

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K18865

研究課題名（和文）バレートロニクスの実現に向けたバレー流の操作と制御への挑戦

研究課題名（英文）Challenge to manipulate and control valley current for realization of valleytronics

研究代表者

青木 伸之（Aoki, Nobuyuki）

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60312930

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではバレー流の電氣的制御を目的として、単層のMoS₂を用いてホールバー素子を作製し、素子全体を覆うバックゲートに加え、ホールバー上に局所的に変調するためのスプリット型の局所ゲート電極を導入し、バレーホール効果で発現する非局所電圧がどのように制御されるのかについて調査した。その結果、バックゲートの掃引で観測される非局所電圧は極低温で単一のピークを取るのに対し、20Kでは明瞭な2つのピークとなることが明らかになった。また、局所ゲート電極に負電圧を印加することで電極直下が空乏化し、その結果非局所電圧は急激に減少することがわかった。この結果、バレー流が電氣的に制御できることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2次元物質で観測されるバレー流は、ベリ曲率によってKとK'のバレーに依存した異常速度が付与されることで発現するバレーホール効果によって運ばれる。バレーによって互いに逆向きに進行するため正味の電荷の移動がキャンセルされ、無散逸での情報の伝達が可能となることから、超低消費デバイスの実現が期待されている。しかし、バレーホール効果の電氣的な制御のみならず伝導特性による観測自体の例も少ないのが現状である。本研究では、局所ゲート電極の導入によってバレー流の伝達と遮断の切り替えを観測し、静電電氣的な制御が可能であることを明らかにした。これらの成果はバレートロニクスの実現のための一歩となったと考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, for the purpose of electrical control of the valley current, we fabricated a Hall bar structure using a mono-layer of MoS₂. In addition to a global-back gate, we introduced a local gate electrode and investigated how the non-local voltage generated by the valley-hole effect is controlled. As a result, it was found that the nonlocal voltage observed in the back gate sweep has a single peak at cryogenic temperatures, whereas it appears as two distinct peaks at 20 K. In addition, it was found that applying a negative voltage to the local gate electrode depleted the area underneath the gate electrode, resulting in a sharp decrease in the non-local voltage. As a result, it was clarified that the valley current can be electro-statically controlled.

研究分野：半導体物性

キーワード：バレーホール効果 バレー流 ゲート制御 遷移金属ダイカルコゲナイド 2次元物質 非局所電圧
モアレ超格子

1. 研究開始当初の背景

電荷を制御するエレクトロニクス、スピンを制御するスピントロニクスに加え、近年第3の制御技術としてバレートロニクスが提唱されてきている。ハニカム格子の2次元物質では、K点とK'点の2つのバレーが存在するが、MoS₂などの遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC)や垂直電場を印加した2層グラフェン(BLG)のように空間的反転対称性が破れている場合、K点とK'点の2つバレーは等価ではなり、ベリー位相による磁場により「バレーホール効果」が発生する。各々のバレーはスピンを伴って実電流と垂直な方向に以上速度が働き、バレー流が発現する。しかし、バレー流における電子の流れはK点とK'点で互いに逆方向であるため相殺され、正味の電荷の流れは発生しない。このような散逸の無いバレー流を検出し制御できれば、正味の電流をゼロに保ったままバレー流によって情報を伝達することが可能となる。この情報伝達はジュール熱によるエネルギー消費を伴わないことから、バレー流を用いた低消費電力エレクトロニクスの実現が期待される。しかしながら、散逸の無いバレー流を電氣的に観測することは困難であり、「バレーホール効果」に対する「逆バレーホール効果」を通した非局所電圧の観測のみで確認されてきた。外部からアクセスするのが容易でないことは、エレクトロニクスへと応用する上で極めて致命的な問題であり、まずは「どこを流れているのか」「どうすれば制御できるのか」といった根本的な問題が立ちだかっている。そこで、本研究では試料中を流れる「散逸の無いバレー流」に対して「操作する」ための新たな手法の探索に挑戦する。

2. 研究の目的

本研究では、2次元物質で発現が示唆されているバレーホール効果を、電流経路から遠く離れているためにオーミックな電流が実質的に到達しない電極間に電圧が発生する「逆バレーホール効果」を通して観測する。その際、バレーホール効果を担うバレー流の伝搬経路に取り付けたゲート電極によって、バレー流の電氣的な制御を行うことを目的とする。ゲート電極の形状をスプリット型にする場合としない場合に対して、ゲート直下が空乏化するタイミングとバレー流の遮断のタイミングとの関連性、スプリットゲート間でのバレー流の通過の有無、局所抵抗率に対する3乗則との関連性などについて調査することを目的とした。

3. 研究の方法

バレーホール効果の発現には反転対称性の破れによるベリー曲率の存在が必要であり、これまで単層TMDCや、垂直電場を印加した2層グラフェン、モアレ周期構造を有するグラフェンなどの物質で観測されてきている。2層グラフェンは移動度が比較的高いことから高い温度でのバレーホール効果の観測が可能であるが、垂直電場の印加が必要なため、グラフェンの上下をゲート電極で覆う必要がある。本研究では局所的なゲート電圧印加によるバレー流の制御が目的であるため、片側からのゲート電圧の印加で動作する構造が必須となる。そこで、低温でのオーミックコンタクトの実績のあるTMDCの一種である単層MoS₂を用いたホールバー素子を作製し、そのホールバーの上部にスプリットゲート構造を取り付けた素子を作製し、低温環境下でバレーホール効果の観測を行った。さらに、スプリットゲートに電圧を印加し、バレー流のゲート制御を試みた。また、バレーホール効果の観測が期待できる単層グラフェンとh-BNとのモアレ構造の作製も進めた。このモアレ単層グラフェンに関してはパルス伝導現象の実験を中心に研究を進めた。

バレーホール効果の観測には非局所電極に電圧が発生する逆バレーホール効果の観測によって行った。局所電極間には低周波数の交流電圧を印加し、局所電極間を流れる交流電流(I_L)および非局所電極間に発生する電圧(V_{NL})はロックインアンプ(LI5640)を用いて測定した。測定は³Heクライオスタットを用いて、0.3 Kから20 Kでの範囲で行った。

4. 研究成果

(1) バレーホール効果の観測とゲート制御に向けた単層MoS₂ホールバー素子の作製

単層MoS₂ホールバー素子を作製するにあたり、以下のことを考慮して作製を行った。まず、単層に対して完全にh-BNでラッピングするため、グラファイト上にボトムh-BNのトランスファーを行い、クリーニングを行った後、プラズマエッチングによって直径1 μmの複数個のコンタクトホールを予め形成したトップh-BNを用いて単層MoS₂を持ち上げ、ボトムh-BNの上にトランスファーを行った。その後、コンタクトホールを埋める形で金属電極の埋め込みを行い、電極とスプリットゲートの取り付けを行った。最後にプラズマエッチングによってホールバー形状に形成を行った。完成した試料の光学写真と断面積層構造、リソグラフィ寸法を図1に示す。ホールバー素子の動作にはグラファイトバックゲートを用いて素子をオン状態にし、スプリット型トップゲートによってバレー流の制御を行った。この素子のコンタクト特性としては、室温では電流-電圧(I - V)特性が直線となっていることからオーミックコンタクトが形成されてい

ることが確認されたが、低温では多少の障壁が存在しており、非線形な I - V 特性となっていることが確認された。

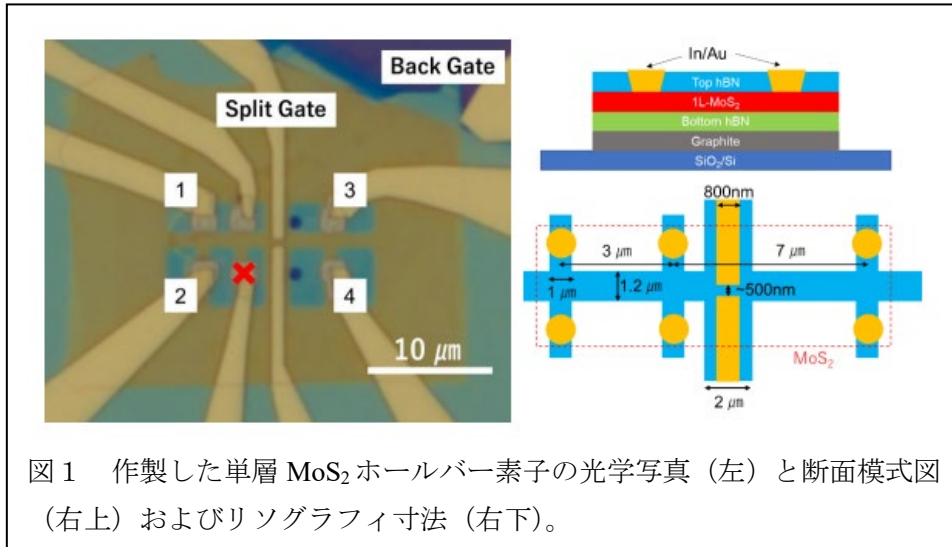


図1 作製した単層 MoS₂ ホールバー素子の光学写真 (左) と断面模式図 (右上) およびリソグラフィ寸法 (右下)。

(2) バレーホール効果の観測

バレーホール効果の観測には1-2間に電圧を印加して局所電流を流すことでバレーホール効果を発現し、3-4間に逆バレーホール効果によって発生する非局所電圧 (V_{NL}) の測定によって行った。図2(a)に示すように、2 Kにおいて、バックゲート電圧 (V_{BG}) の増加に対して $V_g = 9.5$ V 付近から V_{NL} の急激な増加が観測され、①の $V_{BG} = 10$ V 付近で肩をとり、その後②の $V_g = 11.6$ V 付近でピークを取り、その後は急激に減少するといった振る舞いが観測された。これに対する局所電流の対応は、 $V_{BG} = 8$ V 付近が閾値電圧となっていて、それを過ぎると電流が単調に増加する様子が観測された。これにより、バレーホール効果が観測されるためには、ホールバー自体に電流が流れないオフ状態ではバレー流自体も発生せず、非局所電圧もゼロであるが、ホールバーがオン状態になって初めてバレー流の伝搬が始まることが確認された。

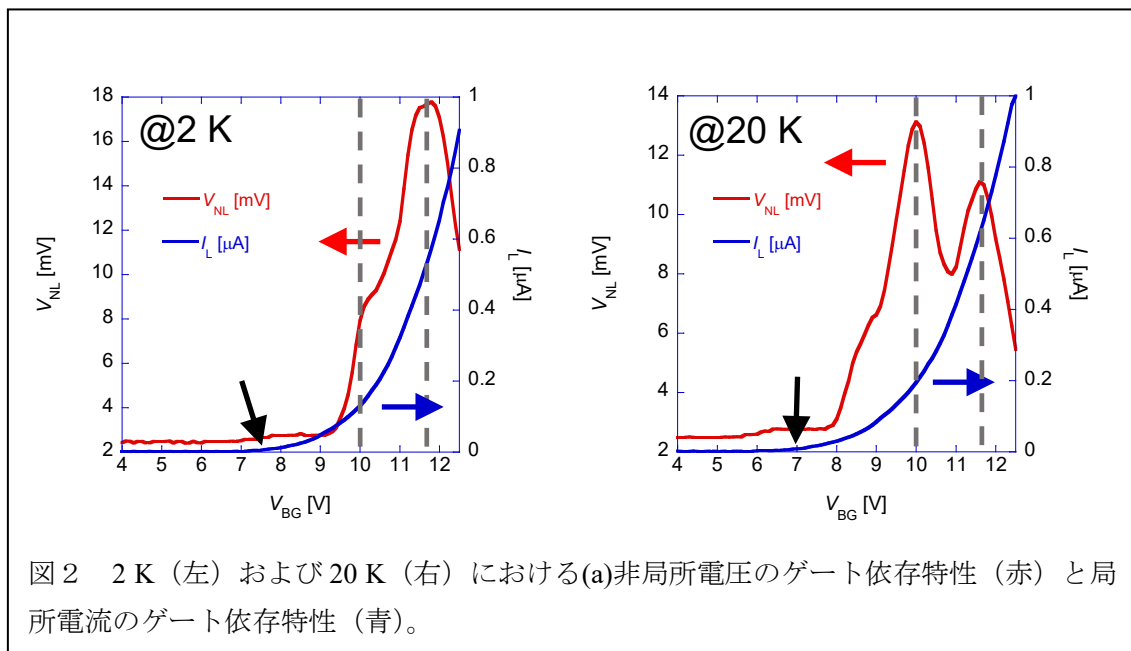


図2 2 K (左) および 20 K (右) における(a)非局所電圧のゲート依存特性 (赤) と局所電流のゲート依存特性 (青)。

これに対し、20 K で測定を行ったところ、 V_{NL} の特性は①の肩がピークになり、②は依存ピークであるものの、ピークの値は2 K よりも減少している様子が見られた。一方で局所電流に関しては立ち上がり電圧が7 V 付近となっており閾値電圧の低下が確認された。このようにピークを取る現象については、チャネル抵抗率が関与している可能性が考えられる。多くのバレーホール効果の実験において非局所電圧がチャネル抵抗率 (ρ) の3乗に比例する結果が報告されているが、本研究においても図3に示すように、20 K における結果では、2つのピークの存在によって、 ρ^3 に近い傾きを持つ領域が2か所存在することがわかる。いずれも V_{NL} のピークを過ぎて V_{NL} が減少する領域に対応している。一方で、局所電流自体は、 V_{BG} の増加に対して単調に増大しており、そこから得られる局所抵抗率は単調に減少していることを示している。したがって、単一のピークであれば V_{BG} の増加に伴って局所電流が流れ始めることによる V_{NL} の増加と、電流

が十分に流れて ρ が低下することによる V_{NL} の減少といった一連の流れで説明を付けられるものの、低温では肩であったものが温度が高くなるにつれてピークに成長し、2つのピークなるという実験結果に関しては別の要因を考える必要がある。我々はこの原因は MoS_2 の K 点における伝導帯バンドのスピンスplitに關係していると考えている。単層 TMDC は K 点と K' 点においてバレー・ゼーマン型のスピンスplit相互作用によりスピンスplitが生じることが知られており、 MoS_2 では伝導帯側で 10 mV 程度のギャップが存在する。フェルミレベルのぼやけが小さい低温環境下では、 V_{BG} の増加によるフェルミレベルが上昇し、伝導帯に掛かることで初めて電気伝導が始まることになる。したがって、下側のバンドにフェルミレベルが掛かったとき、上側のバンドに掛かった時の2つのピークが観測されると予想される。しかし、2 K の状況では、チャンネルのフェルミレベルが下のバンドに掛かったとしてもショットキー障壁により電流が十分に流れることができず、したがってバレーホール効果も十分に発現できず、肩のような形で観測されたと考える (①の位置)。さらにゲート電圧を印加してフェルミレベルを持ち上げることで電流は流れはじめ、それに伴い上側のバンドにおけるバレーホール効果のみが観測され、高 V_{BG} 側 (②の位置) にのみピークが現れたと考えている。このようなバレーホール効果による非局所電圧のピーク分裂の報告はこれまでになく、我々の実験結果が初めてであると思われる。また、ピークを取る原因として、バレー曲率がバンド端においてピークとなることも関係している可能性があり、フェルミレベルがバンド端に掛かったときにバレーホール効果は最大となり、フェルミレベルがバンド端から離れるにつれて V_{NL} は減少するものと考えられる。

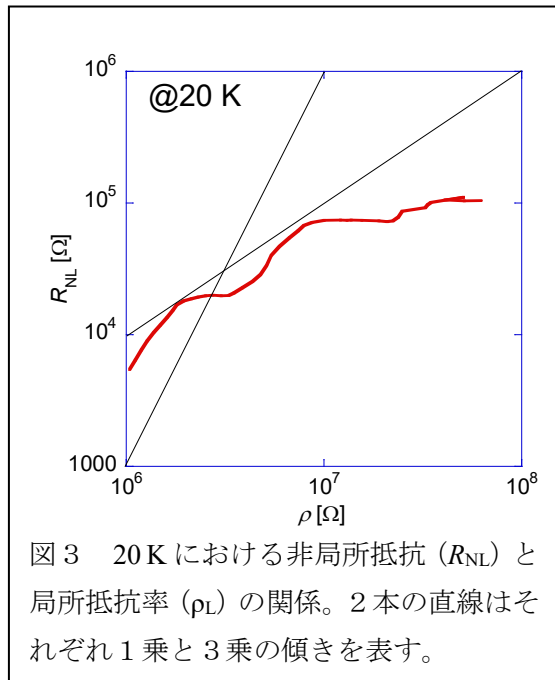


図3 20 Kにおける非局所抵抗 (R_{NL}) と局所抵抗率 (ρ_L) の関係。2本の直線はそれぞれ1乗と3乗の傾きを表す。

(3) トップゲートによるバレーホール効果の制御

スプリット型トップゲート電極によるバレー流の制御を目的とし、 V_{BG} を 12 V に印加して V_{NL} がピークを取っている状態で、スプリットゲートに電圧 (V_{SG}) を印加した。図4に示すよう、 V_{SG} に負電圧が印加されるにしたがって、急激に V_{NL} の減少が始まった。バックゲートによって MoS_2 は全体的に電子側に電界ドーピングされた状態であることから、負の V_{SG} の印加は電子を空乏化させる方向に対応している。そして、 $V_{SG} = -5$ V 付近で最小値をとると、それよりも定電圧側ではほぼ一定値を示す特性が観測された (図4 赤線)。これに対して、トップゲートを通過する伝導経路におけるトップゲート依存性を確認したところ、ゲート直下が完全に空乏化して細線が形成される電圧が、ほとんど同じ $V_{SG} = -5$ V に対応していることが明らかになり、バレー流の伝搬チャンネルの一部を狭窄化することで、バレー流の伝達を静電的に制御できることが明らかになった。なお、この試料ではスプリットゲート間隔は 0.5 μm 程度であるため、局所電流やバレー流が完全に遮断 (ピンチオフ) される様子は確認できなかった。

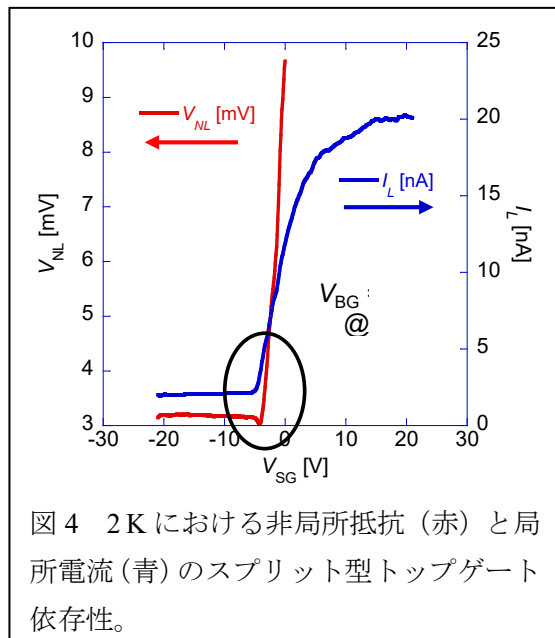


図4 2 Kにおける非局所抵抗 (赤) と局所電流 (青) のスプリット型トップゲート依存性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件/うち国際共著 9件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Phan Nhat Anh Nguyen, Noh Hamin, Kim Jihoon, Kim Yewon, Kim Hanul, Whang Dongmok, Aoki Nobuyuki, Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Kim Gil Ho	4. 巻 18
2. 論文標題 Enhanced Performance of WS ₂ Field Effect Transistor through Mono and Bilayer h-BN Tunneling Contacts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 2105753-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/smll.202105753	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 Chiu Sheng-Kuei, Li Ming-Chi, Ci Ji-Wei, Hung Yuan-Chih, Tsai Dung-Sheng, Chen Chien-Han, Lin Li-Hung, Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Aoki Nobuyuki, Hsieh Ya-Ping, Chuang Chiashain	4. 巻 34
2. 論文標題 Enhancing optical characteristics of mediator-assisted wafer-scale MoS ₂ and WS ₂ on h-BN	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 255703-1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6528/acc5f1	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 Nathawat Jubin, Mansaray Ishiaka, Sakanashi Kohei, Wada Naoto, Randle Michael D., Yin Shenchu, He Keke, Arabchigavkani Nargess, Dixit Ripudaman, Barut Bilal, Zhao Miao, Ramamoorthy Harihara, Somphonsane Ratchanok, Kim Gil-Ho, Watanabe Kenji, Taniguchi Takashi, Aoki Nobuyuki, Han Jong E., Bird Jonathan P.	4. 巻 14
2. 論文標題 Signatures of hot carriers and hot phonons in the re-entrant metallic and semiconducting states of Moire-gapped graphene	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1507-1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-023-37292-4	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 da Cunha C.R., Aoki N., Ferry D.K., Velasquez A., Zhang Y.	4. 巻 614
2. 論文標題 An investigation of the background potential in quantum constrictions using scanning gate microscopy and a swarming algorithm	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 128550-128563
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physa.2023.128550	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 Xie Tianshun, Fukuda Kazuki, Ke Mengnan, Kruger Peter, Ueno Keiji, Kim Gil-Ho, Aoki Nobuyuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Enhanced contact properties of MoTe2-FET via laser-induced heavy doping	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SC1010-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/aca67e	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 Mitake Yuji, Gomita Ayaka, Yamamoto Ryohei, Watanabe Miyabi, Suzuki Ryo, Aoki Nobuyuki, Tanimura Makoto, Hirai Tadahiko, Tachibana Masaru	4. 巻 807
2. 論文標題 Solvated C70 single crystals for organic field effect transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 140094-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2022.140094	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 Yuto Kajino, Kohei Sakanashi, Nobuyuki Aoki, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Kenichi Oto, and Yasuhiro Yamada	4. 巻 103
2. 論文標題 Quantized exciton-exciton annihilation in monolayer on substrate with atomically flat terraces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 L241410-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L241410	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 Kohei Sakanashi, Naoto Wada, Kentaro Murase, Kenichi Oto, Gil-Ho Kim, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Jonathan P. Bird, David K. Ferry, Nobuyuki Aoki	4. 巻 118
2. 論文標題 Valley polarized conductance quantization in bilayer graphene narrow quantum point contact	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 263102-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0052845	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 Vilas Patil, Jihyun Kim, Khushabu Agrawal, Tuson Park, Junsin Yi, Nobuyuki Aoki, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Gil-Ho Kim	4. 巻 32
2. 論文標題 High mobility field-effect transistors based on MoS2 crystals grown by the flux method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 325603-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/abf6f1	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 Kohei Sakanashi, Peter Kruger, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Gil-Ho Kim, David K. Ferry, Jonathan P. Bird, and Nobuyuki Aoki	4. 巻 21
2. 論文標題 Signature of spin-resolved quantum point contact in p-type trilayer WSe2 van der Waals heterostructure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 7534-7541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.1c01828	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 Nhat Anh Nguyen Phan, Hamin Noh, Jihoon Kim, Yewon Kim, Hanul Kim, Dongmok Whang, Nobuyuki Aoki, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, and Gil-Ho Kim	4. 巻 2022
2. 論文標題 Enhanced Performance of WS2 Field-Effect Transistor through Mono and Bilayer h-BN Tunneling Contacts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano Micro Small	6. 最初と最後の頁 2105753-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202105753	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25件 (うち招待講演 1件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Tianshun Xie, Kohei Sakanashi, Kazushi Yokoi, Keiji Ueno, Nobuyuki Aoki
2. 発表標題 Evaluation of BKT phase transition in 2H-NbS2 flake
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Yokoi, K. Sakanashi, G.-H. Kim, K. Watanabe, T. Taniguchi , and N. Aoki
2. 発表標題 Electrical properties of the graphene/WSe2 short-channel device
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横井和史, 坂梨昂平, Gil-Ho Kim, 渡邊賢司, 谷口尚, 青木伸之
2. 発表標題 グラフェン/WSe2ヘテロ接合における磁気輸送特性評価II
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井 歩峻, 渡邊 賢治, 谷口 尚, 柯 夢南, 青木 伸之
2. 発表標題 走査ゲート顕微法を用いた遷移金属ダイカルコゲナイドヘテロ接合における輸送特性の評価
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村 宥雅, 柯 夢南, 渡邊 賢司, 谷口 尚, 青木 伸之
2. 発表標題 MoTe2/n++-Siヘテロ構造を用いた縦型TFETの研究
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 謝 天順, 福田 和紀, 柯 夢南, 上野 啓司, 青木 伸之
2. 発表標題 レーザー誘起ドーピング技術を用いてp型MoTe ₂ -TFETの実現
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀場 大輔, 坂梨 昂平, 渡邊 賢司, 谷口 尚, 柯 夢南, 青木 伸之
2. 発表標題 有機単分子膜形成によるTMDC-FETへのドーピング効果の定量評価
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福田 和紀, 横井 和史, 渡邊 賢治, 谷口 尚, 柯 夢南, 青木 伸之
2. 発表標題 単層WSe ₂ におけるバレー流の観測とトップゲート制御
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tianshun Xie, Kazuki Fukuda, Mengnan Ke, Nobuyuki Aoki
2. 発表標題 Realization of P-type MoTe ₂ -TFET Via Laser-induced Doping Technique
3. 学会等名 2022 International Conference on ssdm Solid State Devices and Materials
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 謝 天順, 柯 夢南, 青木 伸之
2. 発表標題 遷移金属ダイカルコゲナイドのFET応用に向けたレーザー誘起現象の活用 ; p・nドーピング制御および構造多形制御を利用したトンネル型電界効果トランジスタの実現
3. 学会等名 SEMICON JAPAN, ACADEMIA:1029
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀場 大輔, 坂梨 昂平, 柯 夢南, 青木 伸之
2. 発表標題 TMDC-FET上への有機単分子膜形成による p 型ドーピングとコンタクト特性の評価
3. 学会等名 第28回電子デバイス界面テクノロジー研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mengnan Ke, Tsung-En Lee, Kasidit Toprasertpong, Mitsuru Takenaka, Shinichi Takagi
2. 発表標題 Characteristics of slow traps in different interfacial layers of n-Ge gate stacks by plasma oxidation
3. 学会等名 第28回電子デバイス界面テクノロジー研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tianshun Xie, Mengnan Ke, Peter Kruger, Keiji Ueno, Gil-Ho Kim, Nobuyuki Aoki
2. 発表標題 Application of laser irradiation for multilayer MoTe ₂ : phase transition, contact engineering and TFET fabrication
3. 学会等名 The 64th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daisuke Horiba, Takuya Kojima, Kohei Sakanashi, Mengnan Ke, Nobuyuki Aoki
2. 発表標題 P-type doping and contact property control for WSe ₂ -FET by charge transfer doping via self-assembled monolayer
3. 学会等名 The 64th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jiaquan Feng, Tianshun Xie, Nobuyuki Aoki, Mengnan Ke
2. 発表標題 Reduction of Id-Vg hysteresis in SiO ₂ /MoS ₂ n-FET by insertion of h-BN interfacial layer,
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福田 和紀, 横井 和史, 高橋 慶, 渡邊 賢治, 谷口 尚, 柯 夢南, 青木 伸之
2. 発表標題 単層MoS ₂ におけるバレー流のスプリットゲート制御
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 謝 天順, 柯 夢南, 上野 啓司, 青木 伸之
2. 発表標題 レーザー誘起ドーピング技術を用いた高性能TFETの作製
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tianshun Xie, Shuntaro Ikeda, Kohei Sakanashi, Keiji Ueno, Peter Kruger and Nobuyuki Aoki
2. 発表標題 Study on the contact properties between the semi-metallic phase and the semiconducting phase of MoTe ₂
3. 学会等名 ICN+T 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木伸之
2. 発表標題 モノリシックデバイス応用に向けたレーザー照射によるMoTe ₂ の構造制御と極性制御
3. 学会等名 グラフェンコンソーシアム第26回研究講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横井和史, 坂梨昂平, Gil-Ho Kim, 渡邊賢司, 谷口尚, 青木伸之
2. 発表標題 グラフェン/WSe ₂ ヘテロ接合における磁気輸送特性評価
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nobuyuki Aoki, Kohei Sakanashi, Yukichi Kamita, Kenichi Oto, Gil-Ho Kim, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Jonathan P. Bird and David K. Ferry
2. 発表標題 Valley polarized transport at quantum point contact in bilayer graphene,
3. 学会等名 The 12th Annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Sakanashi, Peter Kruger, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Gil-HoKim, David K. Ferry, Jonathan P. Bird, and Nobuyuki Aoki
2. 発表標題 Fully spin-resolved quantum point contact in trilayer WSe ₂ van der Waals heterostructure
3. 学会等名 The 12th Annual Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々木 遥晃, 川口 晴生, 宮本 克彦, 尾松 孝茂, 青木 伸之
2. 発表標題 光渦レーザー誘起前方転写法によってプリントされたグラフェン
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 謝 天順, 坂梨 昂平, 上野 啓司, 青木 伸之
2. 発表標題 剥離により得られた2H-NbS ₂ 薄膜におけるBKT相転移の評価
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂梨昂平, 柯梦南, 青木伸之
2. 発表標題 有機単分子膜の挿入によるTMDC-FETにおけるコンタクト特性の改善
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Quantum Nanodevice Laboratory Aoki Group
<https://adv.chiba-u.jp/nano/qnd/index.html>

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
研究協力者	バード ジョナサン (Bird Jonathan P.)	ニューヨーク州立大学バッファロー校(米国)・電気工学科・教授	
研究協力者	キム ギルホ (Kim Gil Ho)	成均館大学(韓国)・電気工学科・教授	
研究協力者	莊 家翔 (Chuang Chiashain)	忠興大学(台湾)・電気工学科・助教	
連携研究者	柯 梦南 (Ke Mengnan) (40849402)	千葉大学・大学院工学研究院・助教 (12501)	

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			
米国	ニューヨーク州立大学バッファロー校	アリゾナ州立大学	北アリゾナ大学	
韓国	成均館大学			
その他の国・地域	国立台湾大学	忠興大学	国立嘉義大学	