莱河矿的晶格象

李方华　刘　维　　孔祐华　傅平秋
（中国科学院物理研究所）　（中国科学院地球化学研究所）

一、引　言

莱河矿是含铁的正硅酸盐矿物，化学式为 $(Fe^{3+}_{1.00}Fe^{2+}_{0.58}Mg^{2+}_{0.03})\cdot[Si_{0.96}O_4]$. 曾用X射线等方法进行过其晶体结构和矿物学研究[1,2]. 已确定出该矿物属单斜晶系，空间群为 $P2\,1/b$，$a=4.812$ Å，$b=10.211$ Å，$c=5.813$ Å，$\alpha=90.87°$. 文献[2]的作者发现该矿物外森堡图中的 hko 和 okl 衍射斑点分别沿 $\boldsymbol{a}^*$ 和 $\boldsymbol{c}^*$ 方向有规律地劈裂成双点，双点的间距与 k 值大小有线性关系[2]. 他们从这一现象出发，提出了莱河矿晶体内存在不规则周期晶畴双晶的设想，并根据 ool 衍射斑点沿 $\boldsymbol{c}^*$ 方向伸长和出现附属斑点的现象认为晶体沿 $\boldsymbol{c}$ 方向的周期有变化.

为了对莱河矿的晶体结构作进一步的研究，并考虑到晶格象是直接观察晶体结构中局部区域的不均匀性和晶畴结构的有效工具，我们用透射电子显微镜观察了莱河矿的选区衍射和晶格象.

二、实验方法

用玛瑙乳钵把莱河矿的小颗粒研成碎末，放入乙醇中悬浮分散，取一滴液体滴在有微栅支持膜的铜网上，干后置于透射电子显微镜中观察晶体的选区电子衍射花样，并用对称照明技术，令电子束透过微栅孔上碎晶片楔状边沿的薄区域而拍摄晶体的晶格条纹象. 微栅上蒸发了一层金，用以校准电子衍射相机长度. 在进行选区电子衍射和晶格象观察之前，先借X射线微区能谱分析监视被观察试样的组分. 除作X射线能谱时电子的加速电压为80 kV外，其余情形均为100kV.

三、结果和讨论

在电子显微镜下发现莱河矿的三个主要晶带中，[001]晶带衍射花样出现的机会最多，[010]次之，而未见满意的[100]衍射花样. 从电子衍射花样上测得晶胞参数 $a=4.82$ Å，$b=10.21$ Å，$c=5.82$ Å，$\beta=r=90°$. 除因未得到满意的[100]衍射花样，而未能较准确地测出 α 角的数值外，其余晶胞参数均与X射线衍射分析结果相一致[2].

观察了大量薄片状晶体的电子衍射花样后发现，[001]衍射花样上的斑点总是有规则地分布在以 $\boldsymbol{a}^*$ 和 $\boldsymbol{b}^*$ 组成的网格结点上，衍射点基本呈圆形(图1). 可是，$[uvo]$ 衍射花样中的衍射斑点则总是沿 $\boldsymbol{c}^*$ 方向伸长，甚至与邻近斑点连成直线(图2、3). 在[310]衍射花样上，不仅有平行于 $\boldsymbol{c}^*$ 方向的衍射直线，而且在衍射直线上有排列规则的附加衍射斑点，它们与主衍射

本文1980年12月26日收到.

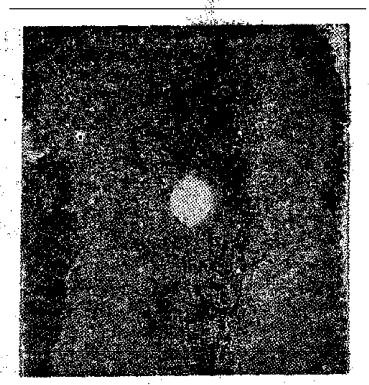


图 1　[001]电子衍射花样

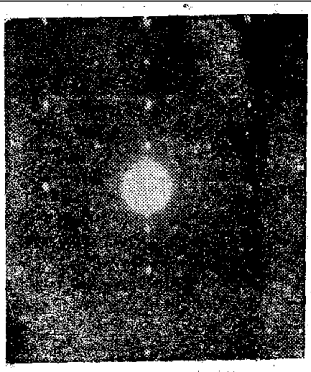


图 2　[010]电子衍射花样

衍射斑点均沿 **c*** 方向伸长，并有平行于 **c*** 的衍射直线

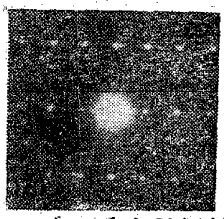


图 3a　[310]电子衍射花样

衍射斑点均沿 **c*** 方向伸长，并有平行于 **c*** 的衍射直线

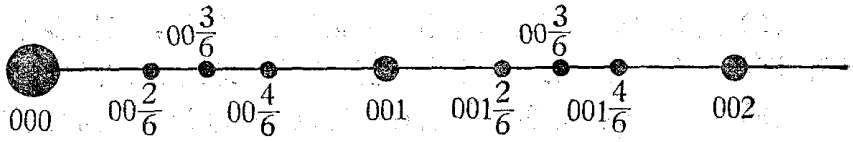


图 3b　[310]电子衍射花样中的 *ool* 衍射斑点

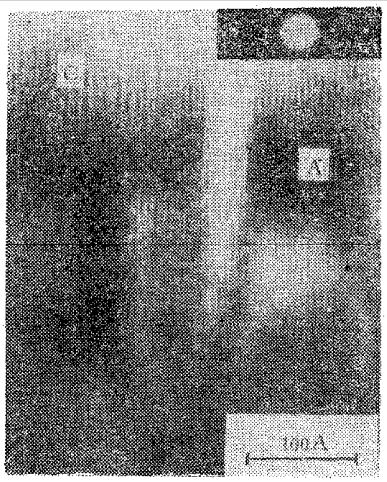


图 4　入射电子束垂直于 **c*** 的晶格象

右上角为相应的衍射花样，其中有一条弱的衍射线贯穿 *ool* 衍射斑点，但未见超结构衍射．晶格象中区域 *A* 的条纹间距等于 d_{001}；区域 *B* 的条纹间距亦等于 d_{001}，但其周期等于 $3d_{001}$；区域 *C* 的条纹间距等于 $3/2d_{001}$

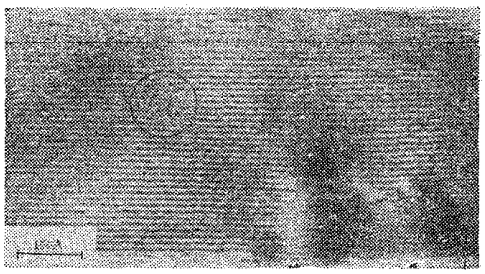


图 5　入射电子束平行于 **c** 的晶格象

条纹多处弯曲，由刃位错(圆圈内)或反相畴(右下部)引起

斑点的距离为 $\frac{n}{6}c^*$，n 为等于1至5的整数，故附加衍射斑点应属于晶体的超结构衍射(图 3).

图 4 是入射电子束垂直于 **c*** 时的晶格条纹象，右上角为相应的衍射花样，其中有一条弱的衍射线条贯穿 *ool* 衍射斑点，但未见超结构衍射．晶格象中大部分区域(如区域 *A*)的条纹间距等于晶面间距 d_{001}，而且条纹衬度均匀．有少数区域(如区域 *B*)条纹间距虽仍等于 d_{001}，但条纹衬度不同，且可观察到条纹周期等于条纹间距三倍的情况，即条纹周期等于 $3d_{001}$．这反映了晶体内局部地区沿 **c** 方向的周期长大了两倍而形成了超结构．还有一些区域(如区域 *C*)

条纹间距比 d_{001} 大了一半，即等于 $3/2d_{001}$，说明晶体内有微晶畴，其 **c** 方向的周期比正常情形大一半．此外，还可见条纹宽窄不匀和条纹弯曲现象，反映了晶体沿 **c** 方向堆垛的无序性．

在许多情形下，入射电子束平行于 **c** 时拍摄的晶格象很均匀，条纹之间严格平行，其间距等于 d_{010}．但是，晶格条纹呈折线状的情形也屡见不鲜．例如在图 5 中，粗略地看，条纹多处呈角度不大的折线．仔细观察可以发现，条纹的曲折或由刃位错引起（见圆圈内区域），或由反相畴而引起（见图右下部）．

根据以上实验结果我们认为：

（1）莱河矿晶体中存在大量的位错和堆垛层错，存在许多微晶畴．有些微晶畴是由于晶体结构沿 **c** 方向堆垛的有序化而形成的，它们沿 **c** 方向的周期是原来周期的三倍或六倍．另一些微晶畴沿 **c** 方向的周期是原来周期的一倍半，这种周期上的变化有可能是由于局部区域的组分发生变化，当然也不排斥单纯结构变化的可能性．平移矢量为 $1/2\boldsymbol{b}$ 的反相畴则是莱河矿晶体中存在的另一种晶畴．

（2）图 3 左下角衍射花样中并未见超结构衍射，但相应的晶格象中却见有超结构的微晶畴．因此，图 3a 给出的 [310] 电子衍射花样说明莱河矿晶体中存在有相当大的超结构区．

（3）如果文献 [2] 的作者所提出的以 (001) 为结合面的不规则周期晶畴双晶的设想确属事实，则当入射电子束平行于 **a** 时，晶格条纹应呈有规律的折线，折线的夹角应等于 $2\alpha-\pi = 1.74°$．可是，由于莱河矿晶体沿 (100) 面解理极不发育，故未能观察到 (100) 晶格条纹象．

致谢：本工作蒙北京市理化分析测试中心电镜组大力支持和帮助，特此致谢．

参 考 文 献

[1] 中国科学院贵阳地球化学研究所、辽宁冶金地质勘探公司 101 地质队莱河矿研究组，地球化学，1976，2：95—103．
[2] 傅平秋、孔祐华、张流，地球化学，1979，2：101—119．