

マイクロ波を用いた2層系量子ホール状態における 巨視的量子コヒーレンスの観測

(課題番号：14340088)

平成14年度～平成16年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(2)）

研究成果報告書

平成17年6月



研究代表者 澤田安樹

(京都大学 低温物質科学研究センター 教授)

はしがき

本研究は、2層系 $\nu = 1$ 量子ホール状態の巨視的コヒーレンス性を、マイクロ波を用いてジョセフソン・プラズモンを観測することにより検証することである。マイクロ波実験のための空洞共振装置と試料の準備を進めて、実験を行った。しかし量子ホール効果は観測できたが、ジョセフソン・プラズモンを観測するには至らなかった。原因は試料の品質と温度を十分に下げることができなかったことによるので、今後も装置と試料の改良を重ね、研究を継続する。一方トランスポートの実験を行い、コヒーレンス性に関する貴重な成果が得られた。

2層系 $\nu = 1$ 量子ホール状態において、2層に電子が分布した状態を擬スピン(2層のどちらに存在するかをスピンの方向に対応させる)で記述できる。巨視的量子コヒーレンスが存在によって、面内磁場を加えると面内磁場によって擬スピンの位相が変わる整合相と、交換相互作用によって擬スピンの方向が揃う非整合相が出現する。我々はこのふたつの相の境界を、磁場に対して試料を傾けて丹念に調べたところ、新たに擬スピン格子相があることを発見した。擬スピン格子相では、ドメインでの電子の散乱により零度でも有限の磁気抵抗が生じる。面内磁場を増やすと低電子密度では、整合相から擬スピン格子相を経て非整合相へ転移し、それらの転移は2次相転移となる。また高電子密度で起こる整合相から非整合相の転移は、1次相転移であることが明らかになった。さらに高電子密度では、整合相から非整合相へ転移した。スピン格子相はまさに巨視的量子コヒーレンスの存在によって出現する相であり、多角的に調べることにより存在を確定する必要がある。

そこで2層系 $\nu = 1$ 量子ホール状態の面内磁場と電流の相関を調べた。面内磁場によるアハラノフ・ボーム効果によって擬スピンは磁場変調をうける。その結果、位相変化の濃淡が生じ、抵抗が発生する。その結果、面内磁場と電流の方向による磁気抵抗の異方性が生じる可能性がある。そこで希釈冷凍機の混合器内にある試料を高精度で2軸回転する装置を製作して実験を行った結果、電流と磁場方向による異方性を見出した。異方性は磁気抵抗の大きなバランス状態の $\nu = 1$ 状態の周辺で顕著であった。このことは強く擬スピン格子相の存在を示唆している。また分数領域や整数の高いランダウ準位の領域にも異方性が見られた。

研究代表者澤田は、平成16年4月に東北大学から京都大学へ勤務先が変わった。装置移転のため平成16年度は、じゅうぶんな研究を行うことが出来なかったことが残念である。

研究組織

- 研究代表者 : 澤田, 安樹 (京都大学・低温物質科学研究センター・教授)
- 研究分担者 : 江澤, 潤一 (東北大学・大学院理学研究科・教授)
- 研究分担者 : 中島, 龍也 (東北大学・大学院理学研究科・助手)
- 研究分担者 : 熊田, 倫雄 (N T T物性科学基礎研究所・量子物性研究部・研究員)
- 研究分担者 : 鈴木, 勝彦 (宮城工業高等専門学校・総合科学系数理科・教授)
- 研究分担者 : 平山, 祥郎 (N T T物性科学基礎研究所・量子物性研究部・部長)

交付決定額 (配分額)

金額単位: 千円

	直接経費	間接経費	合計
平成14年度	7,000	0	7,000
平成15年度	4,700	0	4,700
平成16年度	4,000	0	4,000
総計	15,700	0	15,700

研究発表

(1) 学会誌等

- (A). N. Kumada, K. Tagashira, K. Iwata, A. Sawada, Z.F. Ezawa, K. Muraki and Y. Hirayama,
Effects of In-plane Magnetic Fields on Spin Transitions in Bilayer Quantum Hall States,
Physica E 22(2004) 36–39. (– 7 –)
- (B). D. Terasawa, M. Morino, K. Nakata, S. Kozumi, A. Sawada, Z.F. Ezawa, N. Kumada, K. Muraki and Y. Hirayama,
Simultaneous Excitation of Spin and Pseudospins in bilayer $\nu=1$ Quantum Hall State,
Physica E 22(2004) 52–55. (– 1 1 –)

- (C). Y. Shimoda, T. Nakajima and A. Sawada,
Excitation Spectrum of Bilayer $\nu=2$ Quantum Hall Systems,
Physica E 22(2004) 56–59. (– 1 5 –)
- (D). N. Kumada, D. Terasawa, M. Morino, K. Tagasira, A. Sawada,
Z.F. Ezawa, K. Muraki and Y. Hirayama,
Interactions between composite fermions by a comparison of integer and
Fractional quantum Hall states in bilayer systems,
Phys. Rev. B, 69(2004) 155319(1–9). (– 1 9 –)
- (E). D. Terasawa, K. Nakada, S. Kozumi, Z. F. Ezawa, A. Fukuda, A. Sawada,
N. Kumada, K. Muraki, Y. Hirayama and T. Saku,
Double magnetoresistance minima for $\nu=1$ quantum Hall state near
commensurate - incommensurate transition,
INT. J. OF MODERN PHYSICS B 18(2004) 3709-3712. (– 2 8 –)
- (F). M. Morino, K. Iwata, M. Suzuki, Z. F. Ezawa, A. Fukuda, A. Sawada,
T. Saku, N. Kumada, K. Muraki and Y. Hirayama,
In-plane field induced anisotropy of the longitudinal resistance in a
bilayer quantum Hall system,
INT. J. OF MODERN PHYSICS B 18(2004) 3705-3708. (– 3 2 –)
- (G). D. Terasawa, S. Kozumia, A. Fukuda, A. Sawada, Z. F. Ezawa,
N. Kumada, and Y. Hirayama,
Pseudospin Domain of $\nu=1$ Double-layer Quantum Hall State
near Commensurate-Incommensurate Transition,
To be published in the proceedings of ISSP-9. (– 3 6 –)
- (H). K. Iwata, M. Morino, M. Suzuki, A. Fukuda, A. Sawada, Z. F. Ezawa,
N. Kumada and Y. Hirayama,
Anisotropic Magnetotransport around the $\nu=1$ Bilayer Quantum Hall
State,
To be published in the proceedings of ISSP-9. (– 4 0 –)
- (I). A. Sawada, D. Terasawa, N. Kumada, M. Morino, K. Tagasira,
Z.F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama,

Continuous transformation from spin- to pseudospin-type excitation,
Physica E 18(2003) 118–119. (– 4 4 –)

(J). V. Krasovitsky, D. Terasawa, K. Nakada, S. Kozumi, A. Sawada and
N. Sato,
Microwave Cavity Perturbation Technique for Measurements of the
Quantum Hall Effect,
Cryogenics 44(2003) 183–186. (– 4 6 –)

(K). N. Kumada, D. Terasawa, Y. Shimoda, H. Azuhata, A. Sawada,
Z.F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama,
Various phase transitions in $\nu=2/3$ bilayer quantum Hall states,
Physica E 12 (2002) 32–35. (– 5 0 –)

(L). Z.F. Ezawa, K. Hasebe and A. Sawada,
SU(4) quantum coherence and interlayer tunneling in bilayer quantum
Hall systems,
Physica E 12 (2002) 24–27. (– 5 4 –)

(M). N. Kumada, D. Terasawa, Y. Shimoda, H. Azuhata, A. Sawada,
Z.F. Ezawa, K. Muraki, T. Saku and Y. Hirayama.
Phase diagram of interacting composite fermions in the bilayer $\nu=2/3$
quantum Hall effect,
Phys. Rev. Lett. 89 (2002) 116802(1–4). (– 5 8 –)

(N). Z.F. Ezawa, A. Sawada and N. Kumada,
Integer and fractional quantum Hall effects in bilayer electron systems,
J. of Physics and Chemistry of Solids 63 (2002) 1289–1296. (– 6 2 –)

(2) 口頭発表

A) 森野正行, 岩田一樹, 鈴木三千郎, 福田昭, 澤田安樹, 江澤潤一,
熊田倫雄, 平山祥郎
2層系 $\nu=2/3$ 状態における異方的電気伝導
日本物理学会 2005年3月.

- B) 寺澤大樹, 古住信介, 福田昭, 澤田安樹, 江澤潤一, 熊田倫雄, 平山祥郎
2層系 $\nu=1$ の面内磁場を加えたときの相図
日本物理学会 2005年3月.
- C) 澤田安樹
2層量子ホール系における相転移とコヒーレンス
日本物理学会 2005年3月.
- D) 古住信介, 寺澤大樹, 福田昭, 澤田安樹, 江澤潤一, 熊田倫雄, 村木康二,
平山祥郎
2層系 $\nu=2$ 量子ホール状態の整合非整合相転移
日本物理学会 2004年9月.
- E) 岩田一樹, 森野正行, 鈴木三千郎, 福田昭, 澤田安樹, 江澤潤一,
熊田倫雄, 村木康二, 平山祥郎
2層系量子ホール状態における電流方向と面内磁場方向の違いによる縦抵抗の異方性
日本物理学会 2004年9月.
- F) 森野正行, 岩田一樹, 関根恵, 鈴木三千郎, 澤田安樹, 熊田倫雄,
村木康二, 佐久規, 平山祥郎
2層系量子ホール状態における面内磁場方向に依存した縦抵抗の異方性
日本物理学会 2004年3月.
- G) 寺澤大樹, 中田和孝, 古住信介, 澤田安樹, 江澤潤一, 熊田倫雄,
村木康二, 佐久規, 平山祥郎
2層系 $\nu=1$ 状態の整合・非整合相転移と磁気抵抗の2つの極小
日本物理学会 2004年3月.
- H) 下田雄一, 中島龍也, 澤田安樹,
2層系 $\nu=2$ 量子ホール系の基底状態
日本物理学会 2004年3月.
- I) 中田和孝, 寺澤大樹, 古住信介, 澤田安樹, 江澤潤一, 熊田倫雄,
村木康二, 佐久規, 平山祥郎
トンネリングギャップの大きい2層系 $\nu=1$ 量子ホール状態における励起

エネルギー

日本物理学会 2003年9月.

J) 熊田倫雄, 田頭邦弘, 岩田一樹, 澤田安樹, 江澤潤一, 村木康二, 佐久規,
平山祥郎

2層系量子ホール状態における準位交差—反交差現象

日本物理学会 2003年3月.

K) 寺澤大樹, V. B. Krasovitsky, 中田和孝, 古住信介, 澤田安樹,
マイクロ波空洞共振器摂動法による量子ホール効果の測定

日本物理学会 2003年3月.

L) 森野正行, 関根恵, 鈴木三千郎, 澤田安樹, 平山祥郎,
高精度試料回転機構の開発と skyrmion 励起の測定

日本物理学会 2003年3月.

M) 下田雄一, 中島龍也, 澤田安樹,

2層 $\nu=2$ 量子ホール状態における励起スペクトル

日本物理学会 2003年3月.

N) 田頭邦弘, 熊田倫雄, 下田雄一, 森野正行, 澤田安樹, 江澤潤一,
村木康二, 佐久規, 平山祥郎

2層系における整数量子ホール効果と分数量子ホール効果の比較

日本物理学会 2002年9月.