

1.1 長谷川研究室

修士課程1年生として4月から高城卓也と渡邊和己が、10月からYuxiao GUOが新しくメンバーに加わった。3月末には宮内恵太が修士課程を修了して就職した。

当研究室では、表面物性、特に「表面輸送」をキーワードにして実験的研究を行っている。おもに半導体や金属、トポロジカル絶縁体結晶表面上に形成される種々の表面超構造や原子層、多層膜(超格子)構造を利用し、原子尺度の低次元電子系に固有な電子状態や電子輸送特性、スピン状態・スピン流を明らかにし、機能特性として利用することをめざしている。最近の主な話題は、トポロジカル(結晶)絶縁体結晶の表面状態、超伝導グラフェン、ラッシュバ超伝導、原子層超伝導などである。このようなナノマテリアルを様々な実験手法を用いて多角的に研究を行っている。とくに、分子線エピタキシー法によるナノマテリアルの作成と物性測定を超高真空中で「その場」で行うことが本研究室の実験手法の特徴であり、そのための新しい手法・装置の開発も並行して行っている。以下に、本年度の成果を述べる。

1.1.1 表面での電子・スピン輸送

In/SnTe/Bi(111)における界面超伝導

Cuをインターカレートしたトポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 やInをドープしたトポロジカル結晶絶縁体SnTeなどはトポロジカル超伝導体の候補物質として期待されている。当研究室では過去に、Bi(111)基板上に成長したSnTe薄膜が、5.8 Kで超伝導転移と考えられる抵抗のドロップを観測した。この超伝導転移は電極接着に使われるIn島とSnTe界面において発生していると考えられた。実際、SnTe膜上にIn薄膜を成長すると超伝導によるゼロ抵抗が観測され、その転移温度はバルクInの転移温度よりわずかに高かった。今後は超伝導の起源の調査、およびトポロジカル超伝導の可能性について検証を行う。

Si(111)表面上に成長した SnSe_2 の構造と電気伝導

SnSe_2 バルク結晶は半導体だが、グラフェン上に成長させた SnSe_2 薄膜は超伝導を示し、そこではグラフェン基板との相互作用が超伝導発現に重要であると理論的に指摘されている。そこで、他の基板上でも調べるため、独自にSi(111)上に SnSe_2 薄膜をエピタキシャル成長させるレシピを開発し、層状成長することを反射高速電子回折法およびラマン分光法で確認した。しかし、PPMS装置によってex situ伝導特性を測定した結果、n型半導体の伝導特性を示し、2 Kまで超伝導転移を示さなかった。今後、グ

ラフェン基板との違いを明らかにしていく。

SrTiO₃上の単層FeSeの成長と超伝導

SrTiO₃(001)(STO)結晶表面上に成長させた単層FeSeは約60 Kの転移温度の超伝導を示し、バルク結晶のFeSeの転移温度(9 K)よりはるかに高い。しかし、これは走査トンネル分光法や光電子分光法で測定されたエネルギーギャップから決められた転移温度であり、in situ伝導測定では確認されていない。また、ex situ伝導測定では大きな幅をもつ異なる転移温度が報告されている。そこで、当研究室でのin situ伝導測定技術で、FeSe薄膜の超伝導転移温度の膜厚依存性などを明らかにしたい。今年度には、ドープされた導電性STO基板およびノンドープ絶縁性STO基板上でのFeSe膜の成長を反射高速電子回折のパターンおよび強度振動によって確認した。ドープされたSTOでは基板自体の抵抗が非常に低いため、1 m μm までの分解能で電気抵抗を測定できるように測定回路を改良した。また、絶縁性STO上では測定用プローブと試料との接触がショットキー接触になるため、安定した測定が困難なので、現在、改良を検討している。

Si(111)基板上の(Pb,Au)表面合金層

PbとAuの合金である PbAu_2 は、バルク結晶でトポロジカル超伝導の候補物質に挙げられているが、Au/Si(111)表面上にPbを蒸着することで作製される(Pb,Au)の2次元合金表面構造においてもトポロジカル状態が理論予測された。しかしこの系の実験的な作製報告はない。本研究では(Pb,Au)/Si(111)表面が安定構造として $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$ 周期構造を取ることを電子回折とSTMによって発見し、ARPES観測によってこの表面が金属的な表面電子バンドを持つことを明らかにした。さらに伝導測定の結果、約4 Kまで超伝導を示さないが、表面電気伝導度の異方性が温度に依存して変化することが分かり、現在はその起源の解明に取り組んでいる。(ロシア科学アカデミーとの共同研究)

Si(111)-SIC-Pb相へのAg層による影響

2次元超伝導体であるSi(111)-SIC(Striped不整合)-Pb表面において、基板とPb層の間にAg層が入るとPb層の超伝導が抑制されることを走査トンネル分光測定で示した先行研究を受け、本研究ではその構造と成長様式を詳細に調べた。アニール後の(Pb,Ag)/Si(111)試料はSi(111)-SIC-Pb相と非常に似た構造を持つことが分かった。さらに電子バンドもAgのないSIC相とほぼ同じであることがARPES測定の結果から示された。今後は低温での電気伝導測定によって超伝導発現の有無を検証し、構造と抑制効果との関連性を議論していきたい。(ロシア科学アカデミーとの共同研究)

磁性トポロジカル絶縁体の作製と電子構造・磁性

磁性トポロジカル絶縁体は時間反転対称性の破れによりディラック点でエネルギーギャップが開き、そこにフェルミ準位が位置するとカイラルエッジ状態ができて量子異常ホール効果 (QAHE) が生じる。しかし、これまで QAHE は極低温でしか観測されていないため、高温での QAHE 実現に向けて、均一な強磁性が実現される磁性トポロジカル絶縁体 $\text{MnTe}/(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ に着目した。フェルミ準位がギャップ中に位置するように Bi と Sb の組成比 (x 値) を調整した試料を MBE 法により作製し、その電子構造を角度分解光電子分光法 (ARPES) で確認した。さらに、同一の試料に対して SQUID による磁化測定を行ったところ、室温でも強磁性が保たれていることを確認し、高温での QAHE 観測に最適な試料の作製に成功した。今後は、電気伝導測定により QAHE 観測を目指す。(ロシア科学アカデミーとの共同研究)

非対称光照射による逆スピンホール効果

逆スピンホール効果 (ISHE) は、電子的なスピン注入法だけでなく、磁場中での光学的なスピン注入法によっても観測されることが示された。最近、我々は光学的 ISHE が無磁場中でも起こることを発見した。それは、 Bi_2Se_3 試料の端付近にレーザー光を照射したときにのみ発生する光電流の偏光状態依存性として確認された。有限要素法によるシミュレーションによって、この現象が試料端近傍での非対称な光照射によって生じる ISHE であることを明らかにした。

SiC 上の Ca インターカレート 2 層グラフェンの構造と超伝導

SiC 結晶表面上の 2 層グラフェンに Ca 原子をインターカレートすると、オンセット $T_c = 4$ K で超伝導転移することが知られているが、その原子構造の詳細は未だ明らかでないため、全反射高速陽電子回折法を用いて構造解析を行った。その結果、従来考えられていたグラフェン層間に Ca 原子が挿入されている構造ではなく、グラフェン層の下に Ca 原子が存在することが明らかとなった。さらに、この構造を元に DFT 計算を行った結果、基板に近いグラフェン層が Ca 原子により強く電子ドープを受け、最表面のグラフェン層は pristine な状態に近いことが分かった。本結果から、SiC 上の単層グラフェンにおいても同様に Ca 原子をインターカレートし超伝導を発現する可能性が示唆され、Dirac 電子と Cooper ペアの共存する系の実現が期待される。(高エネルギー加速器研究機構との共同研究)

超伝導/トポロジカル絶縁体ヘテロ構造

$\text{Bi}_2\text{Se}_x\text{Te}_{3-x}$ はトポロジカル絶縁体であり、 $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$ は鉄系超伝導体であるので、両者を積層させた超格子

構造を作るとトポロジカル超伝導が実現される可能性がある。 $\text{Bi}_2\text{Se}_x\text{Te}_{3-x}$ に Fe を蒸着した後アニールすると、 $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$ が形成される。そのとき、3 つの異なる方位のドメインが形成されることを反射高速電子回折で見出した。また、 Bi_2Se_3 上の FeSe は歪のため正方格子から長方格子に変わり、そのために超伝導が抑制されると予想されている。我々は、組成異なる 3 つの試料 ($\text{FeSe}/\text{Bi}_2\text{Se}_3$, $\text{FeSe}_{0.67}\text{Te}_{0.33}/\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$, $\text{FeTe}/\text{Bi}_2\text{Te}_3$) の伝導特性を PPMS で *ex situ* 測定したが、すべて 2 K まで超伝導を示さないことがわかった。イオン液体ゲート法を用いてキャリアをドープしても超伝導の兆候は見られなかった。この結果は、 $\text{FeSe}_{0.67}\text{Te}_{0.33}/\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{Te}$ と $\text{FeTe}/\text{Bi}_2\text{Te}_3$ において ARPES と STS で超伝導ギャップが開くという先行研究と矛盾する。また、この 2 つの試料の磁気抵抗測定では弱反局在現象が見られた。アニール時に Fe 原子が BiSeTe 側に拡散して超伝導およびトポロジカル状態を壊している可能性があるため、今後、作成条件の最適化を進める。

原子層青リンのエピタキシャル成長と電気伝導特性

青リンは、2 次元層状物質でワイドギャップ半導体であるが、Li 等のアルカリ金属を 2 層青リン間にインターカレートさせることで約 20 K で 2 次元超伝導体に転移することが理論的に予測されている。本研究では MBE 法により $\text{Au}(111)$ 薄膜清浄表面上で高品質で free-standing な青リンを選択的に得られることが反射高速電子回折によって確認された。また、リン層間に Li を蒸着した構造において電気伝導度が下地の $\text{Au}(111)$ 薄膜よりも高くなることが *in-situ* マイクロ 4 端子測定により明らかとなり、リン層への電子ドープが確認された。今後は試料作製条件をより最適化して *in situ* 電気伝導測定を中心に行う。

1.1.2 表面・原子層ナノ構造

SiC 上グラフェンへの Li インターカレーションのダイナミクスの観察

Li イオンバッテリーの負極材料としてグラファイトが広く使われている一方、ミクロスコピックな Li 原子のインターカレーションダイナミクスは未だ明らかでない。そこで、グラファイトをより単純化した 1~2 層グラフェンに Li がインターカレートする過程を、低速電子顕微鏡を用いて *in-situ* 観察した。Li 原子をインターカレートするスピードを制御することにより、グラフェンにダメージをほとんど与えることなくインターカレートおよび脱離させることが明らかとなった。さらに、グラフェン層の積層構造に依存した Li のインターカレーションダイナミクスが観察され、積層構造の分布が Li インターカレーションにより変化することも明らかとなった。これららの結果は Li イオンバッテリーの高効率・長寿命化

に重要であるだけでなく、グラフェンの積層構造をマイクロに制御する新規手法に繋がる。(中国重慶大学との共同研究)

1.1.3 新しい装置・手法の開発

超高真空 SQUID の開発

超伝導に特異な物性は完全導電性(電気抵抗 0)と完全反磁性の二つがあり、その二つの測定をもって正式に超伝導と認定される。長年、本研究室では物質表面の電気伝導を超高真空中で in situ 測定してきており、表面数層の超伝導と思われる電気抵抗の特異な減少を発見しているが、その磁化率は測定することができなかった。そこで、電気伝導測定と同時に磁化率を in situ 測定することで表面の超伝導転移の詳細を調べることを目指し、既存の極低温超高真空マイクロ 4 端子電気伝導測定 (mK4PP) の改良を行っている。

測定に必要な磁気シールドの追加、超伝導量子干渉計 (SQUID) を用いた予備実験を完了した。予備実験では磁化率測定のダイナミックレンジが足りないこと、フラックスジャンプと呼ばれるピックアップコイル特有の測定磁場のずれがあり、これを防ぐ必要があることがわかった。そこでダイナミックレンジの拡張のためホール素子を追加、磁場のオフセット調節機構を作製し、それらと一体になったピックアップコイルの作成・組み込みを行った。今後はダイナミックレンジの確認、フラックスジャンプの起さない外部磁場範囲の確認などを行い、実際に冷却し、完全反磁性へ相転移する際の磁場の反転の確認を行う予定である。

スピン検出プローブの開発

スピンを利用する技術、スピントロニクスでは微細加工技術によって基板上にスピン流の生成回路と測定回路を作りこむ手法が主流であるが、この手法では微細加工で作成できる試料しか測定できず、トポロジカル絶縁体など特異なスピン伝導特性を持つことが期待される試料を測定できない。このため、本研究室では、AFM や STM、多端子プローバーに搭載でき、任意の場所でスピン流の生成・測定ができるスピンプローブの開発を行ってきた。本年度は、このプローブをさらに発展させ、スピン圧を直接測定できるプローブの設計を行った。現状の手法では、空間分解能とスピン分解能がトレードオフとなっているため、新たな機構を考案し、シミュレーションを行った。また、このプローブを用いて、グラフェン内でのスピン・電子輸送特性の研究を行うべく、山梨大学と共同で装置の開発に着手した。今後は、実際にプローブを作製し、本研究室および山梨大学白木研究室にある独立駆動型 4 探針 STM においてプローブの実証を行う。(山梨大学との共同研究)

今年度の研究は下記の研究費補助のもとで行われました。記して感謝いたします。

- ・日本学術振興会 科研費 基盤研究 A 「超高真空 SQUID による表面超構造超伝導のマイスナー効果の検出」(代表 長谷川修司)
- ・文部科学省 科研費 新学術領域研究 「トポロジックが紡ぐ物質科学のフロンティア」公募研究 「単層 2 次元トポロジカル結晶絶縁体の開発と、超伝導体との接合による協奏現象の探求」(代表 秋山了太)
- ・日本学術振興会 科研費 挑戦的研究(萌芽) 「水素修飾で実現する高転移温度を持つ原子層超伝導体」(代表 秋山了太)
- ・日本学術振興会 科研費 挑戦的研究(萌芽) 「スピン輸送現象の実空間その場観察手法の開発」(代表 保原麗)

<受賞>

- [1] 遠山晴子: “ *Superconductivity of Pb ultrathin film on Ge(111) surface* ”, The Young Scientist Award at The 4th Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials, Vladivostok, Russia, 2018 年 9 月.
- [2] 一ノ倉 聖: “ 分子線エピタキシーとその場での電子輸送測定を用いた 2 次元超伝導の開拓 ”, 第 13 回日本物理学会若手奨励賞(領域 9), 2019 年 3 月.

<報文>

(原著論文)

- [3] Y. Nakata, K. Sugawara, S. Ichinokura, Y. Okada, T. Hitosugi, T. Koretsune, S. Hasegawa, T. Sato, and T. Takahashi: *Observation of Anisotropic Band Splitting in Monolayer NbSe₂: Implications for Superconductivity and Charge Density Wave*, npj 2D Materials and Applications **2**, 12 (6pp) (May, 2018).
- [4] T. Hirahara and S. Hasegawa: *Comment on “ Quantum transport in the surface states of epitaxial Bi(111) thin films ”*, Phys. Rev. B **97**, 207401 (3pp) (May, 2018).
- [5] R. Akiyama, K. Sumida, S. Ichinokura, A. Kimura, K. Kokh, O. Tereshchenko, and S. Hasegawa: *Shubnikov-de Haas oscillations of p and n-type topological insulator (Bi_xSb_{1-x})₂Te₃*, J. Phys.: Cond. Matt. **30**, 265001 (8pp) (Jun, 2018).
- [6] Y. Endo, S. Ichinokura, R. Akiyama, A. Takayama, K. Sugawara, T. Takahashi, K. Nomura, and S. Hasegawa: *Weak localization in bilayer graphene with Li-intercalation/desorption*, J. Phys.: Cond. Matt., **30**, 305701 (7pp) (Jul, 2018).
- [7] Y. Shiomi, K. T. Yamamoto, R. Nakanishi, T. Nakamura, S. Ichinokura, R. Akiyama, S. Hasegawa, and E. Saitoh: *Efficient Edelstein effects in one-atom-layer Tl-Pb compound*, Appl. Phys. Lett. **113**, 052401 (4pp) (Aug, 2018).

- [8] T. Nakamura, H. Kim, S. Ichinokura, A. Takayama, A.V. Zotov, A.A. Saranin, Y. Hasegawa, and S. Hasegawa: *Unconventional Superconductivity in the single-atom-layer alloy Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -(Tl, Pb)*, Phys. Rev. B **98**, 134505 (6pp) (Oct, 2018) (Editors' suggestion).
- [9] H. Toyama, H. Huang, T. Nakamura, L. V. Bondarenko, A. Y. Tupchaya, D. V. Gruznev, A. Takayama, A. V. Zotov, A. A. Saranin, and S. Hasegawa: *Thickness dependence of surface structure and superconductivity in Pb atomic layers*, J. Phys. Soc. Japan **87**, 113601 (5pp)(Oct, 2018).
- [10] H. Toyama, H. Huang, T. Nakamura, L. V. Bondarenko, A. Y. Tupchaya, D. V. Gruznev, A. Takayama, A. V. Zotov, A. A. Saranin, and S. Hasegawa: *Superconductivity of Pb Ultrathin Film on Ge(111) Surface*, Defect and Diffusion Forum **386**, 80-85 (Sep, 2018) (Proceedings of The Fourth Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials, 23-28, 2018, Vladivostok, Russia),
- [11] T. Nakamura, A. Takayama, R. Hobar, D.V. Gruznev, A.V. Zotov, A.A. Saranin, S. Hasegawa: *Superconducting single-atomic-layer Tl-Pb compounds on Ge(111) and Si(111) surfaces*, Applied Surface Science **479**, 679-684 (Feb, 2019),
- [12] Di Fan, Rei Hobar, Ryota Akiyama, and Shuji Hasegawa: *Inverse Spin Hall Effect Induced by Asymmetric Illumination of Light on Topological Insulator Bi₂Se₃*, arXiv:1809.08063 (Sep, 2018).
- (総説)
- [13] S. Hasegawa: *Charge and Spin Transport on Surfaces and Atomic Layers Measured by Multi-Probe Techniques*, J. Phys.: Cond. Matt. **31**, 223001 (12pp) (Mar, 2019) (Topical Review),
- (国内雑誌)
- [14] 長谷川修司: 表面電子状態 タム・ショックレー状態からトポロジカル状態, 固体物理 **53**(11), 565-574 (Nov, 2018).
- (著書)
- [15] 長谷川修司: Part II, 第5章 多探針計測法, in 分子アーキテクトにクス 単分子技術が拓く新たな機能, 日本化学会編, 化学同人 (Dec, 2018) PP. 83-89.
- [16] S. Ichinokura and S. Hasegawa: *Chapter 6: Transport Measurement; Carrier Transport*, in Monatomic Two-Dimensional Layers, ed. I. Matsuda, (Elsevier, Jan, 2019) pp.159-197.
- (その他)
- [17] 長谷川修司 (インタビュー記事): 「学びのトレンド & 入試対策 BOOK 16 オの学び方改革」, ドリコムブック 2018, 日本ドリコム編 (Oct, 2018) pp. 66-67.
- [18] 長谷川修司: 学会誌の *Duality* (巻頭言), 日本物理学会誌 **73**(9), 615 (Sep, 2018).
- (学位論文)
- [19] Hongrui Huang: *Two-dimensional superconductivity induced by proximity effect at Pb/Ge(111) system* (修士論文).
- [20] 遠山晴子: 半導体表面上のPb系2次元構造とその超伝導伝導特性 (修士論文).
- [21] 宮内恵太: 原子層青リンにおける超伝導の探索 (修士論文).
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 招待講演
- [22] S. Hasegawa: *Dissipationless currents at atomic layers*, 2018 International Conference on Nanoscience + Technology (ICN+T 2018), 2018年7月26日, Brno (Czech).
- [23] S. Hasegawa: *Atomic-Layer Superconductors and Topological Superconductors*, The 3rd Asia-Pacific Symposium on Solid Surfaces (APSSS-3), 2018年8月21日, Pohang (Korea).
- [24] S. Hasegawa: *Dissipationless currents at atomic layers*, The 3rd International Workshop on Charge transport with multi-tip STM Techniques, 2018年9月19日, Julich, Germany.
- [25] S. Hasegawa: *Dissipationless currents at atomic layers*, 2018 Workshop of Max Planck-UBC-UTokyo Centre of Quantum Materials, 2018年12月11日, 東京大学 (本郷).
- 一般講演
- [26] R. Akiyama, R. Nakanishi, K. Watanabe, and S. Hasegawa: *2-dimensional superconductivity in SnTe on Bi/Si(111)*, New Trend of Topological Insulator 2018, 2018年7月18日, Luxembourg.
- [27] H. Toyama, H. Huang, T. Nakamura, L.V. Bondarenko; A.Y. Tupchaya; D.V. Gruznev; A. Takayama; A.V. Zotov; A.A. Saranin; S. Hasegawa: *Superconductivity of Pb ultrathin film on Ge(111) surface* (Young Scientist Award), The 4th Asian School-Conference on Nanostructured Materials (ASCO-NANOMAT 20183), 2018年9月24日, Vladivostok (Russia).
- [28] H. Huang, H. Toyama, T. Nakamura, L. V. Bondarenko, A.Y. Tupchaya, D.V. Gruznev, A. Takayama, A.V. Zotov, A.A. Saranin and S. Hasegawa: *Two-dimensional superconductivity on SIC phase of Pb/Ge(111) studied by in situ transport measurement*, The 3rd Asia-Pacific Symposium on Solid Surfaces (APSSS-3), 2018年8月21日, Pohang (Korea).

- [29] H. Huang: *Superconductivity induced by proximity effect on the SIC phase of Pb/Ge(111)*, The University of Tokyo - Tsinghua University Joint Symposium on Physics and Materials, 2018年7月20日, 東京大学(本郷).
- [30] D. Fan, R. Hobar, R. Akiyama, and S. Hasegawa: *Photoinduced Inverse spin Hall effect on topological insulator Bi₂Se₃*, The University of Tokyo - Tsinghua University Joint Symposium on Physics and Materials, 2018年7月20日, 東京大学(本郷).
- [31] S. Hasegawa: *Dissipationless currents at atomic layers*, The University of Tokyo - Tsinghua University Joint Symposium on Physics and Materials, 2018年7月20日, 東京大学(本郷).
- [32] K. Watanabe, R. Ishikawa, R. Akiyama, K. Akutsu, K. Iida, S. Kuroda, and S. Hasegawa: *Observation of the ferromagnetic proximity effect at an interface of Fe/SnTe heterostructure by polarized neutron reflectometry*, 2018 Workshop of Max Planck-UBC-UTokyo Centre for Quantum Materials, 2018年12月10日, 東京大学(本郷).
- [33] D. Fan, R. Hobar, R. Akiyama, and S. Hasegawa: *Inverse spin hall Effect induced by asymmetric illumination on topological insulator Bi₂Se₃*, 2018 Workshop of Max Planck-UBC-UTokyo Centre for Quantum Materials, 2018年12月10日, 東京大学(本郷).
- [34] R. Nakanishi, T. Takashiro, R. Hobar, R. Akiyama, S. Hasegawa, A. V. Matetskiy, A. V. Zotov, A. A. Saranin, T. Hirahara, T. Shirasawa, K. Miyamoto, T. Okuda, S. Kimura, S. V. Eremeev, and E. V. Chulkov: *Dissipation-less currents at atomic/Molecular layers*, Symposium on Surface and Nano Sciences 2019, 2019年1月16日, 栗石(岩手).
- [35] Y. Endo, Y. Fukaya, I. Mochizuki, A. Takayama, T. Hyodo and S. Hasegawa: *Structure analysis of Ca-intercalated bilayer graphene by total-reflection high-energy positron diffraction*, 1 and 2DM Conference and Exhibition, 東京ビックサイト, 2019年1月30日.
- [36] T. Takashiro, R. Akiyama, I. A. Kibrev, A. V. Matetskiy, H. Toyama, A. V. Zotov, A. A. Saranin, and S. Hasegawa: *Fabrication and Evaluation of Magnetic Topological Insulator Heterostructure MnTe/(Bi_{1-x}Sb_x)₂Te₃*, Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems, Kashiwanoha Campus Station Satellite, 東京大学(柏), 2019年2月19日
- (国内会議)
- 招待講演
- [37] 秋山了太: トポロジカル結晶絶縁体の電子物性評価とその応用、ISSP ワークショップ・スピン軌道強結合伝導系におけるサイエンスの新展開、2018年11月12日、東京大学物性研究所.
- 一般講演
- [38] 宮内恵太、秋山了太、中西亮介、遠藤由大、長谷川修司: 新奇層状物質青リンの Au(111) へのエビタキシャル成長とその電気伝導特性評価、日本表面科学会第3回関東支部講演大会、東京工業大学(2018年4月7日)
- [39] 遠藤由大、一ノ倉聖、深谷有喜、望月出海、高山あかり、秋山了太、菅原克明、高橋隆、兵頭俊夫、Z. Wei, W. X. Tang、長谷川修司: 2層グラフェンへの金属原子のインターカレーション、第9回分子アーキテクトニクス研究会、函館(北海道)、2018年11月2日.
- [40] 遠藤由大、深谷有喜、望月出海、高山あかり、兵頭俊夫、長谷川修司: 陽電子回折で明らかにする2次元超伝導体の構造、SATテクノロジー・ショーケース2019、つくば国際会議場(茨城)、2019年1月29日
- [41] 高城拓也、秋山了太、I. A. Kibrev, A. V. Matetskiy, 遠山晴子, A. V. Zotov, A. A. Saranin, 長谷川修司: *Fabrication and Evaluation of Magnetic Topological Insulator Heterostructure MnTe/(Bi_{1-x}Sb_x)₂Te₃*, 第10回低温センター研究交流会、小柴ホール(東京大学)、2019年2月22日.
- [42] 宮内恵太、秋山了太、中西亮介、遠藤由大、長谷川修司: 新奇層状物質青リンの Au(111) へのエビタキシャル成長とその電気伝導特性評価、日本表面科学会第3回関東支部講演大会、東京工業大学(大岡山キャンパス)、2018年4月7日.
- 日本物理学会 2018 秋季大会、2018年9月9日-12日(同志社大学 京田辺キャンパス)
- [43] 渡邊和己、石川諒、秋山了太、阿久津和宏、飯田一樹、黒田真司、長谷川修司: 偏極中性子反射率法を用いた Fe/SnTe ヘテロ構造界面における強磁性近接効果の観測、2018年9月9日.
- [44] SP Liu, Y Takeuchi, JL Wang, R Akiyama, S Hasegawa: *Bose-metal behavior in epitaxial FeSe thin films grown on SrTiO₃*, 2018年9月9日.
- [45] 遠山晴子, H. Huang, 中村友謙, L. V. Bondarenko, A. Y. Tupchaya, D. V. Gruznev, 高山あかり, A.V. Zotov, A.A. Saranin, 長谷川修司: Ge(111) 基板上 Pb の 2次元構造と超伝導特性, 2018年9月12日.
- [46] 大塚洋一, 石川真理代, 市原光太郎, 一宮彪彦, 井通暁, 海老崎功, 右近修治, 川村康文, 岸澤眞一, 毛塚博史, 小牧研一郎, 近藤泰洋, 櫻井一充, 下田正, 真梶克彦, 末元徹, 鈴木功, 瀬川勇三郎, 武士敬一, 遠山潤志, 長谷川修司, 林壮一, 深津晋, 松本益明, 松本悠, 味野道信: 物理チャレンジ 2018 報告: III 第2チャレンジ実験問題, 2018年9月11日.
- [47] 加藤岳生, 田中忠芳, 杉山忠男, 中屋敷勉, 松本益明, 真梶克彦, 江馬英信, 荒船次郎, 上杉智子, 大原仁, 興治文子, 金子朋史, 川村清, 東辻浩夫, 波田野彰, 吉田弘幸, 江尻有郷, 毛塚博史, 呉屋博, 近藤泰洋, 佐藤誠, 鈴木功, 並木雅俊, 長谷川修司, 光岡薫, 高羽悠樹, 福澤昂汰, 吉田智治, 高橋拓豊, 林優依, 榎優一, 大森亮, 森田悠介, 松元観一, 佐藤遼太郎, 杉山清寛, 山中千博, 佐藤朗, 北原和夫: 第49回国際物理オリンピック報告, 2018年9月11日.

[48] 並木雅俊, 佐藤誠, 中屋敷勉, 近藤一史, 長谷川修司, 毛塚博史, 田中忠芳, 鍵山茂徳, 江尻有郷: グローバル時代に対応した物理教育コンテンツの研究開発 IX. IPhO 光学実験, 2018 年 9 月 11 日.

● 日本物理学会 第 74 回年次大会, 2019 年 3 月 14 日-17 日 (九州大学 伊都キャンパス)

[49] 渡邊和己, 中西亮介, 秋山了太, 福居直哉, 豊田良順, 西原寛, 長谷川修司: In/SnTe/Bi(111) 構造における二次元超伝導の観測, 2019 年 3 月 14 日.

[50] 宮内恵太, 秋山了太, 保原麗, 長谷川修司: Au/CuSi/Si(111) テンプレート上における原子層青リンの結晶成長とその評価, 2019 年 3 月 14 日.

[51] 遠山晴子, 中村友謙, 田中宏明, L. V. Bondarenko, A. Y. Tupchaya, D. V. Gruznev, 保原麗, 秋山了太, A. V. Zotov, A. A. Saranin, 長谷川修司: Si(111) 上の (Pb,Au) 表面合金層の構造と伝導特性, 2019 年 3 月 14 日.

[52] 遠藤由大, 深谷有喜, 望月出海, 高山あかり, 兵頭俊夫, 長谷川修司: Ca インターカレート 2 層グラフェン/SiC の構造: 全反射高速陽電子回折, 2019 年 3 月 15 日.

[53] H. Huang, F. Di, 秋山了太, 長谷川修司: *Growth and transport measurements of SnSe₂ thin films on Si(111) substrate*, 2019 年 3 月 14 日.

[54] 高城拓也, 秋山了太, I. A. Kibirev, A. V. Matetskii, 遠山晴子, A. V. Zotov, A. A. Saranin, 長谷川修司: 磁性トポロジカル絶縁体ヘテロ構造 MnTe/(Bi_{1-x},Sb_x)₂Te₃ の作製とその評価, 2019 年 3 月 17 日.

[55] 並木雅俊, 佐藤誠, 中屋敷勉, 近藤一史, 長谷川修司, 毛塚博史, 田中忠芳, 鍵山茂徳, 江尻有郷: グローバル時代に対応した物理教育コンテンツの研究開発 X. 物理実験教育の要旨, 2019 年 3 月 15 日

[56] 加藤岳生, 田中忠芳, 杉山忠男, 中屋敷勉, 松本益明, 真梶克彦, 江馬英信, 荒船次郎, 上杉智子, 大原仁, 興治文子, 金子朋史, 川村清, 東辻浩夫, 波田野彰, 吉田弘幸, 江尻有郷, 毛塚博史, 呉屋博, 近藤泰洋, 佐藤誠, 鈴木功, 並木雅俊, 長谷川修司, 光岡薫, 高羽悠樹, 福澤昂汰, 吉田智治, 高橋拓豊, 林優依, 榎優一, 大森亮, 森田悠介, 松元叡一, 佐藤遼太郎, 杉山清寛, 山中千博, 佐藤朗, 北原和夫: 国際物理オリンピックに向けた研修・派遣活動の紹介, 2019 年 3 月 15 日.

(セミナー)

[57] 長谷川修司: 表面物理学とトポロジカル物質, 名古屋大学工学研究科応用物理学専攻応・応用物理学談話会, 2018 年 11 月 12 日, 名古屋大学.

(講義等)

[58] 長谷川修司: 表面物理学とトポロジカル物質への応用, 名古屋大学工学研究科応用物理学専攻応用物理学特論・工学部物理工学科応用物理学特別講義 (集中講義), 2018 年 11 月 12-14 日, 名古屋大学.

[59] 長谷川修司: 初年次ゼミナール「世の中を変えた物理」(学部 1 年生), 2018 年度夏学期 (駒場).

[60] 長谷川修司, 秋山了太, 渡邊和己 (TA), 高城拓也 (TA): 物理学実験 I (3 年生) 電子回折, 2018 年度冬学期 (本郷).

(アウトリーチ)

[61] 長谷川修司: ノーベル賞は遠くない - ナノサイエンスを例にして -, 平成 30 年度鳥取県高校生理数課題研究等発表会, 2019 年 2 月 17 日, 米子コンベンションセンター (鳥取).

[62] 長谷川修司: 物理オリンピック日本委員会プレチャレンジ, 2019 年 3 月 24 日, 大阪大学 (豊中キャンパス): 2019 年 3 月 21 日, 栃木県立大田原高校 (栃木): 2019 年 3 月 9 日, 洗足学園中学高等学校 (神奈川): 2019 年 2 月 2 日, 栃木県立宇都宮女子高等学校 (栃木): 2018 年 6 月 10 日, 茨城県立水戸第一高等学校 (茨城).

[63] オープンキャンパス研究室公開 「表面的でない表面物理学」, 2018 年 8 月 2 日, 理学部 1 号館 B101 号室 (東京大学)

[64] 模擬授業および研究室見学受入 福岡県立戸畑高等学校, 2018 年 12 月 19 日: 群馬県立前橋高等学校, 2018 年 11 月 6 日: 栃木県立宇都宮高等学校, 2018 年 11 月 27 日: 茨城県立土浦第一高等学校, 2018 年 8 月 9 日: 神奈川県立湘南高等学校, 2018 年 8 月 1 日: 茨城県立竹園高等学校, 2017 年 8 月 1 日.

1 Hasegawa Group

Research Subject: Experimental Surface/Nano Physics

Members: Shuji HASEGAWA and Ryota AKIYAMA

Surfaces/interfaces of materials and atomic-layer materials are platforms of our research where rich physics is expected due to the low-dimensionality, symmetry breakdown, a wide variety of structures, and direct access for measurements. (1) Electronic/spin/mass transports including superconductivity, (2) atomic/electronic structures, (3) phase transitions, (4) spin states and spintronics, and (5) epitaxial growths of coherent atomic/molecular layers/wires on surfaces of metals, semiconductors, topological insulators, and nano-scale phases such as surface superstructures, ultra-thin films including atomic-layer materials such as graphene and transition metal dichalcogenides. We use various kinds of ultrahigh-vacuum experimental techniques, such as electron diffraction, scanning electron microscopy(SEM), scanning tunneling microscopy/spectroscopy (STM/S), photoemission spectroscopy(PES), *in-situ* four-point-probe conductivity measurements with four-tip STM and monolithic micro-four-point probes, and surface magneto-optical effects apparatuses. Main results in this year are as follows.

(1) Surface electronic/spin transports:

- Interface superconductivity at topological crystalline insulator/trivial semimetal junction
- Anomalous Hall effect at interface between topological insulator and ferromagnetic insulator
- 2D superconductivity at monolayer alloy metallic surface superstructures and by proximity effect
- Spin injection by circularly polarized light irradiation on topological insulators
- Superconducting Graphene with intercalation
- CDW and transport at transition metal dichalcogenides

(2) Surface phases and atomic-layer materials:

- Epitaxial growth of blue Phosphor atomic layers
- Structure dynamics of Ca-intercalated bilayer graphene observed by low-energy-electron microscopy

(3) New methods:

- Fabrication of UHV-SQUID system to detect Meissner effect of atomic-layer superconductors
- Fabrication of a pure-spin-current injection/detection probe

- [1] Y. Nakata, K. Sugawara, S. Ichinokura, Y. Okada, T. Hitosugi, T. Koretsune, S. Hasegawa, T. Sato, and T. Takahashi: *Observation of Anisotropic Band Splitting in Monolayer NbSe₂: Implications for Superconductivity and Charge Density Wave*, npj 2D Materials and Applications **2**, 12 (6pp) (May, 2018).
- [2] T. Hirahara and S. Hasegawa: *Comment on " Quantum transport in the surface states of epitaxial Bi(111) thin films "*, Phys. Rev. B **97**, 207401 (3pp) (May, 2018).
- [3] R. Akiyama, K. Sumida, S. Ichinokura, A. Kimura, K. Kokh, O. Tereshchenko, and S. Hasegawa: *Shubnikov-de Haas oscillations of p and n-type topological insulator (Bi_xSb_{1-x})₂Te₃*, J. Phys.: Cond. Matt. **30**, 265001 (8pp) (Jun, 2018).
- [4] Y. Endo, S. Ichinokura, R. Akiyama, A. Takayama, K. Sugawara, T. Takahashi, K. Nomura, and S. Hasegawa: *Weak localization in bilayer graphene with Li-intercalation/desorption*, J. Phys.: Cond. Matt. **30**, 305701 (7pp) (Jul, 2018).
- [5] Y. Shiomi, K. T. Yamamoto, R. Nakanishi, T. Nakamura, S. Ichinokura, R. Akiyama, S. Hasegawa, and E. Saitoh: *Efficient Edelstein effects in one-atom-layer Tl-Pb compound*, Appl. Phys. Lett. **113**, 052401 (4pp) (Aug, 2018).
- [6] T. Nakamura, H. Kim, S. Ichinokura, A. Takayama, A.V. Zotov, A.A. Saranin, Y. Hasegawa, and S. Hasegawa: *Unconventional Superconductivity in the single-atom-layer alloy Si(111)- $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -(Tl, Pb)*, Phys. Rev. B **98**, 134505 (6pp) (Oct, 2018) (Editors • suggestion).
- [7] H. Toyama, H. Huang, T. Nakamura, L. V. Bondarenko, A. Y. Tupchaya, D. V. Gruznev, A. Takayama, A. V. Zotov, A. A. Saranin, and S. Hasegawa: *Thickness dependence of surface structure and superconductivity in Pb atomic layers*, J. Phys. Soc. Japan **87**, 113601 (5pp)(Oct, 2018).

- [8] H. Toyama, H. Huang, T. Nakamura, L. V. Bondarenko, A. Y. Tupchaya, D. V. Gruznev, A. Takayama, A. V. Zotov, A. A. Saranin, and S. Hasegawa: *Superconductivity of Pb Ultrathin Film on Ge(111) Surface*, Defect and Diffusion Forum **386**, 80-85 (Sep, 2018).
- [9] T. Nakamura, A. Takayama, R. Hobara, D.V. Gruznev, A.V. Zotov, A.A. Saranin, S. Hasegawa: *Superconducting single-atomic-layer Tl-Pb compounds on Ge(111) and Si(111) surfaces*, Applied Surface Science **479**, 679-684 (Feb, 2019).
- [10] S. Hasegawa: *Charge and Spin Transport on Surfaces and Atomic Layers Measured by Multi-Probe Techniques*, J. Phys.: Cond. Matt. **31**, 223001 (12pp) (Mar, 2019) (Topical Review).
- [11] S. Ichinokura and S. Hasegawa: *Chapter 6: Transport Measurement; Carrier Transport*, in Monatomic Two-Dimensional Layers, ed. I. Matsuda, (Elsevier, Jan, 2019) pp.159-197.