

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年6月2日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03690

研究課題名(和文)テラヘルツFT-ESR分光法による磁場誘起量子臨界現象の解明

研究課題名(英文) Study of magnetic-field induced spin dynamics using the terahertz FT-ESR spectroscopy

研究代表者

河本 敏郎 (KOHMOTO, Toshiro)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号：70192573

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：超短光パルスレーザーと気体プラズマを用いた広帯域テラヘルツパルス光源を製作し、光学測定用超伝導マグネットと試料用冷凍機を組み込んだ温度可変・磁場可変の広帯域テラヘルツFT-ESR分光装置を製作した。この分光システムを用いて、テラヘルツ領域にマグノン共鳴をもつ反強磁性体、電気磁気効果を示す磁性体、磁性と強誘電性が共存するマルチフェロイック物質等の磁性体において、テラヘルツFT-ESR分光測定を行った。これまで測定が困難であった広帯域磁気励起スペクトルの詳細や超高速磁気励起ダイナミクスの観測を行い、種々の興味ある磁場誘起量子現象の特性の解明を試みた。

研究成果の概要(英文)：We developed a terahertz Fourier-transform electron-spin-resonance (FT-ESR) spectrometer system using a broadband terahertz pulse source generated by femtosecond optical pulses and air plasma, a superconducting magnet, and a temperature-controlled refrigerator. We applied it to study the spin and magnon dynamics in transition-metal complex, antiferromagnets, magnetoelectric materials, and a multiferroics.

研究分野：レーザー分光学，磁気共鳴

キーワード：テラヘルツ 磁気共鳴 磁性

1. 研究開始当初の背景

(1) 低温でも磁気秩序を持たない1次元 $S=1/2$ 反強磁性体や、フラストレーションにより磁気秩序の形成が抑制される三角形ベースの格子を持つ磁性体では、量子効果を反映した新奇な磁気状態の実現が期待され、量子スピン系と呼ばれる。量子スピン系の詳細な理解は、高温超伝導のメカニズム研究、電流不要の低損失スピントロニクス構築、量子情報制御の基盤形成、等において新たな指針を提供すると期待されている。近年、量子スピン系の種々のモデル物質が開拓され、量子スピン系における興味ある量子臨界現象が報告され、多くの注目を集めている。

(2) 量子スピン系の探索と基底状態解明の研究はこれまで長年にわたって行われてきた。中性子散乱法や電子スピン共鳴(ESR)法による研究が大きな成果を残してきたが、スピン液体状態や巨視的縮退を持つ基底状態の本質は、実験的にも理論的にもまだまだ未解明である。本研究で導入するテラヘルツフーリエ変換(FT)-ESR分光法は、広帯域周波数スペクトルの一括取得と超高速磁気励起ダイナミクスの同時観測を可能にする広帯域・超高速の磁気共鳴分光法である。大きなスピンギャップや短寿命の磁気励起に対しても対応でき、従来の磁気共鳴分光法にはない新しい側面から磁場誘起量子臨界現象の解明を進展させる可能性を持っている。

2. 研究の目的

(1) フェムト秒レーザー光と気体プラズマを用いた広帯域テラヘルツパルス電磁波の発生、および非線形結晶の光整流による透過テラヘルツ波形の検出とフーリエ解析を利用した、温度可変・磁場可変のテラヘルツFT-ESR分光装置を製作する。この装置は高時間分解能で広周波数帯域をもつため、大きなスピンギャップや短寿命の磁気励起にも対応でき、種々の興味あるスピン系での高磁場・広帯域・超高速の磁気共鳴測定を可能にする。

(2) テラヘルツFT-ESR分光法を量子スピン系物質、電気磁気効果物質、マルチフェロイック物質等に適用し、時間領域分光法の利点を生かして、これまで観測が困難であった広帯域磁気励起スペクトルの一括取得と超高速磁気励起ダイナミクスの同時観測を実現し、磁性体における磁場誘起量子現象の解明に対する新たな展開を開拓する。

3. 研究の方法

(1) 気体プラズマの非線形効果を用いた広帯域テラヘルツパルス光源とテラヘルツ電磁波検出器を製作し、光学測定用超伝導マグネットを組み込んだ温度可変・磁場可変のテラヘルツFT-ESR分光装置を製作した。

(2) テラヘルツ領域にマグノン共鳴をもつ反強磁性体、電気磁気効果を示す磁性体、磁

性と強誘電性が共存するマルチフェロイック物質等の磁性体において、テラヘルツFT-ESR分光測定を行った。これまで測定が困難であった広帯域磁気励起スペクトルの詳細や超高速磁気励起ダイナミクスの観測を行い、種々の興味ある磁場誘起量子現象の特性の解明を試みた。

4. 研究成果

(1) 広帯域テラヘルツパルス光源の製作
テラヘルツパルス発生にはZeTe結晶が広く使われているが、位相不整合や吸収帯の存在によって帯域が制限される。本研究では、最近注目されている気体プラズマの非線形効果を利用した広帯域のテラヘルツパルス光源を製作した。テラヘルツ生成光には既存のフェムト秒レーザー再生増幅システムの出力(800nm, 150fs, 1mJ)を利用している。非線形結晶(BBO結晶, 100 μ m)によって第二高調波(400nm)を発生させ、これを基本波(800nm)と合わせて空気中に集光することによってプラズマを誘起し、広帯域のモノサイクルテラヘルツ電磁波を発生させることができる。

テラヘルツパルス光源の交換に伴い、放出面ミラーを使ったTHz光学系を組み直した。ZeTe非線形結晶の光整流を利用したE0サンプリング法を用いて、試料透過後のTHz電磁波の超高速時間発展をサンプリングした。得られた時間波形のフーリエ解析から、試料のTHz-ESR過渡吸収スペクトルが得られる。

(2) 高磁場広帯域テラヘルツFT-ESR分光装置の製作

テラヘルツ電磁波発生・検出系に試料冷却用の極低温冷凍機と磁場印加用の光学測定用超伝導マグネットを組み込み、温度可変・磁場可変の高磁場広帯域テラヘルツFT-ESR分光装置を製作した。空気中の水分子による吸収を取り除くため、装置全体を乾燥空気生成装置でパージした。同期させた光チョッパーでTHz生成光をショット毎にオンオフし、ロックインアンプを用いた高感度検出を行った。サンプリング光の入出力をサンプル&ホールドして除算規格化する回路を製作し、検出感度の向上をはかった。また、光遅延制御とFFT変換処理を行う自動制御処理システムを製作した。

(3) テラヘルツ反強磁性マグノンの観測

反強磁性体NiO(ネール温度 $T_N=523$ K)において、テラヘルツFT-ESR法を適用し、マグノンによる反強磁性共鳴吸収を観測した。共鳴周波数の温度依存性は分子場理論を用いてよく説明することができた。ネール温度付近で観測された緩和速度の急増は、長距離秩序の消滅で説明できる。

また、NiOにおいて磁場中におけるポンプ・プローブ法の実験を行い、マグノン周波数と緩和の磁場依存性を測定した。印加磁場が増加するにしたがってマグノン周波数(～

1THz)が高周波側へシフトしていく振る舞いが観測された。この振る舞いは、単純な二軸性反強磁性体における磁化振動の磁場依存性でよく説明できることが分かった。

(4) 反強磁性体の磁気歪みの観測

反強磁性体 CoO (ネール温度 $T_N=293\text{K}$) において、テラヘルツ電磁波の伝播時間の変化から屈折率を求めた。ネール温度付近における格子の寄与からのずれは磁気歪みの寄与であることを明らかにした。

(5) テラヘルツ電磁波検出器の広帯域化と安定化

テラヘルツ電磁波の発生には気体プラズマの非線形効果を利用して広帯域のテラヘルツパルス光源を製作したが、テラヘルツ電磁波波形の検出については、 ZnTe 非線形結晶の光整流を利用した E0 サンプリング法を用いた検出を行ってきた。システムの広帯域化のために、テラヘルツ電磁波の発生だけでなく検出にも気体プラズマの非線形効果を導入した。その結果、テラヘルツ電磁波波形測定装置の帯域を 2.5THz から 7THz に広げることができた。

しかしながら、テラヘルツ波の発生・検出は十分安定とは言えず、精度の高い測定は困難であった。そこで安定性の向上を目指して、放物面ミラーとレンズの短焦点化、光検出器(光電子増倍管)ハウジングの簡素化、光路の縮小による水蒸気吸収の除去、等のいくつかの改良を行った結果、検出器の高感度化と安定化に改善が得られた。

(6) 高周波マグノンの観測

光学測定用超伝導マグネットを組み込んだ温度可変・磁場可変の高磁場広帯域テラヘルツ分光装置を用いて、反強磁性体酸化コバルト (CoO , $T_N=293\text{K}$) において、マグノンによる反強磁性共鳴(低温で 4.4THz)の観測を試みた。S/N は向上したが、高周波側にあるフォノン吸収線の影響を受けたためか、試料を透過したテラヘルツ電磁波の振幅が減衰してしまった。その結果、マグノンが期待される 4THz 近傍のスペクトル強度が小さくなってしまい、マグノン吸収の信号は確認できなかった。

(7) 電気磁気効果の観測

温度可変・磁場可変の高磁場分光装置を用いて、反強磁性体酸化クロム (Cr_2O_3) およびフェリ磁性体 イットリウム鉄ガーネット (YIG, $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) における電気磁気効果を観測し、電場・磁場誘起臨界現象を解明する研究を行った。プローブ光のファラデー回転を利用して外部電場によって誘起される磁化(電場誘起磁化)のダイナミクスを測定した結果、酸化クロムでは、ナノ秒領域では電場に比例する 1 次の電気磁気効果、ミリ秒領域では電場の 2 乗に比例する 2 次の電気磁気効果が観測された。また、イットリウム鉄ガーネット

のミリ秒領域では、液体ヘリウム温度で観測された 1 次の電気磁気効果が室温に向けた温度上昇とともに 2 次の電気磁気効果に移り変わっていくことが明らかになった。

(7) マルチフェロイック物質のポンプ-プローブ分光

2 つの転移点 ($T_{N1}=213\text{K}$, $T_{N2}=230\text{K}$) をもち、マルチフェロイック物質である酸化銅 (CuO) において、ポンプ-プローブ法を用いた反射による偏光分光の実験を行った。直線偏光のポンプ光により生成された光誘起格子歪みの緩和の様子を観測して緩和時間の温度依存性を求めた結果、 T_{N1} では転移点に向かって緩和時間が短くなっていく振る舞い、 T_{N2} では逆に転移点に向かって緩和時間が長くなっていく振る舞いが観測された。この結果は、 T_{N1} と T_{N2} の相転移は異なる機構をもち、 T_{N1} では変位型の相転移、 T_{N2} では秩序・無秩序型の相転移が起こっている可能性を示唆している。

5. 主な発表論文等

(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 16 件)

T. Kohmoto, T. Moriyasu, S. Wakabayashi, H. Jinn, M. Takahara, and K. Kakita, "Observation of Ultrafast Magnon Dynamics in Antiferromagnetic Nickel Oxide by Optical Pump-Probe and Terahertz Time-Domain Spectroscopies", *J. Infrared Milli. Terahz. Waves*, 査読有, 39, 77-92 (2017).

DOI: 10.1007/s10762-017-0442-6
蓮沼貴史, 藤本恵輔, 河本敏郎, 「YIG における電場誘起磁化」, 光物性研究会論文集, 査読無, 28, 291-294 (2017).

<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HIKARI/2017/index.html>

疋田峻, 谷口弘樹, 河本敏郎, 「反強磁性体 Cr_2O_3 における電場誘起磁化のダイナミクス」, 光物性研究会論文集, 査読無, 28, 151-154 (2017).

<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HIKARI/2017/index.html>

守安毅, 笹島秀樹, 河本敏郎, 北原英明, 谷正彦, 熊倉光孝, 「光励起したシリコンにおけるテラヘルツパルスの伝播」, 電子情報通信学会技術研究報告(信学技報), 査読無, vol.117, no.61, LQE2017-11, pp.45-48. ISSN 0913-5685

T. Moriyasu and T. Kohmoto, "The Observation of Ultrafast Magnon Dynamics in Antiferromagnets NiO and MnO by Pump-Probe and Terahertz Time-Domain Spectroscopies", in *Advances in Materials Science Research* 28, edited by M. C. Wythers (Nova

Science, 2017) 査読無, pp.69-92.
https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=61038

立松雅大, 川本憲生, 河本敏郎, 「Pump-Probe法によるNiOにおける反強磁性共鳴の磁場依存性の測定」, 光物性研究会論文集, 査読無, 27, 271-274 (2016).

<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2016/index.html>

蓮沼貴史, 河本敏郎, 「YIGにおける電場誘起磁化」, 光物性研究会論文集, 査読無, 27, 115-118 (2016).

<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2016/index.html>

新海貴大, 疋田峻, 守安毅, 河本敏郎, 「反強磁性体Cr₂O₃における電場誘起磁化のダイナミクス」, 光物性研究会論文集 27, 査読無, 111-114 (2016).

<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2016/index.html>

守安毅, 河本敏郎, 「テラヘルツ時間領域分光による反強磁性体の磁気秩序と内部エネルギーの温度依存性の測定」, 光アライアンス, 査読無, 27, 49-53 (2016).

http://www.nikko-pb.co.jp/products/detail.php?product_id=3941

T. Kohmoto, Y. Sawada, X. Zheng, and T. Moriyasu, "Critical Behavior of Relaxational Lattice Modes in Multiferroic Cupric Oxide", Proc. 20th Int. Conf. on Ultrafast Phenomena (Santa Fe, July 2016), 査読有, UTu4A.4.

DOI: 10.1364/UP.2016.UTu4A.4

南部正裕, 守安毅, 河本敏郎, 「テラヘルツ時間領域分光法を用いたSiの光励起キャリアダイナミクス」, 光物性研究会論文集, 査読無, 26, 239-242 (2015).

<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2015/index.html>

南部正裕, 守安毅, 河本敏郎, 「テラヘルツ時間領域分光法を用いたSiの光励起キャリアダイナミクス」, 光物性研究会論文集, 査読無, 26, 239-242 (2015).

<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2015/index.html>

立松雅大, 守安毅, 岸本秀隆, 河本敏郎, 「テラヘルツ時間領域分光法によるCoOの内部エネルギー-温度依存性の測定」, 光物性研究会論文集, 査読無, 26, 235-238 (2015).

<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2015/index.html>

新海貴大, 鈴木崇平, 守安毅, 河本敏郎, 「反強磁性体Cr₂O₃における電場誘起磁化」, 光物性研究会論文集, 査読無, 26, 127-130 (2015).

T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T.

Kohmoto, "Ultrafast spin dynamics in an antiferromagnet NiO observed in pump-probe and terahertz experiments", *Ultrafast Phenomena XIX*, edited by K. Yamanouchi et al. (Springer, Berlin, 2015), 査読有, pp.653-657.

DOI: 10.1007/978-3-319-13242-6_161

T. Nishimoto, T. Moriyasu, and T. Kohmoto, "Magnetically induced lattice dynamics in a magnetoelectric antiferromagnet Cr₂O₃", *Ultrafast Phenomena XIX*, edited by K. Yamanouchi et al. (Springer, Berlin, 2015), 査読有, pp.257-259.

DOI: 10.1007/978-3-319-13242-6_62

[学会発表](計47件)

谷口弘樹, 疋田峻, 河本敏郎, 「反強磁性体酸化クロムにおける電場誘起磁化のダイナミクス」, 日本物理学会第73回年次大会, 2018.3.22, 東京理科大学(千葉県) 藤本恵輔, 蓮沼貴史, 河本敏郎, 「YIGにおける電場誘起磁化」, 日本物理学会第73回年次大会, 2018.3.22, 東京理科大学(千葉県)

笠島秀樹, 笠島裕太, ジェシカ・アファリヤ, 守安毅, 谷正彦, 北原英明, 河本敏郎, 熊倉光孝, 「シリコンにおける透過テラヘルツ波形に対する光励起の影響」, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 2018.3.19, 早稲田大学(東京都)

蓮沼貴史, 藤本恵輔, 河本敏郎, 「YIGにおける電場誘起磁化」, 第28回光物性研究会, 2017.12.8, 京都大学(京都府)

疋田峻, 谷口弘樹, 河本敏郎, 「反強磁性体Cr₂O₃における電場誘起磁化のダイナミクス」, 第28回光物性研究会, 2017.12.8, 京都大学(京都府)

疋田峻, 谷口弘樹, 河本敏郎, 「反強磁性体酸化クロムにおける電場誘起磁化のダイナミクス」, 第22回スピン工学の基礎と応用, 2017.12.4, 大阪大学(大阪府)

笠島秀樹, 笠島裕太, ジェシカ・アファリヤ, 守安毅, 谷正彦, 北原英明, 河本敏郎, 熊倉光孝, 「光励起したシリコンにおける透過テラヘルツ電場波形のピークシフト」, 2017年度日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2017.12.2, 福井大学(福井県)

河本敏郎, 「酸化物磁性体における電場誘起磁化のダイナミクス」, 第5回豊田理研ワークショップ「スピン秩序の動的制御」, 2017.10.20, トヨタ産業技術記念館(愛知県)(招待講演)

蓮沼貴史, 河本敏郎, 「YIGにおける電場誘起磁化」, 第5回豊田理研ワークショップ「スピン秩序の動的制御」, 2017.10.20, トヨタ産業技術記念館(愛知県)

疋田峻, 新海貴大, 河本敏郎, 「反強磁性体酸化クロムにおける電場誘起磁化のダイナミクス」, 第5回豊田理研ワークショップ「スピン秩序の動的制御」, 2017.10.20, トヨタ産業技術記念館 (愛知県)

T. Hasunuma and T. Kohmoto, "Dynamics of the electric-field induced magnetization in YIG observed by Faraday rotation", 9th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology, 2017.6.7, 福岡国際会議場 (福岡県).

K. Kawamoto, M. Tatematsu, and T. Kohmoto, "Magnetic-field dependence of the coherent magnons in an antiferromagnet NiO", 9th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology, 2017.6.7, 福岡国際会議場 (福岡県).

R. Hikita, T. Shinkai, and T. Kohmoto, "Dynamics of the electric-field induced magnetization in antiferromagnetic chromium oxide: Faraday rotation measurement", 9th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology, 2017.6.7, 福岡国際会議場 (福岡県).

守安毅, 笹島秀樹, 河本敏郎, 北原英明, 谷正彦, 熊倉光孝, 「光励起したシリコンにおけるテラヘルツパルスの伝播」, レーザー学会第505回研究会, 2017.5.26, 山代温泉葉渡莉 (石川県)

川本憲生, 立松雅大, 河本敏郎, 「反強磁性体NiOにおけるコヒーレントマグノンの磁場依存性」, 平成29年度日本分光学会年次講演会, 2017.5.23, 早稲田大学 (東京都)

疋田峻, 新海貴大, 河本敏郎, 「反強磁性体酸化クロムにおける電場誘起磁化」, 平成29年度日本分光学会年次講演会, 2017.5.23, 早稲田大学 (東京都)

蓮沼貴史, 河本敏郎, 「YIGにおける電場誘起磁化」, 平成29年度日本分光学会年次講演会, 2017.5.23, 早稲田大学 (東京都)

立松雅大, 川本憲生, 河本敏郎, 「反強磁性体NiOにおけるコヒーレントマグノンの磁場依存性」, 日本物理学会第72回年次大会, 2017.3.19, 大阪大学 (大阪府)

新海貴大, 疋田峻, 河本敏郎, 「反強磁性体Cr₂O₃における電場誘起磁化のダイナミクス」, 日本物理学会第72回年次大会, 2017.3.19, 大阪大学 (大阪府)

蓮沼貴史, 丸山圭, 河本敏郎, 「YIGにおける電場誘起磁化」, 日本物理学会第72回年次大会, 2017.3.18, 大阪大学 (大阪府)

21 T. Kohmoto and T. Moriyasu, "Observation of ultrafast spin dynamics in antiferromagnetic transition metal oxides by pump-probe and terahertz spectroscopies", Molecular Photoscience Research Center Int. Symp. on Recent Advances in Terahertz Molecular Science, 2017.3.10, 神戸大学 (兵庫県) (invited).

22 立松雅大, 川本憲生, 河本敏郎, Pump-Probe法によるNiOにおける反強磁性共鳴の磁場依存性の測定, 第27回光物性研究会, 2016.12.3, 神戸大学 (兵庫県)

23 蓮沼貴史, 河本敏郎, YIGにおける電場誘起磁化, 第27回光物性研究会, 2016.12.2, 神戸大学 (兵庫県)

24 新海貴大, 疋田峻, 守安毅, 河本敏郎, 反強磁性体Cr₂O₃における電場誘起磁化のダイナミクス, 第27回光物性研究会, 2016.12.2, 神戸大学 (兵庫県)

25 T. Shinkai, T. Moriyasu, and T. Kohmoto, "Dynamics of the Electric-Field Induced Magnetization in Antiferromagnetic Chromium Oxide Measured by Faraday Rotation", 9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids, 2016.8.10. 神戸国際会議場 (兵庫県).

26 T. Kohmoto, Y. Sawada, X. Zheng, and T. Moriyasu, "Optically Induced Ultrafast Lattice Dynamics in Multiferroic Cupric Oxide", 9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids, 2016.8.8. 神戸国際会議場 (兵庫県).

27 M. Tatematsu, T. Moriyasu, and T. Kohmoto, "Internal Energy in Cobalt Oxide Observed by THz-TDS", 9th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Solids, 2016.8.8. 神戸国際会議場 (兵庫県).

28 T. Kohmoto, Y. Sawada, X. Zheng, and T. Moriyasu, "Critical Behavior of Relaxational Lattice Modes in Multiferroic Cupric Oxide", 20th Int. Conf. on Ultrafast Phenomena, 2016.7.19, Santa Fe, (米国).

29 T. Kohmoto, Y. Sawada, X. Zheng, and T. Moriyasu, "Ultrafast Lattice Dynamics in Multiferroic Cupric Oxide", Int. Conf. on Low-Energy Electrodynamics in Solids, 2016.5.31, ラフォーレ琵琶湖 (滋賀県).

30 T. Shinkai, S. Suzuki, T. Moriyasu, and T. Kohmoto, "Electric-Field Induced Magnetization in Antiferromagnetic

- Chromium Oxide”, Int. Conf. on Low-Energy Electrodynamics in Solids, 2016.5.31, ラフォーレ琵琶湖 (滋賀県).
- 31 T. Moriyasu, M. Nambu, and T. Kohmoto, “Observation of Negative Pulse Delay in Photo-Excited Silicon by THz-TDS”, Int. Conf. on Low-Energy Electrodynamics in Solids, 2016.5.30, ラフォーレ琵琶湖 (滋賀県).
- 32 M. Tatematsu, T. Moriyasu, H. Kishimoto, and T. Kohmoto, “Lattice and Magnetostrictive Contributions to the Internal Energy in Cobalt Oxide Observed by THz-TDS”, Int. Conf. on Low-Energy Electrodynamics in Solids, 2016.5.30, ラフォーレ琵琶湖 (滋賀県).
- 33 立松雅大, 守安毅, 岸本秀隆, 河本敏郎, 「テラヘルツ時間領域分光によるCoOの内部エネルギー温度依存性の測定」, 日本物理学会第71回年次大会, 2016.3.21, 東北学院大学 (宮城県)
- 34 新海貴大, 鈴木崇平, 守安毅, 河本敏郎, 「反強磁性体Cr₂O₃における電場誘起磁化」, 日本物理学会第71回年次大会, 2016.3.21, 東北学院大学 (宮城県)
- 35 南部正裕, 守安毅, 河本敏郎, 「光励起したシリコンにおけるテラヘルツパルスの伝播」, 日本物理学会第71回年次大会, 2016.3.21, 東北学院大学 (宮城県)
- 36 澤田幸宏, 守安毅, 鄭旭光, 河本敏郎, 「CuOにおける超高速格子ダイナミクス」, 日本物理学会第71回年次大会, 2016.3.21, 東北学院大学 (宮城県)
- 37 守安毅, 河本敏郎, 「テラヘルツ波を用いたCaF₂とSiにおける内部エネルギーの温度依存性の測定」, 日本物理学会第71回年次大会, 2016.3.21, 東北学院大学 (宮城県)
- 38 南部正裕, 守安毅, 河本敏郎, 「THz-TDSを用いたSiの光励起キャリアダイナミクス」, 若手フロンティア研究会, 2015.12.25, 神戸大学 (兵庫県)
- 39 立松雅大, 守安毅, 岸本秀隆, 河本敏郎, 「テラヘルツ時間領域分光法によるCoOの内部エネルギー温度依存性の測定」, 若手フロンティア研究会, 2015.12.25, 神戸大学 (兵庫県)
- 40 新海貴大, 鈴木崇平, 守安毅, 河本敏郎, 「反強磁性体Cr₂O₃における電場誘起磁化」, 若手フロンティア研究会, 2015.12.25, 神戸大学 (兵庫県)
- 41 南部正裕, 守安毅, 河本敏郎, 「テラヘルツ時間領域分光法を用いたSiの光励起キャリアダイナミクス」, 第26回光物性研究会, 2015.12.12, 神戸大学 (兵庫県)
- 42 立松雅大, 守安毅, 岸本秀隆, 河本敏郎, 「テラヘルツ時間領域分光法によるCoOの内部エネルギー温度依存性の測定」, 第26回光物性研究会, 2015.12.12, 神戸大学 (兵庫県)
- 43 新海貴大, 鈴木崇平, 守安毅, 河本敏郎, 「反強磁性体Cr₂O₃における電場誘起磁化」, 第26回光物性研究会, 2015.12.11, 神戸大学 (兵庫県)
- 44 河本敏郎, 「光パルスで探るスピンと格子の超高速ダイナミクス」, 物理学専攻物性セミナー, 2015.11.6, 神戸大学 (兵庫県)
- 45 T. Kohmoto, “Spin dynamics in transition metal oxides observed by pump-probe and terahertz spectroscopies”, Mini-Symp. on Application of THz Spectroscopy on Condensed Phases, 2015.9.29, 神戸大学 (兵庫県) (invited).
- 46 立松雅大, 澤田幸宏, 守安毅, 河本敏郎, 「THz-TDSを用いた結晶における内部エネルギーの温度依存性測定」, 日本分光学会年次講演会, 2015.6.3, 東京工業大学 (東京都)
- 47 新海貴大, 西本友久, 守安毅, 河本敏郎, 「反強磁性体酸化クロムにおける電気磁気効果」, 日本分光学会年次講演会 2015.6.1, 東京工業大学 (東京都)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.phys.sci.kobe-u.ac.jp/faculty/kohmoto.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河本 敏郎 (KOHMOTO, Toshiro)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号: 70192573

(4) 研究協力者

守安 毅 (MORIYASU, Takeshi)

神戸大学・理学研究科・学術研究員