

超音波法にもとづくシリカガラスの弾性波速度の温度圧力変化

Elastic wave velocities of SiO₂ glass using ultrasonic method under high pressures and high temperatures

横山 綾子 [1]; 松井 正典 [2]; 上田 安紘 [3]; 肥後 祐司 [4]; 河野 義生 [5]; 井上 徹 [5]; 入船 徹男 [5]; 舟越 賢一 [6]

Ayako Yokoyama[1]; Masanori Matsui[2]; Yasuhiro Ueda[3]; Yuji Higo[4]; Yoshio Kono[5]; Toru Inoue[5]; Tetsuo Irifune[5]; Ken-ichi Funakoshi[6]

[1] 兵庫県立大・生命; [2] 兵庫県大・理; [3] 兵大・理; [4] JASRI; [5] 愛媛大・地球深部研; [6] 高輝度光セ

[1] Univ. of Hyogo; [2] School of Sci., Univ. of Hyogo; [3] Univ. of Hyogo; [4] JASRI; [5] GRC, Ehime Univ.; [6] JASRI

1. 序論

近年、液体内あるいは、アモルファス内においても固体同様、圧力または温度誘起の相転移が知られており、注目を集めている。シリカガラスについても、圧力や温度によって起こる様々な変化が報告されている。例えば、室温において、シリカガラスのP及びS波速度は、いずれも圧力とともに減少し、約3 GPaで最小値をとり、その後増加に転じる(e.g. Suito et al., 1992; Zha et al., 1994)。また、高温高圧においては、ピストンシリンダーを用いた実験に基づき、シリカガラスが約3.6 GPa、680 °Cにおいて密度が不連続に変化する一次相転移を起こすことが報告されている(Mukherjee et al., 2001)。しかし、その後行われた放射光X線回折実験においては先のような一次相転移は観測されなかった(Inamura et al., 2004)。

また、シリカガラスは物質科学的な観点より、中距離および短距離構造をもつ液体のモデル物質として、物理的性質を知る上で有用である。さらに多くのマグマは40~50wt%以上のSiO₂成分を含むため、マグマのモデル物質としても研究されてきた(Suito et al., 1992)。地球内部の液体の弾性波挙動を調べるためには、まず高温高圧下においてシリカガラスの弾性波速度を測定することが有用である。

このような状況下、シリカガラスの弾性波速度の温度圧力変化について詳細に調べるため、室温~1000 °C、0~6 GPaの温度圧力範囲において弾性波速度測定実験を行った。

2. 実験

本研究では、異なる圧力で3回の実験を行った。それぞれ3.9 GPa, 5.2 GPa, 5.9 GPaまで加圧した後加熱を開始し、それぞれ1000 °C付近まで加熱しながら超音波データ、試料画像およびX線回折パターンを得た。SPring-8(BL04B1)設置の川井型マルチアンビル装置(SPEED-1500)を用いて、X線その場回折像観察と弾性波速度測定、更にこれにX線によるイメージングを組み合わせた高圧下での試料長の同時測定を行った。ヒーターにはグラファイトを用い、温度はW₉₇Re₃-W₇₅Re₂₅熱電対を用いて決定した。また圧力標準にはNaCl(Decker, 1971)を使用した。片面を鏡面研磨したディスク状のWを試料と圧力マーカーとの間に挿入して試料と試料に接する物質とのアコースティックインピーダンスコントラストを大きくし、試料末端からの超音波反射波を確実に測定することに成功した。

3. 結果

P波およびS波の速度は約300 °C付近までは、ほぼ一定あるいは減少の傾向を示し、約300 °C付近より増加傾向となった。さらに、約700 °C付近に達すると増加傾向は落ちつき、以降1000 °Cまでほぼ一定の値をとった。その場で試料中央部において取得したX線回折パターンには結晶化を示すピークは見られなかった。

また、行った実験の圧力範囲では、圧力が大きいほど弾性波速度の増加も大きいことがわかった。

なお、回収した試料については光学観察およびX線回折法、ラマン分光法などによって詳細に結晶化の有無および密度等を調べた。

4. 考察

P波およびS波速度は体積弾性率、剛性率、密度の関数として表すことができるが、密度の変化にくらべて体積弾性率、および剛性率の変化は大きく、P波およびS波速度は密度よりも体積弾性率および剛性率の変化を大きく反映していると考えられる。実際、上記の圧力範囲においてP波およびS波速度への密度の寄与は最大で約9%である。

荷重を一定に保って温度を上昇させたとき、約300 °C以降において試料長は短くなる傾向にある。つまり、このことは約300 °C以降、密度が大きくなることを示唆しており、この範囲でP波およびS波速度が大きくなることは、体積弾性率および剛性率が大きくなる傾向を示している。この温度上昇による高密度化は、たとえばSi-O-Si角度の減少(e.g. Stolper and Ahrens 1987)で説明することができる。約700 °C以降においては、Si-O-Si角度の減少に飽和がみられ、弾性波速度の増加も停止すると考えられる。