

審査の結果の要旨

氏名 上野 藍

多様化が進む宇宙開発に用いられる人工衛星の熱設計において、温度変化に対応して熱放射率を制御可能なラジエータは重要な役割を果たすと考えられる。しかし、従来のサーマルルーバーなどの可変ラジエータでは、開口率が小さく、かつ重量が重いため、特に小型衛星への適用に問題があった。本論文では、表面マイクロマシニングにより形成したダイアフラムを静電力により基板垂直方向に上下動させることにより熱スイッチ群を形成し、高い開口率を有する新しい MEMS 放射率可変ラジエータの提案を行ったものである。

本論文は6章からなり、第1章では、まず、人工衛星向けの従来のラジエータ技術を概観した後、ラジエータに必要な性能について議論し、MEMS 技術を用いた放射率可変ラジエータに関する過去の研究例をレビューしている。そして、従来の放射率可変ラジエータでは、実効放射率の変化量が小さいこと、開口率が小さいこと、重量が重いことなどの課題を指摘し、これらの課題を解決するために、新しい MEMS 放射率可変ラジエータの提案をするという、本論文の目的を述べている。

第2章では、近接場効果を用いた、新たな実効放射率制御手法の可能性について示している。ダイアフラムを基板に対して垂直に動作させることにより、標準位置では基板＝ダイアフラム間が遠方場の放射伝熱となるため熱輸送量は小さいのに対し、2つの面のギャップを波長程度以下に近づけることによって、近接場効果による極めて高い熱輸送量を得ることが可能である。そして、プロトタイプデバイスで使用する、金および銅の光学定数を計測し、それらを用いた近接場の数値計算により、面間の間隔を 1 μm 以下にすることにより実効放射率を大きく変化できることを明らかにしている。

第3章では、静電駆動の新しい MEMS ラジエータ構造を提案し、各種伝熱モードによる熱抵抗の評価を行っている。まず、デバイスの構造材料として、低い熱伝導率、高い絶縁破壊強度、低いヤング率を満たす、パリレン樹脂を選定している。パリレン樹脂は、過去に人工衛星などで用いられた例もあり、宇宙用材料としても適していることを指摘している。そして、人工衛星での使用に要求される共振周波数、駆動電圧を満たす設計解として、一辺 500 μm のダイアフラムの四隅をばねで支えたラジエータ構造を提案している。さらに、熱解析をもとに、近接場効果、遠方場放射、ギャップ間熱伝導、接触熱抵抗について熱抵抗率を概算し、接触熱抵抗よりも近接場の放射による熱抵抗が小さいこと、提案する構造によって、1桁程度の総括熱抵抗の変化が可能であることを明らか

にしている。

第4章では、パリレンを構造体とし、内部に駆動用の電極を有する MEMS ラジエータ群を製作する、表面マイクロマシニングによる試作プロセスについて説明し、試作の結果と、レーザー測長計、SEM による構造の確認を行っている。また、試作結果から推奨されるプロセスの改良方法について論じている。

第5章では、電圧とダイアフラム変位の関係を求め、設計値よりも駆動に必要な電圧が高いものの、ダイアフラムを垂直方向に 8 μ m 程度駆動ができることを確認している。また、放射温度計、熱流束センサなどからなる熱制御実験系を構築し、試作デバイスの熱的特性の評価に適用している。試作デバイスで絶縁膜として用いたパリレン膜が厚いため、近接場の影響を直接計測することはできなかったが、接触熱抵抗を評価し、接触熱抵抗の変化のみでは約 2 倍程度の熱流束変化に留まるのに対し、近接場による熱放射の計算値を加味することによって、約 7 倍の熱流束変化が可能であることを明らかにした。

第6章は結論であり、本論文の結論をまとめている。

以上要するに、本論文は、近接場光の影響評価、表面マイクロマシンによるポリマー構造の試作、伝熱計測などにより、熱放射制御のための新たな MEMS デバイスの提案を行ったもので、熱制御工学、マイクロ・ナノ工学、宇宙工学などの進展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。