

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04638

研究課題名(和文) 薄膜でのみ出現する新Ni酸化物超伝導のバルク体での実現

研究課題名(英文) Realization of bulk-superconductivity in new nickelate thin film superconductor

研究代表者

上原 政智 (Uehara, Masatomo)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：60323929

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)：本研究はNi酸化物の薄膜超伝導の $\text{Pr}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ 、 $(\text{Ln},\text{A})\text{NiO}_2$ ($\text{Ln}=\text{ランタノイド}$ 、 $\text{A}=\text{Sr},\text{Ca}$) バルク体での実現が目的である。2つのNiサイトの一方を様々な3d元素で置換しキャリア量調整により超伝導発現を目指した。XAFSと熱電測定では相反するキャリア量変化が観測された。中性子回折実験から置換元素はNi(1)サイトを主に占有しNi(2)サイトにも数%程度入る事が分かった。Lnのサイズが小さいほど超伝導発現を阻害する残留酸素を除去し易くなったが、電気抵抗は半導体的傾向が強くなった。両系においてバルク体での超伝導は実現しなかったが電子状態や結晶構造に関して多くの知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新超伝導体 $(\text{Nd},\text{Sr})\text{NiO}_2$ は銅酸化物高温超伝導体と似てゐるが故に物性の詳細な比較が可能であり、高温超伝導機構解明や、約30年間、130 Kで頭打ちである超伝導転移温度を上昇させる指針抽出に大きく寄与するであろう事から非常に注目されている。しかし薄膜でしか超伝導が発現しないため研究の展開は限定的であり、バルク体での超伝導実現が熱望されている。これを受け $\text{Pr}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ 、 $(\text{Ln},\text{A})\text{NiO}_2$ ($\text{Ln}=\text{ランタノイド}$ 、 $\text{A}=\text{Sr},\text{Ca}$) バルク体での超伝導発現を目指した。両系において超伝導実現に至らなかったが、超伝導発現に向け、解決すべき点が明確になり、また両系の物性についての多くの知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：The goal of the project is the realization of bulk-superconductivity in $\text{Pr}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ and $(\text{Ln},\text{A})\text{NiO}_2$ ($\text{Ln}=\text{lanthanide}$, $\text{A}=\text{Sr},\text{Ca}$). By substituting of Ni(1) site by 3d-elements, carrier number was optimized to induce superconductivity. XAFS and Seebeck measurements showed the controversial results on the carrier concentration. An electrical structure model which can explain the discrepant result was proposed. Neutron diffraction measurement revealed that the dopant element mainly entered into Ni(1) site but a few % of dopant entered in Ni(2). Removal of excess oxygen that may be an obstacle to superconductivity became easier when Ln-size became smaller. But the semiconducting character became stronger. Though the superconductivity didn't show up in both system, many of knowledge on electrical and structural properties was obtained.

研究分野：固体物理

キーワード：Ni酸化物 高温超伝導 ドーピング 層状化合物

1. 研究開始当初の背景

2019年、Nature 誌において $(\text{Nd}_{0.8}\text{Sr}_{0.2})\text{NiO}_2$ 薄膜で超伝導転移温度 (T_c) = 約 15 K の超伝導が報告された [1]。これは常圧下で最高の T_c を持つ銅酸化物高温超伝導体 (HTSC) の結晶・電子構造を模倣する事で実現した初の非銅酸化物超伝導体であり、HTSC 研究に衝撃を与えた。なぜなら、HTSC と似てゐるが故に電子状態・磁性の詳細な比較が可能であり、高温超伝導機構解明や、約 30 年間 130 K で頭打ちである T_c を上昇させる指針抽出に大きく寄与する為である。しかし薄膜でしか超伝導が発現しないため研究の展開は限定的であり、研究の進展のために超伝導のバルク体での実現が熱望されていた。

2. 研究の目的

以上を踏まえ、本研究の目的は $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ ($\text{Ln}=\text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$) 及び $(\text{R}, \text{A})\text{NiO}_2$ ($\text{R}=\text{ランタノイド元素}, \text{A}=\text{Sr}, \text{Ca}$) バルク体において、高温超伝導を発現させることである。バルク超伝導体を用いた研究により高温超伝導機構解明や、約 30 年間 130 K で頭打ちである T_c を上昇させる指針抽出に大きく寄与することを目指した。

3. 研究の方法

研究代表者らは Ni 酸化物 $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ に注目し、高温超伝導発現を目指した研究を行ってきた。 $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ は HTSC 中の CuO_2 面と同構造の 2 次元 NiO_2 面が絶縁体的なブロック層で隔てられ基本的に HTSC と同じ結晶構造を持つ (図 1(左)(中)参照)。しかし超伝導は現れなかった。Ni 3d 軌道の形式電子数は 8.67 であり、HTSC の電子相図で見れば“非超伝導”金属相領域に位置し、これにより超伝導が現れないのでは? と考えられた。(図 2 参照)

また、超伝導を示す $(\text{Nd}_{0.8}\text{Sr}_{0.2})\text{NiO}_2$ 薄膜は NiO_2 面が絶縁体的なブロック層で隔てられており、ブロック層の構造が異なるだけで $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ と実質的に同構造を持つ (図 1(右)参照)。 $(\text{Nd}_{0.8}\text{Sr}_{0.2})\text{NiO}_2$ では Ni 3d 軌道の電子数は 8.8 で HTSC の超伝導相と同程度になっている (図 2 参照)。 $(\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x)\text{NiO}_2$ において Sr 置換量を $x = 0.25$ まで増やし Ni 3d の形式電子数を 8.75 まで減らすと超伝導は消失する [3] (図 2 参照)。この結果から、 $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ も 3d 電子数を 8.8 程度に増やせば超伝導が現れることを強く示唆していた。 $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ における超伝導発現のための 3d 電子数の調整の方法として、結晶学的に 2 つある Ni サイトの片方のみに Ni より形式価数の大きいイオンでの置換を行い (選択的置換)、Ni 3d 形式電子数を最適化する方法を行った。これにより伝導の主役たる NiO_2 面的一方 (Ni(1) サイト) はクリーンな状態のままとなる (図 3 参照)。

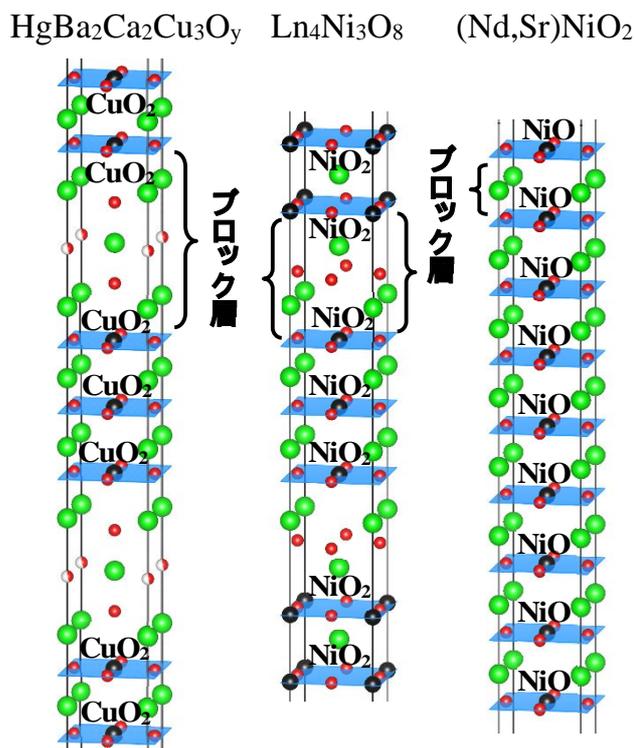


図 1. $T_c = 130$ K の HTSC である $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (左)、 $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ (中)、 $(\text{Nd}, \text{Sr})\text{NiO}_2$ (右) の結晶構造。3 物質とも CuO_2 面、 NiO_2 面と絶縁体的ブロック層との積層構造を持つ。

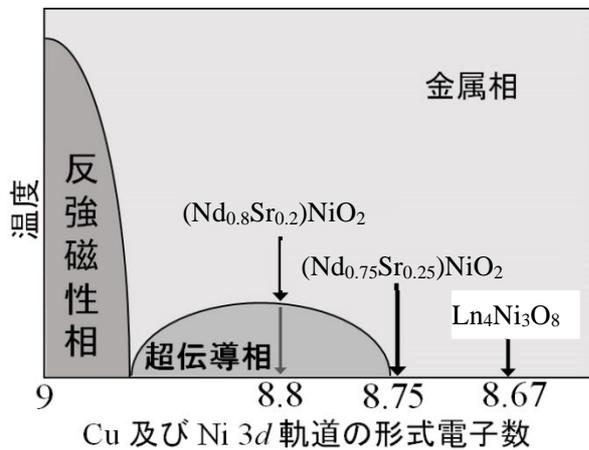


図 2. HTSC の模式的な電子相図に、 $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ 及び $(\text{Nd},\text{Sr})\text{NiO}_2$ の Ni 3d 軌道の形式電子数の位置を示した図。 $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ は非超伝導領域に位置することが分かる。

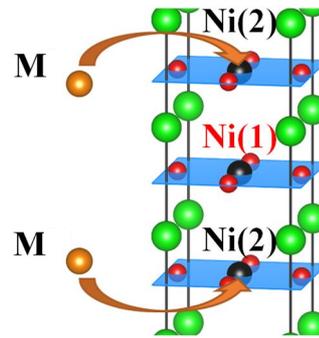


図 3. $\text{Ln}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ に対するサイト選択的置換の模式図。Ni(2) サイトだけ M 元素で置換され、Ni(1)O₂ 面はクリーンに保たれる。

(R,A)NiO₂ については、Ni の頂点位置に余剰酸素が存在するため、バルク体では超伝導が現れない可能性が考えられた。よって(R,A)NiO₂ バルク体に独自の S 処理を施し超伝導化を目指した。

各年度の研究計画は以下の通りであった。

【令和 3 年度】 <Pr₄Ni₃O₈ における Ni 3d 形式電子数最適化による超伝導発現> Ln = Pr の Pr₄Ni₃O₈ で最も効率的に余剰酸素を除去できることが研究代表者らの研究により分かっている [2,3]。よって、Pr₄Ni_{3-x}M_xO₈ の組成において M に様々な 3d 元素を用いて選択的置換を様々な合成条件により試みる。電気抵抗率測定、X 線回折測定をフィードバックとし、作成条件の最適化を行う。また、KEK や J-PARC での放射光粉末 X 線及び中性子線回折実験により置換サイトの確認を行う。XAFS などの局所構造解析も行い、選択的置換の程度を確認する。それらを合成条件最適化への更なるフィードバックとしバルク体での超伝導体を得る。

【令和 4 年度以降】 <(R,A)NiO₂ バルク体の超伝導化> 令和 4 年度以降は(R,A)NiO₂ のバルク体の超伝導化に注力する。本系のバルク体作成法は前駆体(R,A)NiO₃ を作成した後、CaH₂ を用いた還元により (R,A)NiO₂ を得る。(R,A)NiO₃ の作成にはアルカリ金属水酸化物融液塩を用いた方法や高酸素圧下での高圧合成等、一般的ではない方法が必要であるが、申請者はメカニカルミリング (MM) により微粒子化した原料を用いると簡便な固相反応法により合成できる事を見出している。この方法を用い多くの試料を効率的に合成する。現状薄膜でしか超伝導が発現しない理由として、バルク体では Ni の頂点位置に余剰酸素が残留するためと考えている。よって作成した試料に対し、S 処理により余剰酸素を除去し、バルク体で超伝導を実現する。また R をサイズの異なる様々なランタノイドイオンに置換し化学的圧力印加の程度を変化させ、バルク超伝導発現の最適条件を探る。

4. 研究成果

<Pr₄Ni₃O₈ における Ni 3d 形式電子数最適化による超伝導発現>

Pr₄Ni₃O₈ の超伝導化を目的として、Ni サイトへ遷移金属 M (=Ti, Cr, Co, Cu) をドーブすることで NiO₂ 面のキャリア量調整を行った。

粉末 X 線回折の結果、全ての試料が目的物質をメインフェーズとして合成できた。

粉末中性子回折の結果、ドーパント M はいずれも Ni(1)サイトを優先的に占有しているが、Ni(2)サイトにも数パーセント程度占有されてしまうことが分かった。このことから、完全な選択的置換、すなわち、どちらか一方のサイトのみに元素置換され、もう一方が完全にクリーン保たれる状態は、本系での実現は非常に困難であることが示唆された。また酸素欠損について、O(1)サイトに数パーセント程度の酸素欠損が確認されたが、O(2), O(3)サイトからは欠損が認められなかった。これと Ni サイトへのドーパント分布の結果から、Ni(2)-O(2)平面を比較的クリーンに保つことに成功したと考えられる。

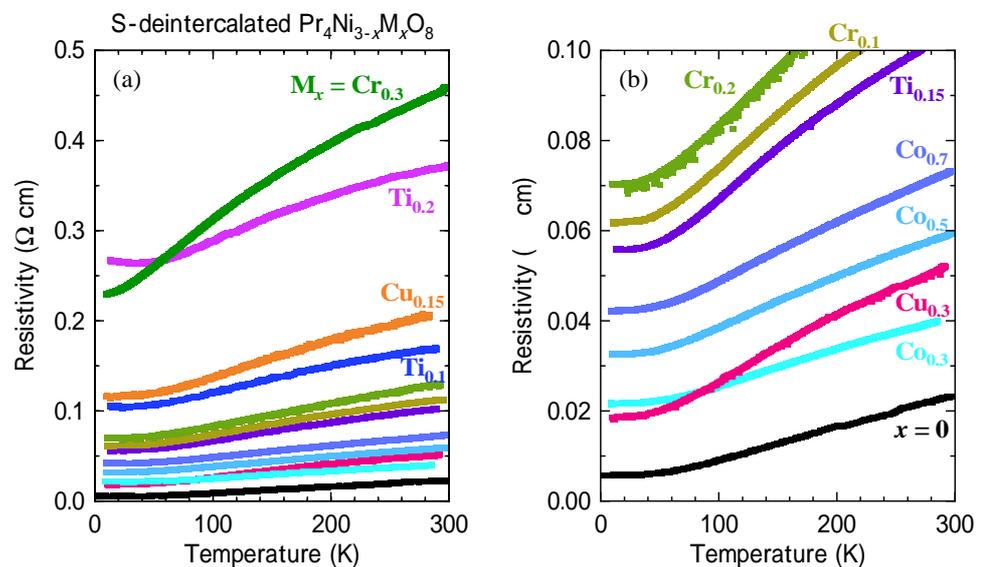
XAFS 測定の結果、ドーパント元素は Ti^{4+} , Cr^{3+} , Co^{2+} , Cu^{+} という価数で存在することが分かった。また Ni はいずれも元素置換により ~ 0.1 程度ホールドーピングされることが分かった。このホールドーピング量は、ドーパントの種類や価数との相関は一見して確認できなかった。この結果は、単純な電荷中性条件から期待される電子ドーピング ($M = Cu$ を除く) とは逆の結果となった。ドーパントの 3d 電子の電気伝導への寄与の度合いや、O 2p バンドに対するドーパントと Ni の 3d エネルギー準位の違いなど、いくつかの要因が寄与することで Ni 3d 電子数が変化した可能性が考えられる。これはドーパントが伝導を強く阻害する HTSC とは対照的であり、両者の電子状態の違いを示す結果である。

熱電測定による Seebeck 係数は全ての試料でマイナスであり、主なキャリアが電子であることを示している。これは同程度の 3d 電子数を持つオーバードープ領域の HTSC と同様の結果であり、両者が基本的には類似の電子状態を持つことを示している。ゼーベック係数の温度変化はおおよそ温度に比例する金属的振る舞いであり、同じく金属的な電気抵抗率と整合する。HTSC におけるゼーベック係数とホール濃度のユニバーサルな関係を適用すると、いずれの試料も NiO_2 面に対して 0.3~0.4 程度の電子ドーピング (Co0.3 のみホールドーピング) がされていることが分かった。

電気抵抗率は全ての試料で金属的で、低温までキャリア局在を示さないことが確認された(図 4 参照)。これは伝導面への数パーセントの元素置換により半導体化する HTSC とは対照的であり、両者の電子状態の違いを示す実験結果である。特に Co ドーピング試料では伝導面への 20% 程度の元素置換を行っても金属的であり、単に残留抵抗が増加しただけのように見える。これは NiO_2 面内で Ni や O の軌道と混成して電気伝導に関与していることを示唆する結果である。

XANES が示す Ni サイトへのホールドーピングと Seebeck 係数が示す NiO_2 面への電子ドーピングを合わせると、酸素サイトに

電子ドーピングされたことが示唆される。すなわち、 $Pr_4Ni_{3-x}M_xO_8$ は Ni サイトと O サイトの両方にキャリアを持つ、電荷移動型と Mott-Hubbard 型の間状態にあることが示唆された。



本試料はいずれも 2 K まで超伝導は確認されなかった。これは、伝導面への数パーセント程度の元素置換でも超伝導発現が阻害されることや、NiO₂ 面のキャリア数が超伝導発現に適切でない可能性が考えられる。重要な結論として、Ni サイトをドーパントサイトとして利用できることが判明した。超伝導化に向け、より完全な選択的置換を行う為の合成条件の最適化が今後の課題となる。

図 4. Pr₄Ni_{3-x}M_xO₈ 試料の電気抵抗率の温度変化。(a) 全体図、(b) 縦軸が 0.1 Ωcm 以下の部分を拡大した図。

<(R,A)NiO₂ バルク体の超伝導化>

研究計画において前駆体(R,A)NiO₃ は MM により合成する予定であったが、Sr, Ca を導入した試料についてはこの方法では作成できないことが分かった。これは Sr²⁺, Ca²⁺の導入により Ni の形式価数が上がるので、合成には強力な酸化条件が必要であると思われる。よって(R,A)NiO₃ の合成には酸化剤を用いた高压合成法を採用した。これまでのバルク実験では、前駆体から(R,A)NiO₂ へのトポタクチック還元は、強力な還元剤である CaH₂ を用いて行われていたが、本研究において(R,A)サイトの平均イオン半径を減少させると H₂ フロー中での焼成のみで(R,A)NiO₂ を得られることを見出した。更に、(R,A)サイトの平均イオン径を小さくするにしたがって、還元に必要な温度が低下していく傾向にあることも判明した。これは、(R,A)サイトをより小さなイオンで置換したことでトランス因子が減少し、その結果、選択的に頂点酸素が抜去されたことを示唆している。当初予期していかなかった実験結果を受け、独自の S 処理による頂点酸素の除去に時間をあまり割くことができなかった。

図 5 に、R_{0.8}A_{0.2}NiO₂ における電気抵抗率の温度変化を示す。この図より、Pr_{0.8}Ca_{0.2}NiO₂ が最も低い電気抵抗率を示すことがわかる。その値は、現在あるバルク研究の試料の中で最小である[4-6]。その一方で、(Pr, Ca)よりも平均イオン径を小さくしていくと、電気抵抗率の上昇を引き起こすことが分かる。これは、(R,A)サイトと NiO₂ 面の幾何学的ミスフィットによる NiO₂ 面の乱れに起因していると考えられる。また、磁化測定の結果から、2 K までで超伝導転移を観測できなかった。Pr_{0.8}Ca_{0.2}NiO₂ において最も高い電気伝導性を示すことは、最も NiO₂ 面の乱れが小さいことを示唆している。このことから、本系でバルク超伝導を目指すためには、Pr_{0.8}Ca_{0.2}NiO₂ が最も有望であると結論付けられる。

超伝導化に向けた今後の課題として、ドーパ量を変化させるなどして超伝導化を目指すこと、また、あまり時間のさけなかった S 処理による頂点酸素の除去条件の最適化を行うことが考えられる。

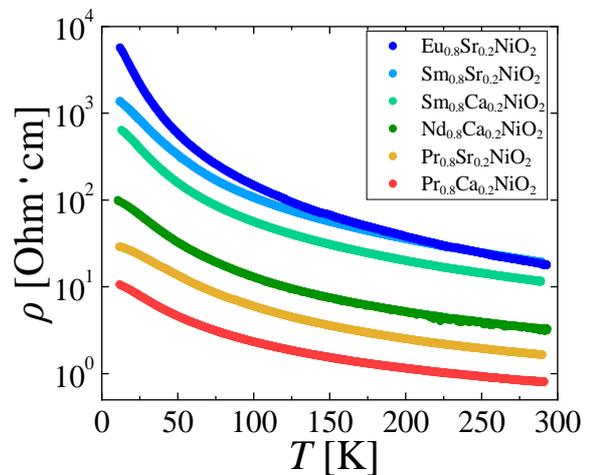


図 5. R_{0.8}A_{0.2}NiO₂. 電気抵抗の温度変化。

- [1] D. Li *et al.*, Nature **572**, 624 (2019).
- [2] T. Miyatake *et al.*, JPS Conf. Proc. **30**, 011061 (2020).
- [3] H30 科研費基盤研究(C) 18K04695.
- [4] Q. Li, *et al.*, Commun. Mater. **1**, 16 (2020).
- [5] B.-X. Wang, *et al.*, Phys. Rev. Mater. **4**, 084409 (2020).
- [6] C. He, *et al.*, arXiv:2010.11777 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Miyatake Tomonori, Wako Yuki, Tsukamoto Satoru, Uehara Masatomo	4. 巻 38
2. 論文標題 X-ray Absorption Spectroscopic Study of Layered Nickelates Pr ₄ Ni ₃ ?<i>x</i>Co<i>x</i>O ₈ for High- <i>T</i>c Superconductor Candidate</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 11042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.38.011042	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 Wako Yuki, Tsukamoto Satoru, Miyatake Tomonori, Uehara Masatomo	4. 巻 38
2. 論文標題 Chemical Substitution of Ni-site and O-site in High- <i>T</i>c Superconductor Candidate (Pr, Nd)₄Ni₃O₈</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 11049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.38.011049	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 Kirihara Ryo, Miyatake Tomonori, Endo Sohei, Uehara Masatomo	4. 巻 38
2. 論文標題 Synthesis of Sulfur-Intercalated Compound Nd _{0.8} Ca _{0.2} NiO ₂ S<i>y</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 11045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.38.011045	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 桐原凌, 宮武知範, 上原政智	4. 巻 39
2. 論文標題 Structural Analysis of Nd _{0.8} Ca _{0.2} NiO ₂ Sy by Using Synchrotron X-Ray Diffraction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2021 #39 (2022)	6. 最初と最後の頁 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 宮武知範, 塚本達, 上原政智	4. 巻 38
2. 論文標題 高温超伝導候補物質 Pr ₄ Ni ₃ O ₈ の Ni サイトへの選択的要素置換の試み	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2020 #38 (2021)	6. 最初と最後の頁 174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Miyatake Tomonori, Wako Yuki, Abe Ryota, Tsukamoto Satoru, Uehara Masatomo	4. 巻 92
2. 論文標題 Chemical Doping and Career Tuning in Ni-site Substituted Layered Nickelates Pr ₄ Ni ₃ O ₈ (M: 3d Transition Metals) Studied by X-ray Absorption Spectroscopy	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 124701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.124701	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 Miyatake Tomonori, Wako Yuki, Abe Ryota, Tsukamoto Satoru, Uehara Masatomo	4. 巻 93
2. 論文標題 Neutron Diffraction Study of Layered Nickelates Pr ₄ Ni ₃ O ₈ for High-	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 24709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.93.024709	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 赤堀迅, 小澤晴信, 宮武知範, 上原政智	4. 巻 40
2. 論文標題 Eu _{0.8} Sr _{0.2} Ni ₃ O ₈ の放射光 X 線回折による精密構造解析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2022 #40 (2023)	6. 最初と最後の頁 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Tomonori Miyatake, Yuki Wako, Satoru Tsukamoto, Masatomo Uehara
2. 発表標題 X-ray absorption spectroscopic study of layered nickelates $\text{Pr}_4\text{Ni}_3\text{-xMxO}_8$ (M: transition metal) for high-Tc superconductor candidate
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Wako, Satoru Tsukamoto, Tomonori Miyatake, Masatomo Uehara
2. 発表標題 Chemical substitution of Ni site and O site in high-Tc superconductor candidate $\text{R}_4\text{Ni}_3\text{O}_8$ (R=Pr, Nd)
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryo Kirihara, Tomonori Miyatake, Sohei Endo, Masatomo Uehara
2. 発表標題 Attempts to realization of superconductivity in the bulk nickelate $\text{Nd}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{NiO}_2$
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮武知範, 和光勇輝, 塚本達, 阿部凌大, 上原政智
2. 発表標題 高温超伝導候補物質 $\text{R}_4\text{Ni}_3\text{-xMxO}_8$ (R: 希土類, M: 遷移金属) の合成と物性測定 VIII
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 宮武知範, 塚本達, 和光勇輝, 梅原出, 上原政智
2. 発表標題 高温超伝導候補物質 $R_4Ni_3-xMxO_8$ (R: 希土類, M: 遷移金属) の合成と物性測定V
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 宮武知範, 塚本達, 和光勇輝, 梅原出, 上原政智
2. 発表標題 高温超伝導候補物質 $R_4Ni_3-xMxO_8$ (R: 希土類, M: 遷移金属) の合成と物性測定VI
3. 学会等名 日本物理学会2022年第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮武知範, 和光勇輝, 塚本達, 阿部凌大, 上原政智
2. 発表標題 高温超伝導候補物質 $R_4Ni_3-xMxO_8$ (R: 希土類, M: 遷移金属) の合成と物性測定IX
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 赤堀迅, 桐原凌, 宮武知範, 上原政智
2. 発表標題 $(R_1-xAx)NiO_3$ および $(R_1-xAx)NiO_2$ (R=希土類元素, A=Sr, Ca) の合成と結晶構造
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 宮武知範, 上原政智
2. 発表標題 高温超伝導候補物質R4Ni3-xMxO8 (R: 希土類, M: 遷移金属) の合成と物性測定X
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
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
---------------------------	-----------------------	----

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