酸化物半導体のプラズモンエンジニリング：透明反射遮熱断熱に向けた熱評価

Transparent reflecting films based on oxide semiconductor plasmonics for thermal-shielding: Toward simultaneous cuts of solar-thermal and heat-radiation

東大工 [1] °松井裕章 [1], 田畑仁

The Univ. of Tokyo [1], Hiroaki Matsui and Hitoshi Tabata

E-mail:hiroaki@ee.t.u-tokyo.ac.jp

近年、住宅や自動車等のウインドウ応用に向けて、「可視透明性」と「遮熱断熱」が社会的に要求されている。特に、赤外域の電磁波（太陽熱：近赤外及び輻射熱：中赤外）は、ウインドウを通じた室内温度の上昇に寄与する。故に、省エネルギー社会の実現に向けて、太陽熱や輻射熱が関連する近赤外から中赤外帯域の電磁波制御が重要な役割を果たす。従来の熱線遮断技術は、金属ナノ薄膜を用いたLow-Eガラスや金属・無機多層膜による光干渉技術等が存在する。しかし、これ等の遮熱手法は金属材料（Ag）を母体としており、マイクロ波帯域の電波透過性が悪く、高度情報通信時代においてウインドウにおける電波障害は重大な課題でもある。本研究では、表面プラズモン励起を示す透明酸化物半導体ナノ粒子を開発し、近赤外・中赤外光を選択的に光反射可能な透明遮熱断熱技術を初めて創出した。表面プラズモン技術を制御することで、太陽熱と輻射熱帯域のみを選択的に反射遮熱断熱が可能な可視透明なフレキシブルフィルムの可能性を見出した。本講演では、酸化物半導体（Sn-doped In_2O_3: ITO）ナノ粒子を基盤としたナノ粒子薄膜の光学的及び熱的特性を議論する。

酸化物半導体ナノ粒子は、高温有機分解法を用いて合成され、粒子径(D)は 10 - 40 nm の範囲内で制御された。ITO ナノ粒子薄膜はスピンコーティングと熱処理を通じて作製された。3 次元制御されたITOナノ粒子薄膜は、近赤外（peak-I）と中赤外（peak-II）域で選択的な反射性能を示す（図 1a）。近赤外域では 50%程度を示し、一方、中赤外域では 80%に近い反射率を与えた。これは、ナノ粒子間界面で生じる強い光電場相互作用が起因し、3 次元電磁界計算からの理論的考察とも一致した。図 1(b)に、太陽熱（solar heat）及び輻射熱（Radiant heat）に関する放射エネルギーの波長依存性を示す。ナノ粒子薄膜の反射性能が太陽熱と輻射熱のスペクトル領域に一致し、反射によって遮熱断熱されていることを示唆する。この反射性能は、ガラス基板からの熱放射率の低下にも寄与する。ITO ナノ粒子薄膜のコーティング前後で熱放射率は 0.95 から 0.55 程度に低下し、Low-E としての機能性も示唆される（熱放射率は、赤外域の積分球分光から算出）。また、本研究では、遮熱断熱に必要な特性である日射取得率や熱貫流率等の実験的な計測も併せて実施した。

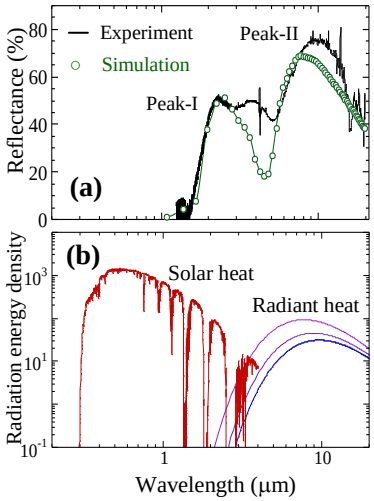

図 1. (a) ITO ナノ粒子薄膜の近赤外及び中赤外域での選択的反射特性（理論と実験）. (b) 太陽熱及び輻射熱（0 - 50°C）の放射エネルギー特性.

本講演では、酸化物半導体プラズモニックエンジニアリングを応用した透明反射遮熱断熱フィルムの創製に向けて、基本的な熱特性を議論する。

本研究は、基盤研究（B）：18H01468、東電財団（研究助成）及び高橋経済研究財団の研究助成によって実施された。
参考文献：H. Matsui et al., *ACS Applied Nano Materials* **1**, 1853-1862 (2018).

Solar heat