

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04909

研究課題名(和文) エネルギー関連機能性多元系物質の結晶育成機構および電気輸送特性の解明

研究課題名(英文) Crystal growth mechanism and electrical transport properties of energy-related functional multinary materials

研究代表者

宮川 宣明 (Miyakawa, Nobuaki)

東京理科大学・先進工学部物理工学科・教授

研究者番号：20246680

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、エネルギー問題に貢献しうる興味ある幾つかの物質の結晶成長条件とその物性解明を目指した。特に、大型単結晶が育成できていないためにバルク物性が未解明のままとなっている透明導電性酸化物($(\text{InGaO}_3)_m(\text{ZnO})_n$ (=IGZO-mn))に注目し、それらの大型単結晶の育成条件と輸送特性について詳細に調査した。その結果、加圧式フローティングゾーン法により一連のIGZO-mnだけでなくその関連物質についても初めて大型単結晶の育成に成功し、この手法が高蒸気圧元素を含む多成分化合物に対して、有効な結晶育成法であることを明らかにした。また、これらの物質のバルク物性を明確に示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エネルギー問題に貢献しうる物質の育成法を確立しその物性解明をすることは、エネルギー資源枯渇問題解決に重要な課題となっている。本研究は、大型単結晶育成は不可能とされていた($(\text{InGaO}_3)_m(\text{ZnO})_n$)のバルク単結晶育成法を確立し、その電気伝導度がZnO層数に依存し大きな異方性があることを明らかにした点で学術的意義がある。大型単結晶育成が可能になったことにより、今後この基板を利用したデバイス応用につながるため社会的意義がある。

また近年注目されている物質合成法が十分に確立されていないNi系酸化物超伝導体の簡易的な薄膜育成法の確立を目指し、スピンコート法によるその前駆体物質の育成条件を確立した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to elucidate the crystal growth conditions and physical properties of several materials of interest that could contribute to energy problems. In particular, we focused on transparent conducting oxides ($(\text{InGaO}_3)_m(\text{ZnO})_n$ (=IGZO-mn)), whose bulk properties remain unresolved due to the difficulty of growing large single crystals, and investigated the growth conditions and transport properties of these large single crystals in detail. As a result, we succeeded in growing large single crystals of not only a series of IGZO-mn but also related materials by the pressurized floating zone method for the first time, and clarified that this method is an effective single crystal growth method for multi-component compounds containing high vapor pressure elements. In addition, we were able to clearly demonstrate the bulk physical properties of these materials.

研究分野：機能性材料/結晶成長

キーワード： $(\text{InGaO}_3)_m(\text{ZnO})_n$ 加圧式光学フローティング法 大型バルク単結晶 異方的電気伝導 酸素アニール効果 Ni系酸化物超伝導体薄膜合成 金属有機化合物分解法(MOD法)

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化石燃料の枯渇および携帯情報端末の普及やIT機器の高性能化に伴う消費電力の増大によりエネルギー問題は、社会的に深刻な問題となっている。そこで、省エネルギーに貢献できる物質・材料研究が必要とされ、活発な研究が展開されている。このような背景のもと、透明導電性半導体の一つとして注目されている(InGaO₃)_m(ZnO)_n (IGZO-mn) と銅酸化物高温超伝導体と類似した電子状態を有した新奇超伝導体LnNiO₂ (Ln:希土類元素)系物質に注目した。

(1) IGZO-mnにおいては、高蒸気圧元素を含むためこの物質系の大型単結晶育成は不可能と考えられていた。その様な中、我々は加圧式フローティング法(P-OFZ法)によりIGZO-11の大型単結晶育成に世界で初めて成功した[1]。しかし、そのAs-grown単結晶には酸素のみならずカチオン組成にも若干のばらつきがあるため電気伝導度の値がばらつくという問題、さらに面内および面外における異方的な電気伝導度の起源や移動度のキャリア密度依存性の起源などが未解明のまま残っていた。さらに、IGZO-11以外のIGZO-mnバルク単結晶の育成およびそれらのバルク単結晶物性を明らかにすることが待ち望まれていた。

(2) Ni系酸化物が超伝導となることが報告され[2]、銅酸化物超伝導体との類似性から、高温超伝導に必要なゲノム解明に貢献できる可能性を秘めているため注目され続けている。その理論的研究は盛んに行われる一方、銅酸化物高温超伝導物質と異なり合成法が複雑で十分に確立されたといえる状況になく、この物質の実験的研究に参加できるのは小数のグループに限られてしまっていた。そこで、再現性のあるより簡易的な合成法が確立できれば、多くの実験系研究グループがこの物質系の物性研究に参加できるようになりこの物質の超伝導機構解明を加速的に進展させることができると期待されていた。

2. 研究の目的

上記背景のとも、液晶ディスプレイにおけるオフ状態でのリーク電流が非常に少ないために省エネルギーに貢献できるIGZOおよびジュール熱によるエネルギー損失を抑えることができる超伝導物質で、かつ高温超伝導に必要な要因を明らかにすることに貢献できる可能性を有したNi系酸化物に注目し、これらの結晶成長法の確立とその電気輸送特性を明らかにするために、両物質に対して以下の具体的な目的を定めた。

(1) IGZO-mn 研究における目的

① 蒸気圧の高い原料を含むインコングルーエント溶解性状を有した多元化合物の単結晶育成機構解明および良質化の条件の確立すること、

② IGZO-mnの移動度のキャリア依存性の起源解明

③ IGZOの高い電気伝導の異方性の起源解明、に定めた。

(2) Ni系酸化物超伝導体研究における目的

① 目的物質の前駆体物質であるLnNiO₃に対して既報の薄膜育成法とは異なるより簡易的な手法による薄膜育成法を確立し、目的物質LnNiO₂を育成するための還元条件を確立すること

② キャリ注入により超伝導化を実現する育成条件を確立すること、に定めた。

3. 研究の方法

IGZO-mn、Sn置換IGZO-11、In₂O₃(ZnO)₃の単結晶育成には、P-OFZ法を用いた。ここで良質化条件を探るため、圧力、シャフト速度、ギャップ速度、feed rodとseed rodの回転数、feed rodのZnO含有量をパラメータとして、その最適条件を調査した。育成された単結晶に対して、XRDによる格子定数の決定、XRFによる組成分析、光吸収測定によるエネルギーギャップ値の決定、電気伝導率の温度依存性、ホール効果測定、さらにはゼーベック測定、熱伝導度測定などを行い、評価した。また電子状態は硬X線光電子分光(HX-PES)および角度分解型光電子分光(ARPES)の測定を行い、評価した。

Ni系酸化物薄膜研究では、既報のPLD法などの物理的な蒸着法でなく、MOD法により前駆体LnNiO₃の成膜条件の最適化と目的物質LnNiO₂を実現するためにトポタティック還元最適化を行った。育成された薄膜に対しXRD、逆格子マッピング、4端子法による電気抵抗率測定を用いて評価した。

4. 研究成果

(1) IGZO関連物質の研究成果

① 蒸気圧の高い原料を含むインコングルーエント溶解性状を有した多元化合物の良質な単結晶育成法:

IGZO-11に対して我々が提案したP-OFZ法が、液相法による単結晶育成は不可能と思われていた蒸気圧の高い原料を含むインコングルーエント溶解性状を有した様々な多元化合物の単結晶育成に対しても有効であることを確認できた。その結果として、新たにIGZO-12、IGZO-13、IGZO-14などのホモロガス化合物(IGZO-1n)のみならず、関連物質であるIn₂O₃(ZnO)₃(IZO-13)やIGZO-11のIn³⁺サイトおよびGa³⁺サイトへSn⁴⁺およびZn²⁺を置換した化合物においても大型単結

晶育成をはじめて成功できた。その一例を図1に示す。但し、IGZO-1nの単結晶育成においては、 n が大きくなるに従い、原料棒の中に高い蒸気圧物質であるZnOの含有量を化学量論比以上に増やす必要があること、さらには n が大きくとZnOの揮発が激しく安定した液相を実現しづらい場合には、シャフト速度とGap速度を大きくし、かつそこで育成された単結晶棒をシードロッドに利用した繰り返し育成を3回以上行うことで良質化を実現できることを見いだした。双楕円型ミラーを有したFZ炉を利用する場合、円周方向の温度均一性をよりよくするためロッドの回転数を高めることで、温度勾配による成分移動現象(TGZM現象)を抑制することで、より均一な単結晶を育成できることを確認できた。以上の成果より、例えば次世代ディスプレイの赤色マイクロLEDに利用されるInGaNの成長用の基板に利用できる可能性を切り開くことができた。

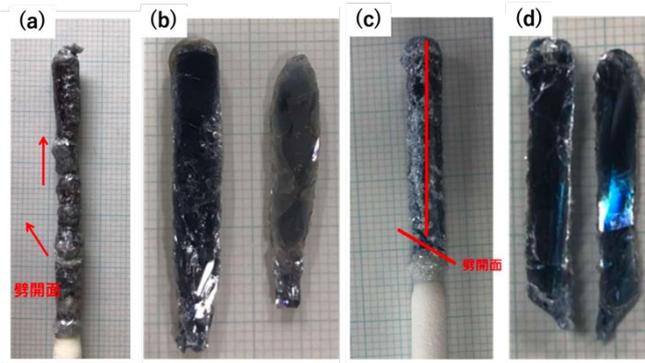


図1: (a), (b) IGZO-12 (c), (d) IGZO-13 単結晶棒

② IGZO-mnの移動度のキャリア依存性:

この課題に対して、まずキャリアドーピングの根源が酸素欠陥によるものであることを明らかにするためにHX-PES測定を行った。a-IGZOの光電子分光測定において報告されている価電子帯直上の状態密度は、as-grown (AS) および酸素アニールしたバルク単結晶では共に観測されず、その起源は酸素欠損由来でないことを明らかにした。(図2) また図2の挿入図に示されるように、AS試料では伝導帯の底にドーピングされた電子に起因する E_F 近傍の強度が観測されるが、それは酸素アニールによって完全に消滅するため、あらためてキャリアは酸素欠陥に由来していることを確認できた。

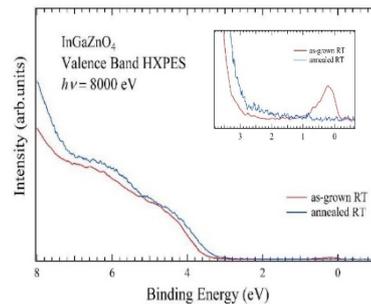


図2 IGZO-11バルク単結晶の価電子帯スペクトル

IGZO-13バルク単結晶の電気輸送特性の酸素アニール効果を調べた。その結果、図3の写真に見られるように多くの酸素欠損を含む青みがかったAS結晶を1000°Cで24時間以上酸素アニールすると、無色透明になり、面内電気伝導度を3桁以上変化させることに成功した。またアニール時間を長くすると、少なくとも144時間までは c 軸長が単調に長くなることを明らかにした。また同じアニール条件ではIGZO-13の電気伝導度は11より小さくなることを明らかにした。その一方で、キャリア密度がほぼ同じ場合には、移動度は、ほぼ同じ値を示し、IGZO-11と同様にキャリア密度の増加とともに移動度も大きくなるため、キャリア密度の増加により、電子の緩和時間が長くなるのか、もしくは電子の有効質量が小さくなることを示唆する通常のN型半導体とは異なる奇妙な性質を表している。しかしこの起源については今後の課題として残っている。

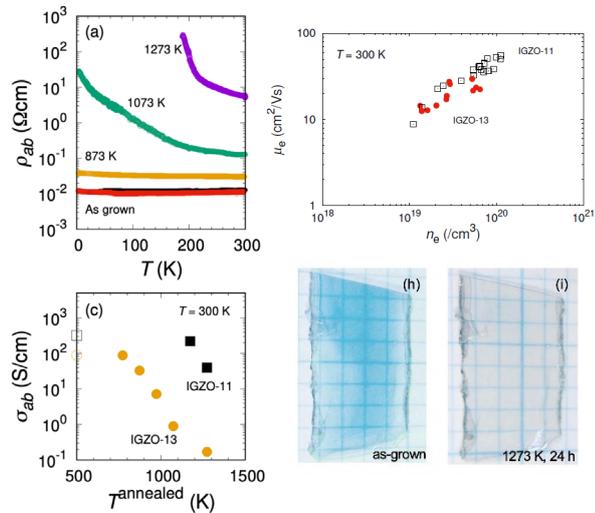


図3 IGZO-13の酸素アニール効果

③ IGZO-1nの異方的電気伝導度:

IGZO-11において電気伝導度の比較的大きな異方性が観測された。そこでバルク単結晶がなかったため

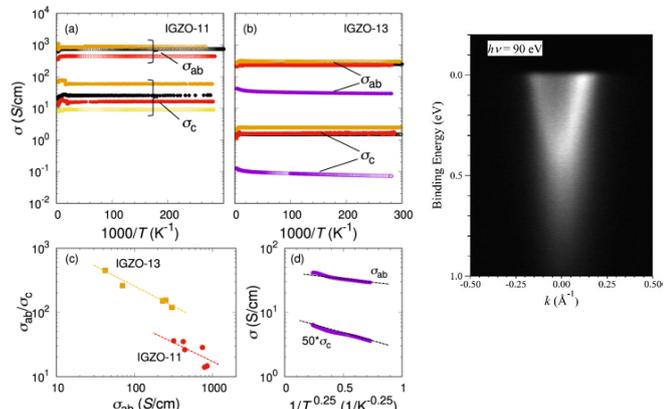


図4 IGZO-1nの電気伝導度の異方性とIGZO-11の E_F 近傍のARPESイメージプロット

に未解明のままになっている物質固有の正確な電子構造を ARPES 測定より明らかにした。図 4 に示すように、AS-IGZO-11 に対しては $k_x k_y$ 面内のバンド分散はきれいなパラボラ型となり、フェルミ面の $k_x k_y$ 面内の断面もほぼ円形となった。さらに、 k_z 方向のバンド分散を測定し、2つのフェルミ面を観測した。これらの結果より、フェルミ面は k_z 方向にやや伸びた楕円球状になることを見いだした。

IGZO-13 の電氣的異方性を初めて明らかにできた。IGZO-13 の電気伝導度の異方性は図 4 に示されているように IGZO-11 よりより大きくなることを明らかにした。これは、電気伝導には In5s 軌道が主に担っており Zn4s 軌道はフェルミ面の形成には寄与せず、つまり ZnO 層は電子キャリアに対して電位障壁として作用する絶縁層の性質を持っていることを明らかにできた。言い換えると ZnO ブロック数を増やすことによってより 2 次元性が強まることを明らかにできた。これらの成果は、ZnO 層の挿入により、電氣的異方性を制御できるため、この電氣的異方性を積極的に活用する機能性素子に利用できる可能性を示唆するものであり、重要な意義を持つものである。

(2) Ni 系酸化物薄膜の研究成果

① 前駆体物質 LnNiO_3 の MOD 法による薄膜育成（基板種の効果）（ $\text{Ln}=\text{Nd, Pr}$ ）と目的物質育成のための還元条件の確立

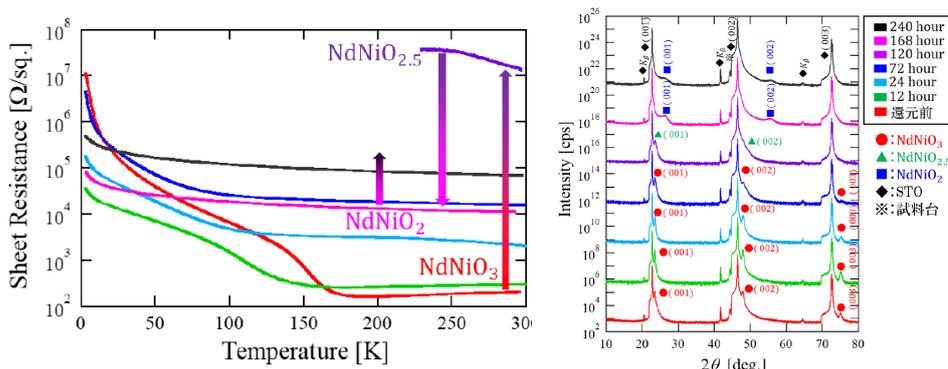


図 5 : STO 基板上に製膜された NdNiO_3 の還元効果。

まず、先行研究に倣い STO 基板上へ MOD 法での成膜を試みた。結果として前駆体 NdNiO_3 の成膜に成功し、PLD 法による先行研究に比べ MOD 法では低温、長時間でトポタティック還元を行うことで母物質である NdNiO_2 の育成に成功した。これにより MOD 法を用いた STO 基板上への LnNiO_2 の合成条件を確立することができた。その成果を図 5 に示す。XRD では確かに目的物質を実現できているが、その抵抗率の温度依存性は PLD 法により良質な前駆物質を育成できた時の振る舞いとは異なり弱い絶縁的な振る舞いは見られなかった。

この起源を探るために、逆格子マッピング測定を行った。その結果、我々の手法では金属有機化合物を分解して膜育成するものであるために、前駆体物質を育成するときの焼成時に有機物が完全に膜から蒸発せず残ってしまい、それに伴い基板界面圧力が低下したことで結晶性の低下が起こっていることを明らかにした。そこで前駆体作製時に格子ミスマッチの小さい基板を用い転位、緩和を抑制することで基板界面圧力を上昇させ無限層構造を安定化させるために NGO、LSAT、LAO 基板を用いて成膜した。その結果、NGO 基板を用いることで図 6 に示されるように確かに STO 基板に比べ転位、緩和が大幅に改善された。

特筆すべき点は還元前後の薄膜の抵抗率が STO 基板に製膜した際は 100 倍程度まで増加したのに対し、図 7 に示されるように NGO 基板に製膜した薄膜においては増加率を 10 倍程度まで抑えることができたことである。先行研究と同様な物性を示すまでは至らなかったが、この増加率は PLD 法などと同程度であり NGO 基板を用いての成膜によって LnNiO_2 の結晶性の上昇に成功した。今後の課題として先行研究と同様の電気抵抗率の振舞いを示すような還元条件の探索が求められる。

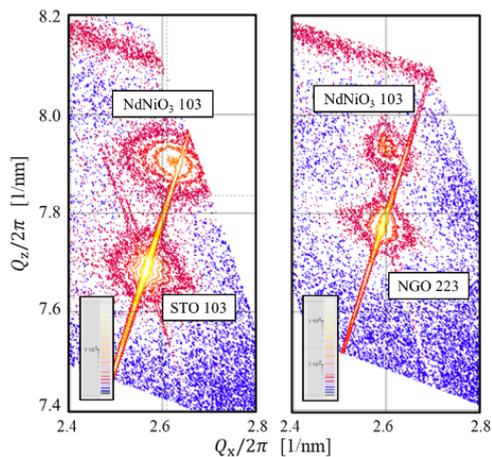


図 6 : STO、NGO 基板上に製膜された NdNiO_3 の逆格子マッピング

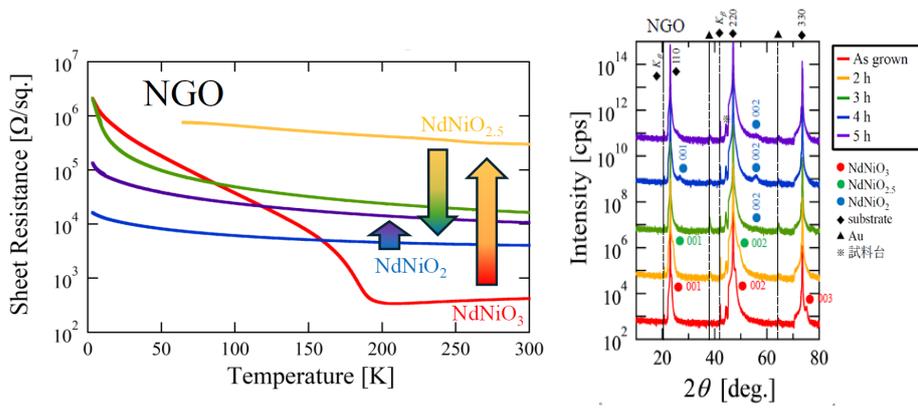


図 7 : NGO 基板上に製膜された NdNiO₃ の還元効果

② キャリア注入による超伝導化への試み

Ln サイトへ Sr を置換しホールドーピングを行うことで超伝導が実現されるが、それに伴い前駆体作製時に LnNiO₃ が不安定化し二次相である Ruddlesden-Popper 相が主相として表れてしまう。そのため我々の研究においては 5%の置換までの成膜に成功しているが、それ以上の置換は今後解決すべき課題である。

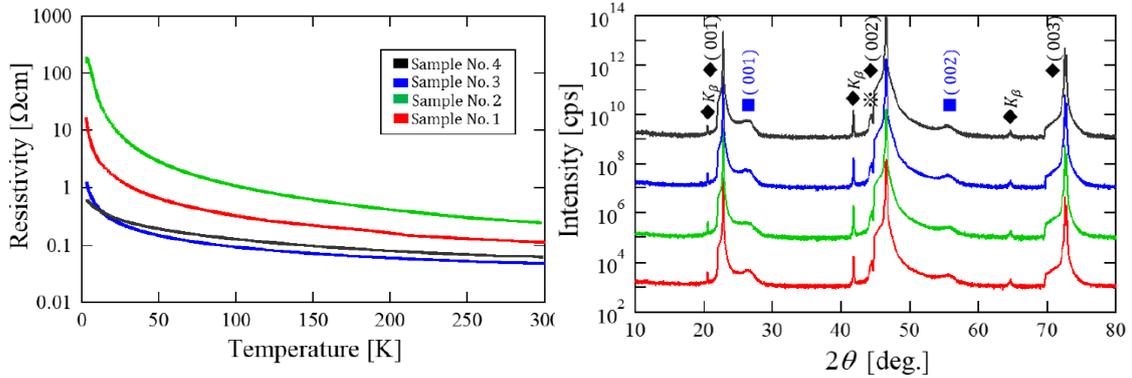


図 8 Nd_{1-x}Sr_xNiO₂ の電気抵抗率と XRD パターン

以上のように IGZO および関連物質に関する大型単結晶育成と電気輸送特性に関する研究では、ほぼ当初の目的を達成できた。さらには、今後の研究につながる新規大型単結晶の育成にも成功し、次世代ディスプレイの赤色マイクロ LED に利用される InGaN の成長用の基板に利用できる可能性をはじめとして、電気的異方性を積極的に活用する機能性素子に利用できる可能性を切り拓くことができた。

また、Ni 系酸化物薄膜に関する研究では既報の手法とは異なる簡易的な手法により、良質な超伝導薄膜を育成するための条件確立という目的は実現できなかったが、その研究過程において、MOD 法による薄膜育成に対する新しい知見をいくつか得ることができた。

参考文献

[1] Y. Tanaka et al., CrystEngComm, 2019, **21**, 2985
 [2] Li, D. et al. Nature 572, 624-627 (2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kase Naoki, Kimizuka Noboru, Miyakawa Nobuaki	4. 巻 24
2. 論文標題 Recent progress of the single crystal growth of homologous (InGaO ₃) _m (ZnO) _n	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 4481 ~ 4495
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2CE00439A	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

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 井上 禎人、河村 優介、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 加圧式Optical Floating Zone 法による(InGaO ₃) ₁ (ZnO) ₂ の大型単結晶育成と性能評価
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 加瀬 直樹、井上 禎人、漆間 由都、河村 優介、川上 冬樹、宮川 宣明
2. 発表標題 InGaO ₃ (ZnO) _n 単結晶の酸素アニールによる輸送特性の制御
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 野末隆広、竹下直、伊豫彰、永崎洋、宮川宣明
2. 発表標題 TI系銅酸化物高温超伝導体におけるT _c の圧力依存性
3. 学会等名 日本高圧力学会第62回高圧討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 漆間 由都、井上 禎人、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 In ₂ O ₃ (ZnO) ₃ のバルク単結晶の育成及びその輸送特性
3. 学会等名 2023年第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 後藤 大知、永嶋 佑紀、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 MOD法による無限層ニッケル酸化物薄膜の作製条件の確立
3. 学会等名 2023年第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 加瀬 直樹、井上 禎人、漆間 由都、川上 冬樹、河村 優介、宮川 宣明
2. 発表標題 InGaO ₃ (ZnO) _n の大型単結晶を用いた熱輸送特性
3. 学会等名 2023年第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 加瀬直樹, 宮川宣明
2. 発表標題 無次元性能指数測定装置の開発と新しい熱電材料の探索
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加瀬 直樹、井上 禎人、漆間 由都、河村 優介、小林 祐樹、宮川 宣明
2. 発表標題 (InGa03)n(Zn0)mの大型単結晶を用いた輸送および熱特性
3. 学会等名 2021年第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 高橋 裕之介、芝田 悟朗、大川 万里生、保井 晃、高木 康多、河村 優介、加瀬 直樹、宮川 宣明、齋藤 智彦
2. 発表標題 InGaZn04バルク単結晶の硬 X 線光電子分光
3. 学会等名 2021年第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 井上 禎人、河村 優介、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 加圧式Optical Floating Zone 法による(InGa03)1(Zn0)2の大型単結晶育成
3. 学会等名 2021年第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 河村 優介、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 (InGa03)(Zn0)n(n=1,3)単結晶の酸素アニール効果
3. 学会等名 2021年第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 加瀬直樹, 別所大輝, 秋山勇二, 松本雅也, 近藤克夫, 宮川宣明
2. 発表標題 BiS2系化合物の静水圧下における熱電性能
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋山勇二, 芭蕉宮悠成, 松本雅也, 加瀬直樹, 宮川宣明
2. 発表標題 BiS2系超伝導体 $R_{1-x}Ce_xOBiS_2$ ($R = La, Pr, Nd$)の圧力効果
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口百花, 田邊智彬, 上野瑛士, 後藤大知, 加瀬直樹, 宮川宣明
2. 発表標題 $ZrTe_{3-x}Se_x$ における電気抵抗率の圧力依存性
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂下真人, 竹下直, 永崎洋, 宮川宣明
2. 発表標題 Bi系銅酸化物単結晶試料の圧力下での面間電気抵抗率測定
3. 学会等名 日本高圧力学会第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Nozue, N. Takeshita, A. Iyo, H. Eisaki, and N. Miyakawa
2. 発表標題 Annealing and pressure effects in TI-based high-Tc cuprate superconductors (TI-1212 and TI-1223)
3. 学会等名 The 36th International Symposium on Superconductivity (ISS2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山岡大起, 高橋裕之介, 澤田晏伯, 芝田悟朗, 大川万里生, 河村優介, 漆間由都, 井上禎人, 加瀬直樹, 宮川宣明, 堀場弘司, 北村未歩, 浜田典昭, 齋藤智彦
2. 発表標題 InGaZnO4の角度分解光電子分光
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 要太、佐藤 飛呂、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 ホイスラー合金における異常ネルンスト効果を用いた横熱電材料の探索
3. 学会等名 2023年第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 加瀬 直樹、井上 禎人、漆間 由都、田中 啓太、河村 優介、宮川 宣明
2. 発表標題 InGaO ₃ (ZnO) _n の大型単結晶を用いた伝導異方性の検証
3. 学会等名 2023年第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 小海 稜太郎、井上 禎人、漆間 由都、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 Optical Floating Zone法を用いた $[\text{In}_{0.7}\text{Sn}_{0.15}\text{Zn}_{0.15}]\text{GaO}_3(\text{ZnO})_1$ の大型単結晶育成と物性評価
3. 学会等名 2023年第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 野末 隆広、竹下 直、伊豫 彰、永崎洋、宮川 宣明
2. 発表標題 TI系銅酸化物高温超伝導体 $\text{TlBa}_2\text{Can-1Cu}_n\text{O}_y$ ($n=2,3$)における圧力効果
3. 学会等名 第64回高圧討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村陽太、秋山勇二、松本雅也、加瀬直樹、宮川宣明
2. 発表標題 BiS2系超伝導体 $(\text{R,Ce})\text{OBiS}_2$ ($\text{R}=\text{希土類}$)の圧力下磁化測定による超伝導相の決定
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 金 祥泰、永嶋 祐紀、後藤 大知、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 MOD法による各種基板を用いた NdNiO_2 単結晶薄膜の還元条件と電気輸送特性
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐藤 飛呂、佐藤 要太、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 異常ネルンスト効果を用いた横型熱電発電に向けた新規材料開発
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 永嶋 佑紀、金 祥泰、後藤 大知、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 MOD法による(Pr/Nd, Sr)NiO ₂ 薄膜の作製及び界面圧力効果による電気輸送特性の評価
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 中村 彌法、山崎 優樹、中村 陽太、加瀬 直樹、宮川 宣明
2. 発表標題 CeO ₂ Bi ₂ S ₃ -xSexにおける圧力効果
3. 学会等名 2024年第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

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	加瀬 直樹 (Kase Naoki)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	君塚 昇 (Kimizuka Noboru)		
研究協力者	齋藤 智彦 (Saitoh Tomohiko)		

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