

【基盤研究(S)】

理工系 (総合理工)

研究課題名 近接場熱輻射の帯域制御手法の確立と熱光発電への展開



京都大学・大学院工学研究科・教授 **の だ すすむ**
野 田 進

研究課題番号：17H06125 研究者番号：10208358

研究分野：光工学、光量子科学

キーワード：フォトニック結晶

【研究の背景・目的】

一般に、物体を高温に加熱したときに自由空間に取り出される熱輻射は、極めて広帯域なスペクトルを示し、輻射強度の上限は同温度の黒体輻射強度で制限される。本研究では、上記の課題を解決すべく、研究代表者独自のフォトニック結晶効果に加え近接場効果の活用により、高温物体からの熱輻射を、黒体限界を超えて引き出すための体系的な理論構築と実験的実証を行うことを目指す。これにより、所望の帯域のみで黒体輻射限界を超えて熱輻射を得るための理論および技術が確立され、高出力・高効率な熱光発電への展開の基礎が築かれると期待される。

【研究の方法】

これまで研究代表者等は、物質内の光状態密度の制御（フォトニック結晶効果の活用）と物質の吸収係数の制御（量子井戸のサブバンド間遷移あるいは半導体のバンド間遷移の活用）により、特定の帯域のみに熱輻射を集約するという独自の概念を提唱し、自由空間へ放射される熱輻射の高効率・狭帯域化に成功している。本研究では、この概念を深化・発展させ、フォトニック結晶効果に加え、新たに近接場効果を活用することで、所望の帯域のみで黒体限界を超える狭帯域な近接場熱輻射を得ることを目指す。以下に、具体的な研究項目を記す。

(I) フォトニック結晶と近接場効果を活用した熱輻射制御の体系的理論構築：揺動散逸定理と厳密結合波解析を組み合わせた近接場熱輻射の新しい解析手法を確立し、フォトニック結晶が有する特異な分散関係（フォトニックバンドギャップ、バンドの折り返し、低群速度バンド等）が、近接場熱輻射スペクトルに与える影響を明らかにするとともに、所望の狭い帯域のみで黒体限界を超える熱輻射伝達を実現可能な構造（具体的には図1に示す熱輻射光源・中間透明基板・受光素子からなる構造）の設計を行う。

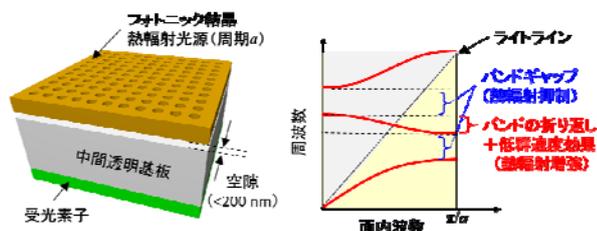


図1 フォトニック結晶と近接場効果による熱輻射制御

(II) 光源・受光素子対の近接場結合法の確立：半導体のナノ加工・融着・薄膜化技術を駆使して、図1の構造（フォトニック結晶熱輻射光源・中間透明基板・受光素子）の作製手法と、それらを 200 nm 以下の距離に精密に近接させる手法を確立する。

(III) 近赤外狭帯域熱輻射伝達の実証および熱光発電への展開：(II)で開発した構造体を用いた熱輻射伝達実験を行い、試料の近接による熱輻射増強効果や、フォトニック結晶・中間透明基板の導入による近接場熱輻射の狭帯域化の効果を、実験的に明らかにする。さらに、光源の加熱パワーに対する受光素子の出力パワーの割合を定量的に評価し、熱光発電試験を行うことで、熱エネルギーから近赤外熱輻射への高効率な変換の実証を目指していく。

【期待される成果と意義】

本研究の推進により、フォトニック結晶等の人工構造物質と近接場熱輻射効果の相乗効果で、熱輻射の狭帯域化と黒体限界を超える増強を同時に実現するための理論体系が構築されることが期待される。また、実験的にも近赤外域のみで黒体限界を超える高強度な熱輻射を引き出すための高度な技術が確立され、熱輻射を利用した発電システム（熱光発電システム）の大幅な高出力化・高効率化に資すると期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- T. Asano, M. Suemitsu, K. Hashimoto, M. D. Zoysa, T. Shibahara, T. Tsutsumi, and S. Noda, "Near-infrared-to-visible highly selective thermal emitters based on an intrinsic semiconductor," **Science Advances**, vol. 2, e1600499 (2016).
- T. Inoue, T. Asano, and S. Noda, "Near-field thermal radiation transfer between semiconductors based on thickness control and introduction of photonic crystals," **Physical Review B**, vol. 95, 125307 (2017).

【研究期間と研究経費】

平成29年度－33年度 154,900千円

【ホームページ等】

<http://www.qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp>
snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp