

扫描隧道显微镜和原子力显微镜

罗乐 刘东 廖本强

(合肥工业大学理学院 安徽 230009)

在微观领域对物质进行观察和研究中,人们发明了各种显微镜。但是光学显微镜由于受到光的波长的限制而无法达到很高的分辨率,X射线衍射技术则要求观察样品必须是晶体,透射电镜则需要对观察样品进行超薄切片。所有这些要求使人们的观察受到了限制,因此人们开始研制更加先进的显微镜。1982年宾尼格、罗雷尔及其同事们成功地研制出世界上第一台扫描隧道显微镜(STM),导致了显微领域中的一场革命,并在它的基础上研制出一系

核废物嬗变、核电生产、中子与介子物理的基础研究、医学及工业应用。与这个计划相配合,还提出了一个名为HYPER的计划,旨在通过加速器驱动的嬗变技术,解决韩国核能发展的瓶颈问题,即乏燃料的后处理难题。KOMAC计划分为两个阶段。从1997年到2002年,从事20MeV以前的加速器低能段研制,第二阶段包括从20MeV到100MeV的CCDTL和100MeV到1GeV的超导加速器,预计2007年完成。同时,HYPER工程也将建造一台热功率为5MW的小型基准试验装置。然后,再用8年时间,建成一座热功率为15MW的试验装置。

2. 我国开展ADS研究的初步设想

我国的核电发展还处在起步阶段,21世纪有很大的发展空间。这种后发优势给了我们一种机遇,可以有较充裕的选择余地。我国核科学家建议分步研究开发ADS技术。第一阶段是基础研究和系统集成,第二阶段是全尺寸演示装置。在第一阶段中,分两步走。第一步,2000年到2004年,对ADS这一可持续发展核能的新技术路线进行物理与技术的基础研究与开发,完成系统总体概念研究并优选出符合我国国情的裂变核能可持续发展的系统和开展若干重要部件的预研,对该系统所涉及的物理过程进行分解式研究,例如,在脉冲外源驱动的零功率堆上验证中子学行为、开展有关强流束的产生及其在低能注入段中输运特性的研究、对束流引出窗及中子产生靶的热工和辐照性能的模拟试验研究等等,为

列的扫描探针显微镜,如原子力显微镜、磁力显微镜和激光力显微镜等。STM的出现使人类第一次可以实时地观测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物理性质和化学性质。为此,宾尼格和罗雷尔获得了1986年诺贝尔物理奖。

扫描隧道显微镜是根据量子力学中的隧道效应研制出来的,隧道效应是指在金属表面附近的电子密度不会突然变为零,而是形成按指数衰减的电子云分布。STM就是利用隧道效应让金属探针非常

进一步进行总体技术集成研究奠定科学基础。这个基础研究计划已于1999年列入“国家重点基础研究发展规划项目”。第二步,从2005年到2010年,希望建设一台能量为300MeV,平均流强为3到5mA的质子直线加速器,驱动一座热功率小于5MW的池式反应堆,进行技术集成并开展“原理验证”的实验。该加速器还可综合利用,进行靶材实验、中子核物理研究以及同位素生产等。第二阶段的全尺寸系统演示装置将用一台能量为1GeV、平均流强为20mA的强流质子直线加速器驱动次临界反应堆。它的成功建造和稳定运行将为加速器驱动洁净核能系统的商业利用提供示范和基础。

加速器驱动洁净核能系统是裂变能可持续发展的创新技术路线,它是建立在20世纪核科技坚实基础之上的,具有先进性和可行性。发展这一系统所进行的创新性基础研究和技术开发,必将会在21世纪中,有力地推动整个核科技的向前发展。世界各核能强国都十分重视这一系统的研究开发,可以预期在21世纪30年代,ADS核能系统将成为经技术验证了的新一代核能系统,并在其基础上结合基于20世纪中期科学技术基础上的核能系统,从而构建新的核能方案,使核能成为21世纪内一种可持续发展的主要能源。我国在该领域的研究和开发,必将会使核能对我国在21世纪经济快速发展作出应有的贡献。

靠近待测金属的表面,使探针表面的电子云和待测金属表面的电子云发生重叠(如图 1 所示),并在探针和金属之间加上一个电压,这时探针和金属之间就会有电流产生,这种电流被称为隧道电流。当电压确定时,隧道电流的大小和探针到金属表面的距离 h 有关,当探针在金属表面进行扫描时,可以通过不断地调整探针到金属表面的距离来保持隧道电流的大小不变(这种工作模式被称为稳流模式),这样就可以获得扫描探针随着金属表面原子分布的变化而上下起伏变化的三维图像 $h = f(x, y)$ 。当探针在金属表面进行扫描时,也可以保持探针到金属表面的高度不变(这种工作模式被称为等高模式),这样就可以获得隧道电流 I 随金属表面原子分布的变化而变化的图像 $I = F(x, y)$ 。借助于计算机图像处理系统对 $h = f(x, y)$ 和 $I = F(x, y)$ 进行处理就可以获得金属表面的精细图像。

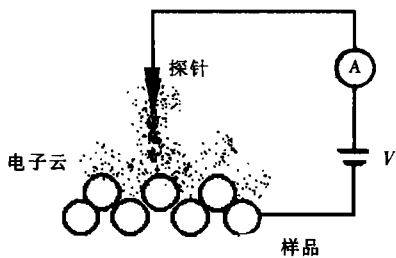


图1 STM的工作原理示意图

原子力显微镜(AFM)是在 STM 基础上研制出来的更加先进的扫描探针显微镜,它的工作原理如图 2 所示:把一个对微弱的力极其敏感的微悬臂的一端固定,另一端安装一个微小的探针,使探针非常靠近待测样品的表面并在样品的表面上扫描,由于探针尖端的原子和样品表面的原子间存在着微弱的斥力(10^{-8} — 10^{-6} N),并且该斥力的大小和探针尖端的原子到样品表面原子的距离有关。因此当探针在样品的表面扫描时,如果保持斥力恒定,则微悬臂将随着样品表面原子分布的变化而在垂直于样品表面的方向上起伏变化。这时如果把 STM 的探针固定在微悬臂的上方,当微悬臂上下变动时就会引起微悬臂和 STM 探针间隧道电流的变化,利用隧道电流检测法和计算机图像处理技术就可以获得样品表面的精细图像。

原子力显微镜的工作模式主要可分为准静态模式(又称接触模式)和动态模式(又称非接触模式)。在准静态模式下扫描探针与样品间的距离很小(一般小于 0.03nm,基本上是紧密接触的),所以针尖和

样品的电子云可以发生重叠,导致仪器有很高的分辨率,可达到原子级的水平。它一般适合观察具有硬

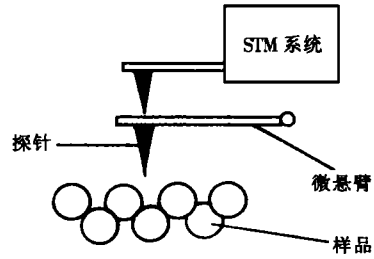


图2 AFM的工作原理示意图

质表面的样品。工作在准静态模式下的 AFM 不仅可以用来成像,而且可以用来测量原子间的相互作用力,所测的最小力可达 10^{-9} N。动态模式是让微悬臂或者样品做高频振动,因为针尖与样品间的相互作用力对针尖与样品间的距离的变化率可以影响微悬臂的振动频率,振动频率的变化会导致振动幅度出现可以测量的变化,利用内差法和外差法等光学干涉法就可以测得振动幅度的变化。由于在动态模式下针尖与样品间的平均距离较大、互不接触,所以它的分辨率相对较低,达不到原子水平,一般为纳米量级。但是由于在动态模式下探针不接触样品的表面,所以对样品的要求大大降低,它可以直接用来观察柔软的生物样品,对生命科学的研究具有重要意义。

扫描隧道显微镜和原子力显微镜同其他显微镜相比具有分辨率高、工作环境要求低、待测样品要求低、不需要重金属投影等优点,所以它们观察到的图像更能直接反映样品的原有特点。此外,借助于快速的计算机图像采集系统,STM 和 AFM 还可以用来观察细胞、亚细胞水平甚至是分子水平上的快速动态变化过程。STM 和 AFM 不仅可以用来对样品进行精细成像,而且还可以对样品进行精细加工,利用 AFM 甚至可以把质粒 DNA 剪切成特殊的尺寸而与其序列无关,这可能会产生分子克隆或 DNA 测序的新方法。由于 STM 和 AFM 的众多优点,它们已在物理学、生物化学、材料科学、生命科学、技术科学等众多领域中得到广泛的应用。



现代物理知识