

課題番号 : 2015B-E20
利用課題名 (日本語) : 迅速計測システムを用いた液体 Fe-Ni-S の音速・密度同時測定
Program Title (English) : Simultaneous sound velocity and density measurements of liquid Fe-Ni-S using fast measurement system
利用者名 (日本語) : 寺崎英紀¹⁾, 黒川冬華¹⁾, 下山裕太¹⁾, 田窪勇作¹⁾, 浦川啓²⁾, 岸本俊八²⁾, 井上尚紀²⁾, 町田晃彦³⁾, 綿貫徹³⁾, 片山芳則³⁾, 近藤忠¹⁾
Username (English) : H. Terasaki¹⁾, F. Kurokawa¹⁾, Y. Shimoyama¹⁾, Y. Takubo¹⁾, S. Urakawa²⁾, S. Kishimoto²⁾, N. Inoue²⁾, A. Machida³⁾, T. Watanuki³⁾, Y. Katayama³⁾, T. Kondo¹⁾
所属名 (日本語) : 1) 大阪大学大学院理学研究科, 2) 岡山大学大学院自然科学研究科, 3) 日本原子力研究開発機構
Affiliation (English) : 1) Dept. Earth Space Science, Osaka Univ., 2) Dept. Earth Science, Okayama Univ., 3) JAEA
キーワード: 密度、音速、高圧、液体合金

1. 概要 (Summary)

本課題では、これまでに我々グループで立ち上げた迅速測定システムを用いて水星・火星核組成の候補の1つである Fe-Ni-S 融体の音速・密度同時測定を実施した。この結果、1.1-4.5 GPa, 300-1723 K の圧力・温度範囲で Fe-Ni-S 試料の密度・音速を測定することができ、これら物性の圧力依存性を得ることが出来た。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

本課題で用いた迅速測定システムは、3 台の検出器 (X線イメージング用 CMOS カメラ、フラットパネル、イオンチャンバー) で構成され、それぞれが並進ステージで簡易に切り替えられるように配置されている。これにより X線イメージングで試料長の決定、試料漏れの有無などの決定が即座にでき、また回折 X線測定もフラットパネル検出器の使用でより早い測定ができるようになっている。このシステムを適用することで高温下において迅速な測定が必要とされる液体の物性測定に適した測定になった。本課題では 2 種類の S 含有量の試料を用い複数の圧力条件で測定し、圧力と S 含有量の音速と密度に与える影響を調べた。本結果と探査から得られる内部観測データと比較することで惑星中心核組成に制約を与えることを目指している。

高圧装置には BL22XU 設置の 180ton キュービックアンビルプレスを用い、先端サイズが 6 mm の超硬アンビルを使用した。X線は 35 keV の単色 X線を用いた。出発試料には Fe-Ni-S 組成の混合粉末 (S=20, 30 at%)

を用い、その試料ペレットを音速測定用に単結晶アルミナ製のバッファローッドで挟んだ。加熱にはグラファイト円筒ヒーターを用いた。

音速測定は、超音波法 (パルスエコーオーバーラップ法) を採用した。アンビル底面の圧電素子に電気信号 (35-45 MHz) を与え圧電効果により超音波を発生させる。試料前後の境界面からの反射波をオシロスコープ (解像度: 5GS/s) で検出し、前後面の反射波の到達時間差から試料中の伝搬時間を求めた。試料長は、高感度 CMOS カメラを用いて X線イメージングより測定した。

密度測定は、X線密度吸収法を用いた。試料部の X線吸収量をイオンチャンバーにより計測し、得られた試料部の X線吸収プロファイルとランベルト・ベールの式から密度を算出した。試料の X線吸収係数は回折線より求めた固体密度から見積もった。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

本課題では、Fe-Ni-S の 2 種類 (S=20, 30at%) の組成の試料について 2 つの圧力条件 (高温で 1 および 2 GPa)、および予備的に carbonate 試料についても測定を行い、計 4 回の実験を行った。その結果、試料熔融状態においても良好な超音波シグナル、X線吸収プロファイルを得て、Fe-Ni-S 試料の音速、密度ともに測定することができた。

実験の温度・圧力は、セル内に配置した 3 種の圧力温度マーカー (hBN, MgO) の格子定数から求めた。具体的な実験条件は以下の通りである。

- ①B261 S=20at% 2.1-3.5 GPa, 300-1723 K
- ②B263 S=30at% 2.0-4.5 GPa, 300-1723 K
- ③B268 S=20at% 1.1-2.1 GPa, 300-1623 K
- ④B262 carbonate 1.7-2.0 GPa, 300-1573 K

この結果、音速のデータに関しては本条件では3250-3700 m/s 程度となり、圧力に対して Fe-Ni-S 融体の音速が増加傾向にある結果が得られた。この音速の圧力依存性については、これまでに報告されている Fe-S の結果(Jing et al. 2014)と整合的な圧力依存性を示すことがわかった。またいずれの圧力条件においても Fe-Ni-S 中の硫黄含有量の増加に伴い、音速・X線吸収率は低下することがわかった。X線吸収率のデータを用いて密度値について今後解析を行い、音速・密度の相関について弾性定数と共に求めていく。

4. その他・特記事項 (Others)

原子力機構の共同研究者

町田晃彦、綿貫徹、片山芳則