

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560786

研究課題名（和文）宇宙機用放射率可変型ラジエータ材料の研究

研究課題名（英文）Research of materials for variable emittance radiator

研究代表者

太刀川 純孝 (TACHIKAWA SUMITAKA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・主任開発員

研究者番号：90470070

研究成果の概要（和文）：小惑星探査機「はやぶさ」に搭載した放射率可変型ラジエータ(SRD)の材料(LSCMO)に比べ、熱光学特性的に性能の高い材料を探すことが目的である。本研究の結果、赤外放射率の最大値、最小値に関して性能を上回る材料はあったが、転移温度および赤外放射率の変化量に関して優る材料は見つからなかった。しかしながら、本研究を通して様々な知見を得、また探索指針を確認することができたため、今後も継続して材料の探索を続けたい。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to find out new materials for smart radiator device (SRD). As a result of this research, some materials with higher emissivity or lower emissivity were found, but there was no material with better thermo-optical properties compared to SRD which is mounted to HAYABUSA. As we could get a lot of data and confirm the way of researching materials, we will keep trying to find out new materials for smart radiator device.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：強相関電子系、機能材料、宇宙機、人工衛星、セラミックス、放射率、熱物性、熱工学

1. 研究開始当初の背景

申請者らは、これまで人工衛星の熱設計を行うとともに、熱制御に必要な諸材料の熱物性を調べる測定技術の研究、そこで開発した測定装置を用いた熱制御材料の特性、劣化に関する研究などを行ってきた。これらの研究背景の上に、超巨大磁気抵抗を示すペロブスカイト型 Mn 酸化物の電気抵抗が強磁性転移

温度を境に低温側で金属的、高温側で絶縁体的であることに着目した。つまり、この現象に伴い、赤外放射率の温度特性が、転移温度付近を境に低温で放射率が小さくなり、高温側で放射率が大きくなることを予想し、それを確認した。この放射率の温度特性は、宇宙機用の次世代ラジエータに求められる特性であり、この温度特性を利用した放射率可変

素子（以下、SRD: Smart Radiation Device と呼ぶ）を開発した。これまで、焼結法により作製したバルク材を基本に、組成をチューニングすることにより機能・性能の向上を図り、宇宙用熱制御材料として提供できるまでに至った。SRDは、2003年5月9日に打ち上げられた小惑星探査機 MUSES-C「はやぶさ」の送信機用電源のラジエータとして試験的に搭載され、5年以上経過した2008年時点でも正常に動作していることが確認されており、長期にわたる軌道上動作が実証されている。SRDと類似機能の従来技術としては、サーマルルーバーが挙げられるが、重量が大きく、大型の衛星にしか使用されていない。SRDを用いたラジエータは、電力や可動部を必要とせず自身を温度をコントロールできることから、将来の人工衛星や惑星探査機のラジエータに活用することにより、ヒータ電力および熱サブシステムの重量の削減、宇宙機の信頼性向上、熱設計の自由度の増加が可能である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、宇宙機熱設計の自由度および信頼性を向上することが可能なSRDの開発であり、「はやぶさ」に搭載したSRDを上回る性能を備える材料を探し出すことである。SRDは、放射率を自身の温度により自律的に変化させ、宇宙機の温度を自動的に一定化させることにより、低温時に必要となるヒータ電力を削減するための新しい熱制御素子である。惑星探査のように、惑星軌道上と地球近傍での外部熱入力量が大きく異なる場合、特にその効果が大きく、今後の惑星探査機に必須の技術である。

3. 研究の方法

図1に従来の使用されているラジエータ材(OSR)と「はやぶさ」で使用した放射率可変素子(SRD)の全半球放射率の温度依存性を示す。放射率を自身の温度で変化させるため、金属-絶縁体転移を備える材料を基本として探索する。その際、系統的に試料を作成、その電気特性、熱光学特性を測定することによって、SRDに使用可能な材料を探索する。具体的には、 $(\text{Re}, \text{Ae})\text{MnO}_3$ (Re:希土類, Ae:アルカリ土類)において、 (Re, Ae) の組み合わせ・組成比を制御することで、ホール濃度やバンド幅を変化、Mnサイトへの不純物置換を行い、金属-絶縁体相転移温度を制御するとともに、図1における低温側と高温側での赤外放射率の変化量($\Delta\varepsilon$)、および転移温度付近における赤外放射率の変化率($\Delta\varepsilon/\Delta T$)の増大を目指す。また、これまでの予備実験から焼成温度や時間、雰囲気など試料の作成方法によってもその物性が大きく変化することがわかっており、詳細な実験により最適

な作成方法を探索することも重要となる。また、二重ペロブスカイト、層状ペロブスカイト等、ペロブスカイト型Mn酸化物と類似した電子構造を持つ物質も試料の候補である。

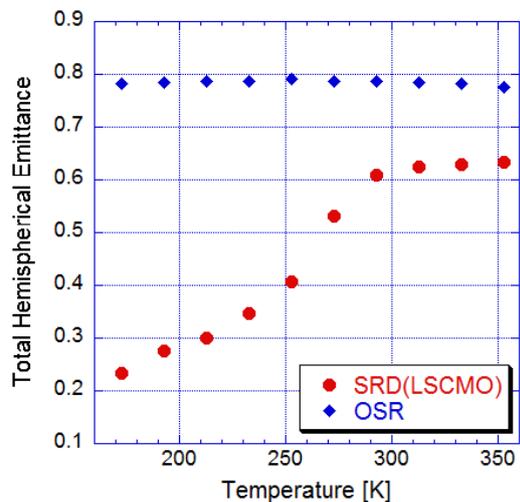


図1 SRD(LSCMO)と従来のラジエータ材(OSR)の全半球放射率の温度依存性

4. 研究成果

(1) H22年度

A-site イオン半径の分散に着目し、 $\text{R}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ について、R (=Sm, Nd, Pr, La) の組み合わせ、および比率を変えることにより、「様々な分散を持つ組成」の単結晶試料を作成し、電気伝導率の温度依存性を測定した。その結果、電気伝導率が温度によって大きく変化するためには、A-site イオン半径の分散をなるべく小さくし、ホールドープ量を少なくする必要があることがわかった。

(2) H23年度

以下の試料を作成し、電気抵抗率測定を行った。

① $\text{La}_{0.775}(\text{Sr}_{0.115}\text{Ca}_{0.01})\text{MnO}_3$ のMnサイトをGaで置換

② $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$ のBaの一部をSrで置換

①については、MnサイトのGa置換により、高温側の電気抵抗率が低温側の電気抵抗率よりも大きく上昇することが確認できた。図2に $\text{La}_{0.775}(\text{Sr}_{0.115}\text{Ca}_{0.01})\text{Mn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_3$ の放射率の温度依存性を示す。MnサイトGa置換効果によるSRDの性能向上の可能性があることが確かめられたため、今後、転移温度が高い試料のMnサイトにGa置換を行うとともに、Ga以外の元素の置換効果を調べる。

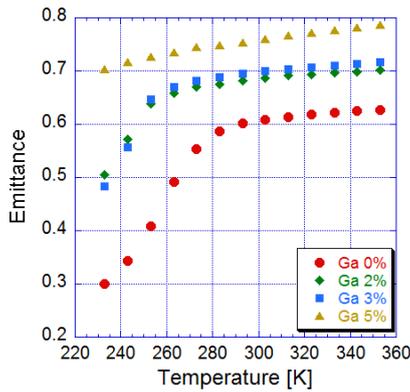
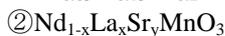


図2 $\text{La}_{0.775}(\text{Sr}_{0.115}\text{Ca}_{0.01})\text{Mn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_3$ の放射率の温度依存性

②については、NBMOのバンド幅（化学圧力）制御を行うことで、室温付近の反強磁性相（A型）が抑えられ、強磁性金属相が低温域に広がるとともに、強磁性転移温度 T_c に変化が無いことが確認できた。今後、NBMOの電子数とバンド幅の同時制御を行う。

(3) H24年度

以下の試料を作成し、放射率の測定を行った。



①については、3価のイオンの割合を小さくし、2価のイオンの割合を大きくすることによりフィリング制御を主体的に行い、金属的にすることによって、低温での放射率低下を目標とする一方、2価のイオンの中でCaの割合を大きくするバンド幅制御を行い、絶縁体的にすることによって、高温での放射率低下および転移温度上昇の抑制を試みた。図3に、「はやぶさ」に搭載したSRD(LSCMO)の放射率（赤丸）と今回試作した $\text{La}_{0.65}\text{Sr}_{0.15}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ の放射率（紫四角）の比較を示す。

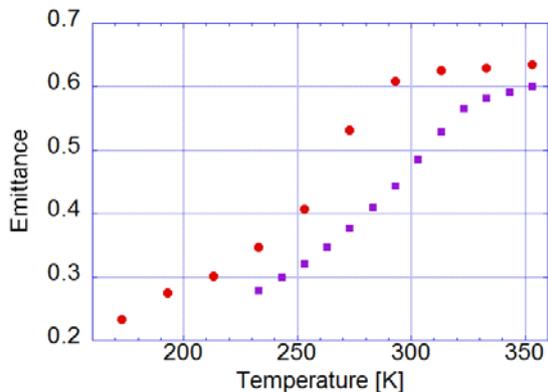


図3 SRD(LSCMO)と $\text{La}_{0.65}\text{Sr}_{0.15}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ の放射率の温度依存性

②については、LaをNdに置換するバンド幅制御を主体的に行い、より絶縁体的にし、高温での放射率、室温付近での放射率変化の増加を目標とする一方、2価のイオンの割合を多くするフィリング制御と、Caを全てSrにすることによってイオン半径の大きいもので置換するバンド幅制御により金属的にして、低温での放射率上昇および転移温度下降の抑制を試みた。図4に、「はやぶさ」に搭載したSRD(LSCMO)の放射率（赤丸）と今回試作した $\text{Nd}_{0.53}\text{La}_{0.15}\text{Sr}_{0.32}\text{MnO}_3$ の放射率（青三角）の比較を示す。

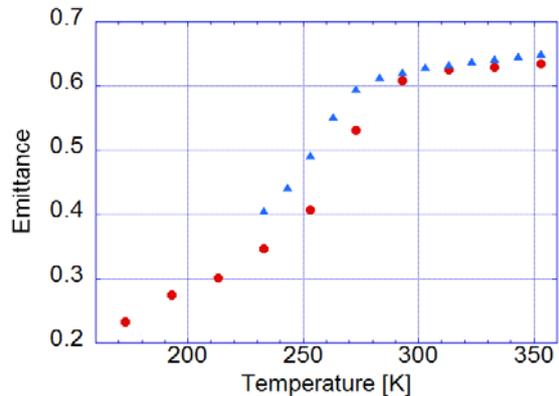


図4 SRD(LSCMO)と $\text{Nd}_{0.53}\text{La}_{0.15}\text{Sr}_{0.32}\text{MnO}_3$ の放射率の温度依存性

以上の結果、小惑星探査機「はやぶさ」に使用したSRD材料（LSCMO）と比較し、赤外放射率の最大、最小値に関して従来の性能を上回る材料はあったが、転移温度および赤外放射率の変化量に関して優る材料は見つからなかった。しかしながら、本研究を通して多くの測定データ、および今後の探索指針についての知見が得られた。

一方、電子構造測定による物性評価では、光電子分光測定で得られるMn酸化物の電子構造（Mn 2p内殻光電子スペクトル）と電気伝導率との関係をより詳細に調べたところ、内殻2pスペクトルから電気伝導率を反映する強度を抽出することに成功した。放射率と電気伝導率の間には強い相関があることがわかったので、今後、よりミクロスコピックな観点から放射率向上の指針が得られる可能性がある。

さらに、SRDで採用しているペロブスカイト型酸化物と似た電子構造を持ちうる2つの遷移金属を持つ酸化物の一つである、デラフォサイト型酸化物 $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_2$ の電子構造を、光電子分光・軟X線吸収分光・第一原理バンド計算を用いて、明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

(1) T. Hishida, K. Ohbayashi, and T. Saitoh, Hidden relationship between the electrical conductivity and the Mn 2p core-level photoemission spectra in $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$, J. Appl. Phys., 査読有, 113, 2013, 043710-1, 6, DOI10.1063/1.4789315

(2) T. Yokobori, M. Okawa, K. Konishi, R. Takei, K. Katayama, S. Oozono, T. Shinmura, T. Okuda, H. Wadati, E. Sakai, K. Ono, H. Kumigashira, M. Oshima, T. Sugiyama, E. Ikenaga, N. Hamada, and T. Saitoh, Electronic structure of hole-doped delafossite oxides $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_2$, Phys. Rev. B, 査読有, 87, 2013, 195124-1, 8, DOI: 10.1103/PhysRevB.87.195124

(3) T. Okuda, T. Kajimoto, M. Okawa, and T. Saitoh, Effects of hole-doping and disorder on the magnetic states of delafossite, Int. J. Mod. Phys. B, 査読有, 27, 2013, 1330002-1, 43, DOI10.1142/S0217979213300028

[学会発表] (計 6 件)

(1) 田中洸輔, 太刀川純孝, 桑原英樹, 大川万里生, 齋藤智彦, Mn 酸化物を用いた宇宙機用放射率可変素子 (SRD) の開発, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 2013 年 03 月 27 日, 神奈川工科大学

(2) 田中洸輔, 太刀川純孝, 桑原英樹, 大川万里生, 齋藤智彦, Mn 酸化物を用いた宇宙機用放射率可変素子 (SRD) の開発, 日本物理学界 2012 秋季大会, 2012 年 09 月 20 日, 横浜国立大学常盤台キャンパス

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太刀川 純孝 (TACHIKAWA SUMITAKA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・主任開発員

研究者番号: 90470070

(2) 研究分担者

齋藤 智彦 (SAITOH TOMOHIKO)

東京理科大学・理学部・教授

研究者番号: 30311129

(3) 研究分担者

桑原 英樹 (KUWAHARA HIDEKI)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号: 90306986

(4) 研究分担者

赤星 大介 (AKAHOSHI DAISUKE)

東邦大学・理学部・講師

研究者番号: 90407354