

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	遠隔場および近接場ふく射輸送におけるスペクトル機能性メタマテリアルに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	平島大輔
Author(English)	Daisuke Hirashima
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9351号, 授与年月日:2013年10月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:花村 克悟,岡崎 健,佐藤 勲,津島 将司,浅田 雅洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9351号, Conferred date:2013/10/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	平島 大輔	
	氏 名	職 名	氏 名	職 名
論文審査員	主査 花村 克悟	教授	浅田 雅洋	教授
	岡崎 健	教授		
	佐藤 勲	教授		
	津島 将司	准教授		

本論文は「遠隔場および近接場ふく射輸送におけるスペクトル機能性メタマテリアルに関する研究」と題し、全7章より構成されている。

第1章「緒論」では、熱ふく射を電力に変換する熱光起電力発電の概要と、金属微細構造を用いた放射率の制御および近接場ふく射輸送の研究について概説し、近接場における輸送特性の汎用的な評価方法の構築が必要となることを示し、熱光起電力発電の実現に向けて、金属材料本来の特性にはない近接場ふく射輸送特性を、微細構造を施すことによって創出することが本研究の目的であることを述べている。

第2章「導体微細構造を用いた遠隔場におけるふく射輸送スペクトル制御」では、遠隔場におけるふく射機能性メタマテリアルである、 $0.5\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m}$ の開口部、 $0.5\mu\text{m}$ の深さを有するマイクロキャビティを周期 $0.7\mu\text{m} \times 0.7\mu\text{m}$ で製作したニッケル金属試料の放射率スペクトル計測を行い、垂直放射率の極大値を得た真空中における $0.86 \sim 0.88\mu\text{m}$ の波長が完全導体で構成された空洞の共振波長である $0.894\mu\text{m}$ に近い値となり、表面形状と放射特性の相関が定量的に示されたとともに、 $1.7\mu\text{m}$ より長い波長では、矩形マイクロキャビティ面が平滑面と同程度の放射率を示すことから、特定の波長域でのみ放射率の増大効果を発現することが明らかにされている。

第3章「ふく射輸送シミュレーション手法の開発」では、ふく射輸送評価の理論体系である揺動電磁気理論に基づき、汎用的な電磁場解析手法である有限差分時間領域法(FDTD法)を用いて熱ふく射の放射を直接解く手法を構築することによって、メタマテリアルに対するふく射輸送特性の評価を可能にしている。

第4章「遠隔場におけるふく射輸送スペクトル制御の放射シミュレーション」では、1次元構造である透明薄膜を有する金属表面と、浅い周期構造を有する金属表面の放射特性を放射シミュレーションで評価し、それらの放射特性に与える表面構造の影響を考察している。薄い透明酸化膜を有するニッケル金属を加熱した場合、酸化膜表面における電場の位相と、真空中へ伝播する電磁波の位相が一致する波長においてふく射強度が強め合うことが明らかにされている。一方、周期的な浅い溝構造表面を有する炭化ケイ素を加熱した場合、臨界角以上の角度で内部から表面に達した電磁波により誘起された表面フォノンポラリトンの波数と真空中を伝播する電磁波の波数の余弦成分が周期構造を介して一致する角度にふく射強度が強められることを明らかにしている。これらは、ふく射の放射における、薄膜による干渉の実験結果や周期的溝構造による指向性制御の実験結果を的確に説明できている。

第5章「近接場におけるふく射輸送特性」では、解析解を用いて金属の半無限2平板間ふく射輸送スペクトルを考察し、平板間距離が短い条件下での近赤外領域におけるふく射輸送の支配因子である表面プラズモンポラリトンの制御がメタマテリアルを用いた近接場ふく射輸送特性の創出に必要なことを示している。また、本研究において構築された放射シミュレーションは距離 $200\text{nm}$ における金属半無限2平板間のふく射流束スペクトルを説明できおり、エバネッセント成分のふく射輸送への寄与を適切に表現できていることが示されている。

第6章「近接場におけるふく射輸送スペクトル制御の放射シミュレーション」では、周期的な溝構造を有する金属間と柱状構造を有する金属面間のふく射輸送量を評価し、表面構造によって近接場においてもスペクトル制御効果があることを示し、その原因となる物理現象を考察している。周期的な浅い溝構造表面では、表面プラズモンポラリトンが浅い周期構造と相互作用して波数が増えるため、特定の波長域においてふく射流束スペクトルが増大することを予見し、検証している。また、金属表面に柱状構造を施すと、柱間に誘起される表面プラズモンポラリトンが柱間の溝の底端部で反射し、柱間距離と柱高さに対応した干渉を生じることを明らかにしている。さらに対向する柱間同士で表面プラズモンポラリトンが共鳴し、誘起されることによりふく射流束が黒体面間に比べておよそ10倍に増大することを明らかにしている。

第7章「結論」では、各章にて得られた知見を総括している。

以上を要するに、本論文は金属微細構造を用いた近接場ふく射輸送特性制御手法を提案し、熱光起電力発電の実現に1歩近づくことができたことから、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものである。