

ははそれぞれ、外部磁場を+134 mT, -17 mT, -134 mT 印加したときの結果である。磁場を短軸方向に+134 mT 印加し、試料表面上に探針があるときは一樣に正の電圧が得られる。この電圧信号の強度は、ヒーターに流した電流の大きさの 2 乗に比例する。一方、-134 mT 印加すると信号の符号が反転することがわかった。これらの結果から、得られた電圧信号は、局所的な温度勾配により生じる異常ネルンスト効果に由来することがわかる。さらに、磁場を+134 mT から掃引して-17 mT にした場合は細線の中ほどに、明・暗(正・負電圧)のペアが現れる。これは、この場所に 180°磁壁が存在することを反映している。図 2 の下段に OOMMF により得られた、それぞれの磁場化での Co_2MnGa の磁気構造のシミュレーションの結果を示す。上段の実験結果と良い一致を示していることがわかる。試料細線の端を跨ぐように探針を走査した時の異常ネルンスト電圧の空間分布から、空間分解能は約 80 nm と見積もられた。また、パーマロイ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$)細線でも同様の磁気的信号が観察されたことから、異常ネルンスト効果が比較的小さい物質に対しても、本手法は適用可能であることがわかった。

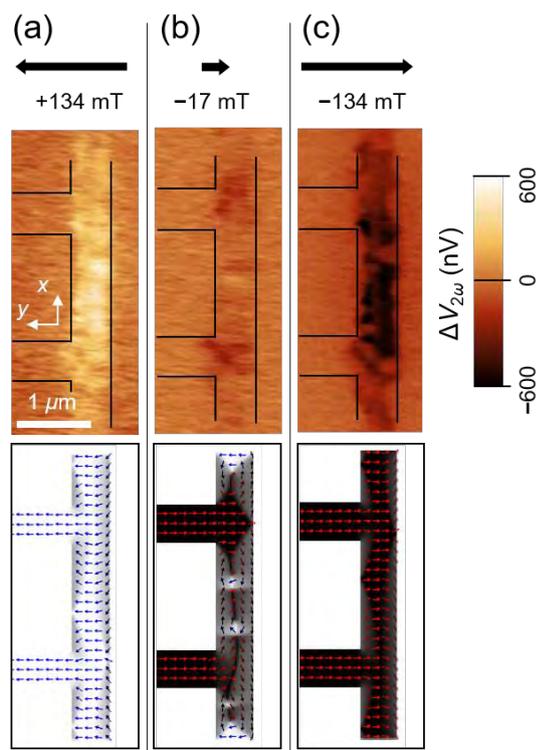


図 2 異常ネルンスト電圧をマッピング像。マッピングの範囲は、図 1(b)の点線で囲われた領域。(a), (b), (c)ははそれぞれ、+134 mT, -17 mT, -134 mT の外部磁場を印加したときの結果。下段はそれぞれの外部磁場のもとで計算された磁化の分布。

【まとめと今後の展開】

原子間力顕微鏡の探針を用いて試料表面近傍に局所的に温度勾配を作り、異常ネルンスト電圧を測定することで磁気イメージングを行う新手法を開発した [4]。本研究のユニークな点は、(1)細線加工と通常の原子間力顕微鏡以外には必要としない非常に簡易的な方法で、(2)約 80 nm の高い空間分解能の磁気イメージングを実現したことである。今後は、非共線反強磁性体 Mn_3Sn の磁壁構造の観察に取り組む予定である。

近年、異常ネルンストサーモパイル素子を使った、エネルギーハーベスティングが注目されている。本手法を利用することで、素子の最適化に必要な不可欠な、素子内部の磁気熱電効果マッピングを容易に行うことができると期待される。しかし、現時点では、本手法の定量性については疑問が残る。探針と試料の機械的な接触だけでは、誘起される温度勾配の大きさを説明することができない。したがって、試料と探針の間に存在する水や空気による熱伝導を考察する必要がある。今後、探針と試料間の熱輸送のモデルを構築して、定量的な磁気熱電係数のマッピング法として発展させたい。

参考文献

- [1] S. Sugimoto, Y. Nakatani, Y. Yamane, M. Ikhlas, K. Kondou, M. Kimata, T. Tomita, S. Nakatsuji, and Y. Otani, *Electrical Nucleation, Displacement, and Detection of Antiferromagnetic Domain Walls in the Chiral Antiferromagnet Mn_3Sn* , *Commun. Phys.* **3**, 111 (2020).
- [2] Y. Li, Y. Zhang, Y. Liu, H. Xie, and W. Yu, *A Comprehensive Review for Micro/Nanoscale Thermal Mapping Technology Based on Scanning Thermal Microscopy*, Vol. 31 (2022).
- [3] A. Sakai et al., *Giant Anomalous Nernst Effect and Quantum-Critical Scaling in a Ferromagnetic Semimetal*, *Nat. Phys.* **14**, 1119 (2018).
- [4] N. Budai, H. Isshiki, R. Uesugi, Z. Zhu, T. Higo, S. Nakatsuji, and Y. Otani, *High-Resolution Magnetic Imaging by Mapping the Locally Induced Anomalous Nernst Effect Using Atomic Force Microscopy*, *Appl. Phys. Lett.* **122**, (2023).