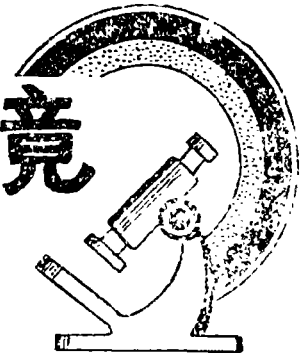




质子显微镜 及其应用

陈建新



一、质子显微镜的发展概况

质子显微镜 (Proton Scanning Microscope) 又称质子微探针 (Proton Scanning Microprobe), 简写 SPM. 因为它是建立在核技术的基础上的, 故有时又称核微探针 (Nuclear Scanning Microprobe). 它是显微镜家族中的新成员, 自 1972 年英国哈威尔实验室的库克森 (J. A. Cookson) 等人首先制成了世界上第一台质子显微镜, 至今虽只有十几年, 但由于它的一些独特的优点, 使它应用广泛. 又由于质子显微镜的出现, 使现有的一批小型加速器得到充分利用. 所以, 自那时以来, 质子显微镜如雨后春笋般地在许多国家的加速器实验室中出现, 现在全世界已有几十台, 其研究领域涉及生物学、医学、材料科学、考古学、微电子学、地球科学等等. 一九八七年九月, 在它的诞生地——英国召开了第一次有关质子显微镜技术和应用的国际学术会议, 在会上科学家们交流了这方面的最新成果.

众所周知, 各种显微镜都是用来观察和研究微小物体如细菌、细胞等形貌的仪器. 质子显微镜也不例外, 它不仅可以观察微小物体 (线度小到几个微米) 的外形, 而且还可以测定它们表面层 (几个微米厚) 的元素面分布和深度分布. 图 1 是用质子显微镜测得的一种细胞中的碳、氮、氧、钠、磷、硫、氯、钾、铁、锌等元素

分布的三维显示. 这是一种元素含量的等高显示, 图中象年轮一样的线是等高线, 每条等高线之间的元素含量相差 2%. 可以说, 这幅图是当今质子显微镜技术和应用的最好象征. 可能有人会说, 电子显微镜不也可以测定样品中的元素分布吗? 事实上, 由于电子的侧致辐射本底大, 故它分析元素的灵敏度不高 (一般为 1%—1%), 又由于电子进入样品易发生散射, 所以目前还不可能用电镜测定细胞中的元素分布. 在质子显微镜中, 采用了多种核分析技术, 它可对样品进行全元素分析, 其灵敏度可达 1ppm 以上. 又因为质子的质量比电子大得多, 进入样品后, 不易被散射, 所以它还可以测定样品表层元素的深度分布. 因此, 它在不少领域有着广泛的应用.

二、质子显微镜的原理、结构和性能简介

质子显微镜的原理是将加速器产生的、能量为几兆电子伏的质子或其他离子, 聚焦成微米细束, 对样品进行光栅扫描. 在此过程中, 测定样品产生的各种次级效应, 从而得到扫描区域样品的元素面分布和深度分布的信息. 根据这一原理制成的质子显微镜, 其结构是比较复杂的. 除了要有一台质量好的粒子加速器外, 它还有四个主要部分: (1) 获得微米束的准直和聚焦系统; (2) 一个装有多种核辐射探测器和能使样品作

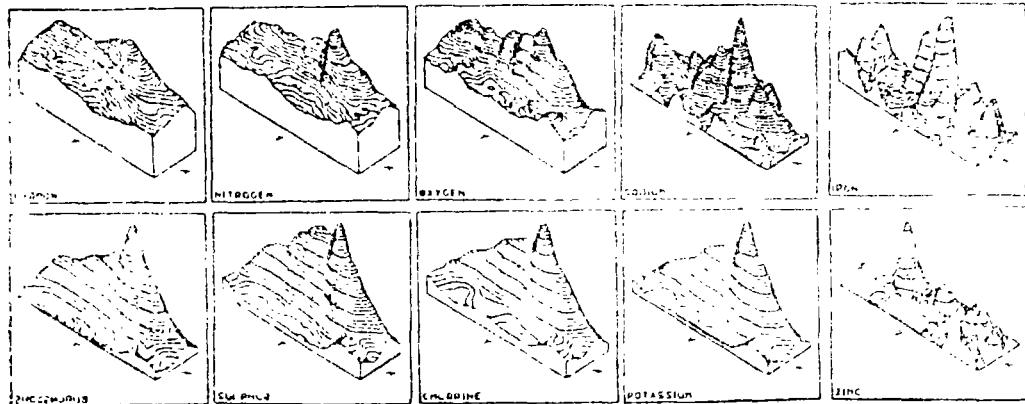


图 1 纤维细胞中元素分布的三维显示

老科学家的追求

王 瑛

一九九〇年一月四日，在张文裕先生八十年展的前夕，高能物理所和高能物理学会为《张文裕论文选集》举行首发式。会上高能物理学会理事长郑林生和高能所所长方守贤分别介绍了文集内容及张先生对我国高能事业的贡献；杨振宁、卢嘉锡、周光召、王淦昌等来宾从各自与张先生的交往中，谈到他对科学事业的执着追求及为发展我国基础科学所做的贡献。周光召同志代表中国科学院对张先生几十年来为中国核科学、宇宙射线和基本粒子科学方面做出的贡献表示最崇高的敬意和感谢。张文裕先生因为生病，没有出席会议，他的夫人王承书先生的简短、朴实的讲话，深深地激动着与会者的心弦：“……病魔已夺去了他为人民服务的能力，因为他现在已是全聋，过去我们还能通过写字来交流，现在他的眼睛已坏到连写字都不行了。不过从我的观察看，他的心是一直扑在我们高能物理事业上的。从小事说，由于久病他现在的表情已非常淡漠，一般都没有笑容，可是每一次听里的同志或是同行同志去看他，他一定要对我们笑。近年来电视屏幕上对高能所及对撞机的事报导的较多，每次看到这些，他都非常激动。虽然他说话已表达不清，然而还要‘议论’一番。所以我说尽管他现在已不大能工作，但还有一颗都在事业上的。」朴素的话语道出了一位老科学家孜孜不倦的追求，深深地激励着在座的每一

二维移动的靶室；(3)使离子束对样品进行光栅扫描的系统和数据获取系统；(4)真空系统。

聚焦系统是质子显微镜的关键部件，它的性能好坏直接关系到加速器出射的离子束能否聚细。采用电、磁透镜聚焦离子束是常用的方法，但由于离子的质量大、能量高，要使加速器出口处、线度为几毫米的离子束斑，直接聚成微米束是有困难的。所以，往往在聚焦系统的物点处装有缝限仪，人为限制进入聚焦系统的束斑大小。即使如此，也还因离子束的能散、透镜加工精度不高等因素，限制了离子束的聚细。目前国际上一般质子显微镜的束斑线度都在1微米以上。据分析，主要限制来源于加速器的离子源。澳大利亚墨尔本大学的质子显微镜，由于改进了加速器的离子源，其束斑线度可达0.3微米。

三、质子显微镜的应用

十几年以来，发表的大量文章表明，质子显微镜在很多领域有着极其重要的应用。

1. 质子显微镜是揭示微量元素在生命科学中奥秘的有力工具。如研究微量元素在植物生理过程中的作用时，有人用质子显微镜测定了植物开花时、传播花粉过程中花粉管柱头中某些微量元素的分布，在某些植物花粉管柱头中，发现锌、钙等元素的富集。这又一次表明锌、钙等元素在生物生长和发育过程是极为重要的。有人在研究微量元素与人类某些疾病的相关性时，发现痴呆症患者与他们脑组织中的铝、硅等元素含量的增加有关；还发现胆汁色质的变化与其中铜元素的异常有关。在研究环境对生物体的影响时，有人测定了鼻腔隔膜处的元素分布。发现某些重元素的沉积与空气污染有相关性；还有人测定了贝壳髓轮(类似树木的年轮)中的元素分布，发现某些元素含量随髓轮的变化与该处水域污染程度随时间的变化同步；甚至有人还

发现，在人们的头发中，某些元素的分布也与环境的污染密切相关。类似的报导还可举出很多，这都充分显示了质子显微镜在生命科学中有着广泛的应用前景。

2. 质子显微镜在材料科学研究中的应用也是很广泛的。如在前几年的超导热中，有人用它来测定超导体中的元素分布的均匀性，以便研究和改进超导体的制造工艺。核聚变和裂变装置的性能与其材料中的元素分布有关，不少报导表明，可用质子显微镜来测量这些材料中杂质元素的分布，以便改进这些装置的性能。在航天和能源工业中，各种动力装置焊缝的质量以及它们在运行中的变化对安全运行是极为重要的。有人通过测量焊缝断面的元素分布及其变化，以便研究和改进焊接工艺。各种发动机的汽缸和轴承的磨损情况也可用质子显微镜进行研究，通过测量磨损面和磨损颗粒的元素分布，可了解和改善材料的耐磨性能。在化学工业中，用质子显微镜测定各种催化剂中的元素分布及其中毒后毒性元素的分布，其报导也不少。用质子显微镜来研究半导体材料的性能，进而用它来研究和改进制造集成块的工艺，这已为人们所了解。

3. 质子显微镜在考古学中也有广泛的应用。人们通过测定古代纸张、油墨、绘画以及珍贵珠宝的成分、微区元素分布，不仅可以鉴别其真伪，而且可以研究其制作工艺、产地等等。从而对古代文化、手工业的发展和贸易等作更深入的研究。

4. 地球科学的研究也离不开质子显微镜。用它测定一些矿石的成分和分布，不仅可以判断其开采价值，而且可以根据测定的数据研究地球的起源。此外，通过测定各种陨石的成分和分布，研究某些天体乃至宇宙的起源。

可以预料，随着科学技术的发展，质子显微镜的性能会更好，其应用范围会更广。