

* 科学家 *

探索者的追求

——记中国科学院院士叶恒强

范桂兰*

(沈阳金属研究所 沈阳 110015)

关键词 科学家, 晶体, 对称性

在我国研究材料晶体精细结构的队伍中有一位成绩斐然、受到国内外同行瞩目的优秀中年科学家,他就是中国科学院金属研究所副所长、中科院院士叶恒强。

叶恒强 1940 年出生于广东,1963 年毕业于北京钢铁学院物理化学系。1985 年担任中国科学院固体原子象开放实验室主任。同年被国务院学位委员会聘为博士生导师。1987 年成为国家高技术新材料领域结构材料专家组成员。1991 年当选为中国科学院院士。

十几年来,叶恒强与人合作撰写出版了《电子衍射图》、《高分辨电子显微术在固体材料中的应用》及《分析电子显微镜学》3 本专著,在国际一流学术刊物上发表论文近 200 篇。据《SCI》统计,在国际刊物上发表的论文被国际同行引用 460 余次。共获国家和院、部级奖励 6 项。由于在材料科学与物理学的交叉前沿中取得突破,叶恒强连续三届获国家自然科学奖,还获得中国科学院科技进步奖一等奖。

在固体物质及材料的结构与缺陷的研究中,他与外国专家同时独立发现传统结构晶体学所不允许的五次对称性,进而发现并研究了二十面体对称,八次、立方对称等准晶相;发展了在原子尺度研究材料精细结构的技术与理论;在高温合金拓朴密堆相中发现多种新相及畴结构;用超结构象显示有序合金中不同种类原子的方法,确定了几种新结构,直观揭示合金非公度结构生成机制,对合金结构理论提出了独特的见解。他的这些工作在材料电子显微镜学研究领域产生了重要的影响。

1 勇于追求

科学的春天来到后,一度被砍掉的基础理论研究又重新被列入国家科技发展计划。为了在尽短的时间里,把我国金属材料的应用基础研究搞上去,将“十年动乱”耽误的时间夺回来,叶恒强和同事们首先在无铬轴承钢研制和马氏时效钢的显微组织检测分析的基础上,利用电子衍射对晶体结构开展了初步的理论研究和探索。

1977 年,日本电子显微镜代表团来我国访问。世界知名学者、高分辨电镜显微术创始人之

* 金属研究所办公室五级职员

收稿日期:1998 年 3 月 25 日

一范岛澄男的精彩报告,深深地吸引了叶恒强。他知道高分辨电镜显微术在原子尺度研究晶体结构是国际前沿课题,它可以直接看到固体原子的排列,使材料的精细结构研究大大向前迈进一步。在我国这项研究还是空白,叶恒强暗下决心,一定要迎头赶上。

当时所里没有进行高分辨电镜研究的设备和条件。在郭可信先生的支持下,叶恒强和另外一名同志去北京做实验,回沈阳计算、分析数据。这样,在沈阳、北京来回跑了一年多,终于摸索出一些结果。他们在国内首先使用高分辨点阵象在碳化硅和 Ni_3M 型合金等层状晶体中发现两种新的相畴结构,4种新的密排层长周期结构,确定了碳化硅中6个多型体的结构。他们绕过常规办法难以确定长周期结构堆垛序的困难,大胆使用电子显微镜将密排层堆垛直接拍成照片。这些工作在当时都达到了国外同类水平。1979年5月在南京召开的全国“固体中缺陷”学术讨论会上,他们的论文受到与会者的关注。专家们一致认为,这是我国高分辨电子显微术研究的良好开端。

2 异国求学

1981年6月,叶恒强来到了号称高分辨电子显微学“圣地”的美国亚利桑那州大学电镜中心。他暗下决心,要在这技术和理论都是世界一流的实验室,迈出赶超世界先进水平的第一步。他把范岛澄男拍摄的堪称高分辨象典范的照片作为标准,每当夜深人静的时候,就把当天拍摄的照片冲洗放大,与标准照片反复比较研究。当时,实验室的 JEM200CX 高分辨电镜还没有开放使用,他用的是性能较低的 JEM100B 电镜。一天,当他在滚筒烘干机上摆弄自己拍摄的照片时,在实验室工作的范岛博士被这些漂亮的照片吸引住,惊讶地注视着这位来这里工作不到3个月的中国学者说:“目前还没有多少人能拍出这样好的反映晶体结构的照片”。几天后,叶恒强获准使用那台性能最好的仪器。有了新仪器,叶恒强如鱼得水,他和科里教授在钼的复杂氧化物高分辨象及面心立方孪晶的微衍射合作研究中取得了新的成果,分别在第10届国际电镜会议和第40届美国电镜年会上提交了学术论文。

半年的访问结束后,叶恒强又飞往欧洲的港口城市——安特卫普。素有文化中心之誉的安特卫普城有著名的皇家佛兰芒歌剧院、皇家荷兰剧场和伊丽莎白女王音乐厅,酷爱古典音乐的叶恒强却无暇光顾。当安特卫普大学高压电镜中心的阿默林克斯(S. Amelinckx)教授把关于 Cu-Ti 系合金里有序结构及 MnSi_2 中的非公度结构研究的课题交给叶恒强后,他从合金熔炼开始做起,不分昼夜地工作。叶恒强勤奋的工作精神很快赢得了大家的好感,大家都乐意帮助他。工作进展很顺利,他很快就找到了有利于显示调制性质的晶体取向,获得了一批衍射与高分辨象的资料。但要得到足够薄的试片和等待电镜中试样漂移停止,却非易事。很多天过去了,不是找不到合适的区域,便是试样漂移严重无法拍摄。

一天夜里,叶恒强在衍射图中终于找到一个非常好的薄区的晶体取向,但高分辨象一直在漂移而无法观察。他守候到凌晨两点钟,发现监控器屏幕以千万倍显示的高分辨象纹丝不动,锰原子的点阵格子同硅原子的周期条纹所构成的二维非公度结构千姿百态。这是一幅从未被人观察到的美丽图案,就连锰原子固定格子受硅原子调制引起的摄动也呈现出来。叶恒强欣喜异常,一鼓作气记录、拍摄百余张照片,这些照片以后成了分析调制结构原子模型的宝贵资料。当他拖着疲乏的身躯回到宿舍,东方已经露出鱼肚白。

3 学成回国

当叶恒强学成回国时,中科院从国外引进了我国第一台 JEM200CX 高分辨电镜。为了争

取这台电镜在金属所安家落户,著名科学家郭可信在科学院立下军令状,要在三五年内赶超世界先进水平。这为叶恒强等人开展高分辨电镜研究开辟了广阔的天地。

叶恒强在六七十年代曾做过大量的高合金钢和高温合金的相分析鉴定,从日积月累的电子衍射相分析中掌握了丰富的合金相结构知识。他感到在一些合金分析相图中存在大量的不完整性的区域,不能用简单的位错、层错缺陷构型来解释,应在原子尺度的层次探讨。如果在合金的结构与缺陷中开展系统的研究探索工作是有充分条件的,他决定从高温合金四面体密堆相的研究开始搏击。

四面体密堆相是晶体学上一类由四面体堆积充满空间的相的总称。它对高温合金的抗热强度有重要的影响,一直受到人们的重视。而四面体密堆相的结构测定都是 30 年前由国外学者完成的。70 年代以来,国外用高分辨显微术在四面体密堆相中观察到平面缺陷,采用的是成分单纯、又经过热处理接近平衡状态的合金,观察中看到的缺陷不多,也没有发现新的结构。

叶恒强和同事们把过去只用中等分辨率电子显微镜观察过的样品,放在高分辨电镜下观察,终于发现在已知合金相的边缘存在着结构不完整的区域,尽管这个区域很小,仍然存在单元结构的新的周期排列方式。用众所周知的西格玛相、拉弗斯相是解释不通这种现象的,叶恒强敏锐地意识到:这里可能有新相存在!但要在很小的,有时是在纳米尺度的区域里确定新相,是不容易的。因为这个区域的未知相时常和已知相连接在一起,需要做大量的衍射图和高分辨象来加以区分和确定。经过不懈的努力,终于在 1983 年 6 月,叶恒强首先在高温合金相 Fe-Mo 型的西格玛相的共生产物中发现了 H 相。然后他又利用高分辨象、电子衍射和计算机模拟技术确定了 H 相的点阵参数和晶胞内原子位置。第一道难关突破之后,叶恒强和同事们又陆续发现了 F、K、J、C、C₁ 及 PF 等 7 种新相,还发现大量从未报道过的平移畴、旋转畴结构。他们的成果打破了金属四面体密堆相结构测定研究 20 多年停滞不前的局面,从而使人们的认识深入到更加微观的层次。

著名学者钱临照、冯端等教授在评价这项成果时指出:“这一研究在拓扑密堆相结构理论中独树一帜,已居国际同行研究的前列。”国外学者对这项研究也给予很高的评价。首创以结构单元法来描述四面体密堆结构及缺陷的瑞典隆德大学安德逊(Andersson)教授,称赞这项研究是世界一流电镜实验室水平的工作。四面体密堆相结构研究权威苏美克(Shoemaker)教授夫妇在 1987 年发表的综述文章中列出迄今为止发现的 23 种拓扑密堆相的晶体学数据,其中 5 种新发现的数据全部采用叶恒强课题组的研究成果。

在此基础上,叶恒强又进一步研究了铝基、钛基及金属化合物中合金的原子象,形成了合金超显微组织前沿研究的崭新领域。

4 物质结构的新发现

一个世纪前德国科学家布拉维(Bravais)就总结出晶体的平移周期性,也就是说,晶体的旋转对称只能有 1、2、3、4、6 等五种排列方式,而五次和六次以上的旋转对称是被排斥于经典晶体学之外的。

1984 年春,跟随叶恒强工作的硕士生王大能在观察四面体密堆相的复杂畴区时发现五次对称衍射图的现象。叶恒强凭着多年实践经验,敏锐地感到这绝不是晶体平移对称可以解释的现象,郭先生也认为这个发现超出了传统的框架,很有价值。在由二十面体柱并置成的四面体密堆相中,都有五次对称性的强衍射点分布。但怎样把一些已知的相的衍射图与新得到的五

次对称衍射图关联起来,叶恒强和研究生一起深入观察研究。数不清的衍射图与高分辨象图片从他们手中放大、冲洗、烘干,然后在这黑白照片的世界中去探索奥妙无穷的物质结构世界。

面对五次对称的衍射图这个无法解释的现象,叶恒强曾一度感到十分困惑。但他知道已经抓住的研究线索决不能轻易放弃,只要坚持下去,一定会有结果。白天,他在实验室里忙个不停;晚上,躺在床上还在苦思冥想。闭上眼睛,照片上一簇簇白色的原子象点在黑色底衬托下,仿佛宇宙中的行星旋转起来……。他猛然领悟到五次对称衍射是来自组成畴区的每个单元——具有五次对称的二十面体簇呈现取向长程有序,但在平移对称方面,只存在于几个单胞范围的特征。而畴区中单元的平移排列的特征已接近消失了,这种特征需要高度精确计算和直接显示原子排列的高分辨象的印证。他赶紧起身写下新的实验方案。后来他用计算机模拟出衍射图反映了平移周期有限、取向长程有序的二十面体的五次对称现象,并且从拍摄的高分辨象中证实了畴区各个相的平移排列伸展十分有限的事实。叶恒强的研究突破了经典晶体学的概念,成功地揭示了兼有取向有序与接近平移无序的块状晶体的新的结构状态。

晶体材料中的五次对称现象的发现,有力地冲击了传统晶体学的观点,也大大激发了叶恒强和同伴们探索新领域的兴趣。1985年,张泽、叶恒强、郭可信在急冷的钛镍合金中发现五次对称的准晶体。这项研究成果使我国及时进入当时凝聚态物理最活跃的前沿——准晶体的研究中。

法国 CNRS 冶金化学研究所的格拉提亚(Gratier)教授是 Al-Mn 准晶的发现者之一,他将金属所发现的 Ti-Ni-V 准晶称为中国相。著名物理学家杨振宁教授 1986 年在中国科大研究生院以“准晶”为题讲学时,也将叶恒强等在二十面体畴区发现五次对称的论文作为准晶实验的几篇原始文献之一。

新物质结构的发现,使叶恒强和同事们挣脱了传统思想的束缚。在郭可信先生的组织指导下,他们深入探索,不久在近十个合金体系中发现了五次对称的准晶体,同时还发现了八次、十次、十二次旋转对称的准晶体,为我国的准晶相实验较长时间保持领先地位做出了贡献。“钛镍准晶相和五次对称的发现与研究”获得了 1987 年国家自然科学奖一等奖。

5 言传身教

每个人的成功都离不开老师的培养。最让叶恒强不能忘记的是柯俊教授和郭可信教授。两位老师的严格和务实,都给叶恒强留下了深刻的印象。如今,作为博士生导师的叶恒强,肩负培养青年人的重任。他也象老师当年培养他那样,指导研究生在学科前沿上选题,然后放手让青年人去闯,使他们在参与国际竞争中成长起来。他指导的研究生宁晓光在 90 年代活跃的低维物质的微观结构的观察中有重要发现,先后在国内外发表论文 20 多篇,荣获了 1990 年中国科学院院长奖学金特别奖,1993 年宁晓光被破格晋升为研究员。

叶恒强不仅对研究生学习抓得很紧,还特别注重研究生的思想教育。他给青年人讲专业课受欢迎,讲思想品德教育课也同样赢得研究生的阵阵掌声。他言传身教,为了让青年学生在市场经济的冲击下能安心搞研究,他尽量创造条件。研究生学习和工作任务很重,学生的工资很微薄,他就不定期地从室里的费用拨出一部分给青年人以适当的补贴。他作为高技术计划课题组的负责人,有时分到的高技术津贴还不如学生多。叶恒强最大的心愿是把青年人培养起来,将他们推到世界科学前沿去拼搏。因为青年人是科学事业的未来,我们国家要在 21 世纪屹立于世界民族之林,希望寄托在青年人身上。