

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24655016

研究課題名(和文)フェムト秒和周波量子ビート法の開発と励起スピン系機能物質の解明

研究課題名(英文)Study of dynamic spin systems using the femtosecond sum-frequency quantum beats

研究代表者

河本 敏郎 (KOHMOTO, Toshiro)

神戸大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70192573

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):フェムト秒光パルス励起とプローブ偏光検出や和周波発生発光検出を利用した純光学的な超高速・超広帯域の磁気共鳴法を開発し、電子スピンの振る舞いの種々の機能性の発現メカニズムの解明を試みた。結晶中の希土類イオンにおいて、光誘起量子ビート信号や光誘起スピンエコー信号を観測し、スピンコヒーレンスの超高速光制御の可能性を示した。遷移金属錯体の励起三重項状態において、超高速スピン緩和を観測した。マルチフェロイック物質において、スピンの光誘起量子ビートと強誘電性超高速格子緩和を観測した。また、電気磁気効果発現物質において、磁気誘起格子緩和と電場誘起磁化のダイナミクスを明らかにした。

研究成果の概要(英文): We developed an all-optical ultrafast magnetic-resonance method with using femtosecond optical pulses, achieved high time resolution and broad-band response, and applied it to the study of the ultrafast magnetic phenomena in excited spin systems and antiferromagnetic materials. We observed the optically induced spin precession and spin echoes to demonstrate the optical manipulation of spin coherence in rare-earth ions in crystals, the ultrafast spin relaxation in the excited triplet state of a transition-metal complex, the optically induced spin precession and ultrafast ferroelectric lattice relaxation in a multiferroic material, and the dynamics of magnetically induced lattice relaxation and electric-field induced magnetization in a magnetoelectric material.

研究分野: レーザー光学, 磁気共鳴

キーワード: スピン レーザー

1. 研究開始当初の背景

(1) 電子スピン共鳴(ESR)法は、物質中の電子状態や構造などを調べる有力な手段であり、様々な分野でその有用性を発揮してきた。光機能物質や生命機能物質の発現機構には励起スピン系が重要な役割をもつものが多い。それらの解明のためには過渡的な超高速 ESR 測定が望まれる。多くの場合常温での測定が重要であるが、従来の ESR 法では時間分解能の点で限界があり、極めて興味深いにもかかわらず未開拓のままになっている。

(2) 関連する国内・国外の研究動向：本研究で開発する純光学的磁気共鳴法は、緩和時間が極めて短い励起スピン系においても ESR 測定を可能にする。フェムト秒和周波発生を磁気共鳴検出に応用する試みは我々独自の着想であり、これまで国内・国外を通じて報告された例がない。

(3) これまでの研究・着想への経緯：研究代表者は、これまで磁気共鳴分光学的視点及びレーザー分光学的視点の2つの視点からスピンドYNAMIKSの研究を行ってきており、磁気共鳴分光技術と超高速レーザー分光技術の両方に精通している。本研究は、物理学的視点から培ってきた経験と実績を生かして超高帯域の純光学的磁気共鳴法を開発し、化学と物理学の境界領域である光スピン科学の分野に融合させ、励起スピン系における機能性発現機構の解明への新たな展開に取り組むものである。

2. 研究の目的

フェムト秒光パルス励起とプローブ偏光検出や和周波発生検出を利用した純光学的な超高速・超広帯域の磁気共鳴法を開発する。この方法を光機能物質、有機 EL 材料などの励起スピン系機能物質やマルチフェロイック物質や電気磁気効果発現物質などの反強磁性スピン系に適用して、従来の方法では観測できなかった短寿命励起状態や高ゼロ磁場分裂状態における超高速スピンドYNAMIKSを明らかにし、電子スピンの操る種々の機能性の発現メカニズム解明を目指す。

3. 研究の方法

(1) スピン光制御検出システムを製作し、結晶中の希土類イオンにおける基底状態の光誘起量子ビート信号や光誘起スピンエコー信号を観測し、スピニコヒーレンスの超高速光制御の可能性を示す。

(2) 光パルス励起和周波検出量子ビート分光装置を製作し、励起スピン系において発光強度の高速測定を行い、高速スピン・格子緩和と量子ビート信号の観測を試みる。

遷移金属錯体において、一重項状態の励起と、続く項間交差による励起三重項状態への選択的瞬間的励起によって生成されたスピ

ニコヒーレンスを、光パルス励起・和周波検出量子ビート分光法を用いて発光の超高速量子ビート(自由誘導減衰)として検出する。量子ビート信号をフーリエ変換することにより磁気共鳴スペクトルが得られる。遷移金属錯体において、光パルス励起・和周波検出量子ビート分光法のデモ実験を行い、ゼロ磁場分裂、超高速スピン緩和等の観測が可能であることを示す。

(3) 光パルス励起量子ビート分光法および光誘起検出磁気共鳴分光法を、励起スピン系機能物質、マルチフェロイック物質、電気磁気効果発現物質などスピン系に適用する。従来の方法では観測できなかった短寿命励起状態や高ゼロ磁場分裂状態における超高速スピンドYNAMIKSの観測を試みる。

4. 研究成果

(1) 光誘起スピニコヒーレンスの観測

スピン光制御検出システムの製作

電子スピンの状態を偏光の変化として光学的に検出する高精度・高感度な検出器ポラリメーターを製作した。プローブ光を偏光ビームスプリッターで分けて2つのフォトダイオードで受け、それらの光電流の差をとることにより、微小ファラデー回転角の検出が可能になる。ポラリメーターにより電子スピンの磁化の大きさと向きに関する情報が得られる。

フェムト秒パルスレーザーを利用した2波長可変ポンプ-プローブ光源を構築し、光学ディレイラインを組んでプローブ光を遅延させて、時間分解能100フェムト秒のスピン光制御検出システムを製作した。ポンプ光の偏光を光弾性変調器でスイッチし、ロックインアンプを用いた高感度な量子ビート検出が可能になった。

結晶中の希土類イオンにおけるスピニコヒーレンスの観測

可視領域の吸収帯が大きな磁気円偏光二色性をもつことが知られている結晶中の希土類イオンにおいて、円偏光のパルス励起と円偏光二色性を利用して基底状態のスピン偏極(磁化)を生成し、横磁場中のスピンのラモア歳差運動による量子ビート信号を時間領域で観測した。また、不均一広がり磁化が消失した後、制御光を入射させてスピンを180度回転させる位相反転操作を行うことによってスピンエコー信号を観測し、一度失われたスピニコヒーレンスが回復できることを示した。

(2) 励起スピン系における光検出超高速スピンドYNAMIKS

光パルス励起和周波検出量子ビート分光システムの製作

非線形光学結晶 BBO を用いて、発光強度を高感度かつ超高速時間分解検出できるフェム

ト秒和周波発生検出装置の製作を行った。試料からの発光を短焦点のレンズで集光し、BBO 結晶上で波長 800nm, パルス幅 150fs のゲート光と空間的に重ねた。結晶を並進・回転微動台に設置して位相整合条件に設定し、和周波発生光を光電子増倍管で検出した。時間分解能はゲートパルスのパルス幅のみで決まる。

フェムト秒再生増幅装置を使用してフェムト秒光パルス励起・和周波検出量子ビート分光装置を製作した。800nm のレーザー光を 2 つに分け、ポンプ光とゲート光にする。ポンプ光は非線形光学結晶で第 2 高調波 400nm に波長変換した後、光弾性変調器、波長板、偏光子でオンオフし、ロックインアンプを用いた高感度検出を行う。強いポンプ光とゲート光から微弱な和周波光を分離するために、ガラスフィルターに加えて、遷移金属錯体イオンの溶液フィルターを組み合わすことによって、信号検出感度を改善することができた。

遷移金属錯体の励起三重項状態における超高速スピン緩和

有機 EL 材料としても知られる遷移金属錯体 Ru(bpy)₃において、励起後のりん光に対してフェムト秒パルスレーザーと和周波発生法を用いたピコ秒領域の超高速時間分解発光測定を行い、励起三重項状態における超高速スピンドイナミクスを明らかにした。振動緩和に伴う 10 ピコ秒程度の寿命をもつ減衰成分が観測された。また、100 ピコ秒領域においてスピン格子緩和による減衰成分が観測された。スピン格子緩和はこれまで緩和時間が長い 10K 以下の低温領域でしか観測されていなかったが、本研究では数 10~100K に及ぶ高温側の温度領域においてピコ秒領域のスピン格子緩和を観測することができた。

励起三重項状態における発光量子ビートと和周波発生を用いた発光強度の高速測定装置を使って、遷移金属錯体の励起三重項状態のエネルギー準位構造を反映する量子ビート信号の観測を試みたが、量子ビート信号の観測は確認できなかった。

(3) マルチフェロイック物質における超高速偏光分光

スピンの光誘起量子ビート
マルチフェロイック物質である酸化銅(CuO)において、テラヘルツ領域のスピン量子ビート(コヒーレントマグノン)信号を観測した。単一の周波数(1.2~1.3 THz)と約 2 倍の周波数を含む減衰振動を観測した。反強磁性共鳴の高振動数モードが観測できた可能性があるが、さらなる確認が必要である。

光誘起格子緩和
2 つの転移点($T_{N1}=213K$, $T_{N2}=230K$)をもち、マルチフェロイック物質である酸化銅(CuO)単

結晶において、超短パルスレーザーとポンプ-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} の相転移は異なるの機構をもち、 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。

(4) 遷移金属酸化物における光検出電気磁気効果

光誘起量子ビート
電気磁気効果をもつことで注目されている反強磁性体酸化クロム(Cr₂O₃)の光誘起格子歪み信号において、~0.1THz と~0.3TH の振動成分をもつテラヘルツ量子ビート信号が観測された。この信号は何らかの形でスピンの関係していると考えられるが、その起源は現在のところ不明である。

磁気誘起格子緩和
光誘起格子歪み信号の緩和速度が、温度の上昇とともにネール温度($T_N=307K$)に向かって発散する振る舞いを観測した。

電場誘起磁化
また、ファラデー回転を用いた電場誘起磁化の観測を行った。この信号は低温側で現れるが、ネール温度近傍で減少した。電場誘起磁化の立ち上がりを測定した結果、磁化の立ち上がりは電場に追いついておらず、100ns 程度遅れていることが明らかになった。

観測された電場誘起磁化と磁気誘起格子緩和の現象は、酸化クロムの格子とスピンの電気分極を介して連動していることを示しており、電気磁気効果をもつ物質特有のダイナミクスであると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 19 件)

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
澤田幸宏, 高原真幸, 鄭旭光, 守安毅, 河本敏郎, マルチフェロイック物質 CuO における超高速格子ダイナミクス, 光物性研究会論文集, 査読無, 25, 229-232 (2014).
<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2014/index.html>
- 西本友久, 新海貴大, 守安毅, 河本敏郎, 反強磁性体 Cr₂O₃ における高速格子ダイナミクスと電気磁気効果, 光物性研究会論文集, 査読無, 25, 225-228 (2014).
<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2014/index.html>
- T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T. Kohmoto, Ultrafast spin dynamics of magnetic ions in crystals observed by pump-probe technique and THz-TDS, Proc. 8th Asian Conf. on Ultrafast Phenomena, 査読無 (Kobe, January 2014) pp.17-18.
<http://www2.kobe-u.ac.jp/~tominaga/A-CUP2014/site.html>
- Y. Sawada, M. Takahara, X. Zheng, T. Moriyasu, and T. Kohmoto, Ultrafast lattice dynamics in a multiferroic CuO, Proc. 8th Asian Conf. on Ultrafast Phenomena, 査読無 (Kobe, January 2014) p.53.
<http://www2.kobe-u.ac.jp/~tominaga/A-CUP2014/site.html>
- T. Nishimoto, T. Moriyasu, and T. Kohmoto, Magnetically induced lattice dynamics in a magnetoelectric antiferromagnet Cr₂O₃, Proc. 8th Asian Conf. on Ultrafast Phenomena, 査読無 (Kobe, January 2014) p.69.
<http://www2.kobe-u.ac.jp/~tominaga/A-CUP2014/site.html>
- T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T. Kohmoto, Observation of antiferromagnetic magnons and magnetostriction in manganese oxide using terahertz time-domain spectroscopy, J. Infrared Milli. Terahz. Waves, 査読有, 34, 277-288 (2013).
DOI: 10.1007/s10762-013-9963-9
- 西本友久, 守安毅, 河本敏郎, 反強磁性体 Cr₂O₃ における高速格子ダイナミクス, 光物性研究会論文集, 査読無, 24, 35-38 (2013).
<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2013/index.html>
- 澤田幸宏, 高原真幸, 鄭旭光, 守安毅, 河本敏郎, 反強磁性体 CuO における超高速格子ダイナミクス, 光物性研究会論文集, 査読無, 24, 39-42 (2013).
<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2013/index.html>
- 守安毅, 高原真幸, 鄭旭光, 河本敏郎, 反強磁性体酸化物 CuO におけるテラヘルツ時間領域分光, 光物性研究会論文集, 査読無, 24, 271-274 (2013).
<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2013/index.html>
- M. Takahara, T. Moriyasu, X. G. Zheng, and T. Kohmoto, Ultrafast spin and lattice dynamics in a multiferroic cupric oxide, Proc. 10th Conf. on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, 査読有 (Kyoto, July 2013) WPB24.
DOI: 10.1109/CLEOPR.2013.6600516
- Moriyasu, S. Wakabayashi, and T. Kohmoto, Observation of antiferromagnetic magnons and magnetostriction in NiO and MnO, Proc. 10th Conf. on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, 査読有 (Kyoto, July 2013) WPC1.
DOI: 10.1109/CLEOPR.2013.6600521
- T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T. Kohmoto, Observation of antiferromagnetic magnons and magnetostriction in NiO using terahertz time-domain spectroscopy, Proc. Int. Workshop on Optical Terahertz Science and Technology, 査読無 (Kyoto, April 2013) p.244.
<http://www.tanaka.icems.kyoto-u.ac.jp/otst2013/>
- M. Takahara, H. Jinn, S. Wakabayashi, T. Moriyasu, and T. Kohmoto, Observation of coherent acoustic phonons and magnons in an antiferromagnet NiO, Phys. Rev. B 86, 査読有, 094301(4 pages) (2012).
DOI: 10.1103/PhysRevB.86.094301
- T. Moriyasu, T. Yamauchi, and T. Kohmoto, Optically induced spin echoes in a Tm²⁺ doped crystal, Phys. Stat. Sol. C, 査読有, 9, 2629-2632 (2012).
DOI: 10.1002/pssc.201200215
- 守安毅, 若林 傑, 河本敏郎, テラヘルツ時間領域分光法を用いた NiO における反強磁性マグノンと磁気歪の観測, 光物性研究会論文集, 査読無, 23, 77-80 (2012).
<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2012/index.html>
- 高原真幸, 守安毅, 鄭旭光, 河本敏郎, 反強磁性体 CuO におけるポンプ-プローブ偏光分光, 光物性研究会論文集, 査読無, 23, 233-236 (2012).
<http://phys.ipps.kumamoto-u.ac.jp/HI-KARI/2012/index.html>
- T. Kohmoto, T. Moriyasu, and S. Wakabayashi, Observation of antiferromagnetic magnons in manganese oxide by THz-TDS, Proc. Conf.

on Lasers and Electro-Optics, 査読有
(San Jose, May 2012) JW2A.5.
DOI: 10.1364/CLEO_AT.2012.JW2A.5

[学会発表](計 33 件)

澤田幸宏, 守安毅, 鄭旭光, 河本敏郎,
マルチフェロイック物質酸化銅における
超高速格子ダイナミクス, 日本物理学会
第 70 回年次大会 (2015 年 3 月 24 日, 早
稲田大学)

西本友久, 新海大貴, 守安毅, 河本敏郎,
反強磁性体酸化クロムにおける高速格子
ダイナミクスと電気磁気効果, 日本物理
学会第 70 回年次大会 (2015 年 3 月 24 日,
早稲田大学)

河本敏郎, 守安毅, パルス光とテラヘル
ツ波を用いたスピンと格子の高速ダイナ
ミクスの観測, テラヘルツ波科学技術と
産業開拓第 182 委員会 第 23 回研究会
(神戸大学, 2015 年 1 月 30 日) (招待講
演)

澤田幸宏, 高原真幸, 鄭旭光, 守安毅,
河本敏郎, マルチフェロイック物質 CuO
における超高速格子ダイナミクス, 若手
フロンティア研究会 (2014 年 12 月 25 日,
神戸大学)

西本友久, 新海貴大, 守安毅, 河本敏郎,
反強磁性体 Cr₂O₃ における高速格子ダイ
ナミクスと電気磁気効果, 若手フロンテ
ィア研究会 (2014 年 12 月, 神戸大学 13
日)

澤田幸宏, 高原真幸, 鄭旭光, 守安毅,
河本敏郎, マルチフェロイック物質 CuO
における超高速格子ダイナミクス, 第 25
回光物性研究会 (神戸大学, 2014 年 12
月 13 日)

西本友久, 新海貴大, 守安毅, 河本敏郎,
反強磁性体 Cr₂O₃ における高速格子ダイ
ナミクスと電気磁気効果, 第 25 回光物性
研究会 (神戸大学, 2014 年 12 月 13 日)

T. Nishimoto, T. Moriyasu, and T.
Kohmoto, Magnetically induced lattice
dynamics in a magnetoelectric
antiferromagnet Cr₂O₃, 19th Int. Conf.
on Ultrafast Phenomena (Okinawa, July
9, 2014).

T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T.
Kohmoto, Ultrafast spin dynamics in an
antiferromagnet NiO observed in
pump-probe and terahertz experiments,
19th Int. Conf. on Ultrafast Phenomena
(Okinawa, July 7, 2014).

T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T.
Kohmoto, Spin dynamics in magnetic
materials observed by pump-probe
technique and THz-TDS, EMN (Energy,
Materials, and Nanotechnology) Summer
Meeting (Cancun, June 10, 2014)
(invited).

澤田幸宏, 守安毅, 高原真幸, 鄭旭光,

河本敏郎, 反強磁性体酸化銅における超
高速格子ダイナミクス, 日本分光学会年
次講演会 (2014 年 5 月 26 日, 理化学研
究所)

T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T.
Kohmoto, Spin dynamics in magnetic
materials observed in the terahertz
region, BIT's 3rd Annual Conf. and EXPO
of AnalytiX 2014 (Dalian, April 26,
2014) (invited).

澤田幸宏, 守安毅, 高原真幸, 鄭旭光,
河本敏郎, 反強磁性体酸化銅における超
高速格子ダイナミクス, 日本物理学会第
69 回年次大会 (2014 年 3 月 29 日, 東海
大学)

守安毅, 高原真幸, 河本敏郎, 鄭旭光,
反強磁性体酸化物 CuO におけるテラヘル
ツ時間領域分光, 日本物理学会第 69 回
年次大会 (2014 年 3 月 29 日, 東海大学)

西本友久, 守安毅, 河本敏郎, 反強磁性
体 Cr₂O₃ における高速格子ダイナミクス,
日本物理学会第 69 回年次大会 (2014 年 3
月 27 日, 東海大学)

Y. Sawada, M. Takahara, X. Zheng, T.
Moriyasu, and T. Kohmoto, Ultrafast
lattice dynamics in a multiferroic
CuO, 8th Asian Conf. on Ultrafast
Phenomena (Kobe, January 21, 2014).

T. Nishimoto, T. Moriyasu, and T.
Kohmoto, Magnetically induced lattice
dynamics in a magnetoelectric
antiferromagnet Cr₂O₃, 8th Asian Conf.
on Ultrafast Phenomena (Kobe, January
21, 2014).

T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T.
Kohmoto, Ultrafast spin dynamics of
magnetic ions in crystals observed by
pump-probe technique and THz-TDS, 8th
Asian Conf. on Ultrafast Phenomena
(Kobe, January 20, 2014) (invited).

西本友久, 守安毅, 河本敏郎, 反強磁性
体 Cr₂O₃ における高速格子ダイナミクス,
若手フロンティア研究会 (2013 年 12 月
25 日, 神戸大学)

守安毅, 高原真幸, 鄭旭光, 河本敏郎,
反強磁性体酸化物 CuO におけるテラヘル
ツ時間領域分光, 第 24 回光物性研究会
(大阪市立大学, 2013 年 12 月 14 日)

21 西本友久, 守安毅, 河本敏郎, 反強磁性
体 Cr₂O₃ における高速格子ダイナミクス,
第 24 回光物性研究会 (大阪市立大学,
2013 年 12 月 13 日)

22 澤田幸宏, 高原真幸, 鄭旭光, 守安毅,
河本敏郎, 反強磁性体 CuO における超
高速格子ダイナミクス, 第 24 回光物性研
究会 (大阪市立大学, 2013 年 12 月 13 日)

23 守安毅, 結晶中のスピンと格子の超
高速ダイナミクス, 第 11 回光科学若手研
究会 (神戸大学, 2013 年 11 月 16 日) (招
待講演)

- 24 M. Takahara, T. Moriyasu, X. G. Zheng, and T. Kohmoto, Ultrafast spin and lattice dynamics in a multiferroic cupric oxide, 10th Conf. on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (Kyoto, July 2, 2013).
- 25 Moriyasu, S. Wakabayashi, and T. Kohmoto, Observation of antiferromagnetic magnons and magnetostriction in NiO and MnO, 10th Conf. on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (Kyoto, July 2, 2013).
- 26 T. Moriyasu, S. Wakabayashi, and T. Kohmoto, Observation of antiferromagnetic magnons and magnetostriction in NiO using terahertz time-domain spectroscopy", Int. Workshop on Optical Terahertz Science and Technology (Kyoto, April 3, 2013).
- 27 高原真幸, 守安毅, 鄭旭光, 河本敏郎, 反強磁性体酸化銅におけるポンプ-プローブ偏光分光, 日本物理学会第 68 回年次大会 (2013 年 3 月 28 日, 広島大学)
- 28 高原真幸, 守安毅, 鄭旭光, 河本敏郎, 反強磁性体 CuO におけるポンプ-プローブ偏光分光, 第 23 回光物性研究会 (2012 年 12 月 8 日, 大阪市立大学)
- 29 守安毅, 若林傑, 河本敏郎, テラヘルツ時間領域分光法を用いた NiO における反強磁性マグノンと磁気歪の観測, 第 23 回光物性研究会 (2012 年 12 月 7 日, 大阪市立大学)
- 30 守安毅, 若林傑, 河本敏郎, テラヘルツ時間領域分光法を用いた NiO における反強磁性マグノンと磁気歪の観測, 平成 24 年度日本分光学会年次講演会 (2012 年 11 月 28 日, 東京工業大学)
- 31 守安毅, 高原真幸, 若林傑, 河本敏郎, 遷移金属酸化物反強磁性体におけるテラヘルツ時間領域分光, 日本物理学会 2012 年秋季大会 (2012 年 9 月 19 日, 横浜国立大学)
- 32 T. Moriyasu, T. Yamauchi, and T. Kohmoto, Optically induced spin echoes in a Tm^{2+} doped crystal, 5th Int. Conf. on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (June 6, 2012, Nara).
- 33 T. Kohmoto, T. Moriyasu, and S. Wakabayashi, Observation of antiferromagnetic magnons in manganese oxide by THz-TDS, Conf. on Lasers and Electro-Optics (May 9, 2012, San Jose).

〔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・准教授
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