

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, 学位の種類: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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

(Summary)

報告番号	乙 第	号	氏 名	平島 大輔
<p>(要 旨)</p> <p>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。</p> <p>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、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。</p> <p>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$0.86 \sim 0.88\mu\text{m}$の波長は完全導体で構成された空洞の共振波長である$0.894\mu\text{m}$と非常に近い値となり、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、波長$1.7\mu\text{m}$以上では、矩形マイクロキャビティ面は平滑面と同程度の放射率を得ていることから、特定の波長域でのみ放射率の増強効果を発現することが明らかにされている。</p> <p>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評価を可能にしている。</p> <p>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。</p> <p>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、平板間距離が小さい条件下での高周波数領域におけるふく射輸送の支配パス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</p>				

ることを示している。また、放射シミュレーションは距離200nm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ており、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。

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加するため、特定の周波数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の端部で反射して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て誘起されることによりふく射流束が平滑面間に比べて大幅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。

(要 旨)

Spectral control of thermal radiation emitted from rectangular micro-cavities ($0.5 \times 0.5 \times 0.5 \mu\text{m}^3$) was investigated through emission experiment at a high temperature. Through measurement of normal spectral emittance, the maximum emittance was obtained at a wavelength around $0.86 \sim 0.88 \mu\text{m}$ which was very close to that ($0.894 \mu\text{m}$) estimated from the cavity resonance theory. On longer wavelength range from $1.7 \mu\text{m}$, it was equal to the emittance of mirror-like finished surface.

Thermal radiation transfer emitted from a complexly structured material was investigated by solving Maxwell's equations using finite-difference time-domain method. This simulation was based on fluctuational electrodynamics in order to evaluate spectral radiative transfer quantitatively in not only far-field but near-field. For a specular emitter made of nickel metal with a thin-transparent film, some interference was described through this simulation in far-field. For a shallow-grooved surface emitter made of silicon carbide, surface-phonon polaritons were coupled with a propagating-radiation by the periodic structure. For two metallic semi-infinite plates made of nickel separated by vacuum with the distance of 200nm , near-field spectral radiative flux was enhanced by the resonance of surface plasmon polaritons (SPPs) and agreed with analytical result.

Through interference of SPPs, near-field radiation transfer between two metallic surfaces with periodic pillar array was enhanced compared with that between plane surfaces. Even in nanoscale channels between the pillars, the SPPs could propagate, and then a kind of interference and resonance took place according to the depth of the channel between the pillars. With decreasing pillar height, the frequency at maximum radiation transfer was shifted to the high-frequency side. That is, spectral control of near-field radiation transfer could be achieved using metallic surfaces with periodic pillar array.