

# Theoretical study on ordered spin states in amorphous and chiral magnets

著者	Hirobe Mai
number	95
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	理博第3384号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00135424">http://hdl.handle.net/10097/00135424</a>

# 論 文 内 容 要 旨

(NO. 1)

氏 名	HIROBE, Mai	提出年	令和 3 年
学位論文の 題 目	Theoretical study on ordered spin states in amorphous and chiral magnets (アモルファスおよびカイラル磁性体における秩序スピン状態の理論研究)		

## 論 文 目 次

<b>Chap. 1 Overview</b>	<b>1</b>
<b>Chap. 2 Basics of spintronics</b>	<b>7</b>
2.1 Spintronics .....	7
2.2 Fundamental aspects in spintronics .....	8
<b>Chap. 3 Methods</b>	<b>21</b>
3.1 Atomistic spin dynamics .....	21
3.2 Solving the Landau-Lifshitz-Gilbert equation .....	22
3.3 Classical Monte Carlo .....	23
3.4 Exchange Monte Carlo .....	25
<b>Chap. 4 Magnetically ordered states in amorphous ferromagnet Co<sub>4</sub>P</b>	<b>27</b>
4.1 Amorphous ferromagnetism .....	29
4.2 Structural investigation using reverse Monte Carlo .....	31
4.3 Finite Temperature Effect .....	34
4.4 Quasi-crystalline approximation for spin wave spectra .....	35
4.5 Inelastic neutron scattering cross-section for amorphous magnets .....	36
4.6 Reproduction of scattering functions from experiment .....	37
4.7 Magnon properties and Bloch's law .....	39
4.8 Energy spectra and magnetic excitations .....	42
4.9 Additional aspects regarding spectra .....	45
4.10 Conclusion .....	49
<b>Chap. 5 Magnetically ordered states in anisotropic 2D chiral magnets</b>	<b>51</b>
5.1 Magnetic skyrmions .....	53

5.2	Inter-skyrmion repulsions / attractions in isotropic / anisotropic systems .....	55
5.3	Micromagnetic simulation .....	56
5.4	Analytic expression of the interaction .....	63
5.5	Appearance of attractive interactions under tilted magnetic field .....	65
5.6	Appearance of attractive interactions with the magneto-crystalline anisotropy .....	67
5.7	Elongated skyrmion crystal and phase diagram in the presence of the attraction .....	72
5.8	Tunable attraction by means of the in-plane magnetic field .....	77
5.9	Attractive interactions with preserved $C_4$ symmetry .....	79
5.10	Complementary issues .....	83
5.11	Conclusion .....	85
<b>Chap. 6 Conclusion</b>		<b>87</b>
<b>Appendix</b>		<b>89</b>
A	Validation of the simulation at small wavenumber region .....	89
B	Derivation of the amorphous neutron scattering cross-section .....	91
C	Analytic expression of double-skyrmion state.....	112
D	Derivation of analytic approximation of the inter-skyrmion interaction .....	114
<b>Acknowledgement</b>		<b>117</b>
<b>List of Publications and Presentations</b>		<b>119</b>
<b>References</b>		<b>123</b>

## 別 紙

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、スピントロニクス応用で注目されるアモルファス磁性体とカイラル磁性体の性質を理論的に調べたものである。

原子がランダムに配置されたアモルファス磁性体は、高効率スピン輸送が実験的に示されたことで注目されたが、矛盾する実験の報告が後に現れたことで、理論的な解析が待たれていた。また、アモルファス強磁性体である  $\text{Co}_4\text{P}$  では、波数 0 のギャップレス励起と有限波数でエネルギーギャップを持つ磁気励起が実験的に報告されていたが、ギャップのある磁気励起の起源が不明であった。以上の問題の背景には、理論研究において系の不規則性が簡素化され、マグノン相互作用が無視されてきたという解析手法の課題があった。本論文の著者は、Reverse Monte Carlo 法を用いて実験と整合するアモルファス構造を再現し、マグノン相互作用を正確に取り入れたスピンの時間発展方程式を解くことで、有限波数で強い強度を持つ  $\text{Co}_4\text{P}$  の磁気励起が、アモルファスウムクラップ散乱であるという解釈を提示した。

また、トポロジカルに保護されたスピン渦構造(磁気スキルミオン)が発現することで、磁気メモリへの応用が期待されているカイラル磁性体に関しては、スピンの時間発展方程式と Exchange Monte Carlo 法とを組合せて相互作用を解析することで、スキルミオンの歪みと磁気ドメイン形成により引力機構が生じ、外部磁場の印可角度を変えることで、この引力を 2 桁に及ぶ範囲で制御可能になることを発見した。さらに、磁気ドメイン形成に伴う引力がスキルミオン格子の構造も変化させることを明らかにし、最近実験的に報告されたドメイン壁スキルミオン相の発現機構を解明した。これらの結果は、スキルミオンを利用するデバイスの機能向上において注目される成果といえる。

以上の成果は、アモルファス強磁性体の磁気励起の描像を明らかにするものであり、また、カイラル磁性体の相互作用操作によるスキルミオン制御にも道を切り開いた。このことは著者が自立して研究活動を行う高度な能力を有することを示しており、廣部麻衣提出の論文は博士(理学)の学位論文として合格と認められる。