

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2009

課題番号：19204030

研究課題名（和文）量子ポイントコンタクトにおけるスピンの生成と操作

研究課題名（英文） Electron Spin Observation and Controlling in Quantum Point Contacts

研究代表者

落合 勇一 (OCHIAI YUICHI)

千葉大学・大学院融合科学研究科・教授

研究者番号：60111366

研究成果の概要（和文）：量子ポイントコンタクト（QPC）のピンチオフ近傍での局在スピン状態（局在磁気モーメント：LMM）を、コヒーレント結合した QPC 系を用意し、LMM 観測とスピン操作を試みた。そのために、マイクロ波域パルス照射下での低温磁気伝導観測を行うとともに、極低温走査プローブ顕微鏡（SPM）による走査ゲート顕微法（SGM）なども試み、半導体やナノ炭素素材による QPC における電子波ダイナミクスの直接観測が可能であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：Localized Magnetic Moment (LMM) and the controlling of the spin state have been studied in the coupled Quantum Point Contacts (QPCs). The direct observation for the spin related electron-wave dynamics, can be realized in the QPCs sample prepared by micro-fabrication in semiconductors or nano-carbon materials by use of the low-temperature magneto-resistances under the microwave or terahertz wave radiation and the scanning gate modulation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	23,800,000	7,140,000	30,940,000
2008年度	10,800,000	3,240,000	14,040,000
2009年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	38,200,000	11,460,000	49,660,000

研究分野：半導体物理

科研費の分科・細目：メゾスコピック系・局在

キーワード：量子ポイントコンタクト、スピン生成、スピン操作、走査ゲート顕微法

1. 研究開始当初の背景

高易動度半導体表面層の2次元電子ガス平面（2DEG）上に、スプリットゲート法によりナノスケールの隙間を設けて、量子化し

た電子波を弾道的に通過させる1次元量子構造が量子ポイントコンタクト（QPC）であり、隙間の間隔はゲート電圧により制御できる。図1には、QPC 隙間の横に1個のサイ

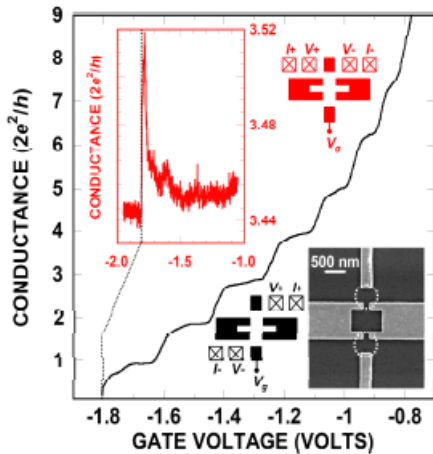


図1、円で示した上部 QPC と下部 QPC は、量子ドットを介して結合している。赤で示される共鳴ピークは黒の量子化伝導度の始まり位置で見られる。

ドゲートを付け加えた、変形 QPC が 2 個上下に配置され、これら 2 つの変形 QPC により量子ドット (QD) が構成されている。ここで、上部 QPC と下部 QPC、両者とも通過させる伝導の観測配置 (図中黒) で、下部 QPC のサイドゲート電圧のみ変化させると、図中央黒で示す階段状の量子化伝導が観測できる。特徴的なのは、最終ステップの量子化伝導度 ($2e^2/h$) 以下では、いわゆる一電子近似のバンド伝導は消滅 (ピンチオフ: 量子閉じ込め) して絶縁体になるが、2 個の電子の縮退状態である $2e^2/h$ の高さの 70% 付近に小さなステップないしはショルダーのような微細構造が観測され、0.7 構造と呼ばれている。しかしながら、零磁場スピン縮重のスピンアップとダウンで丁度ステップの半分の高さにはなっていないので、スピンに関連の電子間相互作用の存在が推測される。一方、上部 QPC のゲート電圧を固定し、上側 2 DEG のみ伝導させる観測配置 (図 1 中赤) で、下部 QPC のゲート電圧を変化させると、先の量子伝導がピンチオフするゲート電圧値付近で、鋭い伝導度ピークが観測される。この現象は、QPC 近傍の電子密度の減少により、非磁性の半導体でも、下部 QPC において自発的に局在磁気モーメント (LMM) が形成され、両者の相互作用により共鳴ピークが観測されると解釈している。これは、QPC 近傍で交換相互作用が電子の運動エネルギーより大きくなり、QPC でのセルフコンシステント・ポテンシャルを強く変調させて、スピン依存の単電子トラップが働くという理論が、発表されている。この考えはまさに先の共鳴ピーク実験が検証していることであり、下部 QPC を操作 QPC、上部 QPC を探知 QPC とすれば、QPC 間の相互作用を介して、スピンの読み出しを可能にすることが示唆される。したがって、何らかの外部入力

により操作 QPC を制御すれば、その結果を探知 QPC で見ることができ、スピン操作を実現できるものと考え、本研究を提案した。

2. 研究の目的

閉鎖系の量子構造である量子ドット型の単電子トンネリング素子では、近藤効果による LMM の出現などが観測されている。また、閉鎖系ではなく開放系の量子構造の結合量子細線においても、共鳴ピークを介した電子波のコヒーレンス性により、LMM の出現を検知でき、かつこのようなコヒーレンス性は、近藤効果がみられる開放系 QPC でも報告がある。トンネル伝導である閉鎖系で報告されたスピン関連の相互作用を開放系で調べるには、QPC のピンチオフ近傍での、0.7 構造でのスピン分極などのスピン関連挙動を調査する必要がある。これには、電子スピン共鳴や、バイアス電圧印加による微分伝導観測および計算機シミュレーションとの比較等を利用して解明することが必要であろう。最近、このようなスピンに関連した相互作用の存在が実験的に確かめられている。量子細線 (QW) のような長いナノ間隙の QPC の実験によると、図 1 の共鳴ピークは、長いほど強くなるが、量子化準位のエネルギー間隔より大きなバイアス電圧を印加すると消失することが最近確認された。電子濃度が低い QPC では、電子間相互作用により、電子バンドにギャップが生じて一電子的な量子準位ではなく多体的な電子状態へと遷移することが予想される。これは QPC の電子状態がダイナミカルになっていて、電子濃度が増加してピンチオフが解消されると、共鳴ピークは消失し一電子的な量子化伝導に戻る。したがって、QPC もしくは結合 QPC での電子間相互作用を、高磁場・低温でのマイクロ波やテラヘルツ波照射変調を用いることにより、電磁波励起によるラビ振動などを観測して、開放系量子構造のスピンダイナミクスを考察して、QPC でのスピンの生成と操作による量子制御を行う。

本研究で導入の低温 SPM は、100 ナノメートル以下の精度で、電子波を直接的に観測し、磁場をかけることによりスピンダイナミクスの解析ができるので、マイクロ波域等電磁波励起と組み合わせた複合化スピン伝導探査実験を行う。また、QPC 近傍の波動関数から予想される伝導現象と、電子計算機による波動関数シミュレーションの解析結果との比較検討が可能であり、QPC でのポテンシャルに関する情報を獲得し、多体効果の理論計算との比較を行う。この共鳴ピークを生じる相互作用に関しては、現象論的なモデルが提案されていて、発生した LMM と探知 QPC との相互作用はいわゆるアンダーソン・ハミルトニアンで表現することができる。この相互作用の存在は、個々の QPC の一電

子モデルでの量子化準位をまず考えて、それらが準位交差を起こすことから検証できるが、最近その相互作用に関する予備的な証拠が得られた。これをさらに追求し、外部入力により操作 QPC を制御し、それを探知 QPC で見るなどの機構を解明してスピン操作を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

開放系量子構造での共鳴相互作用を調べるため、高移動度半導体基板を購入し、結合 QPC を何箇所か設けた多重結合量子ドットを SGM 観察しながら作製し、マイクロ波や THz 光により変調を受けた磁気伝導の観測を行う。さらに、AFM コントローラー、He-3 クライオスタットおよび温度コントローラーを組み合わせて、低温 SPM を完成させ、磁場をかけることにより電子波を直接的に観測するスピンドYNAMICS 解析の準備を行う。これは、研究代表者・落合と研究分担者・青木が主として担当する。同時に、理論計算分担者（後に連携研究者）・中山は、結合 QPC による量子構造内の波動関数挙動や伝導経路の計算機解析の準備を行う。そのため、結合 QPC 内のスピン生成に関与する、量子伝導のスピン依存性のシミュレーション用計算機システムを購入する。さらに、結合 QPC 間の局在スピンの相互作用についての存在有無などのスピン関与の証拠を捕らえるため、海外共同研究者の J. P. バード教授と、半導体結合 QPC における近藤クラウドによる共鳴相互作用に関する共同研究を行う。このため、日本側で作製して、日米で同じ QPC 試料を用いる日米双方共同の実験研究を進め、マイクロ波や THz 光照射やスピン操作等についての議論を行う。

作製する量子構造は、これまで行ってきた図 1 にあるような結合 QPC 構造に加えて、多重結合 QPC 構造に改良して、研究を進める。これは、結合 QPC における共鳴相互作用を明瞭に観測するため、各 QPC のセパレーションが明確になる量子構造とするためである。すなわち、図 1 にあるような量子ドットの仲介は必要ないことが判明していることと、操作 QPC と検出 QPC との隔離を完全にした量子構造により、QPC セパレーションが有効であることがすでに予備実験により立証済みとなっている。このような量子構造は、多数の QPC をそれらのゲートの組合せで作れるので、QPC 間距離も変化させることが出来る。電磁波照射変調磁気伝導と低温 SPM による伝導観測に適した半導体量子構造である多重結合 QPC を考察して、観測試料を作製する。希釈冷凍機（現有）や高周波対応の He-3 冷凍機（現有）などにより、電磁波照射下での量子伝導観測し、0.7 構造におけるスピンに関連の磁気伝導の解析を行う。

次年度以降には、作製した量子構造の低温磁気伝導を引き続き行くとともに、低温対応粗微動ステージを購入して低温非磁性 SPM を完成させる。そして、このナノプローブによる量子構造内伝導路での局所ポテンシャル変調による伝導度応答を観測する、低温 SPM 実験を開始する。この電子波挙動を探る予備実験と、従来の平衡状態での磁気伝導の結果との比較を、新しい量子構造である多重結合 QPC を用いて行う。すなわち、平衡状態の電気伝導で試みられたのと同様の多重結合 QPC を用いることにより、スピン生成側 QPC と検出側 QPC との距離を何種類か変化させて伝導観測ができる量子構造であることが重要で、SPM 法と複合させて高磁場下でも、瞬間的非平衡パルス伝導測定を可能にさせる。

さらに、He-3 冷凍機に直結した非磁性の低温 SPM（新規）を導入して低温での磁気伝導観測を行い、0.7 構造におけるスピンに関連の伝導や電子波伝播の観測を行う。低温 SPM を用いる利点は、これまでは QPC での伝導を遠く離れた電圧端子で検出していたものが、どこで、かつどのような干渉が起こっているかを直接に観測できることや、電子波伝播の様子を空間的に画像化することができる点にある。量子構造試料は、エッチング等で削ることにより、表面金属ゲートを用いずに素子作製が可能となり、低温 SPM でも高磁場でも観測が容易となる。極低温・高磁場でパルス伝導を行うため、既設の希釈冷凍機に SPM インサートを設置し、高磁場での照射変調磁気伝導の観測を行う。

以上の準備の下で、局在スピン (LS) の生成に起因する伝導実験を近藤クラウドでの問題としてとらえ、アンダーソン・ハミルトニアンを基にした解析計算モデルとの比較や LS を計算機でシミュレートする作業も開始し、再度実験の結果と比較することにより、近藤クラウドを介するどのような共鳴相互作用なのであるかの探査を行う。すでに理論計算のある図 1 で見られる伝導度変化の理論解析の妥当性についても計算機実験で確かめる。並行して、高磁場での低温 SPM 複合実験により、電子スピンと核スピンとの超微細構造相互作用を用いて量子コヒーレンスの持続時間に関するスピン生成と量子構造との関連性の解明にも可能な限り追求する。

4. 研究成果

(1) 開放系量子構造での共鳴相互作用を調べるために、QPC 試料の低温磁気伝導を観測して、マイクロ波域電磁波照射による伝導観測を行うための実験研究を行った。LMM の局所的な変調を行うことでスピンの局在位置を特定してスピン操作やスピン生成を行うため、海外共同研究者の米国 SUNY バッフ

アロー校の J.P.バード教授と共同研究を行った。その結果、結合 QPC での電子間相互作用にスピン関与が明らかにになり、マイクロ波などの電磁波照射による効果を調べる上での重要な知見を得た。これを詳しく調べるため、超伝導マグネット中で観測試料の電流方向が磁場軸に対して回転できるように、超小型超音波モーターによる回転機構を導入して、低温下での電流軸角度制御を行い、磁気伝導観測を行った。また、SGM 用クライオスタットに新たな超伝導マグネットを導入し、極低温 SPM の観測の実験を行い、以下で述べるように平成 20 年度末には磁場なしでの低温下 SGM 観測を行うことができた。さらに多重結合 QPC 構造を用いた共鳴相互作用におけるマイクロ波域変調伝導観測のために、高易動度半導体に加えて、2 層グラフィンを QD とする新しい量子構造の基礎伝導評価実験を行った。その結果高易動度半導体と同様あるいはそれ以上の性能を有する多重結合 QPC が得られることがわかった。電子スピンの関与していると予想される、QPC における 0.7 構造の調査も行われ、国内での学会や外国での招待講演等にて発表し、近藤効果との関連性について明らかにした。また、結合 QPC での波動関数マッピングやスピン分極波の伝導経路の計算機解析の準備が並列計算型コア 4 計算機を用いて行われた。そして、波動関数の振る舞いを調べることにより、0.7 構造に関連する伝導挙動の結果が得られた。

(2)SGM 観察に不可欠な 0.3K での観察が可能な SPM の作製を行った。ボア径 2 インチの超伝導マグネットに適合させるため、直径を 38mm の非磁性ステンレス製の筐体とし、低温での粗動範囲を $\pm 2\text{mm}$ 、微動スキャン範囲を $\pm 10\mu\text{m}$ 確保するために Atto cube 社製のチタン製の低温用ステージを採用した。また、探針と試料間に掛かる力をできるだけ下げるため、探針を加振させて検出するダイナミックモードによる制御を取り入れ、また半導体表面の SGM 観察に最適な、レーザー光の照射を必要としない、ピエゾ抵抗センサー検出型の自己検知カンチレバーを採用した。これを He-3 クライオスタットの先端に取り付け、真空雰囲気下において 0.3K における動作ができることを確認した。

(3)3 年間の成果をまとめると、初年度および次年度では、超伝導マグネット付低温下動作 SGM 観測装置を完成させた。最終年度では、同装置により高磁場下での上記 QPC における伝導観測を行い、近藤効果の存在確認や同効果に関連した電子間相互作用に基づく伝導機構の解析を行い、論文雑誌発表や国内外における学会等において成果を報告した。これらは SGM による、LMM の局所的な変調下でのスピン位置特定用スピン操作

のための高磁場印加での低温磁気伝導観測であり、かつマイクロ波域電磁波照射下での観測に備えた研究成果であった。研究実施期間のまとめとして、3 年間での実験研究成果公表は、落合、青木とともに連携研究者の千葉大学の中山および研究協力者の米国 SUNY の JP.バード教授らとともに国内外学会発表や論文雑誌発表等にて行われた。また、QD 伝導関連の計算機実験の成果は中山らにより論文発表等がなされている。さらに、実施年度経過後においても、マイクロ波域電磁波照射下での観測を実施するとともに、これら得られた成果を基にして、LMM 検出によるスピンの量子操作をさらに検証するため、現在、波動関数挙動の計算機シミュレーションと対比しつつ、マイクロ波照射下のスピン生成とその量子操作の検証を行っている。

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 30 件)

- ① Y. Ochiai, Y. Ujiie, N. Yumoto, S. Harada, T. Morimoto, N. Aoki, J. P. Bird and D. K. Ferry: Chaotic Behavior in the Magneto-Resistance of Quantum Dot and Quantum Point Contact, Prog. Theor. Phys. Suppl., 査読有, Vol.166, pp.127-135, 2007.
- ② Y. Yoon, L. Mourokh, T. Morimoto, N. Aoki, Y. Ochiai, J. L. Reno and J. P. Bird: Probing the Microscopic Structure of Bound States in Quantum Point Contacts, Phys. Rev. Lett., 査読有, Vol.99, pp.136805-1-4, 2007.
- ③ M.-G. Kang, T. Morimoto, N. Aoki, J.-U. Bae, Y. Ochiai and J. P. Bird: Aharonov-Bohm effect in the magneto-resistance of a multiwalled carbon nanotube with tunneling contacts, Phys. Rev. B, 査読有, Vol.77, pp.113408-1-4, 2008.
- ④ T. Morimoto, N. Yumoto, Y. Ujiie, N. Aoki, J. P. Bird and Y. Ochiai: Phenomenological investigation of many-body induced modifications to the one-dimensional density of states of long quantum wires, J. Phys.: Cond. Matt., 査読有, Vol.20, pp.164209-1-9, 2008.
- ⑤ Y. Yoon, T. Morimoto, L. Mourokh, N. Aoki, Y. Ochiai, J. L. Reno and J. P. Bird: Detecting Bound Spins Using Coupled Quantum Point Contacts, J. Phys.: Cond. Matt., 査読有, Vol.20, pp.164216-1-9, 2008.
- ⑥ K.-Y. Chen, Y.H. Chang, C.-T. Liang, N. Aoki, Y. Ochiai, C.-F. Huang, L.-H. Lin,

- K-A. Cheng, H-H. Cheng, H-H. Lin, J-Y. Wu and S-D. Lin: Probing Landau quantization with the presence of insulator-quantum Hall transition in a GaAs two-dimensional electron system, *J. Phys.: Cond. Matt.* 査読有, Vol.20, pp. 295223-1-5, 2008.
- ⑦ Y. Ujiie, N. Yumoto, T. Morimoto, N. Aoki and Y. Ochiai: Fractal behaviour in graphene open quantum dot, *J. Phys.: Conf. Ser.*, 査読有, Vol.109, pp.102035-1-4, 2008.
- ⑧ A. M. Burke, N. Aoki, R. Akis, Y. Ochiai and D. K. Ferry: Imaging classical and quantum structures in an open quantum dot using scanning gate microscopy, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 査読有, Vol.26 pp.1488-1491, 2008.
- ⑨ H. Ishii, Y. Tomita, Y. Shigeno, T. Nakayama: Relaxation Process of Transient Current through Nanoscale Systems; Density Matrix Calculations, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, 査読有, Vol.6, pp.213-221, 2008.
- ⑩ N. Aoki, A. M. Burke, R. Akis, Y. Ochiai, and D. K. Ferry: Observation of open quantum dot via low temperature scanning gate microscopy, *J. Phys.: Conf. Ser.*, 査読有, Vol.150, pp.022002-1-4, 2009.
- ⑪ Y. Yoon, M.-G. Kang, T. Morimoto, L. Mourokh, N. Aoki, J. L. Reno, J. P. Bird and Y. Ochiai: Detector backaction on the self-consistent bound state in quantum point contacts, *Phys. Rev. B*, 査読有, Vol.79, pp. 121304(R)-1-4, 2009.
- ⑫ Y. Yoon, M.-G. Kang, P. Ivanushkin, L. Mourokh, T. Morimoto, N. Aoki, J. L. Reno, Y. Ochiai and J. P. Bird: Nonlocal bias spectroscopy of the self-consistent bound state in quantum point contacts near pinch off, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, Vol.94, pp.213103-1-3, 2009.
- ⑬ Y. Ujiie, S. Motooka, T. Morimoto, N. Aoki, D. K. Ferry, J. P. Bird and Y. Ochiai: Regular conductance fluctuations indicative of quasi-ballistic transport in bilayer grapheme, *J. Phys.: Cond. Matt.*, 査読有, Vol.21, pp.382202-1-4, 2009.
- ⑭ J. Song, Y. Kawano, K. Ishibashi, J. Mikalopas, G. R. Aizin, N. Aoki, J. L. Reno, Y. Ochiai and J. P. Bird: Current-voltage spectroscopy of the subband structure of strongly pinched-off quantum point contacts, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, Vol.95, pp.233115-1-3, 2009.
- ⑮ Y. Tomita, T. Nakayama, H. Ishii: Transient current behavior through molecular bridge systems; effects of intra-molecule current on quantum relaxation and oscillation, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.*, 査読有, Vol.7, pp.606-616, 2009.
- ⑯ J. Song, G. Aizin, Y. Kawano, K. Ishibashi, N. Aoki, Y. Ochiai, J. L. Reno and J. P. Bird: Evaluating the performance of quantum point contacts as nanoscale terahertz sensors, *Optics Express*, 査読有, Vol.18, pp.4609-1-6, 2010.
- [学会発表] (計 9 6 件)
- ① N. Aoki, A. Burke, R. Brunner, J. P. Bird, R. Akis, R. Meisels, F. Kuchar, D. K. Ferry and Y. Ochiai: Visualization of classical and quantum transport in an open quantum dot via scanning gate microscopy, The 15th International Conference on Nonequilibrium Carrier Dynamics in Semiconductors (HCIS-15), Tokyo, July 22-27, 2007.
- ② 森本崇宏, 湯本昇, 氏家洋平, 青木伸之, J. P. バード, 落合勇一: 1次元系多体効果における細線長・形状依存性, 日本物理学会第62回年次大会, 21aTG-11, 北海道大学, 9月21日~9月24日, 2007年.
- ③ 青木伸之, 落合勇一: 低温走査ゲート顕微鏡による量子ポイントコンタクトの観察, 物性研短期研究会「低温走査トンネル顕微鏡の現状と展望」, 東京大学, 2007年10月12日.
- ④ Y. Ujiie, N. Yumoto, T. Morimoto, N. Aoki and Y. Ochiai: Anomalous magneto-resistance peak-structures near the zero magnetic field in the few layer graphene FET, International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology (ISANN2007), Hawaii, U.S.A., Dec. 2-7, 2007.
- ⑤ T. Morimoto, Y. Yumoto, Y. Ujiie, N. Aoki, J. P. Bird and Y. Ochiai: Geometrical Effect for the One Dimensional Interacting Systems, International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology (ISANN2007), Hawaii, U.S.A., Dec. 2-7, 2007.
- ⑥ 湯本昇, 森本崇宏, 氏家洋平, 遠藤孝, 赤上典之, 青木伸之, J.P.バード, 落合勇一: 1次元系近藤効果における近藤温度の形状依存性, 日本物理学会 第63回年次大会, 23aWJ-6, 近畿大学, 3月23日

- ～26日, 2008年.
- ⑦ 青木伸之, A. Burke, R. Brunner, R. Akis, D. K. Ferry, 植田毅, 落合勇一: 開放系量子ドットにおける走査ゲート顕微鏡像の解析, 日本物理学会 第63回年次大会, 24aWH-5, 近畿大学, 3月23日～26日, 2008年.
- ⑧ N. Aoki, A. Burke, R. Akis, R. Brunner, F. Kuchar, D. K. Ferry and Y. Ochiai: Manipulation of Wavefunction in Open Quantum Dot via Low Temperature Scanning Gate Microscopy, 25th International Conference on Lowtemperature Physics, Amsterdam, Netherland, Aug. 6-13, 2008.
- ⑨ 青木伸之, A. Burke, R. Akis, D. K. Ferry, 落合勇一: エッチングで作製した GaAs 系量子ポイントコンタクトのSGM観察, 日本物理学会 2008年秋季大会, 22aYF-8, 岩手大学, 9月20日～23日, 2008年.
- ⑩ 遠藤孝, 湯本昇, 森本崇宏, 岩田朋大, 青木伸之, 落合勇一, J.P.バード: 量子細線における近藤効果のゲート形状依存性, 日本物理学会 2008年秋季大会, 22aYF-9, 岩手大学, 9月20日～23日, 2008年.
- ⑪ 遠藤孝, 湯本昇, 森本崇宏, 岩田朋大, 青木伸之, 落合勇一, J.P.バード: 量子細線における 0.7 構造の類似現象, 日本物理学会 第64回年次大会, 28aVE-3, 立教大学, 3月27日～30日, 2009年.
- ⑫ N. Aoki, A. M. Burke, C. R. da Cunha, R. Akis, D. K. Ferry and Y. Ochiai: Scanning gate imaging of quantum point contact, The 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18), Kobe, Japan, July 19-24, 2009.
- ⑬ 遠藤孝, 洪谷薫, 岩田朋大, 湯本昇, 森本崇宏, 青木伸之, 落合勇一, J.P.バード: 量子ポイントコンタクトの温度依存に見られる特徴的な伝導現象, 日本物理学会 2009年秋季大会, 27aXD-3, 熊本大学, 9月25日～28日, 2009年.
- ⑭ 落合勇一: Conductance fluctuations in the magnetoresistance of the graphene quantum dot, 物性研究所短期研究会"ディラック電子系の物性, グラフェンおよび関連物質の最近の研究", 東京大学物性科学研究所, 10月22日～24日, 2009年.
- ⑮ N. Aoki, A. Burke, R. Akis, R. Brunner, F. Kuchar, D. K. Ferry and Y. Ochiai: Visualization of characteristic wave functions in open quantum dot by scanning gate microscopy, International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology (ISANN2009), Hawaii, U.S.A., Nov. 29-Dec.4, 2009.
- ⑯ 遠藤孝, 洪谷薫, 湯本昇, 森本崇宏, 青木伸之, 落合勇一, J.P. Bird: 量子細線のスピン磁気特性, 日本物理学会 第65回年次大会, 20aHV-3, 岡山大学, 岡山市, 3月20日～23日, 2010年.
- ⑰ 青木伸之, A. Burke, R. Brunner, R. Akis, D.K. Ferry, 落合勇一: 開放系量子ドットにおける走査ゲート顕微鏡像の解析 2, 日本物理学会 第65回年次大会, 21aHV-12, 岡山大学, 岡山市, 3月20日～23日, 2010年.
- ⑱ Y. Ochiai, S. Motooka, Y. Ujiie, N. Aoki, J. P. Bird and D. K. Ferry: Quantum transport and the low temperature magneto-resistance of few layer graphene, Quantum Dot 2010, Nottingham, UK, Apr. 26-30, 2010.
- [図書] (計1件)
- ① Y. Ochiai, N. Aoki, J. P. Bird: "FULLERENE NANOWHISKERS", Chp.8: ELECTRONICS DEVICE APPLICATION OF FULLERENE NANOWHISKERS を担当, 2010, PAN STANFORD PUBLISHING (Ed. by Kun'ichi Miyazawa). (出版決定済)
- [その他]
- http://www.em.eng.chiba-u.jp/~lab22/index_ochiai.html
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
落合 勇一 (OCHIAI YUICHI)
千葉大学・大学院融合科学研究科・教授
研究者番号: 60111366
- (2) 研究分担者
青木 伸之 (AOKI NOBUYUKI)
千葉大学・大学院融合科学研究科・准教授
研究者番号: 60312930
- (3) 連携研究者
中山 隆史 (NAKAYAMA TAKASHI)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 70189075
- (4) 研究協力者
バード P. ジョナサン (BIRD P. JONATHAN)
ニューヨーク州立大学バッファロー校・電気工学科・教授