

氏名・(本籍)	てら さわ だい じゅ 寺 澤 大 樹
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	理博第2168号
学位授与年月日	平成17年3月25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	東北大学大学院理学研究科(博士課程)物理学専攻
学位論文題目	2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態における面内磁場の効果
論文審査委員	(主査) 教授 豊田直樹 教授 倉本義夫, 江澤潤一, 青木晴善 澤田安樹(京都大学)

## 論 文 目 次

1. Overview
2. 序論
  - 2.1 2次元電子系の実現と量子Hall効果
  - 2.2 2層系 $\nu=1$ 量子Hall状態
  - 2.3 研究の目的
3. 実験
  - 3.1 試料の構造
  - 3.1 実験装置
4. 試料の特性
  - 4.1 ゲート電圧と電子密度の関係
  - 4.2 試料のトンネリングエネルギー
  - 4.3 電子密度と移動度の関係
5. 2層系 $\nu=1$ 量子Hall状態の面内磁場の効果を含んだ相図
  - 5.1 2層系 $\nu=1$ の相図
  - 5.2 活性化エネルギーの測定
6. C-I相転移の間の領域
  - 6.1 温度に対する変化
  - 6.2 電子密度差に対する変化
7. 考察
  - 7.1 2層系 $\nu=1$ の面内磁場を含む相図
  - 7.2 活性化エネルギーの変化と相転移の次数
  - 7.3 磁気抵抗のピーク
8. まとめと展望
  - 8.1 本研究のまとめ
  - 8.2 今後の展望と課題

## 論文内容要旨

量子ホール効果とは、低温・強磁場下において、2次元電子系がホール抵抗の量子化と磁気抵抗の消失を示す現象である。2次元電子系を2枚近接配置した2層系の $\nu=1$ 量子ホール状態では、2層間の位相差 $\phi$ に巨視的なコヒーレンスが存在すると考えられており、面内磁場 $B_{\parallel}$ はこの $\phi$ をずらす働きがある。 $\nu$ とは磁束量子1本に対する電子の個数を表し、ランダウ準位占有率と呼ばれる。この効果により、整合相(C相)から定位相非整合相(I相)へと系の対称性が変化する相転移が起きることが知られていた。しかし、これまでの研究では面内磁場の増加によるC相から非量子ホール状態(NoQHE)への転移やC-I転移の際の活性化エネルギーに下の凸の尖点ができることなどが予想されていたが、いずれも実験的に確かめられていなかった。理論的にはこれら以外にも相が存在することが予想されており、 $B_{\parallel}$ は位相差 $\phi$ を直接変化させるだけに、コヒーレンスと関係する新たな量子ホール状態が現れる可能性が大きい。そこで、量子ホール効果における新たな現象を見出すことを目標に、面内磁場の効果を詳しく調べる実験を行った。2層系の試料を用意し、磁場中で試料を傾けるという方法で面内磁場を加えたところ、磁気抵抗の変化からC-I転移の他に、C-NoQHE転移やI-NoQHE転移が確認され、またC-I転移の際に、活性化エネルギーが下に凸の尖点を作ることが確認された。さらに本研究では、C相とI相の間の領域で磁気抵抗にピークが発生する変化を見出した。このピークを詳しく調べたところ、低温においても有限に残り、基底状態にドメイン構造が存在することを示唆する結果であった。このようなドメイン構造は層間の位相差 $\phi$ の向きにより形成されるもので、理論的に予想されているソリトン・ラティス相(以下SL相とする)と考えられる。活性化エネルギーにも下に凸の滑らかな極小をとる変化が現れ、やはりSL相の存在を示唆する結果であった。この結果、層間の位相差が作るドメイン機構によって抵抗が生じるという新たな知見が得られた。

## 論文審査の結果の要旨

量子ホール効果とは、低温・強磁場下において、2次元電子系がホール抵抗の量子化と磁気抵抗の消失を示す現象である。2次元電子系を2枚近接配置した2層系の $\nu=1$ 量子ホール状態では、2層間の位相差 $\phi$ に巨視的なコヒーレンスが存在すると考えられており、面内磁場 $B_{\parallel}$ はこの $\phi$ をずらす働きがある。 $\nu$ とは磁束量子1本に対する電子の個数を表し、ランダウ準位占有率と呼ばれる。この効果により、整合相(C相)から定相非整合相(I相)へと系の対象性が変化する相転移が起きることが知られていた。しかし、これまでの研究では面内磁場の増加によるC相から非量子ホール状態(NoQHE)への転移やC-I転移の際の活性化エネルギーに下の凸の尖点ができることなどが予想されていたが、いずれも実験的に確かめられていなかった。理論的にはこれら以外にも相が存在することが予想されており、 $B_{\parallel}$ は位相差 $\phi$ を直接変化させるだけに、コヒーレンスと関係する新たな量子ホール状態が現れる可能性が大きい。そこで、寺澤は量子ホール効果における新たな現象を見出すことを目標に、面内磁場の効果を詳しく調べる実験を行った。2層系の試料を用意し、磁場中で試料を傾けるという方法で面内磁場を加えたところ、磁気抵抗の変化からC-I転移の他に、C- NoQHE転移やI- NoQHE転移が確認され、またC-I転移の際に、活性化エネルギーが下に凸の尖点を作ることが確認された。さらに本研究では、C相とI相の間の領域で磁気抵抗にピークが発生する変化を見出した。このピークを調べたところ、低温においても有効に残り、基底状態にドメイン構造が存在することを示唆する結果であった。このようなドメイン構造は層間の位相差 $\phi$ の向きにより形成されるもので、理論的に予想されているソリトン・ラティス相(以下SL相とする)と考えられる。活性化エネルギーにも下に凸の滑らかな極小をとる変化が現れ、やはりSL相の存在を示唆する結果であった。この結果、層間の位相差が作るドメイン機構によって抵抗が生じるという新たな知見が得られた。また、実験においては、現状の装置で可能な限りSL相の存在を裏付けるデータが得られており、博士論文として十分な条件を満たしており、自立して研究活動を行なうのに必要な高度な研究能力と学識を有することを示している。従って、寺澤大樹提出の博士論文は、博士(理学)の学位論文として合格であると認める。