

高圧下におけるSiO₂ガラスの降伏強度

Yield strength of SiO₂ glass under high pressure

佐藤 友子^{1*}, 船守 展正², 八木 健彦¹

Tomoko Sato^{1*}, Nobumasa Funamori², Takehiko Yagi¹

¹東京大学物性研究所, ²東京大学理学部

¹ISSP, Univ. Tokyo, ²Dept. EPS, Univ. Tokyo

高圧下におけるSiO₂ガラスの降伏強度を、一軸応力下での動径方向X線回折を用いて測定することを試みた。ケイ酸塩メルト中の配位数を初めとする構造や物性の変化についての知見は、地球のダイナミックな変動を理解する上で不可欠である。ガラスはメルトを常温に凍結したものと考えられることができるため、ガラスの振る舞いを理解することは、メルトの振る舞いを解明する上で重要な意味を持つ。最も単純なSiO₂組成のガラスは、地球科学的な観点だけでなく、物質科学的・材料科学的な観点からも重要な物質であり、高圧下における振る舞いについても多くの研究がなされてきた。SiO₂の構造の圧力依存性は、25GPaから40-45GPaにかけて、配位数が4から6に変化することで特徴づけられる [Sato and Funamori, 2008]。このようなSi-Oの結合状態の変化は、SiO₂ガラスの降伏強度にも反映されると考えられる。実際に、SiO₂ガラスの降伏強度は、試料室内の圧力分布の測定に基づく手法によって測定されており、4配位から6配位への構造変化に伴って大幅に低下すると報告されている [Meade and Jeanloz, 1988]。しかし、高圧下における降伏強度の測定は容易ではなく、異なった手法による検証が不可欠である。今回、我々は、一軸応力下での加圧軸に垂直な方向（動径方向）からのX線回折を用いた手法による測定を試みた。

X線回折実験は、Photon FactoryのBL18Cで実施された。圧力発生には、動径方向に広い開口部を持つダイヤモンドアンビル装置 [Merkel and Yagi, 2005] を用いた。高圧下における試料厚みを確保し、かつ、動径方向からの観察を実現するために、ベリリウムをアウターガスカートとした立方晶窒化ホウ素c-BNガスカート [Funamori and Sato, 2008] を用いて、SiO₂ガラスの粉末を加圧した。圧力は、アンビルのラマンシフトより決定した [Akahama and Kawamura, 2004]。一軸応力下において生じる偏差歪 ϵ_d は、Singh [1993] により提案された格子歪理論によれば、 $\epsilon_d = -[t/(6G)](1-3\cos^2\phi)$ と表される。tは偏差応力の大きさ、Gは剛性率、 ϕ は加圧軸ベクトルと散乱ベクトルのなす角度である。

SiO₂ガラスの第一ピーク (First Sharp Diffraction Peak: FSDP) の位置の ϕ 依存性から、偏差応力を求めた。FSDPの位置は、格子歪理論で説明可能な ϕ 依存性を示した。プリリュアン散乱による弾性波速度 [Zha et al., 1994] と、X線吸収による密度 [Sato and Funamori, 2008] のデータから見積もったGを用いると、測定を実施した10GPaから40GPaまでの圧力領域において、SiO₂ガラス内の偏差応力は単調に増加するという結果が得られた。試料内の応力状態が降伏条件を満たしているとき、偏差応力は降伏強度と等しいと考えられる。Meade and Jeanloz [1988] は、30GPa以上での降伏強度の大幅な低下を報告している。我々の結果と比べると、30GPa付近まではかなりよい一致を示すが、より高い圧力領域では大きく異なっている。降伏強度は偏差応

力の上限であり、今回の実験では降伏条件が満たされていなかったと考えるても、この違いは説明できない。今後、より高圧領域での測定を実施し、SiO₂ガラスの降伏強度の圧力依存性についての詳細を明らかにしたい。

引用文献

- C. Meade and R. Jeanloz, *Science* 241, 1072 (1988).
- A. K. Singh, *J. Appl. Phys.* 73, 4278 (1993).
- C. Zha et al., *Phys. Rev. B* 50, 13105 (1994).
- Y. Akahama and H. Kawamura, *J. Appl. Phys.* 96, 3748 (2004).
- S. Merkel and T. Yagi, *Rev. Sci. Instrum.* 76, 046109 (2005).
- N. Funamori and T. Sato, *Rev. Sci. Instrum.* 79, 053903 (2008).
- T. Sato and N. Funamori, *Phys. Rev. Lett.* 101, 255502 (2008).