

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14778

研究課題名（和文）歪制御による無限層構造NdNiO₂の超伝導転移温度の向上研究課題名（英文）Enhancement of T_c of infinite layer NdNiO₂ by lattice strain

研究代表者

作間 啓太（Sakuma, Keita）

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号：30781976

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：近年、新たに発見された無限層構造RENiO₂は、銅酸化物超伝導体を上回る超伝導転移温度を示す可能性を有している。そこで、本研究では酸素量および歪量の制御による、無限層構造RENiO₂の超伝導化を目指した。TFA-MOD法を用い、単結晶基板上に母物質RENiO_y薄膜の作製に成功した。超伝導転移は観測されなかったが還元処理により半導体的な電気伝導特性から金属的な特性が得られた。様々なBa/Sr組成を有するBaxSr1-xTiO₃バッファ層上にRENiO_y薄膜を作製し、RENiO_y薄膜への歪印加を可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「超伝導」は健康寿命の延伸やクリーンで省エネルギー社会の実現の一端を担っているが、極低温まで冷却する必要があり、超伝導転移温度の向上が必要とされる。本研究で開発した「酸素量制御」「歪制御」技術は、他の機能性材料にも適用可能であり、新たな機能性制御機構としても期待できる。

研究成果の概要（英文）：Recently, a newly discovered infinite layer RENiO₂ has the potential to exhibit a superconducting transition temperature higher than that of cuprate superconductors. In this study, we have succeeded in fabricating the parent material RENiO_y thin film on single crystal substrate by TFA-MOD method. Although the superconducting transition was not observed, the reduction process gave the semiconducting to metallic properties. RENiO_y thin films were fabricated on BaxSr1-xTiO₃ buffer layers with various Ba/Sr compositions, enabling the application of strain to the RENiO_y thin films. RENiO_y thin films were epitaxially grown on BaxSr1-xTiO₃ buffer layers.

研究分野：機能性材料

キーワード：超伝導 歪 薄膜 無限層

1. 研究開始当初の背景

「超伝導」はある温度(転移温度： T_c)まで冷やすと電気抵抗がゼロとなり、大電流を流すことができる線材やその線材を用いた電磁石は従来不可能であった非常に強い磁石を作り出すことができる。それら超伝導線材や超伝導電磁石は医療応用[磁気共鳴画像診断(MRI)、重粒子線がん治療など]や産業応用[リニアモーターカー、核融合装置など]に既に実用化され、健康寿命の延伸やクリーンで省エネルギー社会実現の一端を担っている。しかし、これらの実用された超伝導機器には超伝導体を転移温度以下に冷やすために冷媒(液体ヘリウム、液体窒素など)や冷凍機が使用されており、この冷却コストが大規模応用や普及を妨げている要因となっている。転移温度の高い超伝導体を求めて世界各国で盛んに研究が行われている。特に、1986年に銅酸化物高温超伝導体が発見され数年で133 Kまで転移温度が上昇し、また、Drozdov氏ら[Nature 525, (2015) 73]は硫化水素が超高压下であるが203 K(-70°C)というこれまでの転移温度を大きく上回る温度で超伝導を示すことを報告した。しかし、超高压が必要な硫化水素を除くと超伝導体の転移温度は20年以上更新されていない。これは、高い転移温度を示すメカニズムが未だ明確に解明されていないためである。

2019年8月にLi氏ら[Nature 572, (2019) 624]は、ニッケル酸化物NdNiO₃薄膜を還元アニール処理(酸素を除去)することにより得られた無限層構造を有するNdNiO₂薄膜において超伝導を示すことを報告し、ニッケル酸化物が新たな超伝導体として発見された。現在、無限層構造NdNiO₂薄膜の転移温度は9-15 Kと低いが、物質固有の転移温度は不明であり、銅酸化物高温超伝導体を上回る転移温度を示す可能性を有している[Physica C 566, (2019) 1353534]。加えて、この新たな超伝導体の理解が進めば、高い転移温度を示すメカニズムの解明に寄与することが期待される。

2. 研究の目的

一般的に銅酸化物高温超伝導体の転移温度は酸素量や歪に大変敏感であることが報告されている。特に、申請者はNdNiO₂と同じ結晶構造を有する銅酸化物高温超伝導体である無限層構造SrCuO₂(Nd → Sr, Ni → Cuに変わっている)において、酸素量および歪を精密に制御することにより、世界で最も高い転移温度を有する無限層構造SrCuO₂薄膜の作製に世界で唯一成功している。

本研究は以下の流れで研究を実施する。初めに、母物質RENiO_y(RE:希土類)の作製を試み、還元アニール処理による酸素量制御およびバッファ層による歪制御を行った。

具体的な研究目的を以下に示す。

1. TFA-MOD法を用いた母物質RENiO_yの作製
2. 酸素量制御が母物質RENiO_yの特性に与える影響の解明
3. 歪制御が母物質RENiO_yの特性に与える影響の解明

3. 研究の方法

研究目的に対する研究方法を以下に示す。

1. TFA-MOD法を用いた母物質RENiO_yの作製

TFA-MOD法を用い、仮焼成および本焼成時の焼成条件を系統的に変化させ単結晶基板に

RENiO_yの作製を試みた。結晶構造解析には、XRD法を用いた。電気特性は、四端子法を用いて評価した。

2. 酸素量制御が母物質 RENiO_y の特性に与える影響の解明

母物質 RENiO_y 薄膜および CaH₂ 粉末をガラス管に封入し、アニール処理を行うことで還元処理を行った。還元条件を系統的に変化させ、酸素量制御を試みた。

3. 歪制御が母物質 RENiO_y の特性に与える影響の解明

スパッタリング法を用いて、様々な Ba/Sr 組成を有する Ba_xSr_{1-x}TiO₃ バッファ層を作製し、RENiO_y 薄膜の歪制御を試みた。

4. 研究成果

1. TFA-MOD 法を用いた母物質 RENiO_y の作製

仮焼成時の焼成温度および本焼成時の焼成温度・水蒸気分圧を最適化することにより、単結晶基板上に母物質 RENiO_y が得られることがわかった。特に、銅酸化物高温超伝導体である無限層構造 SrCuO₂ よりも本焼成温度が高い温度領域においてのみ、母物質 RENiO_y が成長することを明らかにした。これは、SrCuO₂ と RENiO_y では構造安定性が異なることを示唆している。電気特性の測定から、母物質 RENiO_y は絶縁体であった。

2. 酸素量制御が母物質 RENiO_y の特性に与える影響の解明

1. で作製した物質 RENiO_y 薄膜を CaH₂ 粉末とともにガラス管に封入し、アニール処理を行った。CaH₂ は高温になると H ガスが発生し、発生した H ガスによって RENiO_y を還元することが可能である。還元処理を行った RENiO_y 薄膜の c 軸長は短くなり、酸素量が減少していることが示唆された。また、電気特性の測定から、還元処理を行った RENiO_y 薄膜は半導体的な抵抗-温度依存性から金属的な依存性となり、酸素量が減少し、NiO₂ 面にキャリアがドーピングされていると考えられる。現在のところ、超伝導転移は見られておらず、この原因として、還元が足りず酸素量 y が 2 付近まで減少していないためだと考えられる。

3. 歪制御が母物質 RENiO_y の特性に与える影響の解明

スパッタリング法を用いて、様々な Ba/Sr 組成を有する Ba_xSr_{1-x}TiO₃ バッファ層を作製した。Ba 量 x を 0.0 - 0.7 まで変化させ、格子定数が 0.3905 - 0.3976 nm の Ba_xSr_{1-x}TiO₃ バッファ層の作製に成功した。このバッファ層を用いることにより、RENiO_y 薄膜の歪を制御可能であると考えられる。SrTiO₃ (Ba = 0.0) 上に RENiO_y 薄膜がエピタキシャル成長し、歪が印加されていることを確認した。

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 Osada Motoki, Wang Bai Yang, Goodge Berit H., Lee Kyuho, Yoon Hyeok, Sakuma Keita, Li Danfeng, Miura Masashi, Kourkoutis Lena F., Hwang Harold Y.	4. 巻 20
2. 論文標題 A Superconducting Praseodymium Nickelate with Infinite Layer Structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 5735 ~ 5740
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.nanolett.0c01392	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0件

〔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
---------	---------