

Co₂MnAl_{1-x}Si_x 薄膜における高異常ネルンスト効果とその起源

桜庭裕弥¹、兵頭一茂²、三谷誠司¹、佐久間昭正²

(¹ 物材機構、² 東北大院工)

Large anomalous Nernst effect in Co₂MnAl_{1-x}Si_x Heusler thin film and its origin

Y. Sakuraba¹, K. Hyodo², S. Mitani¹ and A. Sakuma²

(¹NIMS, ²Tohoku Univ.)

背景

異常ネルンスト効果は強磁性体に熱流が流れた際に、温度勾配と磁化の外積方向に電界が生じる現象である。一般的な熱電効果であるゼーベック効果では温度勾配と電界が同軸方向に現れる 1 次元的現象であるのに対し、異常ネルンスト効果は磁化・熱流・電界が 3 次元的に生じるため、熱電対列の構成が容易であり大面積熱源を利用した環境発電応用が期待できる[1,2]。試算によれば、 $\mu\text{W-mW}$ の発電力が目標とされる実用環境発電技術に向けては、最低でも $10\text{-}20\ \mu\text{V/K}$ 以上の熱電能が求められるが[1]、これまでに室温以上のキュリー温度を持つ強磁性体において観測されている異常ネルンスト効果による熱電能は、FePt や MnGa で報告されている $1\ \mu\text{V/K}$ が最大であり[3]、少なくとも一桁以上大きなネルンスト効果を示す材料を開拓する必要がある。大きな異常ネルンスト効果を示す材料探索の指針はまだ確立されていないが、電界の線形応答の表式から[4]、異常ホール角 θ_{AHE} 、ゼーベック効果 S 、電気抵抗率 ρ 、熱電気テンソル非対角項 α_{xy} ($\propto d\sigma_{xy}/d\varepsilon$) が大きい材料が有望であると考えられる。本研究では、これらの要素を合わせ持つ材料系として Co₂MnAl_{1-x}Si_x(CMAS)系ホイスラー合金に注目した。Co₂MnAl は高い内因性異常ホール効果を示すことが予測されるとともに、 $d\sigma_{xy}/d\varepsilon$ はフェルミ準位近傍で急峻である。従って、Al:Si の組成比を変え、フェルミ準位を制御することで、大きな異常ネルンスト効果が生じる可能性がある。

実験方法

エピタキシャル CMAS 薄膜(50nm)は Co₂MnSi と Co₂MnAl ターゲットを利用したコスパッタ法によって Al:Si 組成比 x を変化させた。成膜は室温で行い、成膜後に $500\text{-}700^\circ\text{C}$ の熱処理を行った。異常ネルンスト効果は、面内方向に熱流を流し、面直磁場を印加する配置で測定した(図 1 挿入図)。

実験結果

作製した CMAS 膜の異常ホール効果を測定した結果、Co₂MnAl($x=0$)で最大の異常ホール伝導度が観測され、 x 増大とともに単調減少した。一方、異常ネルンスト効果は Co₂MnAl では小さく x 増大とともに大きくなり、 $x=0.37$ の試料で最大 $4\ \mu\text{V/K}$ が観測された(図 1)。またこの試料を 600°C 以上の高温で熱処理し、 L_2 規則度を高めることで出力は $6\ \mu\text{V/K}$ まで向上した。これは金属系強磁性材料としては最も大きな値である。この x 依存性を解析した結果、 $x=0.37$ における大きな異常ネルンスト効果は、ゼーベック効果 $\times$ 異常ホール効果によって生じる寄与と α_{xy} の寄与の 2 つが相乗的に効いていることが分かった。第一原理計算により α_{xy} を算出した結果、実験結果と定量的に比較的良好な一致が見られた。

参考文献

- 1) Y. Sakuraba, Scripta Materialia 111, 29-32 (2016).
- 2) Y. Sakuraba et al., APEX 6, 033003 (2013)
- 3) K. Hasegawa et al APL 106, 252405 (2015)
- 4) K. Behnia J. Phys. Cond. Matt 21, 113101 (2009)

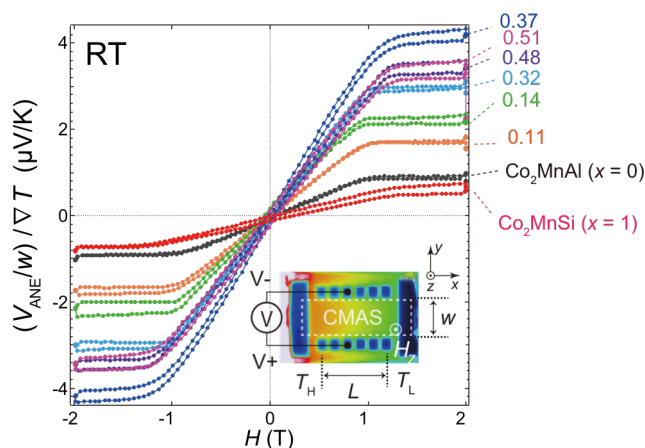


図 1 作製した CMAS 薄膜の異常ネルンスト電圧 (温度勾配と試料幅で規格化) の磁場依存性