征或行为特征有时不足以证明个人身份，团队通过采集包含内部指纹的高分辨率三维皮下结构信息，运用人工智能技术对采集数据进行处理，成功获取皮下指纹、皮下汗腺和汗孔等生物识别特征。

王海霞介绍道，这些手指皮下生物特征的优势在于复杂的皮肤内部组织结构特征使得其伪造难度极大，人工伪造的指纹膜只具有表面指纹纹路，并不具有皮下指纹信息、汗腺等信息，可对传统指纹识别技术存在的缺陷进行填补。

攻克四项难点 研发智慧安防利器

“超声波在组织中的衰减较强，还会受噪声影响，对皮下指纹的探测深度有限且成像分辨率不高。”王海霞介绍，由于皮下组织结构的复杂性，光波在其内部经过多次散射，会使得成像中出现散斑。

记者了解到，研究初期，团队总结了大面积皮下生物特征信息成像、强散斑干扰下低质量信息增强、自适应角质层深度差异化提取、跨平台下多模态特征信息采集这四项技术难点。

通过将棱镜、滤光片、荧光光源、工业相机、光纤耦合器等器件精心设计组装，团队在全球范围内首次提出了一种分别利用全内反射（TIR）和光学相干断层扫描（OCT）同步采集外部指纹和内