

Wadsleyite 中の Si の自己拡散

Si self-diffusion in wadsleyite

下宿 彰[1], # 久保 友明[1], 大谷 栄治[2], 坂本 尚義[3]

Akira Shimajuku[1], # Tomoaki Kubo[2], Eiji Ohtani[3], Hisayoshi Yurimoto[4]

[1] 東北大学・理, [2] 東北大学・理、地球物質科学, [3] 東工大・院理工・地惑

[1] Faculty of Science, Tohoku Univ., [2] Tohoku Univ., [3] Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku University, [4] Earth & Planet. Sci., TiTech

1. はじめに

オリビンの高圧相である wadsleyite は、地球内部のマントル遷移層における主要構成鉱物である。オリビンなどの珪酸塩鉱物では、Si の拡散速度が最も遅いといわれている (Houlier et al., 1988; Dohmen et al., 2002)。一般に最も拡散速度の遅い原子が結晶の変形を律速していると考えられている。そのため wadsleyite 中の Si の拡散速度を調べることはマントル遷移層のレオロジーやスラブのダイナミクスを議論する上で重要である。

本研究では wadsleyite 中の Si 自己拡散速度を測定するために高温高圧実験を行った。その結果からマントル遷移層の変形機構と沈み込むスラブのダイナミクスに関する考察を行う。

2. 実験方法

高圧実験は、東北大学理学部設置の 3000 ton 川井型高圧発生装置 (MAP-3000) を用いた。5.0 mm の TEL (Truncated Edge Length) をもつ WC 製のアンビル 8 個を二段目のアンビルとして用いた。圧力媒体にジルコニア、ガスケットにパイロフィライトを用いた。圧力は予め作成した圧力校正曲線に基づきプレス荷重から推定した。ヒーターにはランタンクロマイトを用い、温度測定には W97%Re3%-W75%Re25%熱電対を使用した。

まず Forsterite 粉末から 18.5 GPa, 1973K で出発物質となる wadsleyite 多結晶体を合成した。次に、合成した wadsleyite の表面を 0.25 μm のダイヤモンドペーストで研磨し、研磨面に拡散源となる ^{29}Si に富んだ SiO_2 を蒸着した。そして 18 GPa, 1473-1873K の条件下で 1-52 時間アニールを行い ^{29}Si の自己拡散実験を行った。差応力の発生を防ぐためにサンプル媒体に NaCl を用いた。表面の平坦さを保つために研磨面に Au 箔を置いた。蒸着膜である SiO_2 と wadsleyite の境界で MgSiO_3 が生成されないように wadsleyite と stishovite の安定領域でアニールを行った。拡散実験後、東京工業大学理学部の二次イオン質量分析計 (SIMS) による Depth profile 法を用いて ^{29}Si の拡散プロファイルを作成し、拡散係数を算出した。

3. 結果と考察

出発物質の wadsleyite 多結晶体について、フーリエ変換型赤外分光光度計 (FTIR) を用いて含水量を調べたところ、それぞれの試料に 0.03-0.04 wt.% 程度の H_2O が含まれていることがわかった。含水量の見積もりには Paterson (1982) による較正式を用いた。また偏光顕微鏡を用いて粒径を調べた結果、 $\sim 20 \mu\text{m}$ の粒径であった。

得られた拡散プロファイルは粒内拡散と粒界拡散が寄与している二つの領域からなる。粒内拡散が寄与している領域について薄膜状拡散源に対する解法 (Crank, 1975) をもちいて粒内拡散係数 (D_v) を求めた。粒界拡散が寄与している領域については LeClaire (1963) による解法を用いて粒界拡散係数 (D_{gb}) を求めた。その結果アレニウスの温度依存性は、 $D_v = 2.45 \times 10^{-12} [\text{m}^2/\text{s}] \exp(-257 [\text{kJ}/\text{mol}]/RT)$, $D_{gb} = 1.56 \times 10^{-18} [\text{m}^3/\text{s}] \exp(-236 [\text{kJ}/\text{mol}]/RT)$ と求められた。Wadsleyite 中の Si の拡散速度は、Mg-Fe の相互拡散速度よりも 6 桁程度遅い。また、Dohmen et al. (2002) によるオリビン中の Si の拡散速度よりも 1 桁程度高く Yamazaki et al. (2000) によるペロブスカイト中の Si の拡散速度と同程度である。

得られた拡散係数を用いて wadsleyite が拡散クリープによって変形した際の粘性率を計算した。また、転位クリープによって変形した際の粘性率を Karato et al. (2001) によるクリープパラメーターを用いて計算した。それらの結果と地球物理学的観測による粘性値を比較して、マントル遷移層では拡散クリープおよび転位クリープの両方の変形メカニズムが卓越する可能性がある。また沈み込むスラブの低温条件では拡散クリープが卓越していることが予想され、この場合は相転移に伴う結晶粒径の細粒化によってプレートが軟化する可能性がある。