

機関番号：34519

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010年度

課題番号：21740236

研究課題名 (和文) 2層系分数量子ホール状態における巨視的量子コヒーレンスの検証

研究課題名 (英文) Verification of macroscopic quantum coherence in the bilayer quantum Hall states

研究代表者

福田 昭 (Fukuda Akira)

兵庫医科大学・医学部・准教授

研究者番号：70360633

研究成果の概要 (和文)：

2層系分数及び整数量子ホール状態について、詳細な活性化エネルギー測定を中心に、量子輸送現象測定を行った。特に、電子と複合フェルミオンとの関係にある2層系 $\nu=1$ 整数量子ホール状態及び2層系 $\nu=1/3$ 分数量子ホール状態について、相互の類似点及び相違点が明らかになり、ともに巨視的量子コヒーレンスを持つ可能性について示唆する興味深い結果となった。マイクロ波照射の測定については現在も継続中であり、今後の展開が有望視される。

研究成果の概要 (英文)：

We carried out quantum magnetotransport measurements in the bilayer integer quantum Hall states (QHSs) and the bilayer fractional QHSs, mainly including the activation energy. In particular, we clarified the similarities and differences between the bilayer  $\nu=1$  integer QHSs and the bilayer  $\nu=1/3$  fractional QHSs, where the  $\nu=1/3$  QHS is the composite fermion version of the  $\nu=1$  QHS, and in both QHSs, they indicate the existence of the macroscopic quantum coherence. We have continued the observation of the quantum transports under the microwave irradiation and may have promising results.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性I

キーワード：半導体

1. 研究開始当初の背景

(1) 半導体接合界面の2次元電子系を2枚近接配置した2層系量子ホール効果では、巨視的な量子位相を獲得できる可能性がある。

(2) 応募者は、2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態において面内磁場印加時に出現する巨視的

量子コヒーレンスに関連するソリトン格子相を発見していた。

2. 研究の目的

(1) 2層系 $\nu=1/3$ 分数量子ホール状態において、ソリトン格子相を含めた新奇な量子ホール状態を探索する。

(2) 2層系分数量子ホール状態にマイクロ波を照射することにより、超伝導体類似現象であるジョセフソン効果を探索する。

### 3. 研究の方法

(1) 平成21年度は、高移動度半導体試料を作成・デバイス化し、分数量子ホール領域におけるソリトン格子相を含めた新奇な量子相を探索する。

(2) 平成22年度は、引き続き量子輸送現象測定を行う他、マイクロ波を2層系分数量子ホール効果試料に照射し、ACジョセフソン・プラズマ共鳴の探索を行う。

### 4. 研究成果

(1) 2層系  $\nu = 1$  量子ホール効果で現れる擬スピン・ソリトン格子の励起を、詳細に活性化エネルギーを測定することにより明らかにした。2層系  $\nu = 1$  量子ホール状態に面内磁場を印加していくと、整合-非整合転移が起こるが、転移点付近で活性化エネルギーの極小を観測した。活性化エネルギーの面内磁場依存性と理論との比較により、活性化エネルギーの極小は、擬スピン・ソリトンの集団励起モードである可能性を示唆した(図1、公表論文①、④等)。

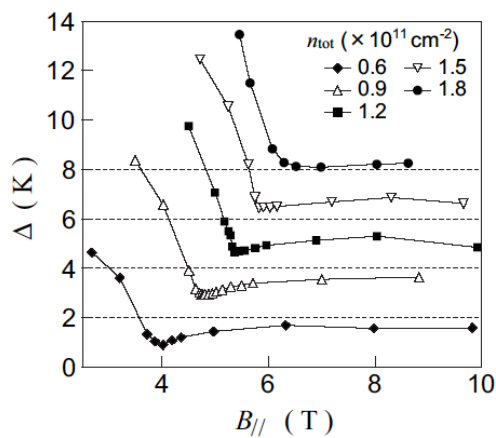


図1 ソリトン格子相附近での活性化エネルギー測定

(2) 電子密度差のある2層系  $\nu = 1$  量子ホール状態について、活性化エネルギーを総電子密度及び電子密度差の関数として測定し、相図を作成した。その結果、整合的な相及び非整合的な相と2層独立相の間の相転移は、擬スピンの対称性を反映する結果となった(公表論文②、図2等)。

(3) 電子密度差のある2層系  $\nu = 1/3$  分

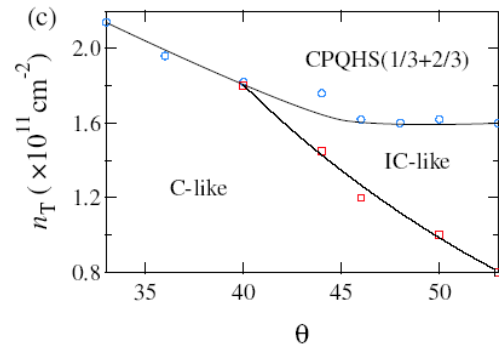


図2 電子密度差のある状態での2層系  $\nu = 1$  量子ホール状態での相図

量子ホール状態について、活性化エネルギーを面内磁場の関数として測定した。その結果、電子密度差が無い場合は量子ホール状態が面内磁場の効果で崩壊したが、電子密度差がある状態では、ある条件の下で2層系  $\nu = 1/3$  分数量子ホール状態が存在することが分かった(公表論文⑤、図3等)。

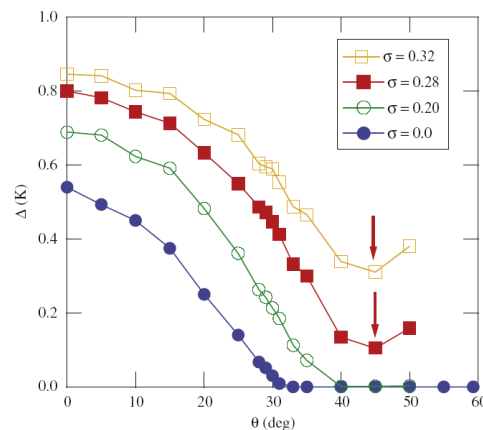


図3 2層系  $\nu = 1/3$  量子ホール状態における活性化エネルギーの傾斜角依存性

(4) 面内磁場を印加し、ランダウ準位占有率  $\nu = 2/3$  量子ホール状態のスピンの転移点付近で異方的な磁気抵抗のヒステリシスを観測した。面内磁場が試料に流す電流に平行な場合、磁気抵抗のヒステリシスがほとんど生じないのに対し、垂直な場合、電流誘起の核スピン偏極に伴う強いヒステリシスが生じた。また、転移点でのスピン-格子緩和定数の観測も行った。これらの結果は、 $\nu = 2/3$  量子ホール状態でのドメイン構造が、試料を流れる電流の向きに影響されることを示している(公表論文⑥、図4等)。

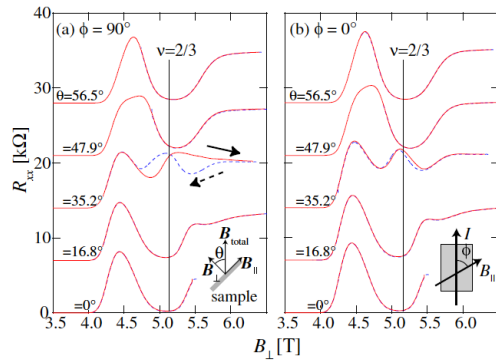


図4  $\nu = 2/3$  量子ホール状態での磁気抵抗のヒステリシス。

## 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 6 件)

- ① Kazuki Iwata, Masayuki Morino, Akira Fukuda, Norio Kumada, Zyun F. Ezawa, Yoshiro Hirayama, and Anju Sawada, Anisotropy of Magnetoresistance Hysteresis around the  $\nu = 2/3$  Quantum Hall State in Tilted Magnetic Field, *J. Phys. Soc. Japan*, 査読有, 79, 2010, 123701 1-4
- ② A. Fukuda, T. Sekikawa, K. Iwata, Y. Ogasawara, T. Arai, Z.F. Ezawa, A. Sawada, Activation energy gap of the layer-imbalanced bilayer  $\nu = 1/3$  quantum Hall states, *Physica E*, 査読有, 42, 2010, 1046-1049
- ③ D. Terasawa, S. Kozumi, A. Fukuda, M. Morino, K. Iwata, Z. F. Ezawa, A. Sawada, N. Kumada, and Y. Hirayama, Activation study of collective excitations of the soliton-lattice phase in the  $\nu = 1$  double-layer quantum Hall state, *Phys. Rev. B*, 査読有, 81, 2010, 073303 1-4
- ④ T. Arai, S. Yamanaka, H. Yayama, A. Fukuda, and A. Sawada, Conductivity Measurement of Helium Surface Electrons in the Coexistence of Adsorbed 2D Atomic Hydrogen Gas, *J. Phys.: Conference Series*, 査読有, 150, 2009, 022012 1-4
- ⑤ Y. Ogasawara, A. Fukuda, K. Iwata, T. Sekikawa, T. Arai; Y. Hirayama, Z. F. Ezawa and A. Sawada, Magnetotransport Study in the Layer Imbalanced  $\nu = 1$  Bilayer Quantum Hall State, *J. Phys.: Conference Series*, 査読有, 150, 2009, 022068 1-4
- ⑥ A. Fukuda, D. Terasawa, M. Morino, K. Iwata, S. Kozumi, T. Sekikawa, Y. Ogasawara, T. Arai, N. Kumada, Y. Hirayama, Z. F. Ezawa and A. Sawada, Activation Study of the Pseudospin Soliton in the  $\nu = 1$  Bilayer Quantum Hall Effect, *J. Phys.: Conference Series*, 査読有, 150, 2009,

[学会発表] (計 18 件)

- ① 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 of the 展開, 2010.12.21, 筑波大学
- ② 鄭仰東, 森川智喜, 福田昭, 津田是文, 澤田安樹, 2 層  $\nu = 2/3$  量子ホール系の基底状態と励起エネルギーの観察, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010.9.25, 大阪府立大学
- ③ 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, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010.9.24, 大阪府立大学
- ④ S. Tsuda, A. Fukuda, Y. D. Zheng, T. Morikawa, T. Arai and A. Sawada, Observation of the magnetoresistance hysteresis caused by the dynamic nuclear polarization around the  $\nu = 4/3$  and  $\nu = 2/3$  bilayer quantum Hall effects, The 6th International Conference on the Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-VI), 2010.8.2, Univ. of Tokyo, Tokyo
- ⑤ S. Tsuda, A. Fukuda, Y. D. Zheng, T. Morikawa, T. Arai and A. Sawada, Comparison of the magnetoresistance hysteresis between bilayer  $\nu = 4/3$  and monolayer  $\nu = 2/3$  quantum Hall states, 19th International Conference on the Application of High Magnetic Fields in Semiconductor Physics and Nanotechnology (HMF-19), 2010.8.2, Fukuoka International Congress Center, Fukuoka
- ⑥ A. Fukuda, T. Sekikawa, K. Iwata, Y. Ogasawara, Y. D. Zheng, T. Morikawa, S. Tsuda, T. Arai, Z. F. Ezawa, and A. Sawada, Activation study of the  $\nu = 1/3$  bilayer quantum Hall states in the vicinity of single layer limit, 19th International Conference on the Application of High Magnetic Fields in Semiconductor Physics and Nanotechnology (HMF-19), 2010.8.2, Fukuoka International Congress Center, Fukuoka
- ⑦ Y. D. Zheng, T. Morikawa, A. Fukuda, S. Tsuda, T. Arai, Z. F. Ezawa and A. Sawada, Excited States of Spins and Pseudospins in the  $\nu = 2/3$  Bilayer Quantum Hall Systems, 30th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2010), 2010.7.27, COEX, Seoul
- ⑧ A. Fukuda, T. Sekikawa, K. Iwata, Y. Ogasawara, Y. D. Zheng, T. Morikawa, S. Tsuda, T. Arai, Z. F. Ezawa and 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, 30th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2010), 2010.7.27, COEX, Seoul

⑨ 新井敏一, 山中修司, 西中川良平, 矢山英樹, 福田昭, 澤田安樹, 液面電子系における閉じ込めポテンシャルがエッジマグネトプラズモン振動モードに及ぼす影響, 日本物理学会 第 65 回年次大会, 2010.3.22, 岡山大学津島キャンパス、岡山

⑩ 西中川良平, 新井敏一, 寺嶋孝仁, 福田昭, 澤田安樹, 化学的手法によるグラフェンナノリボン試料作成と評価, 日本物理学会 第 65 回年次大会, 2010.3.20, 岡山大学津島キャンパス、岡山

⑪ T. Arai, S. Yamanaka, R. Nishinakagawa, H. Yayama, A. Fukuda, and A. Sawada, Anomaly in Edgemagneto-plasmon Resonance Line Width of Helium Surface State Electrons, International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials (PSM2010), 2010.3.9, Hamagin Hall “VIA MARE”, Yokohama, Japan

⑫ T. Morikawa, Y. D. Zheng, A. Fukuda, S. Tsuda, T. Arai, and A. Sawada, Activation energy gap in the  $\nu_{\uparrow}=1$  bilayer Quantum Hall States with small tunneling energy, International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials (PSM2010), 2010.3.10, Hamagin Hall “VIA MARE”, Yokohama, Japan

⑬ A. Sawada, A. Fukuda, S. Tsuda, T. Arai, K. Iwata, D. Terasawa, M. Morino, S. Kozumi and Y. Ogasawara, Superconductor-like Phenomenon in the Bilayer  $\nu = 1$  Quantum Hall State, International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials (PSM2010), 2010.3.9, Hamagin Hall “VIA MARE”, Yokohama, Japan

⑭ Y. D. Zheng, T. Morikawa, A. Fukuda, S. Tsuda, T. Arai, and A. Sawada, Spin and Pseudospin Excitations in the  $\nu = 2/3$  Bilayer Quantum Hall Systems, International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials (PSM2010), 2010.3.10, Hamagin Hall “VIA MARE”, Yokohama, Japan

⑮ A. Fukuda, T. Sekikawa, K. Iwata, Y. Ogasawara, T. Arai and A. Sawada, Commensurate-like to Incommensurate-like Phase Transition in the Layer Imbalanced Bilayer  $\nu = 1/3$  Quantum Hall States under In-plane Magnetic Field, International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials (PSM2010), 2010.3.9, Hamagin Hall “VIA MARE”, Yokohama, Japan

⑯ 福田昭, 2層系量子ホール状態で実現する新しい量子相、スーパークリーン特定・若手秋の学校 2009、2009.9.29、休暇村・南阿蘇、熊本

⑰ 新井敏一, 山中修司, 磯山総一郎, 西中

川良平, 矢山英樹, 福田昭, 澤田安樹, ヘリウム液面電子閉じ込めポテンシャルとエッジマグネトプラズモン共鳴線幅の関係, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009.9.27, 熊本大学黒髪キャンパス、熊本

⑱ A. Fukuda, T. Sekikawa, K. Iwata, Y. Ogasawara, T. Arai, Z. F. Ezawa and A. Sawada, Activation Energy Gap of the Layer-Imbalanced Bilayer  $\nu=1/3$  Quantum Hall States, The 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18), 2009.7.22, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan

[その他]

ホームページ等

<http://www.ltm.kyoto-u.ac.jp/teijigen/>

<http://www.hyo-med.ac.jp/faculty/medical/course/physics/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福田 昭 (Fukuda Akira)

兵庫医科大学・医学部・准教授

研究者番号：70360633