

スピンをレーザーで制御する ～レーザー照射で消磁と金属化を放射光で観測～

1. 発表者：

津山 智之（研究当時：東京大学大学院工学系研究科 修士課程 2 年）

Suvankar Chakraverty（研究当時：理化学研究所創発物性科学研究センター 研究員）

十倉 好紀（東京大学大学院工学系研究科 教授、理化学研究所創発物性科学研究センター センター長）

和達 大樹（東京大学物性研究所 准教授）

2. 発表のポイント：

- ◆軟 X 線（注 1）の反射率の磁気円二色性（注 2）を用いて、強磁性の絶縁体酸化物の薄膜において、磁性が消えていく消磁と金属化していく様子の観測に成功した。
- ◆レーザー（注 3）を強くあてることで絶縁体であった薄膜が金属となり、消磁の時間スケールが短くなるという画期的な成果を上げた。
- ◆スピンの制御をレーザー強度で調節できる本成果は、レーザーにより磁気情報を場所ごとに操作するなどの実用化につながることを期待される。

3. 発表概要：

放射光施設における軟 X 線を利用した磁気円二色性測定は、最近の技術革新により薄膜やナノサイズの極小試料における磁化の観測が元素別に可能になるなど、物質科学だけでなく、次世代のデバイスとして期待されているスピントロニクスへの応用が期待されています。一方、スピントロニクスにおいては、高速化に向けてスピンの制御を磁場でなくレーザーなどの光により行うことが求められています。東京大学物性研究所の和達大樹（わだちひろき）准教授と同大学院工学系研究科の十倉好紀（とくらよしのり）教授（理化学研究所創発物性科学研究センター センター長）らの研究グループは、ドイツの Helmholtz-Zentrum Berlin の研究グループと共同で、強磁性で絶縁性を示す鉄酸化物 BaFeO_3 の時間分解磁気円二色性測定（注 4）を行い、レーザーを照射することにより消磁と絶縁体から金属への転移（注 5）の観測に成功しました。更にレーザー強度を上げていくことで、絶縁体であった薄膜が金属化すると同時に消磁していく時間が短くなることが分かりました。本成果は今後、レーザーによる磁気情報の書き込みなどの際に、レーザー強度によって場所ごとに書き込む情報を変えるなどの応用につながることを期待できます。

この研究成果は、米国科学誌 *Physical Review Letters* に掲載されます。

4. 発表内容：

（背景）

近年、物質科学分野においては電子の性質を活かした新機能を持つ物質開発の研究が盛んに行われており、特に、応用に向けては電子のスピンの自由度を活かしたスピントロニクスが注目を集めています。更にスピントロニクスでは高速化に向けて、磁場ではなくレーザーなどの光によってスピンを制御することが、今後のデバイス応用に向けて盛んに研究されています。本研究ではそのうち、強磁性でかつ電気を流さない絶縁体である鉄酸化物 BaFeO_3 の薄膜に注目しました。この BaFeO_3 における鉄の価数は 4 価で、同じ鉄の 4 価には電気を流す金属性の物質 SrFeO_3 があり、結晶構造もほぼ同じで格子定数が異なるだけであるため、 BaFeO_3 にレ

レーザーを照射することで温度の瞬間的な上昇を引き起こし、磁化を消す消磁だけでなく、絶縁体から金属への変化も期待できると考えました。そこで本研究では放射光軟X線を用いた時間分解磁気円二色性測定により、レーザー照射後の BaFeO₃ 薄膜の鉄のスピンの変化の様子の観測を目指しました。

(研究内容と成果)

時間分解磁気円二色性測定はドイツの放射光施設 BESSY II で行いました。測定に用いた鉄酸化物の薄膜は、5 mm×5 mm の基板上に作製されており、単結晶で膜厚は 50 ナノメートル程度となっています。本研究グループは、図 1 に示す実験配置によって、時間分解磁気円二色性測定を行いました。図 2 が時間分解磁気円二色性で観測された磁気円二色性の強度、すなわち磁化の変化の様子を示します。照射したレーザーの強度が上二つのように弱い時には 150 ピコ秒程度の遅い時間スケールで消磁がみられていますが、下二つのように強い時には消磁の時間スケールが放射光の時間幅である 70 ピコ秒程度に埋もれており、消磁速度の振る舞いがはっきり変化することが見て取れます。これはレーザー強度が高い場合に絶縁体金属転移が起こったためと考えられます。図 3 にそのメカニズムを示します。レーザーにより励起される電子が一定の数を超えると金属状態が実現し、スピンの温度も速やかに上昇して早い消磁が起こると思われられます。

(本研究の意義、今後の展望)

本研究により、鉄酸化物において消磁と金属化の観測に成功しました。絶縁体金属転移を利用すれば、レーザー強度に応じてスピンの振る舞いが変わります。今後、室温で強磁性を示す同様の物質において、レーザーによる磁気情報の書き込みなどの際に、熱アシスト磁気記録と同様にレーザー強度によって場所ごとに書き込む情報を変えるなどの応用につながることを期待できます。

5. 発表雑誌：

雑誌名：Physical Review Letters

論文タイトル：Photoinduced Demagnetization and Insulator-to-Metal Transition in Ferromagnetic Insulating BaFeO₃ Thin Films

著者：T. Tsuyama, S. Chakraverty, S. Macke, N. Pontius, C. Schussler-Langeheine, H. Y. Hwang, Y. Tokura, and H. Wadati

6. 問い合わせ先：

国立大学法人 東京大学物性研究所 准教授
和達大樹（わだち ひろき）

7. 用語解説：

注 1：軟 X 線

X 線のうちでも比較的波長の長いもの。硬 X 線は原子間距離である 0.1 ナノメートル（1 ナノメートルは 10 億分の 1 メートル）程度より波長が短い領域であるが、軟 X 線は 1 ナノメートル程度と、波長がその 10 倍程度長い。

注 2：磁気円二色性

物質が磁化を持つ場合、その物質に軟 X 線をあてると、その吸収率や反射率は軟 X 線の偏光が右円偏光の場合と左円偏光の場合とで差が生じる。これが磁気円二色性であり、本研究では反射率の磁気円二色性を用いてスピンの変化の様子の観測を行っている。

注 3：レーザー

光を増幅してコヒーレントな光を発生させる発振器を用いて人工的に作られる光。強度や指向性が非常に強い。本研究ではチタンサファイアレーザーを用いており、波長は 800 ナノメートル程度である。

注 4：時間分解磁気円二色性測定

物質にレーザーを照射後に軟 X 線を照射して磁気円二色性測定を行うことで、レーザーによって起こった消磁の様子を観測できる。これが時間分解磁気円二色性測定である。放射光軟 X 線のパルス幅は 70 ピコ秒程度であり（1 ピコ秒は 1 兆分の 1 秒）、このような短い時間スケールでの変化の様子を調べることができる。

注 5：絶縁体金属転移

電気を流さない絶縁体が電気を流す金属に変化すること。通常は元素を一部入れ替えたり、圧力をかけたりすることで生じるが、本研究ではレーザーの照射によって生じている。

8. 添付資料：

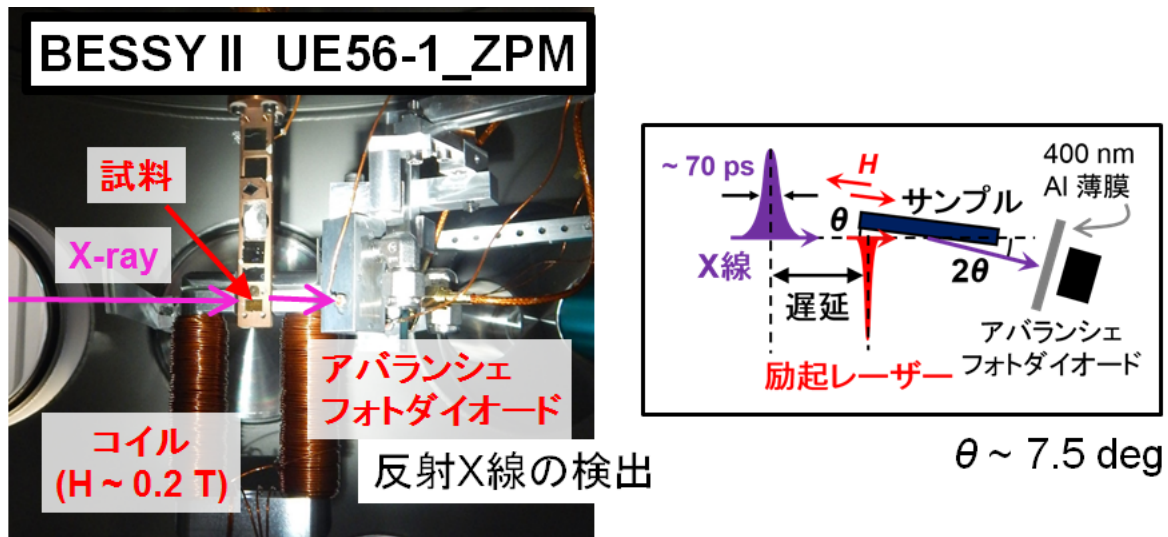


図 1：時間分解磁気円二色性測定のセットアップ。

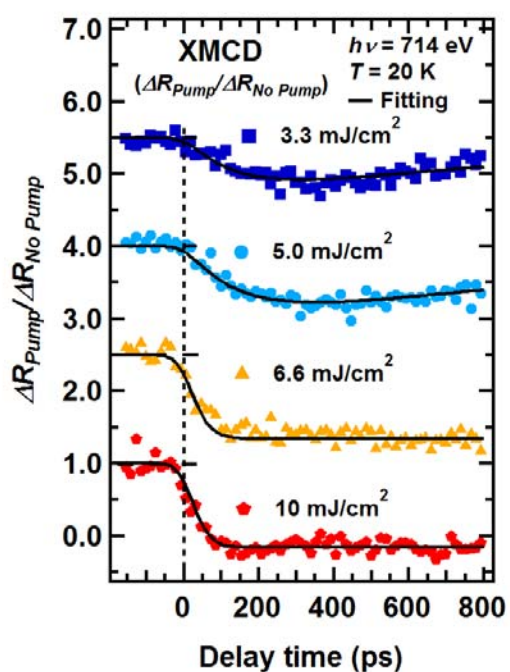


図 2：時間分解磁気円二色性で観測された磁化の変化の様子。横軸の単位はピコ秒：1 兆分の 1 秒である。

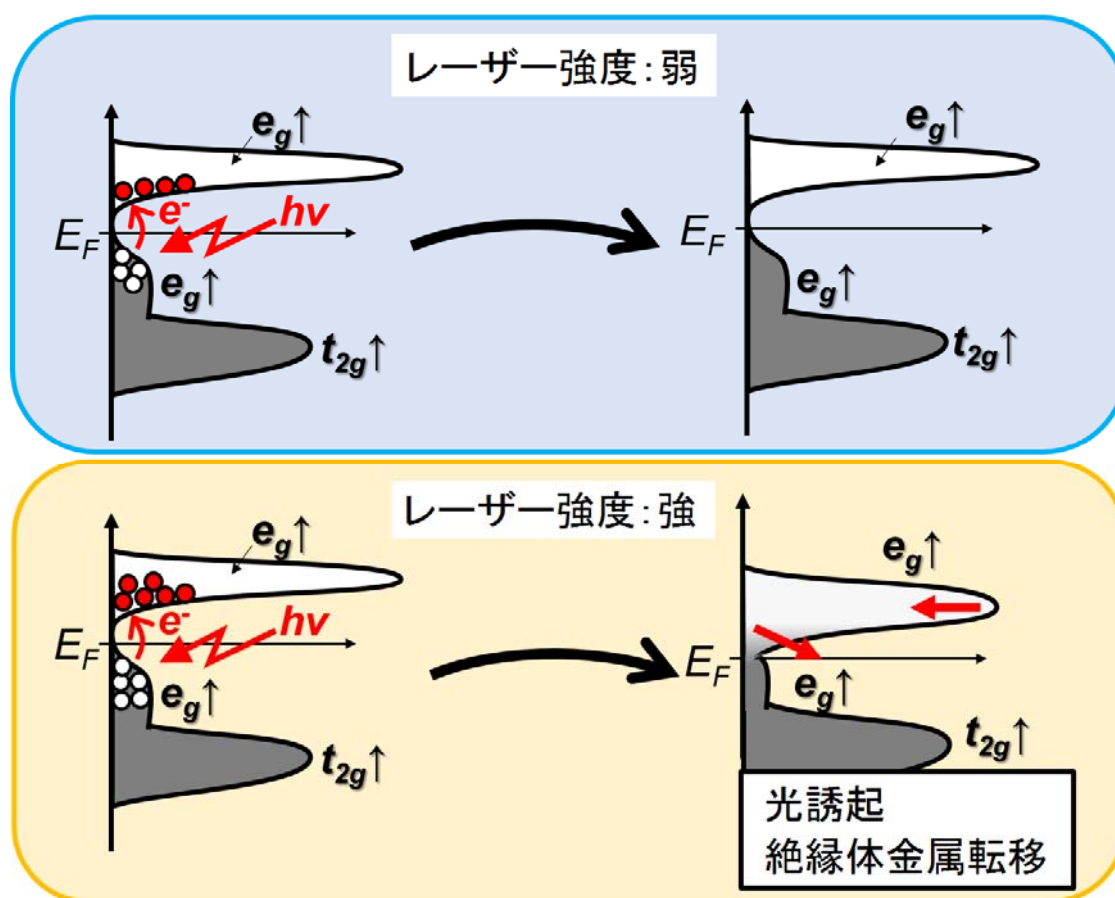


図 3：レーザーによる絶縁体金属転移のメカニズム。