

酸化物半導体による光電子機能の創成 -酸化物プラズモニクス- Creation of Optical & Electrical Function on Oxide Semiconductors -Oxide Plasmonics-

東大工, °田畑 仁

Univ. of Tokyo, °Hitoshi Tabata

E-mail: tabata@bioeng.t.u-tokyo.ac.jp

多彩な物性の宝庫である酸化物材料であるが、特に境界領域における新しい機能が期待できる。図 1 のピラミッドの底面に 3 つの秩序変数として電子、スピン、双極子を示す。各々電気的、磁氣的、誘電的物性を発現する¹⁻⁴⁾。そしてその電子が局在したところに双極子が形成され誘電体となり、非局在となると金属となる。これらが共存した、境界領域におけるユニークな物性を呈する。例えば、電子が局在-非局在となる中間領域は、半導体として知られる物性である。その他、電子とスピンの 2 つの自由度が共存する領域はスピントロニクスとして、磁性と誘電性の共存する領域はマルチフェロイクスとして、近年活発な研究が進められている。一例として、酸化物半導体の ZnO に磁性イオンである Co を 5~10mol% 導入した薄膜において酸素欠損により電子ドーピングしたところ、キャリア密度が 10^{17}cm^{-3} 程度の低濃度では常磁性体であるが、キャリア密度が増加させて 10^{19}cm^{-3} では明瞭な強磁性を示した (Co 濃度 6%)²⁾。その境界濃度として、モット濃度 (n^M) として知られている $6 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 付近に存在する事が興味深い。図 1 の底面に示した 3 つの秩序変数は、主にエレクトロニクス分野への応用に資する物性を引き出すが、これらに加えてもう一つの秩序変数 (フォトン) を導入する事でさらなる新しい物性が発現する。これらがプラズモニクス、スピノフォニクス等のフォトン分野である。この秩序次元の拡張により、酸化物ワイドギャップ半導体の新しい適応が期待できる。

金属 (Au, Ag など) を用いた表面プラズモン共鳴 (SPR) は紫外から可視光域の波長領域で利用されている。図 2 に示すように、金属中のキャリア数 ($\sim 10^{22}\text{cm}^{-3}$) を人為的に制御することは難しくプラズマ周波数は物質固定であるが、半導体では導入するドーパント濃度により、キャリア数は任意に制御可能であることが期待できる。我々は酸化物半導体の中でも酸化亜鉛 (ZnO) および酸化インジウム (In_2O_3) において、不純物ドーピングによるキャリア密度制御を実施しているが、ZnO 薄膜において不純物として Ga を利用してキャリア数を $10^{19} \sim 10^{21}\text{cm}^{-3}$ で制御し、可視から近赤外領域に亘るプラズマ周波数制御を実証した⁵⁻⁸⁾。近赤外光領域は生体透過性ははじめバイオ・医工学応用上大変興味深い。

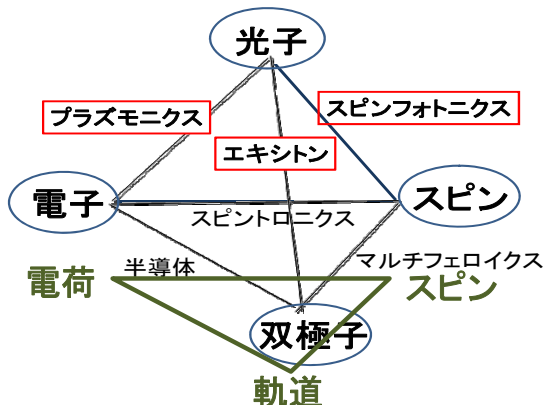


Fig.1 Order parameters of electron, spin, dipole and photon

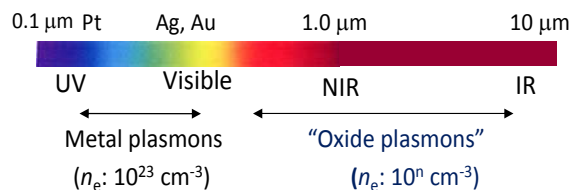


Fig.2 Artificial control of plasma frequencies on oxide semiconductors

References

- [1] K.Ueda et al., Appl. Phys. Lett., 79, 988 (2001)
- [2] H. Matsui, H. Tabata, Phys. Rev. B., 75, 014438 (2007).
- [3] Z.Y. Xiao et al., J. Appl. Phys. 108, 013502 (2010).
- [4] H. Matsui and H. Tabata, J. Appl. Phys., 113, 183525 (2013).
- [5] W. Badalawa et al., Appl. Phys. Lett. 99, 01913 (2011).
- [6] H. Matsui et al., J. Appl. Phys. 103, 093523 (2010).
- [7] H. Matsui and H. Tabata, Optics Lett. 36, 3735 (2011).
- [8] H. Matsui et al., Adv. Opt. Mater. 1, 397 (2013).