

·科学顿悟·
文/潜伟

现代科学的利器——电子显微镜的发明



栏目主持人 潜伟, 北京科技大学科学技术与文明研究中心教授。电子信箱: williamq@263.net。

17 世纪中叶, 英国人罗伯特·胡克 (R. Hooke, 1635–1703) 和荷兰人列文虎克 (A. van Leeuwenhoek, 1632–1723) 对早期类似显微镜的放大仪器进行了改进, 制造出了最早的光学显微镜。光学显微镜是利用光线来看物体, 为了看到物体, 物体的尺寸就必须大于光的波长, 否则光就会“绕”过去。如果能找到一个比光波波长还短的光源, 就能提高显微镜的分辨率。

19 世纪末至 20 世纪初, 物理学上的一系列重大发现说明了这种可能性是可以实现的。1897 年英国物理学家汤姆逊 (J. J. Thomson, 1856–1904) 在研究阴极射线时发现电子; 1912 年德国理论物理学家劳厄 (M. V. von Laue, 1879–1960) 证明 X 射线是波长为原子尺度的电磁波, 具有衍射现象; 英国的布拉格父子 (H. Bragg, 1862–1942; W. L. Bragg, 1890–1971) 很快将它应用到金属及一些简单无机化合物的晶体结构的测定。1924 年法国科学家德布罗意 (L. V. de Broglie, 1892–1987) 把光的波粒二象性观点大胆地应用到实物微粒上, 发现电子流也具有波动性, 其波长与能量有确定关系, 能量越大波长越短。1927 年美国科学家戴维森 (J. D. Davisson, 1881–1958) 和英国科学家汤姆逊 (G. P. Thomson, 1892–1975) 几乎同时在实验中发现晶体对电子的衍射现象, 为德布罗意的假设提供了可靠的实验证明。于是科学家们就自然而然地想到是否可以用电子束来代替光波。用电子束来制造显微镜, 关键是找

到能使电子束聚焦的透镜。1926 年, 德国科学家布什 (H. Busch) 提出了关于电子在磁场中运动的理论。他指出, 具有轴对称性的磁场对电子束来说起着透镜的作用。这样, 布什就从理论上解决了电子显微镜的透镜问题, 对电子束来说, 磁场显示出透镜的作用, 所以称为“磁透镜”。这之后, 研制电子显微镜就成为顺理成章的事了。

德国柏林工业大学的卢斯卡 (E. Ruska, 1906–1988), 从 1928 年起在克诺尔 (M. Knoll, 1897–1969) 指导下从事阴极射线的聚焦研究。1932 年, 两人用一台经过改进的阴极射线示波器, 成功地用一个磁透镜聚焦得到了铜网的 13 倍放大像——第一次由电子束形成的图像, 后来又用双透镜得到 1 714 倍的放大像, 证实了使用电子束和磁透镜可形成与光学像相似的电子像。经过不断的改进, 1933 年卢斯卡和波里斯 (B. von Borries, 1905–1956) 在德国西门子公司一起研制电子显微镜, 引入极靴及投影镜得到了金属箔和纤维的 12 000 倍放大像, 分辨率超过光学显微镜, 宣告了第一台电子显微镜的诞生。

电子显微镜的研制成功, 不仅推动了电子光学理论的发展, 更带动了凝聚态物理、材料科学、生命科学等领域的大踏步前进。如 20 世纪 30 年代初就已经提出的晶体位错理论, 一直苦于无法直接检验而不敢肯定这个结论; 直至 1956 年剑桥大学卡文迪什实验室晶体学研究组的赫希 (P. Hirsch) 教授在将 Elmiskop-I 型电镜移去双聚光镜的一个光阑使电子束照射面积增大且试样升温后, 不仅看到了位错线, 而且看到了位错线的滑移, 更重要的是他们建立和完善了一整套薄晶体中结构缺陷的电子衍射动力学理论, 成功地解释了薄晶体中所观察到的结构缺陷的衬度像, 此后 20 多年晶体缺陷问题一直成为研究热点。英国医学委员会分子生物实验室的克卢格 (A. Klug, 1926–) 博士把衍射原理与电子显微技术巧妙地结合起来, 发展出一整套用电子计算机进行图像处理的方法, 并应用此技术来研究核酸-蛋白质复合体, 把对生物大分子的结构研究提高到一个新的水平 (0.5~0.7 纳米), 他也因此项工作而获得了 1982 年

度诺贝尔化学奖。

1982 年, 电子显微技术发展史上又发生了一次重大革命, 国际商业机器公司 (IBM) 瑞士苏黎世实验室的葛·宾尼 (G. Binning, 1947–) 和海·罗雷尔 (H. Rohrer, 1933–) 研制出世界上第一台扫描隧道显微镜 (STM)。他们用铂做了一个电极, 用腐蚀得很尖的钨针作另一电极, 在两电极间小于 2 纳米的距离以内, 改变钨针对铂片的距离, 测得隧道电流随这距离的变化。测量结果表明, 隧道电流和隧道电阻随隧道间隙的变化非常敏感, 隧道间隙即使只发生 0.01 纳米的变化, 也能引起隧道电流的显著变化。这种携带原子结构的信息, 输入电子计算机, 经处理即可在荧光屏上显示出一幅物体的三维图像。

扫描隧道显微镜使人类第一次能够实时地观察单个原子在物质表面的排列状态和与表面电子行为有关的理化性质, 放大倍数可达 3 亿倍, 分辨率高达 0.01 纳米, 被国际科学界公认为 20 世纪 80 年代世界十大科技成就之一。基于扫描隧道显微镜的基本原理, 现在已发展起来一系列扫描探针显微镜 (SPM), 如原子力显微镜 (AFM)、磁力显微镜 (MFM)、弹道电子发射显微镜 (BEEM)、光子扫描隧道显微镜 (PSTM)、扫描电容显微镜 (ScaM)、扫描近场光学显微镜 (SNOM) 等。这些显微技术都是利用探针与样品的不同相互作用来探测表面或界面在纳米尺度表现出的物理性质和化学性质, 成为纳米科技研究不可或缺的有力工具。

1986 年诺贝尔物理学奖授予了电子显微镜的发明人卢斯卡, 以及扫描隧道显微镜的发明人宾尼和罗雷尔。

电子显微镜的发展历史表明: 基础科学研究为科学仪器的发明提供了理论基础; 科学仪器反过来也促进了科学不断发展的关系。二者相辅相成, 正表现出现代科学和技术密不可分的关系。

参考文献

- [1] 郭可信. 金相学史话 (6): 电子显微镜在材料科学中的应用 [J]. 材料科学与工程, 2001, (1): 5–9.
- [2] 郭可信. 从卢斯卡获诺贝尔物理奖看电子显微学的发展 [J]. 物理, 1987, (9): 568–570.

(责任编辑 王芷)