

# 无华足迹 芳华人生\*

## ——记物理研究所李方华院士

杨柳春

(本刊编辑部 北京 100864)

关键词 物理学家,李方华

“欧莱雅-联合国教科文组织(UNESCO)世界杰出女科学家成就奖(For Women in Science)”于1999年设立,是世界上惟一一项在全球范围内奖励和资助从事生物、物理、化学等基础科学研究领域的女科学家奖项,至今全球共有26人获奖。2003年2月27日,李方华以其对科学事业的卓越贡献在巴黎受奖,成为中国获此殊荣的第一人。这是中华民族的骄傲,中国女性的骄傲,也是中国科学院的骄傲。担任该奖本次评委的教育部副部长韦珏院士对李方华这样评价:她是该领域亚洲最好的科学家。

李方华是我国单晶体电子衍射结构分析的开创者,她发展了显微像的衬度理论,建立并发展了我国高分辨电子显微学。在国际电子显微学界,李方华是一个令人肃然起敬的名字,她建立了两种全新的高分辨电子显微图像处理技术,并成功地运用于超导体材料及其相关化合物的晶体结构测定和半导体的晶体缺陷测定。

### 1 步入科学殿堂的足迹

1932年,李方华出生于香港。父亲李炯系同盟会会员,一度为李济深部下,后从商;解放前在香港参加44人团体通电起义,并退出国民党。母亲刘季卿主持家务,以自身的苦难经历教育子女要从小立志。李方华从少年时起,就立志做一个能够在经济上独立的女子。

1942年,李方华随母亲从上海迁往北京外祖母家,就读于北京辅仁女子中学。她学习很用功,成绩曾是班上前三名,因而获得减免学费的奖励。1947年,她去广州读书,就读于培道女子中学。1950年考入武汉大学物理系,1952年以优异的成绩被保送至前苏联列宁格勒大学物理系学习。

李方华在列宁格勒大学的毕业论文题目是“原位蒸发Bi薄膜结构的电子衍射研究”。她非常喜欢

电子衍射的实验和课程,对电子衍射的波恩近似理论尤感兴趣。这些理论和实验知识为李方华后来从事电子衍射和高分辨电子显微学研究打下了基础。

1956年回国后,李方华来到物理研究所工作,师从著名晶体学家陆学善先生,从事合金结构的粉末X射线衍射研究。陆先生严密、严谨、严肃的科学态度,成为李方华长期科研工作的精神财富。

20世纪60年代,李方华开始独立从事科研工作。70年代动荡的社会环境下,她一直没有停止过学习和科研活动。1973年,她在进行文献调研时,敏锐地注意到高分辨电子显微学作为电子显微学的一个新分支学科正在国外萌芽发展,便开始了业余的跟踪、思考和研究。1982年,她到日本大学应用物理系作访问学者,此间半年多所取得的研究结果和工作经验,对其后来的科研工作至关重要。回国后,她带领自己的研究组,迅速在高分辨电子显微学实验和计算方面开展工作,使该学科在中国的发展向前迈进了一大步。

1984—1996年李方华当选为中国电子显微学会副理事长、常务副理事长;1996—2000年,任中国电子显微学会理事长;现任国际晶体学联合会电子衍射专业委员会委员,中国物理学会理事,中国晶体学会理事,日本大阪大学超高压电子显微镜中心海外顾问委员会委员;《物理学报》、《物理学报》(海外版)、《物理快报》、《电子显微学报》、*J. Electron Microscopy* 编委等。

1993年李方华当选中国科学院院士,1998年当选第三世界科学院院士。

### 2 杰出的科技成就

李方华发展了高分辨电子显微学和电子晶体学的理论及分析方法,在该领域中占有重要的国际地位。近20年来,她的主要贡献是建立测定微小晶

\* 收稿日期:2003年11月10日

体结构新方法、建立研究原子分辨率晶体缺陷的新技术、发展高分辨电子显微像衬度理论、准晶体和晶体之间关系的实验和理论研究等。她曾应邀在国际学术会议和讲习班上作特邀报告和担任教员近 40 次,发表论文 200 余篇。

本文作者有幸拿到国际著名电子显微学家 Howie 对李方华的一份评价意见。Howie 是英国皇家学会会员,剑桥大学物理系荣誉教授(资深教授),1998—2002 年任国际电子显微学联合会理事长。他的意见将贯穿于后。

## 2.1 建立中国高分辨电子显微学

“文革”之后,李方华重新回到科研工作岗位。在国内她最早注意到高分辨电子显微学的发展,并从 20 世纪 70 年代中期开始,多次倡导在国内开展该领域的研究。当时李方华从事的本职工作是砷化镓气相外延,很希望有朝一日能投身于此领域,但也深知其中的难度。70 年代末,日本科学家饭岛澄男、桥本初次郎、植田夏等访问中国,才使她能从文献之外了解该学科的细节。80 年代初,中国科学院引进了一台高分辨电子显微镜,安装在物理研究所,给李方华带来了机会。开始她应用高分辨电子显微学研究我国发现的氟碳酸盐矿物的晶体缺陷和晶体结构,后转向研究一些更前沿的问题,如亚稳态、无公度或复合层状结构。80 年代后期,李方华参加了物理研究所高温超导会战。因为高温超导化合物晶体的晶粒小,电镜是研究这种结构的有力工具,每合成一个新的超导化合物,她和她的学生都立即进行电镜结构分析,充分发挥了高分辨电子显微学的作用。例如,镧铜氧化物晶体有许多 90 度晶畴,X 射线测出的晶胞呈大立方体,会聚束电子衍射测出的是大而扁的四方体,只有用高分辨电子显微像才能准确地测定出它的晶胞,是小而高的四方体。后来,赵忠贤等合成了新的 Bi 系超导化合物,但晶体结构仍是未知。所领导组织一些从事结构研究的人员对它进行测定,李方华也在其中。由于长时间的知识积累,她很快就判断出这是一种特殊的无公度调制结构,使物理研究所的报道成为国际上最早者之一。

对此,电子显微学界的国际同行这样评价李方华:“由于这些令人印象深刻的进展,中国高温超导

体的研究从一开始,就能够像西方科学家一样,在材料质量研究上受益于高分辨电子显微学。”高度肯定了李方华在中国高温超导研究中做出的贡献。但李方华本人认为,她只起到了一个配角的作用。

## 2.2 对高分辨电子显微学的发展

### 2.2.1 提出高分辨显微像衬度的新理论

在许多情形下,人们对高分辨电子显微像的解释是纯直观的。这种解释基于所谓的弱相位物体近似理论,该理论只有在试样很薄,而且在一个严格的 Sherzer(离焦)条件下才能成立。而在大多数实际情况下,晶体试样较厚,由于有多次散射效应致使弱相位物体近似理论失效。80 年代前期,经过大量的实验观察、计算和公式推导,她提出了赝弱相位物体近似理论。该理论考虑了 Fresnel(费涅尔)衍射效应,故可应用于较厚的实际晶体。不久她在文献中报道了此结果,并成为她后来图像处理技术的理论依据。

### 2.2.2 建立测定微小晶体结构的新方法

由于透镜像差对显微像的干扰很大,所以高分辨电子显微像未必直接反映晶体的结构。为了测定晶体结构,人们通过提出假定的结构模型,把像差考虑在内做模拟计算,再比较不同离焦条件下的模拟像与实验像,来确定正确的结构模型。这种方法只适合于结构部分已知的情形。70 年代李方华便意识到这种方法的局限性,并预见应有另一种分析途径。80 年代她合作创建一种全新的图像处理技术,含解卷和相位扩展两个步骤。她证明在第一步的解卷过程中,可测定任意显微像的离焦量,把本来不反映晶体结构的显微像转换为反映晶体结构的结构像,而且事先无需对结构有任何了解。第二步把高分辨电子显微像得到的低散射角相位补充到电子衍射数据中,通过相位扩展,把结构像的分辨率从 0.2nm 提高至 0.1nm。随后,李方华不断完善该方法,发展了最大熵解卷和电子衍射强度校正,将该方法应用于多种有意义和带有挑战性的观测研究。其中有小晶体也有高温超导体领域中许多有意义的氧化物,并尝试应用于蛋白质晶体结构的测定。

对此,国际同行认为,“在高分辨电子显微学中,李方华的这些工作不仅醒目,想象力极为丰富,而且是使人印象深刻和令人信服的新进展。在这系

列进展中,每一个新方法的有效性和效果都严格用已知和未知结构检验过。近年,尽管校正电子光学像的研究有进展,使高分辨电子显微像的分辨率从 0.2nm 下降至 0.1nm,但这些进展并不能完全代替李教授的方法。这是因为李教授的方法特别对未知结构有用,而且由于明智地处理显微像和衍射的数据,还可能得到更高的分辨率。”

### 2.2.3 建立研究原子分辨率晶体缺陷的新方法

电子显微镜的分辨本领与电子的加速电压有关。迄今能达到原子量级分辨本领的,只有价格昂贵的超高压高分辨电子显微镜。当电压为 1250KV 时,其分辨本领可略优于 0.1nm。这样,就可以直接从显微镜上观察到原子分辨率的晶体缺陷。而通常使用的中等电压(如 200KV 和 300KV)电子显微镜,都达不到原子量级的分辨本领。

20 世纪 90 年代中期以来,为了提高中等电压场发射电子显微镜所拍摄的显微像分辨率,李方华又创建了一种图像处理技术,在把本来未必反映晶体结构的场发射电子显微镜所拍摄的显微像转换为结构像的同时,还把结构像的分辨率从 0.2nm 提高到 0.14nm,使之接近场发射显微镜的信息分辨极限。这样使用价格低得多的中等电压场发射电子显微镜,即可接近昂贵的超高压电子显微镜的效果。

李方华创建的这种图像处理技术,也是以赝弱相位物体近似理论作为理论依据的。她首先阐述了该方法对 Si 晶体的 60 度位错和 SiGe/Si(晶界)有用,随后更详细地从事 60 度位错的研究,阐明滑移位错和 Schuffle 位错的组态能可靠地区分清楚。测定了 SiGe/Si 外延膜中位错核心结构,包括 60 度全位错、60 度扩展位错和 Lomer 位错,区分出位错核心和完整区中的单个原子。国际同行认为,李方华对于测定晶体缺陷的方法无可置疑地给出了令人信服的回答。

### 2.3 准晶与晶体之间关系的实验和理论贡献

1988 年,李方华根据实验现象提出,准晶体与晶体之间存在着中间状态。稍后,她指导的研究组拍摄到反映准晶体与晶体之间转变过程的一系列电子衍射花样,并用相位应变理论来解释这种连续转变的实验结果。*Phil.Mag.Lett.* 收到她们的论文时,审稿人评论为“这是第一次发现并报道准晶体与晶

体之间几乎连续的转变。”

在此基础上,李方华借助相位子应变场理论,推导出二十面体准晶体与体心立方晶体相之间的晶体学关系,得出在正空间和倒易空间的相关表达式。基于此表达式,她又提出了一种测定准晶体结构的新方法。她领导的研究组应用此方法,获得分别与 Al-Cu-Li 和 Al-Mn-Si 准晶体相关的两种六维晶体结构模型。她还指导学生依据上述表达式,针对含相位子缺陷的准晶体,开展高分辨电子显微像的理论计算工作,测定准晶体中的局域相位子应变变量。国际同行对此的评价是:“为微小晶体和真实准晶体之间提供了一座桥梁。”

## 3 奖励和荣誉

1984 年“晶体结构和缺陷的直接观测”获中国科学院科技成果奖二等奖(第一完成人),1989 年“高分辨电子显微学赝弱相位物体近似像衬理论及晶体结构新现象”获中国科学院自然科学奖二等奖(第一完成人),1989 年“液氮温区氧化物超导体的发现”获国家自然科学基金一等奖(第九完成人,前八名不从事电子显微学研究),1991 年“准晶体结构和相位子缺陷研究”获中国科学院自然科学奖二等奖(第一完成人),1991 年“高分辨电子显微学中的图像处理理论和方法研究”获中国物理学会叶企孙物理奖(第一完成人),1992 年获中国科学院自然科学奖一等奖(第一完成人),1992 年获中国电子显微学会桥本初次郎奖(个人奖);1993 年获中国电子显微学会钱临照奖(个人奖)。

“无华足迹,芳华人生”。李方华的人生是在对科学孜孜以求的探索中度过的,在这种求索中达到了忘我的浑然境界。很多人都说物理研究是一条艰辛之路,要“甘于寂寞”,但李方华说:我一点也不感到寂寞,而总是感到时间不够用,总有许多需要思考的问题。所以当别人问她苦不苦时,她都是一句话:乐在其中。

李方华的成功是多种因素的结合,对各种机遇的把握。她的芳华人生,缘于她刻苦求实、自强不息的独特风格,缘于她的天资聪颖和对学习、工作乃至人生的悟性。大道于无形,大凡实现了自我的人,就会忘却自我。

(相关图片请见封四)