

微細構造を用いた光熱変換での実効的な吸収率と熱伝導率の制御

Controlling effective absorptance and thermal conductivity

using subwavelength structures for photothermal heating

¹ 物材機構, ² 筑波大, ³ JST さきがけ; °石井智 ^{1,2,3}

¹NIMS, ²Univ. of Tsukuba, ³JST-PRESTO; °Satoshi Ishii^{1,2,3}

E-mail: sishii@nims.go.jp

光熱変換において大きな温度上昇を得るために、微細構造を用いて光を最大限吸収することは必要であるが、発生した熱の散逸を押さえることも温度上昇の効率を上げるために欠かせない。しかし、これまでの多くの微細構造では吸収断面積や吸収率を大きくすることに焦点が置かれ、熱の散逸を抑制する微細構造の開発は限定的であった。

本発表では、アスペクト比の高い微細構造は吸収率が高いだけでなく、実効的熱伝導率が低く熱抵抗が大きいことを紹介する。アスペクト比の高い微細構造として、窒化チタンを成膜したポーラスアルミナ^[1]、窒化チタンのチューブアレイとトレンチ^[2]、シリコンのピラーアレイ (Fig. 1)^[3]、をそれぞれ作製した。どの構造も周期は数百 nm で、アスペクト比は 10 程度あるいはそれ以上であった。光熱変換による温度上昇は、顕微ラマン分光によって評価した。3 種類の試料全てにおいてアスペクト比の高い微細構造は、平坦な薄膜や基板と比較して高い光熱変換効率(温度上昇を照射強度で規格化した値)を示した。光熱変換効率の微細構造依存性は、微細構造の実効的な熱伝導率で説明できる。ポーラスアルミナは、細孔径が大きいほど実効的熱伝導率は小さくなり、光熱変換効率は大きくなる。窒化チタンのチューブアレイはトレンチと比べて実効的熱伝導率が小さいため、チューブアレイの方が光熱変換効率は大きい。シリコンのピラーアレイに関しては、周期とピラー幅を系統的に変化させた試料を作製し、ピラー幅を周期で規格化した無次元数で光熱変換効率の微細構造依存性を説明できる。実効的熱伝導率は解析的な式で容易に計算することができ、光熱変換効率や温度上昇を予測するのに有用である。光熱変換効率が高いと小さな照射強度で大きな温度上昇を得られることから、光熱変換効率の高い微細構造を設計することは光学的 PCR 検査や太陽熱蒸留など光熱変換を用いた応用の効率化に寄与すると考えられる。

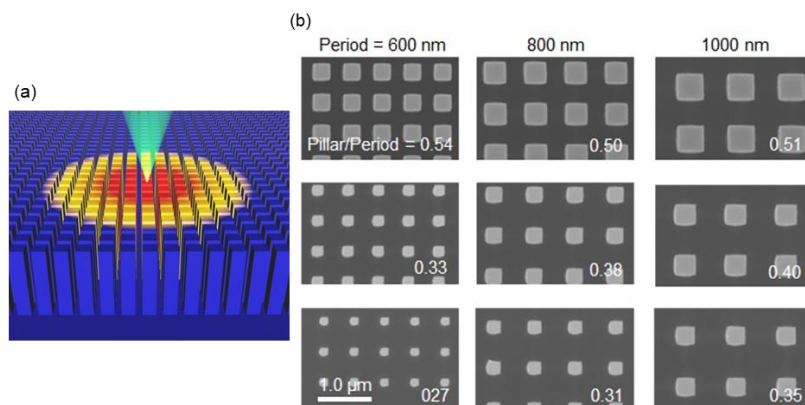


Fig. 1 (a) Schematic drawing of photothermally heated high aspect ratio silicon pillar array under laser irradiation. (b) SEM images of silicon pillars having different pillar/period ratios.

参考文献：[1] N. Tanajaya, et al, Nanophotonics, 11, 3375-3381 (2022). [2] S. Ishii, et al, Nanophotonics, 10, 1487-1494 (2021). [3] S. Ishii, et al, submitted.