

南海上“织”出的观测网

——中国海洋大学构建国际上规模最大的区域潜标观测网

通讯员 李华昌

南海,位于中国大陆的南方,连接太平洋和印度洋,南北纵跨约2000公里,东西横越约1000公里,是西太平洋最大的边缘海。南海是21世纪海上丝绸之路的重要海域,对我国海洋环境安全保障、海洋权益维护、资源开发利用、气候变化应对和防灾减灾都具有重要科学及社会意义,是我国建设海洋强国的核心战略海区。

然而,由于技术条件有限等多种原因,针对南海的长期连续观测资料极为匮乏,难以满足当前南海环境安全保障、资源开发利用、生态环境保护、气候变化应对等提出的迫切需求。

在国家863计划、国家海洋局专项、国家自然科学基金、中国海洋大学专项经费等项目支持下,中国海洋大学专家团队首次在南海构建了国际上规模最大的区域海洋潜标观测网,实现了恶劣海况下潜标观测数据的实时传输,有效提高了观测数据的时效性,取得诸多在国际上具有重要显示度的科技创新成果,为推进“透明海洋”工程提供了强大助力,奠定了我国在“两洋一海”(即太平洋、印度洋和南海)动力环境观测领域的国际地位。

自主研发

潜标整体位于水下,可架装不同深度的海洋传感器,实现全海深海洋动力环境的定点、长期、连续、多层次、多要素同步观测,并具有隐蔽性好、不易被破坏等优点。目前,海洋动力过程观测潜标大多针对某一动力过程设计,集成传感器种类单一,难以满足日益突出的多尺度动力过程观测需求。针对上述不足,中国海洋大学专家团队突破了沿缆往复稳定可靠运动控制、水下沿缆剖面测量等关键技术,集成多尺度动力过程海洋观测仪器,自主研发了“海洋多尺度动力过程观测潜标”,等适合深海多尺度观测的系列潜标系统,实现了环流、中尺度涡、内波、混合等多尺度海洋动力过程长期连续观测。

此外,海洋动力环境长期观测尚以“自容观测”为主,需回收潜标后方能获取观测数据,数据时效性低,难以满足海洋环境保障及预报对观测数据时效性的迫切需求。当前,国内外准实时潜标观测所采用的主要方式分为两类:一类为卫星通信浮子长期位于海面,一类为通过绞车实现通信浮子的自升降。其中,前者浮子易受恶劣海况破坏,后者机械结构复杂可靠性差。针对上述不足,中国海洋大学专家团队突破了深海可靠的电缆断路与电释释放等卫星通信单元发射关键技术,自主研发了“海洋动力过程定时通讯潜标”,有效提高了潜标观测数据的时效性。

中国海洋大学专家团队自主研发以上适合深海长期连续观测的系列深海潜标,并开展了大量长期海上应用检验,性能可靠、工作稳定,相关研发成果获4项国际发明专利及8项国家发明专利授



南海潜标观测网构建作业现场。刘邦华 摄

权,大幅提升了我国海洋多尺度动力过程长期观测水平,有力推动了我国海洋深远海定点连续观测技术的发展。

长期观测

为解决国家对南海动力环境系统长期连续观测数据的迫切需求,自2009年以来,中国海洋大学专家团队基于自主研发的系列深海潜标,在南海开展潜标布放回收航次20余次,总航时826天,组织开展潜标作业累计达12000余人天,累计布放各类潜标350套次,目前同时在位观测潜标42套,实现了南海海域多尺度动力过程长期连续观测,观测海域横跨吕宋海峡、南海深海盆、南海东北部与西北部陆坡陆架区,最长工作时间已接近10年,为世界上规模最大的区域潜标观测网,规模上远超南太平洋环流与气候实验(SPICE)、黑潮延伸体系系统研究计划(KESS)、努沙登加拉层结及输运国际联合观测计划(INSTANT)等国际大型区域海洋观测网。

由于长期处于高盐、强流以及内波等极端动力过程等复杂海洋环境下,潜标观测的风险极高,潜标设计、研制、布放及回收等任何一个环节出现差错均有可能导致高价值的观测仪器设备及宝贵观测数据的丢失。国际上大范围开展潜标观测已有数十年的历史,虽然潜标相关技术水平已有显著的提升,但即使是美国、日本等海洋强国,其潜标回收成功率也仅有90%左右。基于多年海上作业经验,中国海洋大学专家团队总结出一套安全高效的规范化、标准化的潜标布放回收作业流程,布放自主研发的各类深海潜标350套次,回收成功率达到100%。在这一国际领先的作业成功率保障下,南海潜标观测网获取了系统完整的南海全海深动力环境长期连续观测数据。

中国科学院院士、海洋地质学家汪

品先对南海潜标观测网的成功构建给予了高度评价,他说:“南海潜标观测网的成功构建,不仅为实现南海动力环境系统长期连续观测奠定了基础,为研究其水动力过程时空变异机理提供了宝贵数据,同时也为探讨南海深部沉积搬运过程以及太平洋水体演变、再造边缘海生命史创造了宝贵的条件,是我国海洋科学近年来一项值得表彰的重要进展。”

透明海洋

南海潜标观测网自2009年运行以来,获取了大量南海温度、盐度及海流等多尺度动力过程长期连续观测数据,并分批次向国家海洋信息中心汇交,目前已汇交数据占信息中心南海潜标观测数据总比例超过80%,是信息中心海洋长期连续观测数据库的重要组成部分,支撑了海水温度、盐度、海流等关键海洋动力环境要素产品的制作,具有极其重要的科学及社会意义。

21世纪是海洋的世纪。党的十九大报告中明确要求“坚持陆海统筹,加快建设海洋强国”。壮大海洋经济、加强海洋资源环境保护、维护海洋权益事关国家安全和长远发展。作为中国近海中面积最大、水最深的海区,南海从经济、军事和政治上考量,都具有极其重要的地位。

南海是开展海洋多尺度动力过程非线性相互作用和能量级联研究的理想天然试验场。过去,由于种种原因,南海长期连续观测资料匮乏,多尺度动力过程研究面临困难,进展缓慢,其耦合耦合作用机制了解甚少。为扭转上述局面,中国海洋大学田纪伟、赵玮教授科研团队构建了国际上规模最大的区域潜标观测网,南海潜标观测网,支撑了南海多尺度动力过程及其相互作用的一些科学发现,从而深化了南海海洋动力学的认知水平。中国科学院院士、中国科学院海洋研究所研究员胡敦欣教授对于南

海在海洋科研领域的独特作用给予了充分肯定。

南海潜标观测网获取的长期连续观测数据,有力支撑了南海环流、中尺度涡、内波、混合等多尺度动力过程科学研究的系统开展,在海洋环流方面,刻画了南海北部环流时间变异特征,探明了南海与太平洋水体交换的时空结构,揭示了太平洋西传中尺度涡对南海北部环流的影响机制,在中尺度涡方面,首次发现了南海中尺度涡的“全水深三维倾斜结构”,剖析了南海北部中尺度涡的生成机制及环流在其中的作用,阐明了能量正级串至亚中尺度过程是中尺度涡消亡的主导机制,在内波方面,系统建立了南海东北部内孤立波的生成、传播、演变及消亡全过程的统计规律,捕捉到了迄今为止全球海洋最大振幅(240米)的内孤立波,探究了ENSO、黑潮入侵、中尺度涡对内孤立波的调控机制,发现了超强台风“鲇鱼”下的海洋弱非线性响应,揭示了内潮“近惯性内波非线性相互作用”对台风下近惯性响应的调控机理,在混合方面,发现了南海北部混合的时间变化规律,指出了内潮和中尺度涡对南海北部混合时间变异的调控机理,揭示了南海深层强混合及其季节变化是调控吕宋海峡深层流季节变异的主要机制。中国海洋大学专家团队上述科学研究成果提升了南海多尺度动力过程及其相互作用的认知水平。自2013年以来,中国海洋大学专家团队基于南海潜标观测网取得的相关成果在国际一流学术期刊发表高水平论文13篇,在国际上获得广泛关注和高度评价。

南海潜标观测网是我国正在实施的“透明海洋”工程的重要组成部分,中国科学院院士、中国海洋大学副校长、青岛海洋科学与技术试点国家实验室主任吴立新指出:“建设海洋强国,离不开海洋科技”,“国家海洋利益拓展到哪里,“透明海洋”工程就建设到哪里。

2019年1月8日,2018年度国家科学技术奖在京揭晓,北京大学物理学院沈波教授团队的成果“氮化物半导体大失配异质外延技术”获得国家技术发明奖二等奖。

“这才是见硬功夫的地方”

氮化物半导体,是一种宽禁带半导体,它是一种人工(合成)材料,在自然界是没有的。它的主要制备方法是外延生长在蓝宝石、硅等别的衬底材料上,晶格失配和热失配非常大。

怎样克服大失配,得到高质量的氮化物半导体材料,是我们研究的核心问题。沈波开门见山对他的研究进行了介绍。

解决这个问题要从两个方面着手,第一个是衬底,一般称之为衬底工程,虽然都是蓝宝石衬底,但是可以通过在衬底表面做各种各样的新型微纳结构,促进高质量氮化物半导体的制备。第二个就是外延生长,要不断发展提升氮化物半导体外延质量和光电性质的新方法。

因为我们团队在这两个方面有一些创新,比较好地解决了衬底和氮化镓失配的问题,制备的材料有部分指标在国际上是领先的。沈波说,这次获奖是集体的荣誉。

沈波团队研究的氮化物半导体,有两个非常重要的特征,第一个是宽禁带,如果做光电器件,宽禁带就表示发光的波长更短,能量更高,比如蓝光和紫外发光二极管(LED);第二个特征是它有非常强的极化效应,做出来的电子器件功率密度很大,如果用来做雷达的收发模块,功率密度大,探测距离就近。

宽禁带半导体在军工和民用领域都有很多应用,是各国高技术竞争的主要领域之一。沈波认为,竞争背后也是机遇,国产设备市场变好,技术水平也就不断提升,再过5年,我们的国产设备就能发展起来。

校企合作核心诉求契合

在这次获奖项目的完成人中,除了北大的老师,还有东莞两家公司的代表,分别是东莞中镓半导体科技有限公司、东莞中图半导体科技有限公司。这一次获奖的技术,也已经投入到两家公司的生产中。

这两个公司跟北大都很有渊源。2009年,在甘子钊、张国义老师组织领导下,北大宽禁带半导体研究中心的研究成果与东莞企业的投资相结合,创立了中镓半导体科技有限公司,把北大氮化物半导体的研究成果在广东做产业化转移。2013年,中镓公司又把发展得很好的蓝宝石图形化衬底业务单独拿出来,成立了中图半导体科技有限公司。这两家公司的技术支持都来源于北大,一直以来跟我们有非常紧密的合作。

对于大学和企业之间的合作,最重要的是双方的核心诉求要契合。对企业来说,最关注的就是大学的研究成果对企业产品研发和生产的帮助。对大学来说,研发是核心使命,通过研发成果的产业化推广既可彰显成果的价值,也可获得更多的研发资源。从实验室的研究成果到企业有竞争力的产品,需要经过长时间的试中,不仅需要大学的研究能力,还需要企业在人力物力上的大量投入,因此需要大学和企业长时间的紧密合作来共同完成。

美国等发达国家为了抢占宽禁带半导体技术的战略制高点,通过国家级创新中心等形式,把企业、高校、研究机构及相关政府部门等有机地联合在一起。在这方面,中国也行动起来了。2015年,宽禁带半导体相关的科研机构、大专院校、龙头企业发起筹建我国的“第三代半导体产业技术创新战略联盟”,其中北大是副理事长单位。

沈波说,这个产业联盟的作用不可小觑。这个联盟,它有三方面的作用,第一是促进行业内企业的协调发展。第二是促进产业界和学术界的合作。通过这个平台,我们可以了解到产业界的需求是什么,也让产业界知道我们大学、研究机构都在做哪些事情,哪些技术在生产中可以用上。第三就是协调政府和研究机构、企业的交流,可以把学术界和企业的声音,反映给政府相关部门,如科技部、工信部等,政府在制定宽禁带半导体行业的五年规划时,会参考联盟成员的意见。

三十年磨半导体一剑

沈波的人生道路和中国半导体的发展紧密结合在一起,1985

科学人物

沈波：深耕半导体三十年

通讯员 罗敏



北京大学物理学院沈波教授

年从南京大学物理系半导体物理专业毕业后,在中国科学技术大学攻读半导体物理专业研究生,再到日本留学,获得半导体材料专业博士学位后回国任教,一直没离开过半导体。

对于沈波来说,氮化物宽禁带半导体的研究,一方面在科学上有足够的空间进行探索,有大量的物理问题需要通过研究去解答。另一方面,半导体作为一个事关国计民生的核心技术对国家是非常重要的,它在民用技术和军用国防上都有很高的应用价值。

1995年,沈波在日本东北大学材料科学研究所获得博士学位。谈及当初为什么选择回国,沈波说,这是一个顺理成章的选择。当年我本是南京大学公派出国的访问学者,等我博士毕业,就没有任何理由再待在海外。如今24年过去了,事实证明回国是对的。虽然刚回国那几年科研条件比较艰苦,但是国家对归国青年人才非常重视,让你挑大梁,很锻炼人。最近10多年来,科研人员的待遇、科研条件都得到了大幅度改善,我对自己的生活条件和工作条件都非常满意。

中国的宽禁带半导体研究起步较晚,前期可投入的资源较少,而半导体研究仪器设备动辄上百万美元,上世纪90年代我刚回国的时候,我们的实验条件跟国外比起来差距确实很大。可是最近10年,中国在科研经费上的投入大幅增加,我的日本朋友经常会来北大访问,他们就觉得我们现在实验室的仪器设备条件,跟日本的大学已经没太大差别,加上中国对人才的高度重视,我们确实缩小了和美国、日本等发达国家的差距。在少数技术点上,我们已经处在国际前列。2018年我国首个半导体照明产业规模最大的半导体照明产业,也是我们国家最近10多年来高新技术发展的典型案例之一。

这次获奖,用沈波自己的话来讲,就是一剑磨十年,是厚积薄发的过程。从2004年到北大,他一直在做氮化物半导体研究,至今已经过了15年,这个奖也被他视作这15年工作总结的一部分。我这辈子从上大学开始就学半导体,1995年起做氮化镓,看来一辈子就做半导体这件事情了。但真的沉浸到里面,你会发现其中的事情是做不完的,永远有好多事情等着你去。沈波说。

北京科技大学：

探索块体非晶合金的研究新坐标

通讯员 艾科

科学智选

吕昭平教授团队是北京科技大学新金属材料国家重点实验室的一支优秀科研队伍。近年来,在吕昭平教授的引领和指导下,团队在高性能钢铁材料、高熵合金、非晶合金、多孔材料、材料计算模拟等众多领域均取得丰硕研究成果。

吕昭平主持完成的“块体非晶合金的结构与强化研究”获国家自然科学基金二等奖。项目围绕新一代结构材料块体非晶合金研究的关键科学问题开展研究,揭示了非晶合金原子结构特征及原子堆垛的普适规律,提出了非晶合金强化的新思路和组织调控机制,建立了在无序固体中通过有序结构强化的新理论,为发展高性能非晶合金材料提供了理论依据。

非晶态合金作为一种高强度、高弹性、抗腐蚀和具有优异软磁性能的新型金属材料已经广泛应用于电力中继和电子信息工业,并在航空航天、能源和机

械领域显示出诱人应用前景。早在上世纪90年代,非晶态结构的长程无序就引起了众多科研团队的极大兴趣,也带来了无限烦恼和极大挑战,因为过去所有用来描述晶体材料的公式和方法都无能为力,所以在非晶态合金的原子排列结构的研究中常有“盲人摸象”之说。

针对这个国际性难题,从上个世纪90年代开始,团队就在陈国良院士带领下开展非晶合金原子结构方面的研究工作,是国内最早从事这方面研究的团队之一,在研究过程中,陈国良曾谆谆告诫团队成员,搞自己的研究特色,走自己的路,否则,团队就会被淹没在非晶领域的汪洋大海,找不到自己的坐标。

2006年,通过实验观察结合计算机模拟,团队才对非晶原子结构有了自己的认识,提出了非晶合金原子排列缺位有序(Imperfect ordered packing:IOP)的概念,被审稿人认为对非晶领域做出了重要贡献(significant contribution)。2007年之后,随着吕昭平从美国橡树岭国家实验室的到来,团队研究实力大增,在非晶结构方面的进展也接踵而来。2008年,团队发现了非晶合金中壳-核型中程序结构,揭示了非晶合金纳米尺度结构不均匀性本质。2010年,团队揭示了非晶合金原子排列的普遍规律,提出了描述

非晶原子排列的普适模型。最近,团队又在吕昭平带领下揭示了非晶合金发生玻璃转变的结构起源和高压下非晶合金发生多形性转变的电子结构起源。

团队成员回想起团队研究经历,感慨万千。十几年前,块体非晶合金是材料研究中很热门的领域,很多团队满足于尽快发表文章,选择最容易出成果的方向来做。而吕昭平团队选择了非晶合金的原子结构和强化这两个最核心但也是最难做的方向来做,尤其是非晶合金的脆性问题,很多人认为无法解决而避而远之。在吕昭平的带领下,团队迎难而上,十几年来瞄准这个方向,持续冲击,率先在国际上解决了这个难题,被《科学》(Science)期刊誉为开辟了一个新的科学研究方向,为此次获得国家自然科学奖打下基础。

同样,团队在高熵合金领域、高性能钢铁材料领域也是如此,瞄准一个方向,持续冲击,都是选择最核心、最关键的问题,哪怕问题很难啃,可能五年甚至十年都很难做出成果。正是由于团队的选择和坚持,才有了后来的收获。经过十余年的积累,团队在2017年和2018年各发表一篇《自然》(Nature)论文。

两篇《自然》论文和国家奖,表面上光鲜亮丽,但背后的艰辛和付出的确很多,有时一个实验重复几十遍,一篇

论文修改上百遍,多少个周末的夜晚,无数次开组会到接近凌晨,经历这些,让团队师生每一个人都认识到任何成绩的取得都没有捷径可走,都需要付出加倍的汗水和努力,都需要高度的专注和漫长的淬火。

科研突破需要每一位成员的共同努力,例如针对当时国内的真空设备,大多数是扩散泵(现在都是分子泵),需要预热很长时间,真空不稳定的情况,团队成员结合钢铁的微量稀土元素合金化的概念,发现加入少量稀土元素,可以很好地解决问题,这个微量稀土提高非晶形成能力的技术,还获得了美国专利,到现在仍然是块体非晶实现工业生产必须突破的一个技术。为了研究使块体非晶强化的树枝晶+非晶复合材料,团队成员前往新加坡国立大学,研究共晶成分和非晶形成能力的关系,用布里奇曼法(Bridgman)技术控制树枝晶的断面分布,得到了强韧化的铜基非晶复合材料,回国后,用改进后的Bridgman设备,实现了钨基和钛基树枝晶+非晶复合材料的强化。

国家科学技术奖励是在某一个领域长期积累、原始创新的结果,代表学校在某个方向上的综合实力。每一个奖的背后都经历过坐得了冷板凳、耐得住寂寞、承受住孤独的探索。