

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月15日現在

機関番号：34519

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22840045

研究課題名（和文） 2層独立コンタクト量子ホール素子による層間コヒーレンスの検証

研究課題名（英文） Detection for the interlayer coherence by independently-contacted bilayer quantum Hall device.

研究代表者

寺澤 大樹 (TERASAWA DAIJU)

兵庫医科大学・医学部・助教

研究者番号：90589839

研究成果の概要（和文）：

2層が独立に電気的なコンタクトを持った GaAs 系半導体試料を作製し、2層系量子ホール効果の層間コヒーレンスの検証を行うことを目的に実験を行った。試料の作製については、ドイツの Max Planck 研究所 von Klitzing 教授のグループの協力を得て進めることができたが、端子のオーミックコンタクトに不良があり、磁場中で抵抗が発散してしまうなどの現象が見られたため、目標とする $\nu=1$ 量子ホール状態での層間コヒーレンスを検証するような実験を十分にできなかった。しかし、測定系の整備などは進めることができたため、新たな試料を用いることで研究を継続することができる状態にある。今後も引き続き測定を行う予定である。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to detect the interlayer coherence of the bilayer quantum Hall effect by fabricating an independent-contact bilayer sample. We have proceeded the sample fabrication in collaboration with Prof. W. Dietche, member of Prof. K. von Klitzing's group, Max Planck Institute in Stuttgart. However, we could not do the experiment for the detection of the interlayer coherence because the resistance diverges in the magnetic field due to some inappropriate ohmic-contact pins in the sample. Nevertheless, we have established the measurement system up to now, so that we can continue this research by renewing the sample.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：2層系量子ホール効果，層間コヒーレンス，超伝導ジョセフソン効果

## 1. 研究開始当初の背景

2次元電子系を2枚近接配置した試料において現れる2層系の量子ホール効果では、層間コヒーレンスを起因とする超伝導ジョセフソン効果に類似したプラズモンモードが発生する可能性が指摘されているが、層間コンダクタンスのピークというジョセフソン効果と関連するのではないかと考えられる実験結果はあるものの、超伝導状態のような層間の位相差に依存する現象であると決定づけられる結果は得られていない状況であった。また、我々の研究により、2層系量子ホール状態には、面内磁場を加えることで層間の位相差が縞状に格子を形成するソリトン格子相と呼ばれる状態があることが分かっており、独立コンタクト試料による実験でさらにこの状態の特異な性質が明らかになる可能性があった。

しかし、2層独立にコンタクトを持つ試料は、作製が難しいこともあり、入手できずにいた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、平行に近接配置された2層の2次元電子系に独立に電気的なコンタクトを持ったGaAs系化合物半導体試料の作製することと、その試料を用いて2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態に層間のコヒーレンスを起因する振動モードや集団励起が発生するか調べることである。2層独立にコンタクトを持つ化合物半導体試料は、2層間の距離が $\sim 5\text{nm}$ 程度しかないため技術的に難しく、特殊な実験を行うことが可能になる。この試料による実験で、「研究の背景」に記述したような、量子ホール状態のコヒーレンスについてより深い知見が得られることが期待される。

## 3. 研究の方法

最初に独立2層コンタクトを持つ試料の開発を行った。これは、結局は既に開発に成功しているドイツMax Planck研究所のK. von Klitzing教授のグループ一員であるW. Dietche教授に協力していただき、試料の提供を受けるという形で実現した。

研究は、希釈冷凍機内に試料を設置して、測定用のリードを取り付けた後、低温強磁場下に置いた。測定は低周波ロックイン法を用いて行った。主に2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態において、ゲート電圧を制御し、2層独立にコンタクトした状態を実現した上

で、層間にAC電場を加えるなどして系に変化を与え、それに対して層間の伝導度や量子ホール状態の磁気抵抗の応答を観測する、という方法を用いる予定であった。

## 4. 研究成果

試料の測定を行ったところ、磁場を大きくしていくと接触抵抗が大きくなり、発散してしまうなどの現象が見られ、オーミックコンタクトに不具合があることがわかった。そのため残念ながら量子ホール状態でAC電場を加えるなどの測定にまで至らなかった。また2層独立コンタクト試料の測定が初めてだったこともあり、試料が悪いのか測定系が悪いのか判断するのに非常に時間がかかった。図1に測定した結果の一つを示すが、 $\nu=1$ 量子ホール状態の直前からオーミックコンタクトの不良によりロックインの位相が不安定になり、磁気抵抗が正確に測定できなくなっている。この状態では層間コンダクタンスなどの微量を測定する実験はできなかった。

しかしながら、実験を通して測定のノウハウの獲得ができたことと測定系の整備が進んだため、オーミックコンタクトの問題を解決できれば測定が可能な状態にあり、新たな試料を作製するなどの施策をし、今後も継続して実験を行う予定である。

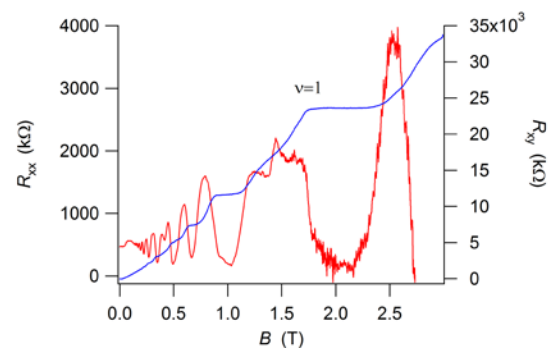


図1 独立2層コンタクト試料の測定結果。 $\nu=1$ 量子ホール状態直前から磁気抵抗が振動し始め、ロックインの位相が不安定になっていった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

① Y. D. Zheng, A. Sawada, Z. F. Ezawa, T.

Morikawa, A. Fukuda, D. Terasawa, S. Tsuda, M. H. Nguyen, Excitation properties of  $\nu = 2/3$  bilayer quantum Hall phases investigated by magnetotransport methods, Phys. Rev. B **83**, 235330\_1-6, (2011) 査読有, DOI: 10.1103/PhysRevB.83.235330

② A. Fukuda, T. Sekikawa, K. Iwata, Y. Ogasawara, Y. D. Zheng, T. Morikawa, D. Terasawa, S. Tsuda, T. Arai, Z. F. Ezawa, A. Sawada, Effects of the in-plane magnetic fields on excitations of the  $\nu = 1/3$  bilayer quantum Hall states in the vicinity of single layer limit. AIP Conf. Proc. **1399** 609-610, (2011). 査読有 DOI: 10.1063/1.3666525

③ S. Tsuda, A. Fukuda, D. Terasawa, Minh Hai Nguyen, Y. Ogasawara, Y. D. Zheng, A. Sawada, Comparison of the magnetoresistance hysteresis between bilayer  $\nu = 4/3$  and monolayer  $\nu = 2/3$  quantum Hall states. J. Phys.: Conf. Ser. 2011; **334** 012027\_1-4. (2011) 査読有 DOI: 10.1088/1742-6596/334/1/012027

[学会発表] (計 10 件)

① 津田是文, Nguyen Minh-Hai, 三谷昌平, 福田 昭, 寺澤大樹, 鄭仰東, 新井敏一, 澤田安樹, 二層系  $\nu = 1$  量子ホール状態における核スピン緩和時間の電子密度差依存性, 日本物理学会第 67 回年次大会 2012 年 3 月 27 日, 西宮

② Nguyen Minh-Hai, 津田是文, 福田 昭, 寺澤大樹, 小笠原良晃, 岩田一樹, 澤田安樹, 2 層系  $\nu = 2/3$  量子ホール状態における核スピン編極の拡散, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 24 日, 富山

③ 寺澤大樹, 福田 昭, 森川智喜, 鄭仰東, 澤田安樹, 2 層系  $\nu = 1$  量子ホール状態における発現温度の異常, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 24 日, 富山

④ A. Fukuda, D. Terasawa, T. Morikawa, Y. D. Zheng, T. Arai, Z. F. Ezawa, and A. Sawada, "Activated transport in the  $\nu = 1$  bilayer quantum Hall states with small tunneling energy  $\Delta_{\text{sas}} = 1\text{K}$ " 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26) 2011 年 8 月 16 日, 中華人民共和国 北京

⑤ D. Terasawa, A. Fukuda, T. Morikawa, Y. D. Zheng, Z. F. Ezawa, and A. Sawada "Anomalous behavior of the onset of the

activated temperature in the bilayer  $\nu = 1$  quantum Hall states with small tunneling energy" 19th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-19), 2011 年 7 月 25 日 アメリカ合衆国フロリダ州タラハシー

⑥ S. Tsuda, M.H. Nguyen, D. Terasawa, A. Fukuda, Y. D. Zheng, T. Arai, and A. Sawada "Interlayer Diffusion of nuclear spin polarization in the  $\nu = 2/3$  quantum Hall states" 19th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-19), 2011 年 7 月 25 日 アメリカ合衆国フロリダ州タラハシー

⑦ Y. D. Zheng, A. Sawada, Z. F. Ezawa, T. Morikawa, A. Fukuda, D. Terasawa, S. Tsuda, M.H. Nguyen "Investigation of Excitation Properties in the  $\nu = 2/3$  bilayer quantum Hall systems" 19th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-19), 2011 年 7 月 25 日 アメリカ合衆国フロリダ州タラハシー

⑧ 津田是文, Nguyen Minh-Hai, 福田昭, 寺澤大樹, 小笠原良晃, 岩田一樹, 澤田安樹, 二層系  $\nu = 4/3$  量子ホール状態における核スピン緩和、日本物理学会第 66 回年次大会 (震災により中止) 2011 年 3 月 25 日 新潟

⑨ 寺澤大樹, 津田是文, Nguyen Minh-Hai, 鄭仰東, 福田昭, 澤田安樹, 2 層系量子ホール状態における核スピン制御の可能性 第 15 回半導体スピン工学の基礎と応用 (PASPS-15) 半導体スピントロニクスの展開 2010 年 12 月 21 日 つくば

⑩ 津田是文, Nguyen Minh-Hai, 福田昭, 寺澤大樹, 小笠原良晃, 岩田一樹, 澤田安樹, 二層系  $\nu = 4/3$  量子ホール状態におけるヒステリシスの観測、2010 年秋季日本物理学会、2010 年 9 月 24 日 堺

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

寺澤 大樹 (TERASAWA DAIJU)  
兵庫医科大学・医学部・助教  
研究者番号：90589839

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号：