

下地幔矿物及生成条件

据Catherine McCammon等报道,在巴西Sẽ o Luiz河发现的金刚石中含有一些矿物包裹体,其中有(Mg,Fe,Al)(Si,Al)O₃, (Mg,Fe)O, CaSiO₃和四面体的铁铝-镁铝榴石混合物(tetragonal almandine-pyrophe phase, 下简称为TAPP),通过研究其氧化状态,就能了解一些下地幔的信息。

含有包裹体的金刚石来自下地幔。通过对其内部包裹体周围的微裂隙检查,包裹体内部矿物压力测定及同位素研究,可以证明金刚石在后来的地质作用中未改变其化学成分。包裹体中的(Mg,Al)(Si,Al)O₃在下地幔可能以钙钛矿的形式存在,而TAPP则是其原始相。选用直径大于60 μ m而且和金刚石接触处没有明显微裂隙的包裹体,用穆斯堡尔谱(Mössbauer spectroscopy)进行了铁的氧化状态(Fe³⁺/Σ Fe)的分析。多数的(Mg,Fe)O样品中的Fe³⁺的相对含量特别低,仅有一个样品的Fe³⁺稍高一点。原因是该样品中钠的含量也较高,在类质同象代替中Na⁺缺少的电荷由Fe³⁺做了补偿,形成较稳定的结构。这种Fe³⁺在(Mg,Fe)O中含量低的结论符合高压实验中随着压力的增大Fe³⁺含量降低的事实。可能的原因是在Fe₃O₄—MgFe₂O₄体系中发生了相转变,Fe³⁺在高密度的(Mg,Fe)Fe₂O₄中的稳定性大大增加,处在下地幔温压条件下的(Mg,Fe)O中的Fe³⁺含量相应减少是正常现象,与氧逸度的高低无关。

相反,在(Mg,Fe,Al)(Si,Al)O₃和TAPP包裹体中Fe³⁺的含量却特别高。前者类似于硅酸盐玻璃,具非晶质结构,和来自下地幔的钙钛矿的原始产物一致。

硅酸盐中大量的Fe³⁺符合钙钛矿中Al³⁺能使Fe³⁺保持稳定的理论,发生的类质同象代替式为Mg²⁺+Si⁴⁺→Al³⁺+Fe³⁺,能使电荷在晶体中保持平衡。虽然TAPP结构比钙钛矿结晶复杂得多,但在电荷补偿方面却具有相同性。

上述这种(Mg,Fe)O中的低Fe³⁺和硅酸盐相中的高Fe³⁺含量在下地幔的生成条件下是可以统一起来的。如果(Mg,Fe)O形成在较低的压力下,从FeO—MgO—Fe₂O₃体系的相关系中可以推断出氧逸度只有接近Fe的平衡条件才能得到较低的Fe³⁺浓度,而如此低的氧逸度只能在硅酸盐中产生低的Fe³⁺/Σ Fe比值。只有在下地幔的高压情况下,Fe³⁺被稳定在钙钛矿中,才能得到硅酸盐中的Fe³⁺/Σ Fe的高值。

Fe/Mg的分配系数符合该包体形成于下地幔的温压条件。高压实验证明优先进入(Mg,Fe)O—(Mg,Fe,Al)(Si,Al)O₃体系中的(Mg,Fe)O中的Fe在有Al存在的情况下明显地减少。通过电子探针分析数据计算出来的Fe-Mg分配系数和上述结果相同,Fe随着Al的增加而减少的量等同于Fe²⁺氧化成Fe³⁺的估计值。同时,这个结论也符合用镁铝榴石成分所做的高压实验。

高压实验表明在氧化条件下,(Mg,Fe,Al)(Si,Al)O₃钙钛矿中的Fe³⁺/Σ Fe的比值较高。如果氧逸度降低,还可以通过改变成分如Fe²⁺→Fe³⁺+Fe⁰的不均匀反应或是在晶体中形成有意义的晶体缺陷而继续保持较高的值。而在(Mg,Fe)O中的Fe³⁺/Σ Fe不管氧逸度是多少都能保持比较低的值,是因为Fe³⁺被固定在高压相的(Mg,Fe)Fe₂O₄中了,该相是(Mg,Fe)O的出溶体。这就暗示如果(Mg,Fe)O平衡在高氧逸度的环境时就应该有一个(Mg,Fe)Fe₂O₄的出溶物。这在Sẽ o Luiz金刚石形成的下地幔环境中已得到证实。虽然,有些样品还有待于进一步研究,但目前根据(Mg,Fe)Fe₂O₄的出溶体存在于(Mg,Fe)O中及在(Mg,Fe,Al)(Si,Al)O₃中缺少金属Fe或有意义的晶体缺陷等事实可以推断形成包裹体的下地幔的氧逸度比使Fe保持平衡的氧逸度值高得多。

刘新秒编译