17a-C1-1

In_2O_3:Sn ナノ粒子間のギャップ励起と機能

Gap excitations between In_2O_3:Sn nanoparticles and their functionalities

東大工 [1], 巴製作所 [2], 関税中央分析所 [3], 京都工繊大 [4]

°松井裕章 [1], 古田晋也 [2]、長谷部貴之 [3], 蓮池紀幸 [4], 田畑仁 [1]

The Univ. of Tokyo [1], Tomoe Works Co. Ltd. [2]

°Hiroaki Matsui[1], Shinya Furuta [2], Takayuki Hasebe [3], Noriyuki Hasuike [4] and Hitoshi Tabata [1]

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

酸化物半導体ナノ粒子は、サイズ依存した電気伝導を示し、フレキシブルなエレクトロニクスにおいて重要な材料である。一方、酸化物半導体ナノ粒子のサイズ依存性は、光学的性質にも強く反映し、近赤外域で表面プラズモン共鳴を示すことが見出された[1-3]。近年、貴金属を中心として展開されてきたプラズモニックマテリアルに関する研究は、非金属系材料へと波及してきた。本講演では、In_2O_3:Sn ナノ粒子に着目する。In_2O_3:Sn ナノ粒子は電子デバイス向けのスクリーン印刷インクとして実用化されている。本研究では、酸化物半導体工学とナノ光工学を融合した学際研究を通じて、酸化物半導体ナノ粒子の新しい光学機能を見出し、産業応用を目指す。我々の研究グループは、In_2O_3:Sn ナノ粒子を空間配列したナノシートから、ナノ粒子間のギャップ励起に伴った強い電場増強を近赤外から赤外域において見出した。

図 1(a)に、In_2O_3:Sn ナノ粒子を 3 次元的に空間配列したナノシートにおける光学応答を示す。単一ナノ粒子層に近い層厚 22 nm のナノシートからの反射率は 7%程度であるが、層厚の増加と伴に反射率は向上し、216 nm において約 0.55 まで達した。しかし、150 nm 以上の層厚において反射率は飽和傾向を示し、それと同時にスペクトル内のディップ形成に起因するピーク分離が観測された[Figs. 1(b)-1(c)]。更に、ナノ粒子を六方最密充填で積層させたと仮定した電磁界（FDTD）計算を実施した結果、スペクトル形状及びその層厚依存性が理論的観点からも再現され、実験結果の正当性を支持した。In_2O_3:Sn 内の電子密度（1×10^{21} cm^{-3}）は、貴金属（Au: 7×10^{22} cm^{-3}）と比べ 2 桁程度小さく、ナノ粒子それ自体は完全吸収体に近い。故に、図 1(a)の高反射性能は、ナノ粒子間のギャップ内に生じる近接場励起に起因することが FDTD の電場分布像から考慮された。また、HR-SEM と HR-TEM 観察から、ナノシート内の各ナノ粒子は空間的に分離され、その粒子間距離は 1 - 2 nm 程度と推察される。近年、省エネルギー持続社会に向けて熱線遮断技術が注視され、近赤外光のみを選択的に高反射可能なスマートウインドウの開発が要請されている。本研究は、可視透明性の高い酸化物半導体ナノ粒子の空間配列と近接場現象を制御することで、熱線遮断技術に向けて新しい研究アプローチを与える。

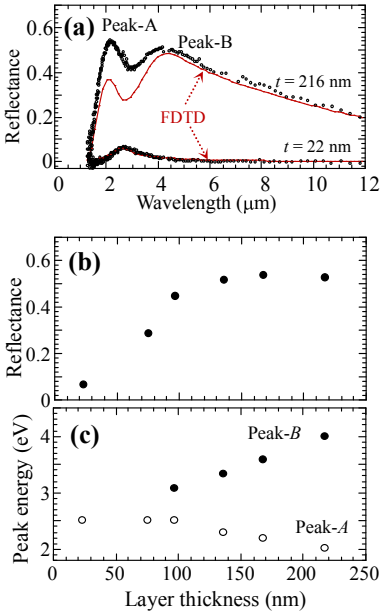

図 1. (a) In_2O_3:Sn ナノ粒子シートの反射スペクトル（赤線：FDTD による理論計算結果）。反射率(a)とピーク波長(b)の層厚依存性。

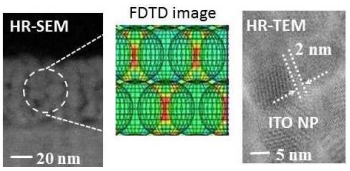

図 2. ナノ粒子シートの HR-SEM, HR-TEM 及び FDTD 解析による電場分布の断面像。

References

[1] *Appl. Phys. Lett.* **99**, 011913 (2011).

[2] *Adv. Opt. Mater.* **1**, 397 (2013)

[3] *Appl. Phys. Lett.* **104**, 211903 (2014).

© 2014 年　応用物理学会