

·基金纵横·

勇攀科学高峰,敢做“表面”文章 ——记中国科学院表面物理国家重点实验室“创新研究群体”

何杰 秦玉文

(国家自然科学基金委员会信息科学部,北京 100085)

以王恩哥和薛其坤为学术带头人的中国科学院物理研究所表面物理国家重点实验室“纳米结构薄膜生长机理和原子尺度控制”研究群体是国家自然科学基金委员会创新研究群体基金的首批资助群体之一。他们在科研工作中做出了令人瞩目的成绩。

1 表面硕果,物理新枝

表面和界面是凝聚态物质与外部世界直接联系的窗口,涉及到人们日常生活所能经历的各种物质对象,常常表现出与体材料不同的特性。尤其是对于半导体材料,由于晶格周期性在表面界面处中断或改变,导致了表面界面附近的原子结构、能带特性等发生较大变化,从而表现出许多优异的特性,这些特性常常构成许多信息器件的物理基础。从20世纪60年代开始,随着超高真空技术、表面处理技术以及各种复杂的表面分析技术的发展,表面科学的研究内容得到了极大的丰富,研究对象日趋广泛,人们对表面物理和表面化学的认识也更加深入。特别是进入20世纪80年代后,对表面物理的研究已经发展到原子水平。20世纪90年代,微电子、光电子工业向低维器件结构发展,更增加了对表面科学研究的需求。目前的表面科学以凝聚态物理为背景,逐步发展成与化学、材料、生物等领域紧密交叠,基础性和应用性很强的交叉学科;已由初期主要发展表面测量技术和仪器,转向用新技术研究表面发生的各种物理和化学过程,从而提供越来越多关于表面组分、表面原子结构、表面电子结构、表面缺陷、表面原子运动、表面与外来物质相互作用等方面的基础知识,以解决在催化、半导体科学、材料科学、信息科学以及能源科学等应用领域的实际问题。

中国科学院表面物理国家重点实验室是我国第一批建立的国家重点开放实验室之一,是一个面向

国内外同行的研究基地。1991年6月,诺贝尔物理学奖获得者李政道教授参观表面物理国家重点实验室,并题词“表面生新枝,物理结硕果”,对实验室寄予了殷切希望。李教授的殷切希望感染和激励了当时在实验室学习和工作的所有年轻人,其中的王恩哥和薛其坤在几年后便成为了影响实验室发展的举足轻重的人物。

2 勤学奋进,脱颖而出

该群体学术带头人王恩哥1990年在北京大学物理系获得博士学位。他先后去法国Lille表面界面实验室(CNRS)和美国休斯顿大学宇航外延生长中心(SVEC)从事博士后及研究助理工作,1995年又回到实验室工作,1997—2000年任实验室主任,现任中国科学院物理研究所所长和SFI研究组组长。王恩哥在薄膜生长与反生长表面动力学和演变机理、轻元素共价键化合物的制备与分析、以及渐变周期结构中的Franz-Keldysh振荡现象等一系列研究中做出了有国际影响的工作。他曾在*Phys. Rev. Lett.*, *Phys. Rev. B*, *Appl. Phys. Lett.*等杂志上发表论文110余篇,其中包括1篇特邀综述评论专期和2篇特邀综述评论文章,并申请专利两项;曾在国际重要学术会议上做特邀报告20余次。他是第一批(1994年)中国科学院“百人计划”入选者,1995年获得国家杰出青年科学基金,1996年获得香港“求是”青年学者奖,1997年获得中国科学院青年科学家一等奖和“十大”杰出青年称号,1998年被人事部授予国家“有突出贡献的中青年科学家”称号,2000年获得中国科学院“盈科”优秀青年学者奖。另外,他还担任了中国物理学会理事、中国物理学会表面和界面专业委员会主任等职,同时是美国物理学会、美国材料学会和美国陶瓷学会会员。

本文于2002年9月3日收到。

另一学术带头人薛其坤 1987 年进入该实验室学习,于 1990 年 7 月获硕士学位。李政道教授来访时他正在实验室攻读博士学位。在实验室获得博士学位后,他先在日本东北大学金属材料研究所(文部教育)任职(其中 1996 年 6 月—1997 年 5 月,作为访问助理教授在美国北卡罗来纳州立大学物理系工作),后回到实验室工作,现为实验室主任和 SF4 研究组组长。他从事的研究主要是利用扫描隧道显微镜、衍射方法、光学探针以及其他表面分析手段研究 IV、III-V 族半导体表面和外延生长动力学、实时控制和量子效应。在 SCI 收录的杂志上共发表 70 余篇论文,其中包括 5 篇 *Phys. Rev. Lett.* 和 5 篇评论文章。在美国物理学会三月大会等许多重要会议上做过 20 多个邀请报告。其研究成果显著,发表文章被同行引用次数近 800 次。薛其坤于 1995 年获得中国科学院院长奖学金特别奖,1997 年获国家杰出青年科学基金,1998 年入选中国科学院百人计划,1999 年被评为中国科学院“十大杰出青年”,2000 年获中国科学院“盈科”青年学者奖,2000 年进入国家百千万人才工程的第一层次。他是中国物理学会表面和界面专业委员会副主任委员。

3 海纳百川,广聚英贤

1997 年以来,王恩哥主任致力于招揽年轻人才,先后吸引了刘邦贵、曹则贤、郭沁林、贾金锋、徐力方、顾长志、王学森、储谦谨、孟庆波、夏钊、杜小龙等,薛其坤的回来更使他如虎添翼。对科学事业的共同的追求使这群年轻人孜孜以求,不断努力。他们认识到,表面和低维量子结构与量子效应既是具有前瞻性的基础研究,又由于其重要的物理特性,可能导致出新器件概念、新器件结构和新器件功能,因此可能引发技术变革和跃进。与低维和纳米结构相关的纳米科学很可能是下一次工业革命的基础。要实现具有纳米尺度结构材料的应用,实现纳米甚至原子水平上的控制就显得极为重要。要做到这一点,首先要进行有效的材料制备。要进行卓有成效的基础研究,既要进行实验研究,又要进行深入的理论研究。王恩哥和薛其坤凭借其敏锐的科学洞察力,将研究方向锁定在与具有重要应用前景的新型极限功能薄膜材料有关的低维和纳米结构这一个共同研究方向上,同时开展材料制备、相关实验和理论的研究,并且还强调在纳米和原子水平上展开工作这一研究特点。为此,他们逐步完善增强自己的材料制备手段、主要实验研究工具和理论分析方法,并

四面出击,广揽人才,加强与国际同行的交流与合作。经过不懈努力,迅速集结了一批志同道合的优秀人才,形成了一个极具创新实力的年轻的研究群体,并在短短的几年内做出了令人瞩目的成绩。

他们最明显的特点之一是队伍很年轻,平均年龄 36 岁,并大都具有在国外著名大学和科研机构多年工作的丰富经验。他们中有 2 人获得国家杰出青年科学基金,6 人入选中国科学院百人计划。群体负责人积极引进国外优秀人才,善于发现、使用人才,大力创造宽松的学术环境,造成了一种团结协作的氛围,组成了一支年轻优秀的研究队伍,还特别注意技术人才的引进。该群体实验与理论结合紧密(16 名主要成员中,7 人搞理论,9 人搞实验),实验与技术人员比例合理,而且依托表面物理国家重点实验室,有相当好的实验设备和实验条件。学生来源稳定,队伍整齐。该群体的组成虽只是 20 世纪 90 年代末期的事情,但其工作成绩和在国际同行中的影响却是斐然的,而且其创新能力更是极具后劲。

他们还特别注重积极参加国际学术交流活动。成员中包括 3 名国际知名学者:张振宇、牛谦和施至刚,他们都已获得国家自然科学基金委员会海外青年合作基金的资助,每年回国工作 2 至 3 个月。群体成员作为主要核心力量参与组织成立了国际量子结构中心,与国际不少研究机构具有合作研究计划,如英国牛津大学、美国橡树岭国家实验室、再生能源国家实验室、德州大学、哈佛大学、日本东北大学以及德国多家研究单位等。群体成员每年参加各种国际学术会议。以上这些都保证了群体学术视野、创造能力和成熟程度,能从事国际上最前沿的研究工作,做出原创性的成果。

4 交叉合作,求实创新

研究群体集中了该领域优秀的实验和理论研究人员,他们密切合作,在科研中特别注重理论与实验相结合,完成的工作具有很高学术水平,取得了很好的效果。研究内容集中在国际前沿领域,研究的材料体系和结构体系都具有前瞻性和重要的应用价值。他们不但具有独特的实验手段,并能充分发挥现有各种仪器设备的能力,例如能制备各种轻元素功能薄膜的微波等离子体 CVD 系统、MBE 和 STM 结合系统等。

该群体近年来在轻元素薄膜材料的生长机理、结构、组分及相关的物理特性和在原子尺度上研究薄膜和低维结构的生长机理两方面取得了卓有成效

的成果,工作处于国际上的先进水平。主要包括:(1)在国际上首先研制成功 CN 和 CBN 纳米管和 C/CN 纳米管异质结,该工作在 *Appl. Phys. Lett.* 上发表数篇论文,并在 2001 年 4 月在美国陶瓷学会第 103 届大会上作特邀报告;(2)在国际上首次发现了表面活性剂在薄膜生长中的作用规律,提出了一个新的生长机理,解释了已有的理论所不能解释的现象,工作发表在 1999 年的 *Phys. Rev. Lett.* 上,并于 2000 年 11 月在美国材料学会(MRS)年会上作特邀报告;(3)在实验上观察到表面原子岛的蜕变过程,并从理论上研究了表面原子岛的稳定性问题,提出了它的蜕变机理,工作发表在 2001 年 3 月的 *Phys. Rev. Lett.* 上;(4)将分子束外延(MBE)与扫描隧道显微镜(STM)结合起来,对微结构和表面生长过程进行了原位和实时的测量,进行了一系列具国际先进水平的工作,如 Si 表面的 In 量子线、量子点、表面原子岛的蜕变等。总之,该群体在近两年来在 *Phys. Rev. Lett.*、*Appl. Phys. Lett.* 和 *Phys. Rev. B* 上发表高水平论文 30 余篇,在重要国际会议上作特邀报告 10 次,显示了该研究群体具有深厚的研究基础和进行原始创新性研究的实力。

他们的研究方向明确,创新点突出。在过去几年中在材料生长机理和结构方面做了许多工作,为今后物理性质如光学、输运等性质的研究奠定了良好的基础。与自旋结合,开展磁量子线/点等量子输运的研究,这与量子信息、量子计算等密切相关,是国际上最新发展的领域。研制极低温(2.2K)、强磁场(12Tesla)双探针 STM 系统和高分辨电子显微镜-STM 系统,这是研究微结构物性-输运性质的重要实验设备。特别是前者,如果研制成功,将是国际上最先进的研究自旋输运的设备。

5 百尺竿头,更进一步

2001 年该群体成为国家自然科学基金委员会创新研究群体首批资助对象。在获资助后的一年多时间内,捷报频传。首先,完成了低温强磁场双探针扫描隧道显微镜的设计和制作,2002 年底有望完成安装和调试工作。该项工作如能顺利完成,将会使

该群体的研究手段大大提升,为其今后的研究工作跨入新的境界提供物质条件。第二,在表面限域系统的研究中取得了一系列重要成果,利用其提出的表面反应限制聚集理论(RLA),在原子层次上研究了薄膜生长规律,解释了实验观察到的新现象,建立了表面势垒控制量子受限系统形成的完整物理图象,给出了层间质量传输模型,揭示了影响表面量子受限系统稳定性的起因。有关工作发表了 4 篇 *Phys. Rev. Lett.*, 并在今年 5 月被英国 *Nature* 以“Thin Film Cliffhanger”为题进行了报道和介绍。第三,在表面纳米团簇研究方面取得重要进展。在硅衬底表面上成功地制备出了近于完美的纳米团簇二维周期结构,为探索纳米结构的量子效应、新颖光学性质、纳米磁性、磁性二维晶格的磁有序、自旋极化电子输运等提供了理想的研究体系。他们的新方法具有很好的普适性,制备出的结构显示了很好的稳定性,并与目前工业上大规模广泛应用的硅工艺技术相容,具有广阔的潜在应用前景。他们的工作发表于 *Phys. Rev. Lett.*、*Appl. Phys. Lett.* 和 *Phys. Rev. B* 等杂志,并先后被美国物理学会 *Phys. Rev. Focus* 以“The Magic of Nanoclusters”为题做了专门介绍,美国 *Science News* 以“Sowing neat rows of seeds on silicon”为题进行了报导,英国 *Nature — Physical Portal* 作为每周物理研究的 Highlight 以“In brief: just like that”为题做了介绍,英国 *Nature — Materials Update* 以“团簇克隆(Cloning clusters)”为题专门报道,另外,美国材料学会 *MRS Bulletin*、美国 *Information Satellite*、英国 *Electronic Engineering Times* 以及包括克罗地亚等的杂志和媒体也对该项成果及其可能的应用前景进行了报道和介绍。这些一系列工作产生了广泛的国际影响,引起国际学术界广泛关注。

随着研究条件和宏观大环境的不断改善,相信在各方面的支持下,这一充满创新活力的年轻群体在探索表面世界的奥妙中,必会取得更多令人惊喜的成果。“表面生新枝,物理结硕果”,这群年轻人正耕耘在科学的土地上,他们愿将自己的青春和才智化作雨露春风,滋养“新枝硕果”,描绘科学的春天。

WORK HARD IN THE NANO STRUCTURES ON SURFACES —INTRODUCTION OF THE INNOVATIVE RESEARCH GROUP IN THE STATE KEY LABORATORY OF SURFACE PHYSICS

He Jie Qin Yuwen

(Department of Information Science, NSFC, Beijing 100085)