

# 把芯片藏进一根“线”里

## 复旦团队成功研发“纤维芯片”，成果登上《自然》主刊

长期以来，纤维系统一直依赖连接硬质块状芯片，这与其柔软、可适应复杂变形等应用要求存在根本矛盾，成为整个领域面临的一个重要挑战。

复旦大学彭慧胜/陈培宁团队突破传统芯片集成电路硅基研究范式，率先通过设计多层旋叠架构，在弹性高分子纤维内实现了大规模集成电路（简称“纤维芯片”）。“纤维芯片”信息处理能力与典型商业芯片相当，且具有高度柔软、适应拉伸扭曲等复杂形变、可编织等独特优势，有望为脑机接口、电子织物、虚拟现实等新兴产业变革发展提供关键支撑。这一成果于1月22日凌晨以《基于多层旋叠架构的纤维集成电路》为题发表于《自然》主刊。

青年报记者 刘昕璐

### 提出“纤维芯片”新概念

如何在纤维上实现高效信息处理功能，但又不影响纤维器件柔软、适应复杂形变、可编织等本征特性？复旦团队率先提出了“纤维器件”概念，通过长期攻关，已创建出具有发电、储能、发光、显示、生物传感等功能的30多种新型纤维器件，相关成果7次发表在《自然》上，获授权国内外发明专利120多项。

在持续深耕研究过程中，团队强烈意识到，与智能手机、计算机等各类电子设备的发展路径相似，要实现纤维器件的大规模应用，必须将不同功能的纤维器件集成在一起，形成纤维电子系统，并赋予其信息交互功能。

具有信息处理功能的芯片，是实现纤维电子系统和信息交互功能的核心部件，但过去纤维电子系统的集成范式，普遍依赖连接硬质块状的芯片电路，这与纤维柔性、透气性、轻量化、穿戴舒适性等应用要求存在根本矛盾，极大限制了纤维器件领域发展。

因此，亟须发展与纤维器件一维结构和功能适配的高效信息处理器，这是整个纤维器件领域公认的“硬骨头”和“无人区”工作。团队大胆设想，是不是有可能在柔软、有弹性的高分子纤维内实现高密度集成电路？这一设想挑战巨大，无先例可循。首先面临的一个难题便是，与目前集成电路所用的硅基平面衬底不同，纤维受限其固有的曲面结构和有限的表面积，很难集成足够数量的电子元件，以实现高效信息处理能力。

就此，团队跳出“仅利用纤维表面”的惯性思维，提出多层旋叠架构的设计思想，即在纤维内部构建多层集成电路，形成螺旋式旋叠结构，从而最大化地利用纤维内部空间。

### 初步实现“纤维芯片”规模制备

尽管有了路线图，“纤维芯片”的制备过程仍然面临重重挑战。

目前集成电路产业的光刻制备普遍

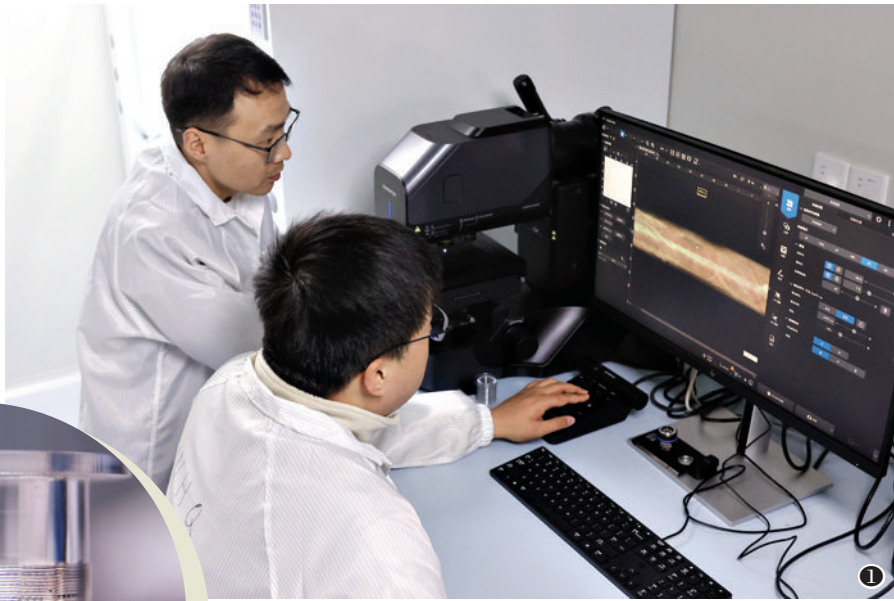
依赖硅晶圆衬底，还很难直接在弹性高分子基底上实现高密度晶体管集成电路的光刻制造。团队通过5年攻关，探索出了系统解决方案，发展出可在弹性高分子上直接进行光刻高密度集成电路的制备路线。

据介绍，其中的关键策略包括：针对弹性高分子表面不平整的问题，采用等离子刻蚀方法，对弹性高分子表面进行平整化处理，将其粗糙度降至1纳米以下，有效满足商业光刻要求，目前光刻精度达到了实验室级光刻机的最高水平；在弹性衬底上设计一层致密的聚对二甲苯纳米膜层，该膜层不仅可以有效抵御光刻过程中各种溶剂侵蚀，还可以与弹性高分子衬底形成交替的“硬-软模量异质结构”，显著减小纤维复杂变形过程中的电路层应变，确保电路结构、功能稳定，从而赋予“纤维芯片”优异的服役稳定性。

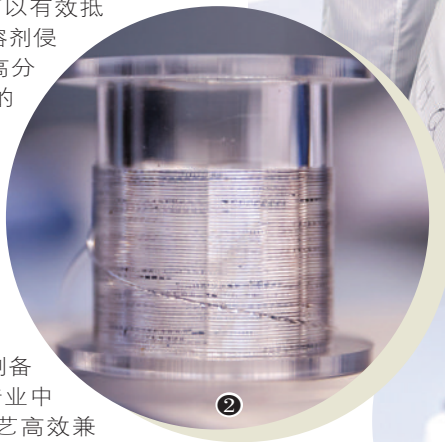
团队所发展的制备方法，与目前芯片产业中的成熟光刻制造工艺高效兼容，通过研制原型装置，设计标准化制备流程，初步实现了“纤维芯片”的规模制备。

到底有什么优势？团队介绍，所制备的“纤维芯片”中，电子元件（如晶体管）集成密度达10万个/厘米，通过晶体管与电阻、电容等元件高效互连，可实现数字、模拟电路运算等功能，如异或门、与非门、或非门等基础逻辑门电路，锁存器等时序逻辑电路，以及与典型心脏起搏器芯片相当的电脉冲调制功能。该“纤维芯片”架构和制备方法还具有普适性，比如，可以集成有机电学晶体管，可完成神经运算任务。

相比于传统芯片，“纤维芯片”还具有优异的柔性，可耐受弯曲、拉伸、扭曲等复



①团队成员正在工作。



②纤维芯片。



③纤维芯片可直接编织构建柔软、透气的全柔性电子织物系统。

本版摄影 青年报记者 施培琦

杂形变，甚至在经过水洗、高低温、卡车碾压后，仍能保持性能稳定。

### 多领域展现独特应用前景

基于“纤维芯片”，团队在单根纤维上实现了供电、传感、显示、信号处理等功能的一体化集成，为纤维系统开辟了全新集成路径。这根像普通纤维一样的纤维系统，无须连接任何外部控制或供能模块，即可自主运行。例如，触摸纤维表面的压力传感位点，通过芯片模块逻辑运算与驱

动适配处理，便可实时调控纤维内有源驱动单元的电流输出，进而控制发光模块的亮暗状态。

这种集成方法摆脱了过去纤维系统对外部信息处理设备的依赖，在脑机接口领域、电子织物领域、虚拟现实领域，多个领域展现出独特应用前景。

展望未来，围绕“纤维芯片”研究，团队期望继续与来自不同学科的学者一起协同攻关，通过合成制备先进半导体材料，进一步提升器件集成密度，提升信息处理性能，满足更复杂应用场景需求。同时，与产业界加强合作，推动实现更广领域高质量应用，为我国集成电路产业自立自强贡献力量。

## 政校携手打造科创服务“朋友圈”

青年报记者 刘晶晶

本报讯 1月21日，由上海市科技创新中心与复旦大学管理学院联合主办的2026“未来之星”创始人训练营让80位科创领域优秀企业家齐聚一堂，创下历年开班规模新高。历经四年深耕，这一政校携手的项目已成为“创·在上海”赛事服务体系中的重要板块，也是政校深化战略合作、共育科创人才的生动实践。

本期学员画像勾勒出硬科技时代创业先锋的鲜明特质，尽显“最强创业大脑”的硬核实力。数据显示，本期80名学员中有96.3%来自硬科技领域，新一代信息技术、生物医药、高端装备三大赛道占比超80%。学员企业在空天通信、脑机接口、量子科技等未来产业布局，与上海培育未来产业同频共振。

精英化的决策层成为创业学员群体

另一大亮点。学员中，硕博学历占比高达83.8%；73.8%为企业实控人。与此同时，学员企业平均规模达1.27亿元，其中25家是高新技术企业，3家是科技小巨人（培育）企业，彰显出强劲的创新活力。基于这一画像，这期课程重点强化了战略规划、资本运作、国际化布局等模块，高度匹配硬科技企业家的发展需求。

这些优秀企业家均来自2025年“创·在上海”大赛获奖企业。“科创生态的构建，从来不是单打独斗，而是众人拾柴火焰高。”上海市科技创新中心主任黄丽宏表示，作为上海连续成功举办十四届的科创赛事，“创·在上海”国际创新创业大赛已成为发掘培育科技型中小企业、构建融通创新生态的重要平台。大赛始终以开放姿态链接各方资源，携手高校、科研院所、金融机构、高质量孵化器、龙头企业等多元化生态合作伙伴，共同打造科创服务“朋友圈”。

## 传唱古韵乡音 赓续文化薪火

——奉贤区柘林成校举行柘林市井歌谣（田山歌）培训班第二期

1月8日至19日，奉贤区柘林成校与柘林镇党群中心联合举办了柘林市井歌谣（田山歌）培训班第二期。田山歌作为本土特色的田山歌形式，融合了地区方言、生活场景与农耕文化，曲调朴实自然，内容贴近民生。培训通过系统教学，让学员不仅学会演唱，更深入理解其文化内涵。

1月19日下午是培训班结业仪式，结业式上短视频串联起温馨的培训时刻：课堂上认真学唱的样子，交流中彼此鼓励的笑容，排练时反复磨合的瞬间……《踏车山歌》《农村新貌稀奇歌》《生活歌》一首首充满乡土气息的田山歌在重新焕发生机。

结业汇演将活动推向高潮。个人表演环节，有的学员声音洪亮，再现了田间劳作的磅礴气势；有的演绎细腻，传递出歌词中蕴含的生活情趣。组合表演同样精彩：两人一组的自由结对，通过问答配合、动作呼应，将田山歌的韵味展现得淋漓尽致。传统曲目在保留了原汁原味的方言与曲调基础上，也融入了学员们的个性理解与情感表达。

综合结业汇演表现评选出7名优秀学员。柘林成校非遗工作室王正荣老师为他们颁奖并点评，学员们



在培训中展现出对田山歌的极高热情与较好领悟力，将成为后续传承活动的骨干力量。

柘林成校校长路春雷为考核合格的学员颁发了结业证书，同时勉励学员们将所学带回社区、融入生活，让田山歌在新时代继续传唱，成为连接传统与现代的文化纽带。

培训班的成功举办，为柘林市井歌谣（田山歌）的保护与传承探索出了一条“教、学、演、传”相结合的有效路径。当系统的培训搭建起传承的桥梁，非遗不再只是记忆中的旋律，而是可触摸、可学习、可创新的活态文化。

文/姚欢华