



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Plasmonic-Dielectric Hybrid Composite Structure for Solar Energy Harvesting and Water Purification [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	KAUR, Manpreet
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13755号
Issue Date	2019-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/76114
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Manpreet_KAUR_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 カウアー マンプリート（KAUR Manpreet）

学 位 論 文 題 名

Plasmonic-Dielectric Hybrid Composite Structure for Solar Energy Harvesting and Water Purification
(セラミック系プラズモン材料と誘電体との複合化による水浄化を目指した太陽光利用の研究)

近年金や銀を中心とした金属ナノ粒子を用いた光散乱や吸収の増強現象、電場増強現象が注目されているが、特に、分析化学やバイオセンシング・イメージングにおいて、局在表面プラズモン共鳴に起因する狭帯域な共鳴増強効果を利用した研究が、ナノ材料分野で活発に行われている。一方、広いスペクトラム帯域を持つ太陽エネルギーの利用には、紫外から近赤外に亘る幅広い帯域の光を吸収する必要がある。そこで本研究では、安価かつ化学的に安定で高耐熱な導電性セラミックスのなかから、そのナノ粒子の持つ局在表面プラズモンが太陽光スペクトルに比肩する広い波長帯域をカバーできるものを検討し、太陽光を高効率に捕集し、熱や化学エネルギーに変えるセラミック材料を提案した。

まず、局在表面プラズモンを生じる材料として金属性窒化物ナノ粒子を採用し、実際に水の高効率低温蒸留に用いることを目的として、誘電体ナノ材料に担持させた複合材料を製作した。ナノ粒子を分散させた水のナノ蒸発の研究は過去になされていたが、本研究では更なる高効率化と材料リサイクルの可能性を求め、透明セラミック材料への窒化物ナノ粒子固定化の方法を考案した。シリカとアルミナからなるセラミックスマイクロファイバーにTiNを固定化させた材料は、ナノ粒子分散水溶液に比べて高効率に水を蒸発でき、太陽光エネルギーを44%のエネルギー利用効率で水を蒸発できることが分かった。続いて、より表面に近い領域で光熱変換を生じさせ、同時に熱マネジメントを向上させる意図で、陽極酸化アルミナ膜による多孔質構造の表面にTiN粒子膜を成膜し、それを水表面に浮かべて水蒸発の実験を行った。この材料では、多孔質構造内壁に存在するTiNナノ粒子の光熱変換効果と、水の毛細管現象による効率的な表面への供給と蒸発、そしてナノ細孔内での対流抑止効果等により、92%のエネルギー利用効率で太陽光を水蒸発に使用していることが分かった。

引き続き、太陽光エネルギーを化学エネルギーに変換する材料として、光捕集材料であるTiNと光触媒材料である、TiO₂とを複合化した粉末状ナノ材料を合成した。この材料は50-100nm程度のサイズのTiNナノ粒子をコアに持ち、その外側に2-10nmの厚さのSiO₂シェルと、さらにその外側にCrをドーピングしたTiO₂ナノ粒子が接合された粉末状の複合ナノ材料である。この材料をメチレンブルーなどの色素を含む水溶液に分散させて、太陽光照射による光分解の速度を調べたところ、純粋なTiO₂ナノ粒子の5倍以上の分解速度を示した。これは、コアにあるTiNナノ粒子が効率的に紫外-可視光を広帯域に捕集して増強電磁場を生じ、その電磁場中にあるTiO₂ナノ粒子が効果的に光エネルギーを受けて触媒作用の増強を生じていることを示している。この触媒ナノ材料をアルギン酸ナトリウムの繊維と混合し球形のゲル材料を合成し、リサイクル性の高い光触媒を考案した。この球形のゲルも強い光触媒活性を示し、安価で高性能な光触媒として使用可能であることが示された。