



シリンダー型の一軸圧力セルでの磁化の圧力応答を測定した結果、一軸圧力に対し自発磁化  $M_S$  が線形に増大するピエゾ磁気効果を観測しました。また、 $Mn_3Sn$  がこれまで報告されてきた中で最大級のピエゾ磁気係数  $\sim 0.03 \text{ m}\mu_B \text{ f.u.}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$  を室温で示すことが分かりました。さらに、電気輸送特性の測定を行いながら試料の引張方向と圧縮方向の両方に一軸性の歪みを高精度、かつ、幅広い範囲で加えることが可能な抵抗測定用圧電歪み測定ステージ(図 1b)を開発し、歪みによる異常ホール信号の変化を室温において測定しました(図 2a)。通常、異常ホール効果などの電気輸送特性に観測可能なほどの変化をもたらすには、1%程度の歪みが必要でした。しかし、本研究では0.1%程度の非常に小さな歪みで異常ホール効果のつくるホール信号を変化させることに成功しました(図 2b)。ホール信号は単に大きさが変化しただけでなく、その符号まで反転

する振る舞いが観測され、ノンコリニア反強磁性体  $Mn_3Sn$  では歪みにより信号が非常に高効率に制御できることが分かりました。これまでの強磁性体での研究では磁化の方向に対応してホール信号が変化していました。その一方で、 $Mn_3Sn$  ではピエゾ磁気効果により生じる微小な磁化  $M_S$  とホール信号(クラスター磁気八極子偏極  $K$ )が歪みによって別々に制御できることを実験と理論の双方の研究から明らかにしました(図 3)。

### 【まとめと今後の展開】

反強磁性体を用いた電子デバイスの開発には薄膜が必要です。現在、各国の研究グループが  $Mn_3Sn$  および関連物質の薄膜の開発に取り組んでおり、その膜界面物性に着目した反強磁性スピントロニクス分野[8]での研究が活発化しています。薄膜では、基板との格子不整合や圧電材料を用いることで、歪み効果が異常ホール効果をはじめとする読み出し信号を制御することが可能です。実際、 $Mn_3Sn$  薄膜を用いた電流でホール信号を反転することが可能なデバイス(スピン軌道トルク磁気反転デバイス)において、歪みによる垂直磁気異方性を導入することで、ホール信号が高効率に電氣的に制御できることが明らかになるなど、歪みによる新たな信号の制御の技術の開発につながっています[6]。本研究で開発された歪みによる反強磁性体の磁気状態の高度な制御技術は、上記のホール信号の電氣的制御をより高速、低消費電力で実現するための重要な指針となります。今後、MRAMをはじめ、さまざまな磁気デバイスの高機能化に関する研究に本技術が展開されることが期待されます。

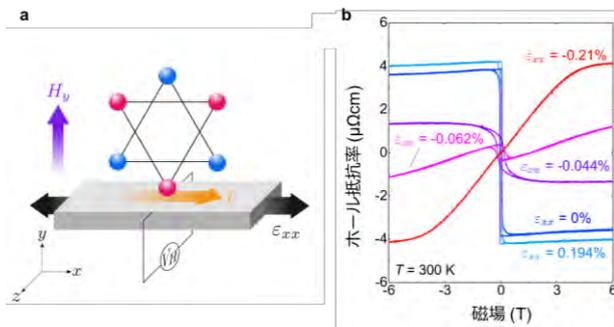


図 2 : (a) 歪み下での異常ホール効果の測定構成の概要図。ここでは  $x$  方向への引っ張り歪み下で、試料の  $z$  軸方向に発生するホール電圧  $V_H$  を測定している。 $H_y$  は外部磁場、 $I$  は電流、 $\epsilon_{xx}$  は  $x$  方向への歪みを示している。(b) さまざまな歪み  $\epsilon_{xx}$  下での  $Mn_3Sn$  のホール抵抗率の磁場依存性。

また、本研究で読み出し信号として用いた異常ホール効果はノンコリニア反強磁性体  $Mn_3Sn$  が持つトポロジカル電子状態であるワイル半金属状態に由来しています[9]。物質のトポロジーに由来する性質は、近年の固体物理学において大きな注目を集めており、ワイル半金属状態の電氣的な制御は学術的に大変興味を持たれています。今回開発した一軸性の歪みによる符号の反転を含めた異常ホール効果の制御手法は、これまで観測できなかったワイル半金属状態における新しい現象の開拓へつながることが期待されます。

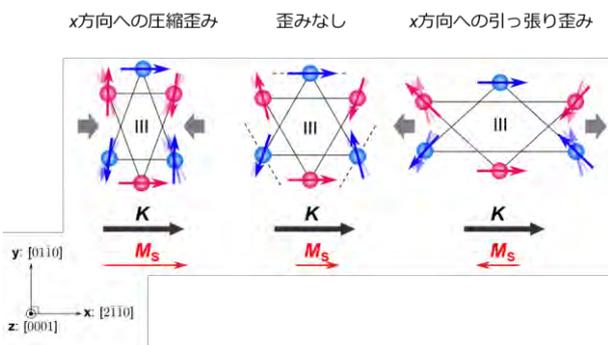


図 3 :  $Mn_3Sn$  では一軸性歪みの符号によって、ピエゾ磁気効果によって生じる微小磁化  $M_S$  と  $Mn_3Sn$  の異常ホール効果の起源であるクラスター磁気八極子偏極  $K$  の向きを独立に制御できる。

### 【謝辞】

本研究は東大物性研/ブリティッシュコロンビア大の S. Dasgupta 氏、中央大の橋高 俊一郎氏、バーミンガム大の C. W. Hicks 氏、コーネル大の B. J. Ramshaw 氏、F. Theuss 氏、ジョンズホプキンス大学の O. Tchernyshyov 氏との共同研究により行われました。ここに感謝を申し上げます。

### 【引用文献】

- [1] S. Nakatsuji, N. Kiyohara, and T. Higo, *Nature* **527**, 212 (2015).
- [2] M. Ikhlas, T. Tomita et al., *Nature Phys.* **13**, 1085 (2017).
- [3] T. Higo et al., *Nature Photon.* **12**, 73 (2018).
- [4] M.-T. Suzuki et al., *Phys. Rev. B* **95**, 094406 (2017).
- [5] H. Tsai, T. Higo et al., *Nature* **580**, 608 (2020).
- [6] T. Higo, K. Kondou et al., *Nature* **607**, 474 (2022).
- [7] M. Ikhlas, S. Dasgupta, F. Theuss, T. Higo, S. Kittaka, B. J. Ramshaw, O. Tchernyshyov, C. W. Hicks and S. Nakatsuji, *Nature Phys.* **18**, 1086 (2022).
- [8] T. Jungwirth et al., *11*, 231 (2016).
- [9] K. Kuroda, T. Tomita et al., *Nature Mater.* **16**, 1090 (2017).