

中国科大发展“绿氢冶铁”新技术

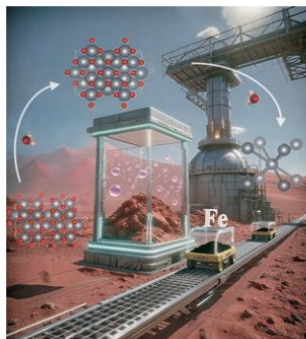
本报讯 中国科大高敏教授团队与合肥国轩新材料科技有限公司常元钦博士合作，发展了一种等离子体增强化学气相还原工艺，以氢气作为还原剂，成功实现了从赤泥中高效提取铁，相关成果于9月29日发表在《美国化学会志》上。

研究团队使用PECVD设备生产高能氢等离子体，并将其用作赤泥的还原剂。该技术大幅降低了反应温度，将传统工艺所需的1200℃以上高温降至900℃。同时，绿铁的提取效率大幅提升，在900℃条件下，仅需数分钟即可生成单质金属铁。通过该工艺提取的铁品质优异，铁品位高达71%，绿铁回收率达到88.1%，远超传统的湿法冶金、超导磁选以及还原焙烧-磁选等工艺，满足钢铁生产对高品质

原料的需求，具备极高的工业应用价值。

相比传统赤泥提铁方式，该工艺产生的赤泥残渣pH值降至接近中性（7.8），且元素浸出量极少，无需额外进行昂贵复杂的中和处理。该工艺处理1吨赤泥的成本仅为137美元，远低于传统的酸浸法、超导磁选等工艺成本。未来，若采用可再生绿电驱动，还可进一步降低能耗成本，提升经济竞争力，具有产业化应用的潜力。该工作提出的氢等离子体还原铁氧化物的技术副产物仅为水，实现了近零碳排放，从而为未来绿色钢铁转型提供了一种低碳、环保、高效的提铁新工艺。

论文共同第一作者为中国科大硕士研究生梁文龙、博士研究生张玉才与李祥成。
(合肥微尺度物质科学国家研究中心 科研部)



“绿氢冶铁”技术的艺术示意图

中国科大研制水环境下复杂运动软体机器人

通过微观分子排列与宏观几何结构相整合，就可以让液晶凝胶变为智能软体机器人，在水环境中进行游泳、跳跃、滚动、行走、攀爬、搬运与踢球等多种复杂运动。中国科大物理系彭晨晖教授、蒋景华研究员和北京大学冯帆教授团队合作，针对软体机器人在水下如何高效、无缆、可编程地运动这一挑战，提出并实现了一种单晶片、光响应的可水下拓扑液晶凝胶驱动的设计策略。相关研究成果发表于《先进功能材料》杂志。

区别于传统机器人采用电机驱动，在液体中行动经常需要连接缆绳，软体机器人的驱动方式主要取决于它所使用的智能材料。合作团队以液晶凝胶为基底，充分发挥其通过光响应能实现可编程变形的优势，在微观层面进行编程，精确控制液晶分子的方向，再切割成所需的形状，成功制作出具有仿生形态的液晶凝胶，完成了从微米级分子排列到厘米级宏观变形的跨尺度调控过程。在连续的光照刺激下，形态各异的液晶凝胶就可以在水环境中实现全空间的多种能力水下运动。

合作团队制造出能够在水环境中完成复杂形状转变并展现独特运动的软材料液晶凝胶，实现了拓扑缺陷与软材料之间的成功整合。该成果不仅能够模拟水生生物的行为，还能催生出超越自然能力的创新游泳模式，在包括生物医学工程、机器人技术和材料科学在内的多个领域具有重要应用潜力，为水下微型机器人、血管介入器械、智能传感贴片等应用场景打开新通道。

(原载于安徽新闻网 2025年10月10日 记者 徐昊男)

中国科大研制成功微型紫外光谱成像仪

近日，中国科大孙海定教授联合武汉大学刘胜院士团队，成功研制出微型紫外光谱仪，并实现片上光谱成像。该光谱成像仪基于新型氮化镓基级联光电二极管架构，并与深度神经网络算法融合，实现了高精度光谱探测与高分辨率多光谱成像，其光谱响应速度达到纳秒级。相关成果于9月26日在线发表于《自然·光子学》。

光谱信息被称为物质的“光基因”，能够揭示组成与特性。光谱成像技术可同时获取光谱与空间信息，在成分分析、环境监测、卫星遥感和深空探测等领域具有重要价值。但传统光谱仪依赖光栅分光与机械扫描，系统复杂、体积庞大、价格高昂，难以满足便携式和实时化检测需求。尤其在片上光谱成像与有机物检测至关重要的深紫外/紫外波段，由于材料与工艺限制，片上微型紫外光谱成像技术长期处于空

白，成为制约该领域发展的关键瓶颈。

为此，孙海定团队联合国内外研究学者提出了一种氮化镓基级联光电二极管架构，研制出工作于紫外波段的微型光谱成像仪，实现了高精度光谱探测与高分辨率多光谱成像。该结构由上下两个不对称p-n-n二极管垂直级联组成，可在两英寸和更大尺寸的晶圆上阵列化制备。器件通过外加偏压调控载流子的波长依赖传输行为，实现电压可调的双向光谱响应，并结合深度神经网络算法，可对未知光谱进行高精度重构。该光谱成像仪工作波段覆盖250至365纳米的紫外波段，光谱分辨率可达0.62纳米，约10纳秒的超快响应速度。基于此，研究团队进一步实现片上光谱成像一体化检测阵列，并成功地对不同有机物质（如橄榄油、花生油、动物油脂和牛奶）液滴进行了空间分辨

与单次直接成像，显示出它们在食品检测和分子识别等方面的应用潜力。

该研究提出并实现了利用宽禁带氮化物半导体作为微型光谱成像仪的材料载体。未来，通过调控材料组分和掺杂，或采用二六族和三五族半导体材料，该架构可以将工作范围扩展至可见光和红外波段。同时，由于工艺完全兼容现有大规模半导体制造工艺，器件尺寸还可缩小至微米级甚至纳米级，可实现更低成本更高分辨光谱成像。研究团队预计，其成本有望降至传统光谱仪的1%。正如硅基CCD/CMOS技术推动数码相机普及一样，该新型微型光谱成像仪的研制成功，为下一代小型化、便携式和可穿戴光谱技术的普及提供了新的思路和解决方案。

(原载于科学网 2025年9月28日 记者 王敏)

逐梦太赫兹“空白” 铸就“国之重器” ——记国家重大科研仪器研制项目“太赫兹近场高通量材料物性测试系统”



陆亚林和太赫兹激光器。受访者供图

走进中国科学技术大学（以下简称“中国科大”）西区“红外-太赫兹自由电子激光装置”实验室，只见一间不大的辐射防护房里布满了各式设备，墙壁上安装了各种管道。房间拐角处那3.5米长的设备就是世界上第一台紧凑型可调谐预聚束太赫兹激光器，用来“造”太赫兹光。

在房间正中有一处深4.8米的“大坑”，里面矗立着一个长圆筒——世界上首个冷壁贯穿大口径低失量强磁体。磁体下端集成了近场探测分系统。平时，研究人员就顺着窄窄的梯子下到“坑”里，利用太赫兹光源“诊断”量子材料的特性。

这正是由中国科大杰出讲席教授陆亚林带领团队研发的国家重大科研仪器研制项目“太赫兹近场高通量材料物性测试系统”。2024年7月，该项目顺利通过国家验收。

回首研发历程，陆亚林表示：“系统得以研制成功，主要归功于团队成员具备良好的多学科交叉素养、团结协作，以及勇于挑战、不惧失败的科学精神。”

从微波到太赫兹

故事要从1997年说起。彼时，陆亚林在美国加州大学伯克利分校做研究，师从著名化学家彼得·舒尔茨。他们共同致力于微波频段研究，并合作发明了世界上第一台非线性和微波扫描探针显微镜，相关研究论文发表于当年的《科学》。

“微波的波长是毫米级，而我们要实现的是原子尺度成像，传统方法根本无法做到。”陆亚林解释，这项工作的核心价值在于克服了衍射极限，实现了对材料介电性质的无损、高空间分辨率、高灵敏度成像，为后续材料研究提供了强大工具。显微镜产业化后，被世界多

个实验室广泛使用。

“如果将微波替换为太赫兹波，会怎么样？”陆亚林开始将目光转向波长更短的太赫兹波。

“太赫兹波是电磁波谱中一个特殊波段，介于微波和红外波段之间，频率范围在0.1太赫兹至10太赫兹，具有穿透性强、方向性好、安全性高等特性。微波和红外波段以前就有了成熟的应用，比如红外摄像头、红外体温计、微波雷达等，但很长一段时间里，太赫兹波还是一个尚未被充分认知和利用的波段。”陆亚林说，以至于在1950年前国际上有个

很著名的术语，即太赫兹“空白”。

太赫兹“空白”存在的主要原因首先是缺乏稳定、高功率、可调谐的太赫兹光源和有效的探测技术。“可见光的光源有手电筒和激光，X光有X光管，微波有发生器，但太赫兹波没有这样的‘手电筒’。其次，太赫兹波的波长较长，很难实现纳米级别的空间分辨率。这就好比用粗大的毛笔写细小的字，技术挑战非常大。”陆亚林表示。

陆亚林想试试。他曾于2000年前后向美国国家自然科学基金会申请项目，希望研究关联氧化物材料在太赫兹波段的响应，但遭到了拒绝。“我想做在美国没做过的事。”2008年，他毅然回国。

2013年，陆亚林首次向国家自然科学基金委员会申请国家重大科研仪器研制项目，由于太赫兹光源的产生方案不够详细，未获得资助。此后几年里，他带领团队不断优化方案，大胆提出研制一台紧凑型太赫兹自由电子激光器，同时在探测终端，创新性地提出“双探针探测”新方法。更重要的是，经过阅读文献和不断思考，他找到了太赫兹波段对应的关键科学问题。

“功能材料中的绝大部分准粒子频率正好位于太赫兹频段，它们的精密观测需要‘看得见’（纳米分辨）、‘认得出’（全能段覆盖）、‘跟得上’（飞秒超快测量）、‘控得住’（多场多维度调控）。以太赫兹波作为探针，有望帮助我们分析和理解与准粒子相关的新物理和化学特性。”陆亚林说。

比如，超导、半导体、多铁、巨磁阻等都属于功能材料，它们是推动信息、能源、光子等国家重大战略需求领域发展的坚实基础。2016年11月，“太赫兹近场高通量材料物

性测试系统”项目终于获批。2017年4月，项目启动。

“咬紧牙关，加油干”

既然没有太赫兹光源，就自己“造”。项目启动后，陆亚林带领团队利用预聚束电子束团激发太赫兹辐射、轻量化固定磁极同轴波导器、电控偏振分束束流脉冲串成型光路等创新技术，研制了世界上第一台紧凑型可调谐预聚束太赫兹激光器。

该激光器不仅在设计上实现了高度紧凑化，将传统需要百米长的装置压缩到3.5米以内，而且具备高度灵活性，能够根据不同的测试需求精准调节太赫兹激光中心频率，为探测提供了准确和可靠的光源支持。

在物理场技术方面，团队同样实现了多项突破——合作研制出世界首个冷壁贯穿大口径失量强磁体，样品测量腔直径达130毫米，温度低至零下270摄氏度，磁场垂直方向9特斯拉，水平方向4特斯拉，并且可以调控产生磁场的大小和方向。

世界首台，意味着没有经验可供学习和重复。“试着想象一下，同时将光源、探针、样品等众多组件全部放入磁体腔内，并浸泡在液氦中，在接近绝对零度的极低温环境下，实现光打进去、信号引出来，同时还要考虑各种可能的发热问题……”陆亚林坦言，这是一个巨大的工程挑战。

为此，他们与英国牛津公司展开了长达数年的联合攻关。其间经历了多次失败，尤其是在疫情期间，中外工程师无法面对面交流，第一次出厂测试即告失败，几乎让人崩溃。

经过无数次远程视频会议和设计修改，这台独一无二的磁体终于研制成功。为了抗干扰，他们还精心设计了一个4.8米“深坑”，将磁体放置在“坑”里。

在近场探测技术方面，研究团队自主研制了大范围高通量压电马达和金非晶金属稳定的原子分辨成像，实现了1平方厘米大范围和0.14纳米空间分辨率的双扫描模式，满足了潜在高通量材料筛选的需要。

“尽管困难重重，也要咬紧牙关，加油干。”历时7年，陆亚林带领团队攻克了复合光源、多物理场条件以及近场探测分系统到整体集成的无数技术难关，获得了50多项发明专利，成功研制出太赫兹近场高通量材料物性测试系统。

就在调试系统过程中，研究团队还取得了两项标志性科研成果，显示了仪器强大的科学探测能力：一是突破了过去仅需要满足100开尔文以下的低温以及真空条件下限制，在国际上首次获得了“室温大气”环境下的原子分

辨太赫兹隧道电流成像；二是突破了多场条件集成技术瓶颈，首次获得低温失量强磁场下的原子分辨太赫兹近场隧道电流成像。

“科技创新，必须要敢想敢做”

2024年7月，太赫兹近场高通量材料物性测试系统迎来“大考”。

专家组一致认为：“系统可实现太赫兹宽谱段对特定物性进行高分辨、高灵敏的近场高通量测试。”“利用该系统的超快光学特性，激发和研究关联材料体系中各类元激发及其瞬态行为，将对超导、拓朴、磁性等量子功能材料的发展起重要作用，同时也会对生命科学、医药、能源材料等领域产生重要影响。”“该系统在研制过程中所发明的光源技术、元器件等也具有产业价值。”

陆亚林透露，他们已在规划下一代“超快太赫兹自由电子激光系统”，以期研究新型量子态的超快动力学过程。那时，将与现有系统联动，形成世界上唯一的一个面向量子功能材料研究，具有多场条件、多维度空间分辨、多时间尺度能力的太赫兹研究装置集群。

《中国科学报》：你认为这套系统的成功研制，对我国乃至世界在重大科研仪器研制领域的自主创新有何启示？

陆亚林：科学仪器的研制要有明确的科学目标驱动，也要有清晰的应用场景显示，或者说明的重大背景背景，更要有敢于挑战、敢于创新、敢于面对失败的精神。要实现科学仪器研制的真正自主创新，亟须建立更加科学、公正的项目评审机制和人才评价机制，并提供长期稳定的支持。

《中国科学报》：请您展望这套系统最终能为人类科学认知和技术进步带来哪些贡献？

陆亚林：探索量子材料里深层次的物理机制，尤其是量子层面的物理过程，需要有相对极端的实验条件，这就给实现这些条件带来了严重的技术挑战。这套系统在多项技术领域取得了突破，比如强磁场、大口径失量磁体、大范围精密扫描、双探针探测等，可以广泛应用于相关领域，同时也有不错的产业化前景。这个系统提供的测量能力，能够满足发现新型量子功能材料、发现面向量子计算的新型量子比特、实现面向生命科学研究的高灵敏度磁共振、理解新型物理化学机制等的需求。这些潜在的贡献将是巨大的。当然，我们需要一个好的开放共享机制来实现。

(原载于《中国科学报》2025年9月29日 第4版 记者 王敏)