

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：38005

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01145

研究課題名(和文)液体ヘリウム表面を利用した単一電子操作とその量子情報処理への応用

研究課題名(英文) Single electron manipulation on liquid He surface and its application for quantum information processing

研究代表者

河野 公俊 (Kono, Kimitoshi)

沖縄科学技術大学院大学・量子ダイナミクスユニット・客員研究員

研究者番号：30153480

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：毛细管現象によりマイクロチャネル素子に凝縮した液体ヘリウム上に補足した2次元電子を使用して、単電子量子ビットの作成を視野に入れつつ、少数個の電子を制御し、その物性を研究することを目的として研究を進めた。単一電子制御を行うための素子構造の設計を行った。マイクロチャネル素子を使用して、ウィグナー結晶とヘリウム表面の凹みの結合状態を、表面波の位相速度まで加速したときの凹みの増大の仕方、凹みから抜け出したのち、電子速度が減速したときの凹み再生の動的過程についての知見を得た。また、ヘリウム中Dy原子のレーザー分光、表面下に束縛した帯電ナノ粒子の異常運動に関する知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヘリウム液面上の2次元電子は、極めて清浄な電子系で、半導体素子中では実現不可能なレベルまで乱れによる散乱を抑制することが可能である。また電子はスピン、電荷および質量をもつ素粒子で、量子力学によってはじめて理解可能な顕著な量子性を示す。その電子を一つ一つ制御して、量子ビットとして動作させるという取り組みは、魅力的な実験目標として多くの研究者の意識をとらえている。この挑戦的な目標に向かう研究として学術的に大きな意義があるとともに、量子計算の実現は社会的な意義も高い。また、系の清浄さは、電子と液体ヘリウムが相互に影響を及ぼしあう複雑な現象においても、曖昧さのない理解に至ることを可能とする。

研究成果の概要(英文)：Capillary action condenses a thin liquid He film in a micro-channel device, on which a small number of electrons are trapped. Aiming to form qu-bits, we investigate a few electrons properties. The device design was further developed to control a small number of electrons.

Using the micro-channel device, a dynamic process of the Wigner solid on liquid helium is investigated. When the Wigner solid coupled with surface wave is accelerated to the phase velocity of surface wave, surface dimples deepen, and then the solid slips out from the dimples. We obtains important information how the dimple grows approaching the phase velocity and after the slip by deceleration how dimples are re-generated under each electron. A laser spectroscopy of Dy atoms is employed to study the process of elementary excitations in superfluid He. Anomalous motion of charged nano-particles trapped under He surface is elucidated to conclude the attachment of quantum vortex to the particle.

研究分野：低温物理

キーワード：ヘリウム液面電子 素励起 レーザー分光 ウィグナー結晶 スリップ伝導 量子渦 量子ビット ナノ粒子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1999年に Platzman と Dykman が発表した論文[1]によって、ヘリウム表面上の2次元電子を量子計算に利用しようという研究がにわかに注目を集めた。この提案は電子をヘリウム液面上で一つ一つ操ることを前提としていた。それ自体は、原理的には自明であったが、まだ誰も実現してい未踏の技術開発を含んでいた。その後、その動作原理および実現方法について考察が進み[2, 3]、研究プロジェクトとして予算化されたものもあった。特に、アメリカでは Dahm らが、大規模なプロジェクトを実施した[4]。しかしながら、これらの活発な研究にもかかわらず、15年以上経過した今日でも、いまだに満足に動作する量子ビットはおろか、単一電子の制御すら実現していなかった。

一方、我々は液体ヘリウムの毛細管凝縮を利用したマイクロチャンネルデバイスを用いて、ポイントコンタクトの帯電効果[5]、2次元ウィグナー結晶の境界整合性に依存した伝導現象[6]、擬1次元電子系の固化[7]、整数電子列の逐次形成[8]、ウィグナー結晶のスティック・スリッパ伝導現象[9]などの新奇な現象の発見を成し遂げた。図1に、擬1次元チャンネルの整数電子列逐次形成を示す、微分抵抗に現れた縞構造を示す。これらの研究実績とそれを得る過程で蓄積した多くの知見を用いれば、我々は、単一電子制御の実現にもっとも近い位置にいると考えられた。

以上より、少数電子制御が確実に可能になった今、Platzman らによる量子ビットのアイデアを実現する実験を開始するちょうどよいタイミングが訪れていると考えた。

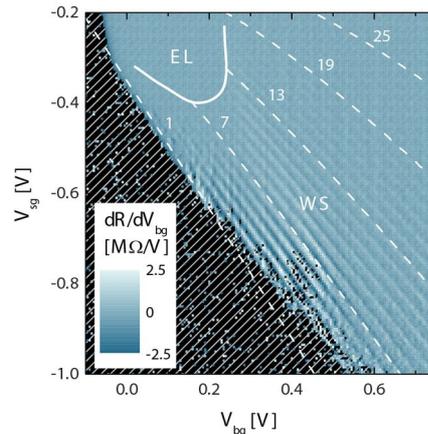


図1: 整数電子列逐次形成を示す、微分抵抗に現れる縞構造。破線と数字は数値計算で求めたチャンネル中の電子列の数で、観測された縞模様とよく一致している。文献[8]より転載。

[参考文献]

- [1] P.M. Platzman and M.I. Dykman: Science, **284**, 1967 (1999).
- [2] M.I. Dykman and P.M. Platzman: Fortschr. Phys., **48**, 1095 (2000).
- [3] M.J. Lea, P.G. Frayne, and Yu. Mukharsky: Fortschr. Phys., **48**, 1109 (2000).
- [4] A.J. Dahm, J.M. Goodkind, I. Karakurt, and S. Pilla: J. Low Temp. Phys., **126** 709 (2002).
- [5] D. G. Rees, I. Kuroda, C. A. Marrache-Kikuchi, M. H ofer, P. Leiderer, and K. Kono: Phys. Rev. Lett., **106**, 026803 (2011).
- [6] D. G. Rees, H. Totsuji, and K. Kono: Phys. Rev. Lett., **108**, 176801 (2012).
- [7] H. Ikegami, H. Akimoto, D. G. Rees, and K. Kono: Phys. Rev. Lett., **109**, 236802 (2012).
- [8] D. G. Rees, N. R. Beysengulov, Y. Teranishi, C.-S. Tsao, S.-S. Yeh, S.-P. Chiu, Y.-H. Lin, D.A. Tayurskii, J.-J. Lin, and K. Kono: Phys. Rev. B, **94**, 045139 (2016).
- [9] D. G. Rees, N. R. Beysengulov, J.-J. Lin, and K. Kono: Phys. Rev. Lett., **116**, 206801 (2016).

2. 研究の目的

我々は、ヘリウム表面上で単一電子制御技術を確立し、単一電子をユニットとして、ヘリウム表面電子の、表面準位の基底状態と第1励起状態の2準位を用いて量子ビットを作成し、その動作を確認することを目標とした。

上記のうち、単一電子制御の実現と検証は確実に達成可能であると考えた。この量子ビットの動作において、状態の読み出しがもっとも困難である。Platzman らの提案は、表面に垂直に印加する電場を反転することにより、表面状態を準安定化させ、3次元空間への逸出率の、基底状態と励起状態の間の差によって、電子が逸出したか否かを確認するというものである。この方法は、破壊的な読み出しであるだけでなく、電子自体も消失させてしまうので、量子計算機として動作させる際には、大きな不便となるが、動作の実証ということでは、まずこの方法によるのが適切と考え、この読み出し手法を完成させるという挑戦的な研究目標を掲げた。

そのために、マイクロチャンネルデバイスの設計を洗練するとともに、その素子を用いた少数電子系の示す特異な伝導現象を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

図2に、マイクロチャンネルデバイスを示す。2層の電極構造となっており、Right Reservoir と Bottom gate が下側の同一面内にあり、Guard と Split gate と名前がつけられた電極が上側の2層目を形成する。液体ヘリウムの毛細管凝縮によって、2層目の上面まで液体

ヘリウムでこの溝が満たされる。これによって、1 μm 程度の安定した厚さのヘリウム膜を作成することができる。マイクロチャンネルデバイスは擬1次元電子系の実験に使用するものである。

Bottom gate と Split gate の静電ポテンシャルを制御することで、電子が1列に整列してチャンネルを伝導する、1次元電子系が実現することを確認した。層と層の間は、PMMA レジストを熱処理したもので絶縁されており、層間の距離は1.5 μm 程度である。そのため、2層間の距離以下、すなわち1 μm 以下のポテンシャル空間変調を実現することは難しい。ヘリウム表面上の電子と電極との間の静電容量は、電極構造の幾何学的な形状による。その静電容量によって決まる、単一電子の帯電効果によって、チャンネルを占有する電子間距離が自動的に決まってしまう。その距離は1 μm 以下であるので、1次元電子列の中でさらに単一電子を制御するためには、この電子間距離以下のシャープな空間分解能を持ったポテンシャル変調制御が必要となる。そのために、まず、層間の距離を小さくすることが必要である。それにはいくつかのアプローチがある。一つ目は1層目と2層目を隔てる絶縁層を薄くすること。二つ目は電極構造を細密化するために電子描画の手法を用いること。そして、3つ目は収束イオンビームを用いて3次元的な電極を作成することで、電子に対する束縛ポテンシャルを細密化する方法である。また、単電子検出機構として超電導ストリップラインによる共鳴回路をマイクロチャンネルデバイスに組み合わせることを計画した。

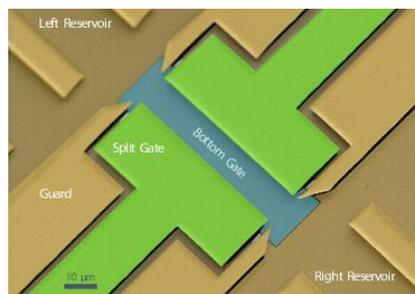


図2：マイクロチャンネルデバイス

しかし、結果として微細作成装置のアクセス環境が変わり、また研究室員の異動のために、これらの実験方法を十分に探究することができなかった。そのため、これまでに作成した、マイクロチャンネルデバイスを用い、ウィグナー結晶の特異な輸送現象を、パルス法を用いて観測する手法の精密化とその解析方法の改良を行うことで、ウィグナー結晶が表面凸凹格子から離脱する過程とその後凸凹格子を再構成して自縛自縛状態に転移する過程の解明を行った。

また、関連する研究として、ヘリウム中に導入したイオンや中性原子のレーザー分光実験を行った。

4. 研究成果

研究室員の転出と研究代表者の研究期間中の異動が重なり、マイクロチャンネルデバイス開発に重大な困難が生じた。また、量子状態読み出し機構となる、液面電子の逸出現象の実験は十分な成果を得るにいたらず、今後の課題として残された。そのために、計画当初の量子ビット作成に加えて行った、1)ヘリウム液面上ウィグナー結晶の液面凸凹格子からのスライディング現象、2)超流動ヘリウム中のDy原子のレーザー分光、3)ヘリウム液面に束縛した帯電ナノ粒子の異常な運動に関する研究成果について述べる。

1) ヘリウム液面上ウィグナー結晶の液面凸凹格子からのスライディング現象

マイクロチャンネルデバイスを使用して幅7.5 μm 、長さ100 μm 、厚さ2 μm のヘリウム基盤上に電子を浮かべて、ウィグナー結晶を作成した。このマイクロチャンネル上のウィグナー結晶の伝導度を測定する。ウィグナー結晶と外部測定回路は静電容量により結合しているため、純粋な直流測定は不可能である。しかしながら、片方の電極に加える電圧を時間に比例して掃引することで、疑似的に直流電圧を印可したのと同様な測定が可能である。電圧を掃引し始めてしばらくの間は、電圧は時間とともに増加しているにもかかわらず、電流は一定の値を保っている。しかし、電圧が上昇し、ウィグナー結晶がいよいよ堪えきれなくなると、ウィグナー結晶が液面の凸凹格子から飛び出して、大きな電流ピークを形成する。図3にその様子を示したが、温度が電子固体の融点に近づくにつれて、凸凹格子から飛び出す閾値が下がることに対応して、多くの電流ピークが生成される様子が表れている。電流ピークが多数現れる現象は、スティック スリップ現象であり、電子固体が表面張力波をまったり脱いだりしていることに対応する。その後の研究により、電流ピークの詳細な波形を観測し、ヘリウム表面の凸凹格子とウィグナー結晶の解放と再結合の詳細を明らかにするとともに、新しいウィグナー結晶の律速現象があることを結論するに至った[1,2]。

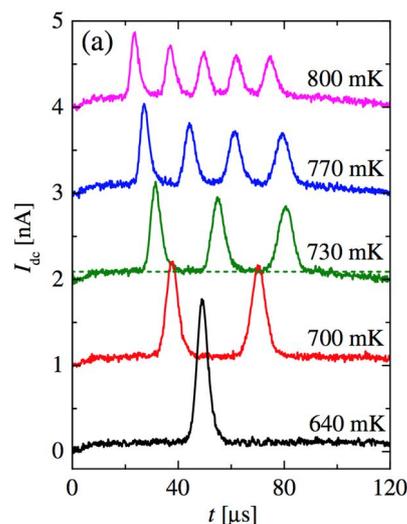


図3：液面の凹みから抜け出すたびに電流ピークを形成する。(温度ごとに1 nA ずらして表示)

2) 超流動ヘリウム中の Dy 原子のレーザー分光

超流動ヘリウム中に導入したジスプロシウム(Dy)原子の内殻電子は最外殻電子の波動関数によってヘリウム原子が押しつけられることにより、ヘリウム原子と弱く結合する。その内殻励起を用いることで、超流動ヘリウム中の素励起の生成に起因する吸収スペクトル構造を観測でき、超流動ヘリウム素励起のダイナミクス研究における強力なプローブとなる。

超流動ヘリウム中にジスプロシウム(Dy)原子を導入してレーザー分光を行い、吸収スペクトルを精密に測定した。Dy 原子は、キセノン(貴ガス)に10個の4f電子と2個の6s電子を加えた電子構造をもつ。6s電子がヘリウム原子を押しつけることで、液体ヘリウム中では、泡(空孔)の中にDy原子が捕獲されたような原子泡構造をとる。この内殻励起($4f^{10}6s^2 \rightarrow 4f^9 5d6s^2$)は周囲のヘリウムからの影響が小さく、超流動ヘリウムの素励起を調べるユニークなプローブとなる。内殻励起にともなって、ヘリウムに全く影響を与えない過程と、素励起を1つ励起する過程がはじめて観測された。それぞれ、ゼロフォノン線(ZPL)とフォノン翼(PW)という明確な構造を吸収スペクトルに観測することにはじめて成功した(図4)。ゼロフォノン線の線幅から、熱的に励起された素励起がどのくらいの頻度で原子泡と弾性散乱するかを推定することができた[3]。

3) ヘリウム液面に束縛した帯電ナノ粒子の異常な運動

超流動ヘリウム中に金属標的(Ba)を準備して、パルスレーザー光を集光することにより、金属ナノ粒子を生成する。その際に、帯電したものも生成され、帯電ナノ粒子は垂直な電場により自由表面に補足する。その面内運動をカメラで撮影して解析する。なお、照明には高強度レーザー光を使用した。ナノ粒子は帯電しているため、クーロン反発により格子を組み安定な配置を実現する。ナノ粒子のウィグナー結晶である。大多数の粒子は格子点の周囲で揺らぐ運動をするが、ときにより、図5に示すような、直線的あるいは旋回運動をする粒子が見られた。コンピュータ・シミュレーションを援用して、これらの運動が量子渦がナノ粒子に付着することにより誘起されることを明らかにした。この研究は、量子乱流研究に新しい分野を開く可能性を有する。すなわち、バルク乱流以外に表面量子乱流研究に緒をあたえるものである[4]。

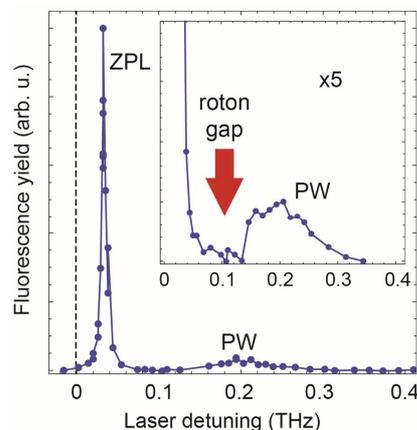


図4 液体ヘリウム中 Dy 原子の吸収スペクトル。

図4 液体ヘリウム中 Dy 原子の吸収スペクトル。ゼロフォノン線の線幅から、熱的に励起された素励起がどのくらいの頻度で原子泡と弾性散乱するかを推定することができた[3]。

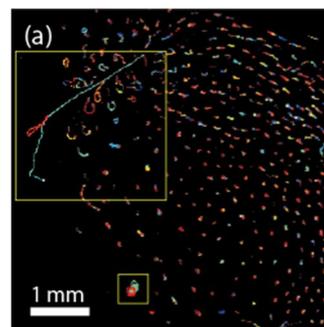


図5 : ナノ粒子の運動。2種類の異常な粒子運動の奇跡が黄色い四角により示されている。

[参考文献]

- [1] D. G. Rees, S.-S. Yeh, B.-C. Lee, K. Kono, and J.-J. Lin: Phys. Rev. B, **96**, 205438 (2017).
- [2] D. G. Rees, S.-S. Yeh, B.-C. Lee, S. K. Schnyder, F. I. B. Williams, J.-J. Lin, and K. Kono: Phys. Rev. B, **102**, 075439 (2020).
- [3] P. Moroshkin and K. Kono: Phys. Rev. B, **99**, 104512 (2019).
- [4] P. Moroshkin, P. Leiderer, K. Kono, S. Inui, M. Tsubota: Phys. Rev. Lett., **122**, 174502 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Choi J., Tsuiki T., Takahashi D., Choi H., Kono K., Shirahama K., Kim E.	4. 巻 98
2. 論文標題 Reinvestigation of the rotation effect in solid He4 with a rigid torsional oscillator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 014509-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.014509	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Moroshkin P., Leiderer P., Moeller Th. B., Kono K.	4. 巻 31
2. 論文標題 Trapping of metallic nanoparticles under the free surface of superfluid helium in a static electric field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics of Fluids	6. 最初と最後の頁 077104 - 077104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5110530	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 S. Inui, M. Tsubota, P. Moroshkin, P. Leiderer, K. Kono	4. 巻 196
2. 論文標題 Dynamics of Fine Particles Due to Quantized Vortices on the Surface of Superfluid 4He	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Low Temp. Phys.	6. 最初と最後の頁 190-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-018-02116-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Moroshkin P., Kono K.	4. 巻 99
2. 論文標題 Zero-phonon lines in the spectra of dysprosium atoms in superfluid helium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 104512-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.104512	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 A. D. Chepelianskii, M. Watanabe, K. Kono	4. 巻 195
2. 論文標題 Can Warmer than Room Temperature Electrons Levitate Above a Liquid Helium Surface?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Low Temp. Phys.	6. 最初と最後の頁 307-318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02168-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 P. Moroshkin, P. Leiderer, K. Kono	4. 巻 195
2. 論文標題 Perturbations of a Free Surface of Superfluid Helium by the Ion Wind Produced by a Corona Discharge Above the Liquid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Low Temp. Phys.	6. 最初と最後の頁 327-335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-018-2074-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 H. Ikegami, K. Kono	4. 巻 195
2. 論文標題 Review: Observation of Majorana Bound States at a Free Surface of $^3\text{He-B}$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Low Temp. Phys.	6. 最初と最後の頁 343-357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-018-2069-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Moroshkin P., Leiderer P., Kono K., Inui S., Tsubota M.	4. 巻 122
2. 論文標題 Dynamics of the Vortex-Particle Complexes Bound to the Free Surface of Superfluid Helium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 174502-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.174502	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Moroshkin P., Leiderer P., Moeller Th. B., Kono K.	4. 巻 95
2. 論文標題 Taylor cone and electro spraying at a free surface of superfluid helium charged from below	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 53110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.95.053110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kono Kimitoshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Quantum Conveyance of Helium Crystals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JPSJ News and Comments	6. 最初と最後の頁 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJNC.14.07	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sakuma Daisuke, Nago Yusuke, Ishiguro Ryosuke, Kashiwaya Satoshi, Nomura Shintaro, Kono Kimitoshi, Maeno Yoshiteru, Takayanagi Hideaki	4. 巻 86
2. 論文標題 Investigation of the Vortex States of Sr ₂ RuO ₄ -Ru Eutectic Microplates Using DC-SQUIDS	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 114708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.114708	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikegami Hiroki, Kim Kitak, Sato Daisuke, Kono Kimitoshi, Choi Hyungsoon, Monarkha Yuriy P.	4. 巻 119
2. 論文標題 Anomalous Quasiparticle Reflection from the Surface of a He ₃ -He ₄ Dilute Solution	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 195302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.195302	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Rees David G., Yeh Sheng-Shiuan, Lee Ban-Chen, Kono Kimitoshi, Lin Juhn-Jong	4. 巻 96
2. 論文標題 Bistable transport properties of a quasi-one-dimensional Wigner solid on liquid helium under continuous driving	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.205438	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Dykman M. I., Kono K., Konstantinov D., Lea M. J.	4. 巻 119
2. 論文標題 Ripplonic Lamb Shift for Electrons on Liquid Helium	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 256802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.256802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Batulin R., Moroshkin P., Tayurskii D. A., Kono K.	4. 巻 8
2. 論文標題 Spectroscopy of Ba ⁺ ions in liquid 4He	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 15328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5011447	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsuiki T., Takahashi D., Murakawa S., Okuda Y., Kono K., Shirahama K.	4. 巻 97
2. 論文標題 Effect of rotation on the elastic moduli of solid He4	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 54516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.054516	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nago Y., Sakuma D., Ishiguro R., Kashiwaya S., Nomura S., Kono K., Maeno Y., Takayanagi H.	4. 巻 969
2. 論文標題 Magnetization measurements of Sr2Ru04-Ru eutectic microplates using dc-SQUIDs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/969/1/012040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Moroshkin P., Borel A., Kono K.	4. 巻 97
2. 論文標題 Laser spectroscopy of phonons and rotons in superfluid helium doped with Dy atoms	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 94504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.094504	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 K. Kono
2. 発表標題 Transport properties of 2D Wigner solid on liquid helium
3. 学会等名 International workshop on electron ions in/on Helium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kono
2. 発表標題 Resonance Phenomena in 2D Electrons on Liquid He
3. 学会等名 International workshop on electron ions in/on Helium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kono
2. 発表標題 Electrons and ions on the surface of liquid helium
3. 学会等名 QFS2019: International Conference on Quantum Fluids and Solids (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kono
2. 発表標題 Topological anomalous Hall Effect of a 2D ion pool trapped under superfluid 3He surface
3. 学会等名 School for advanced sciences of Luchon: Quantum transport in 2D systems --- III (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N.R. Beysengulov, D.G. Rees, M.Yu. Zakharov, Y.V. Lysogorskiy, D.A. Tayurskii, K. Kono
2. 発表標題 Phase transitions in a strongly interacting electron system under confinement
3. 学会等名 APS March Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kono
2. 発表標題 Anomalous Hall Effect in Superfluid 3He
3. 学会等名 The 3rd Taiwan-Nippon Workshop on Innovation of Emergent Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kono and P. Moroshkin, and P. Leiderer
2. 発表標題 Metal Nanowires and Mesoscopic Networks at A Free Surface of Superfluid Helium
3. 学会等名 The 6th RIKEN-NCTU Symposium on Physical and Chemical Sciences (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kono
2. 発表標題 Majorana fermions observed at the free surface of superfluid 3He-B
3. 学会等名 Quantum Information Science Workshop at MSU: Are we at the crossroads? (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kono
2. 発表標題 Nano structures and Devices to Study Quantum Fluids and Solids
3. 学会等名 QFS2018: International Conference on Quantum Fluids and Solids (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kono
2. 発表標題 Nonlinear dynamics of the Wigner solid on a liquid helium surface
3. 学会等名 2D systems of the strong correlated electrons: From fundamental research to practical (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Kono
2 . 発表標題 An evidence for density domains in ZRS of 2D electrons on liquid He
3 . 学会等名 School for advanced sciences of Luchon: Quantum transport in 2D systems -- II (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Ikegami, K. Kim, H. Choi, D. Sato, K. Kono, and Y. Monarkha
2 . 発表標題 Anomalous enhancement of mobility of a Wigner crystal on a free surface of dilute 3He-4He mixtures
3 . 学会等名 The 28th International Conference on Low Temperature Physics (LT28) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 P. Moroshkin, P. Leiderer, and K. Kono
2 . 発表標題 Motion of electrically charged metallic microparticles in superfluid helium
3 . 学会等名 The 28th International Conference on Low Temperature Physics (LT28) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 P. Moroshkin and K. Kono
2 . 発表標題 Scattering of phonons by atomic nano-bubbles in superfluid helium doped with dysprosium
3 . 学会等名 The 28th International Conference on Low Temperature Physics (LT28) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Ikegami and K. Kono
2. 発表標題 Ion transport on the surface of superfluid 3He
3. 学会等名 The 28th International Conference on Low Temperature Physics (LT28) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Kono and K. Nasyedkin
2. 発表標題 Experimental evidence for density domain formation in zero-resistance states of electrons on liquid helium surface
3. 学会等名 ULT 2017: Frontiers of Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 檜枝光憲, 滝沢亮人, 立木智也, 高橋大輔, 白濱圭也, 奥田雄一, 河野公俊, 松下琢, 和田信雄
2. 発表標題 QCM測定における2次元およびバルク4Heの回転効果
3. 学会等名 日本物理学会 2017秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 檜枝光憲, 立木智也, 高橋大輔, 白濱圭也, 奥田雄一, 河野公俊, 松下琢, 和田信雄
2. 発表標題 バルク液体4Heの横音響インピーダンス測定
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	コンスタンチノフ デニス (Konstantinov Denis) (50462685)	沖縄科学技術大学院大学・量子ダイナミクスユニット・准教授 (38005)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
その他の国・地域 台湾	国立交通大学			
ドイツ	コンスタンツ大学			
米国	ミシガン州立大学	プリンストン大学		
フランス	パリ南大学			
ロシア連邦	カザン大学			