

Title	Detection of magnetic fluctuations in chiral helimagnet CrNb ₃ S ₆ thin films via pure spin current
Author(s)	鈴木, 将太
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/87818
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (鈴木 将太)

論文題名

Detection of magnetic fluctuations in chiral helimagnet CrNb₃S₆ thin films via pure spin current
(純スピンの流を用いたカイラルらせん磁性体CrNb₃S₆薄膜における磁気ゆらぎの検出)

論文内容の要旨

電流は電子とスピンという二つの自由度を持つ。電荷の流れである電流に対し、スピン角運動量の流れをスピンの流という。その中でも電流を伴わないスピン角運動量のみの流れである「純スピンの流」は、ジュール熱を発生しないことから、低消費電力素子への応用が期待されている。純スピンの流は、スピンホール効果によって電流との相互変換が可能である。近年、磁性体においてスピンホール効果を測定することで、磁性体中の微小な磁気ゆらぎを検出できることが報告された。本研究では、スピンがらせん状に配列するカイラルらせん磁性体に着目した。カイラルらせん磁性体では、らせん軸に垂直に磁場 H を印加することで、らせんの周期 $L(H)$ が長くなっていく特異な磁気状態が実現する。この磁気状態はカイラルソリトン格子(CSL)と呼ばれ、精力的に研究されているが、マクロな測定手法に限られ、局所的な磁気構造や磁気ダイナミクスについては未解明な点も多い。

本研究では、CSLの磁気ダイナミクスの解明を目指して、純スピンの流を用いて磁気ゆらぎを検出することを目的とした。スピンの流はナノメートルスケールで減衰するため、スピン輸送素子も同程度の大きさに加工する必要がある。そこで本研究では、カイラルらせん磁性体CrNb₃S₆に着目した。CrNb₃S₆は層状の結晶構造をとり、劈開性がある。この性質を利用して、機械的剥離法を用いてCrNb₃S₆を原子数十層の薄膜に加工する手法を確立した。作製したCrNb₃S₆薄膜をスピン輸送素子に組み込み、低温でスピン輸送測定を行った結果、磁気ゆらぎの電氣的検出に成功した。CrNb₃S₆は $H=0$ においてらせん周期 $L(0)=48$ nmを持つが、本研究では2種類の膜厚 $t_M < L(0)$ と $t_M > L(0)$ の場合についてスピン輸送測定を行った。

まず初めに、これらの薄膜にスピンの流を注入し、スピンホール効果を測定した。温度を変えながら測定した結果、磁気転移温度近傍で信号が極大値を取った。さらに、 $t_M > L(0)$ では転移温度近傍で信号の符号反転まで観測された。これらの結果は、従来の磁化測定では見られなかった、らせん磁性の磁気転移に伴う磁気ゆらぎを検出したことを示すものである。

次に非局所スピンバルブという手法を用いて、CrNb₃S₆中で、どの程度の距離でスピンの緩和するかを表すスピン拡散長を求めた。その結果、CrNb₃S₆のスピンの緩和が、不純物・フォノン散乱によって引き起こされていることが分かった。

さらに、非局所スピンバルブの手法を応用し、磁場を印加することで、CrNb₃S₆薄膜の磁化反転の様子を観測した。 $t_M < L(0)$ では、50 Oeという低磁場で薄膜の磁化が反転することが分かった。一方で、 $t_M > L(0)$ の場合、-50 Oeから50 Oeにかけて徐々に磁化が反転の様子が観測された。これらは、CSLのらせん磁化の反転の様子を検出した初めての例である。

本研究で得られた成果は、CSLの磁気ダイナミクスの解明に寄与するだけでなく、CSLを用いた磁気デバイスへの応用にもつながる結果である。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (鈴木 将太)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 新見 康洋
	副 査	教授 松野 丈夫
	副 査	教授 大岩 顕
	副 査	教授 浅野 建一
	副 査	准教授 越智 正之

論文審査の結果の要旨

2004年にNovoselovとGeimによって原子層物質が開拓されて以来、多数の原子層物質に関する報告がなされている。しかし原子レベルで薄く、微小な原子層素子の特性を実験的に明らかにする手法は専ら電気輸送測定のみに限られている。特に2017年に原子層磁性体が発見されて以降、原子層素子の磁気的な特性を調べる研究が喫緊の課題であった。

このような研究背景の下、鈴木氏は原子数十層程度の薄膜らせん磁性体に着目した。らせん磁性体はスピンがらせん状に配列する磁気構造を持ち、らせん軸に垂直に磁場 H を印加することで、らせんの周期 $L(H)$ が長くなっていく特異な磁気状態が実現する。この磁気状態はカイラルソリトン格子(chiral soliton lattice、以後 CSL)と呼ばれ、精力的に研究されているが、マクロな測定手法に限られ、局所的な磁気構造や磁気ダイナミクスについては未解明な点も多い。そこで鈴木氏は、スピントロニクスで重要な役割を果たす純スピン流をプローブとして、薄膜らせん磁性体の磁気的な特性を解明する研究を行った。純スピン流は、スピンホール効果によって電流との相互変換が可能である。近年、磁性体におけるスピンホール効果を測定することで、微小な磁性体中の磁気ゆらぎを高感度に検出できることが報告されていた。

本博士論文では、CSLの磁気ダイナミクスの解明を目指して、純スピン流を介した磁気ゆらぎの検出を行った。純スピン流はナノメートルスケールで減衰するため、素子も同程度の大きさに加工する必要がある。そこで鈴木氏は、バルクのらせん磁性体 CrNb_3S_6 を、機械的剥離法を用いて原子数十層の薄膜に加工する手法を確立し、さらに CrNb_3S_6 薄膜を含むスピン輸送素子を作製してスピン輸送測定を行った結果、磁気ゆらぎの電氣的検出に成功した。 CrNb_3S_6 は磁場 $H=0$ においてらせん周期 $L(0)=48\text{ nm}$ を持つが、本研究では2種類の膜厚 $t < L(0)$ と $t > L(0)$ の場合についてスピン輸送測定を行った。

まず初めにこれらの薄膜に純スピン流を注入し、スピンホール効果を測定した。温度を変えながら測定した結果、磁気転移温度 $T_c (=130\text{ K})$ 近傍で信号が最大値を取った。さらに $t > L(0)$ の素子では T_c 近傍で信号の符号反転まで観測された。Nb 単体ではこのような温度変化は観測されない。従って得られた結果は、らせん磁性の磁気転移に伴う磁気ゆらぎを検出したものと考えられる。

次に非局所スピバルブ測定という方法を用いて、 CrNb_3S_6 薄膜の磁化反転の様子を観測した。 $t < L(0)$ の素子では、50 Oe という低磁場で薄膜の磁化が一気に反転した。一方 $t > L(0)$ の素子では前者と異なり、-50 Oe から 50 Oe にかけて徐々に磁化反転することを明らかにした。これらの結果から、薄膜の磁化反転過程には、有限サイズにおける界面磁化構造が重要であると言える。

本研究で得られた成果は、CSLの磁気ダイナミクスの解明に寄与するだけでなく、CSLを用いた磁気デバイスへの応用、さらには原子層磁性体の研究に、純スピン流が有用であることを示したものである。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。