

Ga 添加 ZnO 薄膜における近赤外光波長領域での 光学損失：プラズモニクス応用へ

Optical loss in the near-infrared spectral region of polycrystalline Ga-doped ZnO films for use as plasmonic materials

高知工科大総研

○山本哲也、野本淳一、牧野久雄、

Research Inst., Kochi Univ. Tech.

○T. Yamamoto, J. Nomoto, H. Makino,

E-mail: yamamoto.tetsuya@kochi-tech.ac.jp

【はじめに】本発表では、近赤外光波長領域（例：telecommunication wavelengths $\lambda_T=1.5\ \mu\text{m}$ ）での低光学損失を必要不可欠とするプラズモニクス応用を目的とし、その候補基材としての Ga 添加 ZnO (GZO) 薄膜における光学特性について議論する。本研究では、光学損失に関しては、誘電関数の虚部 ϵ'' を評価した。誘電関数の実部 ϵ' における符号は、可視光波長領域から、波長増大と共に正から負へと変わる境界波長 (λ_c) が存在する。本研究では GZO 薄膜が呈する λ_c が、 λ_T 以下となるようにキャリア密度 N_e などを制御した。本発表では、成膜条件が異なる GZO 薄膜における誘電関数 $\epsilon=\epsilon'+i\epsilon''$ の波長依存性を解析、そして考察したその結果を報告する。

【実験方法】 GZO 薄膜は直流アーク放電を用いるイオンプレーティング成膜法（住友重機製）により成膜した。膜厚は 200 nm、基板（Corning, EAGLE XG）温度は 200 °C、原料は ZnO (4N) に Ga_2O_3 (4.0 wt.%, 3N) を混合した焼結体: SKY-Z (ハクスイテック社製) を用いた。成膜条件は、成長中に成膜室に流す酸素ガス流量 (OFR) と放電電流 (I_d) とである。構造特性は X 線回折法（リガク ATX-G）、電気特性はホール効果法（nanometrics HL5500PC）、光学特性は分光エリプソメトリ（Woollam Co., Inc.M-2000DI, Rotating Compensator Ellipsometer）と分光光度計（日立ハイテクトロノジーズ、U4100）により、それぞれ評価した。

【結果と考察】成膜した多結晶 GZO 薄膜は、全て強い (0001) 配向（ガラス基板表面に垂直）性を有する柱状構造であることが X 線回折法により得られたデータ解析から判明した。 N_e は、OFR と I_d とを制御するのみで行い、 $\lambda_c=1.476\ \mu\text{m}$ なるサンプルが得られた^{1,2}。当該サンプルの特性は下記の通りである。 $N_e=6.86\times 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$ 、ホール移動度 $\mu_H=30.0\ \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、衝突緩和時間 $\tau=6.21\times 10^{-15}\ \text{s}$ 。前回（2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会）の発表では、 λ_T において $\epsilon''=0.6$ であったが、本研究では、 $\epsilon''=0.43$ (Fig.1) となり、他の報告とも比較した結果、プラズモニクス応用には有望な GZO 薄膜が得られた。誘電関数表記は Drude モデル近似に基づいた。算出には、屈折率と消衰係数、及び ϵ'' の支配因子を検討すべく、高周波誘電率 (ϵ_∞) とプラズマ振動数を誘電関数表記に対する高周波近似を行うことで評価し、キャリアの有効質量 (m^*) と突緩和時間 (ω_c) の評価は、 N_e を用いてさらに算出した。光学特性の支配因子に関する議論を行う。

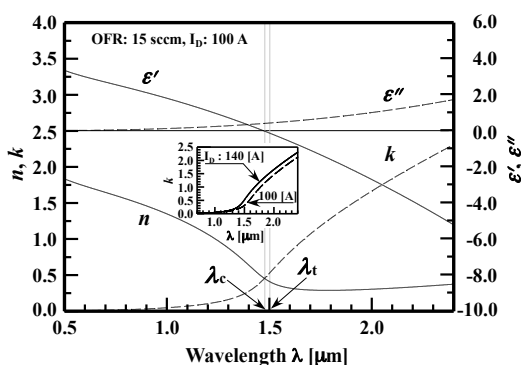


Fig. 1. GZO 薄膜における屈折率 n と消衰係数 k , ϵ' 及び ϵ'' の波長 λ 依存性。挿入図は同じ OFR で異なる I_d で得られた k の λ 依存性。

- 【文献】 1) J. Nomoto, H. Makino, T. Yamamoto, Thin Solid Films, 601 (2016) pp. 13-17. (2016).
2) J. Nomoto, H. Makino, T. Yamamoto, to be published in Science of Advanced Materials.