

高周波重畳直流スパッタ Al 添加 ZnO 透明導電膜

の分光学的手法を用いた評価

1170007 石井 章壽

高知工科大学 システム工学群 電子工学専攻 牧野研究室

【はじめに】

これまでに高周波重畳直流マグネトロンスパッタ法(RF+DC-MS)により成膜した Al 添加 ZnO 透明導電膜は、DC-MS により成膜した場合と比較して、優れた電気特性および、結晶構造特性 (c 軸配向性) を実現できることが報告されている[1]。一方で、PL (フォトルミネッセンス) 法や、光吸収などの光学的評価と、重畳する RF 電力との相関は十分に議論されていない。本研究では、RF+DC-MS 成膜した AZO 透明導電膜において、RF と DC 電力の組み合わせが薄膜の特性に及ぼす影響について、特に光学特性の観点から議論する。

【実験方法】

膜厚 100nm (もしくは 80nm) の AZO 膜は、13.56MHz の高周波 (RF) を重畳可能な直流マグネトロンスパッタ (DC-MS) 成膜装置 (ULVAC, CS-L) を用いて、ZnO:Al₂O₃, 2.0wt.% のターゲットを使用し、RF 電力及び DC 電力を変化させて、石英ガラス上に、基板温度 200℃ で成膜した。電気特性は室温でのホール効果測定、結晶構造を X 線回折法、光学特性は PL 法、透過、反射測定により評価した。価電子帯から伝導帯への遷移に対応する吸収端スペクトルからブロードニング因子 Γ (eV) を求め、

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau} = \frac{\hbar}{2} [\tau_c^{-1}(k) + \tau_v^{-1}(k)] = \frac{\hbar}{2} \tau_c^{-1}(k) (1 + m_v^*/m_c^*) \quad (1)$$

より、 μ_{abs} を算出し[2]、透過率と反射率から求めた μ_{opt} (Drude 誘電関数をフィッティング) と比較した。伝導電子の有効質量は、 $m_c^* = (0.28 + 0.10^{-20} N_{Hall}) m_0$ 、価電子の有効質量は $m_v^* = 0.54$ [3] と 0.7 とした。

【結果と考察】

表 1 に RF 電力と DC 電力とをそれぞれ変化させて成膜された AZO 膜のホール移動度 μ_{Hall} 、光学移動度 μ_{opt} 、吸収係数から求めた μ_{abs} 、結晶内キャリア移動度 $\mu_{ig} \equiv \mu_{opt}$ と仮定して算出された粒界散乱の寄与の程度: μ_{ig}/μ_{gb} も示している。表 1 から明らかなように、 $\mu_{abs}(0.54)$ は μ_{opt} と同様に $P_{RF}/(P_{DC} + P_{RF})$ 比ともに増加する傾向を示すが、全体的に小さな値になった。

これは m_v^* が曲率の変化を考慮していないからだと考え、 $m_v^* = 0.7$ とするとよく一致する結果が得られた。図 1 に PL スペクトルを示す。図 1 から明らかなように、 $P_{RF}/(P_{DC} + P_{RF})$ 比の増加に伴って、バンド端発光の強度も上昇する傾向が見出された。これは、非発光性の欠陥が減少したと考えられ、光学移動度の増加と整合する。ホール移動度 μ_{Hall} は粒界散乱が寄与 (μ_{ig}/μ_{gb}) するが、分光学的に求めた移動度は、粒内の結晶性を反映し、異なる手法で求めたにもかかわらずよく一致することが明らかになった。

【参考文献】

- [1] J. Nomoto, et al, J. Appl. Phys., 117 (2015);
- [2] I. Hanmberg, et al, Phys, B, Vol130 (1984)
- [3] Walter Lambrecht, et al, Phys, B, Vol165 (2002)

表 1 AZO 膜の各種キャリア移動度

Power ratio [W]	Thickness	μ_{Hall}	μ_{opt}	$\mu_{abs}(0.7)$	$\mu_{abs}(0.54)$	μ_{ig}/μ_{gb}
$P_{RF}/(P_{DC}+P_{RF})$	ss [nm]	[cm ² /Vs]	[cm ² /Vs]	[cm ² /Vs]	[cm ² /Vs]	
0.00	100	19.5	22.1	23.2	19.6	0.13
0.00	100	18.4	24.5	22.6	19.6	0.33
0.00	80	17.3	23.9	23.3	19.1	0.38
0.14	100	17.9	24.7	22.4	18.9	0.38
0.50	100	17.6	26.5	25.0	21.1	0.53
0.80	100	21.0	27.7	27.7	23.4	0.29
1.00	100	22.3	29.4	29.5	24.9	0.32
1.00	80	18.3	30.5	28.5	24.0	0.58

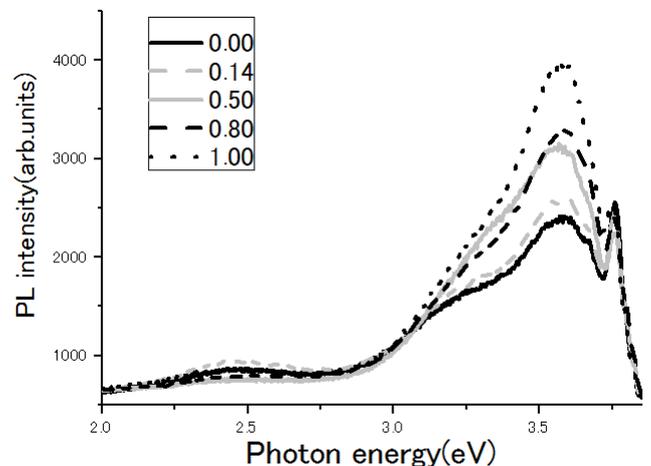


図 1 $(P_{RF}/P_{DC} + P_{RF})$ 比の PL 結果