

氏名(本籍)	Lukman Nulhakim (インドネシア)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第300号
学位授与年月日	平成28年9月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻
学位論文題目	RFマグネトロンスパッタリング法により成膜したGa添加ZnO 薄膜の構造的、電気的、光学的、伝導的な特性に関する研究 Study of Structural, Electrical, Optical, and Transport Properties of Ga-doped ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering

論文審査	(主査) 高知工科大学	准教授	牧野 久雄
	高知工科大学	教授	李 朝陽
	高知工科大学	教授	八田 章光
	高知工科大学	教授	古田 守
	高知工科大学	准教授	古田 寛

審査結果の要旨

1. 論文の評価

本論文では、光・電子デバイスの透明電極やガスセンサーの感材として有望な Ga 添加 ZnO (GZO) 薄膜の電気伝導特性やガスセンシング特性を決定する主要因子について、配向性やグレインサイズ、極性といった ZnO 薄膜に特有な薄膜マイクロ構造との相関に焦点を当てて研究が行われた。

無加熱ガラス基板上的 GZO 薄膜では、バッファ層によるマイクロ構造制御と成膜後の熱処理とを組み合わせ、結晶粒内の欠陥および薄膜構造特性がキャリア伝導特性に与える影響および効果について検討された。成膜時に結晶粒内に生成される欠陥は、キャリア濃度および光学移動度を減少させるとともに光吸収因子として光透過率を低下させるが、このような欠陥生成に対する構造制御の効果は小さく、欠陥は加熱によって低減されることが明らかとなった。一方、低温成膜における c 軸配向性の低下は粒界散乱としてホール移動度の低下を引き起こし、このような粒界散乱の寄与は構造制御により改善することが明らかとなった。これらの知見に基づき、基板加熱による GZO 膜の電気特性向上について、キャリア濃度および光学移動度を低下させる結晶粒内の欠陥は基板温度の上昇とともに緩やかに減少するのに対し、ホール移動度の低下を引き起こす粒界散乱の寄与はある温度で劇的に低減されることを示し、粒界散乱の要因として 10-11 配向組織の存在を指摘した。これらの成果は、高濃度ドーパ ZnO 膜のキャリア伝導特性について結晶粒内の欠陥の影響と薄膜マイクロ構造の影響とを区分して議論したところに学術的な意義がある。また、ZnO 透明導電膜の特性向上に対して、欠陥低減と配向性向上といった指針とその意義を明確に示した重要なものである。

膜厚 100 nm 以下での GZO 薄膜の抵抗率の増大については、ZnO の極性の影響に着目し、O 極性 ZnO テンプレート上の GZO 膜では、Zn 極性上に比較してキャリア濃度、ホール移動度ともに大きく低下することを示すとともに、成膜初期の O 極性から Zn 極性へと膜厚の増加とともに変化することがガラス基板上的極薄膜での抵抗率増大の要因の一つであることが見出された。この知見に基づき、Zn 極性 ZnO バッファ層を用いることにより、ガラス基板上的膜厚 30 nm の GZO 極薄膜におい

て厚膜に匹敵する低抵抗率が実現された。ZnO 透明電極の電気特性向上のための指針として、c 軸配向性など従来の構造制御に対し、極性制御の重要性を指摘したことは、ZnO 薄膜技術に対して大きなインパクトを与えるものである。

GZO 薄膜の水素ガスセンサーへの応用では、c 軸配向性およびグレインサイズがガス応答性を与える影響について ZnO 下地層による制御を駆使することで、c 軸配向性の低下がガス応答性を増大させる重要な因子であることを見出した。これは、ZnO 系薄膜ガスセンサーの応用に対して新たな設計指針となり得るものである。

以上の成果は、ZnO 系透明導電膜の特性改善、および、酸化物薄膜ガスセンサー開発に重要な指針を与えるものであり、当該産業分野の発展に大きく貢献するものである。よって、博士（工学）の学位論文として適当であると判断される。

2.審査の経過と結果

- (1) 平成28年7月6日 博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定し、5名がその審査委員として指名された。
- (2) 平成28年8月23日 公開論文審査発表会及び最終試験を実施した。
- (3) 平成28年9月5日 博士後期課程委員会で学位授与を可とし、教育研究審議会で承認された。