

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

エネルギー機能材料・表面ナノ構造創製グループ

柚原淳司 (准教授)

博士後期課程0名、博士前期課程3名、学部1名 (2021 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てい二次元 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。さらに、今年度からハイパーマテリアルの創製研究を再開した。金属酸化物の準結晶および近似結晶の創製、構造解明、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の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。

2021 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。最近では、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。

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 系準結晶超薄膜のチタン原子密度は、Ba-Ti-O 系近似結晶超薄膜と比較して、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幾何構造モデルを提案した。

【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	1	1	1	6
学生	2	1	1	1

1) 招待講演

日本表面真空学会

東北・北海道支部 関東支部合同セミナー「先端的試料作製技術～原子層物質～」

講演題目：「14 族元素からなるハチの巣格子状二次元物質の作製技術」

2) 学術論文(近年発表した主たる論文)

・14 族ポストグラフェン関連

- 1) J. Yuhara *et al*, *2D materials* 8, 045039 (2021). (IF = 7.103)
- 2) J. Yuhara *et al*, *Phys. Rev. Mater.* 5, 053403 (2021) (IF = 3.989)
- 3) J. Yuhara *et al*, *Appl. Surf. Sci.* 550, 149236 (2021) (IF = 5.270)
- 4) J. Yuhara, Guy Le Lay, *Jpn. J. Appl. Phys.* 59, SN0801 (2020) (IF = 1.376)
- 5) W. Pang, J. Yuhara *et al*, *Appl. Surf. Sci.* 517, 146224 (2020) (IF = 5.270)

- 6) T. Ogikubo and J. Yuhara *et al*, *Adv. Mater. Int.*, 7, 1902132 (2020) (IF = 4.948)
- 7) J. Yuhara *et al*, *J. Phys. Chem. C* 123, 22293 (2019) (IF = 4.189)
- 8) J. Yuhara *et al*, *Advanced Materials* 31, 1901017 (2019) (IF = 27.399)
- 9) J. Yuhara *et al*, *ACS Nano* 12, 11632 (2018) (IF = 14.588)
- 10) J. Yuhara *et al*, *2D Materials* 5, 025002 (2018) (IF = 7.140)
- ・ハイパーマテリアル関連
- 1) X. Li, J. Yuhara *et al*, *Appl. Surf. Sci.* 561, 150099 (2021) (IF = 5.270)
- 2) J. Yuhara *et al*, *Phys. Rev. Mater.* 4, 103402 (2020) (IF = 3.989)

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】

- ・NiAl(110)上に形成するアルミナ超薄膜表面上の Sn 超薄膜の創製
- ・Pt(111)表面上の酸化物準結晶及び近似結晶 X-Ti-O(X=Ba,Ce)薄膜の創製と構造解明

その他・特記事項

1) 専門書の出版

特集号「ハイパーマテリアル」、雑誌 固体物理(アグネ技術センター)
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」(2021 年 11 月発刊)

2) 外部資金の獲得状況

- ① 研究種目:新学術研究(公募研究) 期間:令和2年度～令和3年度 研究経費:845万円
研究課題:「金属酸化物準結晶の創製と構造解明」
役 割 :研究代表者
- ② 研究種目:基盤研究(C)一般 期間:令和3年度～令和5年度 研究経費:429万円
研究課題:「プランベニ -創製と機能開拓-」
役 割 :研究代表者
- ③ 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 研究経費:858万円
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 令和4年3月内定
- ④ 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 令和4年3月内定

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？」