

平成 22 年 6 月 8 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760008

研究課題名 (和文) フェムト秒光パルスを用いた反強磁性体の超高速磁化制御

研究課題名 (英文) Ultrafast spin manipulation in antiferromagnets by femtosecond pulses

研究代表者

佐藤 琢哉 (SATOH TAKUYA)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：40451885

研究成果の概要 (和文)：反強磁性体のスピン歳差運動の周波数は THz オーダーに達し、強磁性のそれよりも桁違いに高いため、超高速な磁気記録が実現される可能性がある。本研究では、反強磁性体 NiO において円偏光パルス照射による非熱的なスピン制御を目指し、磁気光学ポンプ-プローブ測定を行った。NiO の反強磁性共鳴周波数と一致する 1.1 THz と約 140 GHz の振動が観測された。この結果は逆ファラデー効果、つまり円偏光パルスが試料内に有効磁場を作り出し、スピン歳差運動を誘起したとして解釈された。

研究成果の概要 (英文)：Spin precession frequency of antiferromagnets reaches THz order, far above that of ferromagnets, indicating possibility of ultrafast magnetic recording. In this research, we have performed magneto-optical pump-probe experiment for non-thermal spin manipulation by circularly polarized pulse in antiferromagnetic NiO. We have observed oscillations with frequencies of 1.1 THz and 140 GHz that correspond to antiferromagnetic resonance frequencies of NiO. This results was interpreted as the inverse Faraday effect inducing spin oscillations which was triggered by an effective magnetic field in a sample by circularly polarized light.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：反強磁性体、スピンドYNAMIX、超短パルスレーザー、遷移金属酸化物、スピントロニクス、磁気光学効果

1. 研究開始当初の背景
MRAM, ReRAM, PRAM といった次世代不揮発性

メモリーが実用化に向けて競合し合う中、スピントロニクスは一層の研究開発が必須と

なっている。特に MRAM の読み書きの高速化は不可避であり、超高速磁化制御が望まれている。従来、スピン方向制御や歳差運動誘起には、パルス磁場やスピン偏極電流などが主に用いられてきたが、高速化に限界が指摘されている。究極的には最も時間分解能に優れた超短パルス光による制御が必要になる。一方、反強磁性体では、強磁性体より速い fs オーダーの demagnetization が理論的に予想されている。またスピン歳差運動の周波数はエネルギースケールの大きい交換相互作用が寄与するため THz オーダーに達する。そういった理論的予測にもかかわらず、反強磁性体磁化ダイナミクスの実時間軸での観測報告例はごくわずかである。反強磁性体では磁化が 2 つの副格子で相殺され、Faraday 効果や Kerr 効果をプローブとする簡便で強力な手法が一般に有効でないためである。

2. 研究の目的

NiO は Neel 温度が 523K と高く、室温で動作する交換バイアス物質として有望視されている。基本的な光学特性、磁気特性も過去に十分研究されており、磁化ダイナミクスの測定結果を解釈する素地が整っている。磁気秩序に伴う複屈折効果と、磁気 SHG が磁気光学的手法として報告されている。申請者らは磁気 SHG を用いて NiO の磁化ダイナミクスを観測し、磁気異方性に基づく量子ビート (50GHz) を見出したが、反強磁性共鳴法で示唆されている 1THz の反強磁性スピン歳差運動そのものは観測されていない。今年度は磁気複屈折や磁気 SHG を用いて超高速磁化ダイナミクスを多角的にプローブする手法の開発を進めている。そこで本研究では励起光源に目を向け、ポンプ光の波長やパルス波形をチューニングし、また直線偏光や円偏光を用いることで反強磁性スピン歳差運動の誘起とそのスピン方向制御を試みる。

3. 研究の方法

(1) 磁化ダイナミクス測定装置の導入

磁化ダイナミクスはポンプ&プローブ法にて測定する。ポンプ光とプローブ光に遅延を与えるために光学遅延装置が必要である。特に、数 ps までの超高速過程と、数 ns までの回復過程を測定するために、3cm 長と 30cm 長の光学遅延装置をそれぞれ導入する。超短パルス光発生は、再生増幅された Ti サファイアレーザー (繰り返し周波数 1kHz) および OPA を用いる。

(2) データ収集解析プログラムの開発

信号光は光電子増倍管や MCT 等により検出され、ボックスカー積分器、AD コンバータを通じて PC に送られる。また、500Hz のチョッパーをポンプ光路に挿入してポンプ on と off の信号を交互に PC に送り、PC 上で差分を計

算する。そのようなデータ収集解析プログラムを開発する。

(3) 赤外超短パルス光の開発

黒田・志村研究室では擬似位相整合結晶を用いて波長 3~4 μ m, パルス幅 40fs の中赤外超短パルス光を開発してきた。さらに、申請者らは有機非線形光学結晶 DAST を用いた中・遠赤外光パルスの発生、評価を行っている。開発されたパルス光を本研究に利用する。

(4) 低温測定装置の導入

NiO は反強磁性転移温度が室温以上と比較的高温であるが、より低温の方が磁化ダイナミクスの観測や制御は容易であると考えられる。そこで、当研究室が所持する極低温冷凍機を用いて低温測定を行う。

4. 研究成果

反強磁性体のスピン歳差運動の周波数は交換相互作用が働くため、THz オーダーに達し、強磁性のそれよりも桁違いに高い。これを利用してすることで超高速な磁気記録が実現される可能性がある。本研究では、反強磁性体において円偏光パルス照射による非熱的なスピン制御を目指している。本研究では試料として室温反強磁性体 NiO を使い、77K にて磁気光学ポンプ-プローブ測定を行った。ポンプ光とプローブ光が時間的に一致する瞬間に大きなファラデー回転があり、それに続いて約 1.1 THz と約 140 GHz の振動が観測された。これらは NiO の反強磁性共鳴周波数と一致するため、スピン歳差運動が誘起されたと考えられる。さらにこれらの歳差運動の位相は、円偏光パルスのヘリシティによって反転したため、逆ファラデー効果、つまり円偏光パルスが試料内に有効磁場を作り出し、それがインパルス誘導ラマン散乱過程によってスピン歳差運動を誘起したとして解釈された。有効磁場と反強磁性体の相互作用は σ モデルによってうまく記述され、磁場の時間微分が反強磁性ベクトルに作用したと考えられる。反強磁性体において観測された初めての例である。

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 3 件)

- ① T. Satoh, S.-J. Cho, T. Shimura, K. Kuroda, H. Ueda, Y. Ueda, and M. Fiebig, "Photo-induced transient Faraday rotation in NiO," J. Opt. Soc. Am. B 27 to be published. 査読有
- ② T. Satoh, S.-J. Cho, R. Iida, T.

Shimura, K. Kuroda, H. Ueda, Y. Ueda, B. A. Ivanov, F. Nori, and M. Fiebig, "Spin oscillations in antiferromagnetic NiO triggered by circularly polarized light," arXiv: 1003.0820v1. (2010). 査読無

- ③ M. Fiebig, N. P. Duong, T. Satoh, B. B. Van Aken, K. Miyano, Y. Tomioka, and Y. Tokura, "Ultrafast magnetization dynamics of antiferromagnetic compounds," J. Phys. D: Appl. Phys 41, 164005 (2008). 査読有

[学会発表] (計 21 件)

- ① 佐藤琢哉, Andrea Rubano, Manfred Fiebig, 「第二高調波発生で観測した NiO のスピン制御」、日本物理学会「第 65 回年次大会」、2010 年 3 月 20 日、岡山大学津島キャンパス

② 飯田隆吾、佐藤琢哉、志村努、黒田和男、徳永祐介、十倉好紀、「誘電率変化から見る DyFeO₃ の光誘起スピンダイナミクス波長特性」、日本物理学会「第 65 回年次大会」、2010 年 3 月 20 日、岡山大学津島キャンパス

③ 佐藤琢哉、飯田隆吾、志村努、黒田和男、植田浩明、上田寛、「円偏光パルスで誘起された反強磁性体のスピン歳差運動」、日本磁気学会第 170 回研究会 第 4 回光機能磁性デバイス・材料専門研究会共催、「光と磁気のシナジー技術」～次世代ストレージ・光機能磁性デバイス実現のための新技術動向～、2010 年 1 月 29 日、化学会館

④ T. Satoh, S. J. Cho, R. Iida, T. Shimura, K. Kuroda, H. Ueda, Y. Ueda, and M. Fiebig, "Antiferromagnetic spin precessions in NiO triggered by circularly polarized light," RIKEN Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Dec. 3, 2009, RIKEN

⑤ R. Iida, T. Satoh, T. Shimura, K. Kuroda, Y. Tokunaga, and Y. Tokura, "Pump pulse dependence of photo-induced spin precession in orthoferrite," RIKEN Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Dec. 3, 2009, RIKEN

⑥ 飯田隆吾、佐藤琢哉、志村努、黒田和男、徳永祐介、十倉好紀、「オルソフェライトにおける光誘起スピン歳差運動のポンプ光依存性」、日本物理学会「秋季大会」、2009 年 9 月 27 日、熊本大学黒髪キャンパス

⑦ 佐藤琢哉、飯田隆吾、志村努、黒田和男、植田浩明、上田寛、「反強磁性 NiO における円偏光励起マグノン生成」、日本物理学会「秋季大会」、2009 年 9 月 27 日、熊本大学黒髪キャンパス

⑧ T. Satoh, S.-J. Cho, T. Shimura, K. Kuroda, H. Ueda, and Y. Ueda, "Photo-Induced Magnetization in Nickel Oxide," MORIS2009, June 15, 2009 (Awaji, Japan)

⑨ K. Kuroda, Y. Toya, T. Satoh, T. Shimura, S. Ashihara, Y. Takahashi, M. Yoshimura, Y. Mori, and T. Sasaki, "10-40・m Ultrashort Pulse Generation in Organic Nonlinear Optical Crystal DAST," CLEO/Europe-EQEC 2009, June 14, 2009 (Munich, Germany)

⑩ 遠矢祥弘、佐藤琢哉、芦原聡、志村努、黒田和男、高橋義典、吉村政志、森勇介、佐々木考友、「有機結晶 DAST を用いた中・遠赤外超短光パルスの発生と評価(2)」、2009 年春季第 56 回応用物理学関係連合講演会、2009 年 3 月 30 日、筑波大学

⑪ 趙成鎮、佐藤琢哉、志村努、黒田和男、植田浩明、上田寛、「NiO の超高速非線形光学応答」、日本物理学会「第 64 回年次大会」、2009 年 3 月 28 日、立教学院池袋キャンパス

⑫ A. Rubano, T. Satoh, A. Kimel, A. Kirilyuk, T. Rasing, and M. Fiebig, "Three-dimensional control of the antiferromagnetic order parameter in nickel oxide," Functional Oxides for Electronics - FOXE, Mar. 25, 2009 (Sorrento, Italy)

⑬ A. Rubano, T. Satoh, and M. Fiebig, "Three-dimensional control of the antiferromagnetic order parameter in nickel oxide," Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG), Mar. 22, 2009 (Dresden, Germany)

⑭ T. Satoh, S. J. Cho, T. Shimura, K. Kuroda, H. Ueda, and Y. Ueda, "Photo-induced Faraday effect in nickel oxide," AIST-RIKEN Joint WS, Mar. 4, 2009 (Okinawa, Japan)

⑮ Y. Toya, S. Yamamoto, T. Satoh, T. Shimura, K. Kuroda, S. Ashihara, Y. Takahashi, M. Yoshimura, Y. Mori, and T. Sasaki, "Generation of Mid-Infrared

Ultrashort Pulses in DAST," Advanced Solid-State Photonics (ASSP) Topical Meeting and Tabletop Exhibit, Feb. 1, 2009 (Denver, Colorado, USA)

⑩佐藤琢哉、趙成鎮、植田浩明、上田寛、志村努、黒田和男、「NiOにおける超高速光カー効果」、第19回光物性研究会、2008年12月5日、大阪市立大学

⑪T. Satoh, S. J. Cho, T. Shimura, K. Kuroda, H. Ueda, and Y. Ueda, "Ultrafast nonlinear optical birefringence in NiO," The 2nd International Symposium on Anomalous Quantum Materials (ISAQM2008) and the 7th Asia-Pacific Workshop, Nov. 7, 2008 (Tokyo, Japan)

⑫趙成鎮、佐藤琢哉、植田浩明、上田寛、志村努、黒田和男、「ポンププローブ法によるNiOの光カー効果の測定」、日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2008, 2008年11月4日、つくば国際会議場

⑬趙成鎮、佐藤琢哉、植田浩明、上田寛、志村努、黒田和男、「NiOにおける光誘起複屈折変調」、日本物理学会「秋季大会」、2008年9月20日、岩手大学

⑭遠矢祥弘、山本俊介、佐藤琢哉、芦原聡、志村努、黒田和男、高橋義典、吉村政志、森勇介、佐々木考友、「有機結晶DASTを用いた中・遠赤外超短光パルスの発生と評価」、2008年秋季第69回応用物理学会学術講演会、2008年9月2日、中部大学

21. K. Kuroda, Y. Toya, S. Yamamoto, T. Satoh, T. Shimura, S. Ashihara, Y. Takahashi, M. Yoshimura, Y. Mori, and T. Sasaki, "Mid-infrared generation in DAST," International Workshop on "Nonlinear wave-mixing for laser technology", July 17-18, 2008 (Chiba, Japan)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

http://qopt.iis.u-tokyo.ac.jp/pub/member/satoh/index_jp.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 琢哉 (SATOH TAKUYA)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：40451885