

マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書

ARIM User's Report

[Release : 2024.07.25] [Update : 2024.01.24]

課題データ / Project Data

| | |
|--|---|
| 課題番号 Project Issue Number | 23HK0082 |
| 利用課題名 Title | SrCoO _x -SrFeO _x 固溶体を活性層とする全固体電気化学熱トランジスタ |
| 利用した実施機関 Support Institute | 北海道大学 / Hokkaido Univ. |
| 機関外・機関内の利用 External or Internal Use | 内部利用 (ARIM事業参画者以外) / Internal Use (by non ARIM members) |
| 横断技術領域 Cross-Technology Area | 計測・分析/Advanced Characterization |
| 重要技術領域 Important Technology Area | 高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル/Materials allowing high-level device functions to be performed 量子・電子制御により革新的な機能を発現するマテリアル/Materials using quantum and electronic control to perform innovative functions |
| キーワード Keywords | 熱トランジスタ,エレクトロデバイス/ Electronic device,電子顕微鏡/ Electronic microscope,セラミックデバイス/ Ceramic device,集束イオンビーム/ Focused ion beam |

利用者と利用形態 / User and Support Type

| | |
|---|--|
| 利用者名 (課題申請者) User Name (Project Applicant) | 太田 裕道 |
| 所属名 Affiliation | 北海道大学電子科学研究所 |
| 共同利用者氏名 Names of Collaborators in Other Institutes Than Hub and Spoke Institutes | |
| ARIM実施機関支援担当者 Names of Collaborators in The Hub and Spoke Institutes | 松尾保孝,遠堂 敬史,森 有子,平井 直美 |
| 利用形態 Support Type | 技術代行/Technology Substitution,技術相談/Technical Consultation |

利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

| | |
|---------------------------------|--|
| 利用した主な設備 Equipment ID & Name | HK-401 : 収差補正走査型透過電子顕微鏡 HK-403 : 集束イオンビーム加工装置 |
|---------------------------------|--|

報告書データ / Report

| | |
|---|--|
| <p>概要 (目的・用途・実施内容) Abstract (Aim, Use Applications and Contents)</p> | <p>活性層の熱伝導率 (κ) を電氣的に制御する熱トランジスタは、熱管理デバイスとしての可能性を秘めている。最近、我々は、SrCoO_y ($2 \leq y \leq 3$) の電気化学的酸化還元反応を利用した全固体熱トランジスタを実現した。しかし、κ 変調機構が不明であり、κ オン/オフ比を改善する指針が立てられないという問題があった。本研究では、熱トランジスタの活性層として使用される $\text{SrCo}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_y$ ($0 \leq x \leq 1, 2 \leq y \leq 3$) 固溶体の κ を系統的に調べた。</p> |
| <p>実験 Experimental</p> | <p>PLD法により、固体電解質であるYSZ単結晶基板上に $\text{SrCo}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_y$ 薄膜を活性層とする熱トランジスタを作製し、空气中、280°Cにおいて電気化学的に酸化・還元を行った。その際の結晶構造の変化を高分解能XRDおよび収差補正透過型電子顕微鏡 (STEM) により解析した。また、TDTR法により $\text{SrCo}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_y$ 薄膜の熱伝導率を計測した。</p> |
| <p>結果と考察 Results and Discussion</p> | <p>STEM観察の結果、完全に酸化されたペロブスカイト SrFeO_3、中間のブラウンミラライト $\text{SrFeO}_{2.5}$、完全に還元された無限層 SrFeO_2 の原子配列が鮮明に可視化できた (図1)。 $y = 3$ の場合、$\text{SrCo}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_y$ の格子熱伝導率は約 $2.8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ であり、x の影響を受けないことが分かった。 $x = 0$ かつ $y = 3$ の場合、電子熱伝導率の寄与により κ は約 $3.8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ まで増加した。一方、$y = 2$ の場合、κ は原子配列の変化にわずかに依存して変化した (図2)。以上の結果から、熱トランジスタがオンのときは格子が高度に秩序化された高導電体であり、オフのときは結晶格子が乱れた電気絶縁体となる材料が熱トランジスタの活性層として適していることが分かった。</p> |

図・表・数式 1
Figures, Tables and
Equations 1

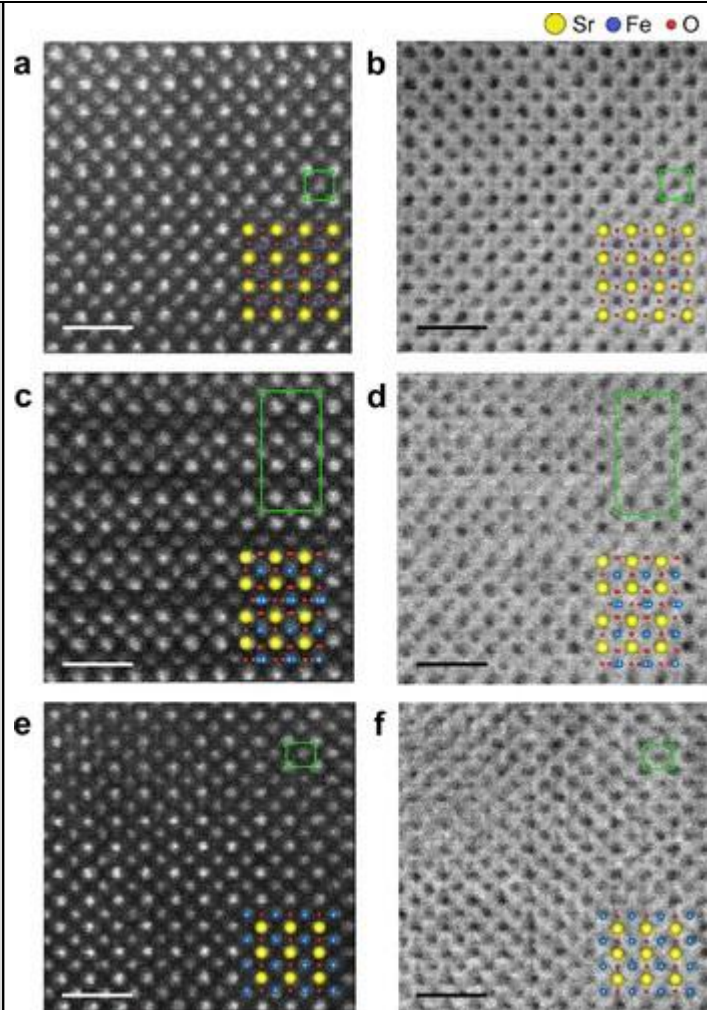


Figure 1. Cross-sectional STEM images of the SrFeO_y layers in solid-state electrochemical thermal transistors. HAADF-STEM images of (a) SrFeO_3 , (c) $\text{SrFeO}_{2.5}$, and (e) SrFeO_2 . Brighter dots are Sr (atomic number, $Z = 38$), and darker dots are Fe ($Z = 26$). ABF-STEM images of (b) SrFeO_3 , (d) $\text{SrFeO}_{2.5}$, and (f) SrFeO_2 . Green squares represent the unit cell. The scale bar is 1 nm.

図・表・数式 2
Figures, Tables and
Equations 2

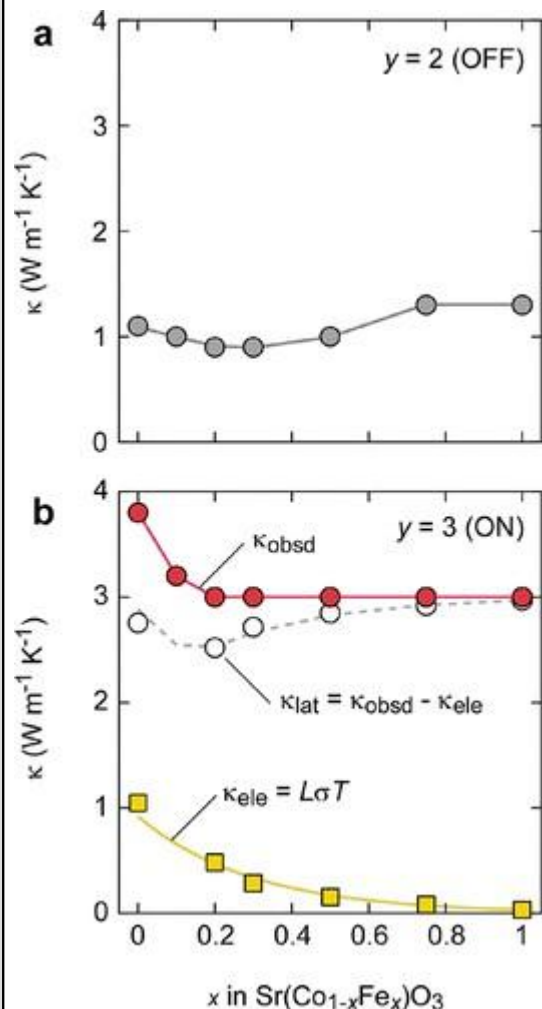


Figure 2. Changes in the thermal conductivity (κ) of (a) the off state and (b) on state of the solid-state electrochemical thermal transistors. (a) When the transistor is off ($y = 2$), κ slightly decreases from 1.1 to 0.9 as x increases from 0 to 0.5 and then increases to 1.2 W/mK. (b) When the transistor is on ($y = 3$), κ_{obsd} dramatically decreases from ~3.8 to ~3.0 W/mK as x increases from 0 to 0.2 and then becomes saturated at ~3.0 W/mK. Electron thermal conductivity (κ_{ele}) is calculated from $\kappa_{ele} = L \cdot \sigma \cdot T$, where L is the Lorentz number, σ is the electrical conductivity, and T is the absolute temperature. Lattice thermal conductivity (κ_{lat}) is calculated from $\kappa_{lat} = \kappa_{obsd} - \kappa_{ele}$.

その他・特記事項 (参考文献・謝辞等)
Remarks(References and Acknowledgements)

成果発表・成果利用 / Publication and Patents

| | |
|--|--|
| <p>DOI (論文・プロシーディング) [1] DOI (Publication and Proceedings)</p> | <p>Zhiping Bian, Solid-State Electrochemical Thermal Transistors with Strontium Cobaltite–Strontium Ferrite Solid Solutions as the Active Layers, <i>ACS Applied Materials & Interfaces</i>, 15, 23512–23517(2023). DOI: 10.1021/acsami.3c03660</p> |
| <p>口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[1] Oral Presentations etc.</p> | <p>Zhiping Bian, Qian Yang, Mitsuki Yoshimura, Hai Jun Cho, Joonhyuk Lee, Hyoungjeen Jeon, Takashi Endo, Yasutaka Matsuo, and Hiromichi Ohta, “Thermal Conductivity Modulation of SrCoO_y–SrFeO_y Solid Solution in Solid-State Electrochemical Thermal Transistors”, The 4th Workshop on Functional Materials Science (FMS2023), Busan, South Korea, June 18–21, 2023. (poster)</p> |

| | |
|--|---|
| <p>口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[2] Oral Presentations etc.</p> | <p>太田裕道, “全固体電気化学熱トランジスタ：遷移金属酸化物の熱伝導率を電氣的に切替える固体スイッチ”, 第84回 応用物理学会秋季学術講演会「イオントロニクスにおける酸化物・カルコゲナイトの新機能」, 熊本城ホールほか3会場, 2023年9月19日-23日 (Invited).</p> |
| <p>口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[3] Oral Presentations etc.</p> | <p>Hiromichi Ohta, “SrCoOx-based solid-state electrochemical thermal transistors”, International Conference on Condensed Matter and Device Physics (ICCMDP-2023), Gandhinagar, September 27-29, 2023 (Invited).</p> |
| <p>口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[4] Oral Presentations etc.</p> | <p>Hiromichi Ohta, “Solid-State Electrochemical Thermal Transistors”, MRM2023/IUMRS-ICA2023 (Symposium A-4), Kyoto, December 11-16, 2023. (Invited)</p> |
| <p>特許出願件数 Number of Patent Applications</p> | <p>0件</p> |
| <p>特許登録件数 Number of Registered Patents</p> | <p>0件</p> |