

# 論文審査の結果の要旨

氏名 小森 陽介

本論文は6章からなり、第1章では本研究でとりあげる整数量子ホール効果のブレイクダウンと、その要因とされる電子温度分布発生 (Ettingshausen 効果) が説明されている。Ettingshausen 効果は「電子チャンネルに直交する方向の電子温度差の発生」を指すが、実験の難しさから、その物理は未だ明らかではない。本研究では、この電子温度差の検出のために、ミニホールバーを利用する方法と核スピン偏極を利用する方法を独自に提案、実証している。とくに、電子温度の空間変化によって核スピン偏極が起こるという現象を見出し、それを電子温度差のプロブに利用する、という研究のシナリオが簡潔に説明されている。

第2章は試料作製と測定の章で、GaAs/AlGaAs ヘテロ構造を用いたホールバー型の試料作成と4He 低温装置による抵抗測定の方法が説明されている。

第3-5章は、本論文の中核をなす章で、それぞれ、ミニホールバーによる温度差の観測、電子温度差による核スピン偏極の発生、核スピン偏極を利用した Ettingshausen 効果の観測が述べられている。第3章では、主電子チャンネルの上下に取り付けた小さいホールバー (ミニホールバー) の微分対角抵抗とブレイクダウン電流 (主電子チャンネル) の関係が述べられている。実験では、上下いずれか一方のミニホールバーでのみ抵抗の上昇が観測され、これによって、化学ポテンシャルが高い方の主電子チャンネル端で電子温度が高いことが確認されている。また、ミニホールバーと主チャンネルの距離に依存して電子温度の変わる様子が観測され、その結果から、熱電子の緩和長の上限が見積もられている。以上は、主電子チャンネル両端における電子温度差の存在を明瞭に確認した実験である。

第4章では、「電子の化学ポテンシャルがゼーマンエネルギー準位の間にあるとき、電子温度を局所的に変えると、フリップフロップ相互作用を介して、電子スピン偏極の平衡状態への移行と核スピン偏極が起こる」という独自のアイデアに基づく実験が紹介されている。チャンネル幅の変化した試料について、定電流をオフにした直後の対角抵抗が指数関数的に減衰する様子を観測し、それが幅変化部分における電子温度の上昇 (または低下) に伴う核スピン偏極に起因することが推論されている。その妥当性は核磁気共鳴法によって確認され

ている。さらに、抵抗変化分の解析から核スピン偏極率が 25%程度であること、対角抵抗の減衰時定数の温度変化から核スピン緩和にはフォノン機構が支配的であることが指摘されている。以上の結果により、核スピン偏極をプローブとして電子温度の変化を敏感に検出できることが確認されている。

第 5 章は本論文で最も重要な章で、電子チャネルを横切る方向に熱流が流れることを検出した結果の詳細が述べられている。実験では、一方のチャネル端で熱流が流れ易くした試料を用いて対角抵抗を測定し、「熱流によって発生する電子温度の変化は主チャネルの端で起こる。」という予測に沿って、同端での核スピン偏極の増大（電子温度の上昇に対応）が観測されている。第 4 章の結果から構築したシナリオに沿った優れた実験である。さらに、ランダウ準位充填率と核スピン偏極の測定結果から、熱流は充填率に依らず化学ポテンシャルの高い側から低い側のチャネル端に向かって流れること、一方、電子スピン流は充填率によって変化し、占有最上位のスピンが化学ポテンシャルの低い側に向かって流れることが結論されている。熱流とスピン流の向きを識別した初めての実験である。これらの結果は、電子温度や拡散係数、核スピン偏極率といった定量性には欠けるものの、定性的には明瞭な実験で裏付けられており、信頼性が高い。Ettingshausen 効果の物理解明のための重要な資料となるであろう。

第 6 章では研究結果が簡潔にまとめられている。

以上、各章を紹介しながら本論文の物理学への貢献点を解説した。本研究は、試料構造や測定法に独自のアイデアを盛り込むことによって、量子ホール効果状態のブレイクダウンに関する電子温度の局所的な変化、及び、熱流とスピン流の発生を解明しようとするもので、独自性が高く、得られた結果も当該分野に対して学術的に優れた寄与をしている。これをまとめた本論文は、学位論文として十分な水準にあることが審査員全員によって認められ、博士論文として合格であると判定された。なお、本論文の内容は、Phys. Rev. B に掲載されているほか、Appl. Phys. Lett. に掲載が予定されている。これらの業績は第一著者である論文提出者が主体となって実験、結果の解釈を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断される。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。