

■ はじめに

国内の家庭の用途別エネルギー消費では、暖房と給湯の合計が55%に達する。つまり、空気や水を温めるために多くのエネルギーが使われている。このためのエネルギーを太陽光から得ることを考え太陽電池を使用すると、その変換効率は高性能のものでも20%程度である。そのため太陽電池の電力を使って熱を得ると効率は更に低くなる。他方、本研究では窒化チタンのナノ粒子を用いることで、入射太陽光の約90%を熱として水に伝達できることを実証した。水に窒化チタン(TiN)ナノ粒子を分散させることで水温上昇と蒸発の速度は2倍以上上昇する。

■ 活動内容

1. ナノ粒子の吸収効率の電磁場解析

太陽光の吸収に適したナノ粒子材料を選択するため、ミー理論に基づく電磁場解析によってナノ粒子の光吸収効率を計算した。TiN以外に、黒い材料の代表として炭素、プラズモン共鳴を示す材料の代表として金を選んで比較した。その結果、図1(a)に示すようにTiNナノ粒子は広帯域なプラズモン共鳴を示すために最も強く光吸収を行うことがわかった。また、TiNナノ粒子の吸収スペクトルは太陽光の分光強度との一致が良いため、TiNナノ粒子は特に太陽熱応用に適していることがわかる。

2. TiNナノ粒子による水の太陽熱加熱

TiNナノ粒子の光熱変換特性を評価するため、TiNナノ粒子を純水に分散させ、それに擬似太陽光を照射して温度上昇と蒸発量を計測した。比較のために同じ体積濃度(vol%)の炭素ナノ粒子に対しても同様の測定を行った。どちらのナノ粒子を水に分散させても水の温度上昇と蒸発速度を速める効果が見られるが、TiNナノ粒子のほうが炭素ナノ粒子よりそれらの効果が高く、電磁場計算の結果と一致する傾向が得られた。特に蒸発速度の上昇は顕著で、集光した擬似太陽光を照射すると室温でも水蒸気が目視できる(図1(b))。本実験結果は、TiNナノ粒子を用いることで、従来より効率の良い太陽熱給湯や水の蒸留が行える可能性を秘めている(図1(c,d)参照)。

3. 第一原理計算からの遷移金属物質の探索

本研究ではTiNの特性に注目したが、TiN以外にも多くの遷移金属窒化物があり、また遷移金属炭化物の物性は遷移金属窒化物と比較的類似していることが知られている。

そこで本研究では第一原理計算と電磁場計算を組み合わせることで、遷移金属窒化物及び炭化物の光吸収特性を予測することを試みた。その結果、実験で用いたTiN以外に炭化タンタルも高い光吸収特性をもち太陽熱応用に適していることを示した。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

- [1] 石井智、長尾忠昭、太陽光吸収流体及び蒸留方法、出願番号:特願2014-264545
- [2] S. Ishii, S. Ramu Pasupathi, T. Nagao: "Titanium Nitride Nanoparticles as Plasmonic Solar Heat Transducers" J. Phys. Chem. C 120[4] (2016) 2343-2348.
- [3] M. Kumar, N. Umezawa, S. Ishii, T. Nagao: "Examining the Performance of Refractory Conductive Ceramics as Plasmonic Materials: A Theoretical Approach" ACS Photonics 3[1] (2016) 43-50.

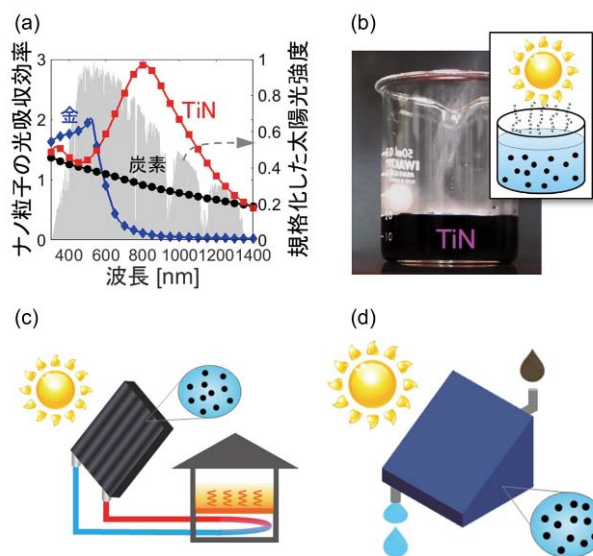


図1 (a)ナノ粒子の光吸収効率(左軸)と企画化した太陽光の分光強度(右軸)。(b)集光した擬似太陽光照射による TiN ナノ粒子分散からの室温での水蒸気発生。(c, d)ナノ粒子分散水を利用した太陽熱床暖房(c)と太陽光蒸留装置(d)の模式図。

代表発表者 石井 智 (いしい さとし)
 所属 物質・材料研究機構
 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)
 問合せ先 〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1
 TEL: 029-860-4944
 EMAIL: sishii@nims.go.jp

■キーワード: (1)太陽熱
 (2)ナノ粒子
 (3)プラズモン共鳴

■共同研究者: 長尾忠昭
 物質・材料研究機構
 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
 (MANA)