

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：32670

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05551

研究課題名（和文）超伝導接合による強電場下の二次元超伝導対称性の検証

研究課題名（英文）verification of the superconducting symmetry of two-dimensional superconductor under strong electric field

研究代表者

石黒 亮輔 (ISHIGURO, Ryosuke)

日本女子大学・理学部・准教授

研究者番号：40433312

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、電気二重層トランジスタを用いた強い電場下の二次元超伝導状態についての研究を行った。電気二重層トランジスタチャンネルには、主に、ファンデルワールス結晶である二次元半導体 MoS₂と酸化物半導体である酸化亜鉛を用いた。本研究で MoS₂において電気二重層トランジスタ構造におけるチタン電極と MoS₂との間の界面に新しい超伝導が存在することなどが見出された。本研究の派生的な成果として、電気二重層トランジスタ構造を使った界面状態の評価法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、特に未だ金属電極との接合のメカニズムが確立していないが、次世代の半導体として期待されるファンデルワールス型の二次元半導体と超伝導体を含む金属電極との接合のメカニズムを詳細に検討し、界面状態の存在と二種類のエネルギー障壁の存在を明らかにし、またその界面状態が超伝導になる可能性を明らかにした。この結果は、フェルミレベルピニングの起源となる金属と半導体の接合における界面状態が新しい超伝導発言のプラットフォームになり得ることを示したことで意義深い物と考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the two-dimensional superconductive state under the strong electric field using the electric double layer transistor was studied. A two-dimensional semiconductor MoS₂ of van der Waals crystal and zinc oxide of oxide semiconductor were mainly used for the electric double layer transistor channel. In this study, a new superconductivity was found to exist at the interface between the titanium electrode and MoS₂ in the electric double layer transistor structure in MoS₂. As a derivative result of this study, the evaluation method of interface state using the electric double layer transistor structure was established.

研究分野：超伝導

キーワード：電界効果超伝導 MoS₂ 界面状態 二次元半導体 遷移金属カルコゲナイド 電界効果超伝導 ショットキー障壁 金属半導体接合

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究の開始当初は、電気二重層トランジスタ技術を利用した電界効果超伝導が次々に発見されている状況だが、その電界効果超伝導の超伝導対称性や超伝導としての性質についてはまだまだ十分明らかになったとはいえない状況があった。その状況下で特に以下のような背景に着目し研究を開始した。

空間反転対称性の破れとスピン三重項とスピン一重項の混成

超伝導状態は、十分低温において、固体中の電子間に働く引力相互作用によって、2 電子からなるクーパ対が形成されることによって、実現する自発的に対称性の破れた秩序状態の一つである。自発的な対称性の破れた秩序状態の性質は系の持つ対称性に影響を受けることが知られている。クーパ対の波動関数の対称性もクーパ対の属する固体の結晶構造や磁性等によって決まる対称性と密接に関係する。シンプルな BCS 理論で説明される単体金属等の超伝導は従来型超伝導体と呼ばれている。

従来型超伝導体のクーパ対の波動関数の対称性は、軌道状態が s 波でスピン一重項状態である。一方で、非従来型超伝導として知られる超伝導体は、d 波スピン一重項状態の銅酸化物超伝導体、また、p 波スピン三重項状態の Sr_2RuO_4 や UPt_3 等があるが、これらの超伝導体の結晶構造はすべて空間反転対称性を有するため、そのパリティは保存している。一方で、空間反転対称性の破れた結晶構造を持つ CePt_3Si の超伝導が発見され(Bauer 2004)この超伝導対称性はパリティが破れており、スピン一重項とスピン三重項超伝導が混成していると考えられ研究が進められている。

結晶構造の空間反転対称性の破れは、結晶内部に異方的で強い電場勾配を引き起こし、そこで運動する電子系はスピン軌道相互作用の影響を強く受けた系といえる。つまり、空間反転対称性の破れた超伝導は強電場下の電子系一般に起こる性質といえる。強電場下の超伝導がスピン三重項対を持つならば、一重項対で起こる強いゼーマン磁場による超伝導対破壊効果(パウリ対破壊効果)が抑制され、上部臨界磁場が大きくなることが予想され、実際に CePt_3Si などでは巨大な上部臨界磁場が観測されている。

スピン一重項とスピン三重項超伝導が混成を実証する別の手段の一つとして、Agterberg(2005)らは従来型超伝導体と空間反転対称性を破った超伝導体間のジョセフソン接合に流れる超伝導臨界電流の磁場変調を調べることを提案している。これは、強磁場下にある空間反転対称性を破った超伝導体では、超伝導秩序変数の位相が空間変調したヘリカル渦糸状態(Agterberg による)が実現しており、この位相変調をジョセフソン接合によって検出するというものであるが、 CePt_3Si などでは検証されていない。

本研究ではこのような、表面や界面などにおける強い電界効果による空間反転対称性の破れた系の新規な超伝導状態をジョセフソン効果によって観測することを目指した。

電気二重層トランジスタ (Electric Double Layer Transistor : EDLT)

電気二重層トランジスタ(EDLT)は、電解液を用いた液体ゲート型電界効果トランジスタである。特に常温で液体のイオンであるイオン液体が開発されたことにより、巨大な電界効果が期待できるようになったことから 2000 年代から主に物性研究において注目されてきていた。EDLT は液体を載せた半導体表面に、イオンと半導体キャリアの間の電気二重層を形成し、半導体の表面原子層程度の 2 次元領域に 2 次元電子ガスを蓄積することのできる構造である。EDLT 巨大な電界効果によって、金属絶縁体転移やさらには絶縁体の超伝導化などが報告されている。これは表面領域に電界効果による新しい物質を生み出す手段となっていることを意味している。本研究は、この EDLT による電界効果をキャリア密度制御だけでなく、半導体と金属の間にあるショットキー障壁の制御にも適用することを計画した。

2. 研究の目的

本研究の当初の目的は、空間反転対称性の破れた系の超伝導と従来型超伝導体との間にコヒーレントな超伝導接合を実現することで、空間反転対称性の破れた系の超伝導対称性の検証を行うことを目的としていた。また、この超伝導接合を同時に次世代半導体であるファンデルワールス型結晶構造を持つ二次元半導体と金属との界面抵抗の起源について原因であるショットキー障壁の機構の解明と電界制御を目指す。この目的のため、空間反転対称性の破れた系は電気二重層トランジスタによって実現する二次元電子ガス、また次世代半導体として期待されるファンデルワールス型二次元半導体であるカルコゲナイド系原子層状物質を用いた。

3. 研究の方法

ファンデルワールス型二次元半導体や電気二重層とうによる二次元界面電子状態などの強電場下の二次元電子と従来型超伝導体とのコヒーレントな超伝導接合を、EDLT 等によるショットキー障壁の電界制御や物質の最適化によって実現し、その実現過程で、一般の金属とファンデルワールス型二次元半導体等との接合のメカニズムの解明することを目指した。それによって実現した新しい超伝導接合を用いることで、空間反転対称性の破れが期待される新しい超伝導状態の対称性の検証などを目指した。

上記の目的のために「酸化亜鉛を用いた EDLT 構造と従来型超伝導体である Nb との接合」を作製し、電気二重層キャリアを利用したジョセフソン接合を開発した。酸化亜鉛はすでに岩佐らのグループによって EDLT 構造が作製されており、電界による金属絶縁体転移が報告されている物質であった。また、酸化亜鉛は薄膜作製技術が確立しており、EDL 構造の試料作製プロセスも確立されており、容易にサンプルを作製することが可能であった。また、金属との接合についても多くの先行研究があり、従来型超伝導と EDLT 構造間という新しい界面抵抗の理解のために最適な物質である。これらが酸化亜鉛を選択した理由である。

「カルコゲナイド系層状物質 MoS_2 を用いた EDLT 構造とアルミニウムとの接合」 MoS_2 は EDLT によって超伝導転移することが Ye (2012) らによって報告され、さらに巨大な上部臨界磁場からスピナー重項と三重項の混成した超伝導状態であることが示唆されている物質である。カルコゲナイド系層状物質の単層化には、インターカレーションやエピタキシャル成長によるものなど方法が報告されているが、現在のところ最も信頼できる方法はバルクの結晶からスコッチテープ法によって取り出す方法である。また、カルコゲナイド層状物質と金属では、フェルミレベルのピンニングによるショットキー障壁が形成されることが知られてきており、次世代半導体としての利用のためにはこの制御が必要であった。

4. 研究成果

本研究は、「電気二重層トランジスタ構造における電極チャネル界面の電子構造を明らかにすること」と「電気二重層トランジスタ構造における電極を超伝導電極としチャネルに誘起すると考えられる空間反転対称性の破れた超伝導状態の超伝導対称性の検証」の二つを目標としていた。これらの目標を実現するために、「酸化亜鉛を用いた EDLT 構造と従来型超伝導体である Nb との接合」と「カルコゲナイド系層状物質 MoS_2 を用いた EDLT 構造とアルミニウムとの接合」の作製プロセスの確立し、低温における電気輸送特性の評価を行った。「カルコゲナイド系層状物質 MoS_2 を用いた EDLT 構造とアルミニウムとの接合」では、電界効果によってキャリア誘起した MoS_2 において、「超伝導 Al/金属 MoS_2 /超伝導 Al 接合」、「超伝導 Al/超伝導 MoS_2 /超伝導 Al 接合」のいずれにおいても明確な超伝導電流が観測した。また、金属電極と MoS_2 の界面に超伝導状態が誘起されていることも発見した。

酸化亜鉛を用いた EDLT 構造と従来型超伝導体である Nb との接合では、その微分抵抗曲線が磁場によって磁束量子に対応する周期で変調を受けることを確認した。これは電気二重層トランジスタにおける酸化亜鉛チャネルを挟んだ接合においてジョセフソン効果が起きていることを示しており、チャネルを挟んでコヒーレントにつながることを示せたといえる。さらに、この接合においても電極下の界面状態が重要な役割を果たしていることも明らかにした。

本研究以前は電界効果超伝導 MoS_2 と従来型超伝導体との超伝導接合は報告されておらず、どのように接合が形成されるか不明であり、この金属電極と MoS_2 の間の界面における超伝導状態の存在を中心に空間反転対称性の破れた 2 次元超伝導状態の対称性の検証を行う予定であった。しかしながら、本研究で金属電極と MoS_2 の接合界面にこれまで報告されていない、新しい界面超伝導があり、この界面超伝導が接合の特性に大きく寄与していることが分かったため、この検証を中心に行った。これは、新しい変え面の超伝導状態を見いだしたためでもあるが、「金属とファンデルワールス型二次元半導体の間の界面は当初の目的通り、強い電界効果が期待される系であること」、また「この界面は従来型超伝導電極とイオンゲートによって実現するチャネルの電界効果超伝導との間に必ず存在する可能性があること」の理由からこの界面の超伝導状態の解明が優先されると考えられたためである。

このため、金属電極を Al/Ti から Au/Ti に変更しても同様に超伝導状態が発現することを確認した。また、東大物性研の共同利用を利用することにより高磁場環境での応答等も検証した。このことにより、電極 MoS_2 界面の超伝導が、2 次元超伝導であることが確かめられた。この界面超伝導はゲートによる電界誘起超伝導とは異なるが、2 次元であり、ヘテロ構造を持つため面内かつ面直方向の空間反転対称性の破れた超伝導といえる。このためこの界面超伝導状態は本研究の「空間反転対称性の破れた超伝導の超伝導対称性の検証」に適しており、なおかつこのイオンゲート以外の方法で電界効果を導入し、 MoS_2 超伝導状態を制御する方法を手に入れたといえる。これまでの実験により、この超伝導状態は従来型と異なった超伝導対称性を持つことを示唆するデータが得られた。

界面の超伝導であれば、面直方向の空間反転対称性の破れから有効電場が存在することも期待されるため、本研究のもともとの目的に沿うため界面に注目することにした。また、この超伝導状態は磁場に対して方向性を持つなど特異な磁場応答を持ち、磁化測定による結果では界面がある場合に強磁性が観測されるなど、界面状態に強磁性が関連することなども示唆された

めこの検証も行った。まず、何故界面が独立な超伝導になるかについては、電気二重層トランジスタ構造を用いた伝導測定により検証し、電極金属と界面状態、界面状態と MoS_2 チャンネルの間に高さの異なるエネルギー障壁が存在することを明らかにした。これは、界面状態が電極金属ともチャンネル MoS_2 とも異なる電子状態であることが理由であると考えられる。

また、金属電極として Ti が特別なのか検証するために Ni を用いた試料も作製し、これまでと同じ手法を用い界面状態が存在することを確認した。いずれにせよ、電気二重層トランジスタ構造を用いたことで界面状態にアクセスする手法を開発し、初期の目標とは少々ずれたが金属ファンデルワールス結晶界面という、新たな電界効果の存在する可能性のある界面での超伝導の可能性を見だし、独立した界面状態の存在について明らかにできたことは意義深いと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Narita T, Takayanagi H, Ishiguro R	4. 巻 969
2. 論文標題 Electrical Transport between Superconducting Niobium and a Zinc-Oxide-based Electric Double-layer Transistor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012030 ~ 012030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/969/1/012030	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 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 012040 ~ 012040
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 Aikawa Y, Tsumura K, Narita T, Takayanagi H, Ishiguro R	4. 巻 969
2. 論文標題 Supercurrent through MoS2-based electric double-layer transistor sandwiched between conventional superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012058 ~ 012058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/969/1/012058	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 Aikawa Y, Tsumura K, Narita T, Takayanagi H, Ishiguro R	4. 巻 969
2. 論文標題 Electrical transport between a MoS2-based electric double-layer transistor and normal and superconducting Al	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012057 ~ 012057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/969/1/012057	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 Narita T, Takayanagi H, Ishiguro R	4. 巻 969
2. 論文標題 Electrical Transport between Superconducting Niobium and a Zinc-Oxide-based Electric Double-layer Transistor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012030 ~ 012030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/969/1/012030	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 Aikawa Y, Tsumura K, Narita T, Takayanagi H, Ishiguro R	4. 巻 969
2. 論文標題 Electrical transport between a MoS ₂ -based electric double-layer transistor and normal and superconducting Al	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012057 ~ 012057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/969/1/012057	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 Aikawa Y, Tsumura K, Narita T, Takayanagi H, Ishiguro R	4. 巻 969
2. 論文標題 Supercurrent through MoS ₂ -based electric double-layer transistor sandwiched between conventional superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012058 ~ 012058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/969/1/012058	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 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 浜本あや、稲垣祐次、河江達也、石黒亮輔
2. 発表標題 Al/Ti/MoS ₂ 構造を持つ基板で観測されたAl超伝導の特異な磁気応答
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上美里、浜本あや、石黒亮輔
2. 発表標題 Ni/MoS ₂ 接合の接触抵抗の温度変化
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浜本あや、遠藤 彰、勝本 信吾、石黒亮輔
2. 発表標題 Ti/MoS ₂ 接合における界面状態の面内電気伝導
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相川夕美花、石黒亮輔、遠藤彰、中村壮智、橋本義昭、清水貴勢、津村公平、柏谷聡、高柳英明、勝本信吾
2. 発表標題 Ti/MoS ₂ 界面における超伝導状態の磁気履歴効果
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜本あや、安斎愛子、今武美保、相川夕美花、石黒亮輔
2. 発表標題 MoS ₂ を用いた電気二重層トランジスタにおける2種類の界面抵抗
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜本あや、安齋愛子、相川夕美花、石黒亮輔
2. 発表標題 金属-MoS ₂ 接合の電気輸送特性と界面状態
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ti薄膜で覆ったMoS ₂ 転写基板における強磁性の観測
2. 発表標題 安齋愛子、浜本あや、橋本義昭、稲垣祐次、相川夕美花、石黒亮輔、河江達也、勝本信吾
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 相川 夕美花, 津村 公平, 成田 智絵, 高柳 英明, 石黒 亮輔
2. 発表標題 Ti/MoS ₂ 界面に誘起された超伝導とAl超伝導電極との間の超伝導電流の磁場依存性.
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aikawa Y., Tsumura K., Narita T., Takayanagi H., Ishiguro R.
2. 発表標題 Metal Electrode Induced Interface Superconductivity at the Interface between Metallic Ti under Al Electrode and MoS ₂ under the Electrode
3. 学会等名 M2S-2018 : 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Narita T., Takayanagi H., Ishiguro R.
2. 発表標題 Magnetic Interference Effects on Differential Conductance Curve of SNS Junction Made of a Metallic Channel in Zinc Oxide based Electrical Double Layer Transistor (N) Sandwiched between two Superconducting Niobium Electrodes (S).
3. 学会等名 M2S-2018 : 12th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aikawa Y., Tsumura K., Narita T., Takayanagi H., Ishiguro R.
2. 発表標題 Josephson Effects in a Junction using ion-gated MoS2 and Conventional Superconductor
3. 学会等名 Oxide Superspin International School (OSS-IS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sakamoto C., Aikawa Y., Narita T., Takayanagi H., Ishiguro R.
2. 発表標題 Study of Metal induced Gap States between Metal Electrode and Zinc-Oxide in Electric Double-Layer Transistor Structure
3. 学会等名 Oxide Superspin International School (OSS-IS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aikawa Y., Tsumura K., Narita T., Takayanagi H., Ishiguro R.
2. 発表標題 Magnetic Response of Critical Current in Junctions using Ion-gated MoS2 and Conventional Superconductor.
3. 学会等名 QFS2018 : International Symposium on Quantum Fluids and Solids (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aikawa Y., Hagimoto E., Ishiguro R.
2. 発表標題 Development of superconducting electronic cooling with controlled Schottky barrier by using electric double layer transistor structure
3. 学会等名 QFS2018 : International Symposium on Quantum Fluids and Solids (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相川夕美花, 遠藤彰, 中村壮智, 清水貴勢, 成田智絵, 津村公平, 柏谷聡, 高柳英明, 勝本信吾, 石黒亮輔
2. 発表標題 Ti/ MoS2界面における輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Aikawa, K. Tsumura, T. Narita, H. Takayanagi and R. Ishiguro
2. 発表標題 Electrical transport between a MoS2-based electric double-layer transistor and normal and superconducting Al
3. 学会等名 28th International Conference on Low Temperature Physics(LT28) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Narita, H. Takayanagi, R. Ishiguro
2. 発表標題 Electrical Transport between Superconducting Niobium and a Zinc-Oxide-based Electric Double-layer Transistor
3. 学会等名 28th International Conference on Low Temperature Physics(LT28) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Aikawa, K. Tsumura, T. Narita, H. Takayanagi and R. Ishiguro
2. 発表標題 Supercurrent through MoS ₂ -based electric double-layer transistor sandwiched between conventional superconductors
3. 学会等名 28th International Conference on Low Temperature Physics(LT28) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 成田智絵, 石黒亮輔, 高柳英明
2. 発表標題 酸化亜鉛電気二重層トランジスタによって誘起された二次元電子系と超伝導体との接合における近接効果
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 成田智絵, 石黒亮輔, 高柳英明
2. 発表標題 電気二重層トランジスタを用いた酸化亜鉛/金属電極間の接触抵抗の低減
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相川夕美花, 津村公平, 成田智絵, 高柳英明, 石黒亮輔
2. 発表標題 MoS ₂ 電気二重層構造 / AI 接合における電気輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Aikawa, K. Tsumura, T. Narita, H. Takayanagi and R. Ishiguro
2. 発表標題 Electrical Transport through a Junction between MoS ₂ -Electric Double Layer Transistor and Conventional Superconductor Al
3. 学会等名 Oxide Superspin 2017(OSS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Narita, H. Takayanagi, R. Ishiguro
2. 発表標題 Proximity effect between superconducting Niobium electrodes and two-dimensional electron system induced by Zinc Oxide based electrical double layer transistor
3. 学会等名 Oxide Superspin 2017(OSS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Aikawa, K. Tsumura, T. Narita, H. Takayanagi and R. Ishiguro
2. 発表標題 Electrical Transport through Junctions between MoS ₂ -Electric Double Layer Transistor and Conventional Superconductor Al
3. 学会等名 Joint Symposium 2017, Ewha Womans University, Japan Women's University and Ochanomizu University for the promotion and research for women in science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中真子, 相川夕美花, 津村公平, 成田智絵, 高柳英明, 石黒亮輔
2. 発表標題 MoS ₂ 電気二重層チャネルと超伝導Nb電極との接合における接触抵抗の評価
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相川夕美花, 津村公平, 成田智絵, 高柳英明, 石黒亮輔
2. 発表標題 電界誘起超伝導MoS2と超伝導Al電極の接合における超伝導電流
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成田智絵, 高柳英明, 石黒亮輔
2. 発表標題 Nb/ZnO電気二重層トランジスタ構造における超伝導近接効果
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〕

http://mcm-www.jwu.ac.jp/~LT1lab/

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	高柳 英明 (TAKAYANAGI Hideaki) (70393725)	東京理科大学・研究推進機構総合研究院・教授 (32660)	

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
---------	---------