

論文審査の結果の要旨

氏名 當山 清彦

本論文は5章からなり、第1章は序論として、研究の背景がまとめられ、本研究の目的が述べられている。第2章では実験の方法が詳しく述べられている。第3章と第4章は論文提出者によって行われた2種類の状況での実験結果が詳しく述べられ、最後の第5章では実験の総括と展望が述べられている。

強磁場中の2次元電子系は量子ホール効果を示すが、これは磁場により運動エネルギーが離散化されたランダウ準位が形成されるためであり、ランダウ準位とフェルミ準位が一致する場合には強相関電子系となり、分数量子ホール効果を初めとして、電子相関による様々な基底状態が実現することが知られている。このように興味深い2次元電子系であるが、さらに新しい現象を引き出すために、新たな自由度を導入する試みが以前よりなされてきた。その一つの試みは2層系を作成すること、もう一つの試みは異なる量子数を持つ2つのランダウ準位を同時にフェルミ準位に近づけることである。このようにして導入された新たな自由度は擬スピンを用いて表現することができる。擬スピン間の相互作用は通常は交換相互作用に基づく強磁性相互作用であり、強磁性ドメインの形成による電気抵抗のピーク構造などが観測されてきた。

さて、従来はこのような研究は主に易動度の高いGaAs系2次元電子系で研究されてきたが、本論文では、シリコンを用いた2次元電子系での実験結果が報告されている。シリコンを使うことによる特徴は、スピンゼーマン分裂が大きいために磁場を2次元面に対して傾けることにより、容易に異なる量子数のランダウ準位交差を実現できること、シリコンでは谷縮重もあるために、自由度がさらに2倍になることである。このような特徴を持つシリコンでの実験研究はこれまであまり活発ではなかったが、これは易動度が高い試料が得られなかったことに起因しており、その点、本論文では世界最高レベルの易動度の試料を用いて、この欠点を克服している。

この高易動度の試料により、本研究では新たな現象が発見されたが、次にそれらについて述べて評価する。まず第3章に記述されたランダウ準位占有率が整数の場合の実験結果である。占有率が整数の場合には通常は量子ホール効果が観測されるが、ここで準位交差を起こすと、エネルギーギャップの消失に伴い抵抗ピークが観測される。先行研究により、このピークは異方性を持つことが知られていたが、本研究ではこの異方性が確認されると共に、より高温側ではピークが弱まりながら、2つに分裂するという、新たな現象が見いだされた。本論文ではこの分裂したピークの温度依存性、磁場依存性を検討し、ピークが分裂する温度が擬スピンの強磁性状態への転移温度であるという結論を得ている。また、高温側での2つのピークでは擬スピンの偏極率が

一定であると言うことが主張されている。これらの結論は間接的な証拠に基づくものであり、今後実験および理論による更なる検討が必要であると思われるが、詳細な測定により、確固たる新しい実験事実が得られたことは十分に評価できる。

第4章では占有率が2つの整数値の間にある、遷移領域と呼ばれる状況での準位交差により生じる現象が述べられている。この状況での実験の報告はこれまでほとんどなく、本実験で初めて詳細な研究が行われたものである。この遷移領域においては通常はホール抵抗は非量子化値をとり、対角抵抗は有限値を持つ。しかるに、準位交差を起こした場合にはホール抵抗は量子化値に接近し、対角抵抗は消失に向かうことが観測された。これは、準位交差により量子ホール効果状態が実現することを意味しており、電子の局在をもたらす未知の多体状態の出現を意味するものと考えられる。本論文では基底状態の候補として異なるランダウ準位に属する電子対のウィグナー結晶という新しいタイプの基底状態の可能性が指摘されている。この可能性については今後の研究が待たれる所である。

以上、本研究は世界最高水準の試料について詳細な実験を行い、新たな実験結果を得たことにより、強相関電子系の研究に対し、大きな寄与を与えたものであり、博士論文として十分な内容を持つものとして高く評価できる。

なお、本論文は西岡貴央、関根啓仁、岡本徹との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験を行ったもので、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。