

令和元年6月6日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K17732

研究課題名(和文)5d遷移金属におけるフラストレート格子上の強相関電子物性の研究

研究課題名(英文) Study of strongly correlated electronic properties on frustrated lattice in 5d transition metals

研究代表者

青山 拓也 (AOYAMA, Takuya)

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：80757261

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：イリジウムが4価の陽イオンとなった場合と同様の電子配置を示す3価のルテニウムを含む化合物に対して電気磁気効果の測定を行った。空間反転対称性の局所的な破れに起因した局所電気分極の磁場効果を観測した。その詳細を明らかにするため赤外吸収スペクトルの測定を行なった。イリジウムを含むフラストレート磁性体の単結晶育成をおこない、X線結晶構造解析・磁気抵抗効果・比熱の測定を行い、半金属的な伝導特性を示すこと・低温に磁気転移が存在すること・磁気転移温度以下で特異な磁気抵抗効果を示すことを明らかにした。圧力下においても測定を進め、低温の磁気転移付近の電気抵抗率の変化の圧力依存性を測定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

八二カム格子上においてボンド依存した強磁性相互作用をもつ場合、その基底状態は量子スピン液体になることが厳密に示されている。また遍歴および局在した分数励起によって有限温度の振る舞いが記述でき、そのうち遍歴自由度がDirac型の分散を示すことからトポロジカルな性質を持つことが指摘されている。我々は磁気誘電測定および赤外吸収スペクトル測定を通じて遍歴自由度の観測を試みた。その結果磁気転移温度以下で顕著な磁気誘電効果を観測するとともに、複数のフォノンに関連した新たな吸収を発見した。

研究成果の概要(英文)：We measured the magnetoelectric effect of a compound containing trivalent ruthenium whose electronic configuration is same as tetravalent iridium. We observed the magnetodielectric effect due to the broken local space inversion symmetry. Infrared absorption spectra were measured to reveal details. Single crystals of frustrated magnetic material containing tetravalent iridium cation were grown, X-ray crystal structure analysis, magnetoresistance effect, and specific heat were measured, and it was revealed that semimetal-like conduction characteristics are exhibited and magnetic transition occurs at low temperature. Moreover, we performed the resistivity measurement under pressure, and the pressure dependence of the magnetic transition was measured.

研究分野：強相関電子物性

キーワード：強相関電子物性 遷移金属化合物

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

3d 遷移金属化合物においては強い電子相関によって電子が局在化し、電子の遍歴自由度が失われる代わりにスピンや電荷、軌道などの新たな自由度が生じるため、高温超伝導やマルチフェロイクスなど多彩な物性を示す。一方で 5d 遷移金属化合物においては大きな原子半径に起因して電子相関が弱い、スピン軌道相互作用が大きい、スピン軌道モット絶縁体・多極子秩序・ワイル半金属相などの新たな電子相が実現することが期待されている。

2. 研究の目的

遷移金属化合物を合成し、スピン軌道相互作用に起因した物性の研究を行う。具体的には Kitaev スピン液体関連化合物における電気磁気効果の測定や、多極子秩序相の光学応答・ドメイン可視化を行う。

3. 研究の方法

固相反応法・フラックス法・気相輸送法などによって育成した純良単結晶に対して、温度・磁場・圧力相図上の広い領域において電気磁気測定・光学測定を行うことでスピン軌道相互作用に起因する物性の実験的研究を行う。高圧下物性測定のための技術開発を行う。

4. 研究成果

(1) フッ化物フラックスを用いることでイリジウムを含むフラストレート磁性体 $\text{La}_3\text{Ir}_3\text{O}_{11}$ の合成を行い、放射光を用いた X 線吸収実験を行なった。L₃ および L₂ 吸収端の吸収係数の比から顕著なスピン軌道相互作用が存在することを明らかにした(図1)。電気抵抗・帯磁率測定および圧力下電気抵抗測定の結果と合わせて、強いスピン軌道相互作用によって半金属状態が生じていることを明らかにした。

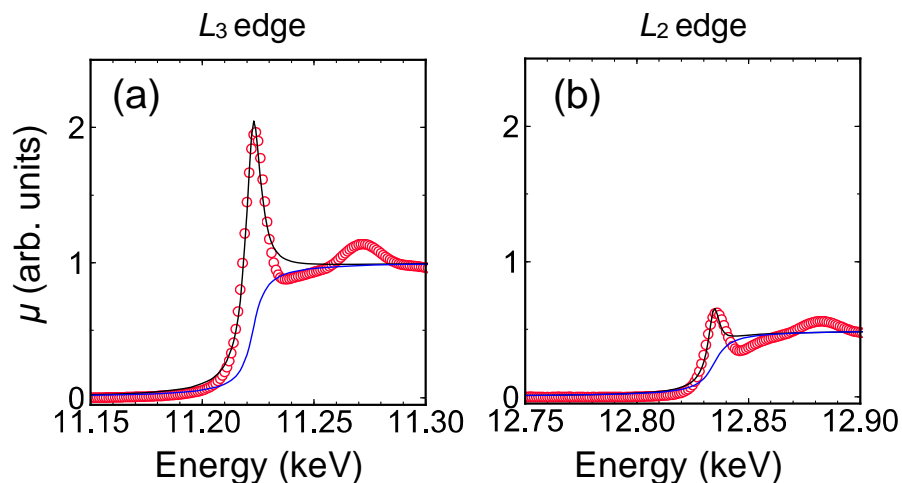


図1 $\text{La}_3\text{Ir}_3\text{O}_{11}$ におけるX線吸収測定。(a) L₃端付近 (b) L₂端付近

(2) Kitaev スピン液体候補物質 RuCl_3 における電気磁気特性を調べ、局所空間反転対称性の破れたサイトに磁気モーメントが生じることによる大きな磁気誘電効果を観測した(図2)。同物質にアルカリ金属元素を挿入することによるキャリアドーピングを行い1/4フィリング付近に電荷秩序相が存在することを明らかにした。Kitaev スピン液体候補物質 $\text{A}_3\text{LiM}_2\text{O}_6$ ($A = \text{Cu}, \text{Ag}, M = \text{Ir}, \text{Rh}$) において NMR 実験を実施しスピン格子緩和率の温度依存性に異常があることを学会に報告した。

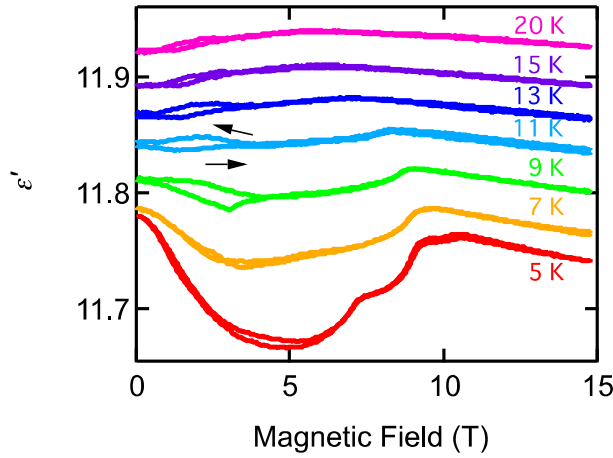


図2 RuCl₃の磁気誘電効果

(3) 磁気誘起極性伝導体候補物質であるBaFe₂Se₃に関して試料の合成・光の第二高調波実験を行い、軌道秩序に関連した極性転移が生じることを明らかにした (図3)。同物質系であるBaFe₂S₃に関して異方的磁気抵抗効果の測定を行い、軌道秩序の可能性を明らかにした。

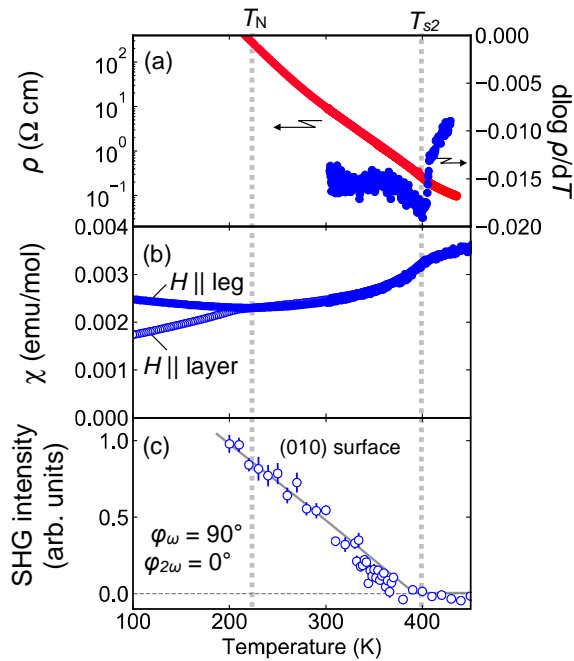


図3 BaFe₂Se₃における空間反転対称性を破る相転移。(a) 電気抵抗の温度依存性 (b) 帯磁率の温度依存性 (c) 光の第二高調波発生強度の温度依存性

(4) BaMn₂As₂において磁気秩序に起因した空間反転対称性の破れによって生じる磁気多極子ドメインの実空間観察を行った。同物質にホールドープすることで金属化し異方的磁気抵抗効果の

測定を行うことで磁気対称性から予測される電気磁気効果に起因した異常を観測した(図4)。

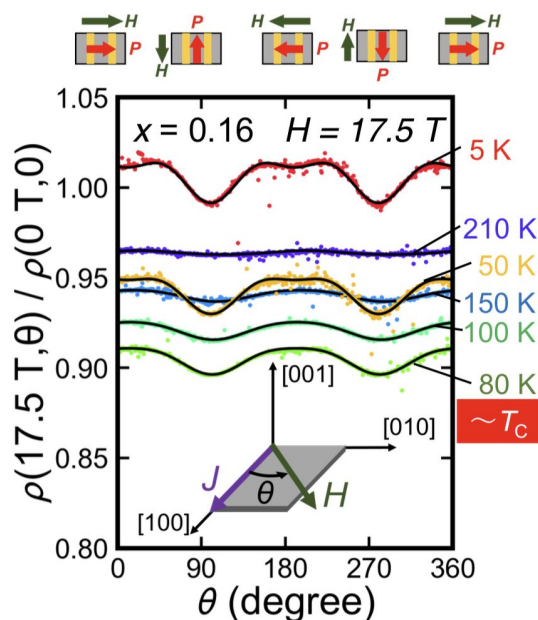


図4 Ba_{0.84}K_{0.16}Mn₂As₂における異方的磁気抵抗効果

(5) ダイヤモンドアンビルセルを用いた電気抵抗測定系の構築を行い、液体媒体を用いた静水圧環境下において10 GPaまでの電気抵抗測定が可能となった(図5)。圧力保持のためのガスケット加工機および測圧のためのルビー蛍光顕微鏡の構築を合わせて行った。

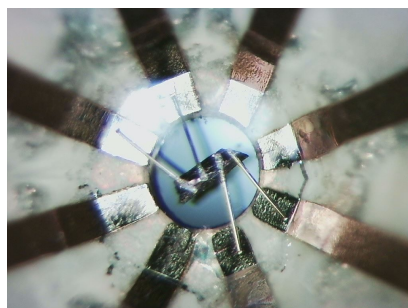


図5 高圧力セル中の試料写真

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

- (1) "Quantum Paramagnet Near Spin-State Transition", Tomiyasu Keisuke, Ito Naoko, Okazaki Ryuji, Takahashi Yuki, Onodera Mitsugi, Iwasa Kazuaki, Nojima Tsutomu, Aoyama Takuya, Ohgushi Kenya, Ishikawa Yoshihisa, Kamiyama Takashi, Ohira Kawamura Seiko, Kofu Maiko, Ishihara Sumio, *Advanced Quantum Technologies*, 1, 1800057 (2018). 査読あり
- (2) "Two-phonon Absorption Spectra in the Layered Honeycomb Compound α -RuCl₃", Yoshinao Hasegawa, Takuya Aoyama, Koya Sasaki, Yuka Ikemoto, Taro Moriwaki, Toshiya

Shirakura, Riichiro Saito, Yoshinori Imai, and Kenya Ohgushi, J. Phys. Soc. Jpn. 86, 123709 (2017). 査読あり

- (3) "Anisotropic magnetodielectric effect in the honeycomb-type magnet α -RuCl₃", Takuya Aoyama, Yoshinao Hasegawa, Shojiro Kimura, Tsuyoshi Kimura, and Kenya Ohgushi, Phys. Rev. B 95, 245104 (2017). 査読あり

ほか 4 件 .

〔学会発表〕(計 30 件)

- (1) “空間反転対称性の破れた反強磁性体 BaMn₂As₂ における第二高調波発生”
江見知俊, 青山拓也, 今泉聖司, 富樫拓也, 佐藤佳史, 松原正和, 大串研也
日本物理学会 2018 年
- (2) “非線形光学で観る高圧下の物質科学”
青山拓也
日本物理学会 2017 年
- (3) “第二高調波発生を用いた梯子型鉄系化合物 BaFe₂Se₃ における極性構造の探索”
今泉聖司, 青山拓也, 富樫拓也, 佐藤佳史, 松原正和, 大串研也
日本物理学会 2017 年
- (4) “Anisotropic magnetodielectric effect in the honeycomb-type magnet α -RuCl₃”

Takuya Aoyama, Yoshinao Hasegawa, Shojiro Kimura, Tsuyoshi Kimura, and Kenya Ohgushi

The 9th APCTP Workshop on Multiferroics(国際学会), 2017年

他 26 件 .

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://web.tohoku.ac.jp/mqp/>

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。