

名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻
エネルギー材料工学講座

エネルギーナノ物質創製グループ

柚原 淳司 (准教授)

博士後期課程 1 名、博士前期課程 2 名、学部1名 (2023 年度の実績)

研究分野と研究方針

【概要】

IoT 社会の実現のためにはエレクトロニクスの省エネルギー化は必須要素である。消費電力を大幅に低減させるためには、これまでのトップダウンによる LSI 微細加工技術に代わる新しい発想に基づくナノデバイスの開発とそれを支えるナノ材料や原子層物質等の素材開発が必要不可欠である。本研究グループでは、新たなナノマテリアル、特に、ポストグラフェン物質の有力な候補とされる二次元 14 族ハニカムナノシートの創製と構造・物性評価を精力的に行っている。また、金属酸化物からなる準結晶、近似結晶、準結晶関連構造等の酸化物ハイパーマテリアル超薄膜の創製と構造解明を行い、機能開拓を目指した研究を行なっている。

【キーワード】

表面科学、新素材、低次元材料、高次元材料、14 族ポストグラフェン、ゲルマネン、スタネン、プランベン、ハイパーマテリアル、準結晶、近似結晶、金属酸化物、超薄膜、走査型トンネル顕微鏡、低速電子回折、光電子分光、放射光、第一原理計算

【主な研究と内容】

・低次元材料(14 族ポストグラフェン)の創製と評価

ゲルマネン、スタネン、プランベンを初めとするポストグラフェン物質や二次元合金の創製と結晶構造、物性評価を行い、省エネルギーのための新素材の開発を目指している。

・高次元材料(ハイパーマテリアル)の創製と評価

最近発見された金属酸化物からなる準結晶の創製と結晶構造を解明するとともにエネルギー機能材料への応用を視野に入れた希土類酸化物準結晶の創製を目指している。

＜招待講演＞

- 1) J. Yuhara, “Epitaxial Growth of Group 14 Post-graphene by Deposition and Segregation”, International Conference on Materials for Advanced Technologies 2023, Suntec, Singapore (June 26th - July 1st, 2023) (
- 2) J. Yuhara, “Growth and structure of ultra-thin oxide quasicrystal film and its crystalline approximant on Pt(111)”, Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2023, Nagoya, Japan (Oct. 31st – Nov. 2nd, 2023)
- 3) J. Yuhara, “Growth of germanene, stanene, and plumbene on metal surface”, TPS 2024 Annual Meeting, Taoyuan, Taiwan (Jan. 23rd – Jan. 26th, 2024)

- 4) 柚原淳司、「14 族元素からなるポストグラフェン物質の創出に向けて」、物性研短期研究会「物質科学シミュレーションと先端実験のデータ連携」 (2024年2月)
- 5) 柚原淳司、「14 族ポストグラフェンの創製と構造解析」、第 71 回応用物理学会 2024 年春季学術講演会 シンポジウム: Beyond Graphene (2024 年 3 月 東京都市大学)

<受賞>

- 1) 李、柚原淳司、「Pt(111)基板上の X-Ti-O (X=Ce,Yb)準結晶関連構造超薄膜の創製と構造評価」、日本物理学会 2023 年秋季大会 (2023 年 9 月 東北大学) (学生優秀発表賞)
- 2) 川合康佑、賀邦傑、柚原淳司、仲武昌史、高倉将一、Guy Le Lay、「Pd(111)表面上におけるプランベンの電子状態」、第 23 回日本表面真空学会中部支部学術講演会 (2023年12月) (講演奨励賞)

2023 年度の研究・教育の概要

【研究背景と内容】

1) 14 族ポストグラフェン

単原子層材料としてよく知られているグラフェンは、電気伝導性が高く、また、曲げなどに対して頑丈といった特徴があるが、電気伝導性の制御が難しかった。そこで、グラフェンの結晶構造を維持したまま、グラフェンを構成している炭素元素を周期律表で同族元素であるシリコン、ゲルマニウム、スズ、鉛原子に置き換えた物質を創製する研究が注目されている。当研究室では、2015 年度から 14 族ポストグラフェン物質の創製研究を行なっている。2017 年に Ag(111)単結晶表面を表面合金化することで平面スタネンの創製、2018 年には表面偏析法により高品質大面積のゲルマネンの創製、2019 年には Pd(111)単結晶表面上にプランベンの創製、2020 年にはスタネンとゲルマネンの面内ヘテロ構造の創製に成功している。最近は、Ag(110)薄膜表面上に偏析したゲルマニウムからなるナノリボンの創製や Al(111) 薄膜表面においても表面偏析法によりゲルマネンが創製できることを明らかにしている。さらには、Pd(111)単結晶表面を表面合金化することでスタネンの創製に成功している。今年度は、Ag-Al 合金(111) 薄膜表面においても表面偏析法によりゲルマネンが創製できることを明らかにしている。

2) ハイパーマテリアル

2013 年、Pt(111)表面上において Ba-Ti-O 超薄膜が準結晶が形成されることが発見された。その後、Ba-Ti-O 系超薄膜は、近似結晶が存在することも判明し、走査型トンネル顕微鏡により四角形タイルおよび三角形タイルの格子点から構成されていることが判明している。本研究室では、様々な組成および原子密度の Ba-O 系超薄膜にチタンを真空蒸着する2段階作製法により、Pt(111)表面上に様々な組成と表面原子密度の Ba-Ti-O 超薄膜を作製し、その結晶構造を系統的に調べた。その結果、Ba-Ti-O 系超薄膜準結晶のチタン原子密度は、Ba-Ti-O 系超薄膜近似結晶と比較して、大いに減少することを表面敏感なオージェ電子分光および X 線光電子分光により明らかにした。本研究室では、タイルの格子点にバリウム原子を配置し、チタンおよび酸素原子はバリウムとの化学組成比を考慮し、また、各元素の化学結合状態を踏まえて、全ての実験結果と矛盾のない近

似結晶および準結晶のクラスター幾何構造モデルを提案した。今年度は、Ce-Ti-O 系超薄膜において準結晶関連構造の創製に成功し、化学組成比や表面原子密度を明らかにし、準結晶関連構造の主たるクラスターの幾何構造モデルを決定した。

【本年度の研究成果発表の概要】

	国内会議発表	国際会議発表	国際会議予稿	学術論文
教員	2	6	6	2
学生	7	2	5	1

1) 国際会議発表

- 6) J. Yuhara, “Epitaxial Growth of Group 14 Post-graphene by Deposition and Segregation”, International Conference on Materials for Advanced Technologies 2023, Suntec, Singapore (June 26th - July 1st, 2023) (招待講演)
- 7) Xu Li, Lap Hong Chan, Wolf Widdra, Shoichi Takakura, Masashi Nakatake, Tsunetomo Yamada, Ryuji Tamura, Junji Yuhara, Hypermaterial of ultrathin Ce-Ti-O film on Pt(111), International conference on complex orders 2023, Evian, France (Sep. 23rd – Sep. 30th, 2023)
- 8) Xu Li, Keito Horiba, Ryoichi Sugiura, Tomoaki Yamada, Junji Yuhara, Oxide crystalline approximant and quasicrystal of ultrathin Ba-Ti-O films on Pt(111), International conference on complex orders 2023, Evian, France (Sep. 23rd – Sep. 30th, 2023)
- 9) J. Yuhara, “Growth and structure of ultra-thin oxide quasicrystal film and its crystalline approximant on Pt(111)”, Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2023, Nagoya, Japan (Oct. 31st – Nov. 2nd, 2023) (招待講演)
- 10) Xu Li, Lap Hong Chan, Sho-ichi Takakura, Masashi Nakatake, Tsunetomo Yamada, Ryuji Tamura, Junji Yuhara, "Growth of oxide quasicrystal-related structures of ultrathin Ce-Ti-O films on Pt(111)", Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2023, Nagoya, Japan (Oct. 31st – Nov. 2nd, 2023)
- 11) Seiya Suzuki, Daiki Katsube, Masahiro Yano, Yasutaka Tsuda, Tomo-o Terasawa, Hidehito Asaoka, Junji Yuhara, Akitaka Yoshigoe, “Effects of the ultra-high vacuum heating on oxidized germanene”, Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2023, Nagoya, Japan (Oct. 31st – Nov. 2nd, 2023)
- 12) Hiroki Hibino, Akio Ohta, Hiroyuki Kageshima, and Junji Yuhara “Growth mechanism and vibrational properties of germanene fabricated through Ge segregation”, Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2023, Nagoya, Japan (Oct. 31st – Nov. 2nd, 2023)
- 13) J. Yuhara, B. He, N. Matsunami, M. Nakatake, G. Le Lay, Epitaxial Growth of Plumbene on Pd(111), The 31st International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM31), Tokyo, Japan (Dec. 7th – Dec. 8th, 2023)
- 14) J. Yuhara, “Formation of Germanene using Atomic Segregation Epitaxy”, International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices in Winter 2024, Furano, Japan (Jan. 17th – Jan. 20th, 2024)
- 15) J. Yuhara, “Growth of germanene, stanene, and plumbene on metal surface”, TPS 2024 Annual Meeting, Taoyuan, Taiwan (Jan. 23rd – Jan. 26th, 2024) (招待講演)
- 16) J. Yuhara, T. Ogikubo, H. Shimazu, Y. Fujii, A. Ohta, M. Araidai, M. Kurosawa, G. Le Lay, “Continuous growth of germanene and stanene lateral heterostructures on Ag(111)”, 36th Symposium on Surface Science 2024 (3S'24), St. Christoph am Arlberg, Austria (March 10th – Jan. 15^h, 2024)

2) 国内会議発表

- 3) 李、柚原淳司、「Pt(111)基板上の X-Ti-O (X=Ce,Yb)準結晶関連構造超薄膜の創製と構造評価」、日本物理学会 2023 年秋季大会 (2023 年 9 月 東北大学) (学生優秀発表賞)
- 4) 大野誠貴、大田晃生、宮崎誠一、高倉将一、仲武昌史、Marco Minissale、Thierry Angot、Guy Le Lay、柚原淳司、「Au(111)薄膜表面上に偏析したゲルマネンの構造転移」、日本物理学会 2023 年秋季大会 (2023 年 9 月 東北大学)

- 5) 李 旭、陳立航、高倉将一、仲武昌史、山田 庸公、田村 隆治、柚原 淳司、「Pt(111)表面上の Ce-Ti-O 酸化物準結晶関連構造超薄膜の創製と構造評価」、第 17 回物性科学領域横断研究会 (2023 年 11 月 名古屋工業大学)
- 6) 王 赫、李 旭、柚原 淳司、「Rh(111)表面上の Yb-Ti-O 超構造の創製と構造評価」、2023 年日本表面真空学会中部支部学術講演会 (2023年12月)
- 7) 川合康佑、賀邦傑、柚原淳司、仲武昌史、高倉将一、Guy Le Lay、「Pd(111)表面上におけるプランベンの電子状態」、第 23 回日本表面真空学会中部支部学術講演会 (2023年12月) (講演奨励賞)
- 8) 大野誠貴、大田晃生、宮崎誠一、高倉将一、仲武昌史、Marco Minissale、Thierry Angot、Guy Le Lay、柚原淳司、「Au(111)薄膜表面上に偏析したゲルマネンの構造転移」、第 13 回名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム、(2024年1月)
- 9) 柚原淳司、「14 族元素からなるポストグラフェン物質の創出に向けて」、物性研短期研究会「物質科学シミュレーションと先端実験のデータ連携」 (2024年2月) (招待講演)
- 10) 李旭、馬偉亮、Emilie Gaudry、柚原淳司、「Pt/Sapphire(0001)表面上の Ce-Ti-O 準結晶関連超薄膜の構造解明」、日本物理学会 2024 年春季大会 (2024 年 3 月 オンライン)
- 11) 柚原淳司、「14 族ポストグラフェンの創製と構造解析」、第 71 回応用物理学会 2024 年春季学術講演会 シンポジウム: Beyond Graphene (2024 年 3 月 東京都市大学) (招待講演)

本年度の卒業論文・修士論文・博士論文のタイトル

【卒業論文】

後ほど公表予定

【修士論文】

後ほど公表予定

その他・特記事項

1) 外部資金の獲得状況

- ① 研究種目: 基盤研究(B) 期間: 令和6年度～令和8年度 (R6.2.28 内定通知)
研究課題: 「14 族二次元物質の面内ヘテロ構造の創製と電子構造」
役割: 研究代表者
- ② 研究種目: 学術変革領域研究(B) 期間: 令和6年度～令和8年度 (R6.2.28 内定通知)
研究課題: 「14 族ナノシート科学」
役割: 研究分担者
- ③ 研究種目 2023 年度第2回外国人 PI 招へい事業(高等研究院) 期間 2023年度(4ヶ月)
相手国 フランス共和国(エクス＝マルセイユ大学、G. Le Lay 名誉教授)
役割 受入研究者
- ④ 研究種目: 基盤研究(B) 期間: 令和5年度～令和7年度
研究課題: 「単層ゲルマネンの水素化による安定なハンドリング用中間体の開発」
役割: 研究分担者
- ⑤ 研究種目: 新学術研究(公募研究) 期間: 令和4年度～令和6年度
研究課題: 「希土類酸化物ハイパーマテリアルの創製と機能開拓」

役 割 : 研究代表者

- ⑥ 研究種目: 基盤研究(B)一般 期間: 令和4年度～令和6年度
研究課題: 「ゲルマニウム二次元結晶のヘテロ構造形成と電子物性制御」
役 割 : 研究分担者

- ⑦ 研究種目: 基盤研究(C)一般 期間: 令和3年度～令和5年度
研究課題: 「プランベニ -創製と機能開拓-」
役 割 : 研究代表者

- ⑧ 研究種目 2023 年 スズキ財団 研究助成 助成金額 220万円
「希土類酸化物準結晶の創製と機能創出」
役 割 : 研究代表者

2) 専門書の出版

- 1) 特集号「ハイパーマテリアル」、
トピックス「金属酸化物からなるハイパーマテリアル超薄膜の創製」執筆 (2021 年 11 月発刊)
発行元: 固体物理(アグネ技術センター)
- 3) グラフェンから広がる二次元物質の新技术と応用 -世界の動向、CVD 合成、転写積層、量子物性、センサ・デバイス、THz 応用-
発刊: 2020 年3月、B5 版 558 頁、分担執筆: 柚原 淳司(第6章11節担当)
発行元: 株式会社エヌ・ティー・エス
- 4) ポストグラフェン材料の創製と用途開発最前線 ～構造解析、評価、創製から合成、応用展開まで～
発刊: 2020 年4月、B5 版 37 項目、448 頁、監修: 柚原 淳司、執筆者: 柚原 淳司他 50 名
発行元: 株式会社エヌ・ティー・エス

3) 公開動画(YouTube)

- 「わからないから面白い！ハイパーマテリアルってなに？」
「分からないから面白い！ハイパーマテリアルってなに？Ⅱ<クラスター編>」
「分からないから面白い！ハイパーマテリアルってなに？Ⅳ<物性篇>」