

論文審査の結果の要旨

氏名 望月敏光

本論文は6章からなる。第1章は序論であり論文の構成について簡単に述べている。第2章は研究の背景となるスピングラスに関する物理学研究のレビューである。本研究では低次元スピングラス、また、スピン系に由来する散乱によって電気伝導がどう変化するかが重要な課題であるので、これらを中心としたレビューになっている。第3章は実験の舞台である InAs 表面に Fe 原子を吸着した系の Fe 原子の状態および InAs 側の 2 次元電子系についてのこれまでの研究のレビューである。実験は走査プローブによる表面原子配置研究、および著者の所属するグループの伝導研究が中心であり、第1原理バンド計算、同構造エネルギー計算の結果も紹介されている。

第4章以降が、本研究の詳細な記述と議論である。第4章では、本研究に特有の実験技術が詳述される。低温で InAs の清浄表面を得るための試料の準備方法、電極の取り方、Fe の蒸着方法など。一連の技術は著者所属の研究グループで継続して開発してきたものであり、論文提出者(著者)一人の創始になるものではないが、著者が開発の中心人物の一人ではあった。特に Fe の蒸着に関する技術開発は主に著者によるものであり、また細かな改良を重ねて質の良いデータを取る努力をすることで、本論文の中心課題とは直接関係ないが、このような系で初めて明確な量子ホール効果を観測することに成功している。

第5章が本論文の中心となる、零磁場近辺での履歴を伴う磁気抵抗に関する実験結果の詳述である。Fe 原子で表面修飾をして得られる InAs 2 次元電子系に垂直に磁場を印加するとシュブニコフ・ド・ハース磁気抵抗振動が得られ、ラシユバ効果による変調が生じている。以上は、修飾原子によらない性質であり、Fe 原子による系特有の現象は、(1)零磁場冷却と電子系に平行な磁場を循環後の電気抵抗の差(以下これを $\Delta\rho$ とする)、(2)零時場付近での磁気抵抗の履歴現象、として現れることを、本論文において初めて見出している。これらを中心とする伝導現象を調べ、その原因を探ることが本論文のテーマである。

(1)の $\Delta\rho$ の零磁場抵抗に対する比を Fe の被覆率に対して調べると、被覆率 0.3 付近から急速に現れる。この被覆率は(110)表面の最安定位置が満充填され次のサイトに Fe 原子が付き始めるところである。移動度や 2 次元電子濃度の変化からもこのことが支持される。最安定位置の Fe 原子系は反強磁性が安定と計算されているが、別なサイトに Fe 原子が付くことでスピン間相互作用がランダムになりフラストレーションが生じることが期待される。また、温度を一旦 12K

まで上昇し、零磁場で再度冷却すると抵抗値は元の値に戻り（アニール現象）、アニール温度がこれより低いと抵抗値は中間的な値に戻る。

一方、(2)の履歴現象も同じ条件で現れる。この現象に特徴的なのは、循環磁場を経験することで、電気抵抗に緩やかな緩和が生じることである。磁場循環の後に零磁場で電気抵抗を測定すると、1000秒オーダーでのゆっくりとした抵抗減少が観察され、この抵抗減少は、3桁にわたって（測定した限り）時間の対数に比例していることを見出している。

以上の結果から、著者は、可能なモデルとして、Fe原子スピンの2次元スピングラス形成を挙げている。履歴を伴う磁気抵抗は、非磁性の修飾原子による2次元電子系では見られないため、Fe原子スピンの由来するものと考えられる。低温での温度循環によるアニールや、時間の対数に比例する緩和現象も、2次元スピングラスに由来するものであるとして矛盾しない。

ただし、スピングラス以外の可能性を排除はできていない。すなわち、超常磁性やクラスター強磁性でも同様な現象が生じる可能性がある。また、帯磁率と電気抵抗とをつなぐ機構としてFeスピン-2次元電子スピン間の交換相互作用を考えているが、この機構によってスピングラス形成が観察されたような磁気抵抗にどのようにして現れるかも説明されていない。

最終第6章では、以上の結果から、更に仮説を確認し、理解を深めるためにはどのような実験と理論的探索を行うべきかについて簡単に述べられている。

2次元のスピングラスは物理的興味から長い間実験的探索が試みられているが、未だ確定的な結果は得られていない。本論文の結果も確証を得たとするには不十分であるが、大変難しい実験を高い精度と再現性が得られる状態にまで技術開発を行い、曲がりなりにもスピングラスが最も可能性の高い仮説と言えるまでに質を高めたことは2次元スピン系、また表面2次元電子系の研究にとって大きな一歩であると評価できる。

なお、本論文の第5章は、岡本徹、柘富龍一各氏との共同研究であるが、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。