

给LED“体检”，这台仪器可“拍CT”

白炽灯点亮了20世纪，发光二极管(LED)点亮了21世纪。LED是业界公认的新一代显示与照明技术的核心器件。

中国科学技术大学(以下简称中国科大)教授樊逢佳与河南大学教授申怀彬合作,利用自主研发的“LED拍片机”,破解了绿色磷化钼量子点LED效率和寿命难题,并刷新多项世界纪录。这标志着我国在环保型量子点显示和照明技术领域取得重要突破。

11月21日,相关研究成果发表于《自然》。审稿人评价称:“该研究选题重要且具有时效性,作者清晰阐明了量子点LED开发中的关键技术问题,尤其是电荷注入势垒、电荷分布及载流子寿命,并充分利用电致发光光谱技术深入解析磷化钼量子点LED电荷浓度及结构问题,取得了定量且具有价值的研究成果。”

研制首台电致发光瞬态吸收光谱仪

LED显示屏无处不在,LED照明产业更是我国半导体产业的重要支柱。随着技术进步,一大批新兴显示和照明LED,如量子点LED、下一代有机LED、微型LED等崭露头角。

在国外做博士后研究时,樊逢佳便开始接触LED。“我注意到国际

上没有课题组专门研发新仪器,从实验角度验证新LED的内部机制问题。只有少量研究人员在做相关的理论计算。”

事实上,正是由于缺乏原位、直观的表征手段,LED内部好像一个“黑匣子”,研究人员“看得不够清楚”,对其内部运行机制也理解得不充分。

2017年9月,樊逢佳回国加入中国科大,开始组建团队专注研究量子点LED关键科学问题。经过两年技术攻关,他带领团队成功研发出世界首台电致发光瞬态吸收光谱仪,并获得国家专利授权。

樊逢佳解释说,人骨折就医,得先拍片子才能诊断。这台仪器相当于为LED“拍片子”的CT机,不仅能实时捕捉LED内部载流子的活动,还能清晰描绘其电场分布。借助这一“超级视野”,研究人员终于能对LED内部进行全面“体检”。

该仪器的科学原理就是把传统光致发光吸收的“光激发、光探测”模式升级为“电激发、光探测”,从而实现对电子和电场的原位检测。

利用该仪器,樊逢佳等人取得

了诸多研究成果,如揭示了影响量子点LED电流和电压效率的限制因素,

阐明了蓝光量子点LED的性能衰减机制,验证了“电激发”过程中新奇的物理现象。

“这项技术的突破,不仅为理解和优化LED性能提供了强大支持,还有助于发现物质新现象、研究物质新规律。”樊逢佳说。近年来,他们还发展了噪声抑制算法,将仪器灵敏度提高到十分之一。

攻坚显示工业“皇冠上的明珠”

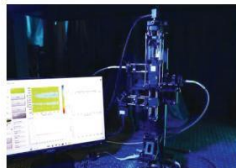
量子点是一种全新概念的半导体纳米晶体,表现出尺寸依赖的光学效应,即不同尺寸可以发出不同颜色的光,而且色纯度非常高。这一独特的光学性能使量子点成为最好的发光材料之一,被应用在量子点LED等显示领域。

樊逢佳介绍:“量子点LED分为有偏和无偏。无偏量子点LED由于其环境友好优势,备受研究人员青睐,以磷化钼体系为代表的量子点LED则被誉为显示工业‘皇冠上的明珠’。”

2019年、2020年,韩国三星集团

在《自然》连发两篇无偏量子点LED论文,展示了他们在红色和蓝色磷化钼量子点LED器件中取得的进展,代表了当时国际上关于无偏量子点LED研究的最高水平。

然而,随后几年里,国际上关



世界首台电致发光瞬态吸收光谱仪。 代磊/摄

于绿色磷化钼量子点LED的研究迟迟未有突破。绿色磷化钼量子点LED的效率和寿命仍落后于红色和蓝色的磷化钼量子点LED,成为制约环境友好型全彩量子点LED产业化的关键。

在无偏无铅量子点LED中,为什么红色和蓝色器件表现优异,而绿色却始终难以突破?这成为显示领域的未解之谜。

申怀彬长期从事量子点LED的设计工作,是多项量子点LED性能世界纪录的保持者。自2018年与樊逢佳结识后,两人便成为亲密的合作伙伴,在科研上取得了一系列成果。

这次,他们再度携手,向量子点显示工业“皇冠上的明珠”——绿色环境友好型磷化钼量子点LED发起攻坚。

新方案破解“水池难题”

研究团队通过“拍片子”的“诊断”,发现绿色磷化钼量子点LED性能较低的主要原因在于两点——电子注入不足和电子泄漏严重。想象一下,本该流向“蓄水池”的电子,一边是“进水管”堵塞,一边是池底有“泄漏”,这就导致电子“蓄水池”无法装满。

为了解决难题,研究团队提出“低、宽势垒”的创新设计方案,对电子“蓄水池”进行全面升级。通过拓宽“进水管”,让更多电子顺畅流入量子点发光层,同时在池底加装防漏板,避免电子从中流失。

“优化后的绿色磷化钼量子点LED不仅效率提高到26.68%,亮度更是突破了27万坎德拉每平方米,器件发光寿命从原来延长到1241小时,刷新了多项世界纪录。”申怀彬说。

“这表明我国环保型量子点LED技术迈入了一个新阶段。”樊逢佳表示,下一步,团队将努力推动环保型量子点LED从实验室走向货架,将技术真正转化为产品,为市场带来高性能、环保的显示技术,同时推动绿色显示产业化发展。

(本文原载《中国科学报》2024年11月22日头版 记者 王敏)

中国科学技术大学教授张强：杰青项目助力探索量子奥秘



张强(右)与学生在实验室。受访者供图

在量子通信研究领域,中国科学技术大学教授、中国科学技术研究院执行院长张强与中国科学院院士潘建伟等合作者的研究一直处于国际前沿。

今年5月到9月,张强及其合作团队就在《自然》《物理评论快报》《自然·光子学》等国际期刊发表多项国际“首次”的重磅成果,包括构建首个基于纠缠的城域三节点量子网络、首次实现无漏洞哈代悖论检验、首次实现百公里级开放大气双光梳光谱测量等。

从2001年攻读研究生开始踏入量子通信研究的门槛以来,张强在这个领域已经深耕23年。2021年,他获得了国家自然科学基金委员会交叉科学部首批国家杰出青年科学基金项目(以下简称杰青项目)的资助。

“杰青项目让我感到自己的工作得到了认可,坚定了我的科研信心,也让我可以更安心、放心地去做一些更重要的研究。”近日,张强在接受《中国科学报》采访时说。

“杰青项目助我拓展科学前沿”

张强出生在吉林,童年时期跟随父母搬迁到内蒙古自治区通辽市生活。学生时代,他对物理、化学课程的兴趣十分浓厚。

1997年,张强以优异的高考成绩进入中国科学技术大学物理系。同一年,一名校友在大洋彼岸的一项突破性成果在他心里埋下了一颗从事实验物理研究的种子。

这名校友就是赴奥地利留学的潘建伟。那一年,潘建伟与合作者在国际上首次在实验上成功实现了将一个量子态从甲地的光子上传送到乙地的光子上。这使量子通信手段在实验上成为可能,也使量子计算所必需的基本单元操作成为现实。这项研究与发现X射线、建立相对论、发现DNA双螺旋结构等影响世界的重大研究成果的论文一起,被《自然》评选为“百年物理学21篇经典论文”。

受到这件事的鼓励,张强在2001年完成本科学业后,放弃了其他研究方向的保送资格,加入刚回国的

潘建伟团队,并成为他的研究生。

“量子信息学科的理论体系相对比较健全,但实验落后于理论。对实验探索未知世界的量子物理理论而言,量子信息面向应用,相关研究方兴未艾。”回忆当初的选择,张强说,“量子信息领域发展出的量子调控技术可以与其他学科交叉发展出更多新技术,解决新科学问题。”

在那个年轻的团队里,张强如饥似渴地吸收着各个领域的知识,对实验物理产生了浓厚兴趣。5年读研期间,他的主要研究方向最初聚焦在光子研究领域。到了毕业最后一年,为扩大知识面,在潘建伟的推荐下,他前往德国海德堡大学学习交流。毕业后,他又前往美国斯坦福大学、日本信息情报所教授山本喜久实验室开展了四年半的博士后和访问学者工作。这些经历让他拥有了非线性光学、光纤量子通信、量子器件制备等多方面的跨学科背景。

2011年,张强回到中国科学技术大学任教。他与博士生导师潘建伟以及师兄彭志忠、陈宇翱、陈腾云等携手合作,共同组建了一个量子通信研究团队。这些年来,他们在国际量子通信实验研究领域做出了一系列开创性成果。例如,在国际上首次实现百公里级级联量子密钥分发、构建全球首个互联网通光量子电话网、首次实现测量器件无关的量子密钥分发。这些研究使量子通信成为我国为数不多的在国际上处于领跑、并跑的地位。

在此过程中,张强在量子密码和量子通信实验研究领域做出了一系列开创性成果。例如,成功自主研发量子通信核心器件——周期极化钽酸锂波导,在此基础上开发室温下高效低噪转换探测器和量子通信频率接口,应用于自由空间量子通信、量子频率接口、单光子雷达和成像等领域;开展光纤和自由空间的时间频率传输研究,为未来基于卫星的量子精密测量奠定基础;利用星光通

机数实现无漏洞贝尔不等式检验,在此基础上实现安全级别最高的器件无关量子密钥分发;开展一系列的测量器件无关量子密钥分发实验等。这些研究成果使他逐渐成为该领域的知名学者。

不过,张强坦言,自己的杰青项目申请之路并非一帆风顺,之前几次在单一学部申请杰青项目资助时,并未成功。

“我所从事的量子信息领域是新兴学科,学科交叉的味道特别浓。比如,我做的量子器件涉及物理信息材料、半导体支撑技术、密码学、数学等不同领域,因为学科跨度太大,一定程度上偏离了传统信息科学研究的赛道,因此难以获得认可。”他说。

基于对跨学科研究发展的深刻洞察,2020年11月,国家自然科学基金委员会交叉科学部应运而生,以促进复杂科学技术问题的多学科协同攻关,探索交叉科学研究范式,培养交叉科学人才。

张强记得,彼时交叉科学部相关负责人曾调研中国科学技术大学合肥量子物质科学国家研究中心,了解这个包含了数学、物理、化学、生物等各个学科的研究平台的学科交叉情况。当时,他本人作为第一个发言人介绍了自己所从事的量子信息交叉研究。

2021年9月,受新冠疫情影响,张强在理论上进行了答辩,成为交叉科学领域的首批杰青项目获得者。回忆这段经历,张强对《中国科学报》说:“自然科学基金委不仅给从事交叉科学研究的学者提供了新赛道,也让在团队合作中有实质贡献的青年科研人员得到了认可。杰青项目稳定的经费资助让我可以潜心钻研,敢于攻坚克难,努力拓展科学前沿。”

“杰青项目答辩过程是自我梳理的过程”

交叉科学如何“交叉”?近年来,张强总会在不同场合被问及这样的问题。

对此,张强认为,要回答好这个问题,考验的是学者对自己所从事学科的理解深度。“比如在你的研究中,学科交叉是如何体现的?你的哪一项工作最具交叉研究特色?工作中最精彩的部分是什么?如果没有跨学科交叉和自身研究工作的深入思考,就很难回答这些问题。”他说。

在2021年的杰青项目答辩会上,张强以实现500公里级的量子密钥分发为例,讲述自己在跨学科研究中的多个“典型特质”:首先,从理论上讲,量子通信是量子物理和信息科学的交叉,基于量子力学的基本原理,和密码学结合,实现信息科学所不能完成的无条件信息安全;其次,要实现量子通信,需

要综合多种关键技术才能成功,如量子光学、材料科学、密码学、光子学等;最后,有了量子通信技术之后,还可以将其应用于其他学科,开展进一步的跨学科研究。

“准备杰青项目答辩的过程,也是进行自我梳理的过程。”张强说,“只有把自己过去的研究梳理清楚,看清自己走过的路、踩过的坑,总结过去的经验教训,才能对将来的科学道路形成新的计划、新的启示。”

面向未来几年的杰青项目执行期,张强希望能够做更多、更重要的工作。“首先在前面的量子通信研究方向上,不断突破极限,做更远的通信距离、更小型化的器件。同时,要加强量子通信、网络传感,以及量子技术与其他研究领域的交叉研究。”张强说。

如今,张强与潘建伟等学者合作,已经实现光纤1000公里以上点对点远距量子密钥分发。这不仅开创了光纤中继量子密钥分发距离的世界纪录,也提供了城际量子通信高速率主干链路方案。同时,他还开展了量子雷达、量子成像等领域的跨学科研究。

那么,量子通信是否会取代传统通信呢?对此,张强表示,两者之间并非替代性关系。量子通信的优势是保密通信,可以用量子密钥为传统通信技术“再加一道锁”,提升其保密性能。

据介绍,目前,量子通信技术已经实现多个场景的量子应用,更多的应用场景正在开拓中。例如,将量子探测跟激光雷达结合,用量子雷达测量城市的空气污染情况;将量子随机数应用到诸如日常商品质检、福彩体彩等方面的食品工作和生活中,让量子技术更多服务于国计民生。

“学术自由与学术公平兼容并包”

在张强看来,杰青项目对学术自由与学术公平兼容并包。

“杰青项目不设定具体的研究任务和目标,而更注重科学家的个人能力和潜力,保证了学术自由。”张强说。

2024年起,杰青项目对资助期满的项目开展分级评价,对优秀遴选,最多可连续三次给予滚动支持。对此,张强非常看好。

“一个学者能否做出好的科研成果,人才的选拔和评价机制至关重要。从国家层面讲,滚动支持也是一个甄别机制,激励大家不要躺平。”他说。

张强建议,杰青项目人才选拔继续保持优良传统,同时青年科学家也应该坚持做重要的研究。

“时刻做好准备,机会总会来临。”

张强说。

中国自主培养的首批博士苏淳教授分享“求学之路”

中国科学技术大学(以下简称“中国科大”)统计与金融系原教授、博士生导师苏淳,近日应邀在第九期“求索”专题讲座上,做题为《求学之路》报告分享。

“我是1983年4月获得理学博士学位,概率统计专业,成为我国自主培养的首批18位博士之一。”在报告中,苏淳回顾了读研前的学习与工作经历,详细介绍了在中国科大数学系接受的研究生培养教育,并深入浅出地分享了开展科研和培养研究生的经验。

1978年10月,苏淳作为第一批研究生走进中国科大。来到这里,便与中国科大浓厚的学术氛围所吸引。

“应用数学所王寿仁教授给我们讲授‘概率论基础’,系统科学成平教授给我们讲授‘弱收敛理论’,中国科大陈希儒教授给我们讲授‘强收敛理论’,殷浦泉教授则给我们组织‘无穷可分分布’讨论班。”作为由国务院批准设立的中国首个研究生院,中国科大研究生院将“全院办校、所系结合”的办学方针贯彻体现在课程设置和学业安排上。

苏淳对导师殷浦泉教授的指导和印象深刻。“手里有什么,就开什么锅。利用我们所长,避开短板,尽快找到科研前沿,尽快找到可以入手的课题。”时隔多年后,苏淳依然记得导师的教导。“比起按部就班读出来的研究生,我们各人的起点不同。比如我,大学本科课程都没能读完,后来虽然自学了一点,毕竟有限。然而,国家的形势要求我们尽快填补科研和师资的断层,我们只能跑步前进。”苏淳坦言。

1981年,《中华人民共和国学位条例》正式颁布实施。在取得硕士学位后,苏淳于1982年紧接着跟随陈希儒教授攻读博士学位。凭借硕士阶段打下的功底,他很快取得了一系列成果。1983年4月,苏淳在中国科学院数学所顺利完成了博士论文答辩。

“如何做好科研和培养研究生?苏淳认为,真正做科研,首先要做广泛的调研。熟悉业界的研究现状,有助于确定自己所要发力的具体课题。

其次,要认真读几本好书“打底”,做出课题来才会有自己的特有招数。

“佩特罗夫和Stout的书,对我后来在研究负关联(NA)随机变量序列的极限定理方面发挥着重要作用。”再次,要利用好讨论班,这有助于促使参与者把文献读深读透,有益于思广益发、启发思路。

(本文原载《中国科学报》2024年11月18日 通讯员 林思越 转载时有删减)