



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110987823 B

(45) 授权公告日 2020.10.09

(21) 申请号 201911149961.8

(22) 申请日 2019.11.21

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110987823 A

(43) 申请公布日 2020.04.10

(73) 专利权人 中国科学院地球化学研究所  
地址 550081 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

(72) 发明人 于雯 曾小家 李雄耀 唐红

(74) 专利代理机构 北京中济纬天专利代理有限公司 11429

代理人 郭萍

(51) Int. Cl.  
G01N 21/25 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 85109608 A, 1986.07.23

CN 101006336 A, 2007.07.25

CN 101852724 A, 2010.10.06

CN 103344573 A, 2013.10.09

JP H09269265 A, 1997.10.14

WO 2015001591 A1, 2015.01.08

胥涛等. 月球紫外-可见-近红外反射光谱的基本特征及解析方法.《地球与环境》.2004,第32卷(第3-4期),

马庆军等. 红外光谱仪在深空探测领域的发展状况.《红外》.2005,(第7期),

Andreas Morlok, et al. Mid-infrared bi-directional reflectance spectroscopy of impact melt glasses and tektites.《Icarus》.2016,第278卷

审查员 叶亚楠

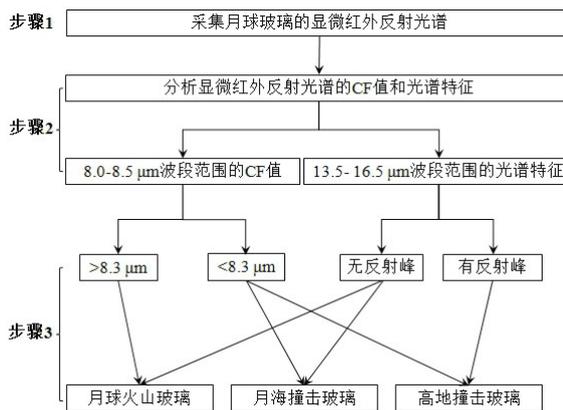
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法

(57) 摘要

本发明提供了利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法,包括以下步骤:(1)利用显微红外光谱仪采集月球玻璃的显微红外反射光谱;(2)分析显微红外反射光谱在8.0-8.5 μm波段范围内反射率最小处对应的波长值,记作CF值,分析13.5-16.5 μm波段范围的光谱特征,观察13.5-16.5 μm波段范围是否存在反射峰;(3)根据CF值和13.5-16.5 μm波段范围的光谱特征,进行月球玻璃类型的判别。本发明提供的方法能在不借助于其他辅助手段的基础上实现不同类型月球玻璃的无损、高效和低成本的正确区分,同时也为利用月球红外遥感数据反演月球玻璃提供了一种新思路。



1. 利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 利用显微红外光谱仪采集月球玻璃的显微红外反射光谱;

(2) 分析显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内反射率最小处对应的波长值,记作CF值,分析13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,观察13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围是否存在反射峰;

(3) 根据显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,进行月球玻璃类型的判别:

CF值 $>8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰的月球玻璃为月球火山玻璃;

CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰的月球玻璃为月海撞击玻璃;

CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围有反射峰的月球玻璃为高地撞击玻璃。

2. 根据权利要求1所述的利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法,其特征在于,步骤(1)在采集月球玻璃的显微红外反射光谱时,对同一月球玻璃的至少3个不同部位按照相同的采集条件进行显微红外反射光谱的采集,在各不同部位的显微红外反射光谱一致的情况下,再进行步骤(2)(3)的操作。

3. 根据权利要求2所述的利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法,其特征在于,步骤(3)在进行月球玻璃类型的判别时,根据同一月球玻璃的任一部位采集的显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征进行判别。

4. 根据权利要求1至3中任一权利要求所述的利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法,其特征在于,步骤(1)利用显微红外光谱仪采集月球玻璃的显微红外反射光谱时,采集的波数范围至少包括1450-550  $\text{cm}^{-1}$ 。

## 利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于月球玻璃分析领域,涉及一种利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法。

### 背景技术

[0002] 美国Apollo和前苏联Luna任务返回的月球样品分析发现:月球表面的微米级月壤颗粒中含有~20 %-30 %(体积比)的玻璃组分。这些玻璃的来源包括:1)通过火山喷发的形成的火山玻璃,火山玻璃是认识月球内部物质组成和月幔演化的重要研究对象;2)月球表面物质在外来天体撞击下,通过高温熔融形成的撞击玻璃,撞击玻璃又包括月海区域的月海撞击玻璃和月球高地区域的高地撞击玻璃,撞击玻璃的成分保存了撞击区域月壤的地球化学信息。如何区分月球表面不同类型的玻璃是开展月球样品分析需要解决的基本前提,也是月球遥感数据反演过程中的重要研究内容。

[0003] 由于月球玻璃具有成因来源复杂,成分多样,以及可见-近红外(VNIR)光谱相似等特点,使得正确区分不同类型的月球玻璃显得尤为困难。传统的区别途径主要包括:玻璃结构扫描电子显微镜观察、化学成分电子探针分析和磁性分析等。这些方法在分析前都需要进行样品前处理,不能开展实验室月球样品的无损分析,由于前处理过程相对复杂,因而分析效率相对低下,且玻璃结构扫描电子显微镜观察和磁性分析不能单独使用,需要与其他方法相互佐证才能对不同类型的月球玻璃实现准确的区分,而化学成分电子探针分析的成本十分高昂,很难实现推广应用。同时,现有区分方法不能应用于月球的遥感数据反演之中。鉴于区分月球玻璃的重要性及当前方法存在的局限,开发出能无损、快速、低成本实现月球表面不同类型玻璃的区分,以及可同时用于月球样品实验室分析和月球红外遥感数据解译的月球玻璃区分方法是十分迫切的。

### 发明内容

[0004] 针对现有不同类型月球玻璃区分方法存在的无法实现无损分析、效率较低、分析成本相对较高,大部分方法无法单独实现准确区分以及不能用于月球红外遥感数据解译等不足,本发明提供了一种利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法,以在不借助于其他辅助手段的基础上实现不同类型月球玻璃的无损、高效和低成本准确区分,同时也为利用月球红外遥感数据反演月球玻璃提供新的思路。

[0005] 为实现上述发明目的,本发明采用的技术方案如下:

[0006] 本发明提供的利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法,包括以下步骤:

[0007] (1)利用显微红外光谱仪采集月球玻璃的显微红外反射光谱;

[0008] (2)分析显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内反射率最小处对应的波长值,记作CF值,分析13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,观察13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围是否存在反射峰;

[0009] (3)根据显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,进行月球玻璃类型的判别:

[0010] CF值 $>8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰的月球玻璃为月球火山玻璃;

[0011] CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰的月球玻璃为月海撞击玻璃;

[0012] CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围有反射峰的月球玻璃为高地撞击玻璃。

[0013] 进一步地,为了确保后续分析的准确性,上述方法的步骤(1)在采集月球玻璃的显微红外反射光谱时,应对同一月球玻璃的至少3个不同部位按照相同的采集条件进行显微红外反射光谱的采集,在各不同部位的显微红外反射光谱一致的情况下,再进行步骤(2)(3)的操作。

[0014] 由于步骤(1)是在各不同部位的显微红外反射光谱一致的情况下,才进行步骤(2)(3)的操作,也就是说,进行到步骤(3)时,对于同一月球玻璃而言,对其不同部位采集的显微红外反射光谱都是一致的,因此,步骤(3)在进行月球玻璃类型的判别时,根据同一月球玻璃的任一部位采集的显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征进行判别即可。

[0015] 进一步地,为了在实现步骤(2)(3)中实现准确的分析,步骤(1)利用显微红外光谱仪采集月球玻璃的显微红外反射光谱时,采集的波数范围至少包括1450-550  $\text{cm}^{-1}$ ,例如可以采集1450-550  $\text{cm}^{-1}$ 波数范围的显微红外光谱,也可以采集1400-600  $\text{cm}^{-1}$ 波数范围的显微红外光谱。

[0016] 与现有技术相比,本发明提供的技术方案产生了以下有益的技术效果:

[0017] 1.本发明提供的利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法,是以月球玻璃的显微红外光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征来进行月球玻璃类型的区分的。由于显微红外反射光谱的采集过程是一种对月球玻璃样品无损和无污染的分析过程,可应用于对未抛光的月球玻璃颗粒进行分析,在分析前无需进行样品前处理,并且红外反射光谱的采集过程较快,因此,本发明提供的方法实现了对不同类型月球玻璃的无损和高效的准确区分,并且无需借助于其他手段进行辅助区分。本发明提供的方法克服了现有的玻璃结构扫描电子显微镜观察、化学成分电子探针分析和磁性分析等区分方法需要进行样品前处理,无法做到无损和无污染分析,前处理过程复杂以及,分析效率低下的不足,也解决了玻璃结构扫描电子显微镜观察和磁性分析不能单独使用的问题,同时由于显微红外光谱仪相对于电子探针分析仪的价格更低并且更常见,因此本发明还克服了现有化学成分电子探针分析存在的分析成本高昂和难以实现推广应用的不足。

[0018] 2.由于本发明提供的方法基于月球玻璃的显微红外反射光谱实现不同类型的月球玻璃的区分,因此,本发明所述方法的另一优势是可用于月球红外遥感数据的辅助解译,对于更深入地了解 and 认识月球的物质组成和演化过程等具有重要的意义,而这些都是现有区分方法无法做到的。

## 附图说明

[0019] 图1是本发明所述方法区分不同类型月球玻璃的流程图。

[0020] 图2是本发明实施例1中分析的月球玻璃在扫描电子显微镜视角的图片(PG代表火

山玻璃;MIG代表月海撞击玻璃;图中方框内的部位即为红外反射光谱测试部位)。

[0021] 图3是本发明实施例1中分析的月球玻璃在扫描电子显微镜视角的图片(MIG代表月海撞击玻璃;HIG代表高地撞击玻璃;图中方框内的部位即为红外反射光谱测试部位)。

[0022] 图4是本发明实施例中分析的月球火山玻璃(a)图)、月海撞击玻璃(b)图)和高地撞击玻璃(c)图)的显微红外反射光谱图。

[0023] 图5是典型月球火山玻璃、月海撞击玻璃和高地撞击玻璃的显微红外反射光谱数据对比图。

[0024] 图6是不同类型的月球玻璃的CF值对比图(误差为1SD)。

## 具体实施方式

[0025] 下面通过实施例对本发明所述利用显微红外光谱区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法作进一步说明。有必要指出,以下实施例只用于对本发明作进一步说明,不能理解为对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员根据上述发明内容对本发明做出一些非本质的改进和调整进行具体实施,仍属于本发明的保护范围。

[0026] 下述实施例中,所采用的显微红外光谱仪为Thermo IS50 FTIR,采用显微红外光谱仪进行测试时使用的测试条件为:扫描波数范围为 $1450\text{--}550\text{ cm}^{-1}$ ,分辨率为 $8\text{ }\mu\text{m}$ ,扫描次数为60次。

[0027] 实施例1

[0028] 本实施例中,以月球角砾岩陨石中已经采用现有技术识别的月球火山玻璃(PG)、月海撞击玻璃(MIG)和高地撞击玻璃(HIG)为例,说明本发明所述方法的获得过程,并在此基础上,详细说明本发明利用显微红外光谱来区分月球火山玻璃和撞击玻璃的方法。步骤如下:

[0029] 1. 本发明所述方法的获得过程

[0030] (1)①利用显微红外光谱仪对月球角砾岩陨石中已经采用现有技术识别的月球火山玻璃(PG)的13个不同部位(各部位依次编号为PG-1, PG-2, ..., PG-13)各进行一次显微红外反射光谱测试,采集到13张显微红外反射光谱,如图2和图4的(a)图所示,由图4的(a)图可知,月球火山玻璃的各不同部位的显微红外光谱一致。

[0031] ②利用显微红外光谱仪对月球角砾岩陨石中已经采用现有技术识别的月海撞击玻璃(MIG)的10个不同部位(各部位依次编号为MIG-1, MIG-2, ..., MIG-10)各进行一次显微红外反射光谱测试,采集到10张显微红外反射光谱,展示于图2和图4的(b)图中,由图4的(b)图可知,月海撞击玻璃的各不同部位的显微红外光谱一致。

[0032] ③利用显微红外光谱仪对月球角砾岩陨石中已经采用现有技术识别的高地撞击玻璃(HIG)的8个不同部位(各部位依次编号为HG-1, HIG-2, ..., HIG-8)各进行一次显微红外反射光谱测试,采集到8张显微红外反射光谱,如图2和图4的(c)图所示,由图4的(c)图可知,月海撞击玻璃的各不同部位的显微红外光谱一致。

[0033] (2)分析显微红外反射光谱在 $8.0\text{--}8.5\text{ }\mu\text{m}$ 波段范围内反射率最小处对应的波长值,记作CF值,分析 $13.5\text{--}16.5\text{ }\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,观察 $13.5\text{--}16.5\text{ }\mu\text{m}$ 波段范围是否存在反射峰。

[0034] 图5示意了三种不同类型月球玻璃的显微红外反射光谱,根据图5进行统计和分

析:

[0035] 1) 分析了显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值,结果发现月球火山玻璃的CF值均 $>8.3 \mu\text{m}$ ,月海撞击玻璃和高地撞击玻璃的CF值均 $<8.3 \mu\text{m}$ ,如图6所示;

[0036] 2) 分析了显微红外光谱在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的反射光谱特征,即在该波段范围是否存在反射峰,结果发现月球火山玻璃和月海撞击玻璃在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰,高地撞击玻璃在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围具有较强的反射峰。

[0037] (3) 根据步骤(2)的结果,说明根据月球玻璃的显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,可行月球玻璃类型的判别:

[0038] CF值 $>8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰的月球玻璃为月球火山玻璃;

[0039] CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰的月球玻璃为月海撞击玻璃;

[0040] CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围有反射峰的月球玻璃为高地撞击玻璃。

[0041] 2. 利用显微红外光谱来区分月球火山玻璃和撞击玻璃的具体方法

[0042] 在以上内容的基础之上,以下说明本发明利用显微红外光谱来区分月球火山玻璃和撞击玻璃的具体步骤,区分流程如图1所示。

[0043] (1) 利用显微红外光谱仪采集月球玻璃在1450-550  $\text{cm}^{-1}$ 范围内的显微红外反射光谱,通常含月球玻璃的样品是包含月球玻璃成分在内的复杂混合物,因此在分析时首先借助显微红外光谱仪的显微功能从扫描电子显微镜视角找到月球玻璃区域,之后再行红外反射光谱的采集,在采集月球玻璃的显微红外反射光谱时,为了确保后续分析的准确性,最好是对同一月球玻璃的至少3个不同部位按照相同的采集条件进行显微红外反射光谱的采集,在各不同部位的显微红外反射光谱一致的情况下,再进行步骤(2)(3)的操作。

[0044] (2) 分析显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内反射率最小处对应的波长值,记作CF值,分析13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,观察13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围是否存在反射峰。

[0045] (3) 根据显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,进行月球玻璃类型的判别:

[0046] CF值 $>8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰的月球玻璃为月球火山玻璃;

[0047] CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围无反射峰的月球玻璃为月海撞击玻璃;

[0048] CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ 且在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围有反射峰的月球玻璃为高地撞击玻璃;

[0049] 由于步骤(1)是在各不同部位的显微红外反射光谱一致的情况下,才进行步骤(2)(3)的操作,也就是说,进行到步骤(3)时,对于同一月球玻璃而言,对其不同部位采集的显微红外反射光谱都是一致的,因此,步骤(3)在进行月球玻璃类型的判别时,根据同一月球玻璃的任一部位采集的显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征进行判别即可。

[0050] 具体地,以下以月球角砾岩陨石中某一未知类型的月球玻璃的类型进行区别,步骤如下:

[0051] (1) 利用显微红外光谱仪采集该未知类型的月球玻璃在1450-550  $\text{cm}^{-1}$ 范围内的显微红外反射光谱,在采集月球玻璃的显微红外反射光谱时,对该未知类型的月球玻璃的5个不同部位按照相同的采集条件进行显微红外反射光谱的采集,得到5张显微红外反射光谱,对这5张显微红外反射光谱进行比较,结果发现各不同部位的显微红外反射光谱一致。继续

步骤(2)(3)的操作。

[0052] (2)分析步骤(1)得到的5张显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值,结果发现CF值 $<8.3 \mu\text{m}$ ,分析步骤(1)得到的5张显微红外反射光谱在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,结果发现在13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围均无反射峰。

[0053] (3)根据显微红外反射光谱在8.0-8.5  $\mu\text{m}$ 波段范围内的CF值和13.5-16.5  $\mu\text{m}$ 波段范围的光谱特征,可判断该未知类型的月球玻璃的类型为月海撞击玻璃。

[0054] 通过扫描电子显微镜观察和化学成分电子探针分析对该未知类型的月球玻璃的类型进行判断,结果证实该未知类型的月球玻璃的类型的确为月海撞击玻璃。

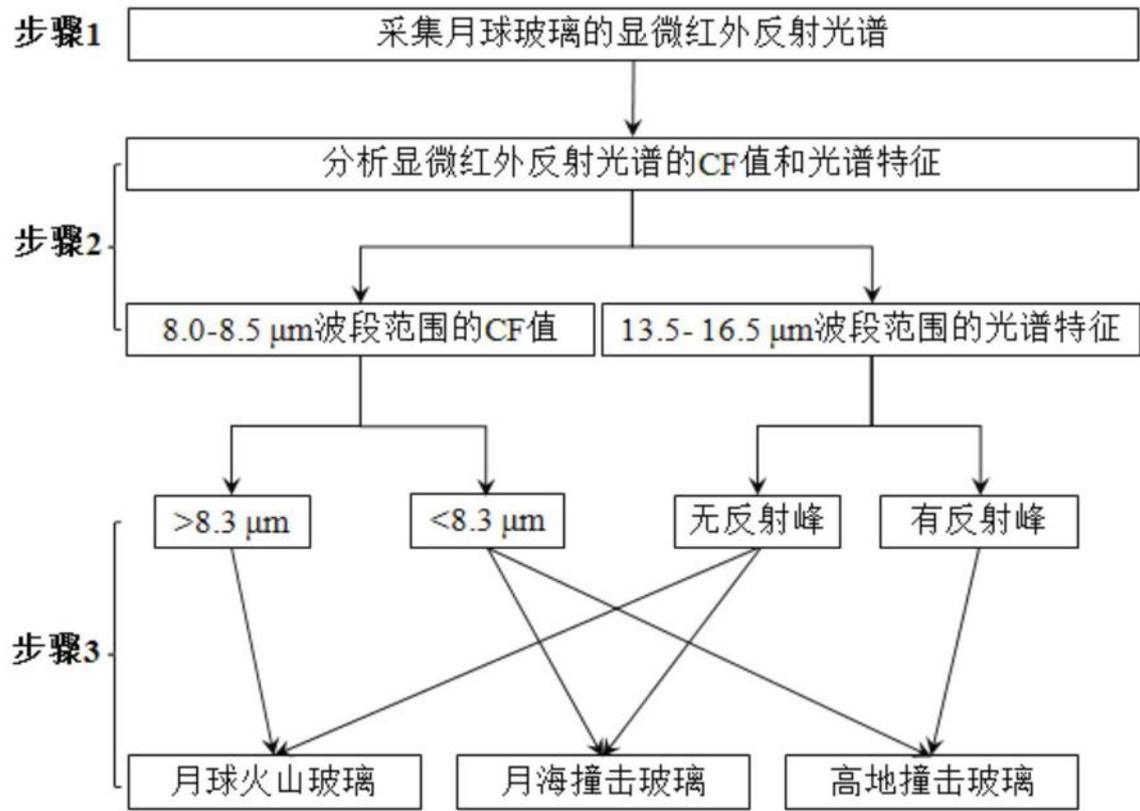


图1

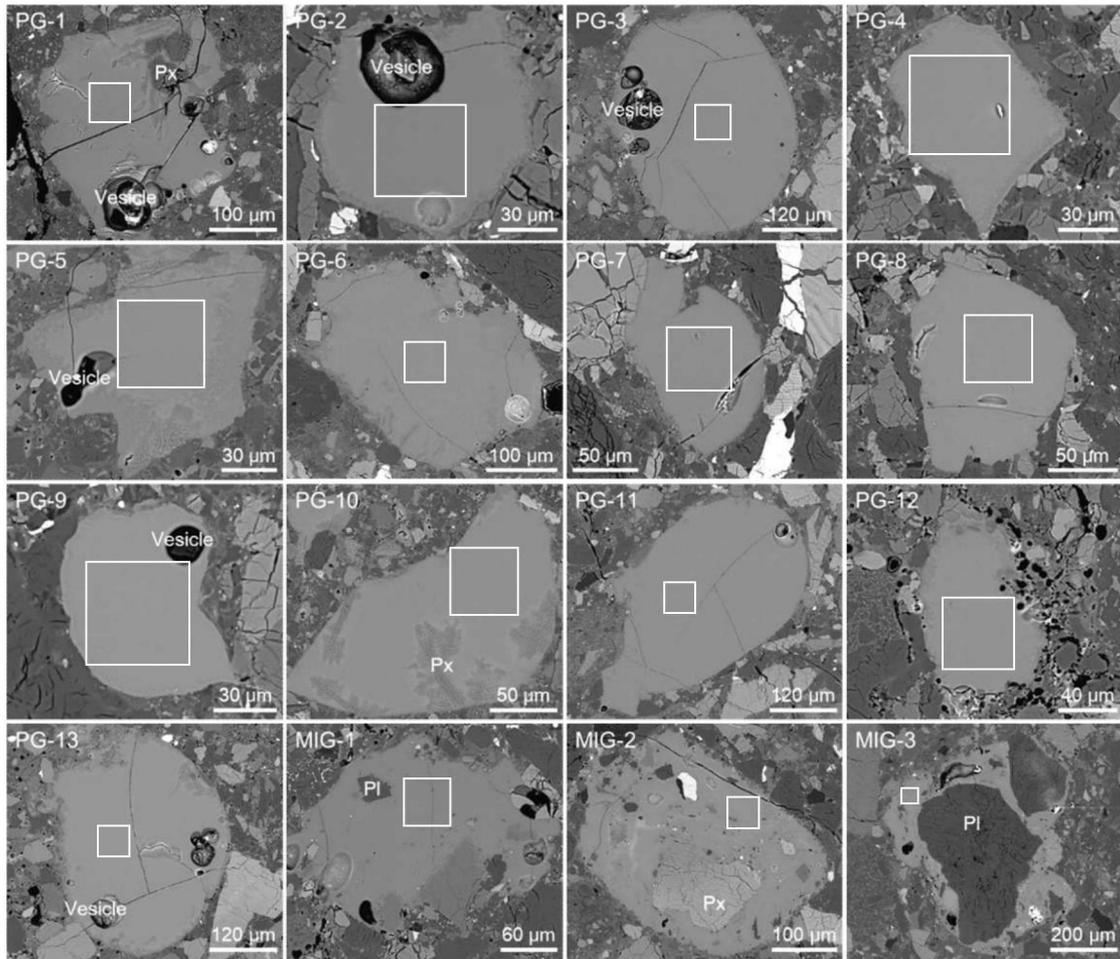


图2

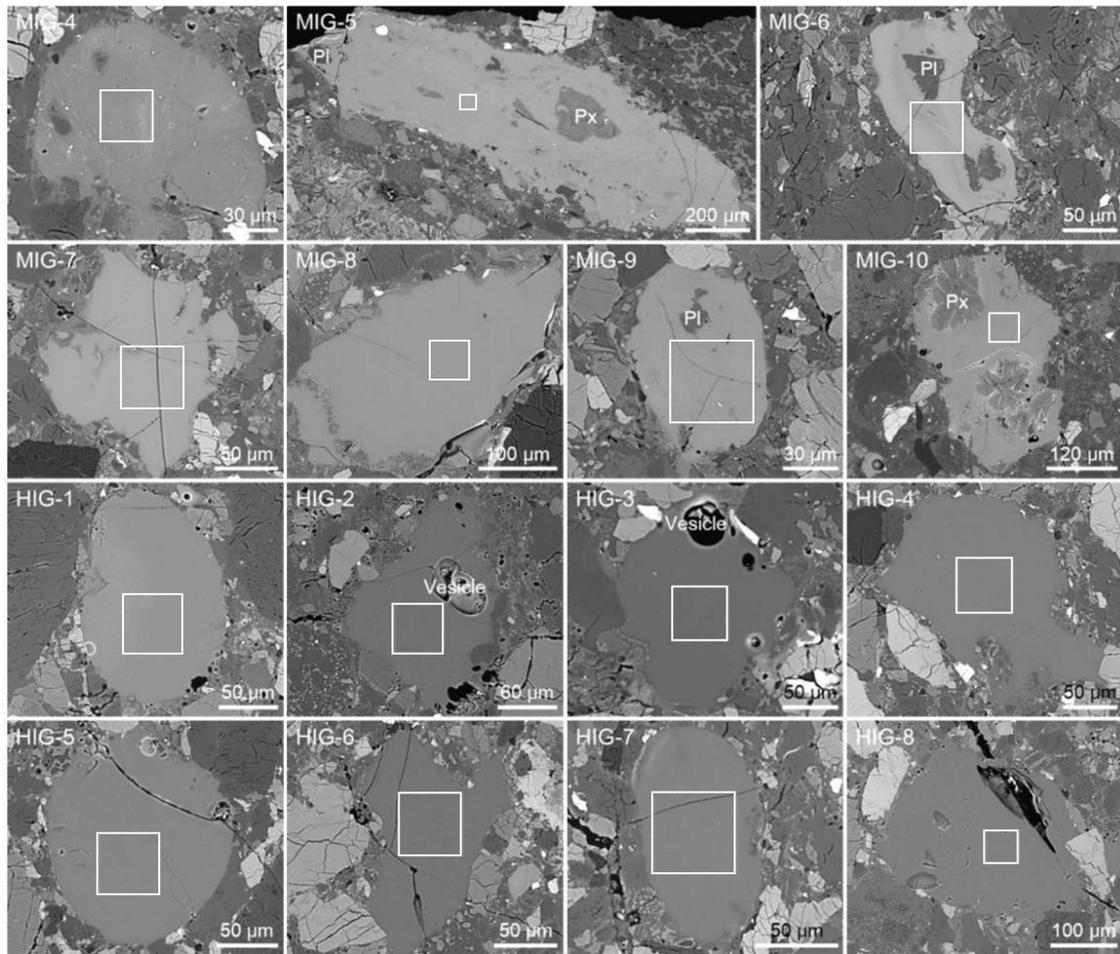


图3

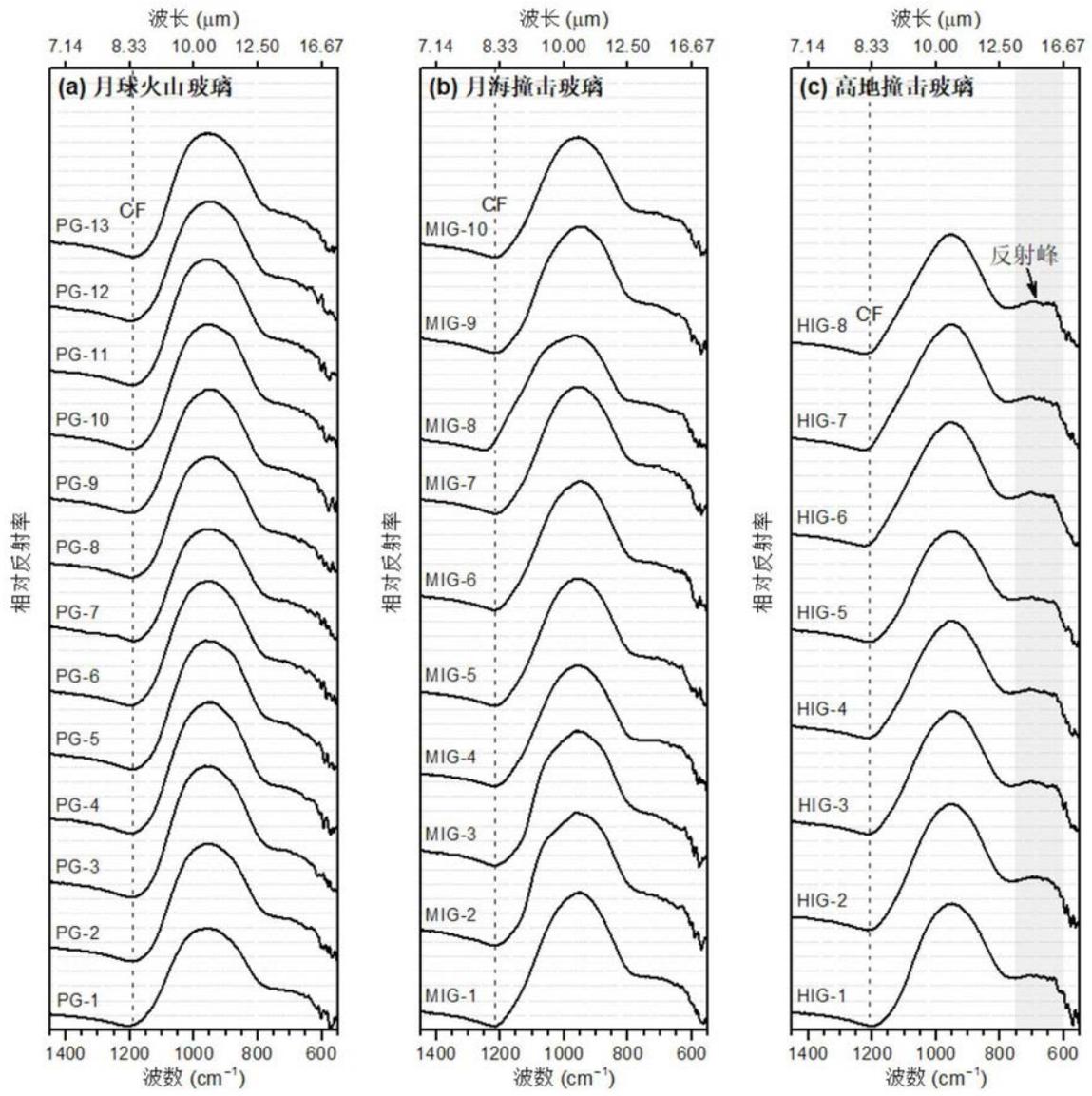


图4

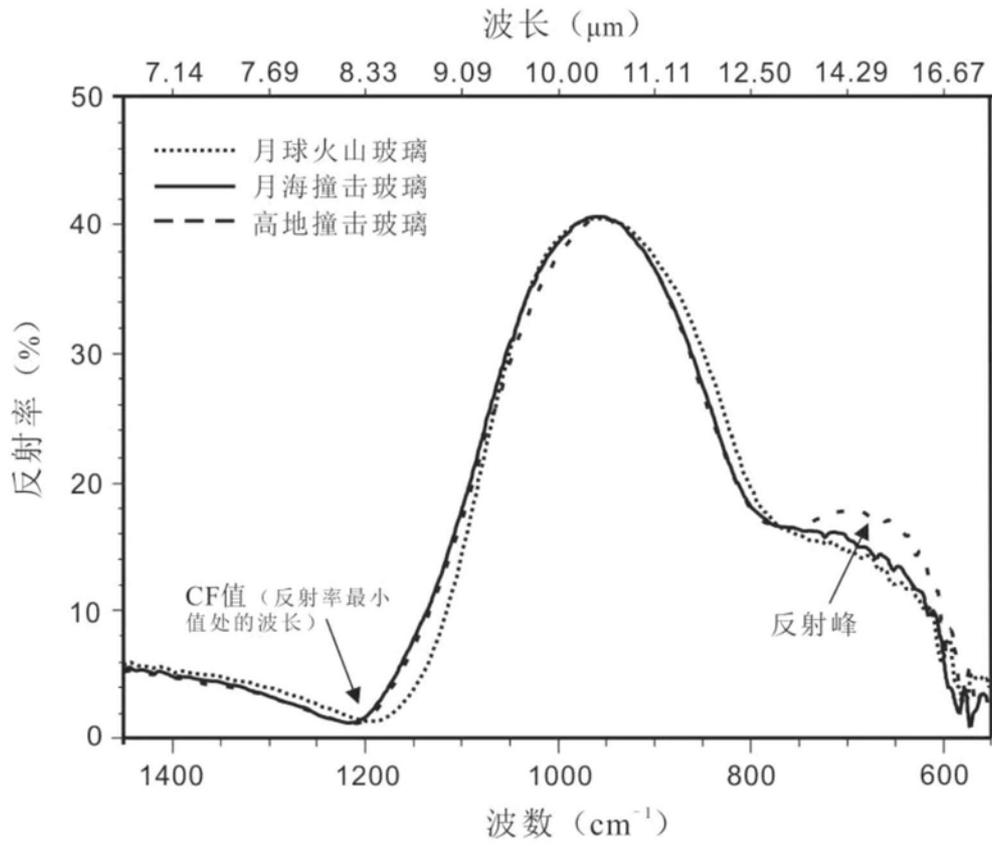


图5

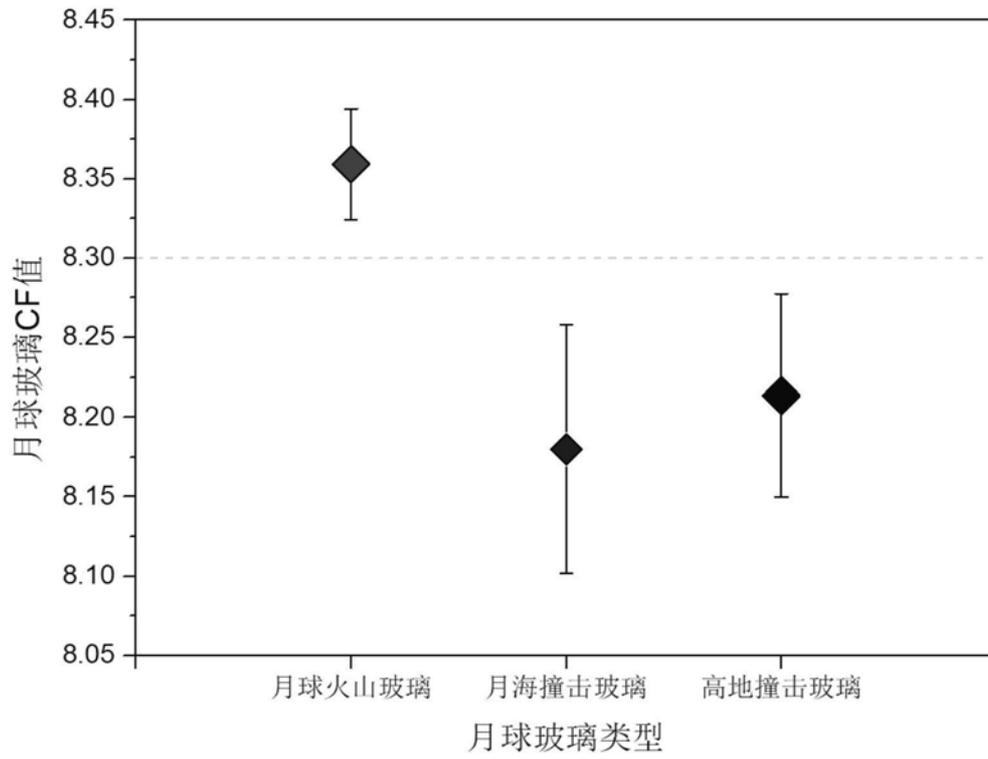


图6