

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15169

研究課題名(和文)エピタキシャル薄膜が実現する二次元NbO₂超伝導面の解明研究課題名(英文)Elucidation of two-dimensional NbO₂ superconducting layer realized by epitaxial thin film

研究代表者

相馬 拓人(Soma, Takuto)

東京工業大学・物質理工学院・助教

研究者番号：50868271

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文):本研究は、Li_{1-x}NbO₂という超伝導体を持つ二次元NbO₂超伝導層が新たな特性や物理を提供してくれるのかを解明する研究である。エピタキシャル薄膜を駆使した物性測定と薄膜電気化学反応を行うことにより、「本物質では理想的な強相関NbO₂超伝導層が成り立っている」ことが証明され、「NbO₂超伝導層が示す電子相の全貌を解明する」ことに成功した。その結果、本物質の二次元NbO₂超伝導層は、銅酸化物と類似した強相関シングルバンド構造を有し、層内のフラストレート磁性とそのゆらぎがCooper対形成に関わる新しい"強相関超伝導"の舞台となりうることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銅酸化物高温超伝導体(1987年ノーベル物理学賞)の発見は基礎・応用両面から大きな発展をもたらし、同様な二次元超伝導層を持つ物質の研究が精力的に行われた。それらは様々な新しい研究領域を開拓し、物性研究の相当な部分を占めるまでとなった。

本研究成果は、Li_{1-x}NbO₂が持つ二次元NbO₂層がそれらと類似した"強相関超伝導"を発現することを明らかにし、新しい強相関物性の発現やそのメカニズムを解明する新たな舞台となりうることを提示した。

研究成果の概要(英文):This study is to elucidate whether the two-dimensional NbO₂ superconducting layers in the superconductor Li_{1-x}NbO₂ provides new properties and physics.

By measuring physical properties and performing thin-film electrochemical reactions using epitaxial thin films, we proved that "ideal strongly correlated NbO₂ superconducting layers are realized in this material" and succeeded in "elucidating the whole picture of the electronic phase exhibited in the NbO₂ superconducting layers".

As a result, the two-dimensional NbO₂ superconducting layers in this compounds has a strongly correlated single-band structure similar to that of copper oxides, which can be a new stage of "strongly correlated superconductivity" in which the frustrated magnetism and its fluctuations in the layers are related to Cooper pair formation.

研究分野：固体化学

キーワード：超伝導 強相関電子系 二次元物質 電気化学 リチウムイオン電池 エピタキシャル薄膜 量子臨界現象 フラストレーション

1. 研究開始当初の背景

銅酸化物高温超伝導体 (1987 年ノーベル物理学賞) の発見は物性研究に大きな展開をもたらした。同様な物性や本質の理解を求めて二次元超伝導層、特に強相関電子・シングルバンドなど類似した特徴を持つ物質の研究が精力的に行われ続けた結果、それらは新たな研究領域すら生み出し現在の物性研究の相当な部分を占めるまでとなった。

このような歴史的経緯の中で、1990 年に報告された $\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_2$ という超伝導体 ($T_c \sim 5 \text{ K}$) が、二次元の NbO_2 超伝導層を持ち、強相関シングルバンド電子構造をとりうる物質であることに気付いた [*Nature* 345, 324 (1990).]。更に、本物質が持つ二次元 NbO_2 層は MoS_2 などの遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD) がとる 2H 型構造と同様であり、二次元物質群が示す多彩な量子相との関連も期待される。しかし本物質はこれまで特別な超伝導体であるとは認識されず、全く研究がなされてこなかった (図 1)。

我々はこの点に興味を持ち、これまで培ってきた薄膜合成技術と化学的物質合成センスを駆使することによって、理想的であるエピタキシャル薄膜という形で $\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_2$ の合成に取り組んだ。多大な試行錯誤の後に、独自の”3 段階合成法”を開発したことにより超伝導薄膜を得ることに世界で初めて成功した [T. Soma *et al.*, *Sci. Adv.* 6, eabb8570 (2020).]。

2. 研究の目的

そこで、次の課題として“ NbO_2 層は我々に新たな物性や物理を提供してくれるのだろうか?” という問題が生まれた。これが学術的に解決すべき「問い」であり、本研究課題ではこれの答えを出すことを目的とした。

より具体的には、我々が実現に成功した $\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_2$ 超伝導エピタキシャル薄膜を駆使することによって、

【テーマ A】本物質では本当に理想的な二次元 NbO_2 超伝導層が成り立っているのか

【テーマ B】二次元 NbO_2 超伝導層の全貌はどうなっているのか

という最も本質的かつ解決すべき 2 点を明らかにし、 NbO_2 面を解明することを本研究課題の目標とした。

3. 研究の方法

【テーマ A】 $\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_2$ の二次元性・電子構造を評価する

エピタキシャル薄膜は方位が厳密に規定されている単結晶であるため、様々な測定手法を用いて、超伝導の次元性と電子構造を明らかにした。そのために、超伝導の臨界磁場の結晶方位依存測定と光電子分光測定を行った。また第一原理シミュレーションを行った。

【テーマ B】 Li 充放電反応を駆使して $\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_2$ の電子相図を解明する

NbO_2 層の全貌を明らかにするために、電子相図を作成した。エピタキシャル薄膜は比表面積が莫大に大きい単結晶であるため、均一な化学反応とその物性測定を実現することができる。そこで、薄膜に対し Li イオンの充放電反応を行うことによって $\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_2$ の x を任意に制御した理想的な単結晶試料を実現した。また同時に *in-situ* で抵抗率・磁気輸送特性の温度依存性を測定した。これらより $\text{Li}_{1-x}\text{NbO}_2$ の電子相図を完成させ、 NbO_2 層の物理的特徴を解明した。

4. 研究成果

【テーマ A】超伝導はシングルバンド電子構造を持つ二次元 NbO_2 層で起こっている

電流-電圧特性を測定すると、二次元超伝導体に特有な Berezinskii-Kosterlitz-Thouless 転移でみられるべき乗の変化を示すことがわかった。また単結晶試料であることを活用し、超伝導臨界磁場の異方性を測定すると、6 倍を越す異方性が見られた。その角度依存性は二次元の Tinkham 式を示唆するカスプ状の依存性を示した。これらの結果は、本物質の超伝導は二次元的な NbO_2 層

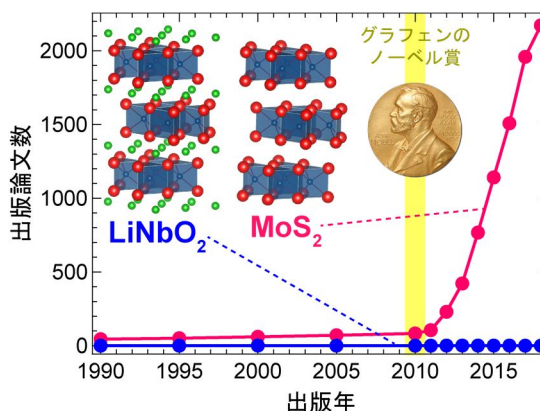


図 1 類似する LiNbO_2 と MoS_2 の結晶構造と年あたりのそれぞれをタイトルに含む論文数。 LiNbO_2 は全く研究されていない。

で生じていることを支持している。更に、臨界磁場の異方性は温度依存性を示さず、この超伝導はシングルバンドで起こっていることが示唆された。

そこで放射光施設を利用した光電子分光・X線吸収分光測定を行うと、本物質に固有な Nb 4d_{z²} 軌道に由来する孤立バンド構造が観測された。また第一原理シミュレーションを行うと、実験で観測されたものと極めて類似したバンド構造が得られた。これらの結果は、本物質は三角柱配位構造から成る 2H 型構造をとるため、その特殊な配位子場分裂と酸化物の強いイオン性に起因して Nb 4d_{z²} 軌道が孤立した稀有な孤立シングルバンド構造を創ることがわかった(図2)。つまり、TMD 様の層状構造が酸化物で実現することで銅酸化物と類似した強相関シングルバンド電子構造が実現した。

これらの結果は本研究の第一の目標である"理想的な NbO₂ 超伝導層が成り立っている"ことを証明している。この結果は、Physical Review B 誌に原著論文が掲載された[T. Soma et al., Phys. Rev. B 105, 104504 (2022).]。

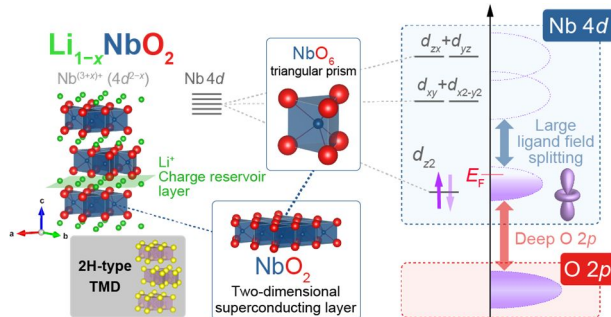


図2 Li_{1-x}NbO₂の結晶構造と電子構造。三角柱型配位構造を有する 2H 型の層状構造は特殊な配位子場分裂を引き起こし、イオン性の強い酸素配位子の下では Nb 4d_{z²} 軌道が孤立する。その結果、同酸化物と類似するような強相関シングルバンド電子構造が実現する。

【テーマB】 NbO₂層では磁性相関との競合で強相関超伝導が発現する

まず合成に成功した LiNbO₂ エピタキシャル薄膜を電極とした Li イオン電気化学デバイスを作製した。そのデバイスに対して電圧を印加すると Li イオン電池の充電/放電反応が起こり、薄膜に含まれる Li 量を連続的かつ可逆的に変調させることに成功した。その結果、Li 量 x が様々かつ精密に調整された Li_{1-x}NbO₂ が同一単結晶試料で実現し、NbO₂ 層の物性を詳細に調べられるようになった。

その電気化学デバイスに in-situ 磁気輸送特性を行う電極を追加した電気化学+in-situ 電気測定複合セルを作製し、Li_{1-x}NbO₂ の磁気輸送特性の Li 量依存性を調べた。その結果、本物質は Li 脱離に従いバンド絶縁体から Fermi 液体金属を経由し、最終的に非 Fermi 液体状態を伴う超伝導体へと変化することが明らかとなった。更に、ホールキャリアの増加量に対して Fermi 液体転移温度が系統的に抑制され、超伝導ドームが生じた(図3)。これは二次元 NbO₂ 層にキャリアが導入されていくにつれて磁性ゆらぎが増していき、その結果として超伝導化するという銅酸化物高温超伝導体や重い電子系超伝導体の電子相図と類似する特徴を有している。それらに加えて、超伝導ドームの形成に伴い近藤効果の系統的な抑制が観測され、二次元三角格子に由来する磁気フラストレーションと Cooper 対形成の新たな関連性が示唆された。

これらの結果は、本研究の第二の目標である"NbO₂ 超伝導層の全貌が明らかになった"ことを表している。この結果は、原著論文として近日中に投稿予定である。

研究期間全体を通しての目標である"NbO₂ 層は我々に新たな物性や物理を提供してくれるのだろうか?"という質問に対して、本研究により、二次元 NbO₂ 超伝導層は新しい強相関超伝導の舞台となりうるということが明らかになった。

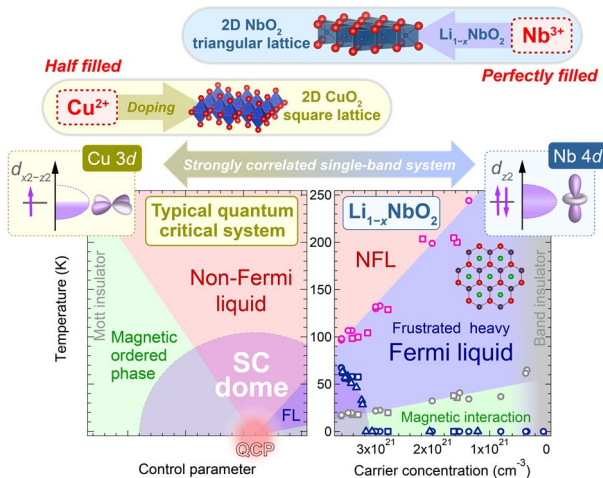


図3 本研究で得られた Li_{1-x}NbO₂ の電子相図と、銅酸化物や重い電子系などの"強相関超伝導体"の電子相図との比較。本物質は、それらのオーバードープ領域と類似した相図を描き、同様な強相関超伝導体であると考えられる。さらに磁性相が観測され、三角格子に由来する磁気フラストレーションの関与が示唆される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shuxin Zhang, Tatsuya Yajima, Takuto Soma, Akira Ohtomo	4. 巻 15
2. 論文標題 Epitaxial growth of MoO ₃ polymorphs and impacts of Li-ion electrochemical reactions on their structural and electronic properties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 055505 ~ 055505
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/ac6aae	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 Akira Ohtomo, Takuto Soma, Kohei Yoshimatsu	4. 巻 2022
2. 論文標題 Electrochemical modulation of electronic states in strongly correlated transition-metal oxides	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JSAP Review	6. 最初と最後の頁 220202
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11470/jsaprev.220202	査読の有無 無
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 Soma Takuto, Yoshimatsu Kohei, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Ohtomo Akira	4. 巻 105
2. 論文標題 Two-dimensional superconductivity in single-band correlated 2H-type NbO ₂ layers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 1054504
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.105.104504	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 Tatsuya, Soma Takuto, Yoshimatsu Kohei, Kurita Nobuyuki, Watanabe Masari, Ohtomo Akira	4. 巻 104
2. 論文標題 Heavy-fermion metallic state and Mott transition induced by Li-ion intercalation in LiV ₂ O ₄ epitaxial films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.104.245104	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 Uchida Suguri, Soma Takuto, Kitamura Miho, Kumigashira Hiroshi, OHTOMO Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhancement of transparency in epitaxially-grown p-type SnO films by surface-passivation treatment in a Na ₂ S aqueous solution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac56fa	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 Soma Takuto, Yoshimatsu Kohei, Ohtomo Akira	4. 巻 6
2. 論文標題 p-type transparent superconductivity in a layered oxide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabb8570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abb8570	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 Soma Takuto, Kobayashi Tomohiro, Yoshimatsu Kohei, Ohtomo Akira	4. 巻 90
2. 論文標題 Superconducting Dome Underlying Bipolaronic Insulating State in Charge-doped Ti ₄₀₇ Epitaxial Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 23705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.023705	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35件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 南野 龍樹, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 ミスカット基板上に作製したダブルペロブスカイト型酸化物薄膜の物性
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 相馬 拓人, 吉松 公平, 堀場 弘司, 組頭 広志, 大友 明
2. 発表標題 -パイロクロア型酸化物における金属-絶縁体転移とラットリング運動
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 Kazuki Koreishi, Takuto Soma, Motohisa Kado, Akira Ohtomo
2. 発表標題 Strain engineering of γ -Ga ₂ O ₃ : Pulsed-laser deposition on (100) γ -Al ₂ O ₃ templates and impacts of compressive strain on physical properties
3. 学会等名 The 4th International Workshop on Gallium Oxide and Related Materials (iWGO2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川 茉白, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 格子歪み印加によるSrVO ₃ の電気伝導性の変調
3. 学会等名 第12回 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 礼, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 層状Li _{1-x} NbO ₂ 薄膜のトポケミカル反応と深さ方向Li組成分析
3. 学会等名 第12回 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akira Ohtomo, Tatsuya Yajima, Shuxin Zhang, Takuto Soma
2. 発表標題 Electrochemical Modulation of Electronic States in Strongly Correlated Transition-Metal Oxides
3. 学会等名 28th International Workshop on Electronic Oxides (iWOE28) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 是石 和樹, 相馬 拓人, 加渡 幹尚, 大友 明
2. 発表標題 面内圧縮歪みを有する $\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜のエピタキシャル成長
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 相馬 拓人, 吉松 公平, 大友 明
2. 発表標題 二次元 NbO_2 層における超伝導ドームと磁気量子臨界挙動
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 Shuxin Zhang, Takuto Soma, Akira Ohtomo
2. 発表標題 AMoO_2 (A = Li, Na, K): Two-dimensional Mott insulators with tunable MoO_2 interlayer distance
3. 学会等名 The 83rd JSAP Fall Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Weiqi Zhou, Takuto Soma, Akira Ohtomo
2. 発表標題 Impact of Au surfactant on composition and optical properties of gallium oxysulfide films
3. 学会等名 The 83rd JSAP Fall Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田 悠真, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 強磁性Fe ₄ N/超伝導NbN 接合のエピタキシーと伝導特性
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 Ramchandra Sahoo, Ryuki Nanno, Yuta Yamagishi, Takuto Soma, Akira Ohtomo
2. 発表標題 Tunable exchange bias effect in manganese- and nickel-based artificial perovskite superlattice structures
3. 学会等名 The 83rd JSAP Fall Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 曹 子陽, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 パルスレーザ堆積法による(111)配向LaHx薄膜の作製と水素量制御
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 山岸 祐太, サフー ラムチャンドラ, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 パルスレーザー堆積法によるGdMnO ₃ /LaNiO ₃ 超格子構造の作製
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 本田 裕貴, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 分極界面を有するSrFeO ₃ /LaNiO ₃ ヘテロ構造の作製と伝導特性
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 佐藤 礼, 相馬 拓人, 組頭 広志, 大友 明
2. 発表標題 溶液処理による超伝導Li _{1-x} NbO ₂ 薄膜のLi組成制御
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 相馬 拓人, 吉松 公平, 堀場 弘司, 組頭 広志, 大友 明
2. 発表標題 二次元三角格子2H-NbO ₂ 層における強相関電子と超伝導
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shuxin Zhang, Takuto Soma, Akira Ohtomo
2. 発表標題 Heteroepitaxial growth of molybdenum bronzes for exploring dimensionality- and composition-controlled electronic properties
3. 学会等名 The 5th International Union of Materials Research Societies International Conference of Young Researchers on Advanced Materials (IUMRS-ICYRAM 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 相馬 拓人、岡部 宏和、大友 明
2. 発表標題 ペロブスカイト型V酸化物の電子状態におけるエピタキシャル歪みの効果：フェルミ液体論とバンド計算による解析
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 矢島 達也、相馬 拓人、大友 明
2. 発表標題 LiV2O4エピタキシャル薄膜へのLiイオン挿入とその場構造解析
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 内田 直理、相馬 拓人、大友 明
2. 発表標題 p型透明SnO ₂ 薄膜の作製と溶液反応による硫化プロセスの検討
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 張 樹桐、ラムチャンドラ サファー、相馬 拓人、北村 未歩、堀場 弘司、組頭 広志、坂田 修身、大友 明
2. 発表標題 ダブルペロブスカイト型La ₂ MnCoO ₆ 薄膜のBアンチサイト欠陥の制御と交換バイアスの観測
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 Tatsuya Yajima, Takuto Soma, Akira Ohtomo
2. 発表標題 Electrical Conductivity of LiNiO ₂ Films with Two-dimensional NiO ₂ Layers
3. 学会等名 Material Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Epitaxial Growth of p-Type SnO Films and Soft Chemical Sulfurization
2. 発表標題 Suguri Uchida, Takuto Soma, Akira Ohtomo
3. 学会等名 Material Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Work-Function Control of Metallic IV Compounds by Anion Engineering
2. 発表標題 Ziyang Cao, Ryoichiro Hayashi, Takuto Soma, Akira Ohtomo
3. 学会等名 Material Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢島 達也、張 書馨、佐藤 礼、相馬 拓人、大友 明
2. 発表標題 Liイオン脱挿入による強相関電子系遷移金属酸化物薄膜の物性変調
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 曹 子陽、林 遼一郎、相馬 拓人、大友 明
2. 発表標題 IV族遷移金属水素化物および窒化物の薄膜成長と仕事関数評価
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 張 樹桐、ラムチャンドラ サファー、相馬 拓人、大友 明
2. 発表標題 ダブルペロブスカイト型 La ₂ MnCoO ₆ 薄膜における B アンチサイト欠陥 が生むスピングラス的挙動と巨大交換バイアス
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 張 樹桐、武内 優、相馬 拓人、大友 明
2. 発表標題 巨大交換バイアスの実現に向けたLa ₂ MnCoO ₆ 薄膜のBサイト秩序度制御による磁気特性の変調
3. 学会等名 第10回 CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢島 達也, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 電気化学反応を用いたフィリング制御による「電子の重さ」の変調
3. 学会等名 第10回 CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 大知, 大友 明, 相馬 拓人, 横山 竜
2. 発表標題 Ni-N結合の実現に向けたCrN/NiO超格子構造の作成
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢島 達也, 相馬 拓人, 大友 明
2. 発表標題 層状岩塩型LiNiO ₂ 薄膜のエピタキシャル成長
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 斉藤 拓海, 井原 佑太, 相馬 拓人, 加渡 幹尚, 大友 明
2. 発表標題 パルスレーザ堆積法による窒素ドーピングGa ₂ (O _{1-x} Sx) ₃ 薄膜の成長
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shuxin Zhang, Takuto Soma, Akira Ohtomo
2. 発表標題 Investigation of impact of orientation on electronic properties in epitaxially grown MoO ₂ films
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nan Zhang, Takumi Saito, Kaisei Kamei, Takuto Soma, Akira Ohtomo
2. 発表標題 Characterization of Al ₂ O ₃ /Ga ₂ O ₃ interface with photo-assisted capacitance-voltage method
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>電子を抜くと透明な超伝導体になる物質を発見 https://www.titech.ac.jp/news/2020/047383 電子を抜くと透明になる超伝導体とは？ &#8211; 透明性と超伝導性がともに現れるユニークな物質の起源を探る https://academist-cf.com/journal/?p=14588 researchmap https://researchmap.jp/Takuto_Soma 東京工業大学 物質理工学院 応用化学系 大友研究室 http://www.ohtomo.apc.titech.ac.jp/ ResearchGate https://www.researchgate.net/profile/Takuto-Soma 相馬 拓人 (Takuto Soma) - researchmap https://researchmap.jp/Takuto_Soma/ 東京工業大学 物質理工学院 応用化学系 大友研究室 http://www.ohtomo.apc.titech.ac.jp/</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
---------	---------