

透射电子显微技术科教融汇人才培养新模式的探索与实践

宋淼 王丽 李维杰 刘超强 杨婉仪

中南大学 粉末冶金研究院, 湖南 长沙 410083

[摘要] 随着科技的飞速进步, 先进电子显微技术在科研实践中的重要性愈发凸显, 尤其是在材料科学、纳米技术、生物医学等领域, 透射电子显微技术的应用更是发挥着重要作用。然而, 现今透射电子显微技术人才的培养依然面临诸多挑战, 特别是在球差校正透射电镜理论与实践的结合上仍有待加强。为了有效应对这一问题, 提出了一种创新性的研究生人才培养模式: 结合研究课题开展透射电镜基础理论教学—透射电镜常规实验表征—准原位技术—原位技术逐步深入的研究生科教融汇培养新模式, 旨在通过这种多层次、多阶段教学与科研相结合的模式, 增强研究生在高端透射电子显微技术领域的综合素质与创新能力, 为我国高水平科技创新输送具备扎实理论基础与丰富实践经验的专业人才, 推动我国在先进科技领域的自主创新和可持续发展。

[关键词] 电子显微技术; 球差透射电镜; 研究生培养; 科教融汇

DOI: 10.33142/fme.v5i5.14112

中图分类号: TQ127.2

文献标识码: A

Exploration and Practice of a New Model for Integrating Science and Education in Talent Cultivation through Transmission Electron Microscopy Technology

SONG Miao, WANG Li, LI Weijie, LIU Chaoqiang, YANG Wanyi

Powder Metallurgy Institute, Central South University, Changsha, Hu'nan, 410083, China

Abstract: With the rapid advancement of technology, the importance of advanced electron microscopy technology in scientific research practice has become increasingly prominent, especially in the fields of materials science, nanotechnology, biomedical science, etc. The application of transmission electron microscopy technology plays an important role. However, the cultivation of talents in transmission electron microscopy technology still faces many challenges, especially in the combination of theory and practice of aberration correction transmission electron microscopy, which still needs to be strengthened. In order to effectively address this issue, an innovative graduate talent cultivation model has been proposed: combining research topics to carry out basic theoretical teaching of transmission electron microscopy, routine experimental characterization of transmission electron microscopy, quasi in situ technology, and gradually deepening the integration of in situ technology in graduate science and education, aiming to enhance the comprehensive quality and innovation ability of graduate students in the field of high-end transmission electron microscopy technology through this multi-level and multi-stage teaching and research model, and provide professional talents with solid theoretical foundation and rich practical experience for high-level scientific and technological innovation in China, promoting independent innovation and sustainable development in advanced scientific and technological fields.

Keywords: electron microscopy technology; aberration transmission electron microscopy; graduate education; integration of science and education

引言

在科技高速发展的今天, 先进的电子显微技术在拓展人们对新事物认知、揭示材料的结构与性能、研发新材料等方面均发挥着举足轻重的作用, 在国民经济和科学研究发展中有着重要地位。透射电子显微镜作为一种高分辨率电子显微实验表征仪器, 能帮助科研工作者直观分析研究材料的微观结构, 为材料的设计优化和服役评价提供技术支撑, 其在现代科学研究中具有不可替代的作用。因此, 培养具备创新能力的透射电子显微学人才对我国科技的稳步提升至关重要。然而, 当前我国高校在研究生电子显微学的传统培养模式中, 已难以满足现阶段科学研究对先进透射电子显微技术人才综合素养的新要求。为了应对这

一不断增长的需求, 亟需探索并推进科教融汇创新培养模式, 以便更好地培养能够掌握并应用先进技术的高素质科研人才, 提升他们的科研能力和创新精神, 为未来的科学研究奠定了坚实的基础。

1 电子显微技术人才培养的重要性

随着我国经济的发展和科技强国战略的实施, 近十年, 仅国外的高端球差校正透射电镜, 我国科研院所就购置了近 300 台, 更不用说普通透射电镜、扫描电镜、聚焦离子束电镜等。高端电子显微设备作为发达国家对我国科技的一个重点制裁领域, 诸多高校及科研院所均受到了严重影响。从设备、技术方面而言, 主要体现在采购高端电子显微设备及配件难、设备维修难, 进而导致研发进展缓慢、

成本显著增加等。当前作为全球电子显微设备最大最强的美国赛默飞公司,已对很多学校的透射电镜和扫描电镜实施全面禁购,并停止了前期相关设备的所有售后服务,致使部分单位新购置安装的球差校正透射电镜处于待修状态,无法正常运行,严重影响了部分科研项目的顺利实施。从人员培养方面而言,主要体现在设备管理操作人员的培训缺乏、高水平科研人员的培养不足等方面。球差校正透射电镜作为科研实验高端装备,其高效高质运行需要科研技术人员不仅具有扎实的专业知识和技术能力,还需具备创新思维、独立研究能力以及团队协作精神。此外,持续学习和国际视野也是他们在快速发展的科技领域中保持竞争力的关键。通过这些综合素质的培养和提升,科研技术人员才能在高端装备领域做出卓越贡献,推动科技进步和产业发展。尽管我国许多科研院所都配备了高端球差校正透射电镜,但由于设备供应链受限、技术获取难度大,以及高水平科研技术人员的培养周期较长,我国在高水平球差电镜科研人员的培养方面进展缓慢。这不仅导致了资源的极大浪费,也严重制约了我国科技的自立自强。

研究生作为国家科技发展的后备军和主力军,与广大科研工作者一样肩负着实现科技强国的使命。习近平总书记指出,研究生教育在培养创新人才、提高创新能力、服务经济社会发展、推进国家治理体系和治理能力现代化方面具有重要作用。只有让更多的研究生参与到先进的透射电子显微设备的实际操作中来,才有可能激发学生的学习科研兴趣,提高研究生的科研水平。因此,我们急需针对我国电子显微领域目前面临的多重困境,探索研究生的电子显微技术的科教融汇培养新模式,促进高科技创新人才的本土培养,助力科技资源的高效利用及科研成果的高质产出。

2 电子显微技术人才培养中存在的问题

电子显微学创新人才的培养主要包括两个方面,一方面是电子显微学相关设备的设计与研发人员的培养,另一方面是基于现有电子显微设备开展前沿教学科研人员的培养,两者相辅相成,前者更是以后者为基础。当前,高校透射电子显微学的教学仍主要采用课堂理论教学结合少量分散式上机操作教学的方式,学生接触并操作透射电镜的机会极其有限,多停留于理论知识,更不用说接触更为先进的原位球差电子显微实验,这极大地制约了先进电子显微技术的推广应用及我国在透射电子显微学的自主发展和创新能力的提升。导致该现象的原因主要包括以下三个方面。

2.1 设备价格昂贵,维护成本高

透射电镜作为大型测试仪器,价格高昂,少则几百万(如普通透射电镜),多则两三千万(如球差校正透射电镜),因此一所高校中电子显微设备数量十分有限。同时实际使用过程中,设备操作相对于其他仪器较为复杂,难度更大,操作不慎易导致设备故障。此外,电子显微设备属于大型精密仪器,对周围环境如温度、湿度、振动、噪

音等要求较高,需要对设备进行定期维护、保养,且如遇故障,设备维修成本高,周期长^[1]。因此,为降低使用风险,一般高校采用专人操作的管理方式,学生实际操作机会少,电子显微学知识仅停留于理论阶段。

2.2 设备操作管理人员知识储备有限

球差校正透射电镜作为高端实验表征装备,不同于常规的透射电镜,其高效应用需要高水平科研人员的参与。然而,基于惯性思维,我国多数高校中负责操作球差校正透射电镜的老师多是熟练操作常规电镜的人员。且一般管理操作人员年纪相对较大,对理论专业知识特别是近年快速发展的球差校正透射电镜各种实验表征技术知识的掌握程度有限。其次,高端球差校正透射电镜表征能力强大,适用材料范围广,仅靠少数操作管理人员的知识储备是很难完全覆盖。在实际操作过程中,操作人员难以全面掌握所分析、表征和实验样品的具体情况,因此在面对实验中的特殊现象时,可能无法及时捕捉和应对,从而难以及时调整后续实验方向。这可能导致实验关键数据采集的错失,并且实验效率低下。

2.3 培养思维固化,培养成本高

现阶段大多数老师多认为球差校正透射电镜与普通透射电镜类似,仅是分析表征设备,只需把自己的科研需求告知相应的电镜操作人员即可获得相关数据。正因如此,老师往往会忽略对研究生透射电子显微技术的培养,即使在透射实验表征需求较多的课题组亦是如此。另一个原因是,球差透射电子显微技术的培养周期长、费用高,认为于交给专业测试人员测试而言,投入的回报率较低。然而,实际情况并非如此,许多科研人员在花费大量科研经费用于获取球差校正透射电镜的实验表征数据后,由于缺乏足够的分析能力,往往无法充分利用这些数据,甚至不得不将其搁置或弃用。这不仅造成了资源的浪费,还限制了研究成果的产出。

随着科技的发展,球差校正透射电镜等高端电子显微设备已成为重要科研实验设备,需要科研人员的积极参与方能充分发挥其先进的功能。

然而,由于传统培养模式的限制,尽管我国高校和科研院所已配备了几百台高端球差校正电镜,但能够有效利用这些设备并发挥其最大效能的单位却极少。这一状况限制了这些先进设备的应用潜力,对资源是极大的浪费,也影响了我国研究水平的提升。当前,国内对球差校正透射电镜应用较好的单位主要有中科院金属研究所、中科院物理研究所、中国科学院大学、清华大学、北京大学、浙江大学、西安交通大学、武汉大学、北京工业大学等。这些单位通常由科研人员负责管理,并且研究生在其指导下自主操作高端透射电镜进行课题研究。在这种模式下,科研人员对高端透射电镜的使用和维护具有较大的支配权。这不仅确保了研究生教育与科研的紧密结合,还有助于高水

平研究成果的产生及相关仪器设备研发工作的顺利进行。

3 电子显微技术科教融汇人才培养新模式实践路径

在培养透射电子显微技术人才时,高校可以采取从点到面的策略,通过在透射电镜使用率较高的主要学院设立试点,探索和实践电子显微技术科教融汇的人才培养新模式,并最终实现全校范围的推广。具体的实践路径如下:

3.1 以研究课题为导向的先进透射电子显微学基础理论教学

在实践前期,负责的学院可以通过与那些广泛使用透射电子显微镜的课题组进行深入交流,来了解和总结研究生在课题研究中可能遇到的透射电子显微技术和电子显微学相关难题。这些难题可能包括原子尺度高角环形暗场像/高分辨像的成像机理、电子层析三维重构技术、晶体结构标定、二次电子衍射问题以及位错类型分析等。

针对这些问题,学院可以组织研究生的主题学术交流活动。通过线上线下的互动,教师与学生之间、学生与学生之间进行充分交流,能够有效解决课题研究中的相关难题,并促进学生的深入思考。在此基础上,学院还可以进一步邀请国内电子显微学领域的专家,围绕研究生的具体课题开展相关的学术讲座。这些讲座将结合前沿科研成果和基础理论,帮助研究生加深对透射电子显微学的理解,同时为他们提供答疑解惑的机会,进一步提升他们的科研能力和技术水平。

3.2 个性化基础理论知识及上机操作培养模式

由于课题组研究课题存在差异,在新培养模式实践过程中可以将研究生分组,进行定制化基础理论知识和上机实操培训。如对于块体金属样品,培训教授时可主要侧重于高分辨、电子衍射和能谱仪成分分析的特征;对于功能材料,可以侧重于电子能量损失谱、高角环形暗场像等轻质元素的分析表征等。做到因“材”施教,提升教学效率及针对性。此外,透射电镜对于样品制备要求较高^[2],在讲授理论和实操过程中,应该涵盖不同样品类型的前期制备、保存和预处理方法。这包括如块体样品、纳米粉末样品、聚焦离子束制备样品等的处理技术。具体的讲授内容可以包括金属样品的电解双喷制备和离子减薄制备、小尺寸样品聚焦离子束制备和实验前的样品表面高温真空加热或等离子体净化处理等。通过对这些不同样品处理方法的差异化讲解,可以帮助学生深入理解各种制备技术对实验结果的影响,巩固他们的理论知识,并提高透射电子显微镜实验表征的成功率。

3.3 高效低成本准原位透射电镜技术实践

原位电子显微技术能直接在微纳米甚至原子尺度研究外加物理场和材料响应之间的关系,极大地拓展了研究内容和研究手段^[3]。然而,受限于实验成本及实验技术难度,目前绝大多数科研人员主要采用透射电镜开展离位实验研究,很少采用原位电子显微学技术研究材料组织结构演化过程。

在基本不增加实验成本的基础上,准原位透射技术能

够用于研究材料组织结构在单一热场、力场或复杂外场作用下的演化规律。通过这种技术,研究人员可以在接近实际使用环境的条件下,观察材料在外部刺激下的变化,为后续原位透射电镜技术的应用奠定基础。准原位透射技术操作过程如下:制备透射样品—透射电镜中观察并标记拟观察分析的特征结构和区域—外场中加工处理透射样品—透射电镜中观察样品的变化,反复多次上述过程,实现特征区域组织结构的演化规律的准原位表征研究。通过开展准原位透射技术培养实践,讲解相关技术的详细步骤,可以推动其在解决研究生课题研究过程中的难题,并培养研究生采用原位透射电镜技术解决科研问题的意识,以高效率低成本的方式促进学院/校研究生科研水平的提升。

3.4 先进原位透射电镜技术探索性实践

在前期的透射电镜理论、操作培养基础上,进一步开展先进原位透射电镜技术的培养。可针对高校中不同设备的配置情况,进行不同环境场下(力、热、电、力-热等)材料微观结构演化研究。基于原位实验的现实条件,可以先通过选拔在前期实操过程中表现出色且有原位实验需求的学生开展小班实操培训,提高他们个人的技术水平和科研实力。卓有成效后,可以由他们开始逐级辐射到课题组、学院甚至学校,从整体上提升研究生的科研能力。

4 结语

综上所述,本文主要基于当前国内外高端球差透射电镜的应用形式,以及高校和科研院所对研究生球差透射电子显微技术培养的现状,提出一种创新的培养新模式。该模式通过将研究生的科研课题与透射电子显微学理论知识和实际上机操作相结合,首先完全针对性地基础性培养。在此基础上,开展高效、低成本的准原位透射电镜技术实践,初步实现研究生对原位透射电镜技术意识培养,并提升其科研能力。最后,探索性开展原位透射电镜技术的培养,旨在实现先进透射电子显微技术人才培养。通过这一循序渐进、阶段性科教融汇培养新模式,力求整体提升研究生介-微观结构实验、表征、分析方面的水平,实现拔尖创新人才的自主培养。这一模式的推广将为我国自主研发高端电子显微设备、突破西方国家技术封锁奠定坚实的基础。

基金项目:中南大学高层次人才引进启动项目。

[参考文献]

- [1]魏婷,唐静,李金霞,等.强化以应用为目的的透射电镜实验教学探索[J].实验室研究与探索,2023,42(9):196-200.
- [2]李霞章,王文昌,王昕,等.透射电子显微镜培训教学探索与实践[J].广州化工,2013,41(10):212-213.
- [3]李星.浅谈电子显微学新发展及相关课程的优化改革[J].教育教学论坛,2020(51):168-170.

作者简介:宋森(1986—),男,中国科学院大学,材料物理与化学,中南大学,教授。