

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03858

研究課題名(和文) 二次元材料で構築された原子層ジョセフソン素子の創成と物性評価

研究課題名(英文) 2D Material Based Josephson Devices and Their Properties

研究代表者

Chen Yong (Chen, Yong)

東北大学・材料科学高等研究所・教授

研究者番号：30806732

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究提案では、二次元材料の理想構造を利用した原子層ジョセフソン素子などの新規素子構造の構築とその特異な物性評価を目標とした。本研究を通して、ラマン分光法、原子間力顕微鏡などを用いて、膜厚、層数や欠陥密度などを同定した二次元デバイスやヘテロ構造をグローブボックス内にて作製することが可能となった。また、目的に応じた物性を持つ二次元材料のCVD合成も可能となった。それらデバイスの輸送特性、光学特性や磁性の振る舞いを測定した。更に、異分野応用として電気化学顕微鏡によるヘテロ構造内におけるイオンが介在した電気化学反応の計測にも成功している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して、二次元デバイスやヘテロ構造の多様な物性評価を行うことが出来た。本研究の学術的な意義として、h-BNをトンネル障壁として利用したジョセフソン接合の作製とその低臨界電流ノイズの観測、磁性を持つ二次元物質の角度制御したヘテロ構造を作製とその磁性の観察、異方性の頑健性を考慮したスピン液体物質におけるスピン輸送の計測、ファンデルワールス物質における核スピン偏極とその制御、2次元反強磁性体ヘテロ構造における界面強磁性の創発、結晶対称性に由来した光電流の2成分の観測や磁気近接効果による異常ホール効果の観測、巨大磁気抵抗効果の観測がある。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to provide novel Josephson based device structures with an ideal structure of two-dimensional materials and to evaluate their unique physical properties. Through this research, we have fabricated variety of two-dimensional devices and heterostructures inside a glove-box. Those device structures were characterized by Raman spectroscopy, AFM etc. for identifying the film thickness, layer number, and defect density. Further, we have developed chemical vapor deposition (CVD) system for synthesizing specific purposed two-dimensional materials, and we have measured their transport, optical, and magnetic properties. In addition, we have succeeded in applying other interdisciplinary research field such as ion-mediated electrochemical reactions in heterostructures.

研究分野：量子材料・量子デバイス

キーワード：マイクロ・ナノデバイス 低温物性 超伝導材料・素子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

理想的な二次元構造を有する原子層、1層からなる二次元材料は、理想的な電子伝導からバルクの物性を凌駕し、特異な物理現象を有する。二次元材料に関する研究は、国際的にも研究競争が熾烈な本研究分野である。近年では、国内外の研究機関・研究者と密に連携し更なる研究の加速を行い、二次元材料の理想構造を最大限に活かしたヘテロ構造の構築や新規デバイス作製による新たな物性解明が盛んである。特に、二次元材料の特異性を制御し機能性を創発するには、化学気相成膜 (CVD) 装置の作製やグローブボックスやそれらの作製工程を一貫して行うことが必要となる。これが構築することで高品質な二次元材料とその清浄表面・界面を利用した物性計測が可能となる。これらのデバイス技術を確立させ、原子層を用いたヘテロ構造やジョセフソン素子を作製することで、二次元素子の特異性を電子輸送特性や磁性、イオン反応などの低次元における特異な物性を評価する。

2. 研究の目的

本研究提案では、二次元材料の理想構造を利用した原子層ジョセフソン素子などの新規素子構造の構築とその特異な物性評価を目標とした。本研究を通して、ラマン分光法、原子間力顕微鏡などを用いて、膜厚、層数や欠陥密度などを同定した二次元デバイスやヘテロ構造をグローブボックス内にて作製する。また、目的に応じた物性を持つ二次元材料を作製するため CVD 装置やデバイス構造作製のための電極蒸着機を導入し、高品質な二次元材料を用いて、清浄表面・界面を持つデバイスの作製を行う。それらデバイスの輸送特性、光学特性や磁性の振る舞いまたイオンが介在した電気化学反応など多角的な計測を行うことで、二次元材料が特異性の検証と新規機能性の創発に挑戦することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では始めに高品質な原子層を用いたヘテロ構造の構築技術を行うため、例えば CVD 装置を導入し粒界やグレイン構造を大面積にて制御したグラフェンなどの二次元材料を作製し、更に研究グループが保有する多様な積層材料の単結晶材料データベースを用いることで、原子層の特異性を発現・計測するために必要な高品質な二次元材料を得た。更に、ヘテロ構造の作製には、へき開面を光学顕微鏡にて観察しながらヘテロ構造を作製可能なトランスファーステージを作製し、かつそれらの工程を大気曝露なく行うためにグローブボックス内に搭載することで、二次元材料の特異性を失活することなく材料の清浄表面・界面の作製を試みた。また、ジョセフソン素子などの二次元材料のデバイス作製のために、電子線リソグラフィや分子線エピタキシー法により Nb などの電極作製可能な蒸着機を導入、改良した。これらにより、清浄表面を持つ多様なヘテロ構造や二次元材料デバイス作製が可能となり、以下の多様なデバイス特性の検証を行うことが可能となった。

ジョセフソン接合を利用した素子とその物性評価としては、超伝導体である二次元材料 NbSe₂ と Nb 層間に窒化ホウ素 (*h*-BN) をジョセフソン障壁として挟み込んだ NbSe₂/*h*-BN/Nb ジョセフソン接合を作製した。具体的には、単結晶から剥離したフレーク状の NbSe₂ を Si/SO₂ 基板上に転写し、*h*-BN 膜をその NbSe₂ 上に再転写した。その後、Nb 電極を NbSe₂/*h*-BN 上にパターン蒸着することで素子構造を作製した。その後、この接合間を流れる超伝導電流・電圧 (*I*-*V*) 特性とフラウンホーファーパターンを計測し、臨界電流ノイズを評価した。次に、この素子作製技術と単結晶材料を利用し、DyScO₃ 単結晶上に分子線エピタキシー法を用いて膜厚 20 nm の Sr_{1-x}La_xCuO₂ 薄膜をエピタキシャル成長させた。得られた素子を用いて低温磁気抵抗の観測を試みた。他の二次元材料デバイスとして、2次元物質に対して空間的に変化する結晶振動モードを生成することに成功した。また、ラマン顕微分光法を適用することで、空間依存するモードの存在を明らかにした。これまでの物性測定から示唆された空間的に変化する結晶振動モードという仮説の検証を目指していたが、複数の試料での存在の実証まで実施できた。続いて、層数が変化すると磁性が劇的に変化する CrI₃ を用いて積層の角度制御を行ったヘテロ構造素子を作製し、その界面強磁性の創発を試みた。更に、作製した素子は Si/SO₂ 基板上に絶縁層である *h*-BN を置き、その上に 2 層の CrI₃ を二組用意し、その二組の角度制御を行い積層し、更にその上を *h*-BN 膜でキャップすることで清浄表面・界面を維持した。物性評価には磁気光学カー効果顕微鏡を用いて、磁化測定を行った。更に、グラフェンの *c* 軸方向のスピン輸送特性を計測するため、高品質な大面積グラフェンを作製し、電子線蒸着機を用いて、ヘテロ構造であるパーマロイ (Py) /グラフェン /プラチナ (Pt) を作製した。更に、フェムト秒レーザーパルスによるギガヘルツ (GHz) およびテラヘルツ (THz) 下での磁化を計測することでグラフェンの *c* 軸方向のスピン輸送特性を研究した。また、異分野への応用として、イオンが介在する電気化学反応の計測では、ピペットを用いるナノ電気化学セル顕微鏡を用いて、CVD 装置にて作製させた原子数層からなる MoS₂/WS₂ ヘテロ構造の水素発生能を評価した。以上のように、高品質な二次元材料の作製とジョセフソン接合やヘテロ構造の作製と素子化により、多様な二次元材料の特異的な物性の観測を行った。

4. 研究成果

本研究では、高品質な原子層を用いたヘテロ構造の構築技術を確立し、二次元材料を用いたジョセフソン素子の作製とその物性評価を行った。*h*-BN を利用したジョセフソン素子では、トランスファーステージを用いて、NbSe₂ に膜厚 1 nm 程度の *h*-BN を転写し Pb を蒸着することで素子構造：NbSe₂/*h*-BN/Nb ジョセフソン接合を作製することに成功した。超伝導電流・電圧 (I-V) 特性を測定した結果、1 nm の絶縁膜である *h*-BN を介しても典型的なジョセフソン電流が観測され、ジョセフソン障壁として機能したことが確認された。更に、臨界電流ノイズを検証した結果、過去の報告のある酸化アルミニウムベースのジョセフソン接合と比較しても少なくとも 4 倍程度も低いことを実証することができた。この結果は原子膜の *h*-BN を高品質なジョセフソン接合として適応可能であることや、量子ビット応用のための新しいトンネル障壁として強く期待されるものである (T. Jifa *et al.*, *Journal of Physics: Condensed Matter*, 33 495301 2021)。次に、DyScO₃ 単結晶上に分子線エピタキシー法にて Sr_{1-x}La_xCuO₂ エピタキシャル薄膜を作製した。その磁気特性を評価した結果、低温での異方的磁気抵抗とヒステリシス角度磁気抵抗を発見した。この結果は、DyScO₃ の Néel 転移と結晶磁気異方性が強く関連していることを示唆しており、比較実験で行った銅や白金では観測されなかった。本結果は DyScO₃ の異方的な磁気輸送特性の更なる進展につながるものとなる (J. Lustikova *et al.*, *Japanese Journal of Applied Physics*, 61 040904 2022)。次に、CrI₃ の二層構造を二組用意し、トランスファーステージを利用し角度を制御したヘテロ構造を作製した。角度制御は、電子顕微鏡像から約 1.42 度回転して二組が積層していると思われたが、実際は二組が約 1.9 度回転してヘテロ構造を形成していることが電子回折パターンから見積もられた。この二組の層からなるヘテロ構造はモアレ超格子構造をとっており、この複雑なヘテロ構造において磁気光学カー効果顕微鏡により、反強磁性と強磁性が共存していることを確認することが出来た。更に二組の下側の CrI₃ 層に数層のグラフェンを挟み基板側から電圧を印加するとそのモアレ磁性が電氣的に調整可能であることが実証された。この特異的な磁気相は、トポロジカル・スキルミオン格子やマグノンネットワークを形成している可能性があり、空間分解測定で今後検討していく予定である。また、電圧による制御が磁気スイッチングや磁電効果を伴う磁気秩序を律する有効な手段であることが分かったことから、メモリやスピロジックデバイスの実現につながることも示唆された (G. Chen *et al.*, arXiv:2204.03837 2022)。CVD 装置にて銅基板上に作製されたグラフェンは、Pt 薄膜上に転写した。そのグラフェン層の品質はラマン顕微鏡によって評価し、欠陥密度の少ない高品質なグラフェンであることを確認した。時間分解光磁気カー効果を用いて、ギガヘルツ帯の磁化ダイナミクスの特性を評価した結果、磁化歳差運動は Pt/Py と Pt/グラフェン/Py の両方で明確に観測された。Pt/Py のギルバート減衰定数は 0.015 であり、Py から Pt へのスピンポンピング効果を示した。一方で、Pt/グラフェン/Py のギルバート減衰定数は 0.011 であり、グラフェン層がスピン注入をブロックしていることが分かった。また、Pt/Py と Pt/グラフェン/Py について THz 発光の測定も行った。Pt/Py では THz 発光が明確に観測されたのに対し、Pt/Gr/Py では THz 発光の大幅な減少が観測された。これらの結果とグラファイトの抵抗率の高い異方性から、垂直方向のスピン輸送がグラフェン層によって強く抑制されているが明らかになった (H. Idzuchi *et al.*, *AIP Advances* 11, 015321 2021)。MoS₂/WS₂ ヘテロ構造の水素発生能の評価をナノ電気化学セル顕微鏡にて行った結果、MoS₂ のエッジ領域において触媒能が向上していることが観測された。更に、ヘテロ構造では構造粒界、ベール面では共に大きな変化を示さなかったものの、ある一定の積層構造領域においては MoS₂ の電極触媒能が失活することが観測されており、二次元材料の素子積層の角度に依存する可能性が初めて示唆させた。積層角度による電極触媒能の失活はバルク体を用いた全体での反応性の低減にもつなげる可能性がある。

以上のように本研究を通して、二次元デバイスやヘテロ構造の多様な物性評価し、その特異な機能性の観測が可能となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Idzuchi H., Iihama S., Shimura M., Kumatani A., Mizukami S., Chen Y. P.	4. 巻 11
2. 論文標題 Spin injection characteristics of Py/graphene/Pt by gigahertz and terahertz magnetization dynamics driven by femtosecond laser pulse	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015321 ~ 015321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000114	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 Wu Jiazhen, Xu Jingtao, Tanigaki Katsumi	4. 巻 1
2. 論文標題 Site occupancy preference, electrical transport property and thermoelectric performance of Ba ₈ Cu _{6-2x} Ge _{40+x} single crystals grown by using different metal fluxes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 2953 ~ 2963
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0MA00721H	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 Matsushita Stephane Yu, Ichimura Kakeru, Huynh Khuong Kim, Tanigaki Katsumi	4. 巻 5
2. 論文標題 Large thermopower in topological surface state of Sn-Bi ₂ Se ₃ topological insulators: Thermoelectrics and energy-dependent relaxation times	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.014205	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 Jansa N., Huynh K.-K., Ogasawara T., Klanjsek M., Jeglis P., Carretta P., Tanigaki K., Arson D.	4. 巻 103
2. 論文標題 Electron correlations and charge segregation in layered manganese pnictide antiferromagnets showing anomalously large magnetoresistance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.064422	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 Ogasawara Takuma, Huynh Kim-Khuong, Tahara Tíme, Kida Takanori, Hagiwara Masayuki, Ar?on Denis, Kimata Motoi, Matsushita Stephane Yu, Nagata Kazumasa, Tanigaki Katsumi	4. 巻 103
2. 論文標題 Large negative magnetoresistance in the antiferromagnet BaMn2Bi2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.125108	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 Nagata Kazumasa, Matsushita Stephane Yu, Pan Xing-Chen, Huynh Kim-Khuong, Tanigaki Katsumi	4. 巻 5
2. 論文標題 Large-proximity-induced anomalous Hall effect in Bi2?xSbxTe3-ySey/Cr2Ge2Te6 heterostructure prepared by film transfer method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.024208	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 Kayyalha Morteza, Kazakov Aleksandr, Miotkowski Ireneusz, Khlebnikov Sergei, Rokhinson Leonid P., Chen Yong P.	4. 巻 5
2. 論文標題 Highly skewed current-phase relation in superconductor-topological insulator-superconductor Josephson junctions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41535-020-0209-5	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 Idzuchi H., Llacsahuanga Allcca A. E., Pan X. C., Tanigaki K., Chen Y. P.	4. 巻 115
2. 論文標題 Increased Curie temperature and enhanced perpendicular magneto anisotropy of Cr2Ge2Te6/NiO heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 232403 ~ 232403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5130930	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 Xu Yang, Jiang Guodong, Miotkowski Ireneusz, Biswas Rudro R., Chen Yong P.	4. 巻 123
2. 論文標題 Tuning Insulator-Semimetal Transitions in 3D Topological Insulator thin Films by Intersurface Hybridization and In-Plane Magnetic Fields	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 207701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.207701	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 Tian Jifa, Hong Seokmin, Sayed Shehrin, Lee Joon Sue, Datta Supriyo, Samarth Nitin, Chen Yong P.	4. 巻 10
2. 論文標題 On the understanding of current-induced spin polarization of three-dimensional topological insulators	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-09271-1	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 Li Yanlong, Liu Xiaoyang, Chen Chuanhui, Duchamp James, Huang Rong, Chung Ting-Fung, Young Maxwell, Chalal Tarek, Chen Yong P., Heflin James R., Dorn Harry C., Tao Chenggang	4. 巻 145
2. 論文標題 Differences in self-assembly of spherical C60 and planar PTCDA on rippled graphene surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 549 ~ 555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2019.01.070	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 Takahashi Yasufumi, Kobayashi Yu, Wang Ziqian, Ito Yoshikazu, Ota Masato, Ida Hiroki, Kumatani Akichika, Miyazawa Keisuke, Fujita Takeshi, Shiku Hitoshi, Korchev Yuri E., Miyata Yasumitsu, Fukuma Takeshi, Chen Mingwei, Matsue Tomokazu	4. 巻 132
2. 論文標題 High Resolution Electrochemical Mapping of the Hydrogen Evolution Reaction on Transition Metal Dichalcogenide Nanosheets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie	6. 最初と最後の頁 3629 ~ 3636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ange.201912863	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 Jauregui Luis A., Kayyalha Morteza, Kazakov Aleksandr, Miotkowski Ireneusz, Rokhinson Leonid P., Chen Yong P.	4. 巻 112
2. 論文標題 Gate-tunable supercurrent and multiple Andreev reflections in a superconductor-topological insulator nanoribbon-superconductor hybrid device	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 093105 ~ 093105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5008746	査読の有無 無
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 Chung Ting-Fung, Xu Yang, Chen Yong P.	4. 巻 98
2. 論文標題 Transport measurements in twisted bilayer graphene: Electron-phonon coupling and Landau level crossing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 35425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.035425	査読の有無 無
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 Kayyalha Morteza, Kargarian Mehdi, Kazakov Aleksandr, Miotkowski Ireneusz, Galitski Victor M., Yakovenko Victor M., Rokhinson Leonid P., Chen Yong P.	4. 巻 122
2. 論文標題 Anomalous Low-Temperature Enhancement of Supercurrent in Topological-Insulator Nanoribbon Josephson Junctions: Evidence for Low-Energy Andreev Bound States	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 47003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.047003	査読の有無 無
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 Kumatani Akichika, Miura Chiho, Kuramochi Hirota, Ohto Tatsuhiko, Wakisaka Mitsuru, Nagata Yuki, Ida Hiroki, Takahashi Yasufumi, Hu Kailong, Jeong Samuel, Fujita Jun ichi, Matsue Tomokazu, Ito Yoshikazu	4. 巻 6
2. 論文標題 Chemical Dopants on Edge of Holey Graphene Accelerate Electrochemical Hydrogen Evolution Reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 1900119 ~ 1900119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.201900119	査読の有無 無
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 -

[学会発表] 計54件(うち招待講演 39件/うち国際学会 44件)

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 van der Waals magnets based heterostructures
3. 学会等名 American Physical Society (APS) March Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 New opportunities for surface science and sensor devices with two-dimensional materials and hybrids
3. 学会等名 iNano International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Photocurrent as probe for Topological Semimetals
3. 学会等名 2nd Meeting of Discrete Geometric Analysis for Materials Design (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Topological and 2D materials for/using spintronic and quantum devices
3. 学会等名 OIST-Tohoku Joint Quantum Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Idzuchi, A. E. Llacsahuanga Allcca, X. C. Pan, K. Tanigaki and Y. P. Chen
2. 発表標題 Increased Curie temperature and enhanced perpendicular magneto anisotropy of Cr ₂ Ge ₂ Te ₆ /NiO heterostructures
3. 学会等名 MMM 2020 Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Idzuchi, S. Iihama, M. Shimura, A. Kumatani, S. Mizukami, Y. P. Chen
2. 発表標題 Spin injection characteristics of Py/Graphene/Pt by means of THz measurement and spin pumping
3. 学会等名 MMM 2020 Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. E. Llacsahuanga Allcca, H. Idzuchi, X. C. Pan, K. Tanigaki and Y. P. Chen
2. 発表標題 Wrinkle formation and its effect on the magnetic properties of Cr ₂ Ge ₂ Te ₆ /NiO heterostructures
3. 学会等名 APS March meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Tanigaki
2. 発表標題 Three-Dimensional Topological Insulators and Applications
3. 学会等名 QPQIS 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Kumatani
2. 発表標題 Recent Advances in Scanning Electrochemical Microscopic Analysis and Visualization
3. 学会等名 MSM-AIMR Joint Online Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Spin-helical Particles: An Enabling Platform for Quantum Matter and Quantum Technologies
3. 学会等名 Center for Quantum Research and Technology (CQRT) Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Spin-helical Particles: An Enabling Platform for Quantum Matter and Quantum Technologies
3. 学会等名 Seminar at Fermi National Lab (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Quantum Materials for sensing applications
3. 学会等名 Quantum Technologies and Sensing Workshop, IEEE Nuclear Science Symposium (NSS) and Medical-Imaging Conference (MIC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Spin-helical Particles: An Enabling Platform for Quantum Matter and Quantum Technologies
3. 学会等名 66th AVS (American Vacuum Society) International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Topological protected quantum devices: from spin batteries to Josephson Junctions
3. 学会等名 CAMP (Condensed matter and Atomic/molecular physics) seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Manipulating Dirac Cones - from twisted bilayer graphene to hybridized topological insulator
3. 学会等名 CarbonHagen 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Topological Josephson Junctions
3. 学会等名 AIMR Workshop “quantum materials and spintronics --- spin, topology and superconductivity” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Realization of a symmetry protected bosonic topological state in a synthetic space
3. 学会等名 AIMR Workshop “quantum materials and spintronics --- spin, topology and superconductivity” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Topological Josephson Junctions and Topological Superconductivity --- experimental studies of topological insulator/superconductor hybrid quantum devices
3. 学会等名 Seminar at RIKEN (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kumatani, Y. Takahashi, C. Miura, M. Shimura, H. Shiku, T. Matsue
2. 発表標題 Scanning Electrochemical Cell Microscopic Analysis for Graphite/Graphene
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kumatani
2. 発表標題 Nanoscale Electrochemical Imaging on Energy Functional Materials by Scanning Electrochemical Cell Microscopy
3. 学会等名 EMRS Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kumatani
2. 発表標題 Determination and Initiation of Electrochemical Active Sites on Two-dimensional Material Surface by Nanoscale Electrochemical Technique
3. 学会等名 EMRS Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kumatani, H. Ogawa, H. Ida, Y. Takahashi, H. Shiku, Y. P. Chen, T. Matsue
2. 発表標題 Electrochemical imaging correlated to hydrogen evolution reaction on two-dimensional materials
3. 学会等名 ALC19 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kumatani
2. 発表標題 Recent Progress on Electrochemical Imaging by Scanning Electrochemical Cell Microscopy
3. 学会等名 ICCEMT2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kumatani
2. 発表標題 Electrochemical Hydrogen Evolution Reaction and Lithium-ion Transport Imaging on Energy Functional Materials
3. 学会等名 isCEBT2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Kumatani
2. 発表標題 Spatially Resolved Electrochemical Microscopy: Scanning Electrochemical Cell Microscopy on Energy Functional Materials
3. 学会等名 EPFL Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jana Lustikova, Akichika Kumatani, Guanghui Cheng, Yong P. Chen
2. 発表標題 Spin-dependent transport phenomena in superconducting materials
3. 学会等名 The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井土宏
2. 発表標題 2次元磁性体Cr ₂ Ge ₂ Te ₆ 界面の誘起する強磁性転移温度上昇
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井土宏
2. 発表標題 2次元磁性体Cr ₂ Ge ₂ Te ₆ /酸化物2層膜の磁気特性
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 Yong P. Chen
2. 発表標題 Novel two-dimensional (2D) electron systems in topological and 2D materials: new playground for physics and devices
3. 学会等名 Physics Seminar, University of Vienna, Austria (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 What are topological insulators good for?
3. 学会等名 Symposium "highlights in condensed matter physics", Ulm, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 How to engineer, measure and use topological quantum matter with new spins and surprises
3. 学会等名 Physics Colloquium, University of Waterloo, Canada (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Two-pathway interference measurements in quantum matters: from quantum transport to quantum chemistry
3. 学会等名 Zhong Guan Cun Forum for Condensed Matter Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 What are unique and useful about topological insulators?
3. 学会等名 Physics Colloquium, University of Regensburg, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Surface sciences and chemical processes with optical and scanning probes: some case studies
3. 学会等名 Seminar at KAIST, Daejeon, South Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 What Are Unique Transport Signatures of Topological Insulators
3. 学会等名 IUMRS-ICEM 2018, Daejeon, South Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yong P. Chen
2. 発表標題 Three new materials paradigms for solid state electronics
3. 学会等名 Colloquium at Leibniz Institute/Paul-Drude-Institute for Solid State Electronics, Berlin, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川寛人、熊谷明哉、上野啓司、遠藤尚彦、小林佑、宮田耕充、井田大貴、高橋康史、未永智一、珠玖仁
2. 発表標題 SnS ₂ 二次元薄膜における水素発生反応のナノスケール電気化学イメージング
3. 学会等名 日本分析化学会第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小川 寛人、熊谷 明哉、遠藤 尚彦、小林 佑、井田 大貴、高橋 康史、未永 智一、宮田 耕充、珠玖 仁
2. 発表標題 単層/二層WS ₂ における水素発生反応のナノスケール電気化学イメージング
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志村実優、熊谷明哉、井田大貴、珠玖仁、Y. P. Chen、未永智一
2. 発表標題 ナノ電気化学イメージングによるグラフェン構造欠陥の検証
3. 学会等名 第49回セミコンファレンス、第31回東北若手の会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊谷 明哉、三浦 千穂、高橋 康史、井田 大貴、珠玖 仁、未永 智
2. 発表標題 グラフェンエッジにおける電気化学活性のナノスケール電気化学イメージング
3. 学会等名 日本分析化学会 第67年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroto Ogawa, Akichika Kumatani, Takahiko Endo, Yu Kobayashi, Hiroki Ida, Yasufumi Takahashi, Tomokazu Matsue, Yasumitsu Miyata, Hitoshi Shiku
2. 発表標題 Nanoscale electrochemical imaging for hydrogen evolution reaction on WS ₂ mono-/bilayers
3. 学会等名 日本化学会99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akichika Kumatani
2. 発表標題 Nanoscale Electrochemical Imaging for Functional Materials
3. 学会等名 Taiwan-Nippon Workshop on Innovation of Emergent Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akichika Kumatani
2. 発表標題 Nanoscale Electrochemical Imaging for Energy Functional Materials
3. 学会等名 Japan-Taiwan Workshop on Electrochemistry JTWE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akichika Kumatani
2. 発表標題 Nanoscale Electrochemical Imaging by Spatially Resolved Electrochemical Microscopy: From Battery Electrodes to 2D Materials
3. 学会等名 AI-Mat seminar (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akichika Kumatani
2. 発表標題 Visualization of Electrochemical Activities on 2D Materials
3. 学会等名 isCEBT2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akichika Kumatani
2. 発表標題 Spatially Resolved Electrochemical Imaging on Energy Materials
3. 学会等名 nanoHUB (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akichika Kumatani
2. 発表標題 Nanoscale Electrochemical Imaging on Energy Materials
3. 学会等名 UCL-Tohoku Partnership 'kick-off' workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Kumatani, Y. P. Chen, Y. Takahashi, T. Matsue
2. 発表標題 Nanoscale Electrochemical Imaging for Functional Energy Materials
3. 学会等名 2018 Sustainable Industrial Processing Summit & Exhibition SIPS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akichika Kumatani
2. 発表標題 Nanoscale Electrochemical Imaging by Scanning Electrochemical Microscopies on Energy Materials
3. 学会等名 uTAS2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井土宏
2. 発表標題 2次元ファンデルワールス磁性体を用いたジョセフソン接合II
3. 学会等名 日本物理学会 2019年年次会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井土宏
2. 発表標題 2次元ファンデルワールス磁性体を用いたジョセフソン接合
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 Hiroshi Idzuchi
2. 発表標題 Effect of magnetic tunneling layer in van der Waals Josephson Junction
3. 学会等名 APS March meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Idzuchi
2. 発表標題 Effect of van der Waals magnetic tunneling layer in Josephson coupling
3. 学会等名 Collaborative conference on Materials Research (CCMR) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Idzuchi
2. 発表標題 Josephson coupling through atomically thin van der Waals magnet
3. 学会等名 6th "International Conference on Superconductivity and Magnetism" - ICSM2018 (招待講演) (国際学会)
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	井土 宏 (Idzuchi Hiroshi) (20784507)	東北大学・材料科学高等研究所・助教 (11301)	
研究分担者	熊谷 明哉 (Kumatani Akichika) (50568433)	東北大学・材料科学高等研究所・准教授 (11301)	
研究分担者	谷垣 勝己 (Tanigaki Katsumi) (60305612)	東北大学・材料科学高等研究所・名誉教授 (11301)	

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