

磁性体に内在するミクロな四重極磁石の空間分布を可視化

東京大学大学院新領域創成科学研究科の木村健太助教と木村剛教授らの研究グループは、東北大学金属材料研究所の木村尚次郎准教授らとの共同研究で、四重極磁石をミクロなスピんで置き換えた四極子型スピン配列（図1、注1）を示す反強磁性体について、可視光を通過させたときの透過光の様子を詳細に調べました。その結果、四極子のプラスとマイナスの符号に依存して光吸収が変化する現象を発見し、これが線形電気磁気光学効果に起因することを明らかにしました。さらに、この現象を利用して、四極子のプラスとマイナスの空間分布（ドメイン）を偏光顕微鏡により可視化することに成功しました。

本研究は、線形電気磁気光学効果を用いて反強磁性ドメインを実空間で可視化した初めての例です。ドメインは、あらゆる磁性体において自発的に形成される不均一構造であるため、その制御は基礎・応用両面で極めて重要です。今回の偏光顕微鏡を用いた手法は、従来の手法に比べて簡便かつ高速に反強磁性ドメインを可視化できます。そのため、反強磁性体を使った光磁気デバイスの開発や、外部刺激に対する反強磁性ドメインの応答の解明に大きく貢献すると期待されます。

本研究グループは、反強磁性体における線形電気磁気光学効果の研究の舞台として、 $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$ という物質に着目しました。図1に示すように、この物質では、磁性を担う銅イオンが4つでひとつの磁気ユニットを形成し、これが四重極磁石をミクロなスピんで置き換えた四極子型スピン配列をとります。このスピン配列は、マクロな磁化を生み出さないながらも、線形電気磁気光学効果が現れる条件を満たしています。

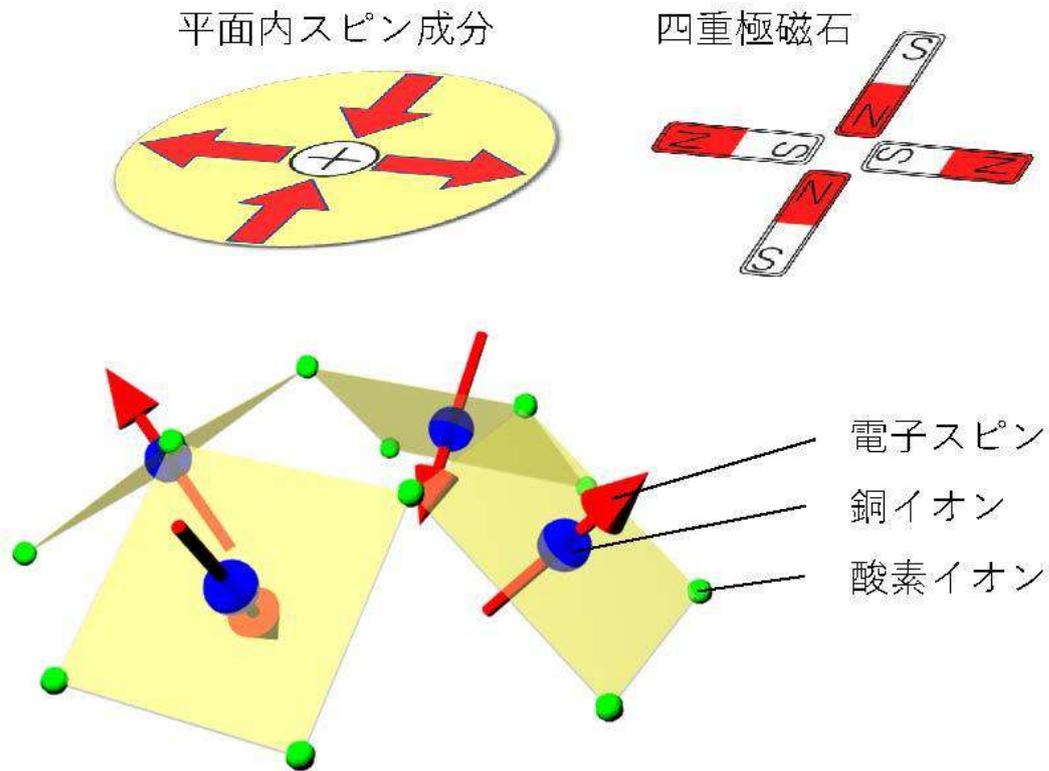


図1. 研究対象物質 $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$ における四極子型スピン配列。4つの銅イオンのスピンを平面に射影したものは、四重極磁石の棒磁石をスピんに置き換えたものに相当している。

本研究グループは、 $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{PO}_4)_4$ の結晶に可視光を入射し、透過光の様子を詳細に調べました。その結果、互いに直交する二つの直線偏光の吸収量に違いが生じる「線二色性」が現れ、さらには、光の進行方向を反転すると線二色性の符号も反転することが分かりました。これは、非相反線二色性と呼ぶべき新しい光学応答です。

また、線二色性による吸収係数の相対的変化が約 4%と大きい点も特筆すべき点です。これは従来の反強磁性体における電気磁気光学効果に比べると 1~2 桁も大きな値です。さらに、四極子のプラスとマイナスを入れ替えることによっても、線二色性の符号が反転することが分かりました。

以上の結果から、本研究グループは、試料の各位置での線二色性を調べることで、試料内部における四極子のプラスとマイナスの分布（ドメイン）を可視化できるのではと考えました。そこで、直線偏光を利用した光学顕微鏡（偏光顕微鏡）により結晶の様子を観察したところ、図 2 に示すように四極子ドメインを明瞭に

可視化することに成功しました。線形電気磁気光学効果を活用して、偏光顕微鏡観察という簡便な手法で磁化を持たない反強磁性体の磁気ドメインを可視化したのは本研究が初めてとなります。

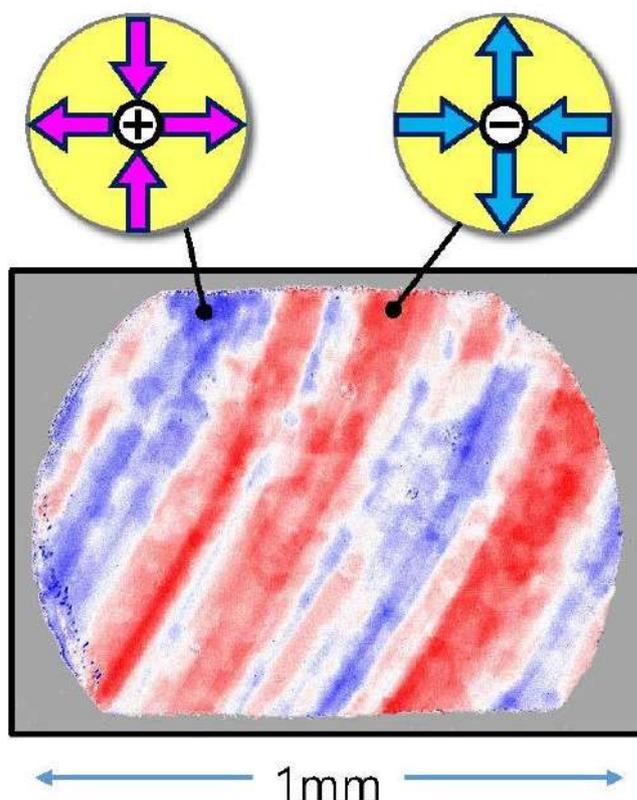


図2. 偏光顕微鏡で可視化した $\text{Pb}(\text{TiO})\text{Cu}_4(\text{P04})_4$ 結晶における四極子ドメイン。青と赤が四極子のプラスとマイナスに対応している。白色部分は、結晶の厚さ方向に沿ってプラスとマイナスが混在していることを意味する。

今後の展望

本研究により、線形電気磁気光学効果が、ある種の反強磁性体の磁気ドメインを可視化する有効なツールとなり得ることが実証されました。磁気ドメインは、あらゆる磁性体において自発的に形成される不均一構造であるため、その制御は基礎・応用両面において大変重要です。従来、マクロな磁化を持たない反強磁性体の磁気ドメインの観察には、放射光や高強度パルスレーザーといった先端装置が必要とされ、また、1枚のドメイン像を取得するには数分以上の時間を要することが一般的でした。今回用いた偏光顕微鏡による観察は、従来手法に比べて格段に簡便かつ高速に反強磁性ドメインを可視化できるという利点を有します。そのため、外部刺激に対する反強磁性ドメインの応答の解明や、反強磁性体を使

った光磁気デバイス開発の加速に大きく貢献すると期待されます。

論文情報

タイトル : Imaging switchable magnetoelectric quadrupole domains via nonreciprocal linear dichroism

雑誌 : Communications Materials

DOI: 10.1038/s43246-020-0040-3

日本語原文

http://www.k.u-tokyo.ac.jp/info/entry/22_entry885/

文 JST 客観日本編集部