【124】

氏　名（本籍）	伊藤宙陛（埼玉県）
学位の種類	博　士（理　学）
学位記番号	博甲第 5275 号
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	**Study of electronic properties of semiconductor heterostructures by a dilution-refrigerator based near-field optical microscope in magnetic field** （希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡による半導体ヘテロ構造の電子状態の研究）

主　査	筑波大学教授	理学博士	舛本泰章
副　査	筑波大学教授	理学博士	大塚洋一
副　査	筑波大学教授	理学博士	白石賢二
副　査	筑波大学准教授	博士（理学）	野村晋太郎

論文の内容の要旨

量子ホール端状態は 2 次元電子ガス（2DEG）に磁場を印加することで形成される。整数量子ホール効果の発見された直後から、この端状態の理論的研究が活発にされた。Halperin は、不規則ポテンシャルがある場合においても、試料端付近に電荷を運ぶ拡がった状態があることを示した。MacDonald 等はホール電圧が試料端に向かって大きくなることを不規則ポテンシャルがない場合について示した。端状態についての理解が深まったのは、Chklovskii 等のモデルにより、強磁場下のスクリーニングを取り入れた解析的な結果が示されてからである。ポテンシャルが一定で電子密度がなめらかに変化する圧縮性液体とフェルミ面にギャップがあり電子密度が一定の非圧縮性液体が 2DEG の端に空乏層長のオーダーで縞状に交互に分布することが理論的に示されている。実験的には、電気伝導測定による研究から、この端状態の存在は間接的に示されて来たが、その空間分布を直接観測した例はない。この 2DEG の空間分布を捉える試みは、局所的に試料に光励起して試料の電圧端子に生じる光起電圧を測定することにより、行われてきた。例えば、van Haren 等は 1995 年にホールバー試料上に照射した径約 15 μm の光スポットを走査することにより、光起電圧の空間分布を得た。以後、同様の試みが複数のグループで行われたが、光スポットサイズが大きいため、それらの試みで得られた情報は試料全体にわたるホール電圧で理解できるものであり、非圧縮性液体と圧縮性液体からなる端状態に関する情報は得られていなかった。それは、縞状の分布が空乏層長のオーダー、GaAs の典型的な電子密度では 100 nm のオーダーであって、既存の試みの空間分解能が空乏層長よりはるかに悪いため、端状態に関する情報が得られていなかったのは、無理もないものであった。

そこで、本研究では、光照射のスポットサイズを小さくするために、波長以下のスポットに光照射可能な近接場光学顕微鏡を利用することとした。さらに、端状態に関する情報を得るためには、フェルミ面に生じるエネルギーギャップと比べて十分に低温に試料を保つ必要がある。このため、本研究では、希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡を新たに開発し、端状態の関わる現象を空間分解して捉えることを試みた。本装

置の開発は世界初の試みであり、他に類例のないものである。試料として、電子移動度 1,800,000cm^2/Vs の GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ構造のホールバーを用いた。2T までの強磁場、試料温度約 200 mK において光起電圧の空間分布の測定を行った。開口径約 100 nm の近接場顕微鏡光プローブを用いて、ほぼ同サイズのスポット系の光を試料上に照射して x − y 走査を行った。 1.64 T における光起電圧の空間マップ像は、試料の端に平行な間隔約 710 nm の縞状構造を示した。さらに、磁場を変えて電子占有数（ν）に依存した空間マップを取得し、縞状構造が ν の変化に伴い、試料端から離れていく様子を見て取ることができる。この結果は Chklovskii 等の圧縮性液体／非圧縮性液体のモデルを用いて定性的に説明できることを本論文では示した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡を新たに開発し、GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ構造二次元電子系の端状態の関わる現象を空間分解して捉えた結果についてまとめたものである。本装置の開発は世界初の試みであり、他に類例のないものである。空間分解能約 100 nm、試料温度 230 mK、磁場中において、試料の端に平行な間隔約 710 nm の縞が観測された。さらに、磁場を変えて電子占有数（ν）に依存した空間マップを取得し、縞状構造が ν の変化に伴い、試料端から離れていく様子を観測した。これらの結果は Chklovskii 等の圧縮性液体／非圧縮性液体のモデルを用いて定性的に説明できることが本論文では示された。この結果は、圧縮性液体／非圧縮性液体の縞状構造が実在することを空間分解測定によって初めて示したものであり、高く評価できる。以上のように新規に見いだされた実験結果が十分に議論され、本論文は博士（理学）に相当するものである。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。