

I 超高压下の相転移

Phase Transition under High Pressure

赤浜裕一
Akahama, Y.

原子価結晶に圧力を加えるとその構成原子の電子準位が変化し(電子的 $s-d$ 転移と総称される)、構造・物性変化をきたす。一方、分子性結晶への圧力の適用は分子間力の制御を通して、分子配向の変化や結合の再編成を引き起こし、やがて分子性が失われ、原子価結晶へ移行させるものと考えられている。我々は放射光を用いた X 線回折・ラマン分光・赤外分光・磁化・電気伝導測定などにより、固体の結晶構造変化や分子解離の過程を調べている。現在、酸素、水素、窒素及び燐など放射光の利用が不可欠な軽元素を主な研究対象として取り上げている。更に、マルチメガバール領域の圧力発生技術とその圧力領域で簡便に利用できる圧力スケールの構築も行い、現在、世界最高圧力の更新を続けており、超高压でしか現れない特異な結晶構造などを発見している。

II 黒リンの高圧物性研究

Chemical Physics of Black Phosphorus under High Pressure

赤浜裕一
Akahama, Y.

黒リンはシリコンやゲルマニウムにつぐ最後の元素半導体として注目され、30 年程前から日本の研究グループが中心となりバルクの基礎物性が解明されてきた。特に、単層がパッカードレイヤーという特異な層構造から成ることから電子物性や光物性等に強い異方性を示し、高压下では構造相転移を伴わない半導体-金属転移が観測されている。近年、黒リン単層膜であるフォスファレン(phosphorene)が、グラフェンと異なりエネルギーギャップを持つことから二次元半導体デバイスへの応用の観点から脚光を浴びている。我々は、黒リンやフォスファレンの基礎物性に着目し、それらの作製と物性研究を行っている。

III 非共鳴 X 線非弾性分光法による物性研究

Physical Properties by Non-resonant Inelastic X-ray Spectroscopy

福井宏之
Fukui, H.

硬 X 線はその透過力の高さゆえに極限状態下にある物質に対する効果的なプローブである。第三世代放射光施設の発展により、非弾性散乱を用いた物性研究が可能になった。我々はこの技術を極限状態下へ応用するための技術開発を行うとともに、これを用いた軽元素の電子構造および原子振動に関する物性研究を推進している。

発表論文 List of Publications

- I-1 Y. Akahama, K. Takahashi, K. Kamiue, T. Sugimoto, N. Hirao(JASRI), and Y. Ohishi(JASRI): Pressure-induced reentrant structural transition and equation of state of indium, *J. Appl. Phys.* **125**, 075901 (2019).
- I-2 Y. Akahama, K. Takahashi, K. Kamiue, N. Hirao(JASRI), and Y. Ohishi(JASRI): Reentrant structure transition of indium at 130 GPa, The 18th International Conference on High Pressure in Semiconductor Physics (HPSP-18) & The Workshop on High pressure Study on Superconducting (WHS), (Barcelona, Spain July 23-27, 2018).
- I-3 宮本 椋介, 福井宏之, 赤浜裕一, 中野智志(NIMS), 河口沙織(JASRI), 平尾直久(JASRI), 大石泰生(JASRI): 「水素の圧力誘起超臨界流体相-固相転移のラマン分光と X 線回折研究」, 日本物理学会 2018 年秋季大会 同志社大学 2018 年 9 月 9 日-12 日.
- I-4 赤浜裕一: 「昔, 今, そして明日の高圧研究-物質理学から-」, 第 59 回高圧討論会 岡山理科大学 2018 年 11 月 26 日~28 日.
- I-5 大川直樹, 赤浜裕一, 河口沙織(JASRI), 平尾直久(JASRI), 大石泰生(JASRI): 「超高圧 X 線回折による Se と Te の構造相転移の研究」第 59 回高圧論会, 岡山理科大学 2018 年 11 月 26 日~28 日.
- I-6 紙上昂大, 赤浜裕一, 河口沙織(JASRI), 平尾直久(JASRI), 大石泰生(JASRI): 「第四周期元素:Zn, Ge, As の超高圧 X 線回折による原子体積の研究」第 59 回高圧討論会 岡山理科大学 2018 年 11 月 26 日~28 日.
- I-7 福井宏之, 藤本真人, 赤浜裕一, 佐野亜沙美(JAEA), 服部高典(JAEA): 「ZrO₂ 単斜晶相の静的・動的構造変化」第 59 回高圧討論会, 岡山理科大学 2018 年 11 月 26 日~28 日.
- I-8 赤浜裕一, 中野智志(NIMS), 河口沙織(JASRI), 平尾直久(JASRI), 大石泰生(JASRI): 「水素超臨界流体相の高圧 X 線回折研究」第 59 回高圧討論会, 岡山理科大学 2018 年 11 月 26 日~28 日.
- I-9 赤浜裕一, 荒木涼馬, 大川翼, 重政和祐, 山上皓輝, 河口沙織(JASRI), 平尾直久(JASRI), 大石泰生(JASRI): 「n-hexane 固体相の高圧 X 線回折実験」第 59 回高圧討論会, 岡山理科大学 2018 年 11 月 26 日~28 日.
- II-1 K. Hirose(ISSP), T. Osada(ISSP), K. Uchida(ISSP), T. Taen(ISSP), K. Watanabe (NIMS), T. Taniguchi(NIMS), and Y. Akahama: Double carrier transport in electron doped region in black phosphorus FET, *Appl. Phys. Lett.* **113**, 193101 (2018).
- II-2 A. Miyake(ISSP), K. Akiba(ISSP), M. Kano(ISSP), Y. Akahama, K. Kindo(ISSP) and M. Tokunaga(ISSP): Pressure and Magnetic Field Angle Dependence of Magnetoresistance of Black Phosphorous under Pulsed Magnetic Fields, The 12th International Conference on Research in High

- Magnetic Fields (RHMF 2018), (Santa Fe, NM USA June 24-28, 2018).
- II-3 広瀬康平 (ISSP), 長田俊人 (ISSP), 内田和人 (ISSP), 田縁俊光 (ISSP), 渡邊賢司 (NIMS), 谷口尚 (NIMS), 赤浜裕一: 「多層黒リン FET の磁気抵抗と電子状態」, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 同志社大学 2018 年 9 月 9 日-12 日.
- II-4 三宅厚志 (ISSP), 秋葉和人 (岡山大院自然), 狩野みか (日工大工), 赤浜裕一, 徳永将史 (ISSP): 「パルス強磁場を用いた圧力誘起半金属黒リンの磁気抵抗の磁場角度依存性」, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 同志社大学 2018 年 9 月 9 日-12 日.
- III-1 T. Matsuoka (Gifu U.), J. Ibañez-Azpiroz (UPV/EHU), N. Hiraoka (NSRRC), H. Fukui, A. Bergara (UPV/EHU): Plasmons in Li under Compression, *Journal of Physics: Condensed Matter* 31, 185501 (2019).
- III-2 S. Takahashi (Tohoku U.), E. Ohtani (Tohoku U.), T. Sakamaki (Tohoku U.), S. Kamada (Tohoku U.), H. Fukui, S. Tsutsui (JASRI), H. Uchiyama (JASRI), D. Ishikawa (JASRI), N. Hirao (JASRI), Y. Ohishi (JASRI), A.Q.R. Baron (RIKEN): Sound velocity of Fe₃C at high pressure and high temperature determined by inelastic X-ray scattering, *Comptes Rendus Geoscience* 351, 190-196 (2019).
- III-3 S. Kamada (Tohoku U.), H. Fukui, A. Yoneda (Okayama U.), H. Gomi (Okayama U.), F. Maeda (Tohoku U.), S. Tsutsui (JASRI), H. Uchiyama (JASRI), N. Hirao (JASRI), D. Ishikawa (JASRI), A.Q.R. Baron (RIKEN): Elastic constants of single-crystal Pt measured up to 20 GPa based on inelastic X-ray scattering: Implication for the establishment of an equation of state, *Comptes Rendus Geoscience* 351, 236-242 (2019).
- III-4 H. Fukui, S. Kamada (Tohoku U.), and A. Yoneda (Okayama U.): Effect of ferrous iron on elasticity of bridgmanite: Possible origin of anticorrelated seismic velocity anomaly observed in the lower mantle, *SPRING-8/SACLA Research Frontiers* 2017, 84-85 (2018).
- III-5 福井宏之: X線照射による高密度氷の分子分解反応、日本化学会「科学と教育」誌 67 巻、22-23 (2019).
- III-6 A.Q.R. Baron (RIKEN), D. Ishikawa (JASRI), H. Fukui, and Y. Nakajima (Kumamoto U.): Auxiliary optics for meV-resolved inelastic x-ray scattering at SPRING-8: Microfocus, analyzer masks, Soller slit, soller screen, and beam position monitor, *AIP Conference Proceedings* 2054, 020002 (2019).
- III-7 生田大穰 (東北大)・大谷栄治 (東北大)・坂巻竜也 (東北大)・福井宏之・石川大介 (JASRI)・BARON Alfred (理研): Sound velocity measurement of rhenium at extreme pressure conditions by inelastic X-ray scattering、第 59 回高圧討論会 (岡山)、(2018).

大学院物質理学研究科

博士前期課程

大川 直樹: 超高圧 X 線回折による Se と Te の構造相転移の研究

紙上 昂大: 第四周期元素: Zn, Ge, As の超高圧 X 線回折による原子体積の研究

科学研究費補助金等

- 1 科学研究費補助金（2017～2019年度） 基盤研究(C) 課題番号：17K05550
研究課題 固体水素高圧相：III相の高圧低温X線回折実験による構造決定
研究代表者 赤浜裕一
- 2 科学研究費補助金（2015～2019年度） 基盤研究(S) 課題番号：15H05748
研究課題 地球核の最適モデルの創出
研究代表者 大谷栄治
研究分担者 福井宏之
- 3 科学研究費補助金（2018～2019年度） 基盤研究(A) 課題番号：15H02128
研究課題 マントル鉱物の結晶弾性測定：地震波速度異方性の物質的解釈に向けて
研究代表者 米田明
研究分担者 福井宏之