

のほか、異常ネルンスト効果[3]、磁気光学カー効果[4]が相次いで報告されるなど、 Mn_3Sn は反強磁性として的高速スピン運動と強磁性に匹敵する外場への巨大応答の両方を併せ持つ物質として現在大きな注目を集めている。 Mn_3Sn のスピン運動速度に相当するテラヘルツ周波数帯における異常ホール効果の振る舞いを調べることで、さらにテラヘルツの速さで磁気情報を高速に読み出すことは重要な課題である。

本研究では、2018年に中辻教授らのグループが開発した高品質 Mn_3Sn 薄膜[5]を用いて、異常ホール効果をテラヘルツ周波数帯で観測する実験に取り組んだ。以下ではその実験結果について紹介する。

実験結果

テラヘルツ周波数帯の電気伝導計測を行うために、超短パルスレーザーによってテラヘルツ光パルスを発生・検出するテラヘルツ時間領域分光 (THz-TDS) を用いた。THz-TDS は、Kramers-Kronig 変換なしに光学伝導度などの応答関数の実部と虚部を計測できること、1ピコ秒以下の時間分解能で高速に伝導度を測定できることなどが挙げられる。テラヘルツ光を Mn_3Sn 薄膜に入射した際に異常ホール効果が生じると試料を透過した光の偏光面が回転することに注目し (図 1(b))、偏光回転を精密に計測することができるテラヘルツ偏光分解計測装置を開発した[6]。図 1(c) は本研究で開発したシステムの偏光計測精度の評価を示しており、0.5–1.5 THz の周波数帯において 20 分の積算時間で 0.05 mrad 以下という極めて高精度な分光系を構築した。この光学系を用いて、室温で Mn_3Sn 薄膜を透過したテラヘルツ光の偏光回転計測を行ったところ、図 1(d) に示すように 4 mrad ほどの偏光回転角が観測された。クラスター八極

子秩序の異なった向きに応じて偏光回転が逆方向に生じる振る舞いも確認されたほか、この観測された偏光回転角から異常ホール伝導度 $\sigma_{xy}(\omega)$ に換算すると $\sigma_{xy}(\omega) \sim 20 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ となり、直流電気抵抗測定で観測されていた値とよく一致する。これらの結果はテラヘルツ周波数帯における異常ホール効果が観測されたことを意味している[6]。

通常直流で計測される異常ホール伝導はキャリアが無散逸に流れることが特徴であるが、周波数が高くなるといずれ損失が生じると考えられる。本研究では 6 THz ほどの広い帯域にわたって異常ホール伝導度 $\sigma_{xy}(\omega)$ の計測が可能なテラヘルツ偏光分解計測装置を構築し、広帯域測定を行った[6]。図 2(a) は $\sigma_{xy}(\omega)$ の実部 (無散逸電流) および虚部 (散逸電流) のスペクトルを示す。1 THz 付近の周波数における $\sigma_{xy}(\omega)$ の虚部は $0.4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ であり、実部に比べて十分小さく、テラヘルツ周波数においてもほぼ無散逸な異常ホール電流が生じることがわかった。一方、1 THz より高周波で徐々に損失が目立ってくるのが見いだされた。これはバンド間遷移の寄与が現れているものと考えられる。またテラヘルツ異常ホール効果の温度依存性を計測したところ、室温から冷却すると 250 K 近傍で $\sigma_{xy}(\omega)$ が消失することを確認した (図 2(b))。これは、各 ab 面内の逆 120 度構造のスピン配置が c 軸に沿って回転して螺旋状のスピン秩序を形成するスピン再配置相転移が生じ、時間反転対称性が回復する方向に働くためであると考えられる。

本研究のもう一つの特徴は、まったくのゼロ磁場下で異常ホール効果が計測されたことにある。異常ホール効果自体は本来磁場なしで起こる現象であるが、従来の直流電気抵抗計測による異常ホール効果の測定では微弱な信号から電極の接触抵抗の影響などを排除するために外部から磁場を正と負の方向にそれぞれ与えてスピン秩序を再配置し、

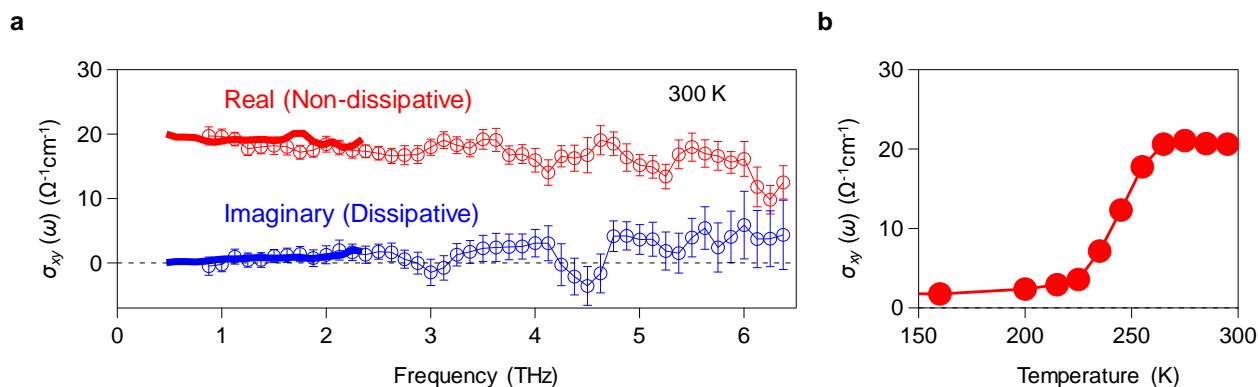


図 2 テラヘルツ時間領域分光で計測された異常ホール伝導度 $\sigma_{xy}(\omega)$ 。(a) 散逸性及び無散逸性の異常ホール伝導度の周波数変化。(b) テラヘルツ異常ホール伝導度の温度依存性。250 K 付近を境にした急激な減少がスピン再配置相転移に対応すると考えられる。

