

一年前,任晓兵入职了位于浙江宁波的甬江实验室。总是面带微笑、穿着一双大头拖鞋的他,给人的印象是温和而松弛的,但这与其果断、坚定的性格也毫不冲突。

问起回国后的感受,任晓兵用他一贯不急不缓的语调回答:“我看到了一家世界级科研机构的雏形。”

近日,《科学》发表了任晓兵团队的突破性成果。他们将一类经典且价格低廉的多晶压电陶瓷的核心性能指标提升十多倍,创制出“超级压电陶瓷”,性能显著超越了所有已知的压电材料。

任晓兵谈起这项耗时近17年的工作,更像在描述一场漫长的“游戏”:“科研的快乐就像打游戏,非常有趣。中间经常踩坑死掉,只能从头再来,过了第一关,还有更难的第二关……这种感觉是最刺激的。”游戏可能会经常“死掉”,但在他看来,“做基础研究,永远不会失败”。

## 一场长达17年的“远征”

压电材料是智能时代的核心功能材料之一,它能够实现“力”与“电”的相互转换:当你按压手机指纹识别模块时,是它把机械信号转换为电信号;医院B超探头捕捉体内内貌,靠它实现成像;高端相机镜头自动对焦、光刻机实现纳米级移动,也需要它提供支持。

衡量这项“敏感”与“力量”的关键指标,称为压电系数。其数值越高,材料的力电耦合转换性能越优异。

然而,过去70余年,这项指标的发展几乎陷入停滞。主流压电陶瓷的性能始终定格在200~600pC/N(皮库仑/牛)这一区间。20世纪80年代出现的弛豫压电单晶,性能虽可达2000pC/N的量级,但造价堪比黄金,且脆弱易碎,难以大规模应用。

打破这一僵局的理论曙光出现在2009年。任晓兵在《物理评论快报》上提出,在压电材料的相图多相交汇处,存在一个“三临界点”,即热力学奇点。此处各相间能量壁垒消失,材料对外场的响应理论上趋于无穷,堪称性能的“珠穆朗玛峰”。

然而,该理论长期停留在猜想阶段,难以验证。“这就好比你知道珠峰在那里,但你一到半山腰就缺氧冻死,永远登不了顶。”任晓兵打了个比方。

从2009年到2023年,任晓兵团队花十余年时间,用不同材料体系反复验证那座“珠峰”是否真的存在。他们观测到性能确实沿着理论预言的“山脊”不断攀升,一旦接近居里温度,材料性能骤然下降,如同进入一个性能“禁区”。

2023年,任晓兵团队做出根本性思维转变,不再问“如何绕过这个禁区”,而是问“如何让材料在这个禁区存活并发挥性能”。

答案是开创压电器件的“主动工作模式”。首先,把材料组分精确设计到理论预言的那个点上;其次,把温度精确控制在理论范围;最后,施加一个微小的偏置电场,持续引导材料内部的电偶极子一致排列,抵消热扰动的破坏。

任晓兵向《中国科学报》解释道:“这就像在珠峰上建立一个营地。先找到具有卓越能力的‘队员’,然后构建强大的‘保温服和供氧系

统’,让队员始终处于最佳状态,进而到达更广阔领域。”

基于该模式的主动压电器件,在室温至350°C范围内保持压电系数大于6000pC/N的稳定输出,性能原则上还可延伸至极低温或超高温,比传统被动压电材料高出一个量级以上。

从最初提出理论到最终完成实验验证,前后历时近17年。而这一切的实现,离不开任晓兵横跨半个世纪的“科研游戏”。

## 从厨房“化学实验室”起步

任晓兵的科学探索之旅,始于1976年内蒙古包头家中的厨房。

那一年他10岁,被姐姐中学化学课本中的实验插图深深吸引。他用游戏盆当水槽、药瓶



母亲保存的任晓兵少年时代“厨房实验室”部分化学及无线电装置。

作烧杯,找来木片和蜡烛,完成了人生中第一个化学实验——证明氧气占空气的1/5。当蜡烛缓缓熄灭,罩着蜡烛的瓶子里水面上升到约瓶高1/5处,他“噌”一下跳起来,冲出去喊父母来看。

自此一发不可收拾。家中的盐、醋、明矾、甘油、白酒成为任晓兵的第一批“化学药品”,空玻璃瓶、用完的圆珠笔芯、自行车气门芯软管、加热食物的酒精炉,都成了实验仪器的“平替”。他在家中厨房建起了自己的“化学实验室”。

这种“动手得真理”的狂热贯穿了任晓兵的成长历程。从最简单的单二极管收音机到7个晶体管管的复杂电路,再到自制电子琴和脉冲近视治疗仪,甚至高考临近他仍在制作电路板,只为操控那艘近1米长的自制舰船模型。

16岁考入西安交通大学后,任晓兵的动手能力有了更大的用武之地。大三寒假,任晓兵从学校带回一包参硼剂,找到包头链条厂、对厂里一种极易磨损的模具进行表面渗硼硬化处理,最终将模具寿命提高了70倍。

那是一个少年发明家的黄金时代。但研究生

# 任晓兵 做基础研究,永远不会失败

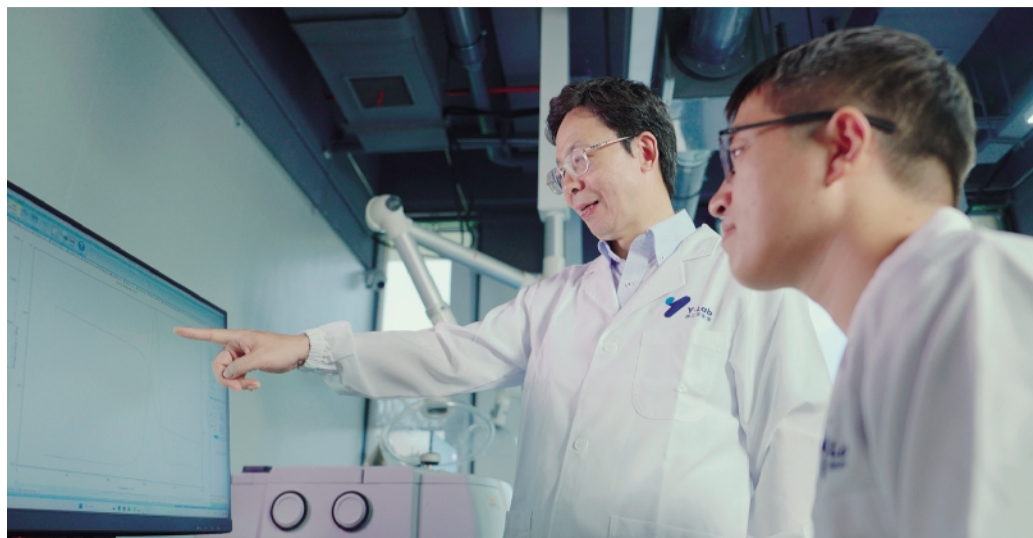
■本报记者张楠

一年级成了改变他科研志向的转折点。导师分配给他一个理论性课题:高碳钢马氏体低温时效的机理。彼时可参考的文献寥寥无几,实验设备亦十分匮乏。

一筹莫展之际,一门专业课“合金热力学”打开了任晓兵的思路。没有实验条件,那就试试理论计算。1年后,相关成果发表于国际金属材料领域的核心期刊。

这次经历让任晓兵深刻体会到基础研究的独特魅力——“不同于造出一个实物,而是发现一条新规律的智力愉悦”。从此,他的科研志向从直接造福人类的“发明家”,转向探索科学真理的“科学家”。

此后,任晓兵先后通过西安交通大学—日



任晓兵(左)和团队成员。

甬江实验室供图

本大阪大学联合培养博士项目,系统掌握了先进的材料表征技术和高等相变理论;又在南京大学将研究视野拓展到铁电材料。这些学术经历,为他日后的系列重要发现奠定了坚实的基础。

1996年,任晓兵前往日本筑波大学开展JSPS(日本学术振兴会)博士后研究。在筑波大学的4年间,他挑战了一个困扰学界60余年的难题——马氏体弹性之谜。

当诸多学者专注于显微观测未果时,任晓兵跳出传统思维框架,在《自然》发表了点缺陷短程有序对称性理论,完美解决了这一学术界难题。美国物理学会前会长Krumhansl称他为“马氏体地平线上跃出的新星”。

2004年起,任晓兵在日本国立材料研究所(NIMS)独立主持实验室工作,迎来了基础研究生涯的爆发期。其间,他发现了兼具晶体有序和非晶体黏弹性行为的“应变玻璃”,开辟了固态物质研究的新领域;合著的形状记忆合金综述论文,成为该领域一个多世纪以来引用排名之最;他打破“无铅必低效”的行业魔咒,预测并发现首例性能超越传统含铅材料的无铅压电陶瓷。

过往深厚的积淀,恰恰给了任晓兵直面那个大胆猜想的底气——而那个萦绕多年的“理论预言”,那座“性能珠峰”,仍有待验证。

## 好奇心是最好的攻略

2024年5月,任晓兵受甬江实验室主任崔肇邀请,第一次到访浙江宁波。彼时的甬江实验室尚在租用的临时厂房中过渡,可在他眼里却是“处处生机,满满活力”。餐厅墙上悬挂着多位诺贝尔奖得主的画像,透露出这家新兴科研机构雄心。

半年后,任晓兵辞去NIMS首席研究员职位,全职加入甬江实验室。怀揣着“from lab to fab”(从实验室到时尚前沿)的梦想,他迅速组建起先进智能材料研究中心,目标是建立一个从基础研究到材料应用技术的全链条一流研究实体。

谈及本次发表的成果,任晓兵表示:“将多年的科研成果转化为实际应用,服务社会,这不仅科技创新的本质,更是我儿时的梦想。”

# 杨慧:让中国生物医药“制造”变“智造”

■本报记者刁雯璿

“十年前,通常是欧美国家的企业做药物技术研发,技术成熟后在中国应用,从而开展药物制造。现在反过来了。”在上海举办的一场国际学术会议上,一位中国女科学家笃定而自信地说。

这位报告人是中国科学院深圳先进技术研究院(以下简称深圳先进院)研究员杨慧。她讲述了团队的原创新技术体系如何“反向输出”到欧洲企业的药物研发和生产场景中的故事。

杨慧的这份底气,源自团队在微纳操控与生物检测领域十余年的深耕。团队不仅实现了微流控芯片对微量液体的精准控制,还开发出可高灵敏解析复杂样本的生物传感器,同时将系列技术成果应用到欧洲的纳米药物智造中。

与多数中国企业“瓜熟蒂落”式的成熟技术出海转让不同,杨慧团队的技术在尚未完全成熟时就被海外合作者“提前预订”。如今,杨慧团队已与“欧洲药谷”的多家生物医药巨头围绕骨关节炎、抗癌药物等方面开展多中心临床试验,合作规模超千万元。

## 原创技术“反向输出”海外

2022年初,杨慧收到了一封来自比利时的邮件,来信人是比利时知名药企ConvEyXO的董事长。对方直言,希望能得到团队在外泌体药物递送技术方面的专利授权,并将其运用到药物的生产与制造中。

那时,杨慧回国加入深圳先进院已有4年时间,她带领团队在先进检测技术领域取得了多项原创技术成果。在外泌体纳米技术方面,团队借助微纳生物芯片的精准操控,成功将治疗药物等外源物质高通量、高效率地“装入”外泌体内部,用以发现和开发突破性的药物运载工具、治疗和诊断产品。

杨慧团队进一步研发的新型载药平台可以满足核酸、蛋白、多肽和小分子等不同类型的药物分子在外泌体上高效、高通量的装载递送需求,应用在肿瘤、自体免疫疾病、神经退行性疾病和传染病等领域。其核心技术成果已完成产业化。

面对合作方抛来的橄榄枝,杨慧没有立刻答应,而是委婉地回复:“技术还有待发展,应用场景太窄。”当时团队孵化的中科佰公司刚刚

成立,她不想为了短期合作让团队偏离技术研发的主线。

“如果没有科研资金的支持,一定不现实。但在争取资金时,你面向的技术体系可能应用在多个场景上。不跑偏、保持专注,是非常难得的。”杨慧说。正是因为这种克制,让团队在科研攻关上“沉下心”,潜心打磨技术。

这并没有打消对方的合作意愿。1年后,这家欧洲公司的高管团队专程飞到深圳,与杨慧团队签下深度战略合作协议。这成为深圳先进院建院以来首个专利出海项目。

“我们并非就单一产品或技术进行合作,而是将团队自主研发的微纳芯片、自动化载药设备及生产工艺的整套生物医药平台型‘智造’工具,应用与合作方的药物制造和研发流程中。”杨慧介绍。双方基于杨慧团队开发的核心技术,在药品研发、临床试验和技术推广等领域展开深入合作,进一步推动高端生物制药工具和创新的医疗器械的加速应用。

## 回国追寻更大的可能性

杨慧在瑞士联邦理工学院完成博士和博士后工作,主要从事生物医学微纳系统的研究。后来,她加入欧洲微电子研究中心(IMEC)担任生物特聘科学家,聚焦微流控生物芯片与智能传感器的研发工作。

作为全球纳米电子与数字技术研发与创新中心,IMEC是典型的工业研究院,英特尔、AMD等科技巨头每年会在这里投入上亿美元的固定研发经费,只为在先进制造上“快人一步”。

任职期间,杨慧深度参与两个重大科技攻关项目的研发和管理工作。“在学生和博士后阶段,Make it work(行得通),发论文是最大的追求。”杨慧回忆,“但在IMEC,我真正理解了‘产品’的概念。例如研发一块能够同时测量20多种血液标记物的芯片,要经过上百次的测试,良率、成本、可重复性是产品成功的关键指标。”

在IMEC的中后期,杨慧开始感到不满足:“技术似乎没有那么新了,更多是在已有体系上做微调。如果不做出改变,我几乎能看到自己退休的样子。”那时,尽管国内外在生物医药领域还存在一定的差距,但国内科技发展迅速,对人才支持

力度大,这也促使了杨慧在2017年选择回国,加入同样定位工业研究院的深圳先进院。

在深圳先进院的支持下,杨慧的实验室建设和团队组建很快步入正轨。用杨慧的话说,团队的科研“路线图”分为两步走:一是瞄准精准医疗,对生物分子开展高精度测量分析;二是创新药物递送技术,为药物创制提供底层支撑。“前者解决‘怎么测’,后者解决‘怎么治’,串联起来,就是对全生命周期的健康管理。”杨慧表示。

很快,杨慧团队就取得系列研究成果。在先进检测技术领域,他们从血液处理到多指标检测,打出了一套“组合拳”。样本前处理环节,开发出了高效无源血浆分离技术,仅需1分钟就能处理3毫升全血,分离效率达99.9%,为后续多靶标并行检测扫清了第一道障碍;在检测平台上,团队自主研发的便携式微流控化学发光免疫分析平台TOI,仅用1微升指尖血,40分钟内便可完成多项抗体检测;核酸检测方面,团队实现了微量样本中多种核酸靶标的高通量并行检测。

如今,这些技术成果已在多家三甲医院开展临床应用验证,推动精准检测从实验室走向临床一线。

## “沉得住气”的技术“靠得住”

在深圳先进院C栋4楼,有一片特殊的实验空间。研究人员进门要穿净服,经过风淋室,才能进入实验室。这里是杨慧团队的实验室,也是深圳市智能MEMS传感器中试基地平台,能够完成各类生物传感器及生物芯片的“产品概念设计—制造加工—性能测试—设计优化—制造工艺稳定性确认—产品制程输出”全闭环研发流程。

实验室里,光刻机、镀膜机、刻蚀机,多数是国产设备。实验室外,展示着杨慧团队自主研发、参与创制的各类传感器芯片样品、微电极、微流控芯片等。这里的每一块传感器产品,背后都有一套完整的工艺方案。

“传感器芯片做在8英寸的晶圆上,能够实现更多的数量和更大的价值,但精度、良率、稳定性等却比做在科研实验室常用的4英寸晶圆上更难把控。晶圆越大,工艺要求就越高。”杨慧说道,团队要做的,便是衔接“小规模研发”和“大规模量



杨慧

深圳先进院供图

产”的中试体系,让科研成果从实验室走向市场。

这个中试平台,杨慧团队花了将近8年的时间摸索和打磨。“我是个急性子,遇到事情当天一定得解决。但在长期主义上,我能沉得住气。”杨慧说。正是这份“沉得住气”,让团队具备了从“实验室原型”到“中试验证”的全链条工程化能力。

2025年,深圳先进院与安徽芜湖市签署合作协议。依托杨慧团队的技术支撑,双方将打造一个投资约1个亿的智能传感器中试平台,支撑芜湖传感器产业集群发展,目前已启动建设。在合作中,杨慧团队将进一步研究和开发先进智能传感器的核心技术及微纳工艺,通过中试验证,让先进检测技术真正落地。

目前,杨慧团队已有近80人规模,涵盖生物传感器、化学传感器、光电传感器、穿戴式传感器等多个研究方向。“我们以大目标为导向,凝聚团队力量,做有组织的科研;在成果转化上,重视专利质量而非数量,强调落地应用。最重要的是,把年轻的科研工作者团结好,让大家朝着共同目标前进。”杨慧说。



## 看“圈”

栏目主持:雨田



张礼和  
获中国化学会终身成就奖

近日,在重庆举行的中国化学会第35届学术年会上,中国科学院院士、北京大学药学院教授张礼和获中国化学会终身成就奖。

张礼和是我国化学生物学与核酸药物研究领域的战略科学家,长期致力于核酸化学、抗肿瘤与抗病毒药物研究,融合化学、生物学与药理学多学科进展,逐步构建起以核酸化学及核酸药物为核心的研究体系。他主持筹建天然药物及仿生物药国家重点实验室,主导制定我国首个化学生物学学科发展规划,推动该领域列入国家科技计划重点方向。

中国化学会终身成就奖于2017年设立,是面向中国化学工作者设立的最高奖项。



王天友  
任天津大学常务副校长

日前,天津大学官网更新信息显示,王天友已任天津大学党委常委、常务副校长。

王天友在天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室学习并获得硕士和博士学位,2021年10月出任该实验室执行主任。在行政管理方面,他历任天津大学机械工程学院副院长、院长,科学技术发展研究院院长,2023年1月任天津大学副校长。

王天友长期致力于内燃机高效清洁燃烧的理论与技术攻关。2017年,他作为主要完成人的“内燃机气流快速检测与评价技术及应用”项目获得国家技术发明奖二等奖。