

自己評価報告書

平成23年 4月14日現在

機関番号：12102

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20104005

研究課題名（和文） 低次元電界効果素子における多体量子相関効果の分光計測

研究課題名（英文） Spectroscopy of many-body quantum correlation effects in low-dimensional field-effect devices

研究代表者

野村 晋太郎 (NOMURA, SHINTARO)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・准教授

研究者番号：90271527

研究分野：数物系

科研費の分科・細目：物理学・物性 I

キーワード：量子井戸、多体量子相関効果

1. 研究計画の概要

本研究は、光励起により少数キャリアを生成することによりはじめて現れる準平衡または非平衡の多体キャリア間相関効果を mK の極低温で光学的に調べることを通じて、動的電子相関の学理を確立することを目的とする。従来の基底平衡状態のみに着目した輸送現象等の研究では見過ごされてきた動的相関効果の解明を行い、新しい光技術の開拓を行う。

2. 研究の進捗状況

(1) 分数量子ホール効果領域における極低温分光測定

高品質の電界効果量子井戸試料を用いて、電子-電子間、電子-正孔間相関効果制御による分数電荷準粒子解明を開始した。 $\nu=1/3$ 近傍ではキャリア相関に起因して発光ピークの分裂が観測された。高エネルギー側のピークは σ^- 、低エネルギー側は σ^+ に偏極していることがわかった。この電子占有数 $\nu=1/3, 2/5$ 近傍に見られる二つに分裂した円偏光発光ピークの温度依存性を調べた。観測された分数量子ホール領域での発光に円偏光依存性は、電子系のスピン偏極度のみを考えたので従来の枠組みでは理解できず、非圧縮性液体中の励起子、即ち分数電荷励起子と電子系を、Saha 方程式に基づく熱平衡関係、電子と正孔の数の保存、荷電励起子の形成レート、局在

性、解離レート、二次元電子系の偏極度を考えて、動的平衡を取り扱うことにより理解されることを見いだした。この解析の結果、観測された円偏光発光ピーク強度の温度依存性を良く説明することができた。

(2) ダブルゲート構造試料の極低温分光測定

GaAs 量子井戸は人工的に成長する半導体試料としては最もクリーンな系であり、私たちの試料では電子移動度は $10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える。ゲートによって電子密度と電界が可変であることが私たちの試料の大きな特長である。表面・裏面のゲートとソース電位により二次元電子系の電子密度と電界を独立に制御し、同じ電子密度における発光線幅の違いに着目し、電子密度の増加に伴って発光線幅が有意に小さくなることを見出した。また、試料の表面ゲートを格子構造にすることにより、二次元電子ガスが誘起される近傍の低電子密度領域において、荷電励起子と中性励起子発光の強度変化を見出した。これは電子に対するポテンシャルと励起子に対するポテンシャルの差が、励起子の面内拡散による残留電子の捕捉過程への寄与を示唆している。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

当初、立案した研究計画事項は達成されている。それに加えて、分数量子ホール効果領域の発光の温度依存性が、動的平衡を取り扱うことにより理解されることを見いだした点、半導体二次元電子量子ホール試料端に形成される圧縮性液体と非圧縮性液体の縞状分布を観測に世界に先駆けて成功した点において、当初の計画以上に進展している。

4. 今後の研究の推進方策

(1)引き続き、基盤技術であるクリーンな低次元ナノ構造成長と精緻なデバイスプロセス技術の確立をはかり研究を進める。

(2)高品質二次元電子系の物性を理解する上で、多体相関効果と多体乱雑ポテンシャルの寄与が共に重要であることを明らかにした。また、分数荷電励起子の動的相関効果の学理を深めるには理論との協調が不可欠である。これらの問題に取り組むために、研究項目 A04 計画研究代表者浅野健一氏、小川哲生氏との間の連携を深めていく予定である。

5. 代表的な研究成果

(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 9 件)

[1] H. Ito, Y. Shibata, K. Furuya, Y. Ootuka S. Nomura, S. Kashiwaya, M. Yamaguchi, H. Tamura, and T. Akazaki, “Mapping of quantum-Hall edge channels by a dilution-refrigerator based near-field scanning optical microscope”, *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials* **19**, (4) 563-569 (2010). 査読有

[2] M. Yamaguchi, S. Nomura, M. Delbecq, H. Tamura and T. Akazaki, “Establishment of equilibrium of electrostatic potential by photo-irradiation in a GaAs quantum well at low temperature”, *J. Phys.: Conf. Ser.* **210** (2010) 012051. 査読有

[3] M. Yamaguchi, S. Nomura, H. Tamura and T. Akazaki, “Photoluminescence spectra of gated undoped quantum well with lateral potential modulation in low electron density”, *Physica E* **42** (2010) 1167-1171. 査読有

[4] H. Ito, Y. Shibata, K. Furuya, S. Kashiwaya, Y. Ootuka and S. Nomura, “Optical mapping of the boundary of a two-dimensional electron gas by a near-field optical microscopy”, *Physics Procedia* **3**, (2010) 1171-1175. 査読有

[5] M. Yamaguchi, S. Nomura, H. Tamura, T. Akazaki, “Photoluminescence spectroscopy of the low-density two-dimensional electron system in electric fields”, *Physics Procedia* **3** (2010) 1183-1188. 査読有

[学会発表] (計 40 件)

[1] S. Nomura, M. Yamaguchi, H. Tamura, T. Akazaki, Y. Hirayama, P. Hawrylak, “Composite Fermion Picture for Photoluminescence in the Fractional Quantum Hall Effect Regime”, *International Symposium on Nanoscale Transport and Technology* (11-14, Jan 2011 Atsugi, Kanagawa, Japan).

[2] (invited) S. Nomura, M. Yamaguchi, H. Tamura, T. Akazaki, Y. Hirayama, and P. Hawrylak, “Circular polarized photoluminescence from fractionally charged excitons in composite fermion sea”, *2010 Workshop on Innovative Devices and Systems, Kohala coast*, 7 Dec. 2010.

[3] S. Nomura, M. Yamaguchi, H. Tamura, T. Akazaki, and Y. Hirayama, “Dynamical correlation of fractionally charged excitons with a two-dimensional electron system”, P1-196, *30th International Conference on Physics of Semiconductors*, 27 July, Seoul, 2010.

[4] (invited) S. Nomura, “Photoluminescence characteristics of high-quality two-dimensional electron systems”, *International Symposium on Quantum Nanostructures and Spin-related Phenomena*, (Tokyo, Mar. 9, 2010).

[5] M. Yamaguchi, S. Nomura, M. Delbecq, H. Tamura and T. Akazaki, “Establishment of equilibrium of electrostatic potential by photo-irradiation in a GaAs quantum well at low temperature”, *OECS11*, (Madrid, Sept. 10, 2009).

[その他]

ホームページ

<http://www.dyce-opt.org>