

# 实力雄厚的俄罗斯晶体学研究所

吴自勤<sup>1</sup> 王进萍<sup>2</sup>

(1 中国科学技术大学物理学院 合肥 230026)

(2 中国科学院物理研究所刊物室 北京 100190)

俄罗斯科学院晶体学研究所是俄罗斯一所闻名遐迩的研究机构. 该所历史悠久, 研究成果丰硕, 拥有多名著名学者, 不仅发表了许多重要的论文, 而且出版了多部经典的专著, 并且还用英文出版晶体学和表面科学期刊. 是什么原因让这样一个研究所取得了如此的成功? 在深入了解它的发展历程后, 我们感触颇深. 他们的成功经验对当前处于快速发展中的中国物理学或许能有所启发和借鉴.

晶体学是一门发展了三个多世纪的悠久学科. 它的基本概念和规律早已确立, 如对称性理论中的 32 种晶体点群分别在 1830 和 1867 年被独立发现; 晶体的 14 种空间点阵 1848 年被布拉菲发现; 晶体的 230 种空间群在 1890 年由俄国科学家费多洛夫(稍后是熊夫利)发现; 费多洛夫的晶体对称性著作 1901 年以俄文发表. 由此可见, 俄罗斯的晶体学研究早已具备了深厚的基础和积累.

俄罗斯科学院晶体学研究所的前身包括 1925 年在列宁格勒成立的苏联科学院矿物博物院晶体学实验室, 1934 年在莫斯科成立的苏联科学院罗蒙诺索夫地球化学、矿物学和石油工学研究所晶体学分部, 以及 1937 年成立的苏联科学院地球科学部晶体学实验室. 1943 年, 晶体学实验室被调整到苏联科学院数学物理部, 并正式更名为晶体学研究所. 1944 年 2 月, 在学界享有盛誉的舒勃尼科夫(A. V. Shubnikov)教授被任命为该研究所第一任所长. 1961 年, 晶体学研究所迁往莫斯科列宁大街 59 号新址, 后来在 Butlerov 街 17a 和莫斯科市郊 Kaluga 还建有两处分所.

## 1 群英荟萃 硕果累累

俄罗斯晶体学研究所悠久的历史曾涌现了一大批优秀的晶体物理学家, 其中包括苏联科学院、俄罗斯科学院院士、通信院士多名, 列宁奖金等国家奖获得者 20 名, 俄罗斯荣誉科学家 18 名. 限于篇幅, 本文仅列举其中几位杰出的代表.



图 1 俄罗斯科学院晶体学研究所(莫斯科列宁大街 59 号)



图 2 舒勃尼科夫(Alexey Vasilyevich Shubnikov, 1887—1970), 晶体学研究所第一任所长

舒勃尼科夫院士和别洛夫(N. V. Belov)院士一起系统建立了色对称性, 即舒勃尼科夫对称性理论. 他们利用反对称性, 即除了原子的位置之外, 采用黑、白色表示原子带有方向相反的磁矩; 利用色对称性, 即采用几种彩色表示原子带有若干不同方向的磁矩, 表示磁性晶体原子结构的对称性, 并在此基础上发展了费多洛夫、熊夫利等的晶体原子结构的对称性理论. 1964 年, 舒勃尼科夫和别洛夫发表了专著《色对称性》(Colored Symmetry)<sup>1)</sup>, 系统论述了晶体的反对称性理论和色对称性理论. 由于他们的卓越贡献, 舒勃尼科夫曾两次获得社会主义劳动英雄称号, 而在晶体学研究所工作了 40 余年的别洛夫则获得过社会主义劳动英雄称号和列宁奖金等国家奖.

1) Shubnikov A V, Belov N V. Colored Symmetry. Oxford: Pergamon Press, 1964



图3 从1962年到1996年间伐因斯坦(Boris Konstantinovich Vainshtein)担任晶体学研究所的所长

1962年,年仅41岁的伐因斯坦(B. K. Vainshtein)教授被任命为晶体学研究所所长。他在1945年和1947年分别获得莫斯科大学物理系硕士学位和前苏联钢铁学院博士学位后,来到了晶体学研究所电子衍射实验室,从事博士后研究工作。早在1956年,他年仅35岁时便出版了《电子衍射结构分析》俄

文著作(Structure Analysis by Electron Diffraction),并于1964年出版了英文版。这本俄文著作早在1950年代末期就在我国流传。当时国内的高等学校教师、研究生大多可以阅读俄文文献。在这一专著中,他把电子衍射发展成为一种独立的结构分析方法。由于原子对电子的射散比原子对X射线的射散显著得多,从而有利于测定晶体中超轻原子(如氢)的位置。他还和合作者给出了用于结构分析的原子对电子衍射的振幅的表格。这种电子衍射结构分析方法特别适用于研究带织构的粘土矿物晶体,并便于在电子显微镜下研究小晶体样品。可达60度的倾斜织构电子衍射花样指标化后所得到的电子衍射振幅,可以提供这些晶体结构的相当完整的信息,从而测定了许多粘土矿物的晶体结构。

别洛夫对伐因斯坦等人的工作给予了高度的评价:“他们把简单晶体中得到的漂亮的对称电子衍射照片,发展成为了一种用于测定轻原子位置的精确的结构分析方法”。伐因斯坦和合作者Zvyagin的经典性工作后来发表在权威的《晶体结构分析的国际表》(一本书)和纪念电子衍射发现50周年的纪念文集上。

伐因斯坦在这方面的的工作持续了多年。在上世纪50年代末期到60年代初期,他还特别关注聚合物、液晶和其他比较无序材料的结构分析。1963年,他出版了专著《链分子的X射线衍射》。他和合作者在1996年6月的瑞典国际学术会议上还发表了有机LB膜的电子衍射结果。

1959年伐因斯坦受到英国学者Perutz和Kendrew的影响,并且在舒勃尼科夫的支持下,白手起家,在研究所内建立并领导了蛋白质结构实验室,把

工作的重点转向了生物大分子结构的分析。他没有把工作局限于蛋白质晶体X射线的结构分析,而是从研究方法和研究对象这两个方面入手,把实验研究确定为用X射线小角衍射和电子衍射来研究溶液中生物聚合物的结构。1974年,他和合作者测定的第一个蛋白质是分子量达17000Da的豆血红蛋白(leghaemoglobin),结构的分辨率达到0.5nm。他们一共测定了30个蛋白质和40多个蛋白质变态的结构。在上世纪80年代和90年代,他们测定的实竹属植物病毒结构的分辨率达到了0.35nm。而随后测定的含有1200个非氢原子的蛋白质结构的分辨率甚至达到了0.2nm,由此揭示了蛋白质和氧结合后的结构变化。伐因斯坦是前苏联和俄罗斯应用X射线、电子、中子衍射进行结构分析和蛋白质晶体学研究的奠基人之一。从他一生的论文和著作来看,他擅长利用短波长的波进行材料结构分析。无论是在散射理论研究还是仪器设计制备等方面,他均有卓越贡献。他对晶体学的贡献无疑是十分广博和全方位的,堪称是一位百科全书式的科学家。

自1962年伐因斯坦担任所长后,晶体学研究所得到了迅速的发展。1971年该所改名为舒勃尼科夫晶体学研究所。1996年研究所为纪念伐因斯坦75岁寿辰,出版了《晶体结构研究》文集。不久,伐因斯坦不幸突然去世。从1962年到1996年间,他一直担任该研究所的所长,长达34年。1998年,俄罗斯科学院通信院士M. V. Kovalchuk被选为新的晶体学研究所所长。

晶体学研究所是在伐因斯坦的领导下,建立了不少实验和理论研究室,如液晶、电子显微镜、小角散射、激光晶体、X射线光学、同步辐射、高温结晶实验室等。研究所的科学家还参加了大科学实验装置及实验方法(如同步辐射和中子衍射)的发展工作。所内还建立了基地,能够批量生产激光晶体。1997年,以晶体学研究所部分实验室为基础,在莫斯科市郊组建了空间材料科学研究中心(Space Materials Science Research Center)。研究所的规模接近1000人,其中一半分布在生产晶体(如美国空间项目所需的大尺寸蓝宝石晶体)和商品实验仪器的车间中。几十年的发展使得晶体学研究所逐步成为了一个以研究晶体生长、晶体结构(特别是生物大分子结构)分析和晶体性质为主要特色的研究所,并且成为前苏联和俄罗斯科学院先进的重点研究所之一。

伐因斯坦院士多年来还长期担任前苏联科学院和俄罗斯科学院晶体物理科学委员会主席、俄罗斯晶体学全国委员会主席(1984年起)。他曾是科学院晶体学和

天文学学部副秘书长(1990—1996). 他从 1957 年起积极参加所有的国际晶体学会议. 他曾分别担任 1966 年在莫斯科举行的第 7 届国际晶体学会议组委会主席, 1969—1975 年国际晶体学联合会(IUCr)执行委员会委员, 以及 1975—1978 年 IUCr 的副主席. 1990 年他获得 IUCr 的最高奖——Ewald 奖.

伐因斯坦 1996 年 10 月 28 日突然去世后, 晶体学的国际权威期刊迅速发表了悼念文章<sup>2)</sup>, 2001 年第 46 卷的《Crystallography Reports》发表了多篇纪念他 80 岁冥寿的文章, 例如 B. B. Zvyagin 发表的《从粘土的电子衍射到组件晶体学》一文, 介绍了利用电子衍射得到的一系列粘土的晶体结构, 并因此形成了一个新的分支学科——组件晶体学.



图 4 契尔诺夫(Aleksander Aleksandrovich Chernov, 1931—)在晶体学研究所长期任晶体生长基本过程研究室主任

晶体学研究所的另一个主要研究方向是晶体生长. 这一领域中最著名学者是契尔诺夫(A. A. Chernov). 他毕业于莫斯科大学物理系. 他在晶体学研究所曾长期任晶体生长基本过程研究室的主任, 于 1966 年获得苏联科学院合成金刚石特别奖, 1983 年获得苏联科学院费多洛夫奖,

1987 年当选为苏联科学院院士, 1986 年和 1994 年两次获得晶体学研究所舒勃尼科夫奖, 1989 年获得国际晶体生长学会(IOCG) F. C. Frank 奖. 1977—1983, 1989—1991 年, 契尔诺夫担任国际晶体生长学会副会长, 2007—2010 年担任国际晶体生长学会会长.

1992—1994 年, 契尔诺夫到美国国家标准和技术研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)工作. 1995 年到美国 NASA/Marshall 空间飞行中心(Space Flight Center)工作. 1996 年被选为 NASA 大学空间研究联合体微重力材料科学专家, 1998 年获得俄罗斯科学技术奖. 2006 年, 契尔诺夫转到位于 Lawrence Berkeley 的美国能源部支持的一所纳米科学中心工作. 目前他在美国国家点火装置(NIF)从事核聚变点火用的氘氚靶的材料科学研究. 契尔诺夫长期从事基础材料晶体生长工作, 特别是改进了蛋白质结晶质量, 导致在无对流的微重力条件下蛋白质结晶优良的概率增大 20%, 契尔诺夫等还用扩散诱导纯化解释这一现象.

他还对用作简谐转换器和光开关的 NIF 的关键部件 KDP 晶体的快速生长研究作出了重要贡献.

在上述著名学者的带领之下, 晶体学研究所的主要方向和重要科研成果大体可归纳为以下几个方面: (1)寻找具有优良性质的新晶体和结构及其生长方法; (2)研究 X 射线, 特别是同步辐射(例如对薄膜和表面敏感的 X 射线驻波法)、电子、中子和凝聚态的相互作用, 发展它们的结构分析方法; (3)生物材料研究包括有机系统的合成、结晶及其结构和性质的研究; (4)空间材料科学研究; (5)表面、界面和薄膜(包括纳米材料), 它们的形成、结构及其性质的研究; (6)首创的晶体生长方法, 设计晶体生长装置和 X 射线研究装置; (7)设计、制作上述主要研究成果的仪器.

## 2 划时代的晶体学巨著

晶体学研究所对晶体学研究的一项突出的贡献是出版了不少重要的专著, 其中以四卷巨著《现代晶体学》最为经典. 《现代晶体学》四卷本的编辑组由伐因斯坦、契尔诺夫和苏瓦洛夫(Shuvalov)组成. 苏瓦洛夫曾于 1975 年因铁电体研究获得过列宁奖以及俄罗斯荣誉科学家等称号.

《现代晶体学》四卷俄文版分别于 1979—1981 年间在苏联出版. 《现代晶体学》四卷英文版作为著名的德国 Springer 出版社的固态科学丛书的第 15 卷、第 21 卷、第 36 卷、第 37 卷, 也分别于 1981—1988 年间出版.

正如伐因斯坦院士在序言中所说的那样, 《现代晶体学》的作者们把晶体学看成一门统一的科学, 其基本内容是: (1)晶体对称性和结构晶体学方法; (2)晶体的结构; (3)晶体生长; (4)晶体的物理性质. 它和不少其他苏、俄著作一样, 内容系统而且丰富, 基础理论方法和实验研究技术并重, 有很高的学术参考价值.

《现代晶体学》四卷本第一版从上世纪 80 年代出版以来的十几年间, 晶体学的许多分支学科获得了迅猛的发展. 人们对晶体的原子结构、晶体生长和晶体的物理性质的知识不断深化, 有关的实验方法也不断得到改进. 为了使《现代晶体学》更加名副其实, 伐因斯坦还亲自牵头并组织晶体学研究所的多位专家, 对原稿进行修改, 补充了不少新的内容, 在 1994 年出版了《现代晶体学》卷 1 的英文第二版, 1995 年出版了卷 2 的英文第二版, 2000 年, 卷 2 英文

2) Simonov V I, Feigin L A. Acta Crystallography, 1997, A53: 531—534

第三版问世.在第三版中,除作了一些修订之外,还增加了一些近期的参考文献.

四卷《现代晶体学》第一版和增补版的基本内容如下:

《现代晶体学》卷1(晶体学基础:晶体对称性和结构晶体学方法)第一版的作者是伐因斯坦,卷1第二版的增补由伐因斯坦和其他8位专家共同完成.第二版增补的内容约占全书的1/6,如第一章中增加了“畸变的三维周期性结构、准晶体”,后者曾引发了晶体学界研究的热潮;第四章中新增和改写了“晶体结构测定的统计热力学法”、“结构分析自动化”、“电子衍射(有关的生物大分子电子衍射结构研究获1982年诺贝尔化学奖)和电子显微术(有关研究获1986年诺贝尔物理奖)”,新增“扫描隧道显微术(有关研究获1986年诺贝尔物理奖)”.在新增的第五章中前两节介绍准晶体和无公度调制结构等新概念,后四节介绍:(1)X射线结构分析新实验技术(结构分析直接法获1985年诺贝尔化学奖),特别是同步辐射实验技术;(2)晶体表面的X射线研究;(3)粉末衍射花样结构分析方法;(4)广延X射线吸收谱精细结构(EXAFS谱).

《现代晶体学》卷2(晶体的结构)第一版的著者是伐因斯坦、弗里特金和英得博姆(俄罗斯荣誉科学家).卷2第二版由伐因斯坦联合生物电镜专家基谢列夫通信院士(1986年因核糖体上蛋白质生物合成的结构基础研究获得列宁奖)等另八位专家完成.第二、三版增补的内容约占全书的1/5,包括:(1)结构分析的进展和数据库(到1980年代,研究过的结构已达约100000个);(2)富勒烯( $C_{60}$ ,有关研究获1996年诺贝尔化学奖)和富勒烯化物;(3)硅酸盐和相关化合物的晶体化学;(4)超导体的结构(氧化物高温超导体研究获1987年诺贝尔物理奖);(5)调制结构;(6)化学键的X射线分析;(7)有机晶体化学;(8)生物分子晶体的结构;(9)液晶结构(液晶、聚物理理论研究获1991年诺贝尔物理奖);(10)LB膜;(11)铁电体中光和热激发相变.

从这两卷增补的内容可以看出,只有在著名学者牵头之下,联合众多的专家,才能完成对一个相当大的学科在相当长时间内取得的各方面重大进展进行总结和综述的任务.

《现代晶体学》卷3(晶体生长)的作者是著名晶体生长学者契尔诺夫牵头的6位专家.卷3的内容主要是晶体的生长过程、晶体的合成方法和生长设备的设计.Springer出版社曾在1990年代初预报:

《现代晶体学》卷3英文第二版即将出版,并和中国科学技术大学出版社签订了版权转让合同,还收取了中国科学技术大学出版社的版权转让费.我们作为译者也和主要作者契尔诺夫联系并达成谅解,请他把英文版手稿提前邮递给我们,以加速中文版面世.后来由于契尔诺夫1992年后去了美国的标准技术国家研究所(NIST)和航天中心/大学联合体合作研究,这件事情没有完成.

《现代晶体学》卷4(晶体的物理性质)的作者是著名学者苏瓦洛夫牵头的8位专家.这些作者中,I. S. Zheludev在1975年因铁电体研究得列宁奖,后来还获得俄罗斯荣誉科学家称号;S. A. Pikin 1985年因液晶理论研究得列宁奖;B. N. Grechushnikov获得俄罗斯荣誉科学家称号.此卷全面介绍了描述晶体物理性质的张量理论基础,晶体的力学性质、电学性质、磁学性质、半导体性质、输运性质、光学性质以及液晶等.

2000年代初期,Springer出版社又预告《现代晶体学》卷3和卷4英文第二版即将出版.但是,由于种种原因,直到目前尚未实现.可见一套巨著的全面补充再版绝非易事.

除了《现代晶体学》之外,弗里特金在1973—1980年间出版了《电光物理》、《光铁电体》和《铁电半导体》专著共三册.英丹博姆在1992年出版了《弹性应变和位错的运动》专著.他们都是晶体学领域的知名专家.

晶体学研究所从1956年开始出版《晶体学报告》,开始时名为“Soviet Physics V”,1993年后改名为“Crystallography Reports”,到2009年已经出版到54卷.它的前身是1945年开始出版的“晶体学研究所汇报”.《晶体学报告》一开始就用英文出版.1956—1968年的主编是舒勃尼科夫院士,1968—1982年的主编是结构矿物学新方向的奠基人之一的A. N. Belov院士,1982—1996年的主编是伐因斯坦院士,1997—2004年的主编是苏伏洛夫(L. A. Shuvalov)教授,最近的主编由Koval'chuk所长担任.《晶体学报告》是双月刊,每年出6期.2007年的影响因子为0.38.从1996年起,期刊的目录和摘要发表在网址为<http://www.maik.ru>上.2002年期刊的副刊(Supplements)也开始有英文版,其中的内容是主题文章,如2003年的晶体学研究所60周年纪念文集,还有特别晶体学会议的重要文章.

该所除出版期刊《晶体学报告》之外,从2007年起还出版期刊《表面研究,X射线、同步辐射和中子技术》(“Surface Investigation. X-ray, Synchrotron

and Neutron Techniques”)的英文版,此期刊同时用“表面”的俄文读音“Poverkhnost”命名.英文版至今出版到第三卷,它也是双月刊.以上两刊均由Springer出版发行.

### 3 回忆和感触

在晶体研究所的发展过程中,担任了34年所长的伐因斯坦对研究所的贡献和影响恐怕是最为突出的.他从小就显露了过人的聪颖和才智,不仅对数学、物理、文学和历史十分感兴趣,而且还喜爱下棋和作诗.一切似乎均缘于天性,无论是在科学研究还是在生活中,他都特别擅长应对复杂的问题,对未知的领域从来不存在什么心理障碍.在前苏联的晶体研究所长期担任所长,本来不是一件轻松的事情,但他凭借其杰出的领导才能,还是尽其所能地培养和吸引了一大批优秀的物理学天才,并为他们创造最有利发挥创造性的科研工作条件.在他担任所长期间,研究所得到了快速发展.他也凭借自己非凡的创造力和全才,不断开拓新的学科方向,引导研究所不断发展.

伐因斯坦另一难能可贵之处是对科学的执着和专注.这让他对其他许多的诱惑具有天然的免疫力.他曾多次谢绝了让他担任莫斯科大学校长的邀请,原因只有一条,那就是他担心这会影响到他在研究所的工作.在我们国家长期形成的“学而优则仕”的传统,即使在今天恐怕也或多或少地影响着我们的生活,这一点不能不值得我们深思.

生活中的伐因斯坦为人也十分谦逊,家庭在他的心目中具有和科学同样重要的份量.幸福的定义可能因人而异,但有一种在他身上得到了完美的体现:“幸福就是晚上你想着要回家,而到了第二天的早晨你就想着要去工作”.

在对晶体所作了一个简单的介绍后,不由得想起了上个世纪80年代中国科学技术大学基础物理中心、结构中心和俄罗斯晶体学研究所合作交流中的一些往事.1987年8,9月本文第一作者和元洁(结构中心)第一次去该所访问时没有事先联系,而是直接到了位于莫斯科列宁大街的主要从事基础研究的市区研究所,在楼道里可以见到撒切尔夫人等贵宾参观研究所的大幅照片.我们通过传达室联系,受到了伐因斯坦所长的接待.他对我们十分友好,亲自带领参观晶体学研究所,介绍他们用X射线结构分析得出的生物大分子的模型和正在测量的X射线强度位置灵敏探测器.他还

赠送《现代晶体学》卷1和卷3俄文版共两册和他发表在苏联科学院通报1986年第9期上的综述文章《晶体科学的进展》抽印本,后者经本文第一作者译出后发表在1988年8月的《物理》杂志上.



图5 1987年本文第一作者(左)和元洁(右)访问晶体学研究所时与伐因斯坦所长的合影

通过这次访问,伐因斯坦院士和基谢列夫通信院士还同意接受中国科学技术大学当时的博士生侯建国在1988年前往晶体学研究所短期工作3个月.侯建国回来后用电子显微镜系统观测了非晶Ge晶化引起的双层薄膜中的分形图像,在1990年的《中国物理快报》发表了中苏双方物理学家联合署名的论文.1989年8,9月本文第一作者和何贤昶(基础物理中心)再次去该所访问,访问后伐因斯坦和基谢列夫又接受中国科学技术大学博士生吴学华在1991年前往晶体学研究所联合培养一年.

在俄罗斯晶体学研究所80多年的发展历史上,涌现了一大批杰出的物理学家,取得了显赫的研究成果.所有这些使它成为了一个名副其实的、实力雄厚和学科齐全的研究所.一个研究所能取得如此的成功,其中的缘由恐怕不是我们三言两语就能说清楚的.一批热爱物理学,博学笃志的大师级领军人物的作用无疑是不可忽视的,青年人才在他们的引导和研究所充满学术氛围的文化熏陶下,得到迅速的成长.或许浓厚的学术氛围决定了俄罗斯晶体学研究所的品格、成就与声誉,而研究者们对科学和生活真正的热爱才是俄罗斯晶体研究所成功的最重要原因之一.我国物理学研究历经近一个世纪的曲折跋涉,当前正处于蓬勃发展时期.我国物理研究的主要专业研究所多数至今已有50年以上的历史,如果这些研究所能在如何坚持不懈地发展拓宽自己的学科方向,保持并发展自己的独创精神,作出引领本学科方向的工作等方面与俄罗斯晶体学研究所作一些比较,相信一定能找到不少可以借鉴的地方.