

高キャリア密度 Ga 添加 ZnO 薄膜における近赤外光領域での 光学損失：プラズモニクス応用へ

Optical characteristics in the near-infrared region of polycrystalline Ga-doped ZnO
films with high carrier concentration: towards plasmonic materials without losses

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、近赤外光領域（例：telecommunication wavelengths $1.5 \mu\text{m}$ ）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) における光学特性について議論する。本研究では GZO 薄膜の光学損失に関しては、誘電関数の虚部を解析した。可視光領域から、波長増大と共に誘電関数の実部における符号は、正から負へと変わる（“境界波長”と呼称）。本発表での GZO 薄膜は、境界波長が、前記波長 $1.5 \mu\text{m}$ 以下となるような高キャリア密度を実現しているサンプルに焦点を当て、解析そして考察した。

【実験方法】GZO 薄膜（基板（Corning, EAGLE XG）温度は $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 、成膜原料は 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）は RPD 成膜装置（住友重機製）により成膜した。膜厚は 105 - 171 nm である。電気特性はホール効果測定（nanometrics HL5500PC）により、光学特性は分光エリプソメトリ（Woollam Co., Inc.M-2000DI, Rotating Compensator Ellipsometer）により、評価した。

【結果と考察】成膜した多結晶 GZO 薄膜のキャリア密度 N_e は、膜厚に依存せず、ほぼ $N_e = 1.1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ の大きさをもつ¹⁾。一方で、ホール移動度 μ_{Hall} は、膜厚増大と共に $23 - 26 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ へと単調に増大する。前記 μ_{Hall} の挙動は、キャリア輸送への粒界散乱機構寄与の変化に因る¹⁾。光学特性の解析結果より、屈折率 n は可視光領域で波長 λ 増大と共に減少し、 $\lambda \geq 1.06 \mu\text{m}$ では $n < 1$ となる。更なる λ 増大と共に、 n は減少し、消衰係数 k は増大する。境界波長 λ_c ($@n=k$) は、基本的には N_e の増大と共に短波長側にシフトするが、本サンプル（各 N_e はほぼ同じ）は $\lambda_c = 1.23 - 1.26 \mu\text{m}$ であり、目標とする $\lambda \leq 1.5 \mu\text{m}$ の条件を満たすことがわかった（表 1）。誘電関数の各 λ における虚部 ε'' の大きさの膜厚依存性は小さく、 λ_c では $\varepsilon'' \leq 0.35$ であり、 $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$ では $\varepsilon'' \sim 0.60$ と小さい損失（図 1）であることが明白となった。今後は、更なる高 N_e 及び高キャリア移動度をもつ GZO 薄膜を成膜し、その光学特性の支配因子を明白にする。

表 1. 膜厚、キャリア密度、境界波長 λ_c 及び λ_c における $1/\varepsilon''$

Thickness (nm)	N_e ($\times 10^{21}$ cm^{-3})	crossover wavelength λ_c (μm)	$1/\varepsilon'' @ \lambda_c$
105	1.08	1.26	2.95
122	1.07	1.25	2.92
149	1.12	1.23	3.15
171	1.14	1.23	3.09

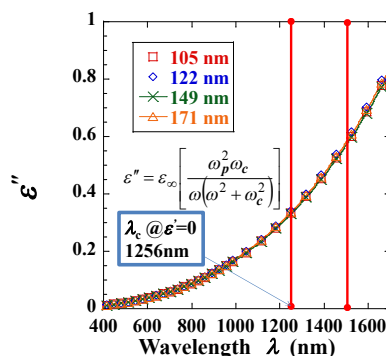


図 1. 異なる膜厚における GZO 薄膜での誘電関数虚部の波長依存性

【謝辞】本研究は双葉電子記念財団、平成 26 年度自然科学研究助成による支援を受けている。

【文献】1) T. Yamamoto, H. Song and H. Makino, Phys. Status Solidi C **10**, No. 4, (2013) pp. 603–606.