

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな) 氏 名	いわた かずき 岩 田 一 樹
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 年 月 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
(学位論文題目) 分数量子ホール状態 $\nu=2/3$ におけるヒステリシス現象の異方性	
論 文 調 査 委 員	(主査) 澤 田 安 樹 教授 前 野 悦 輝 教授 川 上 則 雄 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理 学)	氏 名	岩 田 一 樹
論文題目	分数量子ホール状態 $\nu=2/3$ におけるヒステリシス現象の異方性		
(論文内容の要旨)			
本論文は、著者らが開発した 2 軸回転ゴニオメータを用いて、分数量子ホール状態 $\nu=2/3$ のスピン転移点で生じる核スピン非平衡発生現象を、測定電流と面内磁場（磁場の 2 次元面方向成分）間の相対角を変えて比較した研究結果を報告したものである。 分数量子ホール状態 $\nu=2/3$ にはスピン偏極状態とスピン非偏極状態の 2 つの基底状態が存在し、相転移を起こす。その際、電流を流し、抵抗測定を行うと、核スピン偏極に起因する磁気抵抗の極大とヒステリシス現象が観測される。この核スピン非平衡状態の発生は、スピン偏極率の異なる 2 つの分数量子ホール状態のドメイン構造の形成と、そのドメイン間を電子が散乱する際に生じる電子スピン－核スピン間相互作用によって生じると説明されているが、そのメカニズムは未解明なままである。本論文では、分数量子ホール状態 $\nu=2/3$ のスピン転移点付近で見出される核スピン非平衡発生メカニズムの解明を進展させるために、量子井戸試料を使用して、傾斜磁場下において、面内磁場方向と電流方向の相対角を変え、核スピン非平衡に由来するヒステリシス現象および核スピン－格子緩和速度、核スピン偏極速度の測定を行った。 筆者らは、分数量子ホール状態 $\nu=2/3$ のスピン転移点付近において、電流と面内磁場の相対角を変えてヒステリシス現象の比較を行い、電流と磁場が直交する場合に、顕著なヒステリシス現象が観察されるのに対し、平行な場合に、ヒステリシスがほとんど現れない大きな異方性を初めて見出した。さらに、このヒステリシス異方性の面内磁場強度依存性、電流依存性を測定し、3.5 T の面内磁場を加えた際に異方性が見出せること、および、10 nA 程度の比較的小さな電流を流した場合にのみ異方性が見出せることを示した。また、ヒステリシスを電流と面内磁場のなす角を細かく変えて測定し、電流と面内磁場が直交する場合にヒステリシスが最大となり、電流と面内磁場が平行に近づくにしたがい連続的に小さくなることを示した。 次に、ヒステリシス異方性の原因を調べるために、分数量子ホール状態 $\nu=2/3$ のスピン偏極率転移点において、核スピン－格子緩和速度ならびに核スピン偏極速度を電流と面内磁場間の角度を変えて測定した。その結果、核スピン－格子緩和速度は電流と面内磁場が平行な場合に最大となり、直交する場合に最小となること、および、核スピン偏極速度は電流と面内磁場が直交状態において、平行状態よりも大きいことを見出した。これら核スピン－格子緩和速度および偏極速度の異方性は、電流と面内磁場が直行した場合に、核スピン非平衡が最大となること示していることから、ヒステリシス異方性の原因は核スピン非平衡発生の異方性に起因していると結論付けられる。 実験結果の分析から、ヒステリシス異方性は、量子井戸幅よりも面内磁場に起因する量子井戸方向の磁気長が短くなった場合に見出されることが示された。筆者らは、この点を考慮して、電流と面内磁場によって生じるローレンツ力に注目し、量子井戸幅よりも井戸方向の磁気長が短くなることで、井戸幅方向への電子の移動が可能となり、それにより、井戸幅方向の電子波動関数がローレンツ力の影響を受けるために、電子スピン－核スピン間相互作用に異方性が生じる可能性を指摘した。			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

著者らはミリケルビン領域で働く 2 軸回転ゴニオメータを開発し、2 次元電子系試料を用いて、分数量子ホール状態 $\nu=2/3$ のスピン偏極率転移点付近で起こるヒステリシス現象、核スピン偏極速度および核スピン - 格子緩和速度の電流と面内磁場のなす角に対する異方的性質を実験的に調べ、成果を報告している。

分数量子ホール効果 $\nu=2/3$ で見られるヒステリシス現象は、試料を構成する原子核の核偏極と関連している。核偏極が生じるメカニズムについては、スピン転移点において、スピン偏極量子ホール状態と非偏極量子ホール状態がドメイン構造をつくり、その境界を電子が越える際、角運動量を保存するために、核偏極が起こると考えられているが、詳細は不明である。著者らは、核偏極に関連するヒステリシス現象を通して核偏極メカニズムの解明を目指し、ヒステリシス現象の面内磁場方向と電流方向に対する相関関係を詳細に調べた。その結果、電流と面内磁場が直交する場合と平行な場合で、観察されるヒステリシスが大きく異なることを見出した。このヒステリシス異方性の面内磁場強度依存性および電流依存性から、面内磁場を大きくすることで異方性が生じること、および、10 nA 程度の比較的小さな電流領域でのみ異方性が観察できることを明らかにしている。さらに、電流と面内磁場の相対角度を細かく変えた測定により、ヒステリシスは電流と面内磁場が直交する場合に最大となり、電流と面内磁場が平行に近づくにしたがい連続的に減少し、電流と面内磁場が平行となる場合に消失することを示している。これらのことは、電流と面内磁場が直交した方が、平行な場合よりも大きな核偏極が生じることを示唆している。次いで、ヒステリシス異方性の原因の詳細を得るために、スピン転移点に磁場を固定して、電流による核スピン偏極を行い、核スピナー - 格子緩和速度と核スピン偏極速度を、電流と面内磁場方向の相対角を変えて調べている。その結果、核スピン - 格子緩和速度は電流と面内磁場が平行（垂直）な場合に最大（最小）となり、核スピン偏極速度は、電流と面内磁場が直交した場合に、平行な場合よりも大きくなることを明らかにした。これら核スピナー - 格子緩和ならびに核スピン偏極速度の異方性は、電流と面内磁場が直交した場合に、核偏極が最大となることを意味し、ヒステリシス異方性と整合していることから、筆者らは、ヒステリシス異方性の原因が核偏極の異方性に起因していると結論付けている。考察では、ヒステリシス異方性が、量子井戸幅に対して面内磁場に係る量子井戸方向の磁気長が短くなった場合に、観察できることから、核偏極の異方性の原因として、電流と面内磁場方向のなす角に影響を受けるローレンツ力に注目し、ローレンツ力と電子スピン - 核スピン間相互作用の関連について議論している。

著者らが見出したヒステリシス現象、核スピン偏極速度および核スピナー - 格子緩和速度の面内磁場と電流の相対角度に対する異方性の発見およびその詳細な測定は、核スピン非平衡発生メカニズムの解明に大きな寄与をするものである。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 2 月 7 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降