

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13493

研究課題名(和文)コバルト酸化物におけるスピン三重項励起子凝縮現象の解明

研究課題名(英文) Investigation of Bose-Einstein condensation of triplet exciton in cobaltites

研究代表者

池田 暁彦 (Ikeda, Akihiko)

東京大学・物性研究所・助教

研究者番号：90707663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、これまでの研究によって明らかになっていたコバルト酸化物LaCoO₃における超強磁場誘起新規相の起源を探ることを目的として研究を行った。超強磁場中に2つの異なる相があることまでは明らかになっていた。これらの磁場誘起相の起源として、スピン状態の空間的な結晶化による「スピン状態結晶状態」やスピン状態のボーズ凝縮に対応する「励起子凝縮状態」が候補としてあげられていた。本課題で開拓した磁歪計測技術を応用し、コバルト酸化物LaCoO₃の超強磁場中磁歪計測を行った。LaCoO₃の2つの超強磁場相は「スピン状態結晶状態」のパリエーションであることが明らかになったと考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遍歴・局在の二重性を有する強相関酸化物において特異な電子磁気物性を解明することは、将来の量子デバイスの材料開拓にもつながる。本課題では遷移金属酸化物でも理解の遅れているコバルト酸化物に着目し、そのスピン状態自由度を磁場でコントロールすることでその物性解明、新奇状態の実現を目的とした。非自明であった強磁場相ではスピン状態が磁氣的に局在的な相であることを見いだした。電子的には遍歴的であると考えられている物質で、磁氣的に局在的な相が存在することは興味深く、非従来の材料であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We have carried out a study to clarify the origin of the high-magnetic field induced phases of LaCoO₃. It has been found that there are two novel phases up above 100 T region. The candidate for the novel phases are the crystallizations of spin-state degree of freedom (SSC: Spin-state crystal) and the Bose-Einstein condensation of spin-state degree of freedom (EC: Excitonic condensation). We have developed a magnetostriction measurement system for up above 100 T region utilizing the fiber Bragg grating strain gauge and implementing a very high-speed 100 Mhz detection system.

We carried out a series of magnetostriction measurement of LaCoO₃. We observed magnetostriction plateaux for both of the two novel phases. We concluded that the two novel phases are both originating in SSCs rather than EC.

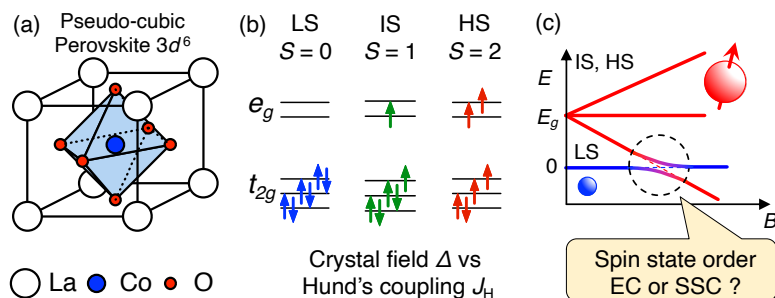
研究分野：固体物性、強磁場

キーワード：コバルト酸化物 励起子凝縮 強相関 強磁場 磁歪 ファイバーブラッググレーティング

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究課題では、これまでの研究によって明らかになっていたコバルト酸化物 LaCoO_3 における超強磁場誘起新規相の起源を探ることが目的であった。超強磁場中に 2 つの異なる相があることまでは明らかになっていた。しかし、従来の磁化計測ではこれらの 2 つの相の区別がつかないことが問題であった。理論的な議論もいくつかのグループで進められており、これらの磁場誘起相の起源として、スピン状態の空間的な結晶化による「スピン状態結晶状態」やスピン状態のボーズ凝縮に対応する「励起子凝縮状態」が候補としてあげられていた。これら興味のある相が LaCoO_3 で実現しているのか、が問題であった。



2. 研究の目的

本研究課題では、これまでの研究によって明らかになっていたコバルト酸化物 LaCoO_3 における超強磁場誘起新規相の起源を探ることである。これにより、遷移金属酸化物の強相関物性の理解を進展させ、機能物性の探索などにも資する。

3. 研究の方法

従来われわれが行っていた超 100 テスラ領域における磁化測定では、あまり違いが現れなかった。本課題ではスピン状態の新たなプローブとして磁歪を用いることを着想し、100 テスラ領域で使用可能な磁歪プローブを開拓した。ここではファイバースラッググレーティングを用いたひずみ計測技術を応用し、その計測スピードを従来比 2000 倍の 100 メガヘルツまで高めることで、マイクロ秒の短時間しか発生できない 100 テスラ級強磁場中での磁歪計測を実現した。このためには光フィルター法という検出方法を考案して実装した。

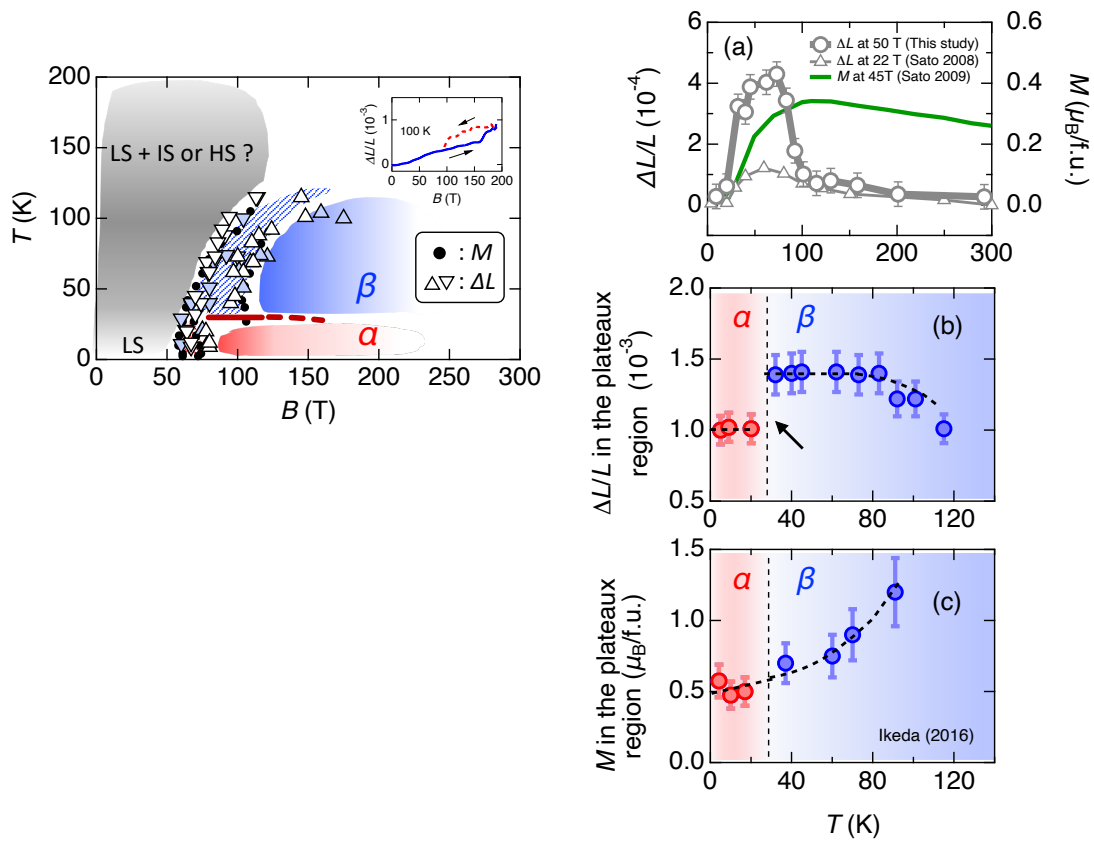
同時に物性研 1000 テスラ計画の進捗から、電磁濃縮法を用いてさらに一桁強い磁場中での物性探索が可能になってきた。懸案となっている 2 つの相だけでなく、さらに強い磁場中でのしんきそう探索も行った。

4. 研究成果

本課題で開拓した磁歪計測技術を応用し、コバルト酸化物 LaCoO_3 の超強磁場中磁歪計測を行った結果、超強磁場中に 2 つの異なる相はどちらも磁歪のプラトーを示すことが明らかになった。ここから、 LaCoO_3 の 2 つの超強磁場相は「スピン状態結晶状態」のバリエーションであると考えられるようになった。

5 ケルビンにおいて 500 テスラまでの磁歪計測を行った結果、再現性のある相転移の兆候は発見されなかった。これはさらに強い相互作用によって 2 つの超強磁場相が保護されていることを示している。今後は 200 ケルビンまでの広い温度範囲で電磁濃縮中の磁歪計測を継続する必要がある。これにより相図の全貌が解明され、 LaCoO_3 における相関電子物性が解明できると考えられる。

下記に新たな相図を示す。



左図が新たに得られた超強磁場相図である。右図は従来の磁化測定と、今回の磁歪計測の違いである。 α 相と β 相の違いが磁歪プラトーの高さの違いとして現れたことから、これらの相は起源の異なるスピン状態結晶相であると結論づけた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Terashima Taku T., Matsuda Yasuhiro H., Kohama Yoshimitsu, Ikeda Akihiko, Kondo Akihiro, Kindo Koichi, Iga Fumitoshi	4. 巻 120
2. 論文標題 Magnetic-Field-Induced Kondo Metal Realized in YbB12	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 257206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.120.257206	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ikeda Akihiko, Matsuda Yasuhiro H., Tsuda Hiroshi	4. 巻 89
2. 論文標題 Note: Optical filter method for high-resolution magnetostriction measurement using fiber Bragg grating under millisecond-pulsed high magnetic fields at cryogenic temperatures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 096103 ~ 096103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5034035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakamura D., Ikeda A., Sawabe H., Matsuda Y. H., Takeyama S.	4. 巻 89
2. 論文標題 Record indoor magnetic field of 1200 T generated by electromagnetic flux-compression	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 095106 ~ 095106
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5044557	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ikeda Akihiko, Furukawa Shunsuke, Janson Oleg, Matsuda Yasuhiro H., Takeyama Shojiro, Yajima Takeshi, Hiroi Zenji, Ishikawa Hajime	4. 巻 99
2. 論文標題 Magnetoelastic couplings in the deformed kagome quantum spin lattice of volborthite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 140412
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1103/PhysRevB.99.140412	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ikeda Akihiko, Nomura Toshihiro, Matsuda Yasuhiro H., Tani Shuntaro, Kobayashi Yohei, Watanabe Hiroshi, Sato Keisuke	4. 巻 536
2. 論文標題 100 MHz high-speed strain monitor using fiber Bragg grating and optical filter applied for magnetostriction measurements of cobaltite at magnetic fields beyond 100 T	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 847 ~ 849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.09.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 池田 暁彦、松田 康弘	4. 巻 73
2. 論文標題 コインに磁場をかけると、どうなる？	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 318 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11316/butsuri.73.5_318	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kohama Yoshimitsu, Nabeshima Fuyuki, Maeda Atsutaka, Ikeda Akihiko, Matsuda Yasuhiro H.	4. 巻 91
2. 論文標題 Direct measurement of resistivity in destructive pulsed magnetic fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 033901 ~ 033901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5127773	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsuda Yasuhiro H., Shimizu Ayumi, Ikeda Akihiko, Nomura Toshihiro, Yajima Takeshi, Inami Toshiya, Takahashi Kohki, Kobayashi Tatsuo C.	4. 巻 100
2. 論文標題 High magnetic field x-ray diffraction study of the phase of solid oxygen: Absence of giant magnetostriction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.214105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----