

全市科技大会暨科学技术奖励大会 特别报道

大胆求新突破太阳能电池效率极限

■本报记者 沈淑莎

“十年前大部分太阳能电池头部企业都对钙钛矿不屑一顾，但现在这些企业陆续都建立了钙钛矿研发部门，我相信未来太阳能电池的发展方向一定和钙钛矿息息相关。”今年9月，上海交通大学环境科学与工程学院教授赵一新在他冒险闯入的一个新领域，创造了一项世界纪录——以超过22%的光电转化效率刷新了大尺寸钙钛矿太阳能电池效率。

钙钛矿太阳能电池是近年来兴起的一种新概念太阳能电池，有望实现更低成本的太阳能发电，美国、欧洲、中国都已开展了相关领域布局，它的研发关系着我国能否在光伏产业继续保持国际领先。昨天，赵一新团队凭借“高效稳定钙钛矿太阳能电池的化学创制研究”获得2023年度上海市自然科学一等奖。

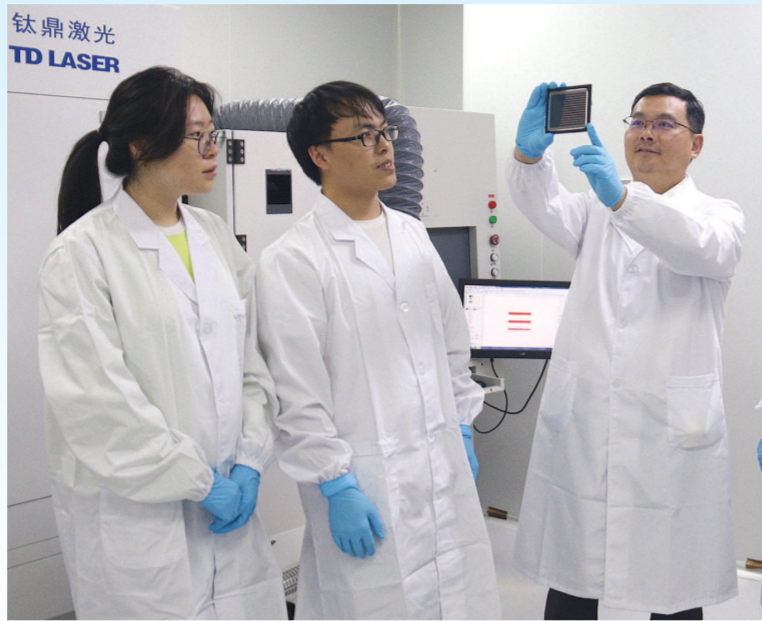
一头扎进只有3篇文献的全新领域

自上世纪50年代美国贝尔实验室制造出世界上第一块太阳能电池开始，科学家和产业界就在为不断提升光电转换效率而努力。在众多技术路线中，晶硅一度脱颖而出，过去十年，人们将单晶硅的发电效率从22%提升至27%，已逼近这一材料发电效率的理论极限29%。目前27%的光电转换效率纪录由中国企业保持。

转换效率逼近理论极限是进步，却也意味着未来提升空间有限，于是科学家开始寻找其他技术路线。2009年，日本福冈大学特聘教授宫坂力提出了钙钛矿的技术路线。2012年，韩国朴南圭教授等发展了固态钙钛矿太阳能电池，那时它的发电效率约为10%。

钙钛矿太阳能电池的出现“打动了正在美国国家可再生能源实验室(NREL)进行博士后研究的赵一新。在此之前，他主要从事光催化、电催化

奖项:2023年度上海市自然科学一等奖
项目名称:高效稳定钙钛矿太阳能电池的化学创制研究
获奖团队:上海交通大学赵一新教授团队



赵一新(右一)展示钙钛矿太阳能电池。(受访者供图)

和热材料研究，与太阳能电池几乎毫无交集。尽管当时看不清钙钛矿的前景，但他就是觉得这个只有3篇文献的全新领域非常诱人，然后就一头扎了进去。他与3位当时都很年轻的70后科学家一起建立了美国首个钙钛矿太阳能电池实验室。

2013年，赵一新回到上海交通大学继续进行钙钛矿电池的研究。如今，这种全新太阳能电池的实验室光电转换效率已经可以做到与晶硅电池相当。

“胶水”征服钙钛矿，方法成为业界主流

进入钙钛矿这个尚无多少人开拓的新疆域，摆在赵一新团队面前的问

题主要有两个：一是如何将钙钛矿做成薄膜，二是如何让薄膜性能更稳定。这是因为钙钛矿的结晶过程不可控，如果让其自发结晶，得到的就是一颗颗“小盐粒”，但工业上需要的是像镜子一样平整的亚微米厚度的高质量薄膜。

赵一新团队采用挥发性添加剂的策略，设计的添加剂就像胶水，在钙钛矿结晶时先形成平整的亚稳态，随后在进一步的结晶过程中再将“胶水”去除，从而得到平整薄膜。钙钛矿原本加入的甲胺阳离子化学稳定性较差，赵一新将它改造成有机铯离子，增强了材料稳定性。目前，这种钙钛矿薄膜制备及稳定方法已成为业界主流。

近年来，钙钛矿电池以其独特的光电特性和潜在的高效率，逐渐成为光伏领域的研究热点。赵一新介绍，

钙钛矿的理论光电转换效率可达33%，并且它能够与其他商业化太阳能电池进一步叠加多次利用太阳能，比如钙钛矿与晶硅叠层的极限光电转换效率高达45%。

对所有光伏企业来说，45%都是具备足够吸引力的数字。2019年，宁德时代找到赵一新，希望与其团队合作开展钙钛矿太阳能电池产业化合作，解决这种未来电池产业化的科学难题。在赵一新看来，任何技术如果没有产业化，只是科学家自己想问题，研究也会不接地气而逐渐枯竭。而产业化过程会不断产生新问题，这就为钙钛矿的研究不断拓展新疆域。于是，一场产学研合作就此开启。

与宁德时代一起刷新光电转化效率

今年9月，赵一新团队在《自然》杂志上发表文章，介绍了团队与宁德时代21C创新实验室的合作成果。他们成功制造出的30厘米×30厘米的大尺寸高性能钙钛矿光伏模块，光电转换效率超过22%，为目前文献报告最高值。

“中国的光伏产业想要保持国际领先，必须不断保持技术领先。”赵一新觉得，我国钙钛矿太阳能电池已经到了大规模产业化的前夜，产业生态已初见雏形。钙钛矿太阳能电池产业带来的想象空间足够巨大，比如大型建筑的屋顶将成为发电场，汽车能够一边晒太阳一边充电……

作为科学家，赵一新始终对新事物保持敏锐。他认为做科研最重要的就是寻找新疆域，然后找到领域中的关键问题并另辟蹊径地解决它。钙钛矿太阳能电池的技术路线竞争尽管激烈，但中国目前已取得了领先地位。

“这个领域里的科学家，特别是中国的科学家都很年轻，45岁的我在这个圈子里已算‘大龄’。”赵一新开玩笑说，看到周围的年轻人，仿佛看到当年自己与同事一起建立钙钛矿太阳能电池实验室的样子，每一天都朝气蓬勃。

建设。在它的助力下，近2000米的赛道建造精度优于3毫米。

过去8年，曾丹团队与上海宝冶、中冶宝钢、中国科学院微小卫星创新研究院等单位合作，不仅形成了相关技术体系，还形成了从组件、设备到系统的一体化创新成果。

现在，走进智能化示范车间，工人只需在控制室对着屏幕操控传感器、机械臂，就能完成连铸坯的缺陷查找和吹扫——带温连铸坯进入车间后，摄像头自动拍摄，数据传到后台处理，整个处理过程从原先的25分钟缩短到5分钟。更为关键的是，它使特种钢材的后续生产精度提升至微米级成为可能。也正是因此，这一实时定位、动态误差校准协同机械臂的技术，又被用于在轨卫星维护。

学生在实践中找到热爱方向

核心技术的“窗户纸”一旦被捅破，应用之路就越走越宽。近年来，在推动宝钢工厂全流程智能化升级的同时，项目的关键技术还形成了多个子系统，推广到冶金、航天、核电等行业中，为数字城市、生态保护、社会安保等应用需求提供有力支持。

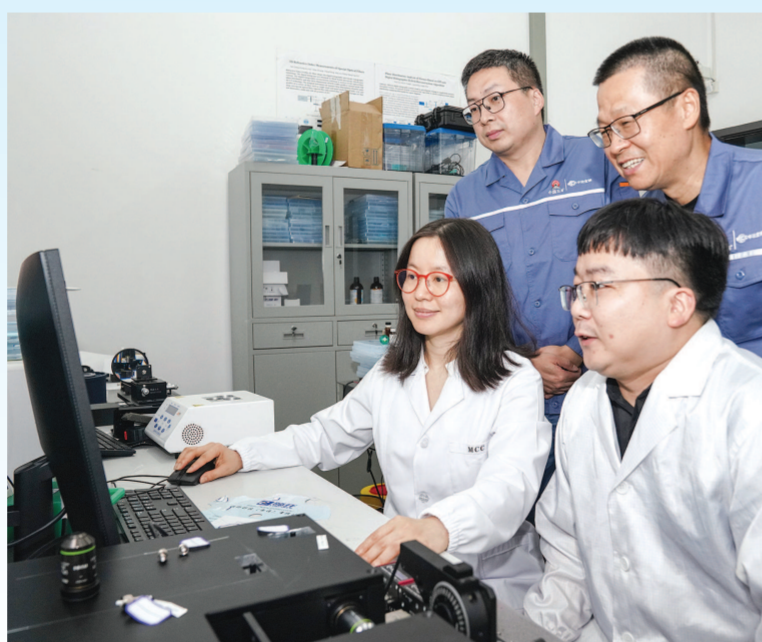
更让曾丹感到高兴的是，许多年轻学生在项目研发中，对这个领域产生了浓厚兴趣，找到了自己热爱的事业方向。

博士生彭涛研究工业视觉已到第八个年头，他觉得在工厂车间里打实地做项目、传授智能系统使用的快乐，远远超过了写论文的紧迫感，转眼已到不得不毕业的时候。

上海女孩黄臻臻原本只想读三年专业硕士就去工作，加入项目组后，越钻研越喜欢，转而考取学术型博士，未来想投身工业视觉领域的科研。

“一个领域，只有真正喜爱、愿为此付出的人，才能耐得住寂寞、走得深远。”在曾丹看来，这些年轻人一定能推动科技的发展，走出各自精彩人生。

奖项:2023年度上海市科技进步一等奖
项目名称:智能工厂复杂工况时变目标精细感知关键技术与应用
获奖团队:上海大学曾丹教授团队



曾丹(前排左一)与团队成员在工作中。本报记者 邢千里摄

对其进行实时校正，不仅可提升建造质量，还能节省工期。

钢材在高温下会变形，架设传感器的钢架也会有变形，机械臂受工况影响亦会有误差——这些误差在生产流程中会不断累积、放大，导致“差以毫厘，失之千里”。“要实现智能化，首先要实现精准感知。”曾丹说，2012年，随着深度学习技术的兴起，她觉得机会来了。

“智能眼”上岗钢厂高危工位

目标时变、工况复杂是影响感知能力的两大因素。在冶金行业，大目标测量、弱目标定位、小目标监测则是必须面对的三大挑战。曾丹带着学

生，一边在工厂车间蹲点，一边在实验室写代码、模拟测试，从机理研究开始“啃”这块技术“硬骨头”。

类似的精细感知智能化系统国外有现成产品，但价格昂贵。“比如，国外一家监测高炉平整度的设备用了十几个摄像头，成本自然居高不下。我们通过算法改进，只用3台就实现了同样精度的监测。”这是曾丹团队在这一项目中的核心突破——测量相对误差下降约43%，测量成本下降85%，使上海宝冶的系列高炉大修任务取得了安装就位精度优于5毫米、工期缩短9%的优秀成绩。

这套实时测绘系统，还被用于北京2022年冬奥会国家雪车雪橇中心的

■本报记者 许琦敏

“十年前，一块性能普通的太赫兹芯片，国外企业向我们开价5万欧元。现在，我们可以自己造，成本只有当年国外的十分之一，而且功能更强大。”为了这一天，中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员曹俊诚带领团队，孜孜不倦努力了20多年。

由于太赫兹频段的电磁波产生和探测十分困难，人们将这个可能改变未来世界却难以开发的频段称为“太赫兹空隙”。领域全新、经验全无、材料匮乏，曹俊诚团队从基础入手，不仅开发出体积小、寿命长、性能好、用处广的太赫兹芯片及激光器，还使其在十多个行业中试牛刀。

昨天，曹俊诚团队因填补“太赫兹空隙”而获得2023年度上海市技术发明一等奖。

“电子瀑布”效率提升200倍

太赫兹，一种介于红外光与微波之间的电磁波，波长范围在30微米至3毫米之间。

“与红外光相比，它能穿透比皮夹克还厚的阻挡，清晰成像；与微波相比，它的信道数更多，可传输巨量信息。与X射线相比，它的光子能量小，不会对有机组织产生电离破坏，更有利于生物医学应用。”说起太赫兹的优点，曹俊诚眼神闪亮：它在物理学、材料科学、医学成像、射电天文、雷达、宽带和保密通信，尤其是卫星通讯上，都具有重大应用前景，“被列为改变未来世界的十大技术之一”。

研究一种电磁波，首先要掌握其辐射产生和检测的方法。上世纪90年代，太赫兹领域的这个个隘口一直难以突破，相关辐射源的光电转换效率徘徊在万分之几。本世纪初，针对缺乏高品质太赫兹光源和国产器件这一痛点，曾师从我国凝聚态物理学泰斗、中国科学院院士雷啸霖的曹俊诚，凭借自己在低维半导体器件和物理研究上的扎实基础，决定挑战这一难题。

自那时起，刻苦工作，挑灯夜战，成了曹俊诚科研工作的常态。为钻研相关理论和技术，他多次前往加拿大、美国、澳大利亚、日本访学。终于，他带领团队从源头上取得了突破。

“当电子从高能级‘跳跃’到低能级时，电子就会释放出太赫兹光

子，形成太赫兹辐射。”曹俊诚说，他们设计出了独特的量子阱“台阶”，就好像修建一座200多级的水库，让“电子瀑布”在跌落过程中均衡释放出太赫兹光。

原理突破难，材料和器件实现更难。构建这座“电子瀑布”，要经过上多层的原子级精度的材料生长，“如果用我们的技术去建造1300多公里的京沪高铁，不考虑地球曲率情况下，其整体起伏不会超过4毫米。”曹俊诚颇为自豪地说，经过多年迭代，他们研制的太赫兹芯片效率较之过去提升了200倍，输出功率已达瓦级以上，工作温度也从过去的接近零下200摄氏度，提升到零下70摄氏度左右，大大方便了器件的推广应用。

半枚硬币大小，一秒成像百万帧

在位于中国科学院上海微系统所的集成电路材料国家重点实验室，记者见到了全国产的太赫兹半导体激光器——芯片只有半个一元硬币大小，封装成的激光器可以托在掌心。

“我们将激光器功率提升到了瓦级水平，辐射的太赫兹光更加精准，发散角从17度降低至2.4度，模块化的激光器输出功率为国外同类产品的3倍。”曹俊诚介绍，激光器工作稳定可靠，使用十年也没问题。

不仅如此，模块化的太赫兹发射源使用很方便，可以做到即插即用。曹俊诚说，团队在核心器件基础上，开发出了太赫兹实时成像仪、近场显微成像仪等一系列设备。

由于将太赫兹光电探测响应时间缩短到了亚纳秒量级，他们研制的太赫兹高速探测芯片能实现每秒百万帧的太赫兹快速成像——这部高速“摄影机”有望分辨诸如超导库珀对

解耦等过去快到难以看清的超快过程，为未来自然探索推开一扇新的观测窗口。

此外，团队开发的低功耗太赫兹激光器作为本振源，可用于探测来自宇宙深处的微弱太赫兹频段信号。“太赫兹技术在卫星通讯上的应用前景更为诱人，它可以在极短时间内完成海量数据传输。”曹俊诚透露，他们开发的相关技术及模块化产品已在国内外20多家单位使用，其中包括澳大利亚伍伦贡大学、复旦大学、中国科学院紫金山天文台等。这些技术和产品如同未来产业的种子，将生发出太赫兹技术更为深广的行业应用，使其发挥出改变世界的潜能。

奖项:2023年度上海市技术发明一等奖
项目名称:高性能太赫兹量子级联激光器及仪器关键技术
获奖团队:中国科学院上海微系统与信息技术研究所曹俊诚团队



曹俊诚(左)在指导查看高性能太赫兹激光光源芯片加工。本报记者 邢千里摄

为钢坯吹扫缺陷，还能上天修卫星

■本报记者 许琦敏

定位、扫描、修复……太空中，有一颗卫星“治病”的达芬奇手术机器人卫星正默默守护着我国近地轨道卫星的健康。地面上，为这颗卫星开发探伤和诊断智能感知系统的上海大学曾丹教授团队，昨天获得了2023年度上海市科技进步一等奖。

其实，这套感知系统不仅能在太空极端环境中发挥作用，还能在充满粉尘、嘈杂、高温的炼钢生产线上为连铸坯查找缺陷，将工人从恶劣高危的工作环境中解放出来，并大幅提升缺陷探测与修复的效率。

AI带来精细感知的智能化机遇

“如何让操作对象、传感器、机械臂协同起来，是工业视觉上的一个经典问题。要在恶劣而复杂的工况中实现三者精准协同，很难。”一路在中国科学技术大学读到博士，曾丹在来到上海大学通信与信息工程学院通信工程系后，逐渐从计算机人脸识别转向了工业视觉。她相信，在我国冶金、化工、煤炭等智能化程度严重不足的工业领域，有着大量研发需求等待被满足。

为何集成电路、电子设备、汽车制造的智能化程度较高？这与其相对洁净、精细、标准的生产流程有关。“走进钢铁厂，你就会明白其中的区别。”曾丹第一次来到宝钢的连铸坯、滚坯车间时，被眼前的场景惊呆了——

车间里温度超过50摄氏度，即使大冬天，工人也只能穿单衣工作，而且检查完一两批钢材后，必须马上上去空调间休息。车间里粉尘飞扬，工人靠眼睛查找钢坯的夹渣、裂纹，手持十几公斤重的火焰枪吹扫去除缺陷。

不过，这里对智能化的需求是巨大的：全厂长达几百公里的输送带需要实时监测，一旦断裂造成停工，后果严重；几十米高的炉，如果在建造时

