

平成 22 年 5 月 26 日現在

研究種目：学術創成研究費
研究期間：2007～2011
課題番号：19GS0205
研究課題名（和文） 強力パルス中性子源を活用した超高压物質科学の開拓

研究課題名（英文） Material sciences at ultra-high pressure
using the strongest spallation neutron source

研究代表者
鍵 裕之 (KAGI HIROYUKI)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：70233666

研究代表者の専門分野：地球化学・地球内部物質学
科研費の分科・細目：地球惑星科学、岩石・鉱物・鉱床学
キーワード：水素、水、高压、中性子、地球、惑星

1. 研究計画の概要

J-PARC に建設されたパルス中性子源を利用し、これまで到達することができなかった高圧力条件で中性子回折を測定する技術を開発し、地球・惑星内部に匹敵する超高压極限条件における、水素を基調とした物質科学を飛躍的に発展させる。

2. 研究の進捗状況

(1) NPD のレーザー加工法の開発

NPD (ナノ多結晶ダイヤモンド) は、日本発の新材料で、高温高压下でグラファイトからの直接変換によって得られるナノメートルオーダーの微小なダイヤモンド粒子の集合体である。微小な結晶がランダムに焼結した多結晶体であるため、劈開がなく、単結晶ダイヤモンドと比較して飛躍的に高い硬度を持つことが知られている。しかし、高強度という特性が、NPD の加工を困難にしていた。NPD を用いた高压発生セルを作成するためには、曲面を含んだ複雑な三次元加工が求められる。我々は最適なレーザー加工条件を見いだすことに成功し、現在では曲面を含むほぼ自由な形状に NPD を加工することを可能とした(Okuchi et al.)。このような複雑な加工を行うことができるのは、世界で我々のグループのみであり、学術創成の研究期間に世界の研究グループからのリードをさらに広げたい。

(2) 中性子回折用高压装置の開発

前述したレーザー加工で形状を最適化した後に、表面の精密研磨作業を施すことで実際の高压実験に用いる NPD アンビルを作製した。テーパ状の底面形状をとることによって、アンビルのサポートが強化され、NPD

の高い強度性能を引き出して高压実験を実現することが可能となった。先端径 1.25 mm の NPD アンビルを用いて、現在のところ約 14 GPa の圧力を発生することが可能である。また、NPD アンビルセルの開発と並行して、手のひらに載る小型キュービックアンビル高压発生装置の開発を進めている。主として低温高压下での中性子回折実験に活用しており、氷の高压相の秩序化過程などに関する実験結果を予察的に得ている。

(3) 中性子オプティクスの開発

本研究計画における一つの柱が、高压装置に特化した中性子光学系の設計と開発である。試料サイズが高々ミリメートルオーダーの試料に対して、効率よく中性子を集光し、なおかつ解析に必要な装置分解能を維持することが求められる。2 年間の研究の結果、楕円曲面をもつ長さ 11 m 超のスーパーミラーガイドが最適なミラー形状であることが明らかになった。スーパーミラーガイドは平成 22 年度の中ごろまでにはビームラインに据え付けられる予定である。

(4) 種々の分光学的測定

中性子関連の研究と並行して振動分光法を用いた研究も遂行した。例えばスペクトルの微小な周波数変化を高精度で測定可能な、極めて優れた安定性を誇るラマン分光装置の開発がその一例である(Odake et al., 2008)。また、我々のグループで、中性子回折によって生成過程を追跡していた氷 XI 相の赤外吸収スペクトルの観測にも成功した(Arakawa et al., 2009)。氷 XI 相は外惑星を中心とした宇宙空間に存在することが予測されている。この成果は、中性子回折で得られた実験結果が、将来の赤外天文学的な観測につながるこ

とを指摘した画期的なものである。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

困難を極めると予想していたナノ多結晶ダイヤモンドの加工については、透過電子顕微鏡などの先端的な機器分析を駆使しながらレーザー加工の基礎的な知見まで掘り下げることにより、大容積に高圧力を発生させ、かつ安定して圧力をサポートすることができるようにアンビル形状を自由に加工することができるようになった。また、並行して進めている Palm cubic 高圧発生装置については、低温、高圧での実験に着々とその真価を発揮している。今後は氷の低温高圧相の研究などで世界レベルの成果が得られることを予想している。

微小部に中性子を効率よく集光するためのミラーガイドの開発と製作については、予想以上に急ピッチで成果が得られたと自負している。今後は、製作したミラーが持つ性能を最大限に発揮できるよう、光学系の調整などを行うことが課題となるだろう。

総じて自己評価をすると、これまでの3年間で、高圧下での中性子回折実験を行うための道具立てを、満を持してそろえることに成功した。残り2年ではこれらを駆使したサイエンスで飛躍したい。

4. 今後の研究の推進方策

今後は、日に日にビーム強度が増強されていく J-PARC の中性子源を用いて、今後達成される超高圧条件において、中性子回折実験を行うことを何よりも最優先して進めていきたい。そのために、特にナノ多結晶ダイヤモンドを用いた高圧セルで、試料体積をできるだけ確保しながら高圧状態を作り出すためのセル開発、具体的にはガスケットの材質と形状の最適化を 22 年度の中盤までには完了させる予定である。

地球深部に存在しうる含水鉱物、惑星内部に存在しうる高圧氷、資源や気候変動のキーを握るメタンハイドレートなどを研究対象として、人類未到の高圧条件での研究を展開していく予定である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 64 件)

①奥地拓生、佐々木重雄、大野祥希、小松一生、鍵裕之、有馬寛、阿部淳、服部高典、佐野亜沙美、長壁豊隆 ほか 5 名 (2010) 大型ナノ多結晶ダイヤモンド対向アンビルを用いた高圧下パルス中性子粉末回折実験. *高圧力の科学と技術*, 20 巻, 印刷中.

②Ohfujii H., Okuchi T., Odake S., Kagi H.,

Sumiya H. and Irifune T. (2010) Micro-/nanostructural investigation of laser-cut surfaces of single- and polycrystalline diamonds. *Diamond and Related Materials*, *in press*.

③Arima H., Komatsu K., Ikeda K., Hirota K. and Kagi H. (2009) Designing an elliptical supermirror guide for the material science beamline of J-PARC. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **600**, 71-74.

④Okuchi T., Ohfujii H., Odake S., Kagi H., Nagatomo S., Sugata M. and Sumiya H. (2009) Laser micromachining of the super-hard nano-polycrystalline diamond. *Applied Physics A: Mat. Sci. Process*, **96**, 833-842.

⑤Arakawa M., Kagi H. and Fukazawa H. (2009) Laboratory measurements of infrared absorption spectra of hydrogen-ordered ice: a step to the exploration of ice XI in space. *Astrophysical Journal Supplement Series*, **184**, 361-365.

[学会発表] (計 304 件)

①Kagi H., Hattori T., Arima H., Utsumi W.S., Komatsu K., Nagai T. and Yagi T. High-pressure beamline (PLANET) at the spallation neutron source, J-PARC. American Geophysical Union, 2009 Fall Meeting, San Francisco, December 15, 2009. 【招待講演】

②鍵 裕之, 中性子で見る地球内部の物質科学、物構研シンポジウム 09、つくば、2009 年 11 月 18 日 【招待講演】

③鍵 裕之, 地球内部関連物質の分光学的研究、日本鉱物科学会、北海道大学、2009 年 9 月 9 日 【第 4 回鉱物科学会賞受賞講演】

④鍵 裕之, パルス中性子源を用いた新しい地球科学の創成、日本地球化学会、東京大学 2008 年 9 月 17 日 【招待講演】

⑤鍵 裕之 振動分光法を用いた鉱物科学研究の最近の進展、日本鉱物科学会、東京大学 2007 年 9 月 23 日 【招待講演】

[図書]

なし

[産業財産権]

なし

[その他]

ホームページ

<http://www.eqchem.s.u-tokyo.ac.jp>