

金属強磁性体 CoS_2 における常磁性磁気相関の偏極中性子散乱研究

Polarized-neutron-scattering study on paramagnetic correlations in metallic ferromagnet CoS_2

利用者 平賀 晴弘¹⁾、脇本 秀一²⁾、武田 全康²⁾、加倉井 和久²⁾

Haruhiro HIRAKA, Shuichi WAKIMOTO, Masayasu TAKEDA, Kazuhisa KAKURAI

所属 1)東北大学金属材料研究所、2)日本原子力研究開発機構

キーワード 偏極中性子、金属強磁性、常磁性散乱、 CoS_2

1. 目的

Fe ($T_C=1,040\text{K}$) やNi ($T_C=630\text{K}$) といった金属強磁性体に対しこれまで多くの中性子磁気非弾性散乱実験が為されきたが、そのスピンドイナミクス、言い換えれば $\chi''(q, \omega)$ の全体像は未だ明確ではない。金属強磁性体の $\chi''(q, \omega)$ は、エネルギースケールが数百meVに達し、しかもブリューアン帯全域に広く分布するため、各 (q, ω) での磁気散乱断面積は小さい。微弱な磁気信号を通常非偏極中性子散乱によって定量的に決定することは、S/N比の面で大きな困難を伴う。一方、散乱前後における中性子スピンの偏極度を解析することで、バックグラウンド信号を除去し、純粋な磁気散乱の抽出が可能である(表1)[1]。ただし、偏極中性子散乱強度は非常に弱く、散乱起源が磁気的か否かが決定的な役割を果たす場合を除けば、偏極中性子による磁気非弾性散乱測定はこれまで敬遠されてきた。しかしながら、金属強磁性体におけるスピンドイナミクスを解明しようと思えば、微弱な $\chi''(q, \omega)$ の測定は避けて通れない課題である。幸い、JRR-3の三軸型中性子分光器TAS-1においては、この数年間で偏極モノクロメータ結晶の大型・高性能化と偏極度計測システムの整備が格段に進進した[2]。

本研究では、金属強磁性体の典型物質である CoS_2 ($T_C=122\text{K}$, $\mu=0.9\mu_B/\text{Co}$) [3]を用い、TAS-1での偏極度解析実験によりどの程度の磁気非弾性散乱強度が得られるかを見極める。この実験データに基づき、今後進める $\chi''(q, \omega)$ の解明に必要な試料サイズや測定時間のオーダーを見積ることが出来る。なお、 CoS_2 はFeやNiに比べてエネルギースケールが小さく、スピンドイナミクス全体像の実験的解明に有利な物質と考えられる[4]。中性子スピン偏極度解析による磁気非弾性散乱実験が現実的なものとなった今、金属強磁性体の $\chi''(q, \omega)$ を再調査する絶好のタイミングである。

2. 方法

気相法で育成した5~7mmサイズの CoS_2 単結晶を2個アッセンブルし(実効体積~0.4cc)、 (h, k, k) 散乱面にアクセスできるように配置した。2Gの三軸型分光器TAS-1において、偏極中性子散乱実験を行った(図1)。スピン偏極子・検極子ともにホイスラー結晶(111)反射面を利用し、散乱中性子エネルギーを $E_f=14.7\text{meV}$ に固定した三軸モードで非弾性散乱を測定した。ヘルムホルツコイルを使い、試料位置に100Oe程度の横磁場(HF)あるいは縦磁場(VF)を印加した。スピンフリップパーを試料と検極子の間に設置し、フリップパーONによりスピン反転を操作した。PGフィルターをビームパスへ挿入することで、ホイスラー結晶からの高調波を除去している。

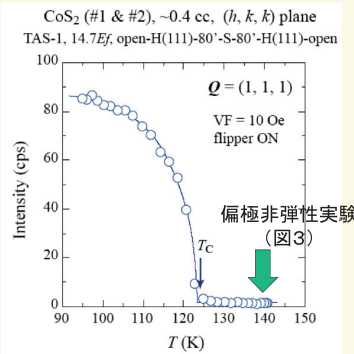


図2 磁気ブラッグ(111)反射の温度変化。

3. 実験結果

初めに、磁気ブラッグ反射の温度変化から試料の T_C を確認した(図2)。スピンフリップチャンネルで測定しているため、観測する散乱は磁気成分が主であり(表1)、実際 T_C 以上で強度がほぼ消える。強い核ブラッグ散乱がバックグラウンドとして常に観測される非偏極中性子散乱とは、対照的である。

過去の文献[3,4]を参考に、常磁性磁気相関が十分残っている温度(140K)で、スピンフリップチャンネルの散乱をHFとVFの場合で測定した。 $\omega=3\text{meV}$ と 8meV の結果を、図3に示す。下段に示すように、1点あたり1時間弱の統計で、純粋な磁気散乱を抽出することができた。なお、図3(b)に観られる $\omega=8\text{meV}$ で観測される $q \sim 1.1$ の散乱が非磁気成分であることから、過去に測定した非偏極中性子によるデータが磁気励起以外の成分を含んでいる可能性がある。

4. まとめ

実効体積~0.4cc、飽和磁気モーメント~ $1\mu_B/\text{Co}$ の単結晶試料を用い、 T_C 以上で常磁性散乱を測定した。 $\omega < 10\text{meV}$ の非弾性散乱に対し偏極度解析を試み、1点あたり1時間弱の統計で磁気非弾性成分を抽出することに成功した。今回の結果を踏まえ、 CoS_2 単結晶試料の実効体積を増やす努力はもちろん、磁気モーメントが大きく、大型単結晶を作成し易く、 T_C が比較的低い金属強磁性体を新たなターゲットとして探索する。

5. 引用文献

- [1] G. Shirane *et al.*, *Neutron Scattering with a Triple-Axis Spectrometer*, Cambridge (2002).
- [2] M. Takeda *et al.*, *Physica B* **356**, 136 (2005).
- [3] H. Hiraka and Y. Endoh; *J. Phys. Soc. Jpn.* **63**, 4573 (1994).
- [4] H. Hiraka *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **66**, 818 (1997).

表1 偏極中性子散乱断面積。HFは横磁場、VFは縦磁場。

ガイド磁場	スピンフリップ
HF	$M + (2/3)\text{NSI} + B$
VF	$(1/2)M + (2/3)\text{NSI} + B$

M : magnetic, NSI : nuclear spin incoherent, B : background (after Shirane *et al.*, [1]).

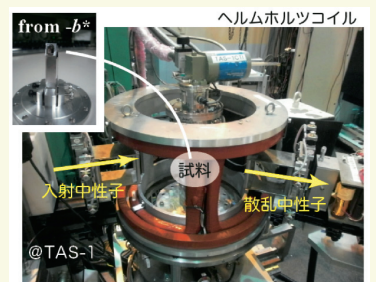


図1 TAS-1での偏極実験セットアップ。

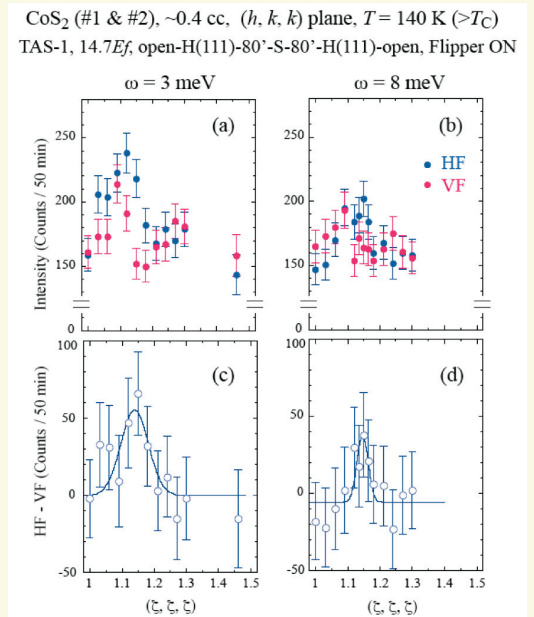


図3 常磁性散乱の q スペクトル。(上段) HFとVFの場合、(下段) ネット強度。