

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01832

研究課題名(和文) 動的機能を有する物質開拓のための超高速三次元構造ダイナミクス

研究課題名(英文) Ultrafast 3D structural dynamics for exploration of photoresponsive materials

研究代表者

羽田 真毅 (Masaki, Hada)

筑波大学・数理物質系・准教授

研究者番号：70636365

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フェムト秒からピコ秒の時間幅を持つパルス電子線を用いた斜入射型の時間分解電子線回折装置を構築し、既存の透過型の時間分解電子線回折装置と組み合わせることで、時間次元、空間三次元の超高速構造ダイナミクスの可視化技術を創出する。我々はピコ秒の斜入射型の時間分解電子線回折装置の開発に成功し、テラヘルツ波を用いたストリーキング技術を用いて、そのパルス電子線のパルス幅が約2.6psであることが実験的に確認された。また、既存の装置を用いて様々な試料における構造ダイナミクスも計測できており、この二つの装置を用いた相補的な構造ダイナミクスの計測実験も進めていく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物質の機能は、物質に光などの外部刺激を与えた際に生じる物質中の原子・分子あるいは電子などの運動によって生じる。原子や分子の運動を直接的に可視化する技術が求められており、我々の開発したフェムト秒からピコ秒の時間幅を持つパルス電子線を用いた斜入射型の時間分解電子線回折装置はその要望に応えることができる計測装置である。本計測装置の実現により、共同研究を通して多くの物質中の原子・分子の運動の詳細が明らかとなる。すなわち、物質の機能解明につながり、よりよい材料の設計指針となる計測となりえると期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we constructed an ultrafast grazing-incidence time-resolved electron diffraction setup. Combining the newly developed setup and the conventional transmission-type time-resolved electron diffraction setup, we can access the ultrafast structural dynamics of materials in one dimension of time and three dimensions of space. The picosecond grazing-incidence time-resolved electron diffraction setup was developed, and the pulse duration of the picosecond electron beam was experimentally measured to be approximately 2.6 ps using the terahertz streaking method. In addition, the ultrafast structural dynamics of various samples were measured using a conventional setup. We will proceed with complementary ultrafast structural dynamics measurement experiments using these two setups.

研究分野：光物性

キーワード：超高速現象 フェムト秒レーザー 電子線回折 構造ダイナミクス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、物質の光励起下におけるフェムト秒からピコ秒の構造ダイナミクスを理解することは、新しい機能を持つ材料開発のための一つの重要課題である。物質の構造ダイナミクスの観測は、X線自由電子レーザーを用いた国家プロジェクトから超高速分光法、時間分解電子線回折法を用いた個人研究にわたり、世界中で推進されている。我々が進めている時間分解電子線回折プロジェクトは、テーブルトップ型の電子線回折装置を用いて物質の過渡構造を汎用的に計測する技術である。さらに、電子線は軽元素物質に感度が高く、100 nm 程度の薄膜試料さえ作製すれば、あらゆる試料に柔軟に対応できる計測方法である。

物質の構造ダイナミクスを議論する上で、光照射により生じる Z 軸の原子・分子運動を観測することは極めて重要である。しかし、従来の透過型の時間分解電子線回折装置だけでは、物質の XY 平面方向の原子運動を観測することができても、Z 軸の原子・分子運動を観測することはできなかった。この三次元的な構造変化は観測困難という決定的な問題点を解決するため、我々は斜入射型の超高速時間分解電子線回折法の開発を行い、無機物質、有機分子、炭素材料など多彩な物質の非平衡状態の構造変化と機能との関係を世界に先駆けて展開し、非平衡超高速構造変化と機能の関係解明のための次世代の超高速三次元構造ダイナミクス観測の科学技術基盤の開拓に取り組んだ。

2. 研究の目的

研究では、斜入射型の超高速時間分解電子線回折装置を開発し、既存の超高速時間分解電子線回折装置と相補的な利用により、材料の超高速構造ダイナミクス計測を行うことを目的とする。このため、斜入射型の超高速時間分解電子線回折装置の開発及びその装置パラメーターの測定を行った。また、既存の超高速時間分解電子線回折装置による物質の構造ダイナミクス計測を行った。これは今後新しく開発した装置を用いて計測するべき試料をスクリーニングする意味でも重要である。

3. 研究の方法

図 1 に開発した斜入射型の時間分解電子線回折装置とその最も重要な装置パラメーターである電子線のパルス幅を計測するためのテラヘルツ波を用いたストリーキング実験システムの概略図を示す。フェムト秒レーザーから出力する近赤外光パルス beams プリッターによりポンプ光とプローブ光に分ける。プローブ光は、非線形光学結晶によって紫外光に変換し、電子線回折装置に導き、フォトカソード(金薄膜)に照射し、パルス電子を発生する。パルス電子線は 35 kV の静電場で加速し、テラヘルツ共振器(試料)に入射し、透過・変調された電子線を二次元検出器で取得する。ポンプ光は光学遅延ステージと透過回折格子に入れパルス波面を傾けた後、ビームサイズを成形し LiNbO₃ 結晶に集光することでテラヘルツ波を発生する。テラヘルツ波と電子線の相互作用により、電子線は変調を受ける。その変位を解析することにより、電子線のパルス幅を計測する。このシステムの光学系は、既存の透過型の超高速時間分解電子線回折装置の光学系から、フリップマウントを用いて切り替え式にするため、ゼロから光学系を組む必要はない設計にしている。また、試料の構造ダイナミクスを計測する場合もフリップマウントを切り替えることでポンプ光を導き光ポンプ、電子線プローブの実験が行えるように光学系を組んでいる。

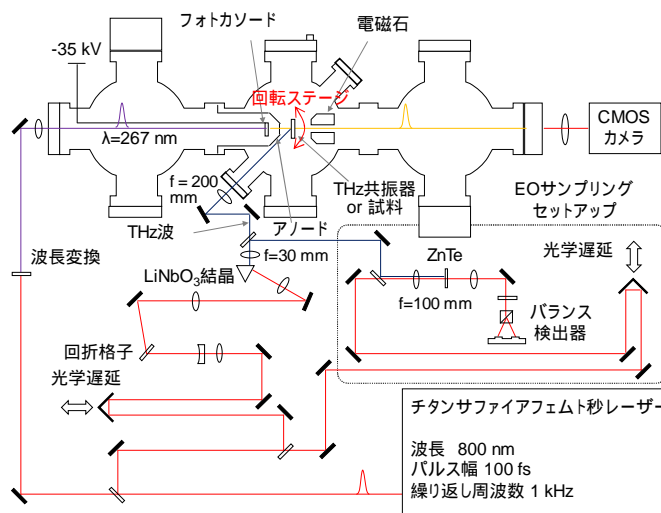


図 1. 斜入射型の時間分解電子線回折装置の概略図

4. 研究成果

斜入射型の超高速時間分解電子線回折装置の開発と電子線のパルス幅計測

発生したテラヘルツ波は、減衰を受けながら、テラヘルツ共振器に入射する。この共振器位置でのテラヘルツ波の強度は 2-3 kV/cm であった。我々は、この極めて弱い強度のテラヘルツ波で

も電子線のパルス幅を計測することが可能であることを示した。テラヘルツストリーキング法では、1 ps 以下のパルス幅の電子線を評価することは可能だったが、それより長いパルス幅の電子線パルスの評価することはできなかった。我々は、ストリーキングで得られたシグナルの低周波成分をフーリエ解析すれば、1 ps 以上の電子線パルスの評価できることを示した。図 2 に示す通り得られたフーリエ解析の結果と計算で得られたフーリエ解析結果を照らし合わせるにより、我々が新しく開発した電子線回折装置の電子線のパルス幅が 2.6 ps であることが実験的に示された。本研究結果は、米国化学会 ACS Photonics 誌に掲載され、筑波大学からプレスリリースされた。

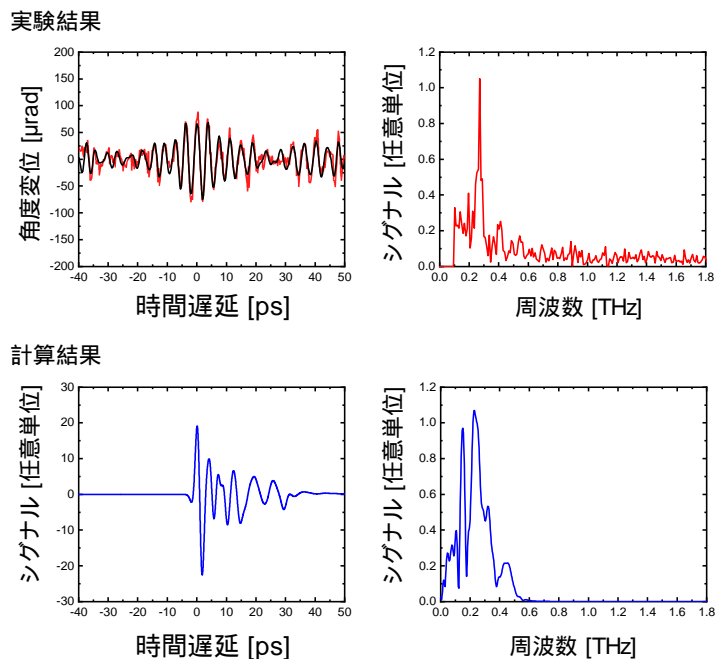


図 2. テラヘルツストリーキング法で得られたシグナルとそのフーリエ解析スペクトル（実験結果と計算結果）

低次元炭素材料の超高速構造ダイナミクス計測

我々は、斜入射型の超高速時間分解電子線回折装置で計測するときその構造ダイナミクスがより効果的に計測可能な試料として、低次元炭素材料に注目している。一つの大きな成果として、酸化グラフェンの Z 軸方向の層間の構造ダイナミクス計測を行った。例えばグラフェンなどの二次元系材料の層間を制御することで、半導体から金属、超伝導体につながる多彩な物性に変化させることが知られている。グラフェンの層間の変化のダイナミクスを考えるうえで、酸化グラフェンの光還元現象は注目すべき対象である。我々は、層間がランダムにスタックした酸化グラフェンに紫外線を照射し還元型酸化グラフェンにした際に、その層間が AB スタッキングすることを超高速時間分解電子線回折法によって明らかにした。本研究結果は、Carbon 誌に掲載された。

もう一つの成果として、アニール処理前後のカーボンナノチューブシートにおけるフォノンのダイナミクス計測と伝熱計測を行い、それぞれの相関をとる研究を行った。カーボンナノチューブに光を照射することで、軸方向および径方向のフォノンが発生させ、そのうち径方向のフォノンを超高速時間分解電子線回折法によって観測した。これにより、アニール処理前のカーボンナノチューブシートでは、エネルギーの高い軸方向のフォノンがカーボンナノチューブのキンクやキャップで散乱されエネルギーのより低い径方向のフォノンへと変換され、フォノンが計測している領域にたまりこむ現象が見られた。一方、アニール処理後のカーボンナノチューブでは、径方向のフォノンは速やかに拡散していく様子が見られた。実際、アニール処理前後でカーボンナノチューブシートは、熱伝導が著しく向上していることが分かり、ミクロなフォノンの振る舞いとマクロな熱の振る舞いが超高速時間分解電子線回折法により結び付けられることがわかった。本研究結果は、Carbon 誌に掲載された。

上記の研究で得られた結果より着想して、カーボンナノチューブシートに窒化ホウ素ナノチューブを同軸上に合成した試料を作製し、そのチューブ間で生じるエネルギーの遷移のダイナミクスを超高速時間分解電子線回折法により観測することができた。実際に、分光学的にこのエネルギー輸送現象が生じているかなどを確かめるために、レンヌ第一大学の Roman Bertoni 准教授と国際共同研究を行い、現在、このエネルギー輸送現象を多方面の計測手法を用いて解析を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Hada Masaki, Ohmura Satoshi, Yamamoto Yuki, Kishibe Yoshiya, Yajima Wataru, Shikata Ryo, Iguchi Tomohiro, Akada Keishi, Yoshida Shoji, Fujita Jun-ichi, Koshihara Shin-ya, Nishina Yuta | 4. 巻 183 |
| 2. 論文標題 Tracking the light-driven layer stacking of graphene oxide | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Carbon | 6. 最初と最後の頁 612 ~ 619 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.07.058 | 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 Hada M., Ohmura S., Ishikawa T., Saigo M., Keio N., Yajima W., Suzuki T., Urushihara D., Takubo K., Masaki Y., Kuwahara M., Tsuruta K., Hayashi Y., Matsuo J., Yokoya T., Onda K., Shimojo F., Hase M., Ishihara S., Asaka T., Abe N., Arima T., Koshihara S., Okimoto Y. | 4. 巻 24 |
| 2. 論文標題 Photoinduced oxygen transport in cobalt double-perovskite crystal EuBaCo205.39 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Applied Materials Today | 6. 最初と最後の頁 101167 ~ 101167 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apmt.2021.101167 | 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 - |
| 1. 著者名 Koshihara Shinya, Ishikawa Tadahiko, Okimoto Yoichi, Onda Ken, Fukaya Ryo, Hada Masaki, Hayashi Yasuhiko, Ishihara Sumio, Luty Tadeusz | 4. 巻 942 |
| 2. 論文標題 Challenges for developing photo-induced phase transition (PIPT) systems: From classical (incoherent) to quantum (coherent) control of PIPT dynamics | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Physics Reports | 6. 最初と最後の頁 1 ~ 61 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physrep.2021.10.003 | 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 Shikata Ryo, Suzuki Hiroo, Hayashi Yuta, Hasegawa Taisuke, Shigeeda Yuho, Inoue Hirotaka, Yajima Wataru, Kametaka Jun, Maetani Mitsuki, Tanaka Yuichiro, Nishikawa Takeshi, Maeda Satoshi, Hayashi Yasuhiko, Hada Masaki | 4. 巻 33 |
| 2. 論文標題 Enhancement of the mechanical and thermal transport properties of carbon nanotube yarns by boundary structure modulation | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Nanotechnology | 6. 最初と最後の頁 235707 ~ 235707 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ac57d5 | 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 Hada Masaki, Makino Kotaro, Inoue Hiroataka, Hasegawa Taisuke, Masuda Hideki, Suzuki Hiroo, Shirasu Keiichi, Nakagawa Tomohiro, Seki Toshio, Matsuo Jiro, Nishikawa Takeshi, Yamashita Yoshifumi, Koshihara Shin-ya, Stolojan Vlad, Silva S. Ravi P., Fujita Jun-ichi, Hayashi Yasuhiko, Maeda Satoshi, Hase Muneaki | 4. 巻 170 |
| 2. 論文標題 Phonon transport probed at carbon nanotube yarn/sheet boundaries by ultrafast structural dynamics | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Carbon | 6. 最初と最後の頁 165 ~ 173 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.08.026 | 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 Hada Masaki, Nishina Yuta, Kato Takashi | 4. 巻 54 |
| 2. 論文標題 Exploring Structures and Dynamics of Molecular Assemblies: Ultrafast Time-Resolved Electron Diffraction Measurements | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research | 6. 最初と最後の頁 731 ~ 743 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.0c00576 | 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 Saida Yuri, Shikata Ryo, En-ya Kaito, Ohmura Satoshi, Nishina Yuta, Hada Masaki | 4. 巻 126 |
| 2. 論文標題 Development of a Multitimescale Time-Resolved Electron Diffraction Setup: Photoinduced Dynamics of Oxygen Radicals on Graphene Oxide | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A | 6. 最初と最後の頁 6301 ~ 6308 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.2c04075 | 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 Yajima Wataru, Arashida Yusuke, Nishimori Ryota, Emoto Yuga, Yamamoto Yuki, Kawasaki Kohei, Saida Yuri, Jeong Samuel, Akada Keishi, Takubo Kou, Shigekawa Hidemi, Fujita Jun-ichi, Koshihara Shin-ya, Yoshida Shoji, Hada Masaki | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Streaking of a Picosecond Electron Pulse with a Weak Terahertz Pulse | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 ACS Photonics | 6. 最初と最後の頁 116 ~ 124 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.2c01304 | 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 - |

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 13件 / うち国際学会 11件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 羽田真毅 |
| 2. 発表標題 時間分解電子線回折法を用いたグラフェン誘導体の構造ダイナミクス計測 |
| 3. 学会等名 応用物理学会M&BE新分野開拓研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 四方諒、鈴木弘朗、亀高諄、重枝勇歩、井上寛隆、矢嶋渉、前谷光顕、田中佑一郎、西川亘、林靖彦、羽田真毅 |
| 2. 発表標題 カーボンナノチューブの界面構造と熱特性・機械特性の相関 |
| 3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Konishi, Y. Saida, W. Yajima, R. Shikata, M. Hada, Y. Shimoda, K. Miyata, Y. Yoneda, H. Kuramochi, Y. Nakaike, M. Hara, R. Sato, T. Yamakado, R. Kotani, S. Saito |
| 2. 発表標題 Real-time Control of Liquid Crystalline Adhesive by Turning Ultraviolet Light On and Off |
| 3. 学会等名 2021年光化学討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 四方諒、岸淵美咲、矢嶋渉、鈴木弘朗、大村訓史、林靖彦、羽田真毅 |
| 2. 発表標題 カーボンナノチューブ・窒化ホウ素ナノチューブヘテロ接合に生じる超高速エネルギー移動 |
| 3. 学会等名 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 齋田友梨、小西智暉、佐藤竜馬、中池由美、矢嶋涉、四方諒、原光生、齊藤尚平、羽田真毅 |
| 2. 発表標題 光剥離する有機液晶分子の超高速構造ダイナミクス計測 |
| 3. 学会等名 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 Y. Yamamoto, S. Ohmura, Y. Kishibe, W. Yajima, R. Shikata, K. Akada, S. Yoshida, J. Fujita, S. Koshihara, Y. Nishina, M. Hada |
| 2. 発表標題 Ultrafast Time-Resolved Electron Diffraction Capturing Layer Stacking Dynamics of Graphene Oxide |
| 3. 学会等名 OLC2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 T. Konishi, Y. Nakaike, M. Hara, R. Sato, Y. Saida, W. Yajima, R. Shikata, M. Hada, S. Saito |
| 2. 発表標題 Molecular liquid crystal adhesive that melts by light: Mechanism elucidation of the photomelting function |
| 3. 学会等名 OLC2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Konishi, Y. Nakaike, M. Hara, R. Sato, Y. Saida, W. Yajima, R. Shikata, M. Hada, S. Saito |
| 2. 発表標題 Light-melt adhesives: Structural design and adhesive performances |
| 3. 学会等名 OLC2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Y. Saida, T. Konishi, R. Sato, Y. Nakaïke, W. Yajima, R. Shikata, M. Hara, S. Saito, M. Hada |
| 2. 発表標題 Ultrafast time-resolved electron diffraction with double-pulse-excitation applied to the light-melt adhesive based on a flapping triphenylene liquid crystal |
| 3. 学会等名 OLC2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 M. Hada, D. Yamaguchi, T. Kato |
| 2. 発表標題 Ultrafast collective motions of liquid-crystalline azobenzene molecules observed by ultrafast time-resolved electron diffraction |
| 3. 学会等名 OLC2021 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 M. Hada, D. Yamaguchi, T. Ishikawa, T. Sawa, K. Tsuruta, K. Ishikawa, S. Koshihara, Y. Hayashi, T. Kato |
| 2. 発表標題 Ultrafast collective motions induced by the photoisomerization of liquid crystalline azobenzene molecules |
| 3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 羽田真毅 |
| 2. 発表標題 超高速時間分解電子線回折法を用いた酸化グラフェンの光還元メカニズムの解明 |
| 3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ryo Shikata, Yuho Shigeeda, Hirota Inoue, Hiroo Suzuki, Wataru Yajima, Tomohiro Nakagawa, Takeshi Nishikawa, Yoshifumi Yamashita, Yasuhiko Hayashi, Masaki Hada |
| 2. 発表標題 Correlation between the thermal and mechanical properties of the high temperature thermal- treated carbon nanotube yarns |
| 3. 学会等名 FNTG60 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 羽田真毅 |
| 2. 発表標題 超高速時間分解電子線回折法—イオン移動と強くカップルした光誘起電荷移動 |
| 3. 学会等名 超高分解能顕微鏡法分科会研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masaki Hada |
| 2. 発表標題 Ultrafast time-resolved electron diffraction captures dynamics of carbon nanostructure |
| 3. 学会等名 CEMS Topical Meeting Online（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 羽田 真毅、石川 忠彦、大村 訓史、慶尾 直哉、田久保 耕、鈴木 達也、浅香 透、林 靖彦、阿部 伸行、有馬 孝尚、腰原 伸也、沖本 洋一 |
| 2. 発表標題 時間分解電子回折で見た遷移金属化合物結晶薄膜の光誘起構造ダイナミクス |
| 3. 学会等名 第81回 応用物理学会 秋季学術講演会（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------|
| 1. 発表者名 仁科勇太 |
| 2. 発表標題 複雑な系での化学 |
| 3. 学会等名 化学フロンティア研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 仁科勇太 |
| 2. 発表標題 二次元ナノカーボンの化学～作製・構造解析から用途開拓まで～ |
| 3. 学会等名 創造機能化学第116委員会講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masaki Hada, Kou Takubo, Yoichi Okimoto, Shin-ya Koshihara |
| 2. 発表標題 Ultrafast time-resolved electron diffraction measurements for material science |
| 3. 学会等名 LSC2022 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 羽田真毅 |
| 2. 発表標題 超高速時間分解電子線回折法を用いた炭素材料の構造ダイナミクス計測 |
| 3. 学会等名 第59回炭素材料夏季セミナー (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 羽田真毅 |
| 2. 発表標題 超高速時間分解構造ダイナミクス計測のナノカーボン材料への展開 |
| 3. 学会等名 第11回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン若手研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuri Saida, Ryo Shikata, Satoshi Ohmura, Yuta Nishina, Masaki Hada |
| 2. 発表標題 Multi-timescale Photoinduced Structural Dynamics Measurements of Graphene Oxide |
| 3. 学会等名 IVC22（国際学会） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 羽田真毅 |
| 2. 発表標題 超高速時間分解電子線回折法の液晶のダイナミクス研究への展開 |
| 3. 学会等名 2022年日本液晶討論（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 矢嶋 涉, 嵐田 雄介, 西森 亮太, 江本 悠河, 山本 祐揮, 川崎 康平, 齋田 友梨, 鄭 サムエル, 赤田 圭史, 田久保 耕, 重川 秀実, 藤田 淳一, 腰原 伸也, 吉田 昭二, 羽田 真毅 |
| 2. 発表標題 テラヘルツ波による極短パルス電子線のパルス幅計測 |
| 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 齋田 友梨, 小西 智暉, 佐藤 竜馬, 中池 由美, 矢嶋 渉, 四方 諒, 山田 洋一, 原 光生, 齋藤 尚平, 羽田 真毅 |
| 2. 発表標題 光剥離する有機分子材料の構造ダイナミクスの相依存性 |
| 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 上野 辰, 四方 諒, 齋田 友梨, 坂本 雅典, 羽田 真毅 |
| 2. 発表標題 Cu ₂ Sナノ粒子の光照射による超イオン伝導体相への構造変化 |
| 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 Masaki Hada |
| 2. 発表標題 Ultrafast time-resolved electron diffraction measurements aimed at the research for dynamics of liquid crystals |
| 3. 学会等名 OLC2021SWS2022 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 W. Yajima, Y. Arashida, R. Nishimori, Y. Emoto, Y. Yamamoto, K. Kawasaki, Y. Saida, S. Jeong, K. Akada, K. Takubo, H. Shigekawa, J. Fujita, S. Koshihara, S. Yoshida, M. Hada |
| 2. 発表標題 Development of a terahertz pump and electron diffraction probe setup for the dynamics measurements of liquid crystals |
| 3. 学会等名 OLC2021SWS2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Saida, T. Konishi, R. Sato, Y. Nakaïke, W. Yajima, R. Shikata, Y. Yamada, M. Hara, S. Saito, M. Hada |
| 2. 発表標題 Phase dependence of structural dynamics and adhesive function of light-melt adhesive materials |
| 3. 学会等名 OLC2021SWS2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 K. En-ya, Y. Saida, R. Shikata, S. Ohmura, Y. Nishina, M. Hada |
| 2. 発表標題 Development of a multitimescale time-resolved electron diffraction setup: from picosecond to millisecond timescale |
| 3. 学会等名 OLC2021SWS2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 羽田真毅 |
| 2. 発表標題 超高速時間分解電子線回折法 システムとそのアプリケーション |
| 3. 学会等名 日本顕微鏡学会のその場観察分科会2022年研究討論会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masaki Hada |
| 2. 発表標題 Multitimescale time-resolved electron diffraction measurements for nanocarbon materials |
| 3. 学会等名 第64回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

筑波大学数理物質系 羽田研究室
https://hadamasaki.com
筑波大学数理物質系 羽田研究室
https://hadamaskai.com

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 | 仁科 勇太 (Nishina Yuta) (50585940) | 岡山大学・異分野融合先端研究コア・研究教授 (15301) | |
| 研究分担者 | 恩田 健 (Onda Ken) (60272712) | 九州大学・理学研究院・教授 (17102) | |
| 研究分担者 | 大村 訓史 (Ohmura Satoshi) (90729352) | 広島工業大学・工学部・准教授 (35403) | |

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 | | | |
|---------|---------|--|--|--|
| 英国 | サリー大学 | | | |
| フランス | レンヌ第一大学 | | | |