

ナノ粒子の光学共鳴を利用した太陽光の高効率吸収とその熱応用

Resonant nanoparticles as efficient sunlight absorbers and their thermal applications

物材機構 MANA¹, JST CREST² °石井智¹, 長尾忠昭²

MANA NIMS¹, CREST JST.², °Satoshi Ishii^{1,2}, Nagao Tadaaki^{1,2}

E-mail: sishii@nims.go.jp

太陽光は最も有力な再生可能エネルギーの一つであり、近年の日本では太陽電池を用いた発電が太陽光利用の主流になっている。量産されている太陽電池の効率は、最新のものでも 20%前後である。別の太陽光利用法として太陽熱温水器があるが、実はこの効率は 50%を超える市販品が少なくない。太陽熱温水器は水もしくは空気を暖めることしかできないが、日本の家庭において給湯と暖房の合計が占める用途別エネルギー使用割合は 55%に達する。これらの数字をみると、太陽光エネルギーの有効利用には太陽熱の利用が促進されることが望ましい。

太陽光から熱への変換効率を更に高めるために、我々はナノ粒子の光学共鳴を利用した光熱変換の研究を行ってきた。ナノ粒子は共鳴するとき、散乱断面積だけでなく吸収断面積も最大になる。誘電率が負のナノ粒子はプラズモン共鳴を示すが、太陽光の吸収を対象とする場合可視光から近赤外光まで吸収しなければならない。この要件を満たす材料を探索する中で、我々は窒化チタンナノ粒子のプラズモン共鳴に注目した。窒化チタンは金属ではないがプラズモン共鳴を示し、その半値幅は広帯域で太陽光の分光スペクトルとの一致が良い(図 1(a))。窒化チタンナノ粒子を水に分散させ太陽光を照射すると、照射した太陽光エネルギーの約 90%が水の加熱と蒸発に使われることが分かった。窒化チタンナノ粒子による水の加熱はナノ粒子のごく近傍で起こるため、約 8 倍に集光した太陽光に対して室温ままでも目視できるほどの水蒸気を発生する(図 1(b))。

他方、誘電率が正のナノ粒子はミー共鳴を示す。光学領域で大きな誘電率をもつ材料としてシリコンがあり、シリコンは波長より十分小さいナノ粒子でもミー共鳴を示す(図 1(c))。シリコンナノ粒子の吸収断面積は狭帯域であるが、半径の異なるシリコンナノ粒子を用意することで広帯域の光吸収ができる。シリコンナノ粒子を水に分散させ熱収支を計算した結果では、約 60%の光熱変換効率を得た。

このように、ナノ粒子を用いた太陽光の光熱変換によって今までより効率を向上できる可能性が見えてきた。ナノ粒子による太陽熱利用は暖房(図 1(d))や給湯のみならず、海水や汚水の蒸留にも応用できる可能性があり、現在研究を進めている。

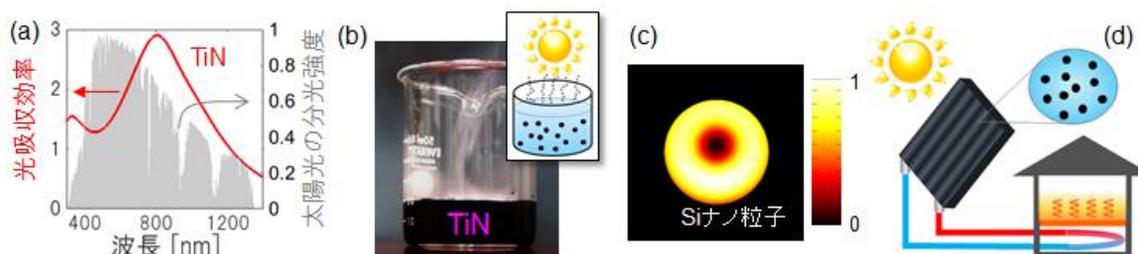


図 1 (a)窒化チタン(TiN)ナノ粒子の光吸収効率と太陽光の分光強度。(b)TiN ナノ粒子が分散した水からの水蒸気発生。(c)ミー共鳴している半径 50nm のシリコンナノ粒子の光吸収の断面図。(d)ナノ粒子を用いた太陽熱床暖房の模式図。

参考文献

1. S Ishii, RP Sugavaneshwar, T Nagao, Journal of Physical Chemistry C, 120, 2343–2348 (2016).
2. S Ishii, RP Sugavaneshwar, K Chen, TD Dao, T Nagao, Optics Materials Express, 6, 29-38 (2016).
3. M Kumar, N Umezawa, S Ishii, T Nagao, ACS Photonics, 3, 43–50 (2016).
4. S Ishii, K Uto, E Niiyama, M Ebara, T Nagao, ACS Applied Materials & Interfaces, 8, 5634-5640 (2016).