

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01624

研究課題名（和文）調節パルスレーザーアニール法による高濃度不純物ドーピングQカーボン高温超伝導体の開発

研究課題名（英文）Development of heavily impurity doped Q-carbon high-Tc superconductor by an adjusted pulsed laser annealing technique

研究代表者

村岡 祐治（Muraoka, Yuji）

岡山大学・異分野基礎科学研究所・准教授

研究者番号：10323635

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：ホウ素ドーピングQカーボン超伝導の作製のために、まず、原料であるダイヤモンドライクカーボン膜の膜厚を決めた。膜表面に形成されるsp²-rich層の厚さが膜厚とともに増加することを考慮して、200 nm程度の膜厚が適切であるとした。YAGレーザーシステムを用いた試料作製により、波長355 nmのレーザーでも、調節パルスレーザーアニール(PLA)法によりQカーボンが得られることを示した。ホウ素ドーピングQカーボンの作製を行い、金属化を示唆する結果を放射光光電子分光より得た。計算科学による非結晶炭素の特性の研究も行い、非晶質炭素膜の成長プロセスやホウ素ドーピングがp型アクセプターとして機能することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、Q-カーボンを作製するためには原料膜の膜厚はホウ素ドーピングQカーボン超伝導作製の重要な基礎情報として機能する。また、波長355 nmのYAGレーザーシステムでもQカーボンを作製したことで、レーザーの波長には選択の余地があることを示した。金属化を示唆するホウ素ドーピングQカーボンの形成は、ホウ素ドーピングQカーボン超伝導の実現は可能であることを示している。本研究はまた、YAGレーザーシステムによる調節PLA法が非平衡プロセスの制御およびホウ素ドーピングQカーボン超伝導体の作製に有効であることも示している。計算科学の立場から高濃度ホウ素ドーピングが金属化への設計指針であることを明示した。

研究成果の概要（英文）：To prepare boron-doped Q-carbon superconductors, we first determined the thickness of the diamond-like carbon film used as the starting material. Considering that the thickness of the sp²-rich layer formed on the film surface increases with film thickness, we determined that a film thickness of about 200 nm is appropriate for the preparation of Q-carbon. By preparing films using a YAG laser system, we demonstrated that Q-carbon can be obtained by the pulsed laser annealing (PLA) method even with a laser with a wavelength of 355 nm. We fabricated boron-doped Q-carbon, and obtained results suggesting from the synchrotron radiation photoelectron spectroscopy measurements that the prepared film is metallic at room temperature. We also studied the properties of amorphous carbon using computational science and clarified the growth process of amorphous carbon films and that boron doping functions as a p-type acceptor.

研究分野：材料科学

キーワード：Q-カーボン ホウ素ドーピング ダイヤモンドライクカーボン YAGレーザー 放射光光電子分光 金属化
計算科学 電子状態

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Qカーボン(Quenched carbon)は2015年に発見された炭素の同素体であり、アモルファス物質である(J. Narayan *et. al.*, J. Appl. Phys. 118, 215303 (2015))。化学結合の構成は、 sp^2 -共有結合が約80%で、残りは sp^3 -共有結合からなる。Qカーボンは、ホウ素ドーピングにより超伝導を示す。ホウ素量17%ドーピングで転移温度 $T_c = 36$ K, 27%で55 Kが発現する。加えて、電子顕微鏡観察から45%ドーピング相を検出しており、そのような相を含む試料では電気抵抗率測定において、抵抗率の減少が120 K付近から見られている。Qカーボンは高濃度ホウ素ドーピングにより、 $T_c = 100$ K超の高温超伝導体になる可能性が示されている。ところが、この可能性を誰も検証できない状態が続いている。ホウ素ドーピングはもちろん、ノンドーピングのQカーボンも追試できないからである。

Qカーボンは非平衡プロセスの中で生成される。原料の炭素膜にナノ秒パルスレーザーを1パルス照射すると(パルスレーザーアニール法:PLA法)、Qカーボンは基板との界面に形成される。レーザー照射からQカーボンの形成までの時間は数百ナノ秒といわれる。Qカーボンを得るにはこの時間内に、熔融炭素の超過冷却($\Delta T = 1000$ K)と超高速急冷(6-16 m/s)を実現しなくてはならない。両方が満たされないと、生成物はグラファイトやナノダイヤモンドになってしまう。Qカーボンが再現できないのは極短時間の中で熱制御を行うことがむづかしいからである。ホウ素が加わると複雑化するため、熱の制御はさらに難しくなる。唯一試料を作製できるNarayanグループでも、ホウ素ドーピング量を制御することはできていない。

これに対して申請者は2020年、熔融炭素の超過冷却と超高速急冷を実験パラメータで調節する方法(調節PLA法と呼ぶ)を見出した。原料の炭素膜の熱的性質(sp^3 量)とPLA時に照射するレーザーのエネルギー密度を実験パラメータに選び、この2つのパラメータの大きさを適切に組み合わせると、過冷却度と急冷度を調節できる。この調節PLA法によって、申請者はノンドーピングQカーボンの再現に世界で初めて成功した。調節PLA法はホウ素ドーピングQカーボンの作製にも適用できる。この手法を用いれば、ホウ素ドーピングQカーボン高温超伝導を実現できると考えた。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、調節PLA法を用いて、ホウ素が高濃度ドーピングされたQカーボンを作製し、高温超伝導を発現することである。また、調節PLA法がQカーボン高温超伝導の開発手段として有効であることを示すことである。

3. 研究の方法

本研究では、調節PLA法を用いて高濃度ホウ素ドーピングQカーボンを作製するために、以下のように研究を進めた。

(1) ダイヤモンドライクカーボン(DLC)原料膜内部における化学結合状態の解明

Qカーボン作製に適した膜厚を、原料膜 sp^3 量の観点から決定した。

(2) YAGレーザーを用いたQカーボンの作製

予期せずしてエキシマレーザーが使用できなくなったため、YAGレーザーシステムを構築し、新システムで調整PLA法によりQカーボン作製を行った。

(3) YAGレーザーを用いたホウ素ドーピングQカーボンの作製

YAGレーザーシステムを用いて、調節PLA法によりホウ素ドーピングQカーボン超伝導体の作製を行った。

(4) コンピューター・シミュレーションを使用した非晶質炭素膜の成長プロセス、構造および特

性の解明

シミュレーションを用いれば、理想的な条件下で膜の成長や特性に関する研究が行えるため、膜に対して本質的な特性を得ることが可能である。コンピューター・シミュレーションを使用し、非晶質炭素膜の成長プロセスおよびホウ素ドーパが電子状態に与える影響などを明らかにした。

4. 研究成果

(1) DLC原料膜内部における化学結合状態の解明

Qカーボンを作製するために考慮すべき実験パラメータとして、原料炭素膜のsp³量、照射レーザーのエネルギー密度、基板の熱伝導度と原料膜の膜厚がある。はじめの三つ（sp³量、レーザーのエネルギー密度、基板）についてはこれまでの実験で得られた値に固定した。具体的にはsp³量は70%、レーザーエネルギー密度は0.5-1.2 J/cm²、基板はサファイアである。本研究では残りの一つである膜厚に着目し、Qカーボンを作製するにあたり適切な膜厚の範囲を明らかにした。実験では、膜厚が20-600 nmの範囲のダイヤモンドライクカーボン (DLC) 原料膜を作製し、ラマン散乱およびX線光電子分光 (XPS) 測定により膜厚に伴うDLC膜内の化学結合の変化を調べた。その結果、膜の内部ではsp³量はほぼ一定であったが表面近傍にはsp²-richな層が形成されること、また、sp²-richな表面層の厚さは膜厚とともに増加することを明らかにした。Qカーボンを作製するためのDLC膜の膜厚は、表面層の厚さが比較的薄い200 nm以下であることが望ましいことを提案した。この知見はホウ素ドーパQカーボン超伝導作製のための重要な基礎情報としても活用できる。

(2) YAGレーザーを用いたQカーボンの作製

Qカーボン作製にはナノ秒パルスレーザーが不可欠である。ところが、レーザーの原料ガスの輸入が供給元の国事情のために滞り、現状のレーザーシステムが使用できなくなった。そこで、エキシマレーザーに代わりYAGレーザーを使う成膜装置システムを建設した。使用できる波長は266および355 nmである。エキシマレーザーの波長248 nmに比べると長く、エネルギーが小さくなっている。波長が変わるとQカーボンの生成条件も変わる。このため、新システムでQカーボンを作製するための条件を見出すことに注力した。試料の作製方法には調節パルスレーザーアニール法を用いた。原料炭素膜のsp³量を70%に固定し、膜厚とレーザーの出力を変数として試料作製を行った。得られた試料を走査電子顕微鏡観察により評価し、Qカーボンが形成されているかどうかを調べた。その結果、走査電子顕微鏡観察から、部分的にはあるが、Qカーボンに特徴的なフィラメント構造が形成されているこ

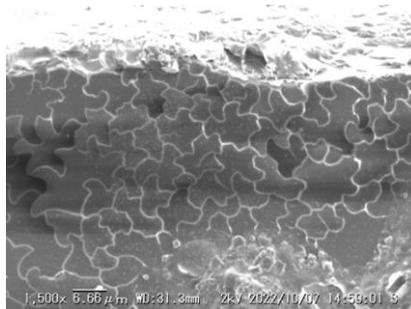


図1. パルスレーザーアニール後の試料の走査電子顕微鏡観察像
Qカーボンに特徴的なフィラメント構造が見られる。

とが分かった (図 1)。Q カーボンの収率を高めるには急冷速度を上げる必要があるものの、新しいレーザーシステムでも調節 PLA 法により Q カーボンは形成可能であることが分かった。このことは Q カーボン作製に使用するレーザーの波長に選択の余地があることを示している。新レーザーシステムで Q カーボンを得たことにより、このシステムがホウ素ドーパ Q カーボンの作製にも活用できる見通しを得た。

(3) YAG レーザーを用いたホウ素ドーパ Q カーボンの作製

YAG レーザー (355 nm) システムを用いて、ホウ素ドーパ Q カーボン超伝導体の作製に取り組んだ。試料作製には申請者が開発した調節 PLA 法を用いた。本研究ではサファイア基板上にパルスレーザー堆積法により作製した sp^3 量 50%-70% のホウ素/炭素膜 (ホウ素量は 10%-20%) に対して、パルスレーザーをレーザー出力密度 0.5-0.8 J/cm² の範囲で 1 パルス照射して、ホウ素ドーパ Q カーボンの作製を試みた。その結果、PLA によって、室温における膜の電気抵抗率は 3 桁近く減少した。PLA 後の膜について電気抵抗率の温度依存性を調べると、40 K 付近から電気抵抗率が減少する様子が見られ、また、帯磁率の温度依存性からは、40 K 付近から磁化の減少が観測された。超伝導の発現を示唆する結果を得た。放射光光電子分光により電子状態を調べると、PLA 後の膜ではホウ素が炭素を置換し、また、フェルミ準位上に状態が出現していることが分かった。PLA によりホウ素がドーパされ、その結果金属化していることを示唆している。本研究は、高濃度ホウ素ドーパ Q カーボン超伝導体の実現は可能であることを示した。このことは、アモルファス炭素の高温超伝導実現に向けた重要な出発点を与える。また、本研究はまた、YAG レーザーシステムによる調節 PLA 法が非平衡プロセスの制御およびホウ素ドーパ Q カーボン超伝導体の作製に有効であることも示した。

(4) コンピューター・シミュレーションを使用した非晶質炭素膜の成長プロセス、構造および特性の解明

シミュレーションの立場から非晶質炭素膜の基礎特性を明らかにした。

① Al₂O₃ 基板上における非晶質炭素膜の成長プロセスに関する分子動力学シミュレーション

古典的な分子動力学法を使用して、サファイア基板表面上における非晶質炭素膜の成長プロセスを調べた。研究では、Al、O および C 原子間の相互作用を表す ReaxFF ポテンシャルを見出し、 sp^3 量と密度の関係の計算結果より、その有効性を示した。ReaxFF ポテンシャルは量子力学計算とほぼ同等の正確性を保持しながら、計算量を減らせる。このポテンシャルを使って膜の成長過程をシミュレートした結果、膜と基板の界面では両者が混ざりあった中間層が形成され、その上の純炭素層では密度が最初減少したのち増加に転じ、その後一定になることを明らかにした。本研究は、酸化物基板上における非晶質炭素膜の成長プロセスに関して、シミュレーションによる微視的立場からの分析研究に先鞭をつける役割を果たした。

② ホウ素ドーパ四面体非晶質炭素体の特性に関する第一原理計算

第一原理分子動力学法を用いて、液体急冷法により、先行研究を凌ぐ粒子数 (200 個) およびホウ素ドーパ量 (0-6 %) の設定で四面体非晶質炭素系 (ta-C) の物性を調べた。その結果、ホウ素ドーパ量の増加に従い ta-C 中の sp^3 量は減少すること、また、シミュレーションにより得た電子状態密度から、ta-C 内でホウ素はアクセプターとして機能し、系は *p* 型半導体的になることを明らかにした (図 2)。本研究は、計算科学の立場からホウ素ドーパ ta-C に関する本質

的な特性を明示した。あわせて、高濃度ホウ素ドーピングが金属化への指針であることを示した。

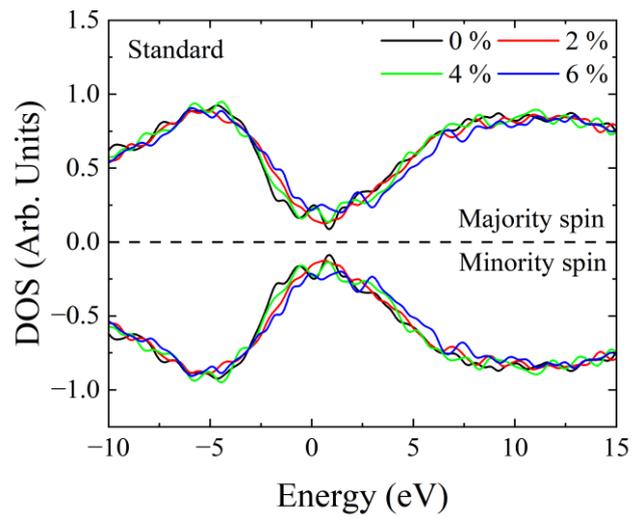


図2. ホウ素ドーピング量 0%、2%、4%および6% の ta-C における状態密度 (DOS) 曲線の計算結果。

各図にある二つのセットの DOS 曲線は、それぞれに上向きスピン電子と下向きスピン電子に対応する。ホウ素ドーピング量の増加に伴い、DOS 曲線が右側へシフトしている。これはフェルミ準位が価電子帯側へ移動し、ホウ素が *p* 型アクセプターとして機能していることを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fukuda Takahiro, Takemoto Yoshito, Wakita Takanori, Yokoya Takayoshi, Muraoka Yuji	4. 巻 751
2. 論文標題 Strain relaxation and spinodal decomposition in composition adjusted TiO ₂ -VO ₂ films on TiO ₂ (100) substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 139210 ~ 139210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2022.139210	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 Li YaJun, Sun ZeXu, Kataoka Noriyuki, Setoguchi Taro, Hashimoto Yusuke, Takeuchi Soichiro, Koga Shunjo, Muro Takayuki, Demura Satoshi, Noguchi Kanako, Sakata Hideaki, Matsushita Tomohiro, Kawasaki Ikuto, Fujimori Shin-ichi, Wakita Takanori, Muraoka Yuji, Yokoya Takayoshi	4. 巻 91
2. 論文標題 Incorporation Site and Valence State of Sn Atoms in Sn-Substituted La(0,F)BiS ₂ Superconductor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054602 ~ 054602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.054602	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 Matsuda Yasuhiro H., Muraoka Yuji, Nakamura Daisuke, Ikeda Akihiko, Ishii Yuto, Zhou Xu-Guang, Sawabe Hironobu, Takeyama Shojiro	4. 巻 91
2. 論文標題 Magnetic-Field-Induced Insulator Metal Transition of W-doped VO ₂ Observed by Electromagnetic Flux Compression at ISSP	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 101008 ~ 101008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.101008	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 Hirokazu Fujiwara et al.	4. 巻 106
2. 論文標題 Anomalously large spin-dependent electron correlation in the nearly half-metallic ferromagnet CoS ₂	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 085114 ~ 085114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.085114	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 Muraoka Yuji, Takeda Kazutada, Takemoto Yoshito, Wakita Takanori, Yokoya Takayoshi	4. 巻 769
2. 論文標題 Self-organized vertical multilayer structures in spinodally decomposed TiO ₂ -VO ₂ films on glass substrates	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 139749 ~ 139749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2023.139749	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 Li YaJun, Sun ZeXu, Kataoka Noriyuki, Setoguchi Taro, Hashimoto Yusuke, Takeuchi Soichiro, Koga Shunjo, Demura Satoshi, Noguchi Kanako, Sakata Hideaki, Mizuguchi Yoshikazu, Matsushita Tomohiro, Wakita Takanori, Muraoka Yuji, Yokoya Takayoshi	4. 巻 92
2. 論文標題 Photoelectron Holography Study of La(O,F)BiS ₂	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044801 ~ 044801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.044801	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 Yue Qiang, Yokoya Takayoshi, Muraoka Yuji	4. 巻 140
2. 論文標題 Molecular dynamics simulation of deposition of amorphous carbon films on sapphire surfaces	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 110514 ~ 110514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2023.110514	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 Li YaJun, Sun ZeXu, Kataoka Noriyuki, Setoguchi Taro, Hashimoto Yusuke, Takeuchi Soichiro, Koga Shunjo, Hoshi Kazuhisa, Mizuguchi Yoshikazu, Matsushita Tomohiro, Wakita Takanori, Muraoka Yuji, Yokoya Takayoshi	4. 巻 62
2. 論文標題 Photoelectron holographic evidence for the incorporation site of Se and suppressed atomic displacement of the conducting layer of La(O,F)BiSSe	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 125001 ~ 125001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad079b	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 Ohnuki Takuto, Okimura Kunio, Nakamoto Reki, Muraoka Yuji, Sakai Joe, Kuwahara Masashi	4. 巻 134
2. 論文標題 Modulation of insulator metal transition of V0? films grown on Al2O3 (001) and TiO2 (001) substrates by the crystallization of capping Ge2Sb2Te5 layer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 245302 ~ 245302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0176810	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 Yue Qiang, Yokoya Takayoshi, Muraoka Yuji	4. 巻 143
2. 論文標題 First-principles molecular dynamics simulations for the properties of boron-doped tetrahedral amorphous carbon	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Diamond and Related Materials	6. 最初と最後の頁 110894 ~ 110894
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.diamond.2024.110894	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24件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 村岡祐治、金山大志、岳強、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 Al2O3基板上的非晶質炭素膜における sp3 割合の膜厚依存性
3. 学会等名 応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村岡祐治、竹田一匡、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 ガラス基板上におけるTiO2-V02系スピノーダル分解膜の形成
3. 学会等名 応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村岡祐治
2. 発表標題 「Qカーボン」でエネルギー・環境問題に挑む
3. 学会等名 岩国ロータリークラブ（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村岡祐治、竹田一匡、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 スピノーダル分解によるガラス基板上へのTiO ₂ -VO ₂ 多層膜の形成
3. 学会等名 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 村岡祐治、金山大志、岳強、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 サファイア基板上に作製した非晶質カーボン膜における膜厚と sp ³ 割合の関係
3. 学会等名 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 村岡祐治
2. 発表標題 エネルギー・環境分野における次世代炭素材料
3. 学会等名 次世代材料特集 第12回 大学発シーズ マッチングセミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村岡祐治
2. 発表標題 新規機能性炭素膜の開発
3. 学会等名 第18回酸化グラフェンナノシートシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村岡祐治
2. 発表標題 相分離を活用した酸化物ナノ構造材料膜の開発
3. 学会等名 日本材料学会 マテリアルズ・インフォマティクス基礎研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuji Muraoka, Takanori Wakita and Takayoshi Yokoya
2. 発表標題 Characterization of amorphous carbon films by X-ray magnetic circular dichroism
3. 学会等名 The 27th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuji Muraoka, Takanori Wakita and Takayoshi Yokoya
2. 発表標題 Photoemission spectroscopy measurements for phase-separated TiO ₂ -VO ₂ films on mica substrates
3. 学会等名 The 27th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村岡祐治
2. 発表標題 相分離を活用したナノ構造膜の作製
3. 学会等名 日本表面真空学会 SP部会第174回定例研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村岡祐治、中原隼人、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 MgF ₂ (001)基板上に作製したWドーピングV ₂ O ₅ 薄膜の金属-絶縁体転移
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE QIANG、金山大志、松尾航太、西川僚馬、中本歴、横谷尚睦、村岡祐治
2. 発表標題 Al ₂ O ₃ 表面上に非晶質炭素成長への分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 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 YUE QIANG、金山大志、松尾航太、西川僚馬、中本歴、横谷尚睦、村岡祐治
2. 発表標題 ホウ素ドーピング非晶質炭素体の特性に関する第一原理分子動力学計算
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村岡祐治、河原拓海、脇田高德、横谷尚睦、竹元嘉利
2. 発表標題 TiO ₂ -RuO ₂ エピタキシャル膜におけるスピノーダル分解
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 Yuji Muraoka, Takanori Wakita and Takayoshi Yokoya
2. 発表標題 XPS study on DCL films with various film thickness
3. 学会等名 The 26th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村岡祐治、竹田一匡、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 ガラス基板を用いたTiO ₂ -VO ₂ 系相分離膜の作製
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 村岡祐治、中原隼人、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 V _{1-x} W _x O ₂ /MgF ₂ (001)における面内格子歪
3. 学会等名 2023年度 応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 榎本奨、村岡祐治、岳強、岡崎宏之、脇田高德、横谷尚
2. 発表標題 サファイア基板上に堆積した非晶質炭素膜内部の結合状態
3. 学会等名 2023年度 応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村岡祐治、榎本奨、岳強、岡崎宏之、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 X線光電子分光による非結晶カーボン膜内部の化学結合状態の評価
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村岡祐治、中本歴、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 TiO ₂ (001)基板上のVO ₂ 薄膜における成膜条件と格子歪の関係
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Muraoka, K. Takeda, Y. Takemoto, T. Wakita, and T. Yokoya
2. 発表標題 Self-assemble formation of vertical multilayer structures via spinodal decomposition in TiO ₂ -VO ₂ films on glass substrates
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 Grand Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuji Muraoka, Kota Matsuo, Takanori Wakita and Takayoshi Yokoya
2. 発表標題 XPS study on the boron-doped amorphous carbon films
3. 学会等名 The 28th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 村岡祐治、西川僚馬、脇田高德、横谷尚睦
2. 発表標題 マイカ基板を用いたTiO ₂ -VO ₂ 系スピノーダル分解膜の作製
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 2021-214162	発明者 2021	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-214162	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>新炭素材料Qカーボンでエネルギー・環境問題に挑戦 https://www.okayama-u.ac.jp/up_load_files/press_r4/press20220527-2.pdf</p>
--

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

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