



中国科学院昆明分院
Kunming Branch Chinese Academy of Sciences



公告: 昆明分院拟提名申报2020年度云南省科学技术奖励项目(版纳植物园)相关信息公告 (../zylz/202007/t2020070...)

Q 请输入关键词

搜索

首页 (../..) > 科研进展 (../)

科研进展 (../)



FIB-AES-TEM-EELS联用技术在嫦娥五号月壤样品研究中的应用

地球化学研究所 2022-03-04 小中大

近日,中国科学院地球化学研究所研究团队利用聚焦离子束(Focused Ion Beam, FIB)、扫描俄歇纳米探针和透射电子显微镜-电子能量损失谱(Transmission Electron Microscopy-Electron Energy Loss Spectroscopy, TEM-EELS)等先进原位微区电子学分析技术,分析并排除了地球环境对嫦娥五号月壤(CE5C0400YJFM00505)中含铁相的污染和氧化,同时对np-Fe⁰及相关铁镁硅酸盐矿物与玻璃基质中Fe²⁺与Fe³⁺的纳米级尺度分布与赋存特征开展了深入分析,获取了np-Fe⁰歧化反应成因机制的初步证据。相关研究成果近期作为特约稿件发表于国际著名谱学分析期刊《Atomic Spectroscopy》上(At. Spectrosc, 2022, 43(1), 53-59)。中国科学院地球化学研究所莫冰工程师为论文第一作者,中国科学院地球化学研究所李阳副研究员为论文通讯作者。

2020年12月17日，中国嫦娥五号探测器成功将1731克月壤带回地球，实现了我国月球探测工程“绕、落、回”三步走的最后一步。月壤中广泛存在纳米级单质金属铁（Nanophase Iron Particles, np-Fe⁰），由于其对月球反射光谱遥感数据解译具有重要影响，同时也是月壤形成与演化过程研究的重要信息来源，因此具有重要的研究意义。当前对于np-Fe⁰的形成原因主要基于Apollo样品、少量月球角砾岩陨石以及地面模拟实验的研究结果，被归结于陨石、微陨石撞击引起的蒸发沉积作用以及可能的太阳风粒子辐射引起的溅射离子沉积作用。然而，嫦娥五号月壤与Apollo月壤相比，其形成年龄与空间暴露历史较短，经历了相对简单的太空风化作用改造，可能保留了月壤形成和演化初始阶段的改造特征。因此，通过研究嫦娥五号月壤中铁元素价态及分布特征，有望为np-Fe⁰的多种成因机制研究提供新依据。

扫描俄歇纳米探针具有极高的纳米级表面分析灵敏度，同时检测结果中铁单质及其氧化物的俄歇电子能谱（Auger Electron Spectroscopy, AES）峰位及峰形具有明显差异，因此是检测样品表面污染及氧化的有效设备。但是扫描俄歇探针此前通常应用于常规导电性良好样品的分析与测试，而嫦娥五号月壤的组成矿物则主要为绝缘体的硅酸盐矿物。为去除样品的荷电效应对俄歇检测的影响，作者利用聚焦离子束将月壤颗粒制备为厚度小于100 nm的超薄切片，以使大部分入射电子可透过样品并通过导电样品台转移，从而极大程度减弱了样品的荷电效应，并最终获得了嫦娥五号月壤颗粒中np-Fe⁰及含铁相中铁元素的准确价态信息。结果表明在样品制备、转移和分析过程中，月壤样品中的单质铁未被地球环境污染与氧化，确保了分析结果的准确性（图1-2）。

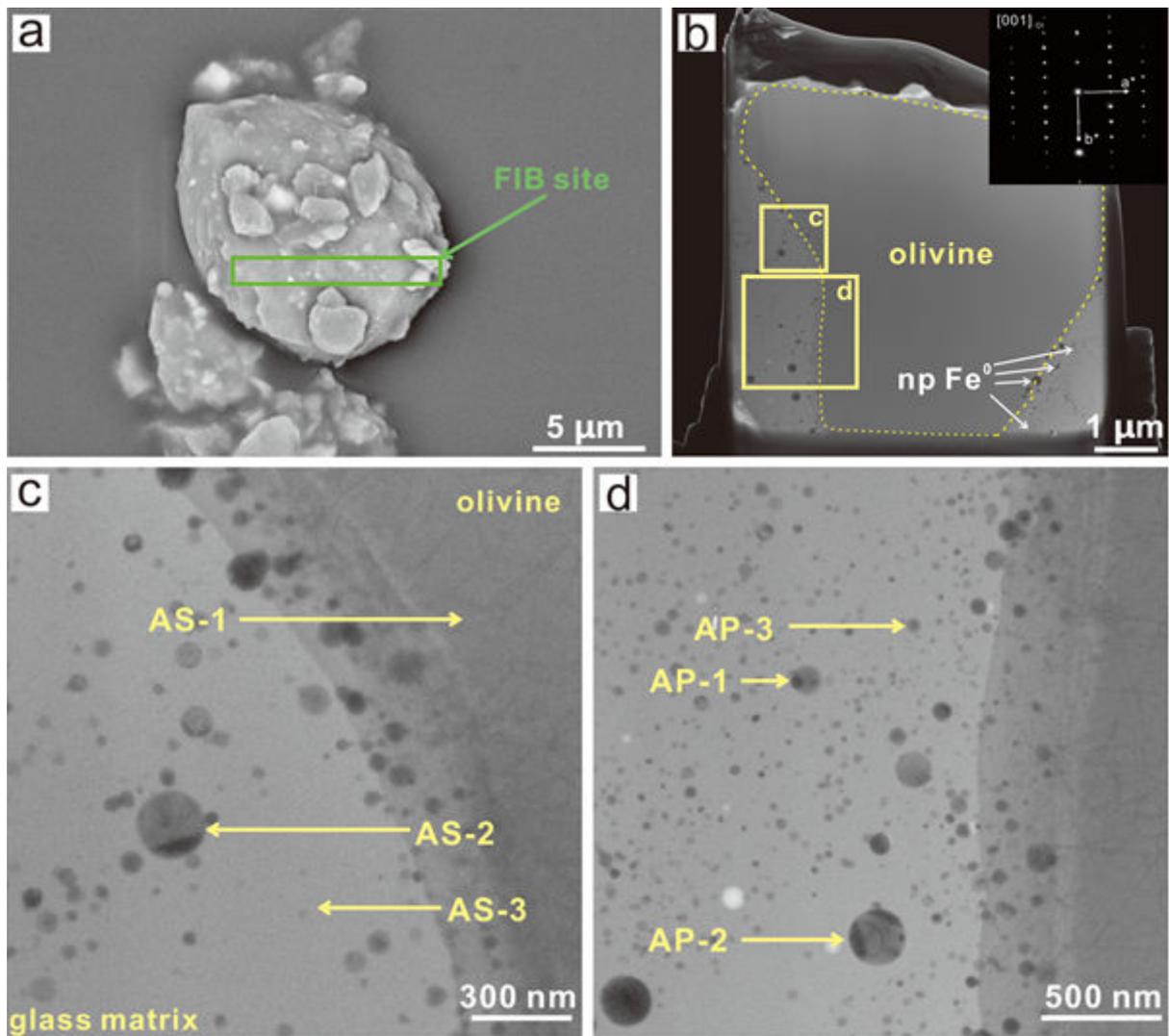


图1 嫦娥五号月壤 (CE5C0400YJFM00505) 颗粒及扫描俄歇纳米探针分析位置示意

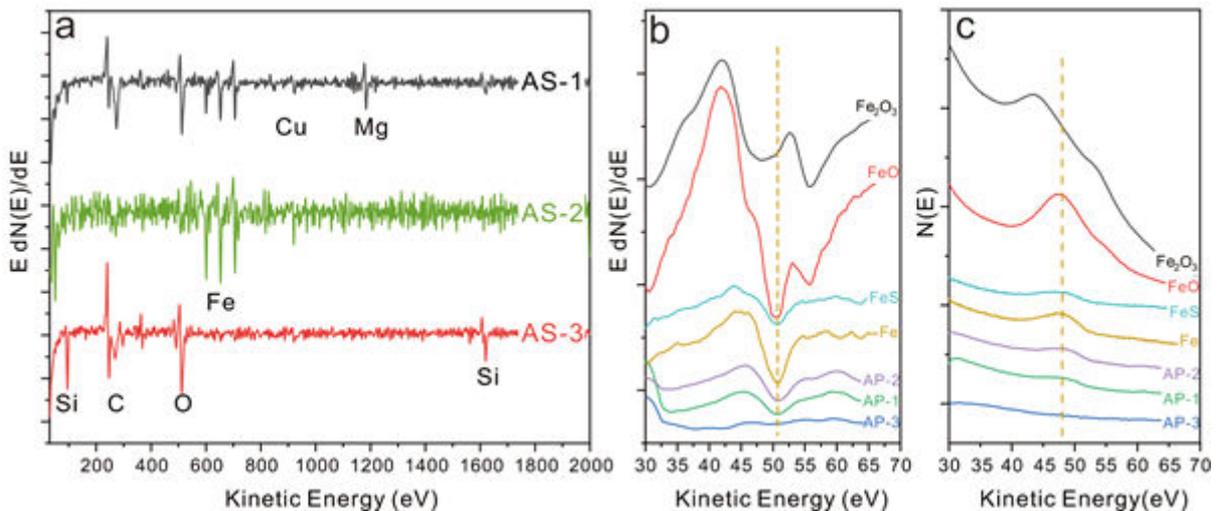


图2 月壤颗粒中不同位置的俄歇电子能谱图

透射电镜-电子能量损失谱仪具有纳米至原子级的空间分辨率，同时也是微区铁元素价态分析的最重要技术手段。作者选择普通球粒陨石 (GRV051874, L6) 中的铁镍合金、陨硫铁以及地球赤铁矿的FIB薄片分别作为 Fe^0 、 Fe^{2+} 与 Fe^{3+} 的标准样品。随后，作者分析了月壤颗粒超薄片中的 np-Fe^0 、其周围铁镁硅酸盐矿物以及玻璃基质中不同价态铁的纳米级尺度分布和赋存特征 (图3)，并在完全相同的分析条件下获得了标样及嫦娥五号月壤样品含铁相的

EELS谱图。通过对比谱图的峰位和峰形特征，作者确认np-Fe⁰和铁镁硅酸盐矿物（橄榄石）中的铁分别为0价和+2价，而在橄榄石和np-Fe⁰附近的玻璃基质中存在Fe³⁺。这表明，橄榄石中的Fe²⁺可能在（微）陨石撞击过程中发生了歧化反应。

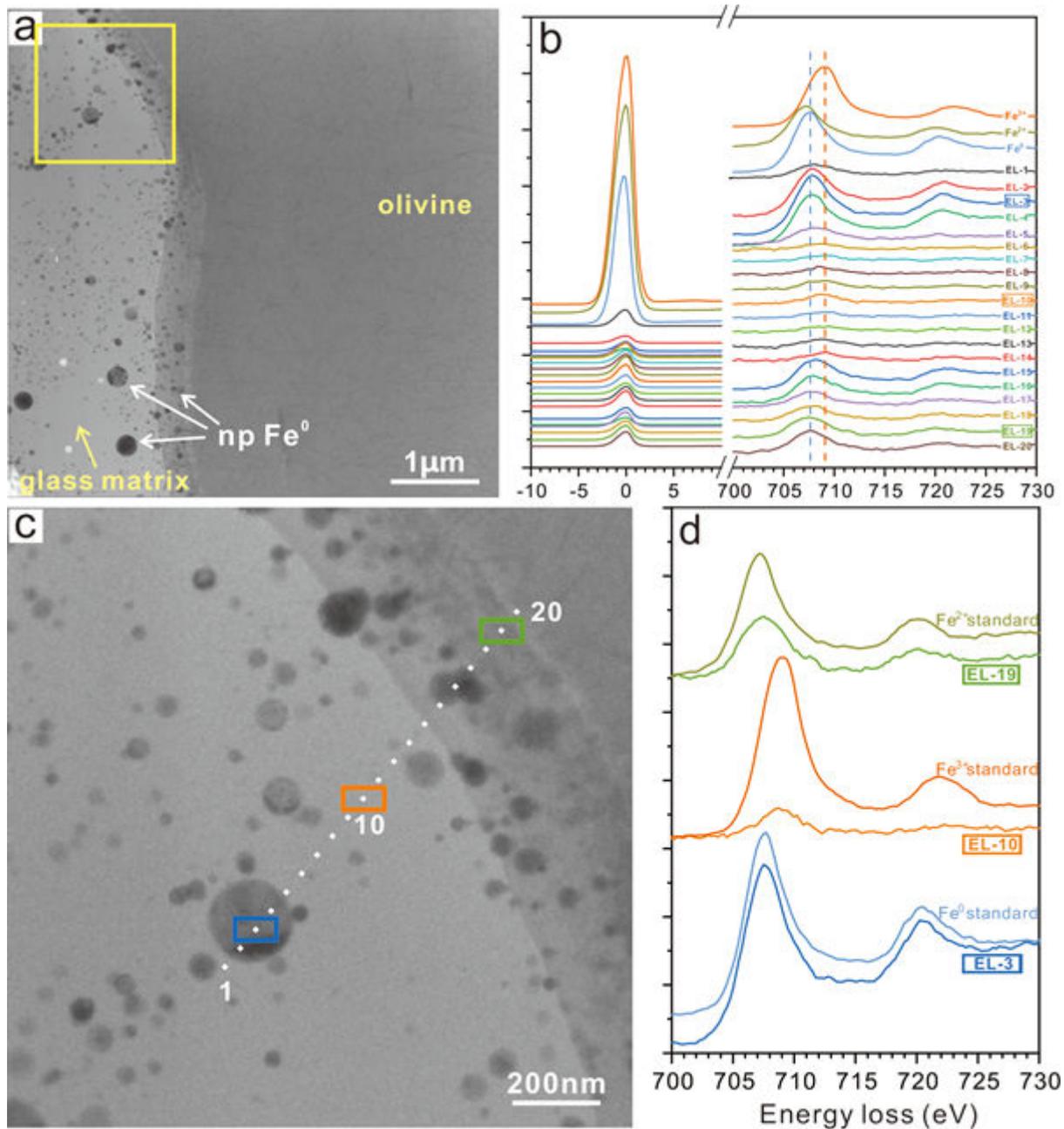


图3 月壤颗粒中np-Fe⁰附近线扫描EELS谱图

综上，利用聚焦离子束制备月壤样品原位超薄切片不仅可有效解决俄歇纳米探针分析时样品表面的荷电问题，而且可同时应用于透射电镜及电子能量损失谱仪的铁元素价态的分析与检测。在此基础上，作者结合AES与TEM-EELS技术，获得了嫦娥五号月壤颗粒中不同价态铁元素的纳米尺度分布和赋存特征，为月壤np-Fe⁰歧化反应成因提供了初步证据。上述技术可广泛应用于地外及地球样品的铁元素的微区地球化学行为以及氧化还原环境演变过程的研究工作中。

该成果得到了中国国家航天局嫦娥五号月壤样品（CE5C0400YJFM00505）的支持以及中科院类地行星先导专项（XDB41000000）、国家自然科学基金委重点基金（41931077）、国防科工局民用航天项目（D020201）、中科院青年创新促进会（2020395）以及中科院前沿重点（ZDBS-SSW-JSC007-10, QYZDY-SSW-DQC02）等项目的资助。

-----相关链接-----

-----院属机构-----

-----友情链接-----



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

单位邮编：650204 电话：0871-65223106 传真：0871-65223217

单位地址：云南省昆明市茨坝青松路19号 电子邮件：office@mail.kmb.ac.cn

中国科学院昆明分院版权所有

滇ICP备05000233号 滇公网安备53010302001225号 网站标识码:bm48000015

