# バイオセンシングプラットフォームに向けた酸化物半導体の赤外表面プラズモン制御
# Control of mid-infrared SPRs for biosensing platforms on oxide semiconductors

東大工 [1], 宇都宮大工 [2] ○(M1)下田 優太 [1], *松井裕章 [1], 山原弘靖 [1], 依田秀彦 [2],
J. K. Clark [1], J. J. Delaunay[1], 田畑仁 [1]
Tokyo Univ. [1], ○Y. Shimoda[1], *H. Matsui[1], H. Yamahara [1], H. Yoda [2],
J. K. Clark [1], J. J. Delaunay [1], H. Tabata [1]
E-mail: shimoda@bioxide.t.u-tokyo.ac.jp, *hiroaki@ee.t.u-tokyo.ac.jp

エネルギー、熱及びバイオ分野において、赤外域の光学制御は重要な課題として注視され、特に、分子認識に基づくバイオセンシングは、表面プラズモン(SPR)による表面増強(SEIRA)が生体分子反応の高感度検出に期待されている。赤外域は可視域と異なり水溶液の吸収が極めて強く、*in-situ* のバイオセンシングが難しい現状がある。従来は、金属(Au)ナノアンテナ構造が提案され、ナノアンテナの狭ギャップに強い光電場増強を形成させ、分子認識の場として機能化させてきた。しかし、狭ギャップ内への分子操作に応用展開において大きな課題があり、また、ナノスケールの電子線リソグラフィー技術の適用が要求される現状がある。

本研究では、生体親和性の高い酸化物半導体(ZnO: Ga)の ZnO-SPRs に着目する。ZnO-SPRs は赤外域で表面プラズモン励起が可能であり、バイオセンシングのプラットフォームとしての可能性がある。しかし、薄膜表面の伝搬型モードは水溶液による plasmon damping に伴う共鳴励起の著しい抑制が懸念され、広帯域な赤外領域における共鳴制御に向けた課題がある。故に、本研究では、薄膜と基板間界面を伝搬する表面プラズモンに着目し、更に、ホールプラズモンを適用させた共鳴励起(TE 偏光:bound mode)を提案する。共鳴波長は、薄膜と基板の誘電分散に基づいて幅広く変化させることができる(図1a:数値計算及び FDTD 解析)。これは、表面プラズモンの分散関係が基板の誘電率($CaF_2$, $Al_2O_3$, Si など)に依存し、同じ波数を持った表面プラズモン波を赤外領域で制御することを可能となる。また、薄膜・基板間を伝搬する SPR モードのため、ホールの内側に強い光電場増強が形成され、膜表面上には表面プラズモン励起は存在しない。一方、薄膜表面上のプラズモン励起(leaky mode)は近赤外域に存在し、TM 偏光下で励起される [1,2]。本講演では、こ ZnO:Ga を基盤としたホールプラズモン励起とその光学的特性について報告する。

ZnO: Ga のマイクロホール構造は、フォトリソグラフィー技術(加工)とパルスレーザー堆積法(蒸着)を用いて作製された。ただし、ZnO:Ga 薄膜の電子濃度:8 - 9×$10^{20}$ $cm^{-3}$ 程度である。図 1b の挿入図に、異なるサイズ($D$ = 2 - 8 μm)で構成された ZnO:Ga ホール構造の光学顕微鏡像を示す。明瞭な ZnO: Ga のホール構造(500 μm 角)が得られた。得られた試料を顕微赤外分光($\mu$-FTIR)によって分光計測(反射)した結果、中赤外域にホールプラズモンに伴う共鳴励起が観測された。この予備的知見は、酸化物半導体を基盤としたバイオセンシングに向けた赤外プラズモン制御が可能であることを示唆する。

[1] *Adv. Opt. Mater.* **1**, 397 (2013). [2] *Appl. Phys. Lett.* **106**, 019905 (2015).
[3] *Appl. Phys. Lett.* **109**, 191601 (2016).

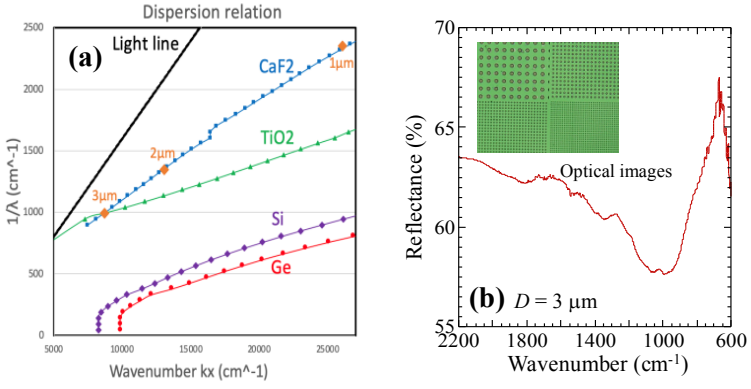


図 1. (a) ZnO: Ga ホールプラズモンの分散関係. (b) 微細加工した ZnO:Ga ホール構造のからの共鳴励起(ホール直径:$D$ = 3 μm).