

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007 ~ 2010

課題番号：19204031

研究課題名(和文) 量子ホール電子系による位相および核スピンの制御

研究課題名(英文) Control of nuclear spin system and its phase via quantum Hall electron systems

研究代表者 小宮山進 (Komiyama Susumu)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：00153677

研究代表者の専門分野：固体物理学

科研費の分科・細目：物理学・物性

キーワード：量子ホール電子系、核スピン、端状態、位相干渉性、超交換相互作用

1. 研究計画の概要

量子ホール電子系および量子ドット電子系によって核スピン制御や位相制御を行い、それらの応用展開を図る。そのために、

(1) 核スピンの制御では GaAs 系 2 次元電子系の量子ホール系の端状態に生ずる電子スピンの非平衡分布に起因して超交換相互作用を通して誘起される核スピン偏極の空間プロファイルをナノメートル精度で明らかにし、核スピン制御の可能性を探求する。さらに、量子ホール端状態の新たなマイクロコピーを開始することを目的とする。

(2) また、電子系と電磁波の強結合系を実現し新たな量子制御を目指すために、直列 2 重量子ドットをコプラナー型マイクロ波キャビティに静電的に強結合した circuit QED の実現を目指す。

2. 研究の進捗状況

(1) **核スピン制御** GaAs 系の量子ホール電子系の端状態に生ずる電子スピンを利用して、素子中の選択した位置の約 30nm 幅の微細領域に核スピン偏極を誘起することに成功した。また、励起された核スピン偏極の空間プロファイルを、サイドゲートに加えるバイアス電圧の微調によって端状態の位置をナノメートル精度で挿引することにより、イメージングすることに成功した。また、核スピン偏極を逆に端状態電子系に対するナノプローブとして利用することにより、端状態電子系のマイクロコピーを行い、電子スピンの集団励起状態(バルク状態におけるスカーミオンに対応した spin-texture edge)が生じている証拠を世界で初めて得た。

(2) **電子系と電磁波との強結合** circuit

QED を半導体素子で実現するために、従来より小さな(直径 250nm)直列 2 重量子ドットを超伝導金属(アルミニウム)によるコプラナー型マイクロ波キャビティに静電的に結合し、電子系の 2 準位とキャビティ中のマイクロ波光子との強結合を目指す素子を作った。直列 2 重量子ドットの準位間隔を、共鳴伝導度のクーロンダイヤモンド中に現れる励起状態のトレースから求めることができ、実験温度(30mK)に比べて十分大きい分離(500mK)が生じていることがわかった。このことで、作成した直列 2 重量子ドットがほぼ理想的な 2 準位系として動作することが確かめられた。アルミニウムによるコプラナー導波路によるキャビティを別個に作成し、共振周波数(約 8GHz、約 500mK)共振の Q 値約 5000 を得た。このように、今後の本格的実験への準備が整った。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

理由は以下の通りである。

(1) 核スピン偏極のナノメートルスケールでの生成と検出に成功したが、これは本研究の核スピンなナノスケールでの制御と言う目的の一つを達成したことを意味する。また、核スピンをナノスケールのプローブとして電子系端状態のスピンの集団励起状態を始めて明らかにしたことは、初期の予想以上の成果といえる。

(2) 電子系と電磁波の強結合状態に関しては、来年度の最終的実験に向けた実験状況が整った段階である。

4. 今後の研究の推進方策

最終年度となる来年度には、核スピン偏極に関して電子スピン系との相互作用による“スピン波”の超放射の検証実験を行う。電子系と電磁波の強結合状態に関しては、今年度までに整った試料に対してきつ件を行い、“人工単一分子レーザー”の検証を始めとして circuit QED の検証実験を行う。

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8件)

T. Nakajima, Y. Kobayashi, S. Komiyama, M. Tsuboi, T. Machida, Scanning microscopy of nuclear spin polarization via quantum Hall edge channels., Phys. Rev. B, 81, 085322(1-7), 2010, 査読有り

T. Nakajima, T. Ueda, S. Komiyama, System Size Dependence of Quantum Hall Transitions., J. Phys. Soc. Jpn. 76, 94703(1-6), 2007, 査読有り

T. Nakajima, S. Komiyama, Lifetime of dissipation-less state of quantum Hall electron systems in the bistable regime., Physica E, 42, 1026-1029, 2010, 査読有り

J. C. Chen, Y. Tsai, Y. Lin, T. Ueda, S. Komiyama, Negative differential conductivity of two-dimensional electron-gas systems in high magnetic fields., Phys. Rev. B, 79, 075308(1-7), 2009, 査読有り

[学会発表](計7件)

T. Nakajima, Y. Kobayashi, S. Komiyama, Spin States in Edge Channels Probed via Relaxation of Local Nuclear Polarization., International Symposium on Quantum Nanostructures and Spin-related Phenomena (QNSP2010), 2010年3月9日, Komaba, Japan

[その他] ホームページ
<http://dbs.c.u-tokyo.ac.jp/~komiyama/>