中間透明基板を利用した高効率近接場熱輻射伝達

Efficient near-field thermal radiation transfer using an intermediate transparent substrate

京大工¹, K-CONNEX², ^O井上卓也^{1,2}, 渡辺晃平¹, 浅野卓¹, 野田進¹ Kyoto Univ.¹, K-CONNEX², ^oT. 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]高効率熱光発電の実現には、近赤外熱輻射の増強と長波長熱輻射の抑制が重要である。前回我々は、Si 熱輻射光源と受光素子を光の波長以下の距離に直接近接させた際に生じる熱輻射伝達の解析を行い、光源・受光素子を薄膜化しつつ、フォトニック結晶(PC)を利用することで、長波長熱輻射を抑制しつつ、近赤外熱輻射を黒体輻射限界を超えて増強できることを明らかにした¹⁾。ただし、受光素子ドープ層の表面モードへの熱輻射伝達が存在していたため、発電に寄与しない長波長熱輻射の抑制が完全ではなかった¹⁾。今回、光源と受光素子の間に、表面モードをもたない透明基板を挿入した際の解析を行い、より高効率な近接場熱輻射伝達が実現しうることを見い出したので報告する。

【解析構造】Si-PC 熱輻射光源(1400 K)と InGaAs 薄膜太陽電池 (300 K)を、無添加 Si 基板を介して近接させた Fig. 1 の構造を 考える。無添加 Si 基板は、波長 1 µm 以上の光に対して透明であ り、表面モードを生じないため、発電に寄与しない長波長域での 熱輻射伝達を抑制しつつ、発電に寄与する近赤外域(波長 1.0~1.7 µm)の熱輻射のみを InGaAs 太陽電池まで伝搬する役割を担う。 光源構造は、PC の回折による熱輻射増強が近赤外域のみで生じる ように、格子定数 0.4 µm、ロッド幅 0.28 µm、ロッド深さ 0.5 µm とした 1 次元 PC を採用した¹⁾。受光素子構造としては、実際の太 陽電池の高ドープ層の自由キャリア吸収の影響を考慮するため、 p-InP/p-InGaAs/n-InGaAs/n-InP からなる薄膜構造²⁾を採用した。

【解析結果】中間基板を導入しない場合(*t=*0 µm)と導入する場合(*t=*10 µm)について、光源と受光 素子の距離 *d* を変化させ、光源から太陽電池側へ伝達される熱輻射パワーの計算を行った。発電に寄 与する InGaAs 層のバンド間吸収パワー(近赤外熱輻射パワー)、及び、その他の熱輻射損失の計算結 果を Fig. 2(a)(b)に示す。InGaAs 層のバンド間吸収(赤線)に関しては、中間基板の有無に関係なく、 距離 *d* が減少するにつれて増加し、*d* < 50 nm で高密度(>10⁵ W/m²)な近赤外熱輻射が伝達可能である。 その他の損失に関しては、中間基板のない場合(a)は、n-InP 層・n-InGaAs 層の吸収損失が距離 *d* の減少 とともに増大するのに対し、中間基板を導入した場合(b)は、同損失を抑制できる。InGaAs 層のバンド 間吸収パワーが全輻射パワーに占める割合(スペクトル効率)を Fig. 3 に示す。中間基板を導入するこ とで、距離 *d* が小さい場合もスペクトル効率が低下せず、上記の高密度な近赤外熱輻射を高効率(>70%) に伝達可能であることが明らかとなった。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) 井上、他、2016 秋季応物 15a-B4-11. 2) J. M. Zahler, et al., Appl. Phys. Lett. **91**, 012108 (2007).



Fig. 2. Absorption power in each layer of the solar cell as a function of the gap length *d*. (a) Without a Si substrate ($t=0 \ \mu m$). (b) With a Si substrate ($t=10 \ \mu m$).



Fig. 3. Ratio of InGaAs interband absorption to total emission power (spectral efficiency).



Fig. 1. Structure of near-field thermal radiation transfer using an intermediate Si substrate.