

Title	Experimental study of tunneling phenomena in submicroscale magnetic systems
Author(s)	田中, 崇大
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/56090">https://doi.org/10.18910/56090</a>
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 (田中崇大)

論文題名

Experimental study of tunneling phenomena in submicroscale magnetic systems

(微小磁性体におけるトンネル現象の実験的研究)

論文内容の要旨

トンネル効果は最も広く知られた量子力学的現象の一つであり、物理学の様々な分野にわたって重要な役割を果たしてきた。本研究では、スピンに依存した電子のトンネルや、マクロな磁化のトンネルに注目し、トンネル磁気抵抗素子および、磁気渦の極性におけるトンネル過程を明らかにすることを目的としたものである。

トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子とは、強磁性体/絶縁体/強磁性体という構造をもち、その抵抗が強磁性体層の相対的磁化配向によって変化するような素子のことである。素子抵抗は、強磁性体層の磁化方向が同じ (平行状態) のときに小さく、磁化方向が逆向き (反平行状態) のときに大きい。2004年に絶縁体がMgO結晶であるTMR素子が作製され、室温で2倍以上の抵抗変化が報告された。この巨大なTMR効果は、スピン分極率が非常に高い $\Delta$ 電子のみが高いトンネル確率を持つことに起因すると考えられている。その際、電子の運動量とスピンの向きが保存するコヒーレントトンネルが非常に重要な役割を果たしていると言われている。

本研究では、TMR素子トンネル過程を調べる手法として、平均値からのずれを測定する電流雑音測定を用いた。代表的な電流雑音であるショット雑音は、電子の分配過程に起因するため、その大きさの指標となるファノ因子からトンネル過程に関する情報が得られる。

本研究ではトンネル磁気抵抗素子におけるトンネルやそれに付随する過程について議論した。スピネル $MgAl_2O_4$ を有するTMR素子においても巨大なTMR効果も報告されていたが、スピネル系TMRにおいてコヒーレントトンネルが起きることはまだ確認されていなかった。本研究では、電流雑音測定からスピネル系TMR素子においてもコヒーレントトンネルが起きていることを示す結果を得た。また、MgOの膜厚を系統的に変化させたTMR素子についてショット雑音測定を行い、リーク電流の定量的に見積もった。

サブマイクロスケールの強磁性体の円盤では、交換エネルギーと静磁エネルギーの競合の結果、磁気構造は渦状になることが知られている。この渦の中心では、垂直磁化成分を持つ微小領域 (磁気コア) が現れる。この磁気コアの向きを磁気渦の極性と呼び、磁場によって制御することができる。本研究では、この極性が量子トンネルによって変化するかを検証することを目的とした。磁気渦の極性を検出する方法として2次元電子系に作製された量子ドットの磁気抵抗に注目した。磁気コアからの漏れ磁場による量子ドットの抵抗変化を電氣的に検出することで、磁気渦の極性が検出できると期待される。今回、磁気コアの反転による量子ドットの抵抗変化を古典的ビリヤードシミュレーションにより計算を行った。その結果、コアの反転により抵抗が0.3%程度変化することがわかった。これは量子ドットを用いた磁気渦の極性の電氣的検出は原理的に可能であることを示している。

以上の研究は、微小磁性体におけるトンネル過程について明らかにし、またトンネル過程を調べる手法を確立したものである。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 田 中 崇 大 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	小林 研介
	副 査	教授	大岩 顕
	副 査	准教授	浅野 健一
	副 査	准教授	酒井 英明
	副 査	准教授	新見 康洋
<b>論文審査の結果の要旨</b>			
<p>本論文は強磁性体素子におけるトンネル過程を解明することを目的とした研究に関するものである。その内容は「スピネル系 TMR 素子におけるコヒーレントトンネル」、「MgO 系 TMR 素子における微視的な伝導過程」、「バリスティック検出器を用いた磁気渦の極性検出」の三つで構成されている。</p> <p>「スピネル系 TMR 素子におけるコヒーレントトンネル」では、カチオンサイトが不規則化したスピネル系 TMR 素子における伝導過程について電流雑音を用いて調べている。その結果、電流雑音はスピンに依存しており、これは電子がコヒーレントにトンネルすることを示唆している。この電子のコヒーレンスは巨大なトンネル磁気抵抗効果の発現において非常に重要な役割を果たしている。本論文では、電子がコヒーレントに伝導していることを電流雑音により直接観測しており、物理的に重要な意義を持つ。</p> <p>「MgO 系 TMR 素子における微視的伝導過程」では、トンネル電流に付随するリーク電流について定量的な評価を行っている。電流雑音はリーク電流によって減少することを明らかにし、電流雑音の大きさからリーク電流の量を定量的に見積もることに成功した。また、電流雑音測定が通常の伝導度測定に比べて、リーク電流に対して敏感であることを示している。本研究成果は、電流雑音がトンネル電流に付随する伝導過程についても有用であることを提示するものであり、学術的に有意義である。また、リーク電流が定量的に見積もれたことは応用の観点からも深い意義を有する。</p> <p>「バリスティック検出器を用いた磁気渦の極性検出」では、二次元電子系に作製されたマイクロ構造を用いて、磁気渦のコアの反転が検出可能かを議論している。ピリヤードシミュレーションを用いて、マイクロ構造の抵抗が磁気渦からの漏れ磁場によって変化することを明らかにしている。これは、マイクロ構造によって磁気渦のコアの反転が原理的には検出できることを示唆する結果である。この手法を用いて、磁気渦における量子トンネルの検証が可能になることが期待される。</p> <p>以上のように、本研究成果は強磁性体素子におけるトンネル過程を明らかにし、またトンネル過程を調べる手法を提案、確立したものである。これらの手法により、様々なデバイスにおけるトンネル過程の研究が加速することが期待される。</p> <p>よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。</p>			