

酸化物半導体表面プラズモンの光電場増強と生体分子反応の観測

Observations of Biomolecular reactions on surface plasmons on oxide semiconductors

東大工¹, 農研機構², ウプサラ大 IGP³ 松井裕章¹, 倉永康博¹, 池羽田晶文², 下田優太¹,
野入信人¹, 寺村裕治^{1,3}, Yan-Lu Ho¹, Jean-Jacques Delaunay¹, 田畑仁¹
The Univ. of Tokyo¹, NARO², Uppsala Univ. IGP³ H. Matsui¹, Y. Kuranaga¹, A. Ikehata²,
Y. Shimoda, M. Noiri¹, Y. Teramura¹, Y. L. Ho¹, J.J. Delaunay¹, H. Tabata¹

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

酸化物半導体は、近赤外から中赤外の長波長帯域で表面プラズモン共鳴 (SPR) が可能であり、赤外応用に期待されている。本グループでは、ZnO:Ga や ITO を中心に薄膜表面上での伝搬型表面プラズモンに着目して研究を推進してきた。酸化物半導体表面上でのエバネッセント場の染み出し長は、近赤外域で 200-300 nm 程度を与える。しかし、酸化物半導体の電子濃度 ($1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$) は金属 (Au: $8 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$) よりも少ないため、実効的な電子数の減少に伴い表面プラズモンの光電場増強が弱くなる [1 - 4]。故に、強い光電場増強を実現すべく、誘電体・ZnO:Ga のヘテロ構造体を適用し、光電場増強と光局在性を同時に実現し、それは酸化物半導体表面上での生体分子 (抗原・抗体) 反応の観測に寄与した。本講演では、ZnO:Ga における近赤外 SPR の表面センシング機能の高性能化 (nearly-guided SPR mode) とバイオセンシングへの適用について報告する。

ZnO:Ga の SPR に関する光局在性と光電場の表面染み出し長は、誘電体の材料とその膜厚に依存する。理論的な数値計算の結果から、Ga₂O₃ が最も高い光電場増強が示した。一方、光電場n表面染み出し長は膜厚が依存し、200 nm 程度の Ga₂O₃ 層の適用で 300 nm 程度までの強い光閉じ込めが実現された。Ga₂O₃ は、赤外域で高い誘電率を持ち、小さな誘電損失を与える。故に、nearly-guided SPR モードに関連した ZnO:Ga の表面プラズモン励起は、強い光電場増強と長距離の表面伝搬を実現した。

実験的な観点から、ZnO:Ga 表面上へ Ga₂O₃ を積層することで、SPR スペクトルの半値幅は極端に狭くなり、強い光電場増強が示唆される。試料表面上への強い光閉じ込めは、水による分子振動吸収が抑制された。結果として、ZnO-SPR への高誘電率の Ga₂O₃ の適用は、センシング性能の向上に寄与した。それは、抗原・抗体の分子結合に関連した生体分子反応の観測を可能にした。従って、高誘電率材料の適用は、表面プラズモンの強い光閉じ込めと長距離の表面プラズモン伝搬を同時に実現させ、生体分子反応の表面センシングを可能にした。

References:

1. *Appl. Phys. Lett.* 99, 011913 (2011).
2. *Adv. Opt. Mater.* 1, 397 (2013).
3. *Appl. Phys. Lett.* 106, 019905 (2015).
4. *Appl. Phys. Lett.* 109, 191601 (2016).

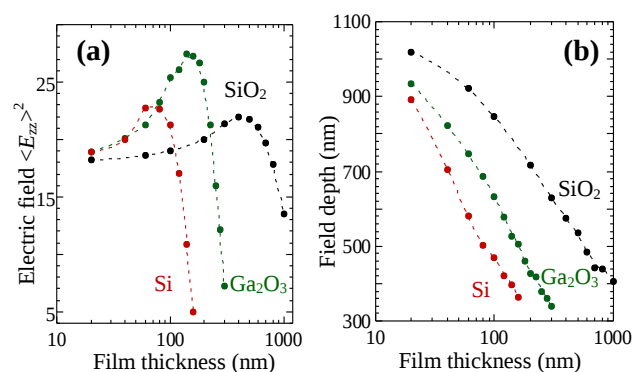


図 1. (a) 光電場増強及び(b)その染み出し長の誘電体膜厚と材料依存性。

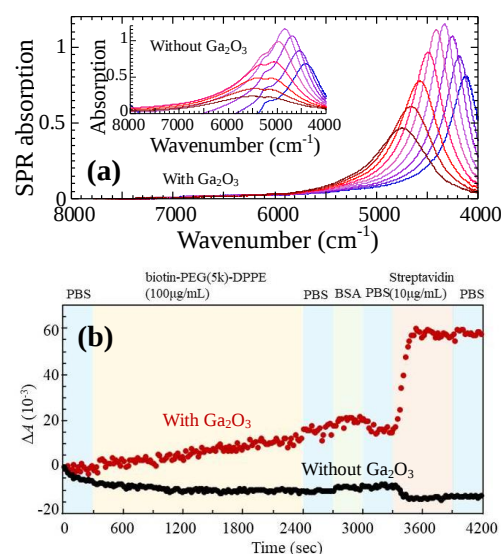


図 2. (a) Ga₂O₃-ZnO SPR スペクトル. (b) 生体分子反応の計測。