扫描隧道显微镜对黄铁矿表面微形貌的研究及成矿动力学意义

叶 荣④ 赵伦山④ 马喆生④ 沈镛立④ 赵小平㈣
(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002; ④中国地质大学, 北京 100083; ㈣江苏理工大学, 镇江 212000)

摘要 应用扫描隧道显微镜观测不同自然产状和人工合成的黄铁矿晶面, 发现了豆粒状、藕节状生长丘, 及平滑生长台阶和螺旋生长台阶等一组晶体表面微形貌结构现象. 黄铁矿生长表面的微形貌特征与其形成和合成的热力学条件、动力学环境存在一定关系, 因此认为具有成因意义.

关键词 扫描隧道显微镜 黄铁矿表面微形貌 成矿作用动力学

扫描隧道显微镜(Scanning tunneling microscope, 简称STM), 是1982年由G. Binning和H. Rohrer发明研制并投入使用的. STM具有原子级分辨率. 工作原理见参考文献[1, 2]. STM问世以来广泛应用于化学、矿物学、生命科学、材料科学和微电子科学等领域的研究[2]. 自80年代末开始应用于矿物生长表面微形貌研究[3~5]. 但前人的工作多侧重于根据微形貌结构推导晶体结构及其与材料性质的关系. 本次实验用STM观察了热液矿床多期产出的黄铁矿以及人工合成的黄铁矿生长晶面的微形貌结构, 发现了黄铁矿晶面上豆粒状、藕节状生长丘和螺旋状生长台阶等一组矿物晶面结晶微形貌现象. 认为矿物微形貌结构具有成因意义, 包含着多方面的成矿热力学和动力学信息.

1 实验和样品

STM装置为CSTM-9000型. Pt-Ir合金针尖用机械剪切法制备. 实验在室温和空气环境中进行, 采用恒流模式. 扫描条件隧道电流和偏压标于各图象照片中. 测量的数据采集、分析和图象处理由计算机完成. 实验样品取自山西义兴寨和胶东两地金矿床以及人工合成黄铁矿, 样品观测在黄铁矿晶体{100}晶面上进行.

2 结果与讨论

图版iv-1~5是本次实验所观测发现的一组黄铁矿表面微形貌图, 黄铁矿晶面微形貌结构表现为一些有规律的突起和凹陷. 根据结晶学和矿物学方法, 对实验所获得的黄铁矿微形貌分类描述如下:

(1) 豆粒状生长丘: 生长丘似豆状(图版iv-1), 豆粒浑圆, 长轴25~40nm, 短轴15~25 nm, 长短轴之比近于2∶1, 大小均匀, 表面光滑. 具有此形貌结构的黄铁矿, 产自义兴寨金矿床成矿构造脆性破裂阶段致密块状黄铁矿矿石样品.

(2) 波状生长丘: 生长丘体不对称(图版iv-2), 大小不均匀, 丘体顶部拱起, 丘与丘之间是凹陷洼坑或者凹陷槽. 在剖面线上可观察到凹陷洼地深浅不一, 凹陷谷底宽窄不同, 凹陷谷壁不对称. 晶面上具有波状生长丘形貌的黄铁矿, 产自义兴寨金矿床成矿构造脆-韧性扩张阶段黄铁矿矿石样品.

(3) 藕节状生长丘: 丘体呈节状椭圆形或长藕节状(图版iv-3), 丘长59~121 nm, 宽31~40 nm, 高11.9~33.8 nm, 丘体光滑. 藕节状生长丘微形貌结构的黄铁矿, 取自胶东玲珑金矿

床成矿构造脆-韧性扩张阶段黄铁矿矿石样品.

(4) 丘状螺旋生长台阶: 丘连成台阶(图版 iv-4), 台阶呈弧形或者多角螺线形, 台阶宽 35 nm, 高 1.9 nm. 螺纹有多组, 各组生长中心不同. 此黄铁矿样品产自义兴寨金矿床成矿构造脆-韧性扩张阶段形成的块状黄铁矿矿石.

(5) 平滑生长台阶: 黄铁矿晶面生长台阶光滑平整(图版 iv-5), 台阶宽 39.6 nm. 为人工合成黄铁矿的表面微形貌结构.

矿物晶面微形貌标型是成因矿物学研究已有的认识[6], 矿物微形貌及其形成机制由以下几个结晶环境热力学和动力学条件控制: 温度及降温梯度; ④压力及降压梯度; ㈣过饱和度; 结晶空间的自由度; 物质补给强度及方向性; 溶液流动的动力学条件; ⑧晶体生长速率.

应用 STM 在黄铁矿晶面上观察到的各类型单体密集生长的(图版 iv-1)或者相连接的生长丘(图版 iv-2), 表明黄铁矿晶面的生长是多中心(晶核)同时长大并相连的过程[7]. 在义兴寨和胶东两矿床黄铁矿晶面上均观察到生长丘, 其特征受成矿条件制约. 按照晶体生长理论, 晶体结晶成核率、临界核大小与结晶溶液的温度梯度, 过饱和度等条件有关. 根据本实验所在专题已获得的上述两矿区成矿条件研究, 多中心密集豆状生长丘为成矿构造脆性破裂阶段的生长现象[8,9], 反映成矿溶液快速上侵进入容矿裂隙空间, 体系降温降压梯度大, 成矿热液强烈过饱和, 多晶核快速生长, 形成均匀密集豆状生长丘及其连生结构微形貌. 成矿构造韧-脆性扩张阶段[8,9], 在相对小降温降压梯度, 低过饱和度条件下, 成矿物质供给缓慢, 生长丘生长速度缓慢, 相互疏离, 形成波状、粗大光滑的藕节状生长丘(图版 iv-3). 由于成矿流体流动补给, 生长丘在各方向上不等速生长, 迎着补给方向的, 生长层推进速度快, 背着补给方向的, 生长层推进速度慢, 最终长成不对称生长丘, 丘体偏向流体补给方向. 螺旋状生长台阶, 也形成于成矿构造脆-韧性扩张阶段, 成矿溶液过饱和度低.

应用现代高分辨率 STM 可以观测到矿物晶面生长微形貌结构, 这些结构包含丰富的矿物晶体生长机制和形成环境的热力学、动力学条件信息, 具有成因意义. 本次实验在观测这些信息及其提取和解释上进行了一些探索, 但由于观察的现象有限, 一些问题尚待深入研究.

致谢 本文在实验和图象处理中得到施倪承、岑况和李胜荣教授的帮助. 本工作为国家自然科学基金(批准号: 49573187 和 49773192)资助项目, 一并致谢.

参 考 文 献

1 Hansma P K, Tersoff J. Scanning tunneling microscopy. J Apple Phys, 1987, 61(2): R1~ R23
2 白春礼编著. 扫描隧道显微术及其应用. 上海: 上海科技出版社, 1992
3 Eggleston C M, Hochella M F Jr. Scanning tunneling microscopy of sulfide surface. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54: 1511~ 1517
4 Eggleston C M, hochella M F Jr. Scanning tunneling microscopy of pyrite {100} surface structure and step reconstruction. American Mineralogist, 1992, 77: 221~ 224
5 廖立兵, 马喆生, 施倪承, 等. 黄铁矿表面的扫描隧道显微镜研究. 地球科学 ——中国地质大学学报, 1994, 1(1): 39~ 42
6 陈光远, 孙岱生, 殷辉安. 成因矿物学与找矿矿物学. 重庆: 重庆出版社, 1987
7 张克从, 张乐鸿. 晶体生长. 北京: 科学出版社, 1981. 77~ 281
8 赵伦山, 吴悦斌, 叶 荣, 等. 胶东金矿成矿构造地球化学动力学研究. 现代地质 ——中国地质大学研究生院学报, 1996, 6(2): 213~ 220
9 叶 荣, 赵伦山, 沈镛立, 等. 义兴寨金矿成矿作用地质地球化学动力学研究. 现代地质 ——中国地质大学研究生院学报, 1997, 11(1): 58~ 65

(1998-07-15 收稿, 1999_03_08 收修改稿)