

2次元フォトニック結晶スラブによる近接場熱輻射制御

Control of near-field thermal radiation using two-dimensional photonic crystal slabs

京大院工¹, K-CONNEX², [○]井上卓也^{1,2}, 渡辺晃平¹, 浅野卓¹, 野田進¹

Kyoto Univ.¹, K-CONNEX², [○]T. Inoue^{1,2}, K. Watanabe¹, T. Asano¹, S. Noda¹

E-mail: t_inoue@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

[序] 所望の狭い帯域のみで高密度な熱輻射が実現できれば、高出力・高効率熱光発電等の様々な応用が期待される。我々は、まず、1次元フォトニック結晶を導入した熱輻射光源と薄膜太陽電池を、中間透明基板を介して光の波長以下まで近接させた際の近接場熱輻射スペクトルの解析を行い、長波長熱輻射を抑制しつつ、近赤外熱輻射のみを黒体輻射限界を超えて増強できることを示した^{1,2)}。今回、近接場熱輻射スペクトルのさらなる狭帯域化の実現可能性を探るべく、2次元フォトニック結晶(2D PC)の光禁制帯や低群速度バンドを利用した近接場熱輻射制御について検討したので報告する。

[解析構造] Fig. 1(a)(b)に示すように、空孔型またはロッド型 2D PC スラブを導入した Si 熱輻射光源 (1400 K) と薄膜太陽電池 (300 K) を、無添加 Si 基板を介して近接させた構造を検討した。ここで無添加 Si 基板は、表面モードによる長波長域の熱輻射伝達を抑制しつつ、近赤外熱輻射を増強・伝搬する役割を担う²⁾。今回の解析では、2D PC の格子定数を $0.5 \mu\text{m}$ に固定し、2D PC スラブに特有のバンド構造 (光禁制帯や低群速度バンド) が近赤外域の近接場熱輻射スペクトルに与える影響を調べた。なお、今回は初期検討として、薄膜太陽電池として InGaAs 太陽電池の利用を仮定した。

[解析結果] Fig. 1(a)(b)の各構造について、フォトニックバンド構造の計算結果を Fig. 1(c)(d)に、熱輻射光源と中間基板の距離を 100 nm とした場合に、光源から太陽電池へ伝達される熱輻射スペクトルの計算結果を Fig. 1(e)(f)に示す。比較のため、2D PC を導入しない平板 (Si の体積が同じになるように厚さを調整) を光源とした場合のスペクトルの計算結果も Fig. 1(e)(f)に合わせて示す。空孔型 2D PC の場合(c,e)は、TE-like モードに対する光禁制帯域 (灰色) で熱輻射が抑制されると同時に、その高周波側の熱輻射が増強され、近接場熱輻射の狭帯域化が可能であることがわかる。一方、ロッド型 2D PC の場合(d,f)は、光禁制帯は生じないものの、バンドの傾き (光状態密度) が周波数に依存して急峻に変化し、TE-like, TM-like モードの両者の低群速度バンドが重なる帯域 (黄色) を中心とした、より狭帯域なスペクトルが得られることが判明した。本研究の一部は科研費および K-CONNEX の支援を受けた。

[文献] 1) T. Inoue, et al., Phys. Rev. B **95**, 125307 (2017). 2) 井上他、2017 春季応物 14p-F202-3.

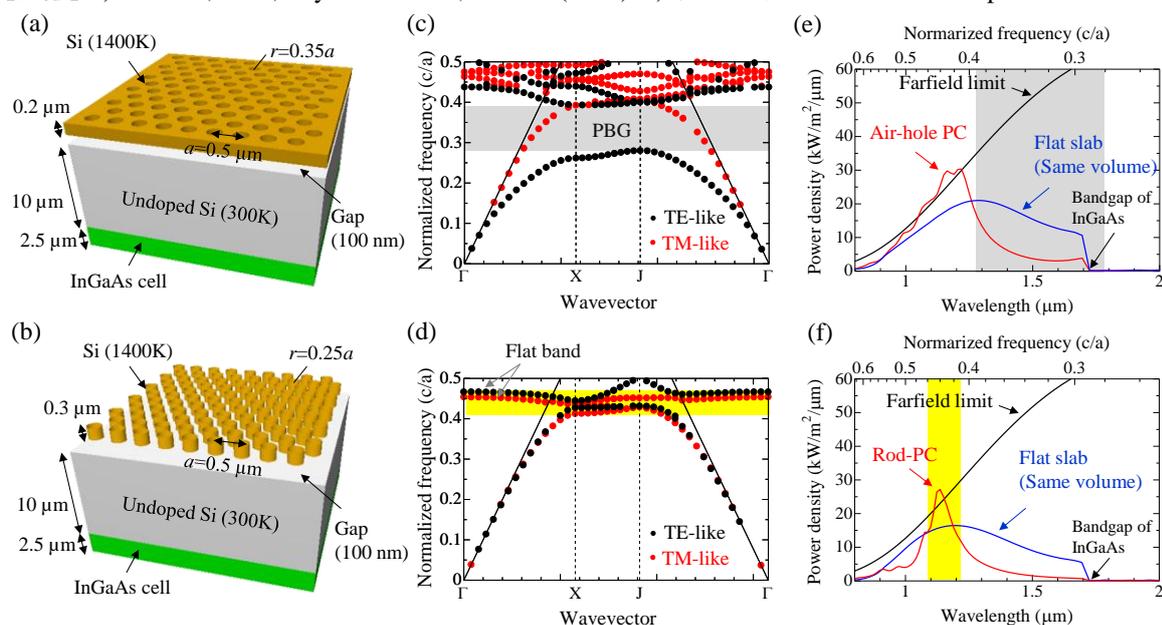


Fig.1. (a)(b) Proposed system of near-field thermal radiation which consists of a 2D-PC Si thermal emitter, undoped Si substrate, and InGaAs cell. (c)(d) Calculated photonic band diagram of the designed PCs. (e)(f) Calculated near-field thermal radiation spectra of the system. Spectra from the flat Si thermal emitters with the same volume of Si are shown in the same figure.