

Title	金属メタ表面による熱輻射制御に関する研究
Author(s)	上羽, 陽介
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/34484
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (上羽 陽介)

論文題名 金属メタ表面による熱輻射制御に関する研究

論文内容の要旨

本論文では、新しい原理に基づいた熱輻射制御を提案し、実証している。光源表面に設けたメタ表面の電磁界共鳴による熱輻射制御は設計の自由度が高い。そこでメタ表面による熱輻射制御の基礎研究として、擬似表面プラズモンと分割リング共振器の共鳴を用いる方法をそれぞれ考察している。これにより赤外分光装置用光源やエネルギー変換デバイスといった、熱輻射光源の新しい応用が期待できる。本論文は全6章からなっている。

第1章では、本研究の研究背景と応用・展望、本研究の位置づけ、目的について述べている。

第2章では、プランクの輻射則やキルヒホッフの法則、熱輻射制御の概念など、以降の議論に用いる理論について述べている。

第3章では、擬似表面プラズモンを用いた熱輻射制御について述べている。擬似表面プラズモンが熱輻射とカップリングする原理を解明し、電磁界シミュレーションによって狭帯域で周波数可変な赤外分光用光源が実現できることを示している。

第4章では、分割リング共振器により構成されたメタ表面を用いた熱輻射制御について述べている。分割リング共振器と反射層の間に励起されるギャッププラズモンの効果によって、分光輻射率が1に近い大きな輻射増強が可能であることを実験的に実証している。

第5章では、メタフィラメント光源について述べている。分割リング共振器を電氣的に接続することによりメタ表面に直接通電加熱を行うことができるメタフィラメント光源を提案し、実証した。熱源の熱容量が低下したことにより、エネルギー変換効率が1.2倍向上したことを示している。また、輻射スペクトルのQ値が60%向上した結果も示している。

第6章では、本研究の総括を行い、熱輻射制御と熱輻射光源の展望を述べている。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (上 羽 陽 介)	
論文審査担当者	(職) 氏 名
	主 査 教 授 高 原 淳 一
	副 査 教 授 河 田 聡
	副 査 教 授 萩 行 正 憲
副 査 教 授 原 口 雅 宣 (徳島大学 大学院 ソシオテクノサイエンス研究部)	

論文審査の結果の要旨

本論文は上羽陽介氏が大阪大学大学院基礎工学研究科および大阪大学大学院工学研究科に在籍中の5年間に行った研究の成果をまとめたものである。

本論文は6章から構成されている。1章は序論であり、熱輻射光源の現代的な意義、本研究の目的、将来展望および論文全体の構成について述べている。2章は熱輻射の理論的背景についてまとめている。3章は直方体型マイクロキャビティにおける有効表面波である擬似表面プラズモンを利用した新しい原理の熱輻射制御を提案している。電磁波理論の解析的な取り扱いと電磁界シミュレーションを組み合わせ、系統的な模擬実験を行った結果について述べている。4章はU字型分割リング共振器を表面に配列したメタ表面からの熱輻射の実験について述べている。基板の金属と分割リング共振器との間の金属ギャップに形成されるギャッププラズモンが高い輻射率の実現にとって重要であることを指摘している。5章は筆者が「メタフィラメント」とよぶ新しい構造の熱輻射制御の原理を提案し、デバイスを作製して実証している。メタフィラメントとは、熱輻射スペクトル制御において重要な光共振器の機能と通電加熱の機能を一に統合したものである。具体的には、分割リング共振器を電気的に接続して、直流駆動を可能としたものである。実験からメタフィラメントは中赤外光源として、通常のセラミックヒーターに比べて12倍の効率向上を達成している。また、計測手法としてフーリエ変換赤外分光器と擬似黒体を組み合わせた輻射パワーの絶対値計測法を提案している。6章には結論を述べている。

熱輻射光源は本質的に帯域がブロードで指向性のないインコヒーレント光源である。このためレーザーなどのコヒーレント光源と比較して、スペクトルや指向性を制御することが難しい。熱輻射光源は入力パワーの90%以上が電磁放射として輻射されるので、エネルギー変換の観点からみて電気エネルギー～電磁波輻射エネルギーの変換効率は極めて高い。このため熱輻射は高効率の遠隔エネルギー輸送に適しているが、スペクトルが温度のみで決まってしまうことや指向性がなくランバート則に従うなど制御が難しいことがエネルギー輸送媒体として問題視されてきた。

本論文では、金属表面に形成した直方体型マイクロキャビティやメタ表面とよばれる人工的な金属ナノ構造によって、熱輻射のスペクトル、帯域、偏光特性、指向性などをコントロールできることを理論と実験の両面から検討し、それを実証している。本成果はプラズモニクスやメタマテリアルなどの最新のナノフォトニクスの成果を熱輻射に適用したものであり、熱輻射制御における上記の問題解決に大きく貢献することが期待される。また、新しい低コストの環境計測用赤外光源としての応用が期待できる。本成果は応用物理学、特に熱輻射光源の新しい応用の可能性を切り開いた点で高く評価される。

以上のように、本論文は今までにない新しい熱輻射制御の原理を提案し、それが実現可能であることを実証したといえる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。