

## 【基盤研究（S）】

### 理工系（総合理工）



## 研究課題名 自在な熱輻射制御のための新技术/概念の構築

京都大学・大学院工学研究科・教授 **野田 すすむ**

研究分野： 光科学、光量子光学

キーワード： 熱輻射、フォトニック結晶、熱光発電

### 【研究の背景・目的】

一般に、高温物体からの熱輻射は、極めて幅広いスペクトルを有し、その応答速度は極めて遅い。このことが、熱輻射を活用した光源の、エネルギー利用効率の悪さ、動作速度の遅さにつながっている。

本研究では、電子系と光子系の双方の状態を制御することにより、物体からの熱輻射を、エネルギーの損失なく、望む波長に、望む線幅で集約する技術、また、熱輻射を動的かつ超高速に制御する技術など、高温物体からの熱輻射を自在に制御・利用するための、新しい技術や概念を構築することを目的とする。

### 【研究の方法】

研究代表者らは、極最近、量子井戸のサブバンド間遷移による電子制御と、フォトニック結晶の共振効果による光子制御を組み合わせて、中赤外波長域において黒体の1/30に熱輻射スペクトルの線幅を狭め、かつ投入電力がこの狭い熱輻射スペクトルに集約可能であるということの世界で初めて示すことに成功している。本研究では、この技術をさらに深化させ、以下に示す4つの目標を設定し、物体からの熱輻射を自在に制御・利用するための、新しい技術や概念を構築する。

**(I) 熱輻射スペクトルのさらなる狭帯域化**：ここでは、線幅のさらなる狭帯域化のため、新たなフォトニック結晶共振効果（光子制御）を導入し、その $Q$ 値を増大させつつ、この $Q$ 値に量子井戸のサブバンド間遷移（電子制御）で決まる吸収 $Q$ 値をマッチングさせることで、放射率 $\epsilon$ を最大化しつつ、系全体の $Q$ 値の増大（スペクトルの狭帯域化）を図る。

**(II) 熱輻射の動的・超高速制御**：上記の共鳴 $Q$ 値とサブバンド間吸収 $Q$ 値のマッチングで決まる放射率 $\epsilon$ を、超高速に動的変化させるという新しい概念を導入する。このときナノ秒からピコ秒の高速スイッチング速度を実現するために、温度変化ではなく、サブバンド間吸収の大きさで決まる $Q$ 値を時間領域で変化させることにより、熱輻射強度を動的に、かつ超高速に変調することを目指す。

**(III) 熱輻射波長の近赤外（ $\sim 1\mu\text{m}$  域）への展開**：熱輻射波長を中赤外から近赤外域へと展開するために、量子井戸に代わり、新たにSiのバンド間遷移の活用を考える。この際、様々な厚みのSi薄膜を用意し、吸収 $Q$ 値を調整しつつ、フォトニック結晶共振 $Q$ 値とのマッチングをとり、望む波長において放射率 $\epsilon$ の増大を目指す。

**(IV) 黒体リミットを超える熱輻射強度実現**：通常、熱輻射制御を行っても黒体リミットにより、同じ温度、同じ波長における黒体からの輻射強度を超えることは出来ない。本限界は、熱輻射デバイスから、“自由空間”へと熱輻射を発する場合に生じる。本研究では、共振器—共振器結合により、自由空間の光の状態に制限されない、熱輻射の授受を行うという新たな熱輻射引き出し法を検討する。

### 【期待される成果と意義】

本研究により、熱輻射でありながら、レーザとも見間違えるような、単一スペクトルで極めて狭い線幅をもつ高効率な熱輻射を実現できると期待される。またこのような輻射の高速制御が可能になれば、各種分析用高効率・高速赤外光源の実現、熱の出ない高効率・高速ランプへの展開が期待できる。さらには、近年注目を集める太陽光発電の分野において、太陽からの熱輻射のスペクトルが極めて広いことが、太陽電池の光電変換効率を低く留める根本的な原因となっている（例えばSi太陽電池の場合、10-25%程度）。本研究により、太陽からの熱輻射を、単一の太陽電池が吸収可能な波長域の熱輻射に変換・集約することが出来れば、光電変換効率を大幅に増大できる可能性がある。このような研究を通じて、「高温ナノフォトニクス」と呼ぶべき、新分野の基礎が築けるものと考えられる。

### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- M. De Zoysa, T. Asano, K. Mochizuki, A. Oskooi, T. Inoue, and S. Noda: "Conversion of broadband to narrowband thermal emission through energy recycling", **Nature Photonics**, vol.6, pp 535-539 (2012).
- T. Asano, K. Mochizuki, M. Yamaguchi, M. Chaminda, and S. Noda: "Spectrally selective thermal radiation based on intersubband transitions and photonic crystals", **Optics Express**, vol. 17, pp.19190-1923 (2009).

### 【研究期間と研究経費】

平成25年度—29年度  
164,600千円

### 【ホームページ等】

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