

浙江大学光电学院青年学者狄大卫持续研究发光二极管 寻找点亮未来的“下一代光源”

见习记者 涂佳煜

夜幕降临,街灯悉数亮起,城市依旧明如白昼;回到家中,拨动一个按键,立刻获得满屋光亮;打开一块屏幕,色彩便随光线溢出……

这是再令人熟悉不过的情景,熟悉到大多数人不再好奇——是什么在为我们照亮黑漆漆的夜晚?

每个人都耳熟能详爱迪生发明电灯的故事,但这盏灯泡之后的冒险,却不那么为人所知。

其实,在白炽灯诞生后,科学家仍在不断尝试创造更明亮、更持久、更节能的“灯”。一百多年间,荧光灯、钠灯、金属卤化物灯、发光二极管(LED)等光源相继出现,越来越多神奇的材料被“点亮”。

如今,我们习以为常的灯光还在发生变化,尤其在以高效节能著称的LED大家族中,有望诞生更先进的“下一代光源”。

浙江大学光电学院的狄大卫教授正是一位寻找“下一代光源”的青年学者。他与合作者曾创下溶液法制备有机发光二极管(OLED)和钙钛矿LED的发光效率纪录,近期又在钙钛矿LED的稳定性研究上取得了重大突破。

对话狄大卫,让我们一起认识LED这项“点亮”未来的发光技术。

以环保的方式 照亮新的世纪

2014年,诺贝尔物理学奖被授予了日本科学家赤崎勇、天野浩和日裔美国科学家中村修二,以表彰他们让半导体发出了明亮的蓝色光束。评选委员会在获奖成就声明中预言:“白炽灯照亮了20世纪,21世纪将被LED照亮。”

LED的发明被盛赞为白炽灯后“第二次发光技术的革命”。“它最大的优点之一就是节能。”狄大卫说,“白炽灯加热灯丝到两千摄氏度以上的高温,通过热辐射的方式发光,电能转化为热能,再转化为光能时产生大量损耗。而LED的发光并非以热辐射的形式实现,而是利用半导体中的电子跃迁将电能直接转化为光能,发光效率显著提高。”

早在1907年,英国科学家亨利·朗德就已经观察到在碳化硅晶体两端施加电压后会产生“电致发光”的现象,但其发光特性较差。直到1962年,美国通用电气公司研究人员尼克·何伦亚克才创造出了一种名为磷砷化镓的材料,并利用它制作出了红光LED。何伦亚克也因此被称为“发光二极管之父”。

那么诺贝尔奖为什么唯独颁给了诞生最晚的蓝光?

狄大卫解释,这是因为在可见光中蓝光波长最短、能量最强。以它作为基本光源激发其他荧光材料,能够产生能量较低的各种颜色的可见光。不同光色的组合也可以实现用于日常照明的白光,或者用于显示技术。蓝光LED补齐了光谱,才使得LED在照明与显示等领域的规模应用成为可能。

狄大卫记得这样一个数字:照明大约消耗了全球五分之一的电力资源。大量的能源消耗背后,产生的“碳足迹”不容小觑。据我国最新的电网排放因子显示,每发一度电,将排放出约0.58千克的二氧化碳。

城市化与工业化的加速必将使照明需求只增不减,但能源与环境危机同样攸关未来。在这样的背景下,LED成为了世界各地“绿色照明运动”的主角。

有数据表明,在同样亮度下,LED的耗电量大约是白炽灯的十分之一、荧光灯的四分之一。不仅如此,LED的使用寿命也很长,可以达到白炽灯的十倍甚至更久。可见,如果能够实现LED对传统光源的全面替换,不仅能够极大地节约电力资源,还能省下耗材和人工维



狄大卫、赵保丹与郭兵兵(从左到右)在实验室。

浙江大学提供

护成本,在各个环节上减少对环境的影

响。“通过改变一个灯泡,改变我们的思维方式,我们就可以改变整个世界。”联合国前秘书长潘基文曾这样说。在今天,这句话依旧启发着我们去寻找更节能、高效的光源。

更精巧的光源 更丰富的信息

光是信息传递的媒介。

蓝光LED诞生后,它所使用的氮化镓材料被用于制作半导体激光器,用在高密度光存储、激光直写光刻等技术中。比如,常见的蓝光DVD就是用蓝色激光读取和写入数据。在单位面积上,波长更短的光能够覆盖更多的信息,相应的光存储产品的容量也更大。

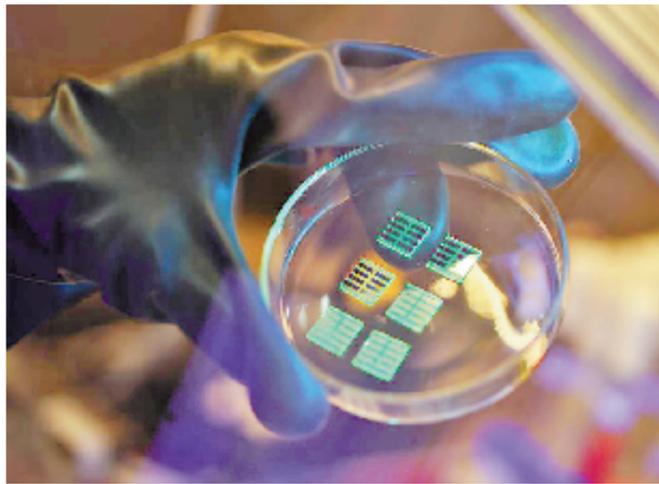
“LED和激光二极管,它们是一脉相承的。”狄大卫说。

思路拓宽,狄大卫又补充道:“我们身边的很多信息也在‘发光’。”想象一下,一天中,我们需要从几块小小的屏幕上获得多少重要信息?的确,从电器的指示灯,到街头的信号灯、广告牌,再到人人不离手的智能手机、电脑、电视等设备,本质上都是一个光源。

这就要提到OLED。在所谓“下一代光源”中,OLED是目前商用化最成熟的一个,智能手机、高清电视等高端电子设备都会用到它。它的一大特点是可以主动发光。相较于把LED作为背光源的液晶屏,OLED产品非常轻薄,可实现超大面积,甚至可以弯曲一定角度,做成曲面屏、可折叠屏。

“OLED还能呈现出更丰富的色彩,从某种意义上说,信息的表达因此更加准确了。”狄大卫说,液晶显示器无法表现的“纯黑色”,OLED屏幕就能做到。

但这一技术并非完美无缺。发光分子材料是OLED的核心,一定程度上成为了阻碍OLED技术突破的瓶颈。主流技术中,这种材料使用一些基于稀有重金属的磷光材料,通过真空蒸镀法进行制备。这些小分子材料虽然发光效率很高,但也存在几大问题——重金属成本高昂且普遍存在毒性;蒸镀法工艺复杂;关键技术专利被欧美、



制备过程中的钙钛矿LED。

受访者提供

日韩等国垄断。

在剑桥大学卡文迪许实验室读博士期间,狄大卫就在寻找一种效率能与小分子材料媲美的OLED发光分子。2016年,他从校外合作者寄来的一大堆发光分子中筛选出了几种新型分子,它们的种种特质引发了狄大卫的好奇。“这些分子采用金、银、铜等常见金属,成本低,对环境友好,并且能通过更为简单的溶液法制备。”狄大卫说,实验室团队利用这些新型分子制作溶液法OLED,实现了高达27.5%的器件发光外量子效率,与蒸镀法OLED持平,在当时创造了低成本溶液法LED效率的世界纪录。

这项成果被学界认为具有里程碑式的意义。“溶液法制备的聚合物LED早在1990年就被我的博士生导师查德·弗兰德院士等人提出了,但它在发光效率上一直不具备竞争力,我们的成果开辟了一个全新的OLED技术路线,有望打破一直以来的专利技术垄断。”狄大卫说。

当下,人们对发光屏幕传递的信息质量要求仍在不断提高。高端电视、电脑、手机以及虚拟现实等应用,需要尽可能地减轻屏中世界的像素感,让视觉体验更加接近真实,显示技术必须向更严苛的方向与时俱进。

OLED之外,狄大卫团队也在进行与微型发光二极管(Micro LED)相关的课题研究,通俗来说就是把LED做的更小、更精密,向“高端显示”的目标靠拢。

“人类所有的科学技术都可被认为服务于三个领域——能源、信息和生命健康。”狄大卫这样总结,LED的发明节约了能源,也改变了信息传递的方式。未来,这场变革还将继续。

最年轻的LED 从奇迹材料中诞生

在狄大卫专注于OLED研究时,一种更年轻的LED诞生了。

2014年,狄大卫的导师和同事们最先尝试用钙钛矿制作LED。刚开始实验时,这些器件亮了几秒就熄灭了,测试出的发光效率不到1%。狄大卫开玩笑说,这顶多能做个闪光灯。

钙钛矿是什么?其实,它并不特指某一种矿物,而是一类结构相似的晶体的总称。钙钛矿的发现已经是200年前的事情,但它“火起来”的时间却只有短短十几年。2009年,日本科学家首次用人工合成的钙钛矿材料制备出太阳能电池,随后几年内,它的光电转化效率就迅速超过了其他薄膜太阳能电池——2016年,也就是狄大卫突破溶液法LED效率的那年,钙钛矿成为了《自然》杂志预测的未来光伏领域的“奇迹材料”。

“光转电和电转光,是两个互逆的过程。有科学家说过,一个好的太阳能

电池很可能也是一个好的发光器件。”狄大卫说,他的导师与同事们首先想到了用钙钛矿制作LED。

有一组数字可以体现出钙钛矿作为发光材料的巨大潜力:OLED的外量子效率提高到20%,用了20多年,而钙钛矿LED的外量子效率从不到1%提高到20%,包括狄大卫等国内外多个科学家团队只花费了4年。“20%是发光外量子效率的一个重要节点。”狄大卫说,“说明钙钛矿LED的发光效率可以与OLED比拟。”

能在实验室用溶液法制备,工艺简单,成本比OLED低廉数倍,此外有光色可调、光谱纯度高等优点,发光效率也不断刷新纪录——光环汇聚的钙钛矿LED是否已经“无敌”?其实不然。经过数年的发展,它仍然难以摆脱“短寿命”的标签。

“今年初还有科学家很尖锐地说,钙钛矿LED没有未来。”狄大卫坦言,他自己也曾一度认为,这种材料有不稳定的“基因缺陷”,在他与赵保丹等科学家将钙钛矿LED的效率提升到20%以上的那项研究中,器件只在低电流下维持了约46小时的寿命。

直到最近,质疑声才少了许多。狄大卫与赵保丹团队最新的研究终于证明了所谓的“先天不稳定”是可以弥补的,在与高亮度OLED相当的光功率——也就是与手机屏幕的中高亮度相当的功率下,由他的硕士生郭兵兵制备的近红外钙钛矿LED寿命长达3万2千多小时(约3.7年),在更低的亮度下,其寿命甚至有望达到270年。

超长工作时间的“奇迹”得益于一种双极性分子稳定剂的引入。它能同时“牵制”住钙钛矿材料内部的阴阳离子,防止它们在电场的作用下发生迁移,从而阻止晶体结构的相变。

正如LED走过了从红外光、红光最后到蓝光的发展历程,钙钛矿LED研究下一步的目标就是提升各个光色的稳定性。在狄大卫团队的成果发表三个月后,韩国科学家团队也报道了长寿命的绿光钙钛矿LED。他们研发的绿光钙钛矿LED的寿命,远不如近红外钙钛矿LED。

“这个过程有点像破案一样,我们找到了解决离子迁移问题的方法,其他光色的钙钛矿LED衰减还涉及其他因素,但解决的思路或许是类似的。”狄大卫说。

一般认为,一万小时的寿命是LED产业化的门槛,超稳定近红外钙钛矿LED的实现,为钙钛矿发光技术走向实际应用铺平了道路。

“在光伏领域,虽然同样存在诸多的不确定性,但钙钛矿太阳能电池已经迈出了产业化的第一步,说明大家对新技术还是有信心的。”狄大卫说,钙钛矿LED比太阳能电池晚出现五年,我们有理由期待,五年后,能够看到钙钛矿LED在产业化方向掀起风浪。

所有技术实现应用的可能性,都起源于实验室中一次次对极限的挑战。

狄大卫团队近期发表的另一项研究揭示了LED超低电压发光的物理本源。LED是否存在最低工作电压的基本极限?狄大卫很多年前就在思考。到了浙江大学,他把这个问题抛给了他的学生们。他的一位博士生连亚霄将设想变为了现实——他制备和测试了几乎所有种类的LED,搭建了一套极其灵敏的观测系统,耗时两年多,最终发现所有类型的LED都能在一个极低的电压下释放出光子来。

这个普通物理机制的发现,表面上看仅仅属于基础研究的范畴,但只要稍加一些想象力,就能洞见它为我们描绘出的超低压光通信与计算的广阔愿景。而在狄大卫看来,我们对科学发现应用前景的展望往往还受到想象力的局限。

“LED是一个很神奇的东西,它还有很多未知的特性等待我们去探索。”狄大卫说。在他的实验室中,年轻的学者们做的正是这样一件纯粹的事,保持好奇,探索未知。

“LED是一个很神奇的东西,它还有很多未知的特性等待我们去探索。”狄大卫说。在他的实验室中,年轻的学者们做的正是这样一件纯粹的事,保持好奇,探索未知。

钙钛矿发光材料测试。 受访者提供

科技速递

来自2022中国计算机大会的观察——“东数西算”怎么算?

2022中国计算机大会近日以线上的方式进行,近万名参会人员相聚云端研讨数字科技发展新趋势。其中,“东数西算”成为热议焦点。

算力有望成为高质量发展新引擎

在数字经济时代,算力是数字化转型的重要抓手。今年2月,我国正式启动“东数西算”工程,规划建设8个算力网络国家枢纽节点以及10个国家数据中心集群,从而让西部的算力资源更充分地支撑东部数据的运算。

西部(重庆)科学城先进数据中心主任张自力认为,从战略意义上来讲,“东数西算”通过推动数据中心合理布局、优化供需、绿色集约和互联互通,将提升国家整体算力水平、促进绿色发展、推动区域协调发展、扩大有效投资。

“建设‘中国天眼’FAST算力网络,必将助国之重器产出更多的重大科学发现。”FAST早期科学数据中心主任谢晓尧介绍,“东数西算”贵州枢纽节点的建设是构建全国一体化算力网络的关键之一,目前当地在贵安新区引进华为、腾讯等企业落户,已规划建设了14个超大型数据中心,预计总投资超过400亿元,可承载服务器超过400万台。

“算力正在改变经济增长模式。”中国工程院院士、鹏城实验室主任、北京大学教授高文在发言时表示。研究表明,GDP和数字经济的走势呈现正相关,算力越高,经济拉动作用越显著。

织就全国算力一张网面临挑战

与会专家认为,当前“东数西算”尚处于起步阶段,破解算力网建设中面临的技术瓶颈和运营短板,还需要在“数”和“算”上做大文章原始创新,对算力领域的从业者而言是不小的挑战。

“哪些数据适合在东部计算,哪些适合在西部?一般来说,对实时性要求高的在东部计算,对实时性要求不高的可以放到西部。”中国工程院院士、清华大学教授郑纬民说,算力网就是把很多机器连在一起做事,但这件事做起来很费劲,主要面临两大困难——并网和调度。未来一是把8个算力网络国家枢纽节点通过高带宽、低延时的光纤网络进行联网;二是通过网络对所有数据和任务进行统一调度。

“算力资源目前以云计算这种局部集中式的算力供给模式为主,各种‘云’之间在技术体系、计费模式上是独立的,不能联云成网。”中国工程院院士、中国科学院计算技术研究所研究员孙凝晖认为,“东数西算”应助力我国推进算力基础设施化进程,把企业投资的大中小型算力站、地方政府分散投资的算力资源按照统一的标准互联互通。

未来算力将像电力一样“触手可及”

算力,如同农业时代的水利、工业时代的电力,将成为未来国民经济发展的重要基础设施。

专家普遍认为,未来我国算力优势不在于算力体量,而在于更高的计算效率、广泛的新兴技术应用以及健全的基础设施支撑,“要像建设电网一样建设国家算力网,像运营互联网一样运营算力网,让用户像用电一样方便地使用算力。”

中国科学院院士、北京航空航天大学教授钱德沛说,我国算力呈现出需求不断上升、计算机体系结构异构化、算力中心多样化的新趋势,“东数西算”作为一项战略工程和系统工程,要盘活存量、合理规划增量,要重建还要重长期有效运行,需要在国家层面上总体规划,多渠道协同支持、长期努力实现算力基础设施的可持续发展。

“‘东数西算’不是简单把计算挪到西部,而是依托这些基础设施创新更多应用场景,带动技术突破。”中国科学院院士、国防科技大学教授王怀民表示,我国正在推进算力资源部署,这些投入要能够在我国数字经济中发挥效用,就必须有相应的技术突破和创新。要在应用场景牵引下发现真问题,解决真问题,通过应用场景的创新牵引技术组合的创新,应用更广泛的技术突破。(据新华社)