

在香山科学会议第 789 次学术讨论会上, 专家们共话——

“原子级制造”时代有哪些关键问题？

■本报记者 赵宇彤

苏州的午后, 阳光炙热。在一座不起眼的灰白色大楼内, 长达 227 米的银色超高真空管道, 互联起 50 余台大型设备, 研发人员正有条不紊地开展实验。

这里是中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所（以下简称苏州纳米所）的 NANO-X 纳米真空互联实验站, 也是地球上最接近月球真空环境的大型科研场所。

近日, 在香山科学会议第 789 次学术讨论会期间, 数十名与会专家走进纳米真空互联实验站, 参观其在信息材料与信息器件领域的突破性进展。

中国科学院院士薛其坤表示: “未来信息器件如何在前期预研的真空互联实验装置上实现原子级制造, 其中有很多科学问题和关键技术值得讨论。”

本次香山科学会议聚焦“‘信息器件原子级制造实验装置’关键科学技术问题”的主题, 来自物理、化学、材料、人工智能(AI)、精密仪器等领域的专家齐聚一堂, 围绕原子级制造核心科学与技术挑战开展深入研讨。

小原子、大装置

原子是构成物质世界的基本组成单元, 直径通常在 0.1 纳米量级, 不到人类头发的 100 万分之一。原子级制造是将原子精准操控、按需构筑, 创制特定功能的材料或器件, 是我国具有战略性、引领性的未来产业之一。

“原子级制造有望颠覆传统制造范式, 引发基础科学突破以及产业技术变革。”苏州纳米所研究员、NANO-X 纳米真空互联实验站主任张珽介绍, 尤其是集成电路芯片中的核心信息器件工艺已经达到了 2 纳米节点制程, 正在向“原子级制造”时代迈进。

然而, 原子级操控对设备、系统以及基础设施装置的要求极高, 需要尽最大可能排除外界环境因素的干扰。

“传统常规超净间的大气环境已无法满足需求, 特别是氧、碳、水气分子等对原子级材料和器件性能带来致命的不利影响。”张珽表示, 在超高真空条件下, 材料的本征物理化学性质



NANO-X 纳米真空互联实验站。主办方供图

得以长时间保持, 有望制造出接近理论极限性能的器件。专家们一致认同超高真空互联技术已成为原子级制造不可或缺的条件。

“然而, 当前国内外缺少针对原子级制造的系统性基础设施。”中国科学院院士、纳米真空互联实验站学术委员会主任迟力峰告诉《中国科学报》。纳米真空互联实验站将建设 AI 赋能的超高真空互联的原子级材料创制、原子级器件加工和原子级高分辨分析检测三大平台, 以期为我国下一代集成电路等信息器件的发展创新构建原子级制造新技术路线, 在原子级制造重大科学前沿领域形成前瞻性的战略布局和系统突破。

张珽介绍, 作为基础设施的预研, 纳米真空互联实验站已聚焦 III~V 族纳米材料和器件、高温超导材料和器件、表面催化和纳米能源、二维材料与器件等领域的共性难题, 开发了多学科交叉的、可控条件下的新技术、新工艺、新材料。

同时, 工艺技术和工程实践的突破也带动科学研究的深化。“原子级制造的机制不再属于经典力学领域, 而是量子力学的范畴, 需要同步开展科学研究的探索。”迟力峰说。目前, 纳米真空互联实验站已开展合作课题 780 个, 服务超 280 家用户, 取得了系列重要科研成果, 申请核心专利 380 项, 已授权 106 项。

吹响关键技术“冲锋号”

“当前信息器件原子级制造研究领域仍面临原子级材料按需创制、高时空分辨动态表征、原子级器件精准加工三个关键问题。”张珽表示, 这也是本次香山科学会议的焦点。

在材料方面, 随着集成电路进入 2 纳米技术节点, 摩尔定律逼近物理极限, 研制面向 1 纳米及以下制程的下一代集成电路信息材料与器件成为全球焦点。

“原子级二维半导体材料是开发 2030 年‘后摩尔时代’芯片最受瞩目的材料体系之一, 其晶圆级精准创制及异质集成是实现这一目标的关键。”武汉大学物理科学与技术学院院长何军指出。

二维半导体凭借其原子级厚度和卓越的电学性能而广受关注, 但受制于工艺精度与均匀性的协同良率控制, 能否将其应用于集成电路存在争议。

北京科技大学教授张铮基于长期二维半导体材料研究, 分享了 2 英寸单晶单层二硫化钼高质量生长方面的工作, 并建设了 6 英寸二维半导体材料与原型器件试验平台, 充分验证了二维半导体材料在集成电路应用的可行性。

但实际上, 任何晶体都存在不完美的地方。其中, 半导体点缺陷是晶体中原子尺度的局部缺陷, 影响材料的电子性能和结构稳定性, 对半导体表征分析提出更高要求。

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究员申德振基于长期观察研究, 分享了单原子级分辨的拉曼振动光谱表征分析技术, 并进一步探寻该技术在硅基半导体原子制造器件与芯片检测、单原子尺度精准的半导体量子器件制造等领域的发展前景。

在信息器件原子级制造方面, 中国科学院微电子研究所研究员汪令飞以跨尺度器件原子级 TCAD（半导体工艺模拟及器件模拟工具）技术为例指出, 真实器件越小, 对其仿真模拟越困难, 多尺度下的物理机制与协同优化方法越复杂, 需要探索在尽可能降低精度损失基

础上提升仿真效率的方法。

AI 赋能原子级制造

“随着技术的发展, 研究范式已从实验、计算、理论的‘三足鼎立’变为‘四分天下’, 数据成为新增的关键变量。”中国人民大学物理学系吴玉章讲席教授季威表示。

当前, 基于人工设计思路或融合生成模型的高通量计算仍是发现和创制新材料的主要驱动力。“再辅助以实验结果的主动学习, 有望系统回答新材料创制的核心问题。”季威说, “在材料创制和器件构筑过程中, 机器学习原子间势函数已成为提高模拟效率、延长模拟时间、扩展模拟尺度的关键技术工具, 以前是先实验、再计算, 而伴随 AI 技术的发展, 未来将变成先计算、再实验。”

中国科学技术大学化学与材料科学学院教授罗毅则指出, 原子级制造将重塑半导体、能源等产业格局, 但目前仍存在超大规模材料结构、组分精准构筑与功能优化等关键瓶颈, 阻碍着新材料创制。

“AI 机器化学家系统可为此提供数据比特驱动的解决方案。”罗毅表示, AI 模型的精准度依赖于数据的规模和精度。机器化学家系统兼具文献读取、合成、表征、性能测试、机器模型建立和优化等能力, 可以全自动完成全流程科研任务, 并通过实现高通量数据采集, 建立起高质量、全生命周期的数据库, 推动原子级制造向智能化制造转型。

罗毅以原子层沉积和单原子催化剂高通量筛选为例, 介绍了 AI 机器化学家的基本形态和工作方式。“要构建‘知识 - 数据 - 算法 - 算力 - 实验’全链路的智能基础设施。”罗毅解释道, 其中包括集中式智能平台、分布式创新设施, 力争在新材料、能源催化、生命健康等领域解决相关原子经济性问题的。

“在高分子材料设计中, AI 能够基于全量特种高分子知识库, 实现跨类别推荐, 超越人类专家实现‘材料牵引’。”中国科学院化学研究所研究员江剑表示, AI 要谨防“大肚子模型”, 即模型大, 但真实数据少, 极易导致严重的幻觉问题。



杨东元在实验室用气相色谱测产物纯度。受访者供图

按图索技

聚酯新材料核心原料实现“中国造”

本报讯(记者李媛)近日, 西安科技大学化学与化工学院教授杨东元团队与中国科学院青岛生物能源与过程研究所、榆林中科洁净能源研究院研究员徐国强联合开发的“煤基乙醇制 1,3- 丁二醇绿色合成新技术”通过中国石油及化学工业联合会鉴定, 达到国际领先水平。

杨东元介绍, 该技术已完成了 1800 小时中试, 实现了长周期、安全、稳定运行。现场考核结果表明, 以浓度 80% 的乙醛为原料, 在反应压力 0.3 至 0.4 兆帕、45 摄氏度工况条件下, 乙醛转化率 39.2%, 3- 羟基丁醛选择性达 90.1%。同时, 能耗和排放与传

统液体碱催化工艺相比大幅下降。

徐国强自豪地说: “这个项目是我国煤化工领域又一项开创性成果, 可有效拓展乙醇产业链, 实现高附加值延伸。”

据悉, 1,3- 丁二醇是一种用途广泛的高端化学品, 可用作化妆品、润湿剂、增塑剂、聚酯树脂等生产原料, 近年来我国需求量逐年增加, 主要依靠进口。国外生产方法主要采用传统液体碱催化工艺。该成果与国外技术相比具有反应条件温和、选择性高、过程能耗低、不产生废盐等优点, 1,3- 丁二醇产品可满足电子和化妆品应用要求。

对于整个科研团队来说, 这个项目的难

点在于催化剂。“以前, 这类催化剂被国外垄断。我们当时开发的催化剂寿命短、催化活性较低。”徐国强说。

后来, 杨东元团队通过不断研究试验, 研发出新型固体碱高活性、高稳定性催化剂, 成功解决了煤基乙醇制 1,3- 丁二醇绿色合成的关键难题。

目前, 团队已联合北京石油化工工程有限公司西安分公司完成万吨级工艺包开发及可研报告编制, 正在推进该技术的工程示范装置建设。“不久的将来, 万吨级工程示范装置将在陕西榆林落地, 届时可彻底打破国外在该领域的垄断。”杨东元说。

“吃光就能干活”的“超级眼”诞生

■本报实习生 杨雨辰 记者 李晨阳

上海外滩的灯火映照跨年的人潮, 复旦大学光电实验室里, 一名博士生正专注地捕捉着纳米材料界面微弱且复杂的分子振动信号。当终于获得期待已久的数据时, 她立即给导师张荣君发消息: “老师, 我获得了材料清晰的层间相互作用信号, 可以充分支撑我们的推断, 这真是我最特别的跨年礼物!”

近日, 复旦大学信息学院教授张荣君团队在《激光与光子学评论》发表的最新研究成果显示, 他们研制的二维过渡金属硫族化合物(TMDs)合金异质结器件, 像“超级眼”, 有两样看家本领: 一是“眼神”超好, “看得宽”, 从紫外线到近红外线都能看见; 二是“吃光就能干活”, 不用外接电源, 仅凭光照即可稳定工作。

这项成果的背后, 是张荣君团队长期的坚持。在二维材料研究这个全球热点领域, 张荣君团队选择了一条艰难但有价值的路径——从被动接受材料的固有属性, 迈向主动设计与调控界面行为的新阶段。

给光电探测器装上“超级眼”

2004 年, 石墨烯作为第一种被成功分离和验证的二维材料, 由英国曼彻斯特大学安德烈·海姆与康斯坦丁·诺沃肖洛夫通过机械剥离法首次获得。两位科学家因此获得 2010 年诺贝尔物理学奖, 掀起了二维材料研究的全球热潮。

但二维材料光电探测器这一“超级眼”有个致命伤: 光变变的瞬间, 电荷“产生得快, 消失得更快”, 就像昙花一现; 同时分离效率低, 大部分能量都白白浪费了。

“我们当时在文献调研和实验中反复确

认, 不解决这两个根本问题, ‘超级眼’的潜力就永远无法释放。”从硕士阶段就投身此项研究的论文第一作者、复旦大学博士生丁依凡回忆道。

为此, 科研团队连着开了几场组会。“大家都憋着一股劲, 想把这两个问题彻底解决掉。”张荣君说。

光电探测器负责捕捉光信号并转化为电信号, 广泛用于成像、通信、传感等领域。但是, 传统探测器的“眼神”不太好: 有的像需要一直盯着“充电宝”的近视眼, 离了电就罢工; 有的像“色盲”, 只能识别少数几种光; 还有的得了“夜盲”, 一到晚上在微弱光线下根本看不清。

“这样的‘眼睛’肯定满足不了未来智能设备的需求。”张荣君笑道。

如今, 二维材料光电探测是学界和产业界的热点领域, 大家都期待它能突破传统技术的局限。在这项研究中, 团队打出了“合金工程 + 能带工程”的组合拳, 构建了 MoSSe/MoSe₂ 异质结结构, 形成内置电场。这个内置电场就像隐形的推手, 能高效地把光生电子和空穴分开, 显著提升载流子分离效率, 相当于同时解决了“电荷跑不动”和“电荷容易丢”两个难题。

“如果这个技术能落地, 应用场景会特别多。”张荣君畅想道, 比如给人工智能(AI)机器人装个“超级眼”, 它在复杂光照下也能精准识别; 在偏远地区装无人值守的传感器, 不用换电池也能实时监测环境; 在 6G 通信里做安全探测, 让数据传输更可靠。

目前, 团队已围绕这项技术进一步开展研究。他们沿着能带工程这条核心技术路线, 研发出的器件除了“自供电”和“看得宽”, 还能“辨偏振”, 将多功能集成的愿景变为现实。团

队希望尽快推动它从实验室走向实际应用, 走进更多人的生活。

从“做得出”到“做得好”

“连续半个多月做的器件都不合格, 废弃的硅片堆了满满一盒, 当时真的想过要不要暂时停下来。”丁依凡回忆起材料制备阶段的困难时说。

那段时间实验室格外安静, 只有仪器运行时微弱的嗡嗡声。她和同学们每天轮流趴在显微镜前, 手指反复旋转旋钮以精确调整样品位置。长时间的聚焦让眼睛酸胀发红, 指尖也因为持续受力而变得红肿。可一旦操作中出现丝毫偏差, 二维材料就会撕裂或在界面产生气泡——这些纳米尺度的缺陷, 足以让整个器件前功尽弃。整个实验, 容不得半点马虎。

更大的挑战来自器件性能的优化。“一些关键性能指标始终达不到理想水平。”丁依凡说, “后来通过系统的理论分析与样品表征, 我们发现电极接触和界面处的微观污染物是主要症结。”

在张荣君的指导下, 团队引入退火工艺并优化电极设计, 从每一个细节着手提升器件性能。“这段经历让我们深刻理解, 在纳米尺度下, 任何细微的污染或缺陷都可能对器件产生致命影响。我们也从最初只追求‘做得出’, 逐渐懂得为何做、如何做好。”丁依凡说。

在攻坚的日子里, 团队成员间的互助从未间断。师兄会将材料转移的技巧整理成文档发在群里, 师姐会手把手教了依凡他们操作空间分辨光电流谱仪。张荣君时常给学生们打气: “实验室里没有单打独斗, 解决每个人的困难是大家的共同目标。”

如今回望, 那些与微观世界较劲的日夜, 成了大家最珍贵的记忆。“张老师常说, 科研不只是为了出成果、发论文, 更是 to 要培养能扛事、懂机制的开拓者。”丁依凡笑道。

“指对方向、指准路”

2004 年, 正在德国从事洪堡学术研究的张荣君, 密切关注着石墨烯材料科学的重要里程碑。

“石墨烯的发现让我看到了一个全新的研究维度。”他回忆道, “当时我就意识到, 二维材料在光电领域蕴藏着巨大潜力, 值得投入整个科研生涯去探索。”从那一刻起, 将二维材料的光电潜力挖透、挖深, 就成了他坚定不移的科研初心。

从最初系统研究二维过渡金属硫族化合物的光电响应机制, 到近年来带领团队在异质结能带调控与界面工程中实现突破, 他一步步将基础认知转化为具有创新功能的探测器原型。

谈及未来, 张荣君的规划很明确: 一方面带领学生继续拓展二维材料的应用边界, 把探测器的响应波段再拓宽、性能再优化; 另一方面推进医工结合, 让科研成果真正用于医疗检测、柔性电子等领域。

张荣君认为, 光电探测技术不仅是学术热点, 更是产业升级、国家战略安全的关键环节。“我最欣慰的不是发表了多少论文, 而是看到学生既能深入机理又能面向实际, 成为国家科技创新体系中担当重任的接班人。将经验传递下去, 指对方向, 指准路——这是我们这一代科研人的使命。”

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1002/Ipor.202501936>

集装箱

鲑鱼智能渔情预报系统“苍鹭”上线

本报讯(见习记者江庆龄)近日, 由上海海洋大学教授陈新军团队牵头, 中水集团远洋股份有限公司、中水集团舟山远洋渔业有限公司共同研发的“苍鹭”人工智能(AI)鲑鱼渔情预报系统正式上线。

据悉, 该系统融合了海洋遥感、地理信息、AI 与大数据等技术, 可面向全球大洋性鲑鱼作业海域, 提供未来 5 天精准的渔场预测服务, 以及下一年度资源丰度预报, 填补了我国在远洋鲑钓渔业智能预报领域的空白。

“苍鹭”具备多端覆盖、适配全场景的优势, 用户可通过相关终端随时获取近 20 个与安全高效生产相关的海洋要素数据; 助力鲑鱼中心渔场预报与中长期资源量精准预测, 改变了传统鲑钓捕捞“凭经验”、转移渔场较为盲目的局面; 系统还自带了船位监控、越界预警功能, 可有效避免海域纠纷、显著提升渔业管理效率; 同时采用“一张图”形式, 每日定时自动发布作业海域环境、船位、渔情预报等信息, 全方位助力远洋鲑钓渔业高质量发展。

据了解, “苍鹭”系统已在中水集团舟山远洋渔业有限公司的北太平洋鲑钓渔船上投入使用。截至 2025 年 10 月底, 单船产量可达 500 吨左右, 而此前该区域渔船历史年均产量为 330 余吨。同时, 在“苍鹭”渔情预报系统的帮助下, 北太平洋西经海域鲑钓作业渔汛周期首次延长至 11 月。

陈新军表示, “把课堂搬到海上, 把实验室建在船上”, 是学校长期以来以来的优良传统。未来, 团队将持续攻关, 重点研发远洋鲑钓数字孪生系统、鲑钓机器人和 AI 大智能体模型, 促进远洋鲑钓渔业向智能化发展, 为全球鲑鱼产业可持续发展贡献“中国方案”。

2025 年人工智能开发者大赛 近半团队无技术背景

本报讯(记者赵广立)近日, 在 2025 年科大讯飞 1024 开发者节上, 科大讯飞董事长刘庆峰披露了 2025 年人工智能(AI)开发者大赛的最新成果: 本届大赛吸引了来自 17 个国家、325 座城市的 36898 个团队参加, 涌现出 4622 个垂类智能体。值得关注的是, 其中近一半的参赛团队没有技术背景, 充分体现了 AI 开发门槛降低、“人人都是开发者”的趋势。

据了解, AI 开发者大赛是由科大讯飞自 2018 年发起的全球性人工智能竞赛平台。从 2018 年首届赛事至今, 大赛共建 468 道高质量赛题, 已累计吸引 14.5 万支团队角逐。今年的赛事以“大模型深化应用”为核心, 在讯飞星火大模型的技术底座上构建起产学研用全链路创新生态。

刘庆峰还指出, 科大讯飞联合发起的“AI+”专项赛赛于今年第十九届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛首次开赛, 目前已成为首个获共青团中央和教育部双认证的大模型国家级赛事。

首个互联网顶层基础资源 韧性强化技术试验完成

本报讯(记者朱汉斌)近日, 鹏城实验室与中国电信研究院协同攻关, 成功完成业界首个涵盖域名、码号、证书三类互联网顶层基础资源的韧性强化技术试验。记者获悉, 该试验基于“中国电信云网融合技术中试验证平台”的实网仿真能力, 首次在广域网环境下实现对互联网顶层基础资源韧性强化技术的系统性验证。

当前, 全球互联网基础资源体系长期依赖顶层信任锚点, 面临因信任链失效引发的域名劫持、网络中断、证书失效等重大风险, 直接威胁网络数据传输、资源调度的安全与稳定。为有效应对该风险, 研究团队聚焦“互联网顶层基础资源韧性强化技术”, 通过技术创新与试验验证取得显著成效。

据介绍, 该平台实现了互联网顶层基础资源韧性强化技术的体系化创新突破。平台面向域名、码号、证书三类互联网基础资源, 系统性提出兼容现有、自主可控、广泛共识的韧性强化技术体系, 通过“风险监测 - 数据共享共治 - 自主修复”的全链条协同机制实现对互联网基础资源的多维度保障。

研究团队基于“中国电信云网融合技术中试验证平台”的准现网级试验能力, 完成了跨地域、多节点、复杂拓扑条件下的真实网络系统性验证, 充分证明了该技术体系的可行性。

此外, 研究团队还通过全面且充分的试验验证, 形成了面向现网环境的部署方案和优化路径, 为后续的迭代优化、技术完善和大规模落地应用提供了新的思路与方向。未来, 鹏城实验室将继续依托“中国算力网”, 围绕国家网络安全与算力基础设施安全的重大需求, 深化域名、码号、证书三类顶层基础资源韧性强化技术迭代, 为“中国算力网”的稳定运行、高效协同提供核心支撑。

两所高校携手 开设“中西医结合临床特色班”

本报讯(记者王敏 通讯员俞韵)日前, 安徽医科大学与安徽中医药大学签署战略合作协议, 共同宣布“中西医结合临床特色班”正式开班。首批学生来自两校临床医学专业、中医专业。此次合作是安徽省高等教育和医疗卫生领域的一次重要创新。

据了解, 安徽医科大学将整合临床医学、基础医学等优质资源, 安徽中医药大学将汇聚中医药经典与现代化研究优势, 共建共享中西医课程, 探索人才培养新模式, 吸引更多优秀人才相聚两校。此外, 两校还将在人才培养、学科建设、科学研究、医疗服务等方面开展实质性合作, 合力打造校际合作新典范。

安徽医科大学校长翁建平介绍, 两校将促进中西医结合, 联合开展“五链贯通”科研攻关, 探索科学研究新范式, 互相支持建设中西医旗舰(协同)医院, 构建医疗服务新方式, 共同打造服务“健康安徽”战略的高层次医学人才培养、科研高地和健康守护阵地, 为健康中国建设提供支撑。