

有长期稳定的支持,才有后面的精彩故事

■本报记者 李思辉 通讯员 东芳

初冬时节,珞珈山青砖黛瓦,叠翠流金。走进武汉大学校园东北角的实验室,庞大的“薄膜生长缺陷跨时空尺度原位/实时监测与调控实验装置”(以下简称薄膜生长实验装置)正在高速运行。

该装置由“进样腔”“高真空环形机械手传样腔”等多个腔体和“超快飞秒双模成像系统”“超快电子成像系统”等多个构件组成,占地面积20多平方米。凑近细看,整个装置宛如一座复杂的精密元器件森林。

“现在及未来,就是它发挥作用的时候了!”中国科学院院士、武汉大学动力与机械学院院长刘胜对这套装置颇有信心。过去五六年,他带领团队把大量时间和精力倾注于此,因为“实在太重要了,太紧迫了”。

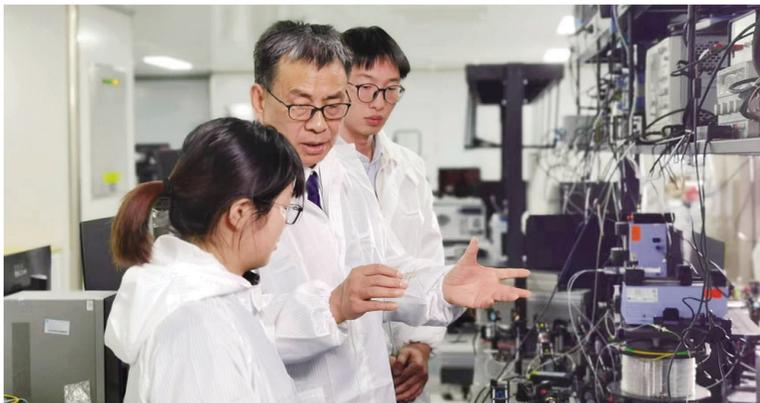
这套自主研发的薄膜生长实验装置,由武汉大学牵头,联合华中科技大学、清华大学天津高端装备研究院、华南理工大学、中国科学院半导体研究所和微电子研究所等多家单位,历时5年完成。权威专家在《激光与光电子学进展》上撰文评价,该装置对解决我国薄膜生长核心技术“卡脖子”问题具有重要意义,有效促进了宽禁带半导体材料与器件领域的学科发展与进步。

在刘胜看来,这一切都得益于国家自然科学基金项目的支持。“如果没有国家自然科学基金的支持,大家只能小敲小打;正是因为有了国家重大科研仪器研制项目,才有了后面的故事”。

小敲小打解决不了问题

2012年,美国波士顿大学,在薄膜生长实验装置前,刘胜和研究生合了张影。彼时,薄膜生长实验装置的研制技术少数发达国家国家和地区掌握,技术壁垒重重,在国外出差的刘胜心里暗暗较劲,一定要攻克这项研制技术。

“薄膜生长”如果采用传统的化学沉积方式,容易产生污染和缺陷,影响半导体的质量和性能。解决这个问题需要借助薄膜生长实验装置,但国内长期不掌握相关装置的研制技术,只能靠买,而关键的核心技术往往是买不来的。能不能自主研发?刘胜带领团队开展了一系列基础研究。国内同行也开展了一些相关研究。经过几年的探索,大家发现,光靠某几个科学家团队零零碎碎的小敲小打不足以解决问题,而且这类研发周期长、投入巨大的



刘胜院士(中)与团队成员在一起。

武汉大学供图

研究很难争取到社会投资,唯有借助国家科研项目投入、开展协同攻关才能尽快破题。

这一重要科学研究的迫切需求受到了国家自然科学基金委员会的关注。2018年4月,由刘胜领衔的国家重大科研仪器研制项目薄膜生长实验装置正式启动。

从无到“优”难度巨大

薄膜生长实验装置的研制对场地要求高——震动小、电磁场低、干扰少。科学家团队绕着武汉大学所在的珞珈山勘测了一圈,“山顶上、山洞里都寻了个遍”,最终发现位于学校东北角的废弃学生澡堂最合适。此前这个地方准备作为另一项研究的用地,那项研究的负责人主动把地块让出来,支持薄膜生长实验装置的研制,为后面的工作打下了基础。

刘胜坦言,2018年项目立项之后的5年是他压力最大的5年。一方面,芯片技术作为国际科技博弈的焦点,地位越来越重要,迫切性越来越突出;另一方面,国际上的相关技术不断更新,设备研制要从无到“优”,难度巨大。那几年,一向以爱运动、精力好著称的刘胜血压高了起来。

“拿了国家那么多钱,压力很大,但动力也很足。”刘胜告诉《中国科学报》,“从0到1”的创新虽然很难,但是很有挑战性,科研越是进

入“无人区”,越是要有不惧艰难的开拓精神,绝不能辜负国家的信任。

为方便工作,刘胜全家搬进了武汉大学校内的教师公寓。每天除了睡觉,他基本上都待在实验室和办公室。

据团队成员回忆,那几年,刘老师和大家一起没日没夜地干,克服了疫情带来的不便并破解了很多大大小小的难题。最困难的时候,大家住在实验室里通宵。

功夫不负有心人。2023年9月1日,由3位院士领衔的国家自然科学基金委员会项目验收专家组,一致同意薄膜生长实验装置项目通过结题验收,并认为该成果具有突出的原创性。

据介绍,这套自主研发的薄膜生长实验装置能够制备硅、蓝宝石等衬底放入进样腔,通过“高真空环形机械手”将衬底转运至功能不同的腔体,完成衬底的预处理、薄膜生长、等离子体清洗等过程。装置真空互联,避免人为因素及外部环境对生长材料造成不良影响,显著提高了生长材料的质量,同时引入超快激光,对整个“薄膜生长”过程中的缺陷进行监测和调控。

努力看到更多风景

当地媒体报道,薄膜生长实验装置顺利通

过验收后,刘胜特地从老家湖北黄梅县买了甲鱼和黄鳝,邀请团队全体成员吃饭庆祝。

刘胜说:“这一天,我终于看到了一些风景。”为了看到这些“风景”,他准备的时间其实远不止5年。

刘胜29岁取得美国斯坦福大学博士学位,32岁获美国总统教授奖。20世纪90年代,已经是美国知名大学终身教授的刘胜决定带着妻子回国,和其他科学家一道开展前沿研究,致力于扭转我国芯片封装技术受制于人的局面。他领衔自主研发的薄膜生长实验装置是其中具有代表性的工作之一。

据悉,芯片产业链大致可分为设计、制造和封装三大环节。在芯片设计和制造环节,我国与发达国家仍存在差距,但在刘胜带队攻关的芯片封装领域,目前我国已占据行业技术制高点,处于并跑乃至领跑位置。

在2021年11月召开的国家科学技术奖励大会上,刘胜团队领衔完成的“高密度高可

靠电子封装关键技术及成套工艺”项目荣获国家科学技术进步奖一等奖,标志着我国高密度、高可靠电子封装技术实现了从无到有、由传统封装向先进封装的转变。

2023年9月,集成了超快激光、超快光学成像、超快电子成像、真空互联等创新技术,在国际上处于领先地位的薄膜生长实验装置通过结题验收,意味着我国在薄膜单晶生长领域走入世界前列。

2023年11月,60岁的刘胜当选为中国科学院院士。他告诉《中国科学报》,自己是赶上了院士制度改革的好政策,运气不错。他直言,对科学家来说,瞄准国家重大战略需求和产业发展需要做出更多开创性成果,努力看到更多风景,才是最重要的。

“自主研发的薄膜生长实验装置已经有了,中国科学家不必再用羡慕的眼光去国外与这类装置合影了。现在及未来,就是它发挥作用的时候了!”刘胜说。

《中国科学报》:接下来,薄膜生长实验装置将在助力我国芯片制造上发挥哪些重要作用?

刘胜:重点是通过“产学研用”联动,把它更多地应用到产业中。

比如,我们做芯片封装,在先进工艺装备被发达国家垄断的背景下,经过10多年“产学研用”院所企联合攻关,与行业内科研单位、龙头企业组建了国家集成电路封装产业链技术创新战略联盟,实现了高密度、高可靠电子封装从无到有,由传统封装向先进封装的转变;实现了高密度、高可靠电子封装技术的自主化;研制成功的300多类产品,覆盖通信、汽车等12个行业,使我国电子封装行业更具国际竞争力……这些都说明一个道理,科技创新特别是重大装备研制的创新,需要有产业意识,注重应用到产业中。

眼下,我国一些芯片制造企业做得不错,但部分技术参数还不及人意,与发达国家的一些大企业相比还有差距。下一步,我们将开展更密切的“产学研用”合作,让更多企业借助先进设施设备实现技术上的提升,尤其是在一些关键技术上力争“做到极致”。总之,薄膜生长实验装置将更多地产业链上用起来,产生更大价值。

《中国科学报》:可否结合团队五年如一

日研制薄膜生长实验装置的过程,给广大青年科研人员一些建议?

刘胜:做科研不能只为了发论文,而应该努力面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康,多做一些国家迫切需要的研究。此外,在选择研究方向的时候,可以在交叉领域、新领域寻求突破,不必一窝蜂地奔着热点去“卷”。

记得当年我从斯坦福大学毕业时,曾问我的导师——我毕业后应该做点什么研究?导师说:“如果我知道,我就去做了,干吗告诉你?”我一直记得他的话,一定要努力做那些其他人没做或者很少人做的事情。不断交叉融合、不断创新,就能找到一些尽量少“卷”,但又很值得去做的研究。

科学研究不妨在国家和社会需求的范围“内”求“异”,另辟蹊径看风景。比如,过去我国百分之八九十的装备和材料靠进口,很多东西都来自国外。经济社会发展到一定阶段,国家自主创新的需求与日俱增,如何实现先进装备、先进材料的自主可控,实现国产替代乃至国产超越,是一个摆在我们面前的大课题。

现在的年轻人知识结构更丰富、眼界视野更开阔,创新突破的机会也更多,前景无限。

给你一双探秘材料微观世界的神奇“透视眼”

■本报记者 甘晓

航天器在太空中与微小的宇宙尘埃发生碰撞、飞机起飞时突然受到鸟的撞击或者冰雹撞击,工业过程中的锻造和冲压……

在力学上,这些情境被称为“超快速加载”,指的是材料或结构在极短时间内承受高速、高强度外力作用,导致内部快速变形与损伤。那么,这一瞬间出现的塑性变形、微小裂纹、损伤甚至相变,如何去捕捉?

国家自然科学基金委员会国家重大科研仪器研制项目“材料内部变形损伤过程的超快时、高分辨、强穿透同步辐射原位表征分析系统”就是致力于看清材料或结构内部在“超快速加载”下产生的变形与损伤。该项目由中国工程物理研究院成都科学技术发展中心承担,于近期获得验收。

项目负责人罗胜年教授向《中国科学报》介绍:“这一系统旨在给科学家一双神奇的‘透视眼’,使其在动态力学事件中材料变形和损伤等过程‘看得见、看得清’。”

一项有潜力的诊断技术

力学是一门古老且重要的学科,在许多领域中发挥着不可替代的作用。不过,近年来,许多力学学家看到,一些传统研究方法已经难以满足现代科研的需求。

具体到实验力学领域,对力学加载下材料内部结构进行原位实时测量是亟待突破的瓶颈。10多年前,在一次力学领域的大型学术会议上,当罗胜年在报告中提到一项新诊断技术时,在座的力学同行的眼睛亮了。

“大家都认为这项技术非常有潜力,建议我们申请国家自然科学基金委国家重大科研仪器研制项目,以实现这项新兴的诊断技术。”罗胜年回忆说。

不久后,他们带着同行的期待,成功申请到国家重大科研仪器研制项目“材料内部变形损伤过程的超快时、高分辨、强穿透同步辐射原位表征分析系统”。

当时,国内领域的专家普遍看好该项目的创新性,也一致认为真正实现这一系统,还面临着巨大的技术挑战。

超快速加载下的材料变形和损伤过程是一个瞬息万变的微观世界,时间极短、尺度极小。这种极端条件下的强动载荷对材料的微观结构演化产生强烈影响,会产生晶格畸变、微裂纹或微孔洞萌生与扩展、相变等一系列复杂的微观物

理现象。这意味着这台仪器需要具备极高的时间与空间分辨率来捕捉这些瞬态变化。

在长达7年的项目实施过程中,科研人员始终坚守初心,不畏艰难险阻,勇攀科学高峰,最终铸就了这双“透视眼”。

他们将动态力学载荷、极端环境与基于同步辐射光源的原位实时X射线诊断技术三者相结合,成功实现了立项之初设计的各项指标。

同时,项目形成了集成多种动态加载技术和原位实时诊断技术的同步辐射X射线综合性研究平台,具有多尺度、多物理、多环境的研究能力,可用于研究力学、材料科学和环境能源等领域中的多空间尺度(特别是微介观)、多时间尺度的冲击动力学问题,并提供研究这些科学问题所需要的极端加载、诊断和分析手段。

令科研团队感到欣慰的是,期待中的科学成果如约而至。科学家们利用这台“透视眼”开展的相关测量,已经在金属镁的孪生变形、氯化钾的超快相变动力学、复合材料高速侵蚀、裂纹传播以及增材制造高温合金的原位观测等方面取得了一系列进展。

在近期举行的项目验收会上,这套仪器系统得到了专家们的高度评价。有专家认为,该仪器系统提高了我国冲击动力学测量分析仪器方面的自主设计及研发能力,推动了我国在冲击动力学和极端条件物质科学研究领域的发展。

从灵光一现到有用的系统

据了解,这套仪器系统将动态同步辐射X射线诊断技术引入实验力学和动态物质科学领域,将传统动态性能测试方法与先进X射线探测技术相结合,是我国在大型科学仪器总体结构设计和综合测试思想上一个的创新。

多年前,罗胜年曾提出一个创新想法,将高能光源与冲击加载技术相结合,开展相衬成像和劳厄衍射等实验。此后,他又提出利用中能光源研制仪器的新想法。由于中能光源的能量和有效亮度相对较低,在这样的条件下实现高精度原位动态探测并不容易,需要开展大量创新工作。

该项目立项之初,中国科技发展正处于奋起直追的关键时期,科学家们渴望抓住每一个努力拼搏的机会。当罗胜年提出这一想法时,专家们表现出极大的热情。

然而,现实却很“骨感”。罗胜年说:“作为大科学装置的光源是仪器研发的基础条件,最



实验人员正在调试仪器部件。

受访者供图

让我们感到头痛的是国内没有成熟的光源。”当时,国内光源发展还处于起步阶段。为了确保项目顺利进行,他们积极与上海光源波荡器光源和光束线设计团队进行沟通,以达到仪器需要的光源条件。

与此同时,他们通过国际合作,逐步提升了自的技术能力,完成各个加载和探测系统的研制;重点开发了多种软件工具和数据分析方法,为后续的系统集成打下了坚实基础,确保各子系统的兼容性和协同工作能力。

2023年下半年,上海光源单脉冲束团模式调试成功之后,他们终于具备了在国内开展超快动态实验的条件。

作为一台依托光源设施的插入式仪器,这套仪器系统安装在上海光源的束线站上。按照惯例,实验完成后,科研人员需要将设备搬离束线站,以便让其他用户继续使用。

据了解,实验装置包含多个组件,总长度达几十米。这种大型设备的安装和调试本身就具有一定挑战性,尤其是在空间有限的束线站上。

从脑海中想法灵光一现到真正有用的高精密仪器系统,他们的切身感受是“痛并快乐着”。“当时每天快节奏工作,没有时间考虑结果,有什么问题就解决什么问题,不内耗。”罗胜年表示,“我们都相信,只要物理原理没有问题,剩下的‘事在人’,只需要付出试错和时

间代价。”当然,必不可少的是国家自然科学基金委数理学院的悉心指导、项目成员单位的通力合作,以及项目单位的支持保障。

“我那时还是‘光杆司令’,带的第一个博士生都还没毕业。”罗胜年表示。

在国内科研创新生态尚未成熟的情况下,相关人才培养也严重滞后。罗胜年不得不手把手教他们一些最基本的理论。

正是在这个过程中,罗胜年像“滚雪球”一样不断壮大队伍,如今团队已有100多名青年老师和研究生,成为名副其实的“百人团”。

一直以来,罗胜年以身作则,将科学精神融入实践。“首先对真理的执着追求,这是他们甘愿为科学奉献一生的动力,也是科研工作者的基本价值取向。”他说。

其次采用批判性和开放性的思维方式,勇于挑战传统观念,开放性地接受新思想和新方法。这有助于从方法论层面为复杂问题找到解决方案。同时,勇于创新、不惧失败的品质也必不可少。

最后,协同攻关则是实现科研目标的关键。在大科学装置研发领域,大量实践已经证实,单打独斗往往难以取得突破。

“实验室中,大家紧密合作,分享各自的见解与经验,形成强大合力。这种协同不仅体现在实验执行上,更体现在理论探讨与数据分析中。”罗胜年表示,“我们往往在团队讨论中更全面地理解问题,寻找最佳解决方案。”

面向未来,罗胜年仍然将人才培养置于重要位置。依托项目研制的这套仪器系统,他们还将继续与上海光源合作,培养优质用户,扩大用户群体,充实动态X射线原位实时诊断方面的“动手型”人才队伍,进行高质高效的科学和应用研究。

项目执行期间,罗胜年带领团队实现了多个“从无到有”。

编写仿真程序、处理超算任务、创制仪器硬件……哪怕是一个阀门,科研团队都要从零开始摸索着做。例如,为了实现对超快衍射信号的检测和分析,他们在探测器尺寸较小、几

《中国科学报》:目前,项目研发的这套仪器系统安装在上海光源的束线站上,将来会在其他地方复制吗?

罗胜年:近年来,我国的同步辐射光源建设发展迅速。科研团队正计划在其他的光源上,对这套仪器系统进行复制和扩充。

这套仪器系统将与我们最先进的X射线光源相结合,推动我国冲击动力学和动态物质科学的发展,令人期待。

《中国科学报》:对这套仪器系统有什么新的计划和期待?

罗胜年:我们计划提升这套仪器系统的应用价值。例如,将共性技术辐射到激光聚变、X射线自由电子激光等领域,包括将相衬成像和衍射技术应用到激光等离子光源的超快成像和超快衍射上。

我们期待它可以打开一扇通往微观世界的窗口,让科学家能以前所未有的精度“看见”材料在极端条件下的动态行为,揭示过去无法观察到的奥秘,探索物质科学未知领域,推动人类文明的发展。