

简报

质子探针
——新技术介绍

我于1983年5月去澳大利亚考察测试分析仪器配备、使用和制造情况，其间在墨尔本大学物理系看到质子探针。质子探针也称质子显微镜，是进行微区痕量分析的重要技术手段。现将澳大利亚部份内部资料和实际情况，结合微区痕量分析技术动向，写此短文，介绍有关质子探针的一些基本知识，供开展这方面工作参阅。

在直径以微米计的试样表面上进行扫描或点上的多元素同时测定的微区分析，是当今研究微细物质化学成份极为重要的测试手段。它对研究确定地质样品中的化学元素的分布、赋存状态相平衡、生物样品细胞组织中的化学元素的富集部位、微电路中的缺陷检测、半导体材料掺杂离子的层度分布、以及催化剂表面分析等等方面都具有极其重要作用。

测定微区化学成份的测试技术，在目前国外使用较广泛的主要有激光显微光谱、离子探针和电子探针。激光显微光谱分析要破坏试样，检测微区面积较大，灵敏度不高，准确度也都达不到定量分析要求。离子探针虽然检测微区面积很小，也能分析轻元素，但准确度差，只能进行定性分析。电子探针可进行非破坏性的近似定量分析。微区的检测面积直径可以小到1微米，是目前国内进行微区分析

的最重要手段。但电子探针有两个很突出的弱点:

(1) 不能进行轻元素分析。(2) 分析灵敏度太低, 最高的检测限也只能达到几百ppm。

近年来, 一些国家开展了应用质子探针进行微区分析的新技术。电子探针是用经过聚焦的电子束轰击试样表面, 从而引起原子电离, 核外电子在能层上跃迁产生X射线, 经过波长色散或能量色散, 形成X射线光谱或能谱, 测量其特征波长的X射线强度或能量大小, 来进行多元素同时测定。如果不用电子束, 而用聚焦成微米级的质子束来轰击试样表面, 同样可以激发产生X射线光谱, 进行多元素的同时测定微区扫描分析。这样的仪器就叫做质子探针。

质子的质量大于电子的质量很多倍, 如以同样的速度轰击试样, 其能量也势必大得多, 因此原子电离后, 所产生的质子感应X射线(PIXE), 其灵敏度可以大于电子感应X射线发射(EIXE)两到三个数量级。所以质子探针测定元素的检测限可以低至1ppm(对Cr至Zn的重金属), 还能测定轻元素。当然轻元素比起上述重元素, 质子探针还达不到这

样低的检测限, 如果提高了质子束的能量, 也有可能使这些轻元素达到更高的灵敏度水平。

质子探针的分辨力在目前是还差一些, 只是几个微米。它与电子探针情况不同, 提高分辨力的潜力很大。因为质子探针是由于试样中粒子的散射关系, 也导致分辨力降低, 是受高能加速器和光学仪器发展水平的制约。

质子探针不但能检测 $Z > 10$ 的元素, 也能检测所有轻元素, 并可以用来进行样品的非破坏性的薄层和通道分析。

质子探针仪器结构大致与电子探针相似。一台高能加速器作为质子源。将质子束聚焦在可调的光栏上。四磁性四极组成的棱镜组合, 将光栏物镜上的质子束再射到试样上, 轰击试样表面, 分辨力极限能达到几微米。象扫描电子显微镜那样, 质子束在试样上进行扫描。用三维的X射线检测器检测所产生的X射线。检测器再与电子计算机相连接, 直接给出信息和数据, 或储存于磁盘上。

质子探针的特点与其他微区分析方法相比较可以归纳如下表:

质子探针的特点与其它方法的比较

分 析 方 法	质子探针	电子探针	离子探针		激光显微光谱
原始激发	质子束	电子束	离子束		激光、火花
被测发射	x射线	x射线	离子		紫外、可见光
分析深度	1微米	1微米	0.1微米		
面积分辨力	5微米	1微米	1微米	250微米	10—50微米
相对灵敏度	1ppm	100ppm	10ppm	1ppm	10ppm
准确度	定量	定量	定性		半定量
能测定元素的原子序数	全部	$E > 10$	全部		全部
试样破坏	不	不	是		是

质子探针检测灵敏度要比电子探针高出两至三个数量级。它对于岩石矿物、半导体材料、合金、催化剂、生物和医学样品中痕量元素物质成份的研

究有其重要作用。

南京地质矿产局 张佩桦