

实验简报

Continuum 和 DualEELS 功能

标题

使用 EELS 揭示嫦娥 5 号月壤样品中的 Fe³⁺ 成分

使用的 Gatan 仪器

Continuum S 电子能量损失谱 (EELS) 系统, 结合高速 XCR™ 传感器技术和先进的采集软件可以以最高 ~8,000 谱每秒的速度采集能量校正且具有两段能量范围的 EELS 数据 (DualEELS)。之后, 通过 DigitalMicrograph® 软件的一系列高级功能, 用户可以快速, 可靠地生成元素的化学态分布图。

背景

通过研究月球风化层中的铁, 研究人员可以记录和揭示我们太阳系的氧势。先前对阿波罗月球样品的研究表明, 月球表面和内部具有高度还原性, 铁元素主要为亚铁 (Fe²⁺) 或金属铁 (Fe⁰), 只有少量 (<1 wt.%) 的三价铁 (Fe³⁺)。然而, 最近的研究发现月壤中的玻璃珠所含有的 Fe³⁺ 浓度要比阿波罗样品的数据高很多。在月球表面高度还原的环境中, Fe³⁺ 的产生和稳定机制目前仍有争论。使用 EELS 元素化学态分布成像和断层成像, 作者们提出了一种解释。

材料和方法

通过分析 Fe L_{2,3} 能量边的能量损失近边结构 (ELNES), 嫦娥五号凝集玻璃 (样品 ID: CE5C0400YJFM00408) 中铁的化学态将显示出差异 (图 1e)。然而, 只有准确知道采集数据中所有点的能量零损峰 (ZLP) 的位置, 我们才能准确识别和自动定位这些价态的差异 (图 1d)。作者使用 DualEELS 和 ZLP-lock 功能同时从月球样品中收集空间分辨的低能损和高能损信息, 并记录不同数据的倾斜角度。之后, 通过多元线性最小二乘法 (MLLS) 拟合, 作者确定了这些不同倾斜角采集的 ELNES 数据集中铁元素价态的定量分布 (图 1b 和 c 分别为 Fe⁰/Fe²⁺ 和 Fe³⁺)。当针对整个倾斜系列完成数据拟合, 创建元素化学状态的断层扫描。这些发现和进一步的分析得出的结论是: 玻璃珠中的高 Fe³⁺ 浓度源于微流星体撞击无空气月球表面时产生的歧化反应。

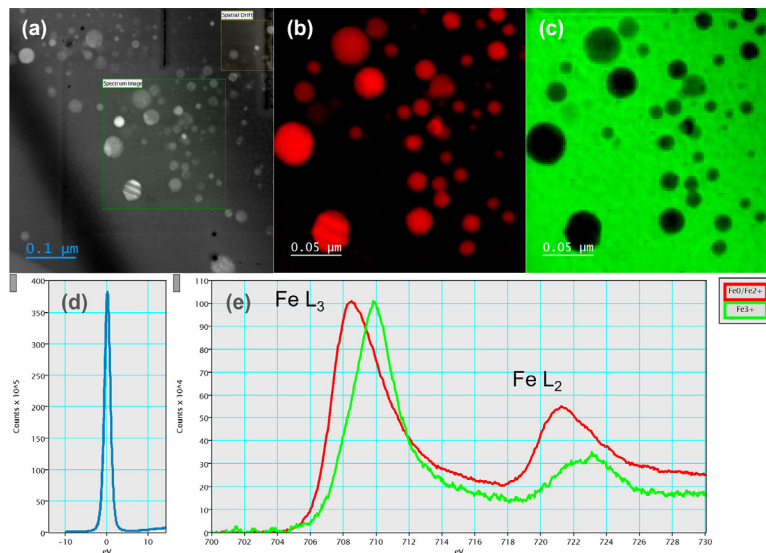


图 1. (a) 感兴趣区域的环形暗场像和漂移校正特征区; 使用 MLLS 函数对 (b) Fe⁰/Fe²⁺ 和 (c) Fe³⁺ 进行铁化学态面分布解析; (d) 使用 ZLP-lock 后的零能损峰, 以及 (e) 详细的 Fe L ELNES 显示出不同的价态特征。

总结

在 DualEELS 的帮助下, 研究人员可以研究月球表面样品中的三价铁含量来源。该技术可用于铁元素化学态的剥离和分析。

致谢

特别感谢中国科学院广州地球化学所的鲜海洋博士。

[1] Xian, H., Zhu, J., Yang, Y. et al. Ubiquitous and progressively increasing ferric iron content on the lunar surfaces revealed by the Chang'e-5 sample. Nat Astron (2023). <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01855-0>.