

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 spin correlations in
metallic ferromagnet CoS_2

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

¹⁾東北大学 ²⁾原子力機構

(概要)

金属強磁性体 CoS_2 ($S=1/2$) の単結晶試料(実効体積 $\sim 0.4\text{cc}$)を用い、偏極度解析を踏まえた中性子非弾性散乱実験により、 $\omega\sim 10\text{meV}$ 程度の低エネルギー常磁性散乱を抽出することに成功した。これにより、偏極中性子実験の立場から、金属の磁気励起研究における今後の指針を得ることができた。

キーワード：偏極中性子、金属強磁性、 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 比の点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、バックグランド信号を除去し、純粋な磁気散乱の抽出が可能である[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化した[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できる。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が、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 $\sim 0.4\text{cc}$)、 (h, k, k) 散乱面にアクセスできるよう配置した。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 100e 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。

3. 研究成果

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 1)。スピント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、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、スピント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 2 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 2 (b) に観られる $\omega=8\text{meV}$ で観測されると ~ 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。

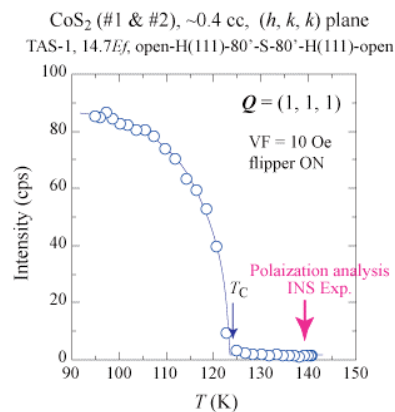


図 1. 磁気ブラッグ反射(111)の温度変化。

4. 結論・考察

実効体積 $\sim 0.4\text{cc}$ 、飽和磁気モーメント $\sim 1\mu_B/\text{Co}$ の単結晶試料を

用い、 T_C 以上で常磁性散乱を測定した。 $\omega < 8\text{meV}$ 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(参照)文献等

- [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).

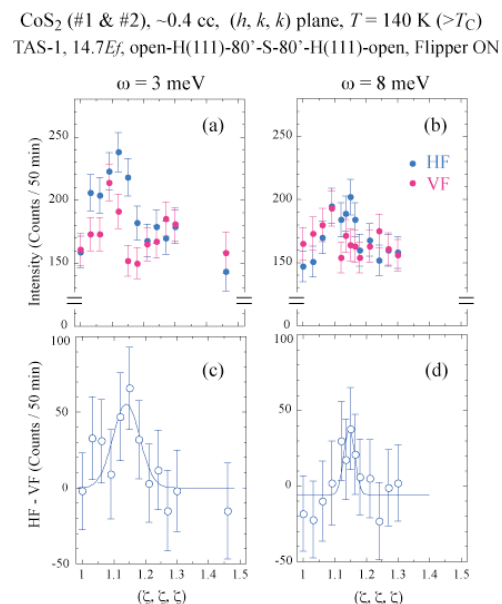


図 2. 常磁性散乱の q スペクトル。(上段) HF と VF の場合。(下段) ネット強度。