

|         |   |
|---------|---|
| 氏名      | 柏木 誠  |
| 学位の種類   | 博士(工学)  |
| 学位記番号   | 工博甲第375号  |
| 学位授与の日付 | 平成27年3月25日  |
| 学位授与の条件 | 学位規則第4条第1項該当  |
| 学位論文題目  | 自己組織化微細構造を用いた熱物性制御                                      |
| 論文審査委員  | 主査 教授 宮崎 康次<br>" 鶴田 隆治<br>" 松本 要<br>" 中尾 基<br>准教授 長山 暁子 |

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、微細構造による熱物性制御の面積化を実現するため、微細周期構造体を自己組織化手法によって作製し、作製した微細周期構造体を利用した熱伝導特性および熱ふく射特性の制御技術の確立に取り組んだ。

第1章では、ナノ構造体を利用した物性制御に関する研究の動向、微細構造生成の現状についてまとめ、本研究の特長および方向性について述べた。

第2章では、本研究で採用した呼気像法、二段階陽極酸化法および移流集積法の3つの自己組織化手法について任意の微細周期構造体を得るための条件を手法ごとに検討した。呼気像法では、マイクロメートルの範囲で任意の孔径の周期孔構造を得る湿度、温度条件を明らかとし、古典的な不均質核生成モデルを用いた数値計算でサブミクロンオーダーの周期孔構造を得られる条件を得て、目標サイズの構造を作製した。二段階陽極酸化法では、陰極と陽極との間に流れる電流密度を検討し、任意サイズの周期孔構造が得られる条件を得た。移流集積法については、直径の揃った微粒子があれば構造が生成でき、シリカ微粒子が最密に配列した構造を確認できた。観察SEM画像を二次元フーリエ変換により周期性を評価し、作製サンプル中に含まれる構造欠陥を定性的に評価した。

第3章では、呼気像法および二段階陽極酸化法を用いて熱伝導率制御技術の確立に取り組んだ。フォノン気体モデルにより累積熱伝導率を得て、熱物性制御に用いる構造体の設計指針を示し、さらに設計された構造を二段階陽極酸化法により作製することでナノポーラス熱電薄膜を生成している。作製された熱電薄膜の熱伝導率は、物性値の1/5程度と大幅に低下していることも確認した。呼気像法により作製した試料では、構造がマイクロメートルオーダーであったため、熱伝導は約15%程度しか低減せず、導電度の低下と同等であり、古典的な拡散輸送で説明できる。一方、ナノ構造によって大幅に熱伝導率が低下した結果については、前述のフォノン気体モデルによる概算とも一致しており、自己組織化微細構造体を用いて目的のサイズで構造が生成できれば、大幅な熱伝導特性制御が可能であることを示した。

第4章では、移流集積法を用いた熱ふく射制御技術の確立に取り組んだ。厳密結合波解析(RCWA)法を用いた数値解析で構造周期と熱ふく射特性との関係について考察した。作製した試料の放射スペクトルをFT-IRで測定したところ周期構造に含まれる構造欠陥によって近赤外領域で放射が増強

され、数値計算でも同様の結果を示された。これは完全な周期構造では期待できない放射スペクトルであることを確認した。さらに放射の強い増強を得るため、シリカ微粒子配列構造体の表面に金薄膜を蒸着してプラズモニックな効果を利用した放射スペクトル増強に取り組んでいる。垂直放射スペクトルを測定したところ、数値計算結果と傾向が一致しており、構造体の周期とほぼ同一の波長で放射の増強が実験と計算の両方で確認できた。表面電場強度分布を計算した結果、金薄膜構造に対応した電場強度集中が見られ、垂直放射特性の増強の原因となっていることを示し、自己組織化微細構造体を用いて熱ふく射特性の制御も可能であることを明らかとした。

第5章では、各章を総括し、自己組織化微細構造体を用いて極めて低い熱伝導率を得たり、周期構造と近い波長をもつ赤外線に対して放射スペクトル特性を増強させるといった制御が可能であることをまとめた。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文は微細構造によって見かけの熱伝導率が低減できることを実験で示した他、赤外線放射スペクトルも制御できることを示している。それらは簡便な数値計算で予測できることも示され、工学および工業上貢献するところが大きい。本論文に関して審査委員及び公聴会出席者から、研究の位置付け、測定結果の妥当性、解析モデルと実験結果の差異、現象の工学への応用について質問があったが、著者によって適切な回答がなされた。公聴会では、多数の出席者があり、測定された現象について種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。