

平成 21 年 6 月 3 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2005～2008

課題番号：17340115

研究課題名（和文）メゾスコピック系の伝導における相互作用と導線の効果

研究課題名（英文）Effects of Interaction and Leads on Electronic Conduction in Mesoscopic Systems

研究代表者

羽田野 直道（HATANO NAOMICHI）

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：70251402

研究成果の概要：メゾスコピック系の電気伝導において、メゾスコピック系内の電子間相互作用や、メゾスコピック系に接続されている導線がどのような効果を及ぼすかを議論した。前者が多体の束縛状態を、後者が共鳴状態を生み出すことを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,800,000	0	3,800,000
2006年度	2,000,000	0	2,000,000
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
総計	8,400,000	780,000	9,180,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学（数理物理・物性基礎）

キーワード：物性基礎論・ナノ材料・量子ドット・計算物理

1. 研究開始当初の背景

（1）メゾスコピック系の電気伝導については、電子間相互作用を無視して一体問題として扱う場合には、ランダウアー公式という方法があります。しかし、相互作用が強い場合にどのように問題にアプローチすればよいかすら明らかではありませんでした。

（2）また、一体問題の範囲でも、メゾスコピック系と導線の接続は摂動で扱われる場合が多く、強く外界と接続された系の研究はあまり多くありませんでした。しかし、量子コンピューターなどに利用する場合には、メゾスコピック系を開いた量子系として扱う必要があります。

2. 研究の目的

（1）電子間相互作用が強い場合にメゾスコピック系の電気伝導を研究するための基本的な手法を開発することを目的としました。特に、ランダウアー公式がどのように多体問題に拡張できるかを考えました。

（2）開いた量子系においては、必然的に多くの共鳴状態が出現します。この共鳴状態が電気伝導に及ぼす効果を明らかにすることを目的としました。特に、非対称な共鳴ピークであるファノ共鳴が起こる原因について再考しました。

3. 研究の方法

(1) 電子間相互作用がある量子ドットに導線が強く結合した系のうち、2つの簡単なモデルについて、量子力学的散乱状態を厳密に構成しました。その波動関数を基に、電流電圧特性や、エンタングルメント生成率を計算しました。

(2) ランダウアー公式の範囲で、コンダクタンスを共鳴状態や反共鳴状態などの極のみの和で表します。これを基に、非対称ファノ共鳴を、状態間の干渉の観点から議論しました。

4. 研究成果

(1) 共鳴準位模型について、電流電圧特性を計算し、電子間相互作用が強くなると、微分コンダクタンスが負になる部分があることを示しました。この結果は、従来の数値計算のいくつかとコンシステントです。

なお、2つの簡単なモデルについて構成した量子力学的散乱状態は、これまで多く使われていたベータ仮説による解とは異なる全く新しいものです。

(2) コンダクタンスを、離散的固有状態(束縛状態、反束縛状態、共鳴状態、反共鳴状態)に関する和で表す公式を導きました。それを基に、ファノ共鳴の非対称性を表すファノ・パラメータの微視的な表式を導き直しました。

ファノ共鳴の非対称性には3種類の起源があることを示しました。一つは共鳴状態と反共鳴状態間の干渉、一つは共鳴状態と束縛状態間の干渉、もう一つは、2つの共鳴状態間の干渉です。

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16件)

(以下、全て査読付き)

K. Sasada and N. Hatano: Quantum interference effect of resonant transport in nano-scale systems, Physica E 29 (2005) 609-613.

N. Hatano: Strong resonance of light in a Cantor set, J. Phys. Soc. Jpn. 74 (2005) 3093-3111.

M. Machida, N. Hatano and J. Goryo: Temporal oscillation of conductances in quantum Hall effect of Bloch electrons, J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2006) 063704.

Y. Nakamura and N. Hatano: A non-Hermitian critical point and the

correlation length of strongly correlated quantum systems, J. Phys. Soc. Jpn. 75 (2006) 114001.

N. Hatano, R. Shirasaki and H. Nakamura: Gap-mediated magnetization of a pseudo-one-dimensional system with a spin-orbit interaction, Solid State Comm. 141 (2007) 79-83.

N. Hatano, R. Shirasaki and H. Nakamura: Non-Abelian gauge field theory of the spin-orbit interaction and a perfect spin filter, Phys. Rev. A 75 (2007) 032107.

Nishino and N. Hatano: Resonance in an open quantum dot system with a Coulomb interaction: a Bethe-ansatz approach, J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 063002.

H. Nakamura, N. Hatano, S. Garmon and T. Petrosky: Quasibound states in the continuum in a two channel quantum wire with an adatom, Phys. Rev. Lett. 99 (2007) 210404.

K. Sasada and N. Hatano: Calculation of the self-energy of open quantum systems, J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) 025003.

M. Machida, J. Goryo and N. Hatano: Transient oscillation of currents in quantum Hall effect of Bloch electrons, J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) 024713.

N. Hatano, K. Sasada, H. Nakamura and T. Petrosky: Some properties of the resonant state in quantum mechanics and its computation, Prog. Theor. Phys. 119 (2008) 187-222.

Nishino, T. Imamura and N. Hatano: Exact scattering eigenstates, many-body bound states and nonequilibrium current in an open quantum dot system, Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 146803.

G. Ordóñez and N. Hatano: Existence and nonexistence of an intrinsic tunneling time, Phys. Rev. A 79 (2009) 042102.

S. Garmon, H. Nakamura, N. Hatano and T. Petrosky: Two-channel quantum wire with an adatom impurity: Role of the van Hove singularity in the quasi-bound state in continuum, decay rate amplification and the Fano effect, Phys. Rev. B, submitted.

K. Sasada, N. Hatano and G. Ordóñez: Resonant spectrum analysis of the conductance of open quantum system and three types of the Fano parameter, Phys. Rev. B, submitted.

T. Imamura, A. Nishino and N. Hatano: Entanglement generation through an open quantum dot: an exact approach, Phys. Rev. Lett., submitted.

〔学会発表〕(計57件)

中村祐一、羽田野直道：A non Hermitian analysis of strongly correlated quantum systems, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Vienna, Austria, 2005年7月

羽田野直道：コントロール集合中の電磁波の共鳴、日本物理学会 2005 年秋季大会、同志社大学、2005 年 9 月 21 日

中村祐一、羽田野直道：フラストレートスピン系の非エルミート解析、日本物理学会 2005 年秋季大会、同志社大学、2005 年 9 月 21 日

笹田啓太、羽田野直道：カーボンナノチューブにおける共鳴伝導の固有値解析、日本物理学会 2005 年秋季大会、同志社大学、2005 年 9 月 22 日

笹田啓太、羽田野直道：A spectrum analysis of resonant transport for the carbon nanotube, The International Conference Nanoscience & Nanotechnology 2005, Frascati, Italy, 2005 年 11 月

中村祐一、羽田野直道：A non Hermitian analysis of strongly correlated quantum systems, 場の量子論の基礎的諸問題と応用、京都大学基礎物理学研究所、2005 年 12 月

町田学、羽田野直道、御領潤：プロック電子系の量子ホール効果～非断熱遷移によるチャーン数からの補正項、CREST 量子情報研究領域ワークショップ、箱根、2005 年 12 月

笹田啓太、羽田野直道：A spectrum analysis of resonant transport for the carbon nanotube, CREST 量子情報研究領域ワークショップ、箱根、2005 年 12 月

中村祐一、羽田野直道：A non Hermitian analysis of strongly correlated quantum systems, つくば冬の学校 2005、筑波大学、2006 年 1 月

中村祐一、羽田野直道：A non Hermitian analysis of strongly correlated quantum systems, APS March Meeting 2006, Baltimore, USA, 2006 年 3 月

町田学、羽田野直道、御領潤：Nonadiabatic transition in the quantum Hall effect, APS March Meeting 2006, Baltimore, USA, 2006 年 3 月

笹田啓太、羽田野直道：共鳴状態の干渉項による Fano コンダクタンスの新たな解釈、東京工業大学 21 世紀 COE プログラム「量子ナノ物理学」第 2 回公開シンポジウム、五反田ゆうぼうと、2006 年 3 月

中村祐一、羽田野直道：強磁性模型の非エルミート解析、日本物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学、2006 年 3 月 27 日

笹田啓太、羽田野直道：Rashba spinorbit 相互作用のある共鳴伝導の固有値解析、日本

物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学、2006 年 3 月 28 日

羽田野直道：非エルミート行列の固有値分布計算ライブラリ：並列化版のパフォーマンス、日本物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学、2006 年 3 月 30 日

中村祐一、羽田野直道：A zero of the dispersion relation of the elementary excitation and the correlation length, The International Conference on Quantum Mechanics and Chaos, 大阪市立大学、2006 年 9 月

中村浩章、羽田野直道、田中智、Sterling Garmon, Tomio Petrosky：複数チャンネルのある量子細線の不純物準位による準安定状態、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学、2006 年 9 月 23 日

西野晃徳、羽田野直道：ベテ仮説法を用いた開放量子ドット系における多体効果の解析、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学、2006 年 9 月 24 日

笹田啓太、羽田野直道：擬一次元電子系における準位非交差の固有値解析、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学、2006 年 9 月 24 日

中村祐一、羽田野直道：素励起の分散関係のゼロ点と相関長、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学、2006 年 9 月 25 日

21 町田学、羽田野直道、御領潤：量子ホール伝導度のチャーン数への補正項、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学、2006 年 9 月 25 日

22 羽田野直道、白崎良演、中村浩章：擬一次元スピン軌道相互作用系のギャップが作る磁化 I パリステイックな場合、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学、2006 年 9 月 25 日

23 白崎良演、羽田野直道、中村浩章：擬一次元スピン軌道相互作用系のギャップが作る磁化 II 不純物散乱の効果、日本物理学会 2006 年秋季大会、千葉大学、2006 年 9 月 25 日

24 中村祐一、羽田野直道：A zero of the dispersion relation of the elementary excitation and the correlation length, 21st COE 5th International Conference on Perspectives in Nonlinear Physics, 東京大学、2006 年 11 月

25 中村祐一、羽田野直道：Non Hermitian quantum mechanics of strongly correlated systems, International Workshop on Classical and Quantum Integrable Systems, Dubna, Russia, 2007 年 1 月 24 日

26 中村祐一、羽田野直道：Zeros of the dispersion relation of the elementary excitation and the correlation length of strongly correlated quantum systems,

International Meeting on Perspectives of Soliton Physics, 東京大学小柴ホール、2007年2月16日

27 中村祐一、羽田野直道 : Zeros of the dispersion relation of the elementary excitation and the correlation length of strongly correlated quantum systems, APS March Meeting 2007, Denver, USA, 2007年3月7日

28 羽田野直道、中村浩章、Tomio Petrosky : 量子細線中の不純物準位における共鳴状態 I, 日本物理学会 2007 年春季大会、鹿児島大学、2007 年 3 月 18 日

29 中村浩章、羽田野直道、Sterling Garmon, Tomio Petrosky : 量子細線中の不純物準位における共鳴状態 II, 日本物理学会 2007 年春季大会、鹿児島大学、2007 年 3 月 18 日

30 羽田野直道、白崎良演、中村浩章 : スピン軌道相互作用の非可換ゲージ場理論と完全スピンフィルター、日本物理学会 2007 年春季大会、鹿児島大学、2007 年 3 月 20 日

31 中村祐一、羽田野直道 : スピン無秩序領域におけるハバード模型の相関長、日本物理学会 2007 年春季大会、鹿児島大学、2007 年 3 月 20 日

32 羽田野直道 : Resonant states in mesoscopic systems, Many body open quantum systems; From atomic nuclei to quantum dots, Trento, Italy, 2007 年 5 月 17 日

33 羽田野直道、白崎良演、中村浩章 : Non-Abelian gauge field theory of the spin-orbit interaction and a perfect spin filter, Physics and Mathematics of Interacting Quantum Systems in Low Dimensions, 東京大学柏キャンパス、2007 年 5 月 25 日

34 西野晃徳、羽田野直道 : Resonance in an open quantum dot system with a Coulomb interaction: a Bethe-ansatz approach, Physics and Mathematics of Interacting Quantum Systems in Low Dimensions, 東京大学柏キャンパス、2007 年 5 月 25 日

35 中村祐一、羽田野直道 : Non Hermitian quantum mechanics of strongly correlated systems, Physics and Mathematics of Interacting Quantum Systems in Low Dimensions, 東京大学柏キャンパス、2007 年 5 月 25 日

36 中村祐一、羽田野直道 : Non Hermitian quantum mechanics of strongly correlated systems, 23rd International Conference on Statistical Physics, Genova, Italy, 2007 年 7 月 9 日

37 中村祐一、羽田野直道 : Non Hermitian quantum mechanics of strongly correlated systems, 6th International Workshop on

Pseudo Hermitian Hamiltonians in Quantum Physics, London, UK, 2007 年 7 月 15 日

38 笹田啓太、羽田野直道 : 共鳴極によるコンダクタンス公式、日本物理学会第 62 回年次大会、北海道大学、2007 年 9 月 24 日

39 羽田野直道 : Resonant conduction through mesoscopic systems, The 21st COE International Symposium on the Linear Response Theory, 東京大学山上会館、2007 年 11 月 6 日

40 西野晃徳、羽田野直道 : Resonance in an open quantum dot system with a Coulomb interaction: a Bethe-ansatz approach, Interaction and Nanostructural Effects in Low-Dimensional Systems, 京都大学基礎物理学研究所、2007 年 11 月 7 日

41 羽田野直道、白崎良演、中村浩章 : Non-Abelian gauge field theory of the spin-orbit interaction and a perfect spin filter, Interaction and Nanostructural Effects in Low-Dimensional Systems, 京都大学基礎物理学研究所、2007 年 11 月 22 日

42 羽田野直道、笹田啓太 : 束縛状態と共鳴状態によるコンダクタンス公式、量子応答と量子ダイナミックスの新展開、甲府、2008 年 2 月 18 日

43 羽田野直道 : 物性物理におけるハミルトニアン非エルミート化、日本物理学会、第 63 回年次大会、2008 年 3 月 23 日

44 羽田野直道 : Electronic conduction of mesoscopic systems and resonant states, Perspectives in Resonances and Continua in Nuclei, 函館、2008 年 7 月 21 日

45 羽田野直道、加藤幾芳 : ポテンシャル散乱による共鳴状態の複素スペクトル、日本物理学会 2008 年秋季大会、岩手大学、2008 年 9 月 22 日

46 西野晃徳、今村卓史、羽田野直道 : 開放型量子ドットにおける多体散乱状態 : Lippmann-Schwinger 方程式の解、日本物理学会 2008 年秋季大会、岩手大学、2008 年 9 月 22 日

47 羽田野直道 : Quantum resonance and electronic conduction in mesoscopic systems, Fundamental Theory of Nonequilibrium Statistical Mechanics from Viewpoints of Complex Eigenvalue Problems of Liouville Operators and its Application to Biological Problems, 京都大学基礎物理学研究所、2008 年 10 月 16 日

48 羽田野直道 : Quantum resonance and electronic conduction in mesoscopic systems, Dynamics and Manipulation of Quantum Systems, 東京大学小柴ホール、2008 年 10 月 20 日

49 西野晃徳、今村卓史、羽田野直道 : Many-body scattering states in an open

quantum dot system, Dynamics and Manipulation of Quantum Systems, 東京大学小柴ホール、2008年10月21日

50 羽田野直道、加藤幾芳：Behavior of resonance poles based on Born approximation of Schroedinger equation, Fundamental Theory of Nonequilibrium Statistical Mechanics from Viewpoints of Complex Eigenvalue Problems of Liouville Operators and its Application to Biological Problems, 京都大学基礎物理学研究所、2008年10月24日

51 羽田野直道：Quantum resonance and electronic conduction in mesoscopic systems, Resonances: From Few-Body to Many-Body, Technion, Israel, 2008年11月5日

52 羽田野直道：Resonance and non Hermiticity of open quantum systems, Non Hermitian Hamiltonians in Quantum Physics, Mumbai, India, 2009年1月16日

53 羽田野直道：Normalization problem of wave function in resonant state, Fundamental Theory of Nonequilibrium Statistical Mechanics from Viewpoints of Complex Eigenvalue Problems of Liouville Operators and its Application to Biological Problems, 京都大学基礎物理学研究所、2009年2月4日

54 西野晃徳、今村卓史、羽田野直道：開放型量子ドットにおける多電子散乱状態を用いた非平衡電流の解析、古典お呼び量子ダイナミクス・非平衡統計力学に関するワークショップ、学士会館、2009年3月1日

55 羽田野直道：メソスコピック系の電気伝導と共鳴状態、古典お呼び量子ダイナミクス・非平衡統計力学に関するワークショップ、学士会館、2009年3月2日

56 今村卓史、西野晃徳、羽田野直道：開放型量子ドットを用いたエンタングルメント生成：厳密解によるアプローチ、日本物理学会第64回年次大会、立教大学、2009年3月27日

57 西野晃徳、今村卓史、羽田野直道：開放型量子ドットにおける多電子散乱状態を用いた非平衡電流の解析、日本物理学会第64回年次大会、立教大学、2009年3月30日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

羽田野直道 (HATANO NAOMICHI)
東京大学・生産技術研究所・准教授
研究者番号：70251402

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

町田学 (MACHIDA MANABU)
東京大学・生産技術研究所・助教
研究者番号：40396916

榊裕之 (SAKAKI HIROYUKI)
豊田工業大学・工学部・教授
研究者番号：90013226