

エネルギー高効率利用のための相界面科学
平成 25 年度年度採択研究代表者

H27 年度 実績報告書

長尾 忠昭

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス研究拠点
グループリーダー

セラミックスヘテロ層における界面電磁場制御と熱エネルギー利用

§ 1. 研究実施体制

(1) 「長尾」グループ

- ① 研究代表者：長尾 忠昭（物質・材料研究機構、国際ナノアーキテクニクス研究拠点、グループリーダー）
- ② 研究項目
 - ・セラミックス、絶縁体ヘテロ層界面における電磁場制御

§ 2. 研究実施の概要

本研究では、異種物質のヘテロ界面やナノ構造物表面において、光や電磁波エネルギーを熱エネルギーに、あるいは、逆に熱エネルギーを光エネルギーに変換する様々な現象を基礎的見地から探究する。特にナノ材料や薄膜表界面の光学現象に着目し、ベースメタル、高融点金属・合金、金属性セラミックスやあるいは、絶縁体ヘテロ界面の高密度電子系などにおけるプラズモン現象に由来する高効率な光熱変換特性、波長選択性、波長変換特性などの発現の可能性を検討する。そして、太陽光や熱輻射エネルギーの利用のための、熱エネルギー制御・変換材料やデバイス開発へと展開し、低炭素化社会実現に資するナノ材料工学を開拓する。

H25 年度、H26 年度は、マイクロ構造のパターニングのためのマスクレスレーザー描画装置やデバイスの光物性評価のための分光装置を導入し研究基盤の整備を行った。

H27 年度は本格的に研究を推進し、まず、1) 電子構造の立場から、より良い光吸収・熱変換応答を示すプラズモン材料の探索的研究を開始した。具体的には窒化物を中心に第一原理バンド計算・誘電率計算による特性予想を進め、ナノ粒子光熱変換実験によるフィードバックを行い、材料開発の指針を得た。続いて、2) ナノスケール構造の電磁場設計を開始し、狙った輻射吸収特性を実現できるプラズモニック構造・デバイスの開発を進めた。

1) に関連しては、ナノ粒子や薄膜などの比較的構造が単純な系をモデルシステムとして用い、計算機シミュレーションと実験との比較を進め、高効率な光熱変換のための材料開発の方法論を探った。太陽光照射実験において 90% の光熱変換のエネルギー効率を観測し、8 月領域会議以降に物質材料研究機構のプロジェクト研究に移して、実用化の可能性を探った。2) に関連しては、温度センサー応用を想定し、波長選択型(分光型)の赤外完全吸構造の開発を進め、95-98% 以上の高い吸収率と波長分解能 $0.5 \mu\text{m}$ (波長 $6 \mu\text{m}$ において) の精度を達成した。この微細構造を、焦電体薄膜の電極へと応用することで、波長選択型の焦電センサーを開発し、分光感度計測において波長分解能 $0.5 \mu\text{m}$ を実現した。中赤外 2 波長温度計測への応用を目的として、 $0.3 \mu\text{m}$ の半値幅を持つ波長選択素子を実現し、さらにその中に焦電素子を組み込むことで、 $0.3 \mu\text{m}$ の分光感度特性を持つ超微細センサーを世界に先駆けて実現した。分光感度の直接計測による中赤外狭帯域動作の実証は世界初である。焦電係数の小さな安価な ZnO を用い、熱絶縁構造を採用していないにもかかわらず、「単位波長当たりの分光感度」は、市販の PZT 焦電体と同程度の感度を示した。プラズモン増強効果の最適化、熱絶縁構造、焦電係数のより高い材料を採用することで、2 桁程度の感度向上が見込まれ、加熱加工分野の省エネルギーなどへの応用を目指す。また、同じ技術により赤外線カラーイメージングや物質イメージングなどへの展開も期待できる。

【代表的な原著論文】

1. D. Dao, K. Chen, S. Ishii, A. Ohi, T. Nabatame, M. Kitajima, T. Nagao : “Infrared Perfect Absorbers Fabricated by Colloidal Mask Etching of Al–Al₂O₃–Al Trilayers”

- ACS PHOTONICS 2[7], 964-970 (2015).
2. K. Chen, D. Dao, S. Ishii, M. Aono, T. Nagao : “Infrared Aluminum Metamaterial Perfect Absorbers for Plasmon-Enhanced Infrared Spectroscopy” *Adv. Funct. Mater.* 25[42], 6637-6643(2015).
 3. S. Ishii, S. Pasupathi, T. Nagao : “Titanium Nitride Nanoparticles as Plasmonic Solar Heat Transducers” *J. Phys. Chem. C* 120[4], 2343-2348(2016).
 4. S. Ishii, S. Pasupathi, K. Chen, D. Dao, T. Nagao : “Solar water heating and vaporization with silicon nanoparticles at mie resonances” *OPTICAL MATERIALS EXPRESS* 6[2], 640-648(2016).
 5. 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], 43-50 (2016).
 6. M. Kumar, S. Ishii, N. Umezawa, T. Nagao : “Band engineering of ternary metal nitride system $Ti_{1-x}Zr_xN$ for plasmonic applications” *OPTICAL MATERIALS EXPRESS* 6[1], 29-38 (2016).