

南京大学凝聚态物理学科

朱劲松*

(南京大学物理学院 南京 210093)

凝聚态物理学是当今物理学最大也是最重要的分支学科之一，是研究由大量微观粒子(原子、分子、离子、电子)组成的凝聚态物质的微观结构、粒子间的相互作用、运动规律及其物质性质与应用的科学。它是以固体物理学为主干，进一步拓宽研究对象，深化研究层次形成的学科。其研究对象除了晶体、非晶体与准晶体等固体物质外，还包括稠密气体、液体以及介于液体与固体之间的各种凝聚态物质。其研究层次，从宏观、介观到微观，进一步从微观层次统一认识各种凝聚态物理现象。

南京大学物理学院凝聚态物理学科是由原晶体物理、磁学、低温物理及凝聚态理论演化而来的。由于在晶体物理、磁学等方面的优势，1982年教育部批准成立了南京大学固体物理研究所。其后物理系整合了相关专业，形成了“凝聚态物理学科”。由于雄厚的实力及国内外的影响，南大凝聚态物理学科在历次全国重点学科评估中均名列前茅，在国内外学术界与教育界享有盛誉。1984年依托凝聚态物理学科，冯端领衔创建了科技部“固体微结构物理国家重点实验室”，这是全国第一批建立的国家重点实验室，冯端为第一任主任。冯端学贯中西，把握研究方向定位准确，加之宽厚待人、心胸开阔、凝聚人才、承上启下，对物理系乃至整个南大贡献很大。后续主任为闵乃本、邢定钰、王牧和陈延峰。实验室全体教师凝聚态物理前沿领域团结奋斗、努力拼搏，使得固体微结构物理国家重点实验室不仅在全国，而且在国际上都产生较大的影响，在历次国家组织的重点实验

室评估中均列前茅。

南京大学物理系自1952年院系调整后，由中央大学物理系及金陵大学物理系为主，再加上浙江大学等一些高校教师组成。1953年首先由施士元、程开甲领衔组建了金属物理教研组，这也是物理系建立的第一个专业教研室。教师们通过进修与自我学习，很快就开设了该专业相关课程，如施士元的“X射线衍射学”、程开甲的“金属物理”与“固体物理”等。同时，也开展了一些相关的科研：如程开甲进行的内耗理论研究、王业宁进行的内耗实验研究等。施士元与程开甲招收了物理系的第一批研究生(刘圣康、李正中、张杏奎等)。1958年施、程两位教授由于筹建新的核物理专业的需要而调离，冯端接任金属物理教研室主任，王业宁任副主任。施、程两位教授几年的辛勤工作不但为金属物理教研室的教学与科研打下了基础，同时也培养了一批年轻教师。

鉴于当时晶体缺陷研究在国际上已有长足进展而国内尚属空白，冯端决心开辟这一领域。南京大学的晶体学研究起始于20世纪50年代末60年代初，在冯端领导下进行了金属单晶的生长及晶体缺陷(主要是晶体位错、点缺陷及内耗)研究。在极其困难的条件下，他带领闵乃本、耿兆华等几个年轻人，设计研制了中国第一台电子轰击浮区熔仪，制备出体心立方难熔金属钼、钨、铌单晶。闵乃本与李齐等用化学腐蚀法显露位错在表面的貌像，用最简单的电解侵蚀法显示位错，特别是用逐层观测法得到了位错线在晶体内部的立体分布及结构。短短几年，他们就在位错蚀线技术、位错起源、位错组态、亚晶界的位错结构、位错滑移动力学以及位错与界面内耗等方面取得了一系列成果，为开拓我国的位错与晶

* 作者为原南京大学物理学系副主任、晶体物理教研室主任

DOI: 10.7693/wl20150903

2015-08-03收到

体缺陷研究做出了重大贡献，被列为重大科研成果。张杏奎、杨正举等计算了位错附近的弹性力场。王业宁等用低频扭摆研究了钼的晶界内耗及锰铜等合金的马氏体相变内耗，并与蒋树声等一起研发了我国第一台三节组合振子内耗仪，用此仪器研究了钼单晶中的位错内耗。丘第荣进行了金属再结晶研究也取得了很好成绩。冯端等的工作在国内产生较大影响，作为“文革”前南大科研成果的“五朵金花”之一，参加了1965年在北京举办的教育部直属高校科研成果展览会，并被选派参加1966年在北京召开的亚洲及太平洋地区物理学术国际会议。一直到“文革”开始前，南大已形成一支金属单晶制备、缺陷及内耗研究的队伍，建立了“金属物理”教研室，开设了“金属物理”（该课由冯端、王业宁、丘第荣三人承担，后在此基础上并结合他们的科研工作，于1964年出版了《金属物理》上册）及包括晶体生长、性能检测在内的“金属物理研究方法”、“金属学与热处理”等课程。每年招收本科生20余名，研究生2—3名。

1954年，鲍家善主持成立了物理系的第二个专门化——磁学专门化。他是有名的微波、雷达专家，并找了翟宏如、蔡鲁戈、胡洪铨及后来的都有为、金通政等年轻教师，筹备建立磁学专门化，成立磁学教研室。鲍家善任第一届磁学教研室主任。1955、1956年教育部决定在南京大学、北京大学、兰州大学、吉林大学、山东大学等五个大学物理专业内成立磁学专门化。南京大学磁学专门化成立后确定研究方向为微波铁氧体，并在国内较早地开展了铁氧体永磁、矩磁及旋磁的工作，最早开展了利用磁场控制扫描天线的创新研究。60年代在微波铁氧体、

铁磁共振研究方面已具特色。先后开设了铁磁学、磁性测量、磁性理论、金属磁性材料、铁氧体及实验课程。70年代开拓了稀土永磁合金、薄膜、超细微粒、非晶态磁性材料等研究方向，研究工作处于国际学术前沿。翟宏如、都有为为该专业的创立与发展做出了很大贡献。

低温物理教研室是以姚希贤为学术领导人，陈锡光、金新、丁世英等协助建立。1959年物理系有些教师看到低温物理研究与应用的发展，提出建立低温物理专业的建议，经学校与教育部批准后开始了筹建，但受国内困难时期的制约很快就暂停了工作。随着国内形势好转，1964年初，高教部正式发文全国新建两个低温物理专业，它们分别设在北大与南大。1973年南大低温物理专业开始招生，并开启了以超导物理为中心的科学研究。1978年恢复高考后正常招生，开设了低温技术、超导物理、低温物理实验、低温物性、低温电子技术等课程，并建立了制冷实验室、超导物理实验室、低温物性实验室。1979年开始招收超导方面的研究生。

1973年前后，经历“文革”后，学校各项工作逐渐恢复。冯端高瞻远瞩，考虑到激光技术的



图1 时任固体微结构物理国家重点实验室主任的冯端与同事们讨论工作（左起：都有为、姚希贤、王业宁、冯端、闵乃本、王广厚）



图2 极低温强磁场扫描隧道显微镜(STM)和分子束外延(MBE)联合系统

兴起与发展,提议将“金属物理”教研室改为“晶体物理”教研室,研究对象由金属材料转向主要作为激光和非线性光学应用的晶体材料,这就把研究领域扩大了,符合国际研究潮流和国家所需。晶体学及其应用是非常活跃、处于迅速发展的学科,与光电子、微电子学、激光等学科关系密切。这样一个方向的调整为南大物理学科的发展和固体微结构物理国家重点实验室的创建奠定了坚实的基础。由于学科方向的调整,教研组的人力及科研方向也随之重组:由闵乃本领导的“晶体生长”研究组(包括洪静芬、杨永顺、孙政民、胡安、邹群、及由山大调入的王文山等);由冯端领导的“晶体缺陷”研究组(包括蒋树声、周衡南等的X光;李齐、葛传珍、徐秀英等的光学观测;彭菊琳等的电镜);由王业宁领导的“晶体物理性能”研究组(包括张杏奎、许自然、沈惠敏、朱劲松、谈云鹏、邹一峰等)。

在恢复重建实验室后,南京大学的教学科研逐步走上正轨,以较好的状况重新开始了教学活动,招收了新的学生(工农兵学员)。在三届工农兵学生之后,1978年迎来了恢复高考后的第一批新生。随着这批高水平学生的到来,教学与科研也

基本恢复正常。开设了“晶体生长”、“晶体缺陷”、“晶体物理性能”等专业课程。在此期间,南京大学在晶体学研究方面值得关注的科研成果是“ LiNbO_3 聚片状多畴的生长及其倍频效应的研究”。诺贝尔奖得主 Bloembergen 在 1962 年首先提出“非线性光学准相位匹配的理论”,冯端首先提出在人工微结构晶体中验证这一理论目标。冯

端、闵乃本等用晶体生长过程中施加不同方向电场技术,在LN晶体中长出具有一定周期而极化方向相反的聚片多畴铌酸锂晶体——PPLN(现称为介电体超晶格)。虽然当时还不能长出大面积的贯穿整个晶体的层状片畴,但在晶体中已能找出具有一定层数、厚度近似等于相干长度(或奇数倍)、周期较为准确的片畴结构,经过切磨后制备了可用于倍频实验的晶片。随后王业宁、谈云鹏、朱劲松、杨震等研制了声光调Q激光器(此成果获1978年全国科技大会奖),朱劲松及薛英华进行了聚片状多畴LN中倍频增强效应的实验研究,观测到输出二次谐波的功率与电畴数的平方成正比的结果,与理论预期一致。该成果发表在1980年的 *Appl. Phys. Lett.* 上,并与缺陷观测的结果一起获得了1982年国家自然科学二等奖(晶体缺陷研究——冯端、闵乃本、王业宁、李齐)。

1984年,凝聚态物理迎来了一个重要突破,以色列科学家 D. Shechtman 发现了准晶。闵乃本考虑将准晶结构引入介电体超晶格,以准周期超晶格为突破口,组织团队对介电体超晶格材料体系开展系统研究。从1986年开始,经过19年的

努力，团队在准周期光学超晶格多种准相位匹配的理论建立和实验验证、二维光学超晶格与光子晶体、声学超晶格与声子晶体、“离子型声子晶体”的理论模型和实验验证、室温电场极化技术和畴工程学、介电体超晶格的应用研究和器件研制等方面形成系统的研究成果，在国际、国内产生了重要影响。这些创新性成果于2006年获得了国家自然科学一等奖（闵乃本、朱永元、祝世宁、陆亚林、陆延青）。在此之前，国家自然科学一等奖已连续空缺多年。当时该团队的其他中青年骨干陈延峰、王振林、王慧田、何京良、秦亦强、陈向飞等也为该项任务的完成做出了重要贡献。获奖后，团队成员又将介电体超晶格的研究进一步从非线性光学拓展到量子光学，研制出国际上第一片铌酸锂量子光学芯片，该芯片主要技术指标都远好于国际同期研制出的硅基光子芯片。2011年在科技部国家重大仪器专项支持下，祝世宁领衔对高功率、可调谐中红外光学超晶格激光器进行了系统研制，经过几年努力取得成功。标志着介电体超晶格的研究已走向了应用，并开始填补国家需求的空白。

微结构物理及其应用学科群在南京大学后来的学科建设中发挥了引领作用，成为凝聚态物理和材料物理交叉领域里，基础研究和应用研究相结合的一个新的学科成长点。冯端、闵乃本、都有为等先后出任“八五”和“九五”攀登计划项目“纳米材料科学”和“光电功能材料”首席科学家，产生了一批标志性成果。如准周期光学超晶格的研究，该研究由闵乃本、朱永元和祝世宁共同完成，1998年被科技部评为“中国基础研究十大成果”；由陆延青、朱永元和闵乃本完成的离子型声子晶体的

光学性质，1999年被科技部评为“中国基础科学研究十大新闻”，同年还被列为“中国高等学校十大科学进展”。

在此期间，王业宁领导开展了固体中内耗与力学谱的研究。首先将多体相互作用耦合模型推广到金属材料，定量解释了有关Snoek—Koster弛豫内耗峰的一些实验规律，该理论被国外同行及文献称为“Wang Model”。在固体中一级相变瞬态与稳态内耗的实验规律及机制、多种铁电、铁弹材料、高温超导材料相变附近的内耗特性等方面也取得多项创新研究成果。1991年“固体中与相变及缺陷有关的内耗研究”项目获国家自然科学基金四等奖（王业宁、沈惠敏、陈小华、朱劲松、孙林海）。胡安等开展了准周期金属超晶格的研究，在理论上将传统的2组元Fibonacci结构推广到K组元，并得到其衍射谱的解析式，揭示了其中声子态的新奇临界行为，并预言了其可能的应用。1995年“准周期金属超晶格的研究”项目获国家自然科学基金三等奖（胡安、蒋树声、夏华、彭茹雯、冯端）。鲍希茂等开展了多孔硅及硅基纳米发光材料的研究，成功地将离子束技术用于多孔硅研究和加工，证明了多孔硅的量子限制发光机理。用选区注入办法制作出分辨率达到当



图3 固体微结构国家实验室部分学术骨干于2000年合影（左起：王牧、徐宁、章维益、王惠田、邢定钰、闵乃本、冯端、王业宁、王伟、马余强、祝世宁、吴小山、徐骏）

时国际上最高水平的发光器件图形。1999年“硅基发光材料研究——多孔硅、多孔SiC、硅基纳米镶嵌材料和超晶格材料”项目获国家自然科学基金四等奖(鲍希茂、刘湘娜、吴兴龙、闫峰、冯端)。都有为领导开展了磁性材料和物理的研究。在锰钙钛矿化合物大磁熵变效应以及其小颗粒体系中的隧道型磁电阻效应,磁性纳米微粒的尺寸效应与表面效应,以及磁光效应、反常霍尔效应等方面取得重要成果,“新型的氧化物磁制冷工质与隧道型磁电阻材料”项目2004年获国家自然科学基金二等奖(都有为、钟伟、郭戟兵、张宁、冯端)。王广厚在国内率先开展了原子团簇的实验和理论研究。在国际上首先发现溅射离子簇的同位素效应,准自由硅团簇的表面振动模等一系列既不同于原子分子又不同于大块固体的物理效应。设计和研制成功团簇束流实验装置。“团簇物理研究”项目获2010年国家自然科学基金二等奖(王广厚、韩民、赵纪军、刘峰奇、王保林)。刘治国等开展了铁电薄膜材料制备、性能和应用的研究。建立了带电荷畴壁被缺陷电荷钉扎和在外电场作用下脱钉相互竞争的物理模型。在晶格层次上阐明了 $\text{Bi}_{3.25}\text{La}_{0.75}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 和 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 铁电疲劳的起源,为优化铁电材料的性能和开拓实际应用提供了新思路。“存储器用铁电薄膜与电极材料的研究”项目获2005年国家自然科学基金二等奖(刘治国、李爱东、吴迪、朱信华、闵乃本)。王牧等研究了晶体生长系统和电结晶系统中的若干界面生长形态及其生成机制、界面演变的过程及其动力学规律,揭示了传输限制系统中特有的生长界面附近物理、化学环境的周期改变对生长形态和生长机制的影响。“晶体生长机制与动力学若干问题的研究”项目2007年获国家自然科学基金二等奖(王牧、闵乃本)。邹志刚等从事可见光光催化材料的开发及在光解水制氢和环境净化方面应用的研究,发展了一种全新的具有可见光活性的新型复杂氧化物催化材

料体系,突破了第一代光催化材料只能在紫外光下具有活性的局限性。“可见光响应光催化材料及在能源与环境中的应用基础研究”项目2014年获自然科学二等奖(邹志刚、李朝生、于涛、周勇、闫世城)。

1984年,利用世界银行贷款,南京大学开始筹建现代分析中心,一批物理系的重要骨干教师丘第荣、翟宏如、杨正举、张明生、程光熙、金通政、王自钧等抽调参与中心的组建。他们不仅在自己的研究领域卓有成绩,也为凝聚态物理学科科研成果的取得和学科建设做出了重要贡献。

南大凝聚态物理专业在教材建设上也取得了非常突出的成绩,其中冯端与金国钧耗时十数年凝心聚力完成了专著《凝聚态物理学》(上、下册);冯端主编的四卷本《金属物理学》;冯端、王业宁、丘第荣等著的《金属物理》(上、下册);闵乃本著的《晶体生长理论基础》;王广厚著的《团簇物理学》;胡安、章维益著的《固体物理学》等,都是本领域权威的学术专著与教材,被国内众多院校及研究所选为相关专业研究生的教材或最重要的参考书,为中国凝聚态物理及相关学科高层次人才培养做出了重要贡献。由于本专业研究生培养成绩显著,冯端、闵乃本、王业宁、龚昌德、李正中等完成的“凝聚态高层次人才培养”项目获1996年国家教学成果一等奖。

南京大学凝聚态物理学科经过多年的建设与发展已在国内外享有盛誉,在其基础上创建的“固体微结构物理国家重点实验室”、“南京微结构国家实验室(筹)”、“人工微结构科学与技术协同创新中心”已成为国内外有重要影响的研究中心。一大批教师及研究人员也已成为我国微结构科学各研究方向的领军人物和知名专家。可以相信在未来的日子里,南京大学凝聚态物理学科将为中国的科技发展和人才培养做出更大的贡献。